

ISBN 978-83-62805-23-5

Monografia porusza kilka istotnych aspektów dotyczących nowych badań w elektroenergetyce oraz zastosowania innowacyjnych rozwiązań związanych z energooszczędnością, a także płynących z nich zalet dla ludzi i ciągle jeszcze zagrożonego zanieczyszczeniem środowiska. Publikacja prezentuje również praktyczne zastosowania związane z bilansowaniem energetycznym do wykorzystania na obszarach gmin.

Książka jest przeznaczona przede wszystkim dla pracowników uczelni wyższych, studentów specjalizujących się w poruszanej problematyce oraz osób zainteresowanych szeroko pojętymi zagadnieniami zrównoważonego rozwoju i eko-innowacyjności.

ISBN 978-83-62805-23-5



9 788362 805235



Energetyka odnawialna i magazynowanie energii

MOŻLIWOŚCI I HORYZONTY EKOINNOWACYJNOŚCI

Energetyka odnawialna i magazynowanie energii



Redakcja naukowa:

Dariusz Całus

Janusz Flaszka

Krystian Szczepański

Artur Michalski

Radosław Luft

MOŻLIWOŚCI I HORYZONTY EKOINNOWACYJNOŚCI

Energetyka odnawialna i magazynowanie energii

Redakcja naukowa:

Dariusz Całus

Janusz Flaszka

Krzysztof Szczepański

Artur Michalski

Radosław Luft

Radom 2016

Recenzenci:

prof. dr hab. inż. **Tomasz Popławski**, Politechnika Częstochowska
dr hab. **Tadeusz Dyr**, prof. UTH, Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny
w Radomiu

Projekt okładki: dr inż. Janusz Flaszka, dr inż. Dariusz Całus

Opracowanie redakcyjne i korekta: Joanna Tarnawska

Redakcja techniczna i DTP: Joanna Tarnawska

© Copyright by Authors

© Copyright by Instytut Nukowo-Wydawniczy „Spatium”, Radom 2016

ISBN 978-83-62805-23-5

Wydano nakładem:

Instytut Nukowo-Wydawniczy „Spatium”

26-600 Radom, ul. 25 Czerwca 68

tel./fax. 48 369 80 74,

e-mail: wydawnictwo@inw-spatium.pl

<http://www.inw-spatium.pl>

Druk i oprawa:

Drukarnia Bookpress.eu,

ul. Lubelska 37C, 10-408 Olsztyn

SPIS TREŚCI

Przedmowa.....	7
Rozdział I. Innowacyjne rozwiązania w energetyce	9
1.1. Porównanie systemów magazynowania energii elektrycznej	10
1.1.1. Wstęp	10
1.1.2. Metody i sposoby magazynowania energii	11
1.1.3. Magazynowanie energii na bazie koła zamachowego z propozycją konfiguracji całego układu energoelektronicznego wraz ze sterowaniem. .	20
1.1.4. Podsumowanie	23
1.2. Nowe materiały nanostrukturalne w aspekcie zastosowania w magazynach energii.	25
1.2.1. Wstęp	25
1.2.2. Cel magazynowania energii elektrycznej	26
1.2.3. Sposoby magazynowania energii elektrycznej.....	29
1.2.4. Prace naukowo-badawcze	39
1.2.5. Podsumowanie	46
1.3. Zastosowanie wysokoobrotowego turbogeneratorsa w układzie wydechowym stacjonarnego generatora energii elektrycznej.....	49
1.3.1. Wstęp	49
1.3.2. Agregat prądowórczy – rodzaje i budowa.....	51
1.3.3. Bowmanpower	52
1.3.4. REST	54
1.3.5. Podsumowanie	58
1.4. Modelowanie matematyczne funkcjonowania ogniów, modułów i paneli fotowoltaicznych	59
1.4.1. Wstęp	59
1.4.2. Jednodniowy model zastępczy ogniwa fotowoltaicznego oraz podstawowe zależności matematyczne	59
1.4.3. Dwudniowy model zastępczy ogniwa fotowoltaicznego oraz podstawowe zależności matematyczne	62
1.4.4. Implementacje modelu ogniwa fotowoltaicznego w programie Matlab-Simulink	63
1.4.5. Symulacja funkcjonowania modułów i paneli fotowoltaicznych	64
1.4.6. Podsumowanie	68
Rozdział II. Energetyka prosumencka	71
2.1. Zastosowanie platformy PI System do zarządzania instalacją prosumencką.....	72
2.1.1. Wstęp	72
2.1.2. Zarządzanie instalacjami prosumenckimi	72
2.1.3. Przykład wykorzystania PI Systemu do monitorowania zasobów Wydziału Elektrycznego Politechniki Częstochowskiej.....	75
2.1.4. Zarządzanie energią.....	77

2.1.5. Problem dostarczania energii od strony przedsiębiorstwa energetycznego, problem DSM, DSR	79
2.1.6. Podsumowanie	80
2.2. Analiza kosztów instalacji fotowoltaicznej dla mocy do 40 kW	82
2.2.1. Wstęp	82
2.2.2. Uwarunkowania formalno prawne na wybór rozwiązania techniczno-ekonomicznego	82
2.2.3. Potencjał promieniowania słonecznego w Polsce	84
2.2.4. Roczne zużycie energii elektrycznej w domu jednorodzinnym	86
2.2.5. Wyniki i analiza danych	89
2.2.6. Podsumowanie	90
2.3. Funkcjonowanie giełdy energii w Polsce na tle giełd w UE.....	92
2.3.1. Wstęp	92
2.3.2. Towarowa giełda energii (TGE).....	93
2.3.3. Wybrane europejskie giełdy energii.....	95
2.3.4. Porównanie omawianych giełd	98
2.3.5. Podsumowanie	101
2.4. Szacowanie produkcji energii dla domowej mikroelektrowni PV	103
2.4.1. Wstęp	103
2.4.2. Fotowoltaika jako alternatywne źródło zasilania z OZE.....	103
2.4.3. Klastry energetyczne uzdrowią sektor OZE w Polsce.....	107
2.4.4. Obliczenia	108
2.4.5. Podsumowanie	109
2.5. Rola paliw odnawialnych w strategii energetyczno – ekologicznej gmin w Szwecji.....	112
2.5.1. Czego oczekuje Unia Europejska od gmin?	112
2.5.2. Istota zrównowazenia.....	112
2.5.3. Podsumowanie	117
2.6. Energetyka w Polsce, współczesne wyzwania, nowa doktryna energetyczna ..	118
2.6.1. Osaczona elektroenergetyka.....	118
2.6.2. 12 filarów bezpieczeństwa elektroenergetycznego na IREE.....	120
2.6.3. Jakie czynniki napędzają współczesne zmiany w energetyce	121
2.6.4. Nowa doktryna energetyczna (autorska propozycja)	122
2.6.5. Podmiotowa segmentacja energetyki prosumenckiej.....	124
2.6.6. Podsumowanie	125
Rozdział III. Nowoczesne technologie	127
3.1. Zastosowanie systemu KNX do oświetlenia wewnętrznego obiektów użytkowości publicznej z wykorzystaniem źródeł światła LED	128
3.1.1. Wstęp	128
3.1.2. Charakterystyka źródeł światła LED oraz sposobów ich zasilania	128
3.1.3. Zastosowanie systemu KNX do sterowania źródłami typu LED	131
3.1.4. Przykład zastosowania systemu KNX do oświetlenia wewnętrznego budynku muzeum, z wykorzystaniem źródeł światła LED	135
3.1.5. Podsumowanie	140

3.2. System sterowania stanowiska do personalizacji i zabezpieczania mechanicznego dokumentów z układami RFID.....	143
3.2.1. Wstęp	143
3.2.2. Modułowa konstrukcja stanowiska	143
3.2.3. Algorytm działania systemu sterowania.....	145
3.2.4. Realizacja systemu sterowania.....	149
3.2.5. Personalizacja graficzna i elektroniczna	150
3.2.6. Podsumowanie	152
3.3. Przepięcia ziemnozwarciowe w kompensowanych sieciach średnich napięć – teoria i badania symulacyjne.....	153
3.3.1. Wstęp	153
3.3.2. Przepięcia w ujęciu analitycznym	154
3.3.3. Model symulacyjny sieci i zwarcia łukowego.....	157
3.3.4. Wyniki badań symulacyjnych przepięć.....	158
3.3.5. Podsumowanie	161
3.4. Analiza wymagań normatywnych certyfikacji modułów PV z krzemu krystalicznego	164
3.4.1. Wstęp	164
3.4.2. Wymagania ogólne.....	164
3.4.3. Metody badań w zakresie bezpieczeństwa.....	167
3.4.4. Metody badań w zakresie jakości funkcjonowania	171
3.4.5. Podsumowanie	175
Rozdział IV. Ekorozwój.....	177
4.1. Wpływ człowieka na środowisko przyrodnicze.....	178
4.1.1. Wstęp	178
4.1.2. Człowiek w środowisku przyrodniczym	178
4.1.3. Niekorzystne skutki działalności człowieka.....	180
4.1.4. Pozytywny wpływ człowieka na środowisko.....	185
4.1.5. Podsumowanie	188
4.2. Innowacje ekologiczne w przedsiębiorstwie	190
4.2.1. Wstęp	190
4.2.2. Pojęcie, zakres i rodzaje ekoinnowacji.....	191
4.2.3. Zarządzanie ekoinnowacjami w przedsiębiorstwie	194
4.2.4. Technologie ochrony środowiska a ekoinnowacje.....	197
4.2.5. Podsumowanie	198

Przedmowa

Idea ochrony środowiska jest wystarczająco stara aby była integralną częścią działań jednostek i państw, a zarazem dostatecznie młoda by nadal ją zgłębiać i udoskonalać. Początki tej niezwykle ważnej idei sięgają drugiej połowy XIX wieku. Świadomość, że naturalne środowisko człowieka potrzebuje ochrony powstała w reakcji na proces postępującej degradacji środowiska.

Ze względu na to, że wszelka działalność człowieka wpływa na jego otoczenie, ochrona środowiska jest ściśle związana z dążeniem do optymalizacji produkcji i zysków. Wiąże się to z innowacjami oraz ze zrównoważonym zużyciem surowców. Dlatego wprowadzanie innowacji ekologicznych jest tak istotne. Do głównych celów innowacji przyjaznych środowisku należy przede wszystkim zmniejszenie zanieczyszczenia naszego środowiska i efektywne wykorzystanie zasobów naturalnych, w tym technologii bazujących na odnawialnych źródłach energii. Wprowadzenie ich jest konieczne zarówno w przedsiębiorstwach, które mają znaczny wpływ na poziom zanieczyszczenia środowiska jak i w pojedynczych gospodarstwach domowych. Pojedyncze jednostki nie zmieniają znacząco stanu środowiska, lecz w skali globalnej niezwykle silnie na nie oddziałują. Niestety, oddziaływanie to nie zawsze jest pozytywne. W konsekwencji współczesny świat stoi przed wieloma poważnymi wyzwaniami, takimi jak zmiana klimatu, wyczerpywanie się zasobów naturalnych czy zanik różnorodności biologicznej. Potrzebne są zatem nieszablonowe rozwiązania oraz technologie, które przyniosą środowisku wyraźne i długofalowe korzyści.

Niniejsza monografia jest próbą odpowiedzi na wyzwania czekające ludzkość związane z poprawą środowiska naturalnego człowieka. Została podzielona na cztery główne obszary:

1. Innowacyjne badania w elektroenergetyce;
2. Energetyka prosumencka;
3. Nowoczesne technologie;
4. Ekorozwój.

Autorzy przedstawili w nich swoje własne przemyślenia i doświadczenia, często skutkujące nowymi metodami i patentami w tych dziedzinach. Zapraszam i zachęcam wszystkich do owocnej lektury.

Dariusz Całus

Foreword

The idea of environmental protection is old enough to be an integral part of the undertakings of individuals and countries alike. At the same time it is still young enough to be further explored and improved.

This very important idea dates back to the second half of the 19th century. Awareness of the need to protect our natural environment resulted from the reaction to the process of advancing degradation of the natural environment, which poses a threat to the existence of life on Earth.

Due to the fact that all human activity has an impact on the planet, environmental protection is tightly connected with the need for optimization of the production process. This in turn makes environmental protection a crucial part of innovation and the sustainable exploitation of natural resources. That is why introduction of ecological innovations plays such an important role.

The main objectives of environment friendly innovation involve the reduction of environmental pollution and the effective use of natural resources including technologies based on renewable energy sources. The introduction of such technologies in companies that have a huge impact on the level of environmental pollution is essential. It is also very important to introduce these technologies in households, which on a global scale also influence the state of the environment. As the influence has not always been positive, the world now faces numerous challenges like climate change, depletion of natural resources and loss of biological diversity. In view of the above it becomes obvious that unconventional solutions and technologies are needed in order to effectively combat negative changes in the environment.

The present monograph is an attempt to respond to the challenges of improving the natural environment, and has been divided into four main areas:

1. Innovative research in power engineering;
2. Prosumer power energy;
3. Modern technologies;
4. Ecological development.

The Authors have presented their own theories and experience, which often resulted in the development of new methods and patents in the researched areas. I therefore strongly encourage you to acquaint yourself with the monograph and wish you a pleasant read.

Dariusz Całus

Rozdział I. INNOWACYJNE ROZWIĄZANIA W ENERGETYCE

Innowacyjne rozwiązania w energetyce nie tylko stwarzają możliwość pozyskania nowych źródeł energii, ale dają również możliwości rozwoju dla przedsiębiorstw, które poprzez wprowadzenie rozwiązań przyjaznych środowisku mogą obniżyć koszty działalności oraz spowodować, że przewaga konkurencyjna i wizerunek firmy staną się bardziej korzystne. Potrzeba ekoinnowacji może skłonić przedsiębiorców do opracowania zrównoważonych rozwiązań, pozwalających lepiej spożytkować cenne zasoby oraz ograniczyć negatywne oddziaływanie gospodarki na środowisko. Ekoinnowacje są więc elementem, który w znacznym stopniu pozwala efektywniej gospodarować zasobami, a tym samym przyczyniać się do wzrostu gospodarczego, który nie powoduje dewastacji naturalnego środowiska. Podczas projektowania i wdrażania każdej innowacji należy pamiętać by była ona korzystna dla środowiska naturalnego człowieka. Główne trendy w innowacyjnych technologiach w energetyce to magazynowanie energii oraz procesy generowania, dystrybucji i konwersji energii elektrycznej. Związane są one ze stale rosnącym zapotrzebowaniem na energię elektryczną. Przykładem może być rozwijający się w dość szybkim tempie transport o napędzie elektrycznym, który w niedalekiej przyszłości wygeneruje nową grupę odbiorców. Jedną z ważnych zalet nowoczesnych technologii opartych na ekologicznych rozwiązaniach jest to, że w znaczny sposób przyczyniają się do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych i produktów spalania do atmosfery. W konsekwencji prowadzi to do zmniejszenia efektu cieplarnianego i ochrony czystości powietrza.

W niniejszym rozdziale przedstawiono kilka istotnych aspektów związanych z nowymi badaniami w elektroenergetyce. Dotyczą one między innymi magazynowania energii elektrycznej, nowych materiałów nanostrukturalnych przeznaczonych do zastosowania w superkondensatorach, wykorzystania wysokoobrotowego turbogeneratora do generowania energii elektrycznej oraz modelowania funkcjonowania ogniw i paneli fotowoltaicznych.

Krystian Szczepański

1.1. PORÓWNANIE SYSTEMÓW MAGAZYNOWANIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ*

1.1.1. WSTĘP

Magazynowanie energii jest procesem o coraz większym znaczeniu dla każdego człowieka oraz w przemyśle. Zwiększające się zapotrzebowanie na energię poprzez stosowanie coraz bardziej skomplikowanych układów lub urządzeń o zwiększonym poborze mocy, wymusza stały rozwój i ulepszanie technologii oraz sposobów magazynowania energii. W związku z próbami obniżania szkodliwych dla środowiska substancji trujących będącymi efektem ubocznym produkcji energii, coraz większą popularność zdobywają odnawialne źródła energii oraz sposoby magazynowania energii zgromadzonej z tych źródeł i nie tylko.

Najczęściej spotykane zasobniki energii:

- elektrownie szczytowo-pompowe;
- baterie akumulatorów;
- kompresyjne zasobniki energii;
- kinetyczne zasobniki energii;
- superkondensatory;
- ogniwa paliwowe;
- nadprzewodnikowe magnetyczne zasobniki energii.

Porównanie wybranych technologii magazynowania energii pod względem sprawności, gęstości energii, okresu eksploatacji i czasu rozładowania przedstawiono w tabeli 1.1.1.

Cel magazynowania energii elektrycznej:

- poprawa efektywności wytwarzania energii;
- lepsza sprawność zarządzania systemami produkcji i przesyłu;
- poprawa jakości energii;
- lepsze wykorzystanie odnawialnych źródeł energii;
- niezawodność zasilania (źródła dodatkowej energii, ilość akumulowanej energii);
- zmniejszenie kosztów przerw w dostawie energii;
- zapewnienie dostaw energii elektrycznej.

***Autorzy:** dr inż. Dariusz CAŁUS, Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny, Instytut Elektrotechniki Przemysłowej, Zakład Maszyn i Napędów Elektrycznych, e-mail: dc@el.pcz.czyst.pl.

mgr inż. Zbigniew GAŁUSZKIEWICZ, MEGATECH, ul. Powstańców Śląskich 4, 42-660 Kalety, e-mail: megatech@megatech.org.pl.

mgr inż. Patryk GAŁUSZKIEWICZ, Politechnika Częstochowska, Instytut Elektrotechniki Przemysłowej, ul. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa, e-mail: patryk.galuszkiewicz@gmail.com.

Tab. 1.1.1. Porównanie technologii magazynowania energii pod względem sprawności, gęstości energii, okresu eksploatacji i czasu rozładowania [1]

Technologia	Sprawność, %	Gęstość energii, Wh/kg	Gęstość mocy, W/kg	Okres eksploatacji, cykle lub lata	Samo rozładowanie
Superkondensatory	85-98	5-12	2 000-10 000	500 000 cykli	5%/dzień
Nadprzewodzące ZE	90-95	30-65	300-600	30 lat	pomijalne
Akumulatory kwasowo-ołowiowe	75-90	35-50	75-300	5 lat (1500 cykli)	2-5%/m-c
Akumulatory niklowo-kadmowe	60-83	10-75	150-300	1 500-9 000 cykli	5-20%/m-c
Akumulatory litowo-jonowe	75-92	150-200	200-315	>15 lat (5 000 cykli)	~1%/m-c
Akumulatory sodowo-siarkowe	75-85	150-240	100-280	2 500 cykli	~1%/m-c
Baterie cynkowo-bromowe	60-70	50-75	75-90	10-20 lat (>1 500 cykli)	pomijalne
Baterie VRB	75-85	30-50	1 200-3 000	10-15 lat (>10 000 cykli)	pomijalne
Ogniwa paliwowe PAFC	36-45 (tylko rozładowanie - generacja)	5-15	11 000	20 lat	nie ma
Ogniwa paliwowe PEFC	50-55 (bez kogeneracji, tylko generacja)	20-50	3 000-5 000	20 lat	nie ma
Ogniwa paliwowe SOFC	50-55 (bez kogeneracji, tylko generacja)	20-50	?	20 lat	nie ma
Elektrownie wodne pompowe	70-85	10	-	~30 lat	pomijalne
Pneumatyczne ZE	65-80	5-50	-	30 lat	pomijalne
Kinetyczne ZE (stalowe)	85-90	55	10 000	20 lat	nie ma
Kinetyczne ZE (kompozytowe)	90-95	870	-	20 lat	nie ma

1.1.2. METODY I SPOSOBY MAGAZYNOWANIA ENERGII

Metody magazynowania energii można podzielić ze względu na:

- A. Bezpośrednią:
- magnetyczne;
 - elektryczne.
- B. Pośrednią:
- akumulatory;
 - koła zamachowe;
 - superkondensatory;
 - elektrownie szczytowo-pompowe, sprężone oraz ciekłe powietrze (proces zachodzący w elektrowni szczytowo-pompowej, polega na przekształceniu energii potencjalnej w elektryczną oraz odwrotnie. Sposób ten, wbrew pozorom nie jest wytwornikiem energii elektrycznej, spora jej część jest tracona (wartości rzędu 25–30%). Elektrownie tego rodzaju są jednak doskonałym i ogromnym magazynem energii. W przypadku sprężonego oraz ciekłego powietrza, proces wytworzenia energii elektrycznej działa na zasadzie napędzania turbiny, jednak dla powietrza w stanie ciekłym, najpierw musi zostać ono podgrzane, aby następnie napędzić turbinę wytwarzającą energię elektryczną);
 - nadprzewodnikowy zasobnik energii (SMES, gdzie energia magazynowana jest w polu magnetycznym wytworzonym przez prąd płynący w cewce);
 - piec solarny (piec, którego źródło energii stanowią promienie słoneczne. Dzięki wysokiej temperaturze może być stosowany m.in. do wytwarzania prądu elektrycznego).

Każdą z tych metod można również podzielić ze względu na ilość cykli ładowania oraz czas ładowania/rozładowania. Ze względu na ilość cykli ładowania i rozładowania można podzielić na:

- magazynowanie jednorazowe np. baterie;
- magazynowanie wielokrotne np. akumulatory, superkondensatory i inne rodzaje sposobów akumulowania energii.

Ze względu na czas magazynowania energii można je podzielić na:

- krótkookresowe – trwające od milisekund do dziesiątek sekund (superkondensatory, układy magnetyczne);
- średniookresowe – trwające w minutach (zasobniki wirujące wolno i wysokoobrotowe);
- długookresowe – trwające w godzinach (wszelkiego rodzaju baterie, akumulatory, oraz elektrownie wodne pompowo-szczytowe).

Z wcześniejszych podziałów sposobów magazynowania energii wynika, że można je realizować w różny sposób w zależności od efektu końcowego, który chce się uzyskać. Można zatem rozpatrywać podziały ze względu na:

- czas magazynowania energii,
- ilość zmagazynowanej energii,
- szybkość magazynowania energii.

Każda z technologii magazynowania energii elektrycznej posiada swoje zalety i wady w zależności od miejsca wykorzystania, ponoszonych nakładów finansowych i możliwości technologiczno-konstrukcyjnych, a także materiałowych. W tabeli 1.1.2. przedstawiono porównanie różnych sposobów magazynowania energii pod względem ich wad, zalet oraz perspektywy poprawy niektórych parametrów i koncepcji.

W dalszej części, zostaną przedstawione najbardziej perspektywiczne sposoby magazynowania energii, z punktu widzenia nowych technologii i możliwości techniczno-technologicznych wykonania takich magazynów. W związku z tym, że najbardziej powszechnym sposobem magazynowania energii są akumulatory np. ołowiowe, żelowe, litowo-jonowe, litowo-polimerowe itd., są one jedną z najtańszych metod i najbardziej różnorodną. Metoda ta dotyczy jednak, niezbyt dużych zespołów, ponieważ w przypadku zwiększania wartości napięcia lub pojemności, cena takich rozwiązań wyraźnie wzrasta. Mniej rozpowszechnioną, ale posiadającą perspektywiecznie duży potencjał, jest metoda magazynowania energii w superkondensatorach. Produkcja superkondensatorów w ostatnich latach wyraźnie się rozpowszechniła, więc ich jednostkowy koszt, wyraźnie spadł. Porównanie możliwości technicznych akumulatora, tradycyjnego kondensatora oraz superkondensatora przedstawiono w tabeli 1.1.3.

Tab. 1.1.2. Porównanie technologii magazynowania energii pod względem zalet, wad i usprawnień [1]

Technologie	Zalety	Wady	Potencjalne usprawnienia
Superkondensatory	duża gęstość mocy, długi okres eksploatacji, szybkie procesy ładowania	mała gęstość energii, wymaga zaawansowanej energoelektroniki, droga technologia	obniżenie kosztów, wzrost gęstości energii
Nadprzewodzące zasobniki energii	duża gęstość mocy	mała gęstość energii, znaczne potrzeby własne, droga technologia	obniżenie kosztów, wzrost gęstości energii, zwiększenie szybkości procesu ładowania
Akumulatory ołowiowe (kwasowo- ołowiowe)	dojrzała technologia, ogólnie dostępna, stosunkowo długi okres eksploatacji	wymaga obsługi i nadzoru technicznego, mała gęstość mocy i energii, kosztowny recykling, wpływ temperatury na pojemność baterii, wysokie napięcie głębokiego rozładowania	obniżenie napięcia głębokiego rozładowania, zwiększenie odporności na gradienty temperatury, procedury bezpiecznej eksploatacji w niektórych obiektach
Akumulatory niklowo-kadmowe (Ni-Cd)	dojrzała technologia, duża odporność mechaniczna, duża gęstość energii, długi okres eksploatacji	droga technologia, toksyczne materiały	obniżenie kosztów, usprawnienie procesów recyklingu
Akumulatory litowo-jonowe (Li-ion)	duża gęstość mocy i energii, wysoka sprawność	technologia na etapie rozwoju, droga, „trudna” w eksploatacji	obniżenie kosztów, usprawnienie procesów kontroli (nadzór), zwiększenie odporności na gradienty temperatury
Akumulatory sodowo-siarkowe (Na-S)	dojrzała technologia; duża gęstość mocy i energii, wysoka sprawność	droga technologia, wysoka temperatura pracy	obniżenie kosztów
Akumulatory cynkowo-bromowe (Zn-Br)	duża gęstość mocy i energii, przeznaczenie do dużych aplikacji	technologia na etapie rozwoju, duże koszty utrzymania w ruchu, łatwo korodujące i toksyczne materiały	obniżenie kosztów, usprawnienie procesów kontroli (nadzór), poprawa procedur bezpiecznej eksploatacji
Akumulatory wanadowe (VRB)	duża gęstość mocy i energii, przeznaczenie do dużych aplikacji	technologia na etapie rozwoju, droga, trudna standaryzacja	obniżenie kosztów, standaryzacja
Ogniwa paliwowe	stosunkowo duża sprawność, możliwość kogeneracji (ogniwa wysokotemperaturowe)	droga technologia (drogie katalizatory), trudne w produkcji paliwo (wodór), materiały wrażliwe na zanieczyszczenie związkami siarki, nieprzełączalność prądowa	obniżenie kosztów
Elektrownie wodne pompowe	dojrzała technologia, duża gęstość energii i mocy	ograniczenia lokalizacji, wysokie koszty inwestycyjne, długi czas budowy, raczej dla dużych mocy	poprawa sprawności hydrozespołów wodnych
Pneumatyczne zasobniki energii	dojrzała technologia, duża gęstość energii i mocy	ograniczenia geograficzne i geologiczne lokalizacji, dostępność paliw, wysokie koszty inwestycyjne, długi okres budowy, dedykowana raczej dla większych mocy	zastosowanie procesów adiabatycznych, dzięki czemu możliwa będzie całkowita eliminacja zużycia paliwa
Kinetyczne zasobniki energii	duża gęstość mocy, długi okres eksploatacji, szybkie procesy ładowania	mała gęstość energii, znaczne straty przy pracy w gorącej rezerwie	obniżenie kosztów, zwiększenie gęstości energii

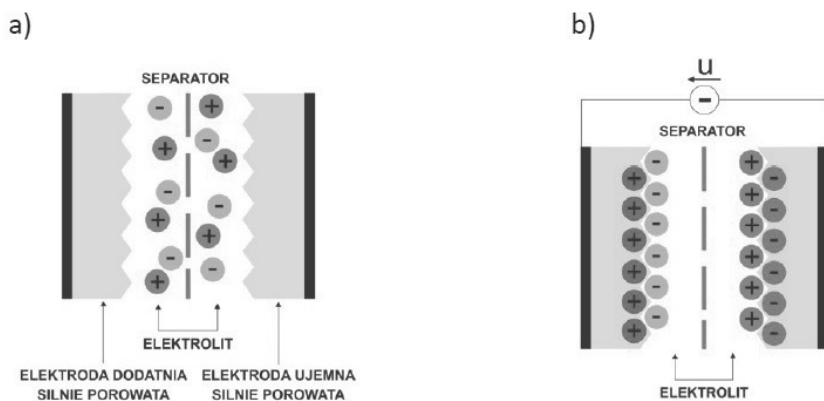
Tab. 1.1.3. Porównanie możliwości technicznych akumulatora, tradycyjnego kondensatora oraz superkondensatora [źródło: opracowanie własne]

	Akumulator	Tradycyjny kondensator	Superkondensator
Czas ładowania	1 do 8 h	10^{-3} do 10^{-6}	0,1 do 40 s
Czas rozładowania	1 do 6 h	10^{-3} do 10^{-6}	0,1 do 40 s
Energia Wh/kg	5 do 120	<0.2	1 do 15
Liczba cykli	800	>700000	550
Moc W/kg	<1000	120000	<11000
Sprawność	0.6 do 0.85	>0.96	0.8 do 0.95

Wybrane sposoby magazynowania energii:

A. Elektryczne – Superkondensatory

Superkondensatory posiadają specyficzną budowę zbliżoną do kondensatorów elektrolitycznych, a właściwościami w pewnym sensie przypominają akumulator oraz tradycyjny kondensator jednocześnie.



Rys. 1.1.1. Budowa i zasada funkcjonowania superkondensatora: a) chaotyczny rozkład ładunku elektrycznego w elektrolicie w kondensatorze rozładowanym, b) wytworzenie się warstw podwójnych w przypadku naładowania kondensatora [2]

Na rys. 1.1.1. a) przedstawiono superkondensator w stanie rozładowanym, gdzie oprócz elektrod ujemnej i dodatniej zbudowanych z wielościennych rurek nanowęglowych, można również zauważyć elektrolit i separator. Takie rozwiązanie elektrod pozwala na osiąganie gigantycznych powierzchni, przekraczających nawet 2 tys. m² na jeden gram elektrody, a to pozwala na osiąganie bardzo dużych pojemności – rzędu tysiące faradów. Ładunki ujemne i dodatnie znajdujące się w elektrolicie, są nieuporządkowane i wypełniają przestrzeń chaotycznie. Natomiast na rys. 1.1.1. b) znajduje się kondensator w stanie naładowanym, gdzie wytworzyły się dwie, podwójne strefy ładunków – ujemnych i dodatnich.

Zalety superkondensatorów:

- szybkie ładowanie – kilkadziesiąt sekund;
- wysoka liczba cykli – tysiąc razy więcej niż akumulatory dobrej jakości;
- wysoka moc właściwa przy stosunkowo małych wymiarach (4–5 razy większa niż dla akumulatorów);
- brak części ruchomych.

Wady superkondensatorów:

- wysokie ceny;
- spadek napięcia w trakcie rozładowywania;
- konieczność wyłączenia całego układu w przypadku uszkodzenia pojedynczego superkondensatora ze względu na dużą ilość połączeń szeregowo równoległych (jednostkowy superkondensator ma niskie napięcie od 1.1 do 2.5 V).

Z tabeli 1.1.4 wynika, że akumulator ma gorsze właściwości jako magazyn energii, w przypadku chęci wykorzystania go jako magazynu do szybkiego ładowania i rozładowania. Dla zastosowań, w których czas magazynowania nie odgrywa kluczowej roli, dużo korzystniejszym rozwiązaniem są akumulatory, które są zdecydowanie tańsze jako koszt inwestycji i w zakresie kosztów eksplo-

atacji. Gęstość energii liczona w Wh/kg dla akumulatorów i superkondensatorów o porównywalnej pojemności elektrycznej, jest dziesięć razy większa na korzyść akumulatorów. Pozostałe cechy porównywalnego magazynu energii, zbudowanego w oparciu o superkondensator, przemawiają na korzyść tego rozwiązania.

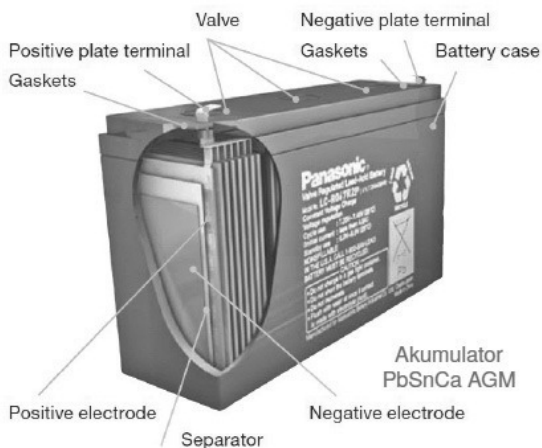
Tab. 1.1.4. Porównanie parametrów akumulatora i superkondensatora [2]

Model zasobnika energii		Akumulator	Superkondensator
Parametr	Oznaczenie i jednostka	Szereg. 4 x VRLA GP 1272	Równol. 6 x LSUM 050R4P 0166F EA
napięcie	U [V]	48	45 (max 50,5)
pojemność elektryczna	C_n [Ah]	7,2	7,86
rezystancja wewnętrzna	R_w [mΩ]	100	1,08
prąd ładowania	I_L [A]	2	588
gęstość mocy	P/m [W/kg]	74	287
gęstość energii	A/m [Wh/kg]	34,5	3,42
zakres temp. pracy	T [°C]	0 ÷ 40	-40 ÷ +65
ilość cykli ładowania	n [-]	1 000	1 000 000
czas ładowania	t_L [h]	14	0,013
pojemność kondensatora	C [F]	-	1000

Z najnowszych badań wynika, że specjaliści opracowali nową technikę produkcji grafenowych superkondensatorów. Wynikiem prac prowadzonych pod kierunkiem profesora Dana Li z australijskiego uniwersytetu Monash University jest skonstruowanie superkondensatora o pojemności 60 Wh/dm³ w porównaniu do uzyskiwanych obecnie zaledwie 5 Wh/dm³ [5].

B. Elektryczne – Akumulatory

Biorąc pod uwagę skalę rozpowszechnienia różnego rodzaju akumulatorów oraz ich pojemności, najbardziej przydatnymi do magazynowania energii są akumulatory typu ołowiowego, litowo-jonowe oraz litowo-polimerowe. Wśród akumulatorów ołowiowych możemy wyróżnić akumulatory typu Sealed Lead Acid (SLA, szczelne ołowiowo-kwasowe) lub Valve Regulated Lead Acid (VRLA, kwasowo-ołowiowe z zaworami regulacyjnymi). Te typy akumulatorów wykonywane są w dwóch technologiach – jako akumulatory żelowe oraz akumulatory Absorbed Glass Mat (AGM, elektrolit zaabsorbowany w separatorze z porowatej maty szklanej, rys. 1.1.2).



Rys.1.1.2. Przykład budowy akumulatora typu AGM [3]

Do znanych światowych producentów akumulatorów należą:

- BOSCH,
- YUASA,
- Panasonic,
- VARTA,
- FIAMM,
- Banner,
- DURACELL,
- EXIDE,
- NERBO.

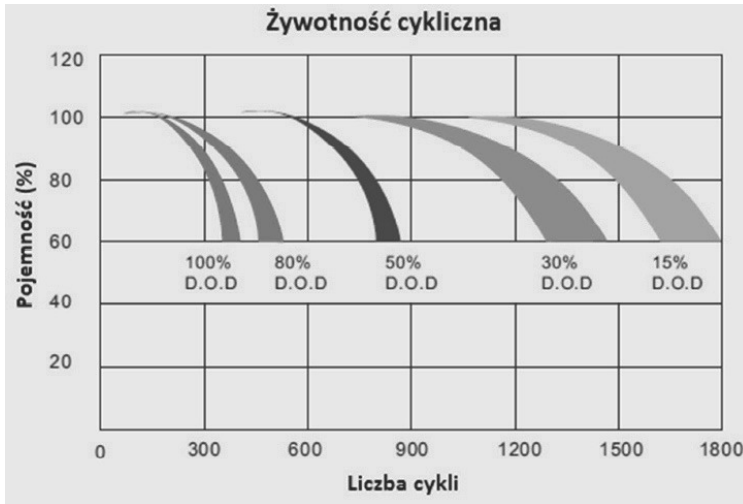
Znanymi polskimi producentami akumulatorów są:

- Centra,
- Jenox,
- ZAP.

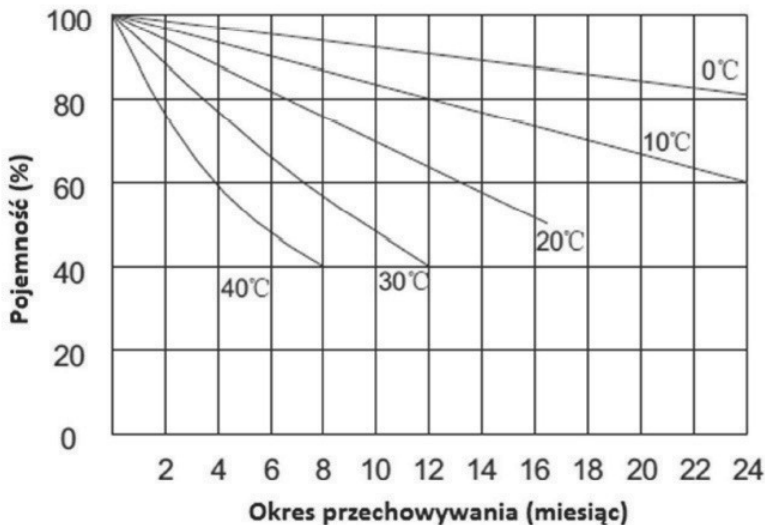
Jak wynika z przedstawionych w artykule materiałów, istnieje wiele rodzajów akumulatorów, jednak w obecnej chwili, najszersze zastosowanie w systemach magazynowania energii np. fotowoltaicznych, znajdują akumulatory kwasowo-ołowiowe. W mniejszym zakresie stosowane są akumulatory niklowo-kadmowe, litowo-jonowe oraz litowo-polimerowe. Każdy z tych rodzajów akumulatorów, posiada swoje plusy i minusy, niemniej jednak uwzględniając sprawność procesu ładowania i rozładowania wynoszący ok. 90%, sprawia, że akumulatory tego typu są w chwili obecnej jednymi z najbardziej przydatnych do magazynowania energii. Uwzględniając jednak, że na sam proces sprawności ma duży wpływ temperatura, stopień samorozładowania, rezystancja wewnętrzna, powodują, że ten proces staje się skomplikowany w dużych systemach akumulatorowych. Jednym z najbardziej istotnych powodów, sprawnego i długo-

trwałego działania baterii akumulatorowych, jest sam proces ładowania i rozładowania akumulatorów w bateriach akumulatorowych.

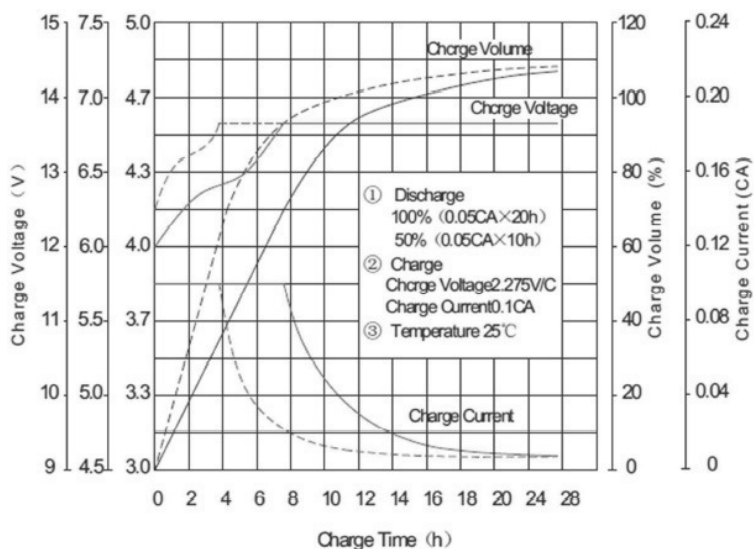
Przedstawione na rys. 1.1.3, rys. 1.1.4, rys. 1.1.5 i rys. 1.1.6 charakterystyki, pokazują zależności między warunkami ładowania oraz rozładowania akumulatorów na przykładzie charakterystyk firmy NERBO, dla akumulatora NBC 36-12i



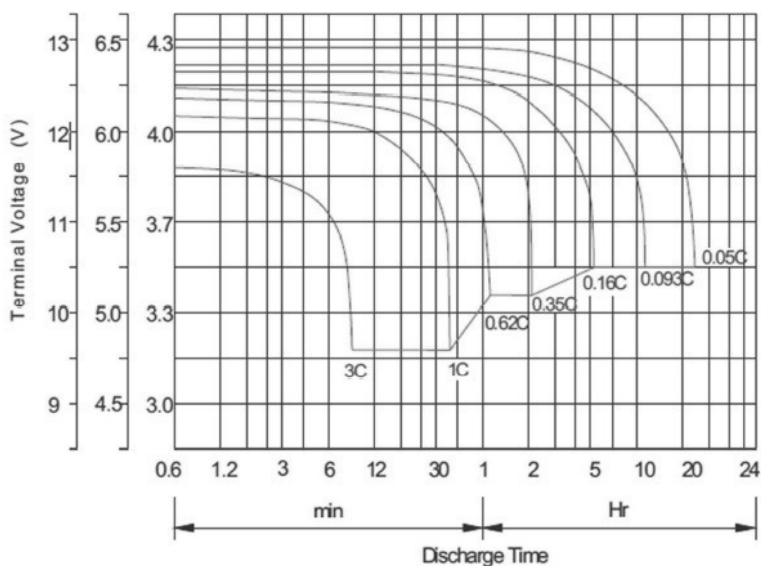
Rys.1.1.3. Żywotność cykliczna w zależności od głębokości rozładowania [4]



Rys.1.1.4. Samorozładowanie w czasie [4]



Rys.1.1.5. Charakterystyka ładowania [4]



Rys.1.1.6. Charakterystyka rozładowania [4]

Bardzo ważnym problemem w magazynowaniu energii w akumulatorach jest sposób ich ładowania. Z prób i testów wykonanych przez autorów, wynika że jedynym sposobem zapewniającym ładowanie do 100% pojemności oraz uzyskiwanie dużej ilości cykli ładowania/rozładowania, jest możliwy tylko

w przypadku kiedy każda jednostka akumulatora jest traktowana indywidualnie. Proces ten polega na dokładnym śledzeniu wartości prądów i napięć zalecanych przez producentów oraz temperatury w systemach ładowania zapewniających izolację galwaniczną dla każdej jednostki. W najczęściej spotykanych systemach, polegających na ładowaniu szeregowym kilku akumulatorów, tym samym prądem, warunki te są nie do spełnienia ze względu na indywidualne różnice między akumulatorami.

C. Theory Mechaniczne – Koła zamachowe

Z dotychczasowych rozwiązań stosowanych dla koła zamachowego wynika dążenie do uzyskiwania energii kinetycznej z obracającego się walca pełnego lub „grubościennej rury”. Ze wzorów wynika, że maksymalną energię w stosunku do objętości, uzyskuje się gdy R_w , dąży do R_z (gdzie: R_w jest to promień wewnętrzny walca, natomiast R_z stanowi promień zewnętrzny).

Energia kinetyczną zmagazynowana w grubościennej rurze określają wzory (1.1.1) i (1.1.2).

$$W_k = 0,5 \cdot J \cdot \omega^2 \quad (1.1.1)$$

gdzie: J – moment bezwładności wirującej rury; ω – prędkość kątowa wirującej masy ($\omega = 2\pi f$).

$$J = \frac{\pi \cdot l \cdot \rho \cdot (R_z^4 - R_w^4)}{2} \quad (1.1.2)$$

gdzie: l – długość lub wysokość walca; ρ – gęstość (np. dla stali wynosi $7,8 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$).

Chcąc zmagazynować np. 1 MWh ($3,6 \cdot 10^9 \text{ J}$), należy wyznaczyć wielkość masy wirującej, objętość oraz maksymalną prędkość obrotową na obwodzie walca, przy której dany rodzaj materiału jest w stanie wytrzymać maksymalne naprężenie na rozrywanie R_e . Maksymalną prędkość obrotową na obwodzie walca opisuje wzór (1.1.3).

$$v_{\max}^2 = \frac{R_e}{\rho} \quad (1.1.3)$$

Uwzględniając związek między prędkością obrotową, a prędkością na powierzchni, otrzymujemy zależność (1.1.4):

$$\omega_{\max}^2 = \frac{v_{\max}^2}{R_z^2} = \frac{R_e}{R_z^2} \cdot \rho \quad (1.1.4)$$

Z powyższej zależności wynika, że:

$$R_z = \sqrt{\frac{R_e}{\rho \cdot \omega^2}} \quad (1.1.5)$$

Przyjmując dla stali $\rho = 7800 \text{ kg/m}^3$ oraz $R_e = 1,69 \cdot 10^9 \text{ GPa}$, a także dla przykładowych wymiarów koła zamachowego $l = 2,4 \text{ m}$, $R_z = 1,1 \text{ m}$, $R_w = 0,5 \text{ m}$ oraz dla prędkości 4000 obr/min, otrzymujemy zgodnie z wzorem (1.1.5) R_z maksymalne dopuszczalne równe 1,1111 m oraz zgromadzoną energię 1,004 MWh.

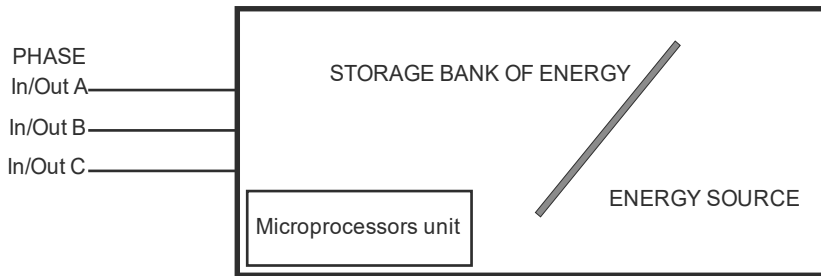
Przy zbudowaniu koła zamachowego z materiałów kompozytowych ($\rho = 1500 \text{ kg/m}^3$), o takich samych wymiarach, maksymalny możliwy zewnętrzny promień wynosi 3,01 m, ale energia zmagazynowana wynosi tylko 0,19 MWh. Z tego wynika, że zawsze konstrukcja tego typu, będzie wynikiem kompromisu między możliwościami technologiczno-konstrukcyjnymi, a maksymalną magazynowaną energią.

Biorąc pod uwagę doświadczenie autorów w zakresie konstrukcji wysokoobrotowych silników prądu stałego, typu PM BLDC, istnieje możliwość, zbudowania koła zamachowego i silnika bezszczotkowego jako ten sam podzespół. Wynika to z tego, że tego typu silniki, można budować również w wersji odwróconej (tzn. wewnętrzną częścią jest element uzwojony, stały, nieruchomy, a zewnętrzną częścią jest wirujący walec z magnesami – konstrukcja zbliżona do koła samochodowego z silnikiem wewnątrz niego).

1.1.3. MAGAZYNOWANIE ENERGII NA BAZIE KOŁA ZAMACHOWEGO Z PROPOZYCJĄ KONFIGURACJI CAŁEGO UKŁADU ENERGOELEKTRONICZNEGO WRAZ ZE STEROWANIEM.

Systemem przetwarzania i zwrotu energii do sieci energetycznej (rys. 1.1.7) przeznaczony jest do przetwarzania nadmiaru energii elektrycznej w sieci energetycznej na energię mechaniczną – zmagazynowaną w wirujących masach wirnika silnika elektrycznego i połączonego z nim koła zamachowego oraz do przetwarzania tej energii ponownie na energię elektryczną i przekazywania jej do sieci energetycznej.

System ten pozwala na zmagazynowanie energii o wartościach dochodzących do kilku MWh (50 kWh – 5 MWh). Konstrukcja magazynu energii, oparta jest o bloki funkcjonalne zamknięte w kontenerze. Na zewnątrz kontenera wychodzą wyprowadzenia tylko trzech faz, wyprowadzenia te spełniają funkcję wejścia i wyjścia dla energii magazynowanej i odzyskiwanej z magazynu.



Rys.1.1.7. Schemat poglądowy magazynu energii [źródło: opracowanie własne]

System przetwarzania i zwrotu energii do sieci energetycznej zawiera:

- baterię elektromechaniczną;
- transformator;
- prostownik wejściowy;
- falownik wejściowy;
- prostownik średniej częstotliwości;
- falownik wyjściowy;
- układ sterowania.

Baterię elektromechaniczną stanowi wysokoobrotowy bezszczotkowy silnik prądu stałego – PM BLDC, którego wirnik, korzystnie, zaopatrzony jest w koło zamachowe.

Transformator zaopatrzony jest w:

- wejście/wyjście średniego i wysokiego napięcia, które jest przeznaczone do połączenia ze źródłem energii (pochodzącej w zależności od miejsca zainstalowania systemu z: generatora np. napędzanego wiatrakami, ogniwa fotowoltaicznego, wytwornicy energii elektrycznej z biogazu itp.);
- wyjście doładowania, które przeznaczone jest do połączenia z torem doładowywania energii oraz wejście odzyskiwania, przeznaczone do połączenia z torem odzyskiwania energii.

Prostownik wejściowy stanowi element z regulowanym napięciem na wyjściu, który jest elementem toru doładowania energii.

Falownik wejściowy stanowi urządzenie umożliwiające sterowanie silnika PM BLDC poprzez:

- utrzymanie stałej wartości napięcia zasilania ze zmianą współczynnika wypełnienia PWM;
- utrzymanie stałego współczynnika wypełnienia ze zmianą napięcia zasilania;
- jednoczesną zmianę obu tych parametrów – jest elementem toru doładowania energii.

Prostownik średniej częstotliwości, stanowi element toru odzyskiwania energii jest prostownikiem pracującym z częstotliwością znacznie większą od 50 Hz dostosowaną do częstotliwości pracy PM BLDC – w fazie generowania energii – od maksymalnej do minimalnej prędkości wirnika. Korzystnie utrzy-

mujący na wyjściu stabilną wartość częstotliwości i napięcia przy zmieniających się w szerokim zakresie wartościach częstotliwości i napięcia na jego wejściu. Prostownik ten umożliwia wytworzenie napięcia na wyjściu o wartości nominalnej dla pracy falownika wyjściowego. Prędkość maksymalna wirnika zależy od wytrzymałości mechanicznej zaś prędkość minimalna wirnika dobierana jest w zależności od poziomu częstotliwości i napięcia przy których możliwa jest jeszcze prawidłowa praca falownika wyjściowego.

Falownik wyjściowy, stanowi końcowy element toru odzyskiwania energii. Przeznaczony jest do wytwarzania prądu o częstotliwości 3x50 Hz i napięciu o wartości dopasowanej do wejścia odzyskiwania transformatora.

Układ sterowania przeznaczony jest do wybierania rodzaju pracy układu (doładowanie albo odzyskiwanie energii) oraz do utrzymania odpowiednich parametrów pracy poszczególnych elementów systemu. Elementy systemu według wynalazku połączone są ze sobą następująco:

- układ we/wy wysokiego napięcia transformatora połączony jest z siecią energetyczną;
- wyjście toru zasilania połączony jest poprzez prostownik wejściowy i falownik wejściowy z zaciskami silnika PM BLDC, z którymi połączony jest również prostownik średniej częstotliwości;
- prostownik średniej częstotliwości poprzez filtr wygładzający i falownik wyjściowy połączony jest z wejściem transformatora stanowiącym wejście toru odzyskiwania energii.

Pracę systemu zapewnia układ sterowania, który kontroluje moc zapotrzebowaną w sieci i w razie jej nadmiaru łączy silnik, poprzez tor doładowania energii, z siecią energetyczną, jednocześnie odłączając tor odzyskiwania energii od silnika. W przypadku niedoboru energii w sieci, system odłącza silnik od sieci energetycznej poprzez odłączenie toru doładowania energii, a przyłącza tor odzyskiwania energii do silnika, który przechodzi w układ generatora prądu. W pierwszym przypadku rozpędzany jest silnik baterii elektromechanicznej w celu zmagazynowania energii w wirniku silnika i kole zamachowym, natomiast w drugim przypadku z baterii elektromechanicznej, poprzez tor odzyskiwania energii i transformator, zasilą zewnętrzną sieć elektroenergetyczną. Ponadto sterownik układu sterowania zaopatrzone jest w wejścia sygnałowe pomiarowe połączone odpowiednio z sygnałowymi wyjściami pomiarowymi parametrów:

- prostownika wejściowego;
- falownika wejściowego;
- silnika PM BLDC;
- prostownika średniej częstotliwości;
- falownika wyjściowego;

oraz w wyjścia sygnałowe sterujące, które są połączone odpowiednio z wejściami sygnałowymi sterującymi:

- prostownika wejściowego;
- falownika wejściowego;
- silnika PM BLDC;
- prostownika średniej częstotliwości;
- falownika wyjściowego.

Sterownik w zależności od wartości parametrów wejściowych kształtuje odpowiednio (poprzez przekazywanie sygnałów wyjściowych) charakterystyki nadzorowanych elementów systemu.

1.1.4. PODSUMOWANIE

Biorąc pod uwagę ilość magazynowanej energii liczonej w Wh/kg, koła zamachowe pozwalają na zmagazynowanie największych ilości energii w krótkim czasie ponieważ mają dużą masę własną. Z analizy danych przedstawionych w artykule i uwzględniając parametry osiągnięte przez superkondensatory, akumulatory i magazyny kinetyczne wynika że, pod względem sprawności superkondensatory wypadają korzystniej od magazynów kinetycznych. W przypadku akumulatorów sprawność jest niższa niż w omawianych superkondensatorach. Jednak gdy weźmie się pod uwagę proces samo rozładowania to akumulatory wypadają korzystniej. Natomiast w przypadku koła zamachowego strata energii w tym samym procesie jest pomijalnie mała ponieważ ogranicza się do efektu wentylatorowego oraz strat na łożyskowaniu.

Opisany układ kinetycznego magazynu energii został zgłoszony do opatentowania ze względu na niekonwencjonalne wykorzystanie silnika PM BLDC jako wirującej masy, a jednocześnie stanowiącego napęd w postaci silnika oraz prądnicy do odzyskiwania energii.

Możliwe są różne wersje wykonania dostosowane do konkretnych zastosowań np.:

- magazynowanie energii w trybie nocnym, a odzyskiwanie w czasie dnia, (zakłady pracy, które pracują na jedną zmianę, a zużywają dużo energii);
- magazynowanie energii w dzień z baterii fotowoltaicznych, a wykorzystanie jej w godzinach nocnych, (np. zasilanie lotniska w Afryce);
- magazynowanie energii z wiatraków, gdy jest jej nadmiar, a wykorzystanie kiedy jest zwiększone zapotrzebowanie (np. tryb nocno-dzienny);
- wykorzystanie jako dużego UPS'a;
- w takich przypadkach, gdzie można w dłuższym okresie czasu magazynować energię z małego źródła energii, a wykorzystanie jako źródła dużej energii w krótkim okresie czasu (możliwe jest przeciążenie do 7 razy w stosunku do mocy nominalnej silnika PM BLDC).

Analizując efektywność systemu pod względem ekonomicznym i zakładając że, różnica w cenie energii między dniem a nocą wynosi 40 groszy/kWh oraz że zmagazynujemy np. 1 MWh (1 000 kWh), otrzymano:

$$1\ 000 \times 0,4 \text{ zł} = 400 \text{ zł/dzień}$$
$$400 \times 30 \text{ dni} \times 12 \text{ miesięcy} = 144\ 000 \text{ zł/rok}$$

W przypadku energii z ogniw fotowoltaicznych czy wiatraków nie magazynowana energia przepada bezpowrotnie. Zakładając sprawność układu na poziomie 85%, co z dotychczasowych doświadczeń z tego typu układami wydaje się realną wartością, jest wyjątkowo korzystne.

Mając na uwadze ostatnie osiągnięcia w zakresie produkcji superkondensatorów i możliwości bezpośredniego wykorzystania silnika PM BLDC w odwróconej wersji, te dwa typy magazynowania dużych ilości energii mają najbardziej obiecujące perspektywy.

Ciągły rozwój technologii wytwarzania superkondensatorów sprawia, że właśnie ten sposób magazynowania energii ma duże szanse zastąpić w przyszłości wiele zastosowań dotychczas zastrzeżonych dla akumulatorów.

LITERATURA

- [1] J. Paska, Generacja rozproszona z wykorzystaniem hybrydowych układów wytwórczych, *Energetyka*, czerwiec 2013, s. 460
- [2] K. Bednarek, EVER Power Systems – Akumulatory czy superkondensatory – zasobniki energii w UPS-ach, *Elektro.info*, nr 1–2, 2012, ISSN 1642-8722, s. 54–57.
- [3] Ł. Starzak, Przetwarzanie energii elektrycznej w fotowoltaice, zima 2014/15.
- [4] Karta katalogowa firmy NERBO – dla produktu NBC 36-12i
- [5] Monash University <http://monash.edu/news/releases/show/soft-approach-leads-to-revolutionary-energy-storage>

1.2. NOWE MATERIAŁY NANOSTRUKTURALNE W ASPEKTCIE ZASTOSOWANIA W MAGAZYNACH ENERGII.*

1.2.1. WSTĘP

W celu optymalizacji i zwiększenia wykorzystania urządzeń wyposażonych w magazyny energii (w urządzeniach mobilnych, w magazynach stacjonarnych w sieciach elektroenergetycznych) lub zastosowanie ich w nowych, dziś niewykorzystywanych dziedzinach życia, należy poszukać innowacyjnych rozwiązań technologicznych lub znacznie poprawić te obecnie stosowane.

Polska wraz z innymi krajami świata stoi przed wieloma ważnymi dla ochrony naszego środowiska naturalnego ekoinnowacyjnymi przedsięwzięciami. Powstają odpowiednie akty prawne egzekwujące poszanowanie energii wytwarzanej w każdej postaci. Przykładem może być tu podpisanie Protokołu z Kioto do Ramowej konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu, sporządzonego w dniu 11 grudnia 1997 r., lub wydana Ustawa „Prawo Energetyczne” z dnia 10 kwietnia 1997 r. i późniejsze zmiany, która w zakresie swojej regulacji dokonuje także wdrożenia dyrektyw Wspólnot Europejskich. Kolejnym przykładem może być dokument zatytułowany: „Polityka Energetyczna Polski do 2030 roku”, przyjęty przez Radę Ministrów 10 listopada 2009 r. oraz ustawa „O efektywności energetycznej” z dnia 15 kwietnia 2011 r.

Ważnym aspektem jest możliwie szerokie wykorzystanie OZE. Jednak doświadczenie pokazuje, że posiadanie nawet wielu niezależnych OZE nie gwarantuje dostarczenia do sieci energii w ilości oraz o czasie pożądanym przez sieć elektroenergetyczną. Wynika to z faktu, że niektóre odnawialne źródła energii są zależne od warunków zewnętrznych, takich jak pogoda (w tym wiatr, ilość słońca), czy pory roku oraz godzin, w których dane źródło jest dostępne [4].

Nowe materiały nanostrukturalne i nowatorskie sposoby ich wykorzystywania pozwalają wyeliminować najbardziej toksyczne materiały, które do tej pory są stosowane w niektórych rozwiązaniach. Stosując nowe rozwiązania mamy zatem pozytywne aspekty zarówno w sferze parametrów użytkowych, jak i ochrony środowiska [1], [2], [3].

Niniejsze opracowanie ma charakter wybiórczego wskazania wybranych technologii magazynowania energii i zestawienia ich z możliwościami magazynu-

**Autorzy: dr inż. Sylwia CALUS, Politechnika Częstochowska, Instytut Informatyki, ul. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa, e-mail: silvia.calus@gmail.com;
prof. dr hab. Andriy KITYK, Politechnika Częstochowska, Instytut Informatyki, ul. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa, e-mail: andriy.kityk@univie.ac.at;
mgr Piotr CHABECKI, NNS sp z o.o. ul. Słowackiego 7/20, 56-120 Brzeg Dolny, e-mail: pchabecki@wp.pl;
dr inż. Paweł FIGAT, Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy, Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami, ul. Chmielna 132/134, 00-805 Warszawa, e-mail: pawel.figat@kobize.pl.*

nowania energii przez kondensatory nanostrukturalne. Przedstawia kilka istotnych aspektów związanych z zastosowaniem nowych materiałów nanostrukturalnych w magazynach energii. Dotyczą one możliwości budowy nowych magazynów, o znacznie większych gęstościach energii i mocy, co przekłada się na ich parametry użytkowe. W związku z tym przedstawiono przykładowe koncepcje budowy magazynów energii we wszelkiego rodzaju urządzeniach magazynujących energii oraz w sieciach elektroenergetycznych, przemyśle i procesach produkcyjnych. Podano również przykładowe rozwiązania praktyczne budowy pojedynczych modułów (ogniw) w oparciu o rozwiązania i wyniki badań, które powstały przy współpracy Politechniki Częstochowskiej, Politechniki Lwowskiej, Drexel University w Filadelfii oraz firmy NNS Sp z o.o..

1.2.2. CEL MAGAZYNOWANIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Magazyny energii są niezmiernie istotnymi komponentami w technice, zarówno w aspekcie poprawy samego sygnału w sieci elektromagnetycznej, zasilania pojedynczych urządzeń, jak i całych systemów technologicznych, czy linii produkcyjnych. Są niezbędne do optymalnego wykorzystania zasobów elektroenergetycznych oraz stabilizacji w czasie mocy dostarczanych do poszczególnych odbiorników energii.

Obecny stan wskazuje jednak jednoznacznie na potrzebę powstania nowych, lepszych magazynów energii. Takich o większych gęstościach energii i mocy.

Poprawa efektywności wytwarzania energii

Dzięki magazynom energii potrafimy, wykorzystując nawet stosunkowo małe ich pojemności, ale dobrze rozproszone, możemy znacząco poprawić sprawność uzyskania energii. Problem jest znaczny i wynika z niestabilności pozyskiwania energii z niektórych OZE, co jest szczególnie widoczne w krajach o lepiej rozwiniętej strukturze odnawialnych źródeł energii, na przykład w Niemczech, gdzie bywają godziny, w których cena za energię dostarczaną do sieci jest ujemna. Wpływają na to wysokie poziomy wiatru wraz z niskim okresowym (np. przedświątecznym) zużyciem energii. Od 22 grudnia do 25 grudnia 2014 r. każdego dnia w godzinach porannych mieliśmy do czynienia z ujemnymi cenami. Najwięcej musieli dopłacać sprzedający energię w poniedziałek 22 grudnia. Konkludując, sprzedawcy energii dopłacali, aby ktoś zużył wyprodukowaną energię.

Lepsza sprawność zarządzania systemami produkcji i przemysłu

Odpowiednio dobierając magazyny energii elektrycznej można znacznie lepiej zarządzać zużyciem energii w procesach produkcyjnych. W niektórych przypadkach nawet o kilkadziesiąt procent można zmniejszyć dostarczaną moc. Bywa tak w zakładach produkcyjnych, w których pobierane moce chwilowe są znaczne, choć w krótkich impulsach czasowych. Odpowiednio dobrane parametry magazynów pozwalają w takich przypadkach znacząco obniżyć koszty infrastruktury oraz znacząco ją ograniczyć. Dodatkowo odpowiednio skomponowane bufony w systemach sieci elektroenergetycznej pozwolą na uniknięcie kar finansowych zarówno dla użytkowników jak i dostawców energii elektrycznej.

Poprawa jakości energii

Istnieje wiele aspektów związanych z poprawą jakości energii. Np. norma dotycząca składowych harmonicznych – PN – EN 50160. Stosuje się np. rozmaite filtry aktywne, pasywne czy hybrydowe. Jednak większość działań związana jest z jakością sygnału – jego oczyszczeniem lub chwilowym uzupełnieniem. Ze względów cenowych i technologicznych nie stosuje się przy większych energiach systemów podtrzymania sygnału w przypadku jego braku. Akumulatory są zbyt wolne, a kondensatory, czy superkondensatory cały czas zbyt duże i zbyt drogie oraz wymagające specjalnego sterowania ze względu na zmienny poziom napięcia w zależności od ilości zgromadzonego ładunku. W przypadku powszechnego stosowania magazynów opartych o superkondensatory, zwłaszcza u klientów końcowych, można znacznie poprawić sprawność rzeczywistą wykorzystania energii. Odpowiednio dobrane systemy podawcze oraz odbiorcze (np. urządzenia z zasilaczami impulsowymi) mogą być oczyszczane z zakłóceń, które po stronie pierwotnej będą stanowiły pomijalnie małą wartość. Ponadto współczesna elektronika użytkowa posiadająca głównie zasilanie impulsowe mogłaby pobierać energię z bufora, co mogłoby zwiększyć efektywność wykorzystania energii, przy jednoczesnym zwiększonym tłumieniu zakłóceń wynikających z działania przetwornic impulsowych (obecnie jest to bardzo duży problem zwłaszcza w sieciach, w które wpięte jest wiele urządzeń tego typu).

Lepsze wykorzystanie odnawialnych źródeł energii

Niektóre odnawialne źródła energii ze względu na zasadę pozyskiwania energii o zmiennych parametrach ilościowych (np. elektrownie wiatrowe), wymagają odbierania energii w czasie wiania wiatrów. Natomiast w czasie, gdy wiatr nie występuje nie ma możliwości wygenerowania energii z takiego źródła, nawet gdy istnieje zapotrzebowanie na energię do sieci elektroenergetycznej.

Stosując odpowiednio dynamiczne magazyny energii, potrafiące w krótkim czasie pobrać lub oddać zgromadzoną energię, możemy zarówno buforować energię pochodzącą z OZE, jak i z sieci elektroenergetycznej.

Przy dostatecznie dużej skali bufony mogłyby posłużyć również w innych systemach OZE, np. dla farm fotowoltaicznych. Jest to tym korzystniejsze, ponieważ w przypadku systemów fotowoltaicznych nie zachodzi potrzeba konwersji gromadzonej energii (zarówno energia gromadzona, jak i generowania w panelach fotowoltaicznych jest stała DC/DC).

Niezawadność zasilania, źródła dodatkowej energii, ilość akumulowanej energii

O ile w przypadku małych systemów (niskie moce, stosunkowo małe energie) magazyny energii są tanie i łatwe do zastosowania, o tyle w przypadku średnich i dużych mocy są już znacznie kosztowniejsze i trudniejsze w realizacji. Dziś w przypadku średnich i dużych rezerwuarów mocy stosuje się głównie systemy o krótkim czasie podtrzymania energii elektrycznej w akumulatorach, czy kondensatorach, która wystarcza na kilkadziesiąt sekund, czy minut. Po tym czasie najczęściej włącza się generator oparty o źródła węglowodorowe. Gdy uzyskamy wiedzę, jak budować magazyny energii elektrycznej o znacząco większej pojemności energetycznej oraz zdolne do pracy przy większych gęstościach mocy, sytuacja ulegnie poprawie i będzie można stosować magazyny oparte na przechowywaniu energii elektrycznej bez konieczności jej transformowania.

Zmniejszenie kosztów przerw w energii

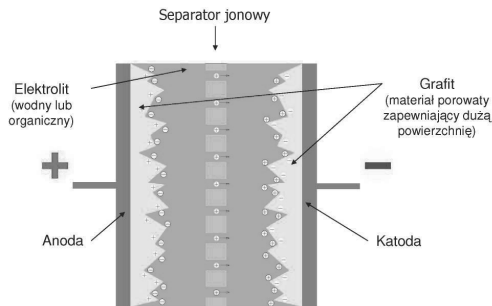
Stosując odpowiednie magazyny energii można znacznie zredukować koszty. Może to mieć szczególnie duże znaczenie w przypadku linii technologicznych wymagających ciągłego dostarczania energii elektrycznej. O ile w przypadku prostych wtryskarek możemy stracić co najwyżej część materiału, który zresztą możemy najczęściej odzyskać z formy, to w przypadku innych procesów technologicznych, np. przy produkcji taśmowej lub przy zachowaniu wysokich reżimów (np. przy produkcji kryształów) może się okazać, że utrata zasilania na kilka minut powoduje konieczność odzyskania sprawności produkcyjnej przez kilka miesięcy. Z pewnością przyniesie to wielkie starty, czasami ciężkie do oszacowania.

1.2.3. SPOSOBY MAGAZYNOWANIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ

W zależności od potrzeb ilościowych, jak i czasowych stosuje się różne rodzaje magazynowania energii. Metody magazynowania zależne są od tego, jak szybko potrzebujemy daną energię pobrać i jak szybko planujemy ją zwrócić do układu. Ponadto ważne jest jak długo chcemy ją przechowywać. Jednymi z najbardziej znanych i rozpowszechnionych magazynów energii elektrycznej są akumulatory i kondensatory. Nie są to jednak jedyne możliwe do zastosowania metody przechowywania energii.

Metoda gromadzenia energii w magazynach opartych o superkondensatory

Superkondensatory ze względu na swoją specyficzną budowę i zasadę działania nadają się fantastycznie jako szybkie, pozwalające na krótkie czasy ładowania/rozładowania magazyny energii. Dzięki temu efektywna gęstość mocy jest bardzo duża. Nawet niewielki pojedynczy superkondensator potrafi podczas rozładowania wygenerować prąd rzędu tysięcy amper. Ponadto superkondensatory potrafią pracować wiele cykli bez utraty swojej pojemności energetycznej. Na rys. 1.2.1 przedstawiono budowę typowego superkondensatora.



Rys.1.2.1. Budowa typowego superkondensatora [5].



Fot.1.2.1 Przykładowe kondensatory produkowane seryjnie [5].

Do najważniejszych cech superkondensatorów możemy zaliczyć: większe gabaryty od akumulatorów, wyższe koszty produkcji, małą gęstość energii, niekłopotliwą eksploatację, mniejszy stopień komplikacji układów, mniejsze straty (większa sprawność niż np. akumulatorów), stopniowe zastępowanie nimi akumulatorów, zastosowanie w wysokich napięciach i energiach, bardzo dużą moc impulsową, łatwą kontrolę zgromadzonej energii.

Ze względu na swoje cechy użytkowe superkondensatory doskonale nadają się na chwilowe bufory energetyczne, jak np. przy hamowaniu i ruszaniu pojazdów. W klasycznych hamulcach energia zgromadzona w poruszającym się pojeździe podczas hamowania jest bezpowrotnie tracona (zmieniana na ciepło). Energia ta jest zbyt duża, aby w tak krótkim czasie przyjąć ją mogły ogniwa chemiczne (akumulatory), ponieważ groziłoby to ich trwałym uszkodzeniem oraz bardzo małą efektywnością procesu przechowania energii. Na rys. 1.2.2 przedstawiono koncepcyjnie zasadę działania bufora. Energia hamowania jest przekazywana do bufora zbudowanego z modułu superkondensatorów, a podczas ruszania energia ta jest odzyskiwana przez układ napędowy. Dzięki takiemu rozwiązaniu można zaoszczędzić znaczącą ilość energii, ponieważ największe moce generowane przez silnik są właśnie podczas ruszania (pokonanie tarcia dynamicznego i statycznego jednocześnie) i późniejszego przyspieszania (opory dynamiczne).



Gromadzenie energii
Faza 1: hamowanie

Ponowne wykorzystanie energii
Faza 2: przyspieszenie

Rys.1.2.2. Poglądowy układ odzyskiwania energii hamowania tramwaju z zastosowaniem superkondensatorów [5].

Przedstawiony na fotografii 1.2.2 moduł, posiada łączną pojemność 45F przy napięciu 400V. Pojedynczy element: 1800 F/2,5 V, a ilość elementów to 640 sztuk. Jest to moduł kondensatorów połączonych blokami szeregowo-równoległe, a wypadkowa pojemność całego bloku wynosi 1800F x 4 = 7200F/2,5V, co dla 160 takich modułów połączonych w szereg daje: 45F/(160*2,5V=400V). Wartości te uzyskano ze wzoru (1.2.1).

$$\frac{1}{C_z} = \frac{160}{7200F} \rightarrow C_z = \frac{7200F}{160} = 45F \quad (1.2.1)$$



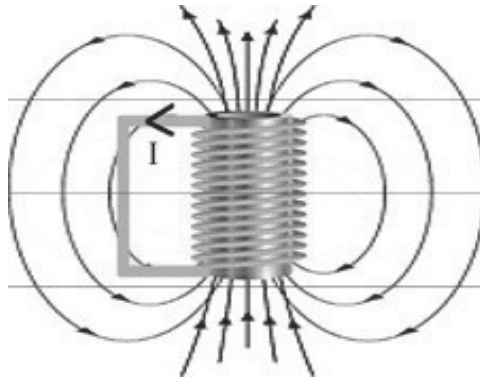
Fot.1.2.2. Wygląd bufora energii elektrycznej do odzyskiwania energii hamowania tramwaju [5]

Magnetyczne metody magazynowania energii

Przykładem magnetycznych magazynów energii są nadprzewodzące magazyny energii – SMES (Superconducting Magnetic Energy Storage), w których wykorzystuje się pole magnetycznie zgromadzone w wyniku przepływu przez nadprzewodzącą cewkę prądu elektrycznego.

Zasobniki takie potrafią bardzo szybko przyjąć i bardzo szybko oddać pobraną energię. Posiadają bardzo duże możliwości gromadzenia energii. Stosunkowo łatwo nimi sterować. Jednak przy bardzo wielu pozytywnych aspektach występują bardzo negatywne cechy. Układy takie są bardzo drogie i wymagają dużego, skomplikowanego układu obsługującego magazyn energii. Problem polega przede wszystkim na konieczności zapewnienia cewce nadprzewodnikowej bardzo niskich temperatur, bowiem tylko w niskich temperaturach materiały, z których zbudowana jest cewka, stają się nadprzewodnikami, a tylko to gwarantuje sens istnienia tego typu magazynu energii. W związku z koniecznością utrzymania niskiej temperatury zasobnika energii znacznie podnoszą się koszty jego eksploatacji oraz zwiększa się stopień komplikacji wynikających z utrzymaniem wysokich reżimów technologicznych magazyny typu SMES. Są więc drogie i nie są stosowane szeroko w technice, pomimo swoich niewątpliwych zalet jakimi są np.: moc nominalna: 10–100 MW; sprawność: 90–95%; czas rozładowania: sek–min; czas eksploatacji: 30 lat;

Na rys. 1.2.3 przedstawiono ideowo zasadę działania magazynów opartych o nadprzewodniki. Prąd płynący przez cewkę wytwarza pole magnetyczne. Stopniowo zmniejszając wartość przepływającego prądu możemy odzyskiwać energię.



Rys.1.2.3. Ideowa zasada działania zasobnika energii typu SMES [6].

Energię możliwą do zgromadzenia w zasobniku typu SMES możemy wyliczyć na podstawie wzoru (1.2.2).

$$E = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2 \quad (1.2.2)$$

gdzie: E – energia w dżulach; L – indukcyjność w henrach; I – natężenie prądu w amperach

Mechaniczne metody magazynowania energii

Rozróżniamy kilka niezależnych od siebie rozwiązań dotyczących magazynowania energii elektrycznej w sposób mechaniczny. Przedstawiono je poniżej:

- a) Kompresyjne zasobniki energii, których przykładem są magazyny na sprężone powietrze (CAES – Compressed Air Energy Storage). Przykładem takiego magazynu mogą być pojazdy napędzane sprężonym powietrzem. Są znane i budowane od wielu lat, w czym znaczny udział mieli m.in. Polacy. Współczesne samochody elektryczne potrafią przejechać nawet ponad 300 m bez potrzeby ponownego użycia kompresora [7].
- b) Kinetyczne zasobniki energii, koła zamachowe (FES – Flywheel Energy Storage). Magazyny takie są stosowane głównie w Australii. Technologia jest cały czas dopracowywana, głównie z powodów materiałowych, które z racji osiągnięcia bardzo dużych naprężeń wewnętrznych trudno spełnić.
- c) Akumulatory hydrauliczne – znane również jako hydroakumulatory. Najczęściej wykonane są jako szczelne zbiorniki ciśnieniowe magazynujące ciecz roboczą pod wysokim ciśnieniem. Najczęściej stosowane są *akumulatory hydro pneumatyczne*. Pomiędzy czynnikami roboczymi stosuje się przegrodę

- w postaci tłoka (akumulatory tłokowe), pęcherza (akumulatory pęcherzowe) lub membrany (akumulatory membranowe) oddzielającej gaz od cieczy. Akumulatory hydrauliczne wykorzystują ściśliwość gazu do magazynowania energii i oddawania jej w momentach zwiększonego zapotrzebowania. Wykorzystywane są powszechnie w zasilaczach hydraulicznych maszyn i urządzeń przemysłowych, w elementach zawieszenia pojazdów, w betoniarkach i maszynach roboczych [8].
- d) Elektrownie szczytowo-pompowe. Znane i stosowane od wielu lat. Ze względu na swoją specyfikę ich umiejscowienie zależne jest od dostępności wody zdolnej wykonywać zadania magazynowania energii. W magazynach szczytowo-pompowych wykorzystuje się energię potencjalną pochodzącą z grawitacji. Najczęściej magazyny takie są wykorzystywane jako bufor zapewniający odpowiednią ilość energii oraz jako odbiornik nadmiarowej produkcji energii elektrycznej, np. w czasie zmniejszonego zapotrzebowania na energię elektryczną w godzinach nocnych. W czasie nadmiaru energii produkowanej przez elektrownię pompy przepompowują wodę do zbiornika o wyższym potencjale. W okresach zwiększonego zapotrzebowania można zwiększyć przepływ ze zbiornika o wyższym potencjale grawitacyjnym, do tego o niższym, co spowoduje zwiększenie ilości produkowanej energii.
- e) Sprężyny – jest kilka możliwych wariantów wykorzystania sprężyny jako magazynu energii. Jednym z możliwych jest wariant napinania się (zmniejszania długości sprężyny) podczas hamowania i po odblokowaniu możliwość wykonania ruchu zwiększającego długość sprężyny, oddanie energii w celu rozpędzenia wcześniej wyhamowanego pojazdu. Innym wariantem może być zastosowanie sprężyny przymocowanej do ruchomej platformy naciskowej (np. podczas przejazdu pojazdów, czy nacisku cyklicznego wywołanego np. falami (ruchem wody). Wówczas, podczas ruchu powrotnego sprężyna wykonywałaby dodatkową pracę, którą można poprzez sprzężenie wykorzystać do wygenerowania energii użytkowej.

Elektrochemiczne metody magazynowania energii

Przykładem elektrochemicznego magazynu energii jest akumulator. Jego zdolność do gromadzenia energii oparta jest o odwracalne reakcje chemiczne. Podczas procesu ładowania reakcje chemiczne poprzez swoje zmiany, tworzą bufor możliwej do odzyskania energii w dogodnym czasie. Akumulatory mają jednak zarówno mankamenty, jak i zalety. Jedną z zalet jest możliwość stosunkowo długiego przechowywania energii. Niestety pomimo ciągłego rozwoju i ciągłej poprawy parametrów wciąż akumulatory mają znacznie niższą sprawność energetyczną niż kondensatory. Akumulatory cechuje ponadto: bardzo duża gęstość energii – znacznie większa (około 10 razy) od superkondensatorów, mała moc impulsowa (wielokrotnie mniejsza od superkondensatorów), brak

kontroli zgromadzonej energii, kłopotliwa eksploatacja, wysoka cena, ograniczona żywotność (tysiące razy mniejsza niż superkondensatorów).

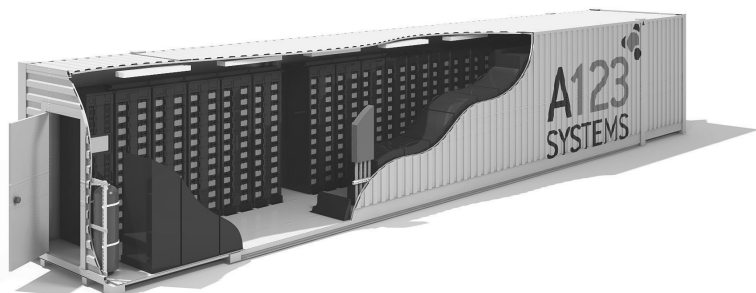
Akumulatory ze względu na stosunkowo dużą łatwość łączenia szeregowego i równoległego nadają się do budowania większych magazynów energii zwanych BES (Battery Energy Storage). Na rys. 1.2.4 przedstawiono wizualizację magazynu energii opartego na akumulatorach. Jak widać są one łączone w moduły. Takie rozwiązanie pozwala dość elastycznie konfigurować parametry użytkowe takie jak moc, czy napięcie pracy zarówno w poszczególnych blokach, jak i w całości takiego magazynu.



Rys.1.2.4. Wizualizacja zasobnika energii typu BES [9].

Ze względu na dużą elastyczność magazyny typu BES można konfigurować w zakresie mocy nominalnej: 0,001–50 MW. Sprawność przy zastosowaniu nowoczesnych akumulatorów może osiągnąć według producentów takich magazynów wartość rzędu: 70–90%. Przewidywany czas eksploatacji to 5–8 lat [9]. Bateryjne zasobniki energii to obecnie najbardziej rozpowszechniona technika magazynowania energii elektrycznej. W energetyce głównie stosuje się baterie: kwasowo-ołowiowe, niklowo-kadmowe oraz sodowo-siarkowe.

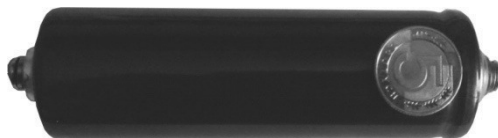
Na rys. 1.2.5 podano przykład rozwiązania zaproponowanego przez firmę A123. Jest to kompaktowa wersja zintegrowanego wewnątrz kontenera całego magazynu BES wraz ze sterowaniem i balanserami. Wewnątrz kontenera mieści się aż 1 MWh energii. Ponadto producent deklaruje możliwość łączenia kontenerów pomiędzy sobą w przypadku zaistnienia takiej potrzeby.



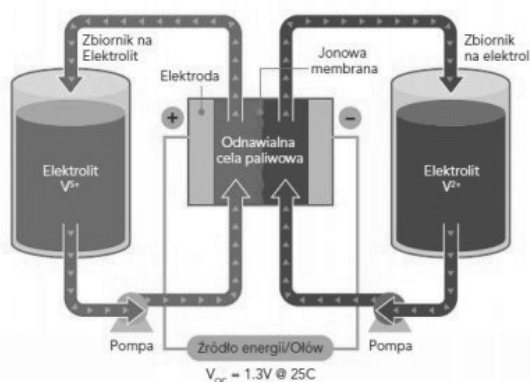
Rys. 1.2.5. Rozwiązanie firmy A123 Energy Solutions zapewniające magazynowanie 1 MW energii dla celów użytkowych i komercyjnych [10].

Niezależnie od technologii stosowanych przez wielkich producentów istnieją rozwiązania od nich niezależne, które w najbliższym czasie mogą kreować kierunki rozwoju. Przykładem takiego rozwiązania może być modyfikacja folii barierowej w stosowanych już dziś dość powszechnie akumulatorach litowych. Dzięki zastosowaniu nowatorskiej folii barierowej wytworzonej w dedykowanym plazmowym reaktorze barierowym uzyskano znacznie lepsze gęstości mocy (możliwość naładowania i rozładowania w znacznie krótszym czasie bez zniszczenia folii barierowej). Akumulator przedstawiony na fot. 3 ma wymiary: około 13 cm długości i około 3 cm średnicy. Pomimo to osiąga imponujące wartości prądów pracy co znacząco zwiększa efektywne użytkowe gęstości mocy bez zwiększenia szybkości degradacji akumulatora. Jest on przykładem akumulatora litowo-polimerowego z poprawioną folią barierową (pozostałe komponenty są bez zmian, łącznie z geometrią). Niskobudżetowa folia barierowa o słabych parametrach eksploatacyjnych poddana obróbce plazmowej poprawia swoje parametry zwłaszcza w zakresie rezystancji. Wynika to głównie ze znacznie większej ilości mniejszych niż przy klasycznych metodach możliwych przejść jonowych. Dzięki takiemu zabiegowi uzyskujemy znacznie większe od dotychczasowych parametry znamionowe zwłaszcza w zakresie prądów ładowania/rozładowania, ponieważ mniejsza rezystancja wpływa korzystnie na zwiększenie gęstości mocy, co w konsekwencji skutkuje znaczną redukcją czasów ładowania, oraz znaczną redukcją ciepła strat wywołanego przepływem dużych prądów. Łącznie wpływa to na znacznie lepszą efektywność energetyczną.

Innym kierunkiem rozwoju są akumulatory przepływowe. Ich idea polega na zmniejszeniu komory czynnej (z przegrodą) oraz na zwiększeniu ilości cieczy czynnej poprzez dołożenie zbiorników na te ciecze oraz urządzeń je przepompowujących. Na rys. 1.2.6. przedstawiono model budowy akumulatora przepływowego.



Fot. 1.2.3. Akumulator Litowo – Polimerowo – Fosforanowo – Żelazowy z nową folią barierową NNS (obrabianą plazmowo). Podstawowe parametry użytkowe $U = 3,68V$; Pojemność = 44Ah; $I = 1200A$ [fotografia własna].



Rys. 1.2.6. Model koncepcyjny działania akumulatora przepływowego [11].

Takie rozwiązanie umożliwia różnym formom jonowym wanadu reakcję w stosie ogniw paliwowych, dzięki czemu akumulator można ładować i rozładowywać. Ogniwa przepływowe co do zasady wykazują zwiększony stopień skomplikowania układu (konieczność zastosowania pomp, specjalnych elektrolitów, zbiorników, etc), jednak przy dostatecznie dużej skali są opłacalne ze względów ekonomicznych oraz wielkościowych – gabaryty (efektywna komórka czynna jest znacznie mniejsza niż w przypadku komórki klasycznej). Dodatkowo w układach przepływowych znacznie łatwiej jest cieczą roboczą chłodzić, co dodatkowo może wpływać na jeszcze większą efektywność (gęstość i ilość możliwej do zgromadzenia energii w zależności od masy i/lub objętości substancji czynnej, jak i samej komórki czynnej).

Innym przykładem chemicznych magazynów energii są ogniwa paliwowe. Jest kilka typów ogniw paliwowych, jednak ogólna zasada działania opiera się o uzyskanie energii elektrycznej i cieplnej bezpośrednio z reakcji chemicznej. Ogniwa paliwowe charakteryzują się dużą czystością i sprawnością energetyczną. Zostały użyte już podczas lotów kosmicznych statku Apollo, jednak ze względu na swoją wysoką cenę długo nie znajdowały zastosowań komercyjnych. Obecnie jednak ze względu na coraz bardziej zaawansowane technologie

materiałowe oraz dostęp do nich, ogniwa paliwowe stają się coraz popularniejsze. Są stosowane na przykład w samochodach takich, jak Daimler Chrysler B-class F-cell, w laptopach, czy zasobnikach energii przedstawionych na rys. 1.2.7a, b, c.



Rys.1.2.7. Kilka przykładowych zastosowań ogniw paliwowych [12].

a) Daimler Chrysler B-class F-cell; b) laptop Fujitsu DMFC; c) Zasobnik energii Fuel-Cell Energy DFC 300

Chemiczne metody magazynowania energii

Do chemicznych metod należą głównie paliwa energetyczne. Mogą to być paliwa wytworzone samoczynnie przez naturę lub w sposób wymuszony przez człowieka. Takimi naturalnymi paliwami magazynującymi energię mogą być węglowodory, wodór, biopaliwa czy paliwa syntetyczne, np. metanol. Stosunkowo łatwym do zastosowania paliwem jest wodór. Jednym z powodów jest możliwość użycia wodoru jako paliwa w klasycznych silnikach spalinowych. Wystarczą niewielkie regulacje silnika i jego osprzętu związane z kątem zapłonu, a w niektórych rozwiązaniach zapewnienie dodatkowego smarowania, aby wodór zastąpił węglowodorowe paliwa płynne obecnie stosowane na przykład w pojazdach, czy agregatach prądotwórczych. Niestety wodór ma bardzo silne właściwości penetracyjne i zbudowanie skutecznych zbiorników jest bardzo trudne. W przypadku zbiorników metalowych masa możliwego do zgromadzenia wodoru stanowiłaby jedynie kilka procent masy zbiornika. Istnieją lżejsze, kompozytowe rozwiązania, jednak są bardzo drogie i również nie gwarantują trwałej, nieograniczonej w czasie szczelności. Istnieją metody wytwarzania wodoru w czasie rzeczywistym, jednak są one bardzo energochłonne, co czyni proces pozyskiwania wodoru w celu napędzania pojazdu nieefektywnym energetycznie. Znacznie efektywniejsze są ogniwa paliwowe opisane we wcześniejszych akapitach.

Innym przykładem chemicznych magazynów energii są biopaliwa. To bardzo szeroka grupa obejmująca paliwa stałe, ciekłe, jak i gazowe. Obecnie prowadzona polityka środowiskowa zmierza do ograniczenia w przetwarzaniu surowców pochodzenia organicznego do produkcji biopaliw. Z drugiej strony coraz nowsze technologie pozwalają sięgać po coraz gorsze jakościowo surowce

(nieużyteczne dla ludzi konsumpcyjnie), by w efekcie końcowym powstało biopaliwo. Przykładem mogą być układy tri- i poligeneracji.

Magazynami chemicznymi mogą być także syntetyczne paliwa produkowane przez człowieka, np. metanol. Mają one taką zaletę, że mogą być zastosowane w dzisiejszych silnikach i turbinach generacyjnych. Pozwala to zatem na zdywersyfikowanie rodzajów paliw. Część z paliw syntetycznych uzyskuje się z innych rodzajów odpadów, w tym niesortowanych. Możliwości takie daje np. technika plazmowa.

Porównanie/zestawienie superkondensatorów i akumulatorów

Ponieważ nie wszystkie parametry kondensatorów firmy NNS sp z o.o. zostały przebadane, w niektórych komórkach tabeli 1.2.1 nie podano żadnych wartości.

Tab. 1.2.1. Porównanie/zestawienie dla superkondensatorów i akumulatorów

Parametr	Akumulator	Superkondensator	Superkondensator NNS
Gęstość mocy	Rzędu 100 W/kg	sięga 10 000 W/kg	
Gęstość energii	na poziomie 100 Wh/kg	ok. 10-krotnie mniejsza	228 Wh/kg
Sprawność	max 70%	ok. 95%	98%
Rezystancja wewnętrzna	Kilka do kilkunastu mΩ	poniżej 0,3 mΩ	
Zakres temperatury pracy	0–40°C	-40–65°C	
Ilość cykli ładowanie/rozładowanie	Kilkaset do max tysiąca cykli	Powyżej miliona cykli	Powyżej miliona cykli

Jak wynika z tabeli 1.2.1 każda z metod ma zarówno wady, jak i zalety. Największą zaletą dziś stosowanych akumulatorów jest ich gęstość energetyczna, która przewyższa aż dziesięciokrotnie obecnie dostępne na rynku superkondensatory. Z kolei superkondensatory mogą się wykazać około sto razy większą gęstością mocy. Również nie bez znaczenia jest fakt, że kondensatory mogą pracować w znacznie szerszym zakresie temperatur. Jedną z najważniejszych cech kondensatorów w porównaniu z akumulatorami, jest ilość możliwych do zrealizowania cykli ładowania/rozładowania. O ile akumulatory rzadko kiedy są w stanie zrealizować 1000 cykli bez zmniejszenia swojej pojemności energetycznej (przy zachowaniu reżimu technologicznego polegającego na kontrolowanym, powolnym, trwającym godzinami ładowaniu), o tyle superkondensatory

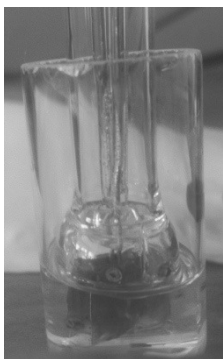
mogą zrealizować miliony cykli ładowania/rozładowania. Najnowsze badania wskazują, że istnieje duże prawdopodobieństwo uzyskania gęstości energii możliwej do zgromadzenia przez kondensatory na poziomie znacznie wyższym, niż to robią akumulatory. Szczegółowe analizy i wartości opisano w dalszej części tego opracowania.

1.2.4. PRACE NAUKOWO-BADAWCZE

Stanowisko laboratoryjne na Wydziale Elektrycznym Politechniki Częstochowskiej

Stanowisko zostało zbudowane na Wydziale Elektrycznym Politechniki Częstochowskiej celem przetestowania i wstępnego określenia przydatności materiałów nanostrukturalnych jako składników do budowy ultrakondensatorów. W skład stanowiska wchodzi:

- komórka pomiarowa (Fot.1.2.4) wykonana z platynowych blaszek o powierzchni jednego cm^2 każda, ułożonych równoległe do siebie i ustawionych w odległości 1 mm.
- mostek Solartron SI 1260 (Fot.1.2.5)
- środowisko LabVIEW



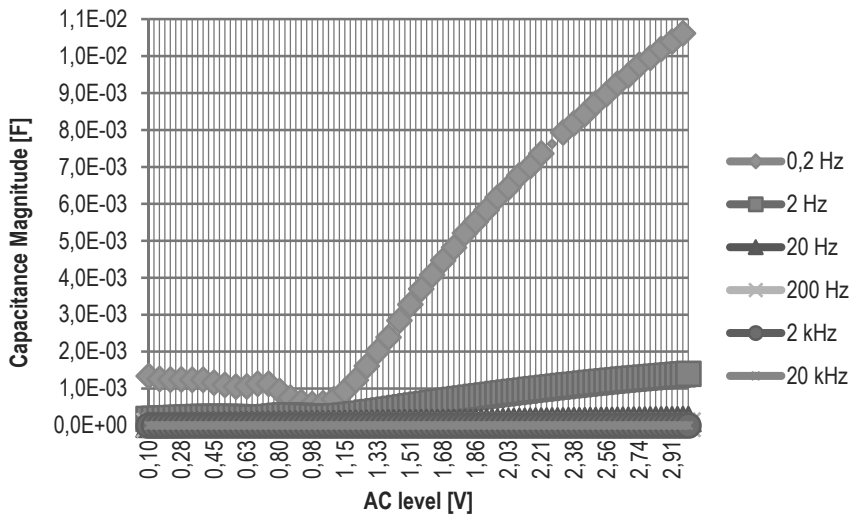
Fot.1.2.4. Komórka pomiarowa kondensatora testowego [fot. własna].



Fot.1.2.5. Mostek Solartron SI 1260 [fot. własna].

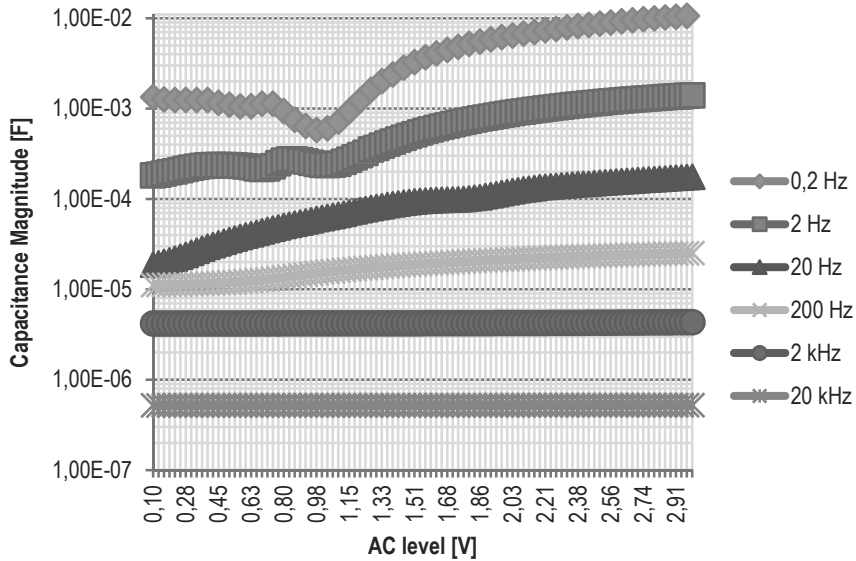
Przykładowe dane uzyskane z wykorzystaniem stanowiska badawczego na Wydziale Elektrycznym Politechniki Częstochowskiej

Przy wykorzystaniu dedykowanego stanowiska pomiarowego wykazano, że możliwe są do uzyskania bardzo duże pojemności energetyczne dzięki zastosowaniu nowych, wcześniej nieużywanych w tym celu materiałów dielektrycznych. Na rys. od 1.2.8 do 1.2.11 przedstawiono kilka przykładowych wyników uzyskanych w procesie badawczym.

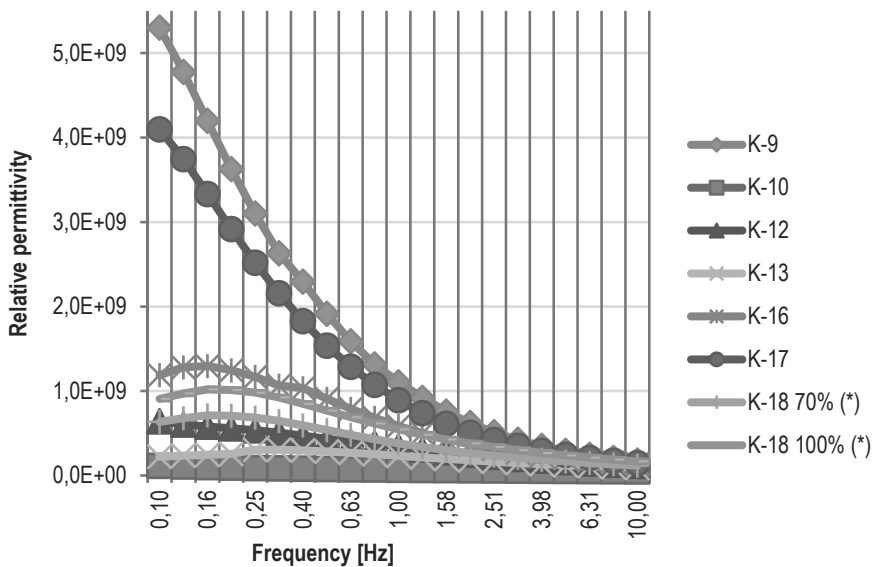


Rys.1.2.8. Pojemność testowego kondensatora w funkcji napięcia dla materiału K-9 [opracowanie własne]

Na rys. 1.2.8 i rys. 1.2.9 przedstawiono charakterystyki zmian pojemności testowego kondensatora w funkcji napięcia dla materiału oznaczonego jako K-9. Na wykresie widać wyraźnie zwiększanie się pojemności wraz ze wzrostem napięcia. Efekt powiększał się wraz ze zmniejszaniem się częstotliwości. Jest to efekt oczekiwany, bowiem przy wyższych częstotliwościach warstwa podwójna nie była w stanie całkowicie się uformować. Ponadto nieznana jest górna granica przydatności tego elektrolitu, ponieważ mostek pomiarowy nie dysponował możliwością przekroczenia napięcia 3V. Aby sprawdzić granice stosowalności tego i pozostałych elektrolitów należałoby zbadać je na urządzeniu o znacznie szerszym oknie napięciowym. Ze względu na potrzebę porównania uzyskiwanych wartości pojemności zastosowano skalę logarytmiczną na osi pojemności. W przypadku zastosowania skali liniowej odczyt z wykresów pozostałych (innych niż K-9) materiałów był utrudniony.



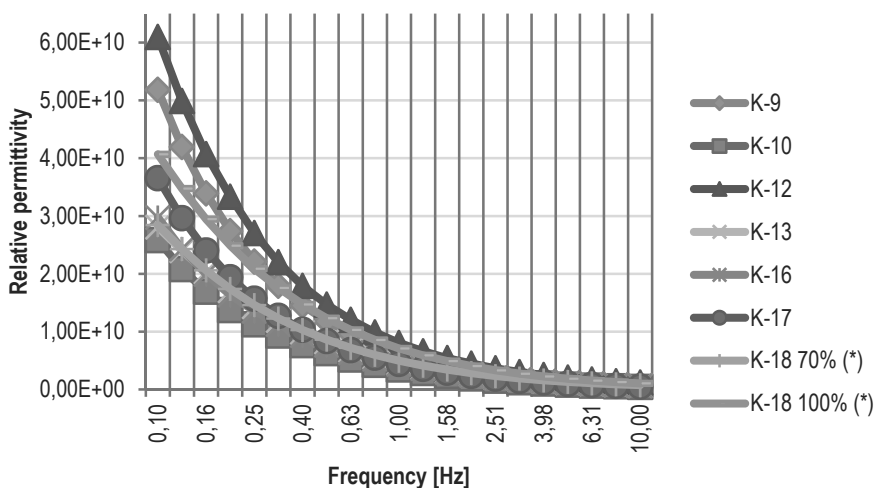
Rys. 1.2.9. Pojemność testowego kondensatora w funkcji napięcia dla materiału K-9 dla wybranych częstotliwości [opracowanie własne].



Rys. 1.2.10. Pojemność testowego kondensatora w funkcji częstotliwości dla wybranych materiałów $U = 0,3 V$ [opracowanie własne].

Na rys. 1.2.10 umieszczono wartości współczynników przenikalności w funkcji częstotliwości. Na podstawie wcześniejszych pomiarów oraz przewidywań badania potwierdziły potrzebę upływu czasu na ustalenie się warstwy podwójnej niezbędnej do osiągnięcia efektu powstania superkondensatora. Na wykresie widać wyraźnie, że niektóre materiały poniżej częstotliwości 0,16 Hz (K-16) nie potrafiły utrzymać trwałej warstwy podwójnej. Natomiast nie ustalono granicznego czasu dla materiału K-9 ze względu na zbyt długie czasy pomiarów przy niskich częstotliwościach. W przyszłości planowane są badania określające maksymalny czas trwania stabilnej warstwy podwójnej.

Po zwiększeniu napięcia z 0,3V (rys. 1.2.10) do 3 V (rys. 1.2.11) widać wyraźnie, że większość materiałów znacznie przedłużyła czas trwania stabilnej warstwy podwójnej. Jest to efekt oczekiwany i potwierdzający wcześniej przewidywane wyniki. W przyszłości planowane są badania kolejnych materiałów w znacznie szerszym zakresie.



Rys.1.2.11. Przenikalność względna testowego kondensatora w funkcji częstotliwości dla wybranych materiałów $U = 3 V$ [opracowanie własne]

Stanowisko laboratoryjne w Drexel NanoMaterial Group w Filadelfii, USA

Stanowisko laboratoryjne zbudowane w Drexel NanoMaterial Group w Filadelfii, USA, służy do testowania różnorodnych materiałów do określenia ich przydatności jako części do budowy superkondensatorów.

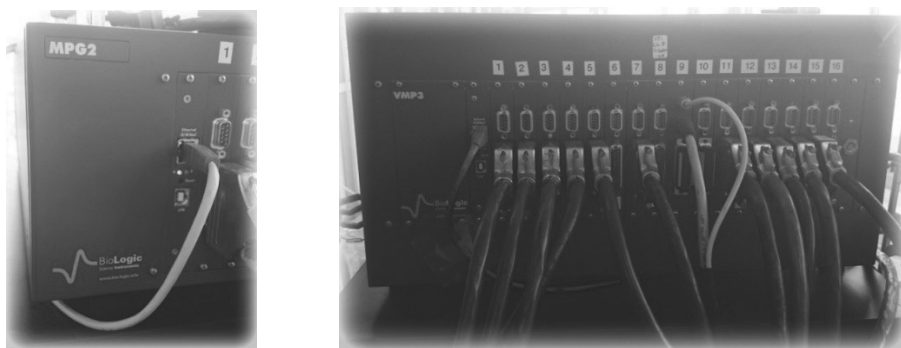
W skład stanowiska wchodzi:

- Komórka pomiarowa, dedykowana, znormalizowana dołączona do zestawu pomiarowego przez producenta (Fot.1.2.6)

- MPG 2 (Fot.1.2.7) – 16 kanałowy mostek pomiarowy z opcjonalną możliwością EIS. Jest to wielokanałowe, urządzenie do badania cykliczności przeznaczone do badań nad zależnościami wewnątrz akumulatorów i superkondensatorów. Konfiguracja MPG-2 jest ustalona na 16 kanałów. Każdy kanał jest niezależnym potencjostatem/galwanostatem. Urządzenie jest sterowane przez komputer PC za pomocą kabla USB lub połączenia Ethernet. W przypadku korzystania z połączenia Ethernet, MPG-2 mogą być zainstalowane na sieci lokalnej, aby umożliwić wielu użytkownikom dostępu do instrumentu. Każdy kanał posiada dwa wejścia analogowe oraz wyjście analogowe, aby umożliwić łączenie z instrumentów zewnętrznych. Dla wielu eksperymentów koniecznym jest kontrolowanie i rejestrowanie temperatury komórki lub temperatury w komorze przy pomocy termostatu [13]. MPG-2 współpracuje z oprogramowaniem do EC-Lab®, szczególnie został przystosowany do badań kondensatorów. VMP3 (Fot.1.2.7) – jest wielokanałowym potencjostatem przeznaczonym do badań jakościowych. Dzięki modułowej konstrukcji pozwala jednocześnie używać aż do 16 niezależnych kanałów. VMP3 może być wyposażony w dodatkowe funkcje, w tym do pomiaru prądu, niskiej impedancji i dużych prądów poprzez dodatkowo dołączane moduły. Każdy potencjostat zainstalowany w VMP3 może być podłączony do zewnętrznego wzmacniacza prądowego dużej mocy, przez co idealnie nadaje się do badania baterii. VMP3 to nie tylko pomiar wielokanałowy. VMP3 umożliwia równoczesne korzystanie z urządzenia przez niezależnych użytkowników. Dzięki możliwości połączenia z siecią Ethernet LAN, do urządzenia może zostać podłączonych do 16 użytkowników w tym samym czasie [14].



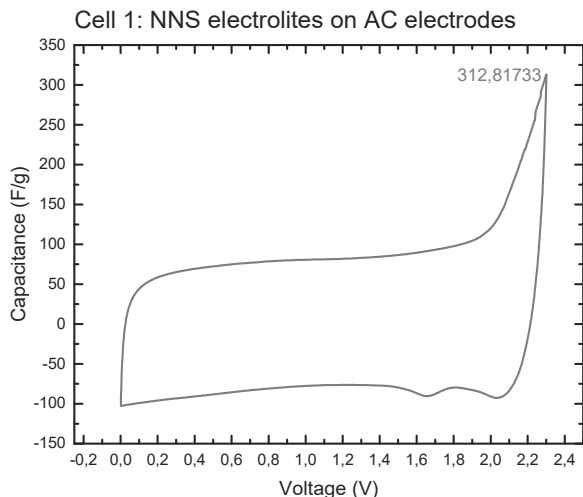
Fot.1.2.6. Zestaw pomiarowy BioLogic Science Instruments MPG2 oraz VMP3 [fotografia własna].



Fot.1.2.7. Dedykowane środowisko pomiarowe dostarczone przez BioLogic Science Instruments [fotografia własna].

Przykładowe dane uzyskane z wykorzystaniem stanowiska badawczego NanoMaterial Group.

Na rys. 1.2.12 przedstawiono wyniki eksperymentów, z których widać, że udało się uzyskać gęstość pojemności na poziomie powyżej $310 \frac{F}{g}$ przy napięciu 2,3 V. Zatem, uwzględniając dane empiryczne, otrzymujemy możliwość zmagazynowania energii na poziomie powyżej 820 [J] w każdym gramie substancji czynnej. Po przeliczeniu powyższych danych na teoretyczną, maksymalną gęstość energii możliwej do zmagazynowania, otrzymamy zatem wartość $228 \frac{Wh}{kg}$.

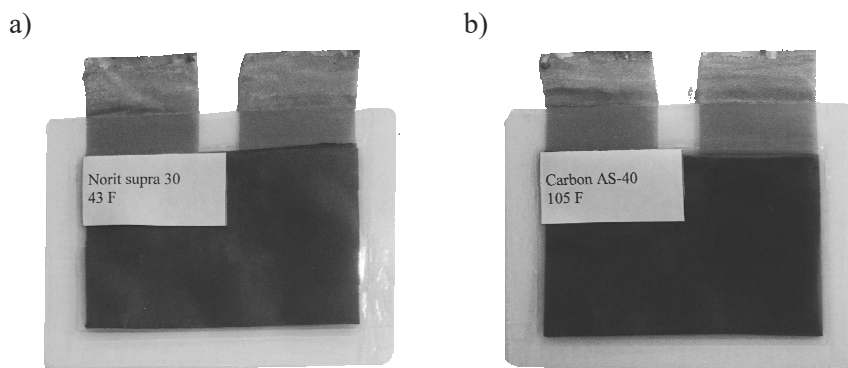


Rys. 1.2.12. Zależność uzyskanej gęstości pojemności w funkcji napięcia dla komórki testowej [opracowanie własne].

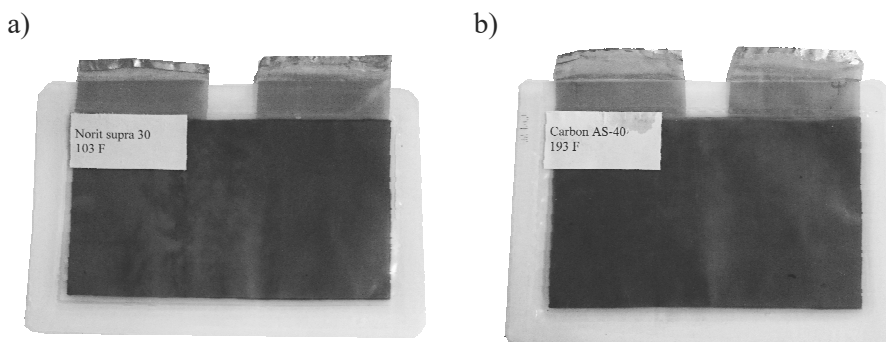
Pomiary nowych nanostrukturalnych materiałów w rzeczywistych aplikacjach kondensatorów.

Niezależnie od badań nad nowymi elektrolitami, przy współpracy z Politechniką Lwowską, opracowano prostą i tańszą metodę wytwarzania nanostrukturalnego węgla aktywowanego. Na bazie tak wytworzonych nanostruktur węglowych zbudowano kilka kondensatorów, które zaprezentowano na fotografiach 1.2.8–1.2.10.

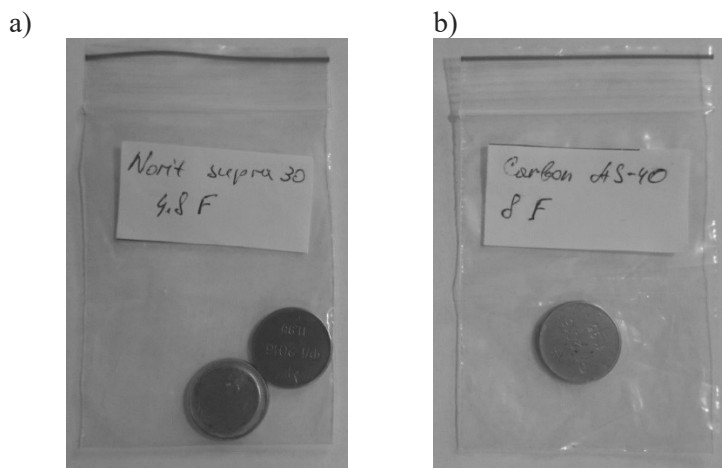
Zastosowano identyczne parametry geometryczne dla każdego z testowych kondensatorów, aby umożliwić ich porównanie. Jako referencję do nowo otrzymanych materiałów nanostrukturalnych, zastosowano materiał NORIT 30. Poniżej przedstawiono przykładowe kondensatory wykonane z nowo otrzymanego węgla AS-40 oraz komercyjnie dostępnego węgla Norit Supra 30.



Fot.1.2.8. Kondensatory: a) jako referencja węgiel NORIT SUPRA, Pojemność - 43 F; b) nowo otrzymany węgiel nanostrukturalny Pojemność - 105 F [fotografia własna].



Fot.1.2.9. Kondensatory: a) jako referencja węgiel NORIT SUPRA, Pojemność - 103 F; b) nowo otrzymany węgiel nanostrukturalny, Pojemność - 193 F [fotografia własna].



Fot.1.2.10. Kondensatory: a) jako referencja węgiel NORIT SUPRA, Pojemność – 4,8 F; b) nowootrzymany węgiel nanostrukturalny, Pojemność - 8 F [fotografia własna].

1.2.5. PODSUMOWIANIE

Na podstawie otrzymanych wyników można porównać obecnie stosowane superkondensatory z potencjałem nowo opracowanych ultrakondenstorów. Można określić dostępną, zwiększoną gęstość energii względem znanych obecnie i stosowanych w technice rozwiązań. Wspomniana pojemność energetyczna (gęstości upakowania energii) wynosi do 20 razy więcej względem istniejących rozwiązań rynkowych. Wartości te zakłada się otrzymać przy uwzględnieniu i zsumowaniu pojemności wynikającej z zastosowanego, nowego elektrolitu oraz nowo opracowanych nanostruktur węglowych.

Szacuje się, iż teoretyczna gęstość i ilość możliwej do zmagazynowania energii może wynosić około 100 F przy 100 V w objętości 1 cm³.

Porównując istniejące na rynku magazyny energii, zbudowane z tradycyjnych, najbardziej powszechnych akumulatorów kwasowych, z nowo opracowanymi rozwiązaniami, które przedstawiono powyżej, można założyć, że dla magazynu energii o pojemności energetycznej 1 MWh:

- w przypadku tradycyjnych akumulatorów trakcyjnych (żelowe na bazie Pb) o pojemności 100 Ah i napięciu 12 V, potrzebujemy aż 833 sztuk w celu osiągnięcia 1 MWh ($833 \times 100 \text{ Ah} \times 12 \text{ V} = 1 \text{ MWh}$). Ponieważ waga jednego akumulatora to około 30 kg, a cena jednostkowa to około 800zł, to całkowita masa takiego magazynu energii to około 25 ton ($833 \text{ szt.} \times 30 \text{ kg}$). Koszt 833 akumulatorów to około 666 400 zł, a akumulatory zajmowałyby znacznie ponad 10 m³;
- w przypadku nowo opracowanych rozwiązań, nazwanych przez zespół jako „PowerPack” – pojemność 1 MWh, zawierałaby się w objętości 3,7 m³

(niemal 3 razy mniej niż klasyczne akumulatory). Dodatkowo waga tego magazynu to około 4,3 tony (6 razy mniej niż klasyczne akumulatory). Szacowany koszt materiałów to 60–80 000,00 zł (10 razy taniej niż klasyczne akumulatory i 35 razy taniej od magazynów Tesli POWERWALL 7 kWh – 429 \$/kWh [17]).

Nowe zasobniki energii powinny się cechować następującymi parametrami, które decydują o ich przydatności:

- pojemność – zasób energii możliwy do zakumulowania w jednostce objętości lub masy;
- liczbę cykli ładowania i rozładowania zasobnika możliwą do zrealizowania;
- sprawność cyklu określoną jako stosunek ilości energii odebranej z układu do ilości energii do niego doprowadzonej;
- czas, w którym zmagazynowana energia może być przekazana do użytkownika oraz czas, w którym może ona być magazynowana;
- efektywność ekonomiczna i przyjazność dla środowiska naturalnego.

Największym problemem jest więc nie pozyskanie energii, lecz jej zmagazynowanie i wykorzystanie w odpowiednim czasie. Nowe kondensatory wykazują potencjał, który daje szansę na zbudowanie nowych, efektywniejszych zasobników energii o znacznie dłuższym od ogniw chemicznych czasie życia i możliwej do wykorzystania ilości cykli ponad 1000 krotne większej w normalnych warunkach eksploatacji.

LITERATURA

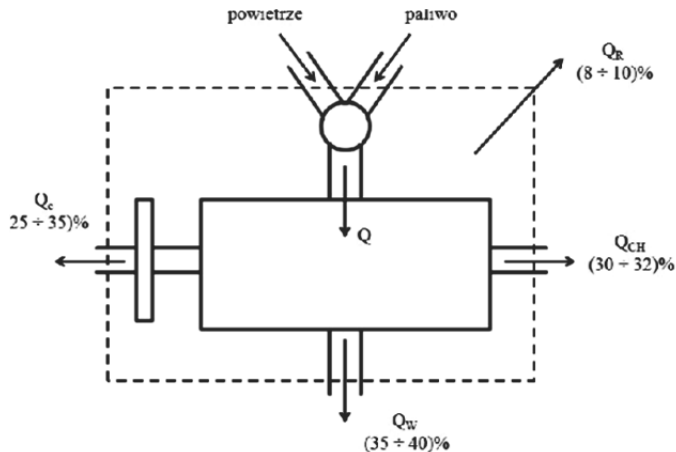
- [1] [http://www.kongres-sep.sep.com.pl/documents/02_DOKUMENTY_%C5%B9R%C3%93D%C5%81OWE/REEDP_DZ\[1\]_E&Y_raport_energymix_2014.pdf](http://www.kongres-sep.sep.com.pl/documents/02_DOKUMENTY_%C5%B9R%C3%93D%C5%81OWE/REEDP_DZ[1]_E&Y_raport_energymix_2014.pdf), str. 95
- [2] C. Arbizzania, M. Mastragostinob, New trends in electrochemical supercapacitors, University of Bologna, Dipartimento di Chimica G. Ciamician, via Selmi 2, I-40126 Bologna, Italy
- [3] B. P. Bakhmatyuk, B. Y. Venhryn, I. I. Grygorchak, On the hierarchy of the influences of porous and electronic structures of carbonaceous materials on parameters of molecular storage devices, Lviv Polytechnic National University, Kotliarevskiy Str., Lviv 79013, Ukraine Concern “Hefra”, 16 Stanicna Str., Bratislava 84103, Slovak Republic (2007)
- [4] <https://www.sbir.gov/sbirsearch/detail/335811>
- [5] J. Iwaszkiewicz, Superkondensator – nowy element w układach energoelektronicznych (prezentacja), Oddział Instytutu Elektrotechniki w Gdańsku
- [6] <http://www.supraconductivite.fr/en/index.php?p=applications-electricite-smes>

- [7] <http://pneumatyka.com/sprezone-powietrze/pojazdy-o-napedzie-pneumatycznym/>
- [8] <https://www.hektos.eu/akumulatory-hydrauliczne-c-4.html>
- [9] <http://www.ethanelkind.com/tag/energy-storage/>
- [10] <http://www.bestmag.co.uk/tags/a123>
- [11] http://www.designnews.pl/index.php?id=47&no_cache=1&tx_ttnews%5Btt_news%5D=3323&cHash=287fd6c4b5&type=98
- [12] <http://www.ogniwa-paliwowe.com/>
- [13] <http://www.bio-logic.info/instruments/mpg-2/>
- [14] <http://www.bio-logic.info/instruments/multi-potentiostat-vmp3/>

1.3. ZASTOSOWANIE WYSOKOBRÓTOWEGO TURBOGENERATORA W UKŁADZIE WYDECHOWYM STACJONARNEGO GENERATORA ENERGII ELEKTRYCZNEJ*

1.3.1. WSTĘP

Na przestrzeni ostatniego wieku silnik spalinowy znalazł zastosowanie niemalże w każdej gałęzi przemysłu i życia człowieka. Mimo implementacji cyfrowej technologii oraz wielu modernizacji jakim zostały poddane jednostki ZI oraz ZS, głównym problemem ich funkcjonowania nadal jest dość niska sprawność. Jak wiadomo taki stan rzeczy silniki spalinowe zawdzięczają znacznym stratom wynikającym z funkcjonowania układu chłodzenia, układu wydechowego oraz wewnętrznym oporom toczenia (rys. 1.3.1).



Rys. 1.3.1. Bilans strat towarzyszących pracy silnika spalinowego [3]

Założeniem systemu REST jest implementacja wysokoobrotowego turbogeneratora do układu wydechowego jednostki spalinowej oraz wykorzystanie energii przepływu spalin w celu pozyskania energii elektrycznej. Zastosowanie powyższego rozwiązania do stacjonarnych generatorów energii elektrycznej których funkcjonowanie oparte jest na silnikach o zapłonie iskrowym bądź też samoczynnym wydaje się wyjątkowo uzasadnione gdyż urządzenia to pracują w ustalonych i optymalnych zarazem wartościach obrotowych. Taki stan rzeczy

* **Autorzy:** prof. dr hab. inż. Mirosław LUFT, Uniwersytet Technologiczno – Humanistyczny w Radomiu, Wydział Transportu i Elektrotechniki, ul. Malczewskiego 29, 26-600 Radom, e-mail: m.luft@uthrad.pl;
mgr inż. Paweł OLSZOWIEC, Uniwersytet Technologiczno – Humanistyczny w Radomiu, Wydział Transportu i Elektrotechniki, ul. Malczewskiego 29, 26-600 Radom, e-mail: p.olszowiec@uthrad.pl
prof. dr hab. inż. Elżbieta SZYCHA, Uniwersytet Technologiczno – Humanistyczny w Radomiu, Wydział Transportu i Elektrotechniki, ul. Malczewskiego 29, 26-600 Radom, e-mail: e.szycha@uthrad.pl;

pozwala na precyzyjny dobór turbogeneratora jak i dokładną konfigurację modułu zarządzającego uzyskana mocą.

$$Q = Q_e + Q_{ch} + Q_w + Q_n + Q_r \quad (1.3.1)$$

gdzie:

Q – całkowita ilość ciepła doprowadzonego do silnika w ciągu jednej sekundy w J/h

Q_e – ciepło użyteczne, tzn. ilość ciepła zamienionego w ciągu jednej sekundy na pracę użyteczną J/h

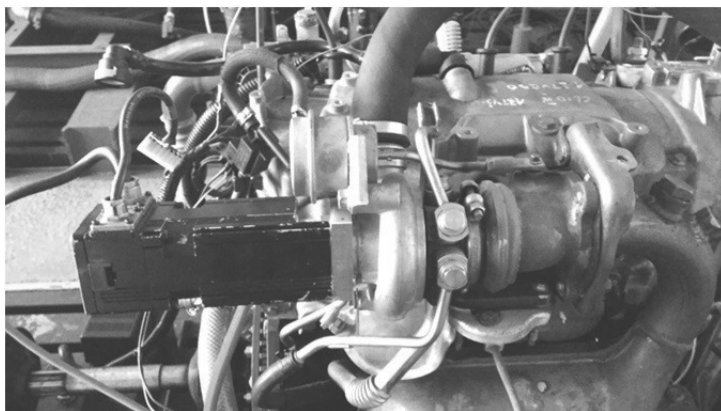
Q_{ch} – strata chłodzenia, tzn. ilość ciepła odprowadzonego w ciągu jednej sekundy ze spalin J/h

Q_w – strata wylotowa, tzn. ilość ciepła odprowadzonego w ciągu jednej sekundy do czynnika chłodzącego w J/h

Q_n – straty niezupełne, J/h

Q_r – reszta bilansu w J/h

Przeprowadzone dotychczas badania w Instytucie Eksploatacji Pojazdów i Maszyn UTH Radom wskazują, iż w stanach ustalonych implementacja systemu REST umożliwi obniżenie jednostkowego zużycia paliwa na poziomie od 2% do 4%. Wykorzystana podczas badań turbina przygotowana była do obrotów o wartości 120000 obr/min oraz o mocy 1 kW (rys. 1.3.2).



Rys. 1.3.2 Widok stanowiska badawczego systemu REST [5]

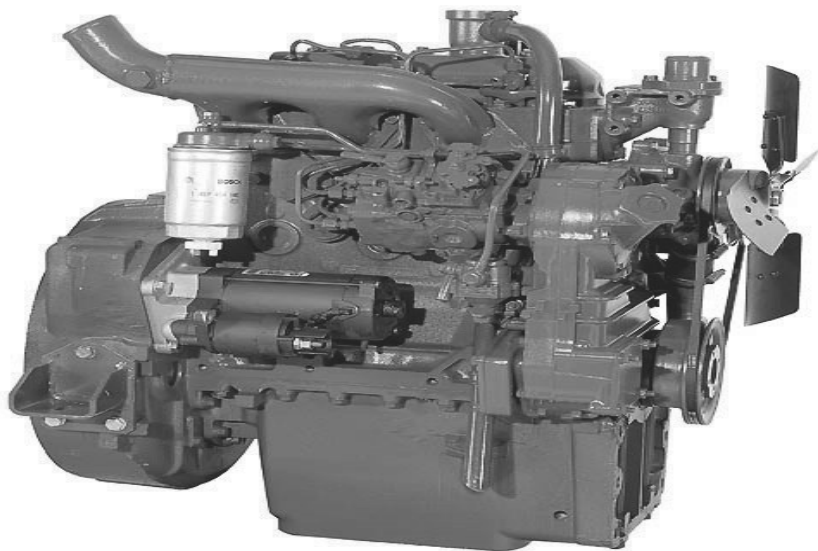
Opisywany system posiada strukturę modułową, gdyż turbogenerator umożliwia współpracę z różnymi sterownikami zarządzający dystrybucją pozyskanej energii w zależności od środowiska pracy.

1.3.2. AGREGAT PRĄDOTWÓRCZY – RODZAJE I BUDOWA

Wśród agregatów prądotwórczych wyróżnia się ich podział ze względu na zastosowanie (moc), budowę oraz rodzaj jednostki spalinywej w następujących kategoriach:

- agregaty prądotwórcze otwarte przeznaczone do zabudowy w pomieszczeniach
- agregaty prądotwórcze w obudowach wyciszonych pozwalających na pracę agregatu na zewnątrz
- agregaty prądotwórcze mobilne wyposażone w obudowę wyciszoną oraz homologowane podwozie jezdne pozwalające na transport urządzenia po drogach publicznych
- agregaty prądotwórcze posiadające panele sterowania
- automatycznego oraz układy SZR (Samoczynnego Załączania Rezerwy)

Powyższe agregaty zbudowane są na bazie silników benzynowych (agregaty od mocy 2 kVA do 15 kVA); jak również diesla (moc od 10 do 500 kVA). Silniki stosowane w agregatach prądotwórczych pracują w cyklu czterosuwowym z bezpośrednim wtryskiem paliwa o zapłonie ZI oraz ZS. Zależnie od modelu silniki są: wolnossące, turbodoładowane lub turbodoładowane z chłodnicą międzystopniową. Układ cylindrów zależnie od modelu, może być rzędowy lub w układzie V 90°. Wiodącymi producentami jednostek napędowych dla generatorów mocy są producenci: Iveco aifo, Perkins, Lombardini, Volvo Penta, Hatz.



Rys. 1.3.3 Widok silnika diesla dedykowanego do generatora mocy model 8031 Diesel firmy IVECO aifo [1].

Jedną z najbardziej rozpoznawanych jednostek wolno ssących dedykowanych do generatorów prądotwórczych to Iveco Aifo z serii 8000-8031 Diesel (rys. 1.3.3). Jest to jednostka trzy cylindrowa o pojemności 2,9 l legitymująca się mocą 32 kW przy obrotach 1500 obr/min, oraz 36 kW przy obrotach 1800 obr/min. Masa jednostki to 370 kg. Blok oraz głowicę silnika wykonano z żeliwa. Jednostka zasilana jest układem zaworów wtryskowych zlokalizowanych bezpośrednio w komorze spalania współpracujących z rotacyjną pompą wtryskową sterowaną elektronicznie. Jednostka spełnia wymogi ekologiczne Tier II/Euro 3/CE97/68. Wśród generatorów stacjonarnych zastosowane prądnice są prądnicami samowzbudnymi, bezszczotkowymi, samoregulującymi z poziomym wałkiem. Posiadają automatyczny regulator napięcia z potencjometrami umożliwiającymi regulację parametrów w zależności od warunków pracy prądnicy. Prądnice posiadające dwa łożyska są sprzęgnięte z silnikiem za pomocą kołnierza co gwarantuje współosiowe ustawienie wałków prądnicy i silnika. Prądnice posiadające jedno łożysko w miejscu połączenia elastycznego mają sprzęgło dociskowe montowane na kole zamachowym silnika. Zbiornik paliwa jest zintegrowany z ramą. W zależności od modelu, w zbiorniku paliwa zainstalowano końcówkę z filtrem, elektryczny miernik poziomu paliwa (jedno- lub dwusygnałowy), otwór spustowy paliwa, linię powrotną paliwa (z pompy wtryskowej i spustów wtryskiwaczy) oraz odpowietrznik. Zbiornik jest podłączony do pompy zasysającej za pomocą elementów giętkich. Wśród jednostek doładowanych należy wspomnieć o znacznie większym silniku sześciu cylindrowym firmy Perkins model HPW-735 T5 o mocy 585 kW znajdującym również często zastosowanie jako napęd do generatorów stacjonarnych

1.3.3. BOWMANPOWER

Bowmanpower to firma wdrażająca innowacyjne rozwiązanie poprawy sprawności stacjonarnych generatorów mocy bazując na wynalazku opracowanym przez badaczy z Uniwersytetu w Southampton w Anglii. Powyższe rozwiązanie jest ewolucją projektu Turbo Integrated Gas Energy Recovery realizowanego przez w/w Uniwersytet oraz firmę Visteon. Proponowane przez firmę Bowmanpower rozwiązanie to próba pozyskania energii elektrycznej z głównego źródła strat towarzyszących pracy jednostki spalinowej czyli z układu wydechowego. Podstawowym narzędziem do realizacji tego celu jest zastosowanie wysokoobrotowego turbogeneratorsa zaimplementowanego w kanał wylotowy gazów spalinowych. System Bowman Turbogenerator składa się z dodatkowej turbiny spalin, która jest umieszczona poniżej turbosprężarki. Wysokiej prędkości prądnica z magnesem trwałym jest montowana bezpośrednio na wale nowej turbiny, wytwarzając energię elektryczną, kiedy występuje wystarczający przepływ spalin.



Rys. 1.3.4 Widok systemu rekuperacji energii ze spalin firmy Bowmanpower uk [5].

Tłokowe silniki wysokoprężne dominujące na rynku generatorów powyżej 3 MW mocy elektrycznej w ciągu ostatnich dwudziestu lat prawie wszystkie stały się jednostkami turbodoładowanymi, aby zwiększyć ich moc. System Bowman dostarcza technologię, by zmaksymalizować wydajność turbodoładowanych dieseli napędzających agregaty prądotwórcze w zakresie mocy od 250 kW do 2.0 MW (zwykle od 6 do 90 litrów pojemności silnika). W przypadku korzystania z takich silników turbogenerator system Bowman pozwala na wzrost mocy od 10 do 15%, lub redukcję zużycie paliwa nawet o 8%, z dodatkową korzyścią dla redukcji emisji substancji szkodliwych dla środowiska. Generator turbo Bowman jest napędzany przez energię resztkową gazów spalinowych (33% energii spalania oleju napędowego tracona jest przez spaliny). Konstruktorzy i producenci omawianego generatora w licznych publikacjach oraz oficjalnej stronie produktu deklarują, iż metoda odzysku energii z przepływu spalin umożliwia średnią redukcję zużycia medium zasilającego w przedziale od 6% do 8%. Ostateczna oszczędność uzależniona jest od jednostki cieplnej z którą współpracuje turbina. W witrynie internetowej producent przedstawia, ofertę produktową dedykowaną pod jednostki największych producentów silników takich jak: Scania, Volvo (rys. 1.3.4), Iveco czy też Caterpillar. Ponadto w raz z implementacją powyższego rozwiązania do układu wydechowego producent zapewnia możliwość zastosowania e-boost czyli electric turbo

compound. Wykorzystanie napędu elektrycznego w module turbosprężarki przy niskich obrotach silnika pozwala na poprawę krzywej mocy i szybszej reakcji generatora na obciążenia.



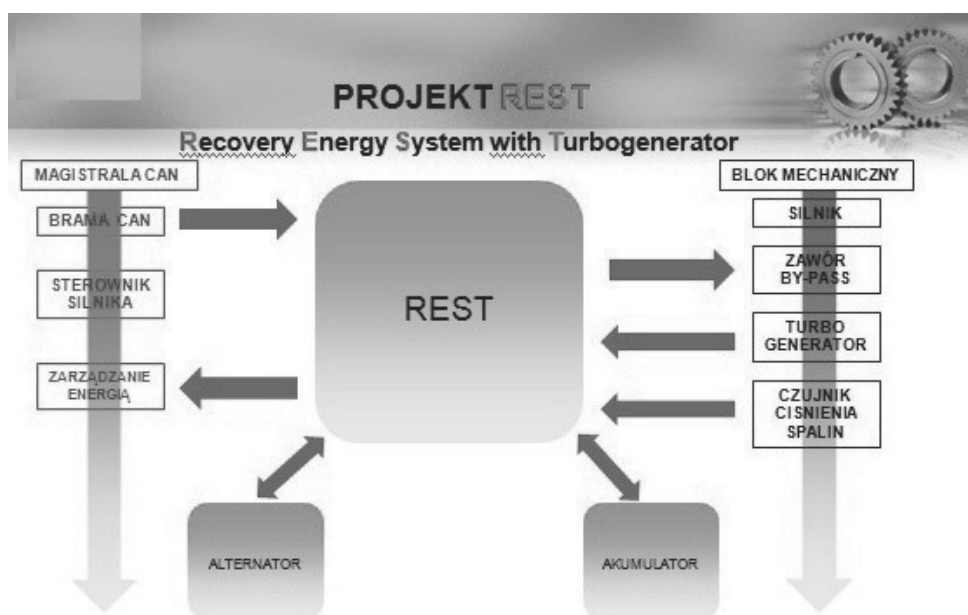
Rys. 1.3.5 Przekrój wysokoobrotowego turbogenerators firmy Bowmanpower [5].

Turbo compound polega na zastosowaniu turbiny do odzysku energii z układu wydechowego silnika tłokowego i ponowne wprowadzenie tego energii z powrotem do silnika. Obecnie wykorzystuje się dwie formy: mechaniczne turbocompound, które zostało wprowadzone w sektorze lotniczym w latach 1940 i elektryczne turbo compound. Pionierem przy wykorzystaniu turbocompound w energetyce i sektorze pojazdów ciężkich jest firma Bowman oraz Caterpillar. W mechanicznym turbocompound, energia odzyskana z gazów spalinowych (pominięcie ciepła) zostaje zamieniona na energię kinetyczną i podawana z powrotem do silnika poprzez sprzęgło kinetyczne. W przypadku elektrycznego turbocompound energia kinetyczna przekształca się w energię elektryczną, a następnie zostaje przesyłana do silnika elektrycznego przez moduł elektroniki mocy.

1.3.4. REST

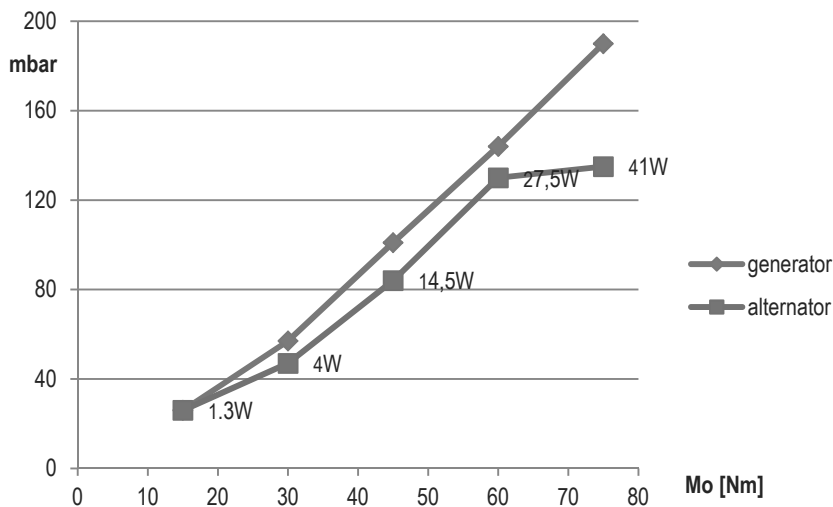
Recovery Energy System with Turbogenerator – REST jest opracowanym przez autorów innowacyjnym rozwiązaniem posiadającym modułową budowę wyróżniającą strukturę mechaniczną – turbogenerator oraz strukturę zarządzającą

cą – sterownik. Założeniem opracowanego systemu jest jego uniwersalność i kompatybilność z różnymi rodzajami jednostki spalinowej pozwalające na odzysk energii w każdych warunkach eksploatacyjnych. Dlatego też istotnym jest fakt poprawnego oraz elastycznego doboru kryteriów pomiaru wielkości charakteryzujących pracę silnika spalinowego. Właściwy dobór wielkości wejściowych pozwoli na optymalną konfigurację iysterowanie aktuatorów. Nie bez znaczenia dla spójności działania systemu jest także metoda opomiarowania sygnałów. W generatorach w których jednostka spalinowa oparta jest na szynowym zasilaniu wysokociśnieniowym współpracującym z magistralą CAN możliwe jest pozyskanie z niej sygnałów wymaganych do funkcjonowania i współdziałania systemu rekuperacji.

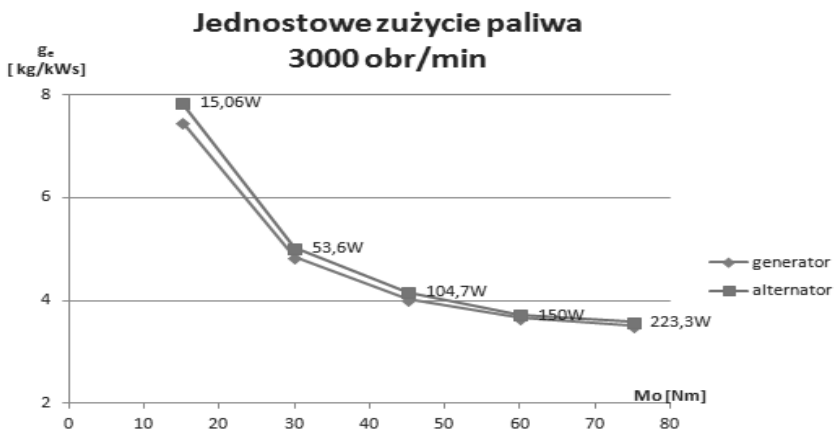


Rys. 1.3.6 Struktura systemu REST [6]

Innowacyjność oraz uniwersalność wyróżniająca system REST polega na możliwości łączenia funkcjonujących już sprężarek z odpowiednio dobranym generatorem poprzez odpowiednie przedłużenie i wysprzężenie wału sprężarki. Ponadto dzięki niezależnemu systemowi nadzoru nad pozyskaną energią elektryczną oraz odpowiedniemu jej dystrybuowaniu istnieje możliwość implementacji turbogeneratorsa do jednostki wolnossącej. Badania przeprowadzone w Instytucie Eksploatacji Pojazdów i Maszyn Uniwersytetu Technologicznego Humanistycznego w Radomiu wykazały, iż wykorzystanie generatora prądu zmiennego do układu wydechowego niemalże nie zauważalnie zmienia wartość ciśnienia przed sprężarką (rys. 1.3.7, 1.3.8).

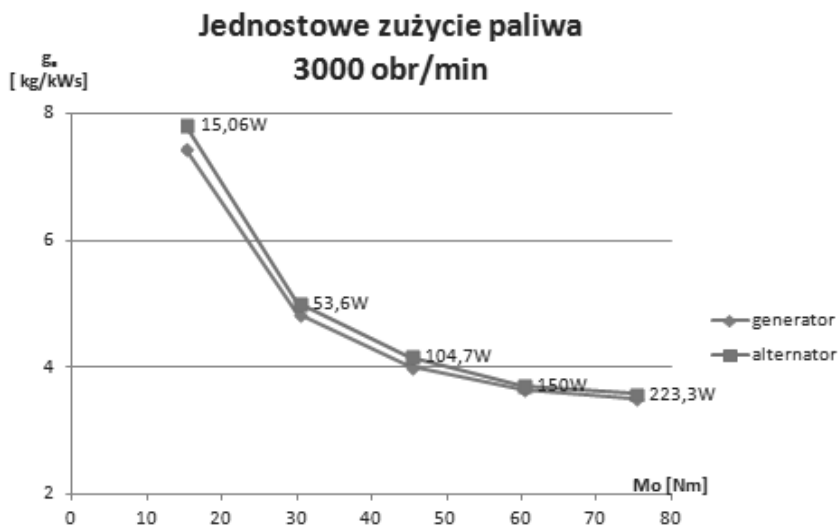


Rys. 1.3.7 Wykres przebiegu ciśnienia dla prędkości 1500 obr/min [6]

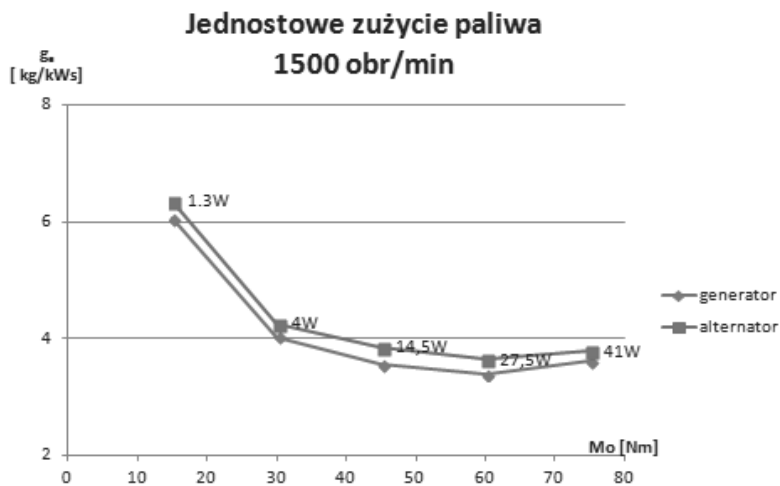


Rys. 1.3.8 Wykres przebiegu ciśnienia dla prędkości 3000 obr/min [6]

Wyniki przeprowadzone na stanowisku badawczym w kontekście zużycia medium zasilającego wykazały, iż jednostkowe zużycie paliwa w konfiguracji nominalnej silnika jest od 2 do 4% większe w porównaniu do wersji z zainstalowanym turbogeneratorem (rys. 1.3.9, 1.3.10).



Rys. 1.3.9 Wykres przebiegu jednostkowego zużycia paliwa dla prędkości 3000 obr/min [6]



Rys. 1.3.10 Wykres przebiegu jednostkowego zużycia paliwa dla prędkości 1500 obr/min [6]

1.3.5. PODSUMOWANIE

Analizując dotychczasowe wyniki systemu REST przeprowadzone na jednostce spalinowej o zapłonie iskrowym pochodzącej z samochodu osobowego, można wnioskować, iż rozwiązanie to bezinwazyjnie można zaimplementować do zespołów silnik – generator prądu. Rozwiązanie takie dzięki swojej modułowej budowie umożliwiłoby podniesienie wydajności funkcjonujących już urządzeń prądotwórczych oraz obniżenie kosztów produkcji nowo powstałych rozwiązań.

LITERATURA

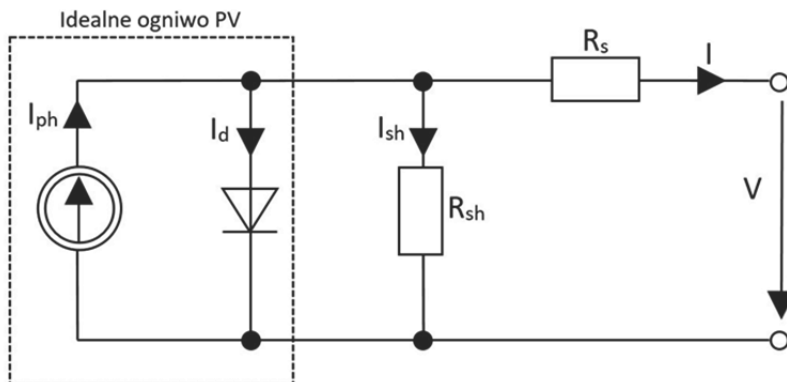
- [1] Postrzednik S., Żmudka Z.: Termodynamiczne oraz ekologiczne uwarunkowania eksploatacji tłokowych silników spalinowych, Gliwice 2007.
- [2] Kozaczewski W.: Konstrukcja grupy tłokowo cylindrowej silników spalinowych. WKiŁ 2010.
- [3] Dziubański S., Jantos J., Mamala J.: Wykorzystanie energii spalin do napędu turbogeneratorsa w silniku ZI, Czasopismo Techniczne Politechnika Krakowska 2008.
- [4] Teodorczyk A., Rychter T.: Teoria silników tłokowych, WKiŁ 2006.
- [5] Luft. M, Olszowiec. P: Application of a turbogenerator in the I.C. engine exhaust system, Cesds Słowacja 2011.
- [6] Luft.M, Olszowiec.P: Kryteria doboru sygnałów dla sterownika systemu REST, Logitrans 2014, Szczyrk

1.4. MODELOWANIE MATEMATYCZNE FUNKCJONOWANIA OGNIW, MODUŁÓW I PANELI FOTOWOLTAICZNYCH*

1.4.1. WSTĘP

Funkcjonowanie ogniwa fotowoltaicznego (PV) można zastąpić modelem jednodiodowym ogniwa PV, który dostarcza porównywalne wyniki z pomiarami uzyskiwanymi doświadczalnie. Model idealnego ogniwa PV jest zastępowany równoległym połączeniem źródła prądu z jedną diodą lub dwoma diodami. W celu dokładniejszego odwzorowania warunków rzeczywistych funkcjonowania ogniwa PV w schemacie zastępczym należy uwzględnić rezystancję szeregową i równoległą (bocznikową). Modelowe obliczenia w głównej mierze wykorzystywane są do prognozowania parametrów funkcjonowania ogniw PV w różnych warunkach środowiskowych, w szczególności dla zmian natężenia promieniowania słonecznego i temperatury.

1.4.2. JEDNODNIOWY MODEL ZASTĘPCZY OGNIWA FOTOWOLTAICZNEGO ORAZ PODSTAWOWE ZALEŻNOŚCI MATEMATYCZNE



Rys. 1.4.1. Schemat jednodiodowego modelu zastępczego ogniwa PV [oprac. własnej]

* **Autorzy:** mgr inż. Paweł MATUSZCZYK, Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny, Instytut Elektroniki Przemysłowej, ul. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa, e-mail: pawelmatuszczyk@windowslive.com

dr inż. Janusz FLASZA, Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny, Instytut Elektroniki Przemysłowej, ul. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa, e-mail: januszflasza@o2.pl

prof. dr hab. inż. Tomasz POPLAWSKI, Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny, ul. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa, e-mail: poptom@el.pcz.czyst.pl

dr Jacek KOŁOCZEK, Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy, Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami, ul. Chmielna 132/134, 00-805 Warszawa, e-mail: jacek.koloczek@kobize.pl.

Dla jednodiodowego schematu zastępczego ogniwa PV, korzystając z pierwszego prawa Kirchhoffa można zapisać zależności prądowe:

$$I = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad (1.4.1)$$

$$I = I_{ph} - I_s \cdot \left[\exp\left(\frac{V+I \cdot R_s}{n \cdot V_t}\right) - 1 \right] - \frac{V+I \cdot R_s}{R_{sh}} \quad (1.4.2)$$

gdzie:

I_{ph} – natężenie prądu generowanego w ogniwie [A];

I_d – natężenie prądu diody [A];

I_{sh} – natężenie prądu płynącego przez bocznik [A];

I_s – prąd wsteczny nasycenia diody [A];

V – napięcie ogniwa (obciążenia) [V];

n – współczynnik, jakości diody (wartość od 1 do 2, idealna dioda, $n=1$);

R_s – rezystancja szeregową [Ω];

R_{sh} – rezystancja równoległa (bocznikowa) [Ω].

Wartości rezystancji szeregowej i równoległej powinny spełniać poniższe warunki:

$$R_s < 0,1 \cdot \frac{V_{oc}}{I_{sc}} < 0,01[\Omega] \text{ – dla idealnego ogniwa PV, } R_s=0$$

$$R_{sh} > 10 \cdot \frac{V_{oc}}{I_{sc}} > 10[\Omega] \text{ – dla idealnego ogniwa PV, } R_{sh}=\infty$$

gdzie:

V_{oc} – napięcie obwodu otwartego [V]; I_{sc} – prąd zwarcia ogniwa [A].

Prąd wsteczny nasycenia diody (I_s) definiuje poniższa zależność:

$$I_s = \frac{I_{sc}}{\exp\left(\frac{V_{oc}}{n \cdot V_t}\right) - 1} \quad (1.4.3)$$

Napięcie termiczne ogniwa fotowoltaicznego (V_t) wraza się poniższą zależnością:

$$V_t = \frac{k_B \cdot T_c}{q} \quad (1.4.4)$$

gdzie: q – ładunek elektronu równy $1,602 \cdot 10^{-19}$ [C]; k_B – stała Boltzmana równa $1,38 \cdot 10^{-23}$ [J/K].

Dodatkowo zależność (1.4.3) można uzależnić od temperatury i wielkości przerwy energetycznej półprzewodnika – E_g , z którego wykonane zostało ogniwo fotowoltaiczne. Wówczas zależność ta będzie miała postać:

$$I_s(T_c) = I_s \cdot \left(\frac{T_c}{T_{STC}}\right)^3 \cdot \exp\left[\frac{E_g}{n \cdot V_t} \cdot \left(\frac{T_c}{T_{STC}} - 1\right)\right] \quad (1.4.5)$$

gdzie:

T_{STC} – temperatura ogniwa PV w warunkach STC [K];

E_g – przerwa energetyczna półprzewodnika [eV].

Natężenie generowanego fotoprądu w ogniwie wyraża zależność:

$$I_{ph} = I_{sc} \cdot \frac{E}{E_{STC}} \quad (1.4.6)$$

gdzie: E – całkowity strumień natężenia promieniowania słonecznego [W/m^2];
 E_{STC} – natężenie promieniowania słonecznego w warunkach STC ($E_{STC}=1000$ [W/m^2]).

Producenci ogniw fotowoltaicznych dla prądu zwarcia I_{sc} i napięcia obwodu otwartego V_{oc} , podają również współczynniki temperaturowe, które należy uwzględnić w powyższych zależnościach tj. 1.4.3 i 1.4.6. Należy tutaj pamiętać również o uwzględnieniu zależności powyższych parametrów od temperatury ogniwa fotowoltaicznego T_c .

Współczynniki temperaturowe:

$$I_{sc}(T_c) = I_{sc} \cdot \left[1 + (T_c - 298) \cdot \frac{\alpha_T}{100}\right] \quad (1.4.7)$$

$$V_{oc}(T_c) = V_{oc} \cdot \left[1 + (T_c - 298) \cdot \frac{\beta_T}{100}\right] \quad (1.4.8)$$

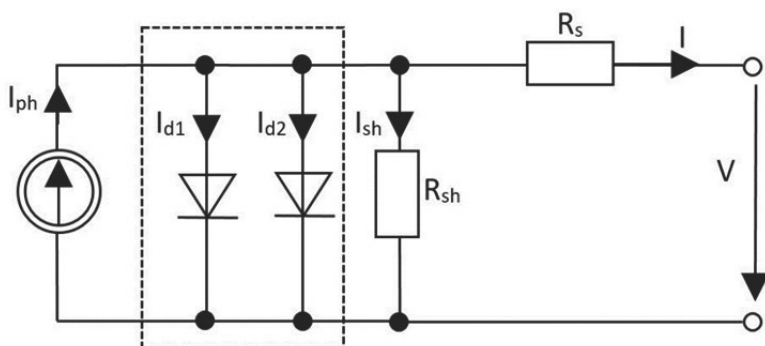
gdzie:

α_T – współczynnik temperaturowy dla I_{sc} [$\% \cdot K^{-1}$];

β_T – współczynnik temperaturowy dla V_{oc} [$\% \cdot K^{-1}$].

1.4.3. DWUDIODOWY MODEL ZASTĘPCZY OGNIWA FOTOWOLTAYCZNEGO ORAZ PODSTAWOWE ZALEŻNOŚCI MATEMATYCZNE

Model dwudiiodowy jest zmodyfikowaną wersją modelu jednodiodowego, w którym zaimplementowano dwie różne diody.



Rys. 1.4.1. Schemat dwudiiodowego modelu zastępczego ogniwa PV [oprac. własne]

Zależność matematyczna wynikająca z pierwszego prawa Kirchhoffa, przedstawia się następująco:

$$I = I_{ph} - I_{d1} - I_{d2} - I_{sh} \quad (1.4.9)$$

W powyższym modelu składowa prądu diody jest podzielona na część dyfuzyjną prądu ciemnego oraz część rekombinacyjną prądu ciemnego.

Składowa dyfuzyjna prądu ciemnego:

$$I_{d1} = I_{s1} \cdot \left[\exp\left(\frac{V+I \cdot R_s}{n_1 \cdot V_t} - 1\right) \right] \quad (1.4.10)$$

gdzie:

$$I_{s1} \cong T_c^3 \cdot \exp\left(-\frac{E_g}{V_t}\right) \quad (1.4.11)$$

Składowa rekombinacyjna prądu ciemnego:

$$I_{d2} = I_{s2} \cdot \left[\exp\left(\frac{V+I \cdot R_s}{n_2 \cdot V_t} - 1\right) \right] \quad (1.4.12)$$

gdzie:

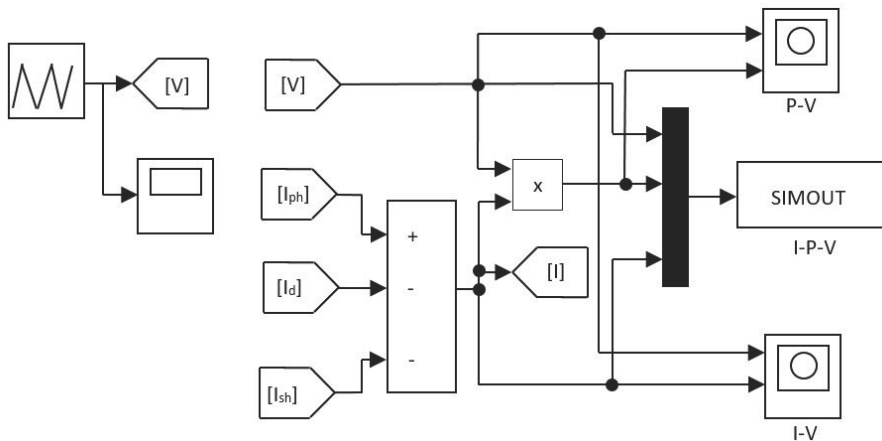
$$I_{s2} \cong T_c^{\frac{3}{2}} \cdot \exp\left(-\frac{E_g}{2 \cdot V_t}\right) \quad (1.4.13)$$

1.4.4. IMPLEMENTACJE MODELU OGNIWA FOTOWOLTAICZNEGO W PROGRAMIE MATLAB-SIMULINK

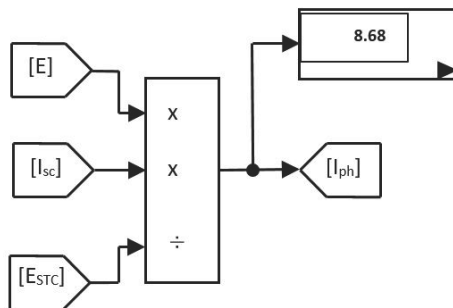
Z matematycznego punktu widzenia model matematyczny typowej charakterystyki prądowo-napięciowej ogniwa PV jest nieliniowy i uwikłany, jest możliwy do rozwiązania tylko w procesie obliczeń iteracyjnych.

Zastosowanie pakietu oprogramowania Matlab-Simulink jest doskonałym rozwiązaniem, które pozwala szybko wizualizować otrzymywane wyniki prowadzonych symulacji komputerowych.

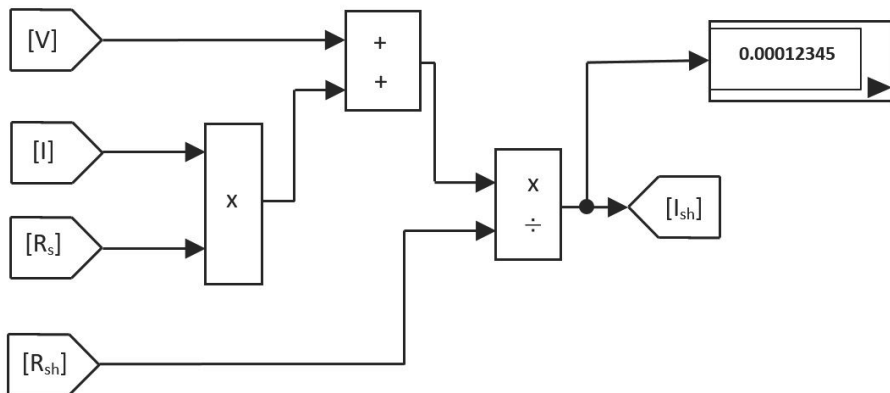
Poniżej zostaną przedstawione wybrane schematy blokowe układów do symulacji funkcjonowania ogniwa fotowoltaicznego w pakiecie Matlab-Simulink.



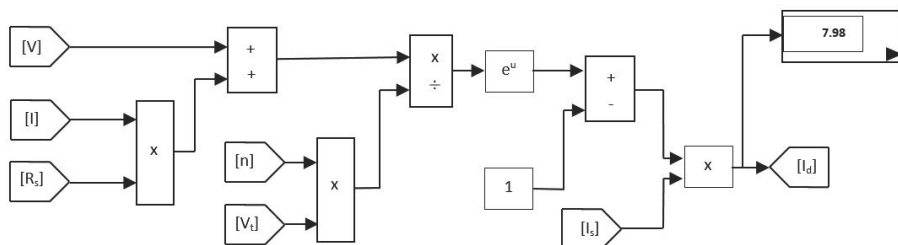
Rys. 1.4.2. Schemat blokowy układu symulacji ogniwa PV (zależności 1.4.1 i 1.4.2) [oprac. własne]



Rys. 1.4.3. Schemat blokowy do obliczenia prądu I_{ph} [oprac. własne]



Rys. 1.4.4. Schemat blokowy do obliczenia prądu I_{sh} [oprac. własne]



Rys. 1.4.4. Schemat blokowy do obliczenia prądu diody I_d [oprac. własne]

1.4.5. SYMULACJA FUNKCJONOWANIA MODUŁÓW I PANELI FOTOWOLTAICZNYCH

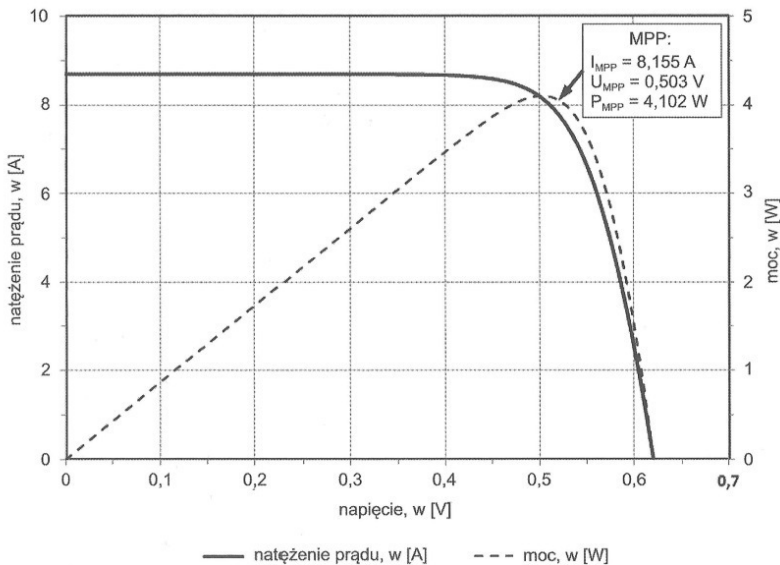
Wersja uproszczona modelu ogniwa PV stosunkowo dobrze odzwierciedla wygląd charakterystyki prądowo-napięciowej dla warunków STC. Warunki te określają temperaturę badanego modułu równą 25°C , przy natężeniu promieniowania światła na poziomie 1000 W/m^2 , przy współczynniku masy powietrza AM1.5. Standard STC umożliwia wiarygodne porównywanie paneli i modułów pochodzących od różnych producentów.

Wykorzystując powyższe modele matematyczne zapisane w programie Matlab-Simulink można uzyskać poniższe wyniki.

Tab. 1.4.1. Wyniki uzyskane podczas symulacji oraz dane podawane przez producenta [7].

Parametr	Dane		Błąd względny $ \delta $ w [%]
	producenta	z symulacji	
V_{MPP} [V]	0,5175	0,503	2,81
I_{MPP} [A]	8,01	8,155	1,81
P_{MPP} [W]	4,145	4,102	1,04
FF [%]	76,9	76,1	1,04
η [%]	17,0	16,9	1,04

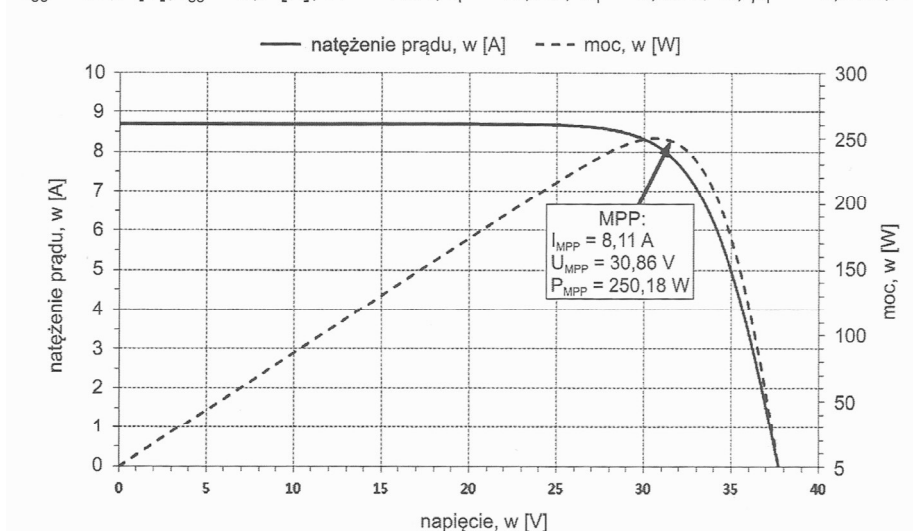
Obliczony błąd względny, wyrażony w procentach, otrzymanych wyników nie przekroczył 3%, co można traktować jako pozytywną weryfikację modelu ogniwa PV.



Rys. 1.4.5. Wyniki symulacji dla monokrystalicznego krzemowego ogniwa PV w warunkach STC [7]

W celu uwzględnienia warunków zewnętrznych na funkcjonowanie ogniwa fotowoltaicznego, należy zastosować modele rozbudowane, które pozwalają ustalić odpowiednią ilość połączonych szeregowo i/lub równoległe ogniwa PV w module. Modele rozbudowane uwzględniają współczynniki temperaturowe dla parametrów I_{sc} i V_{oc} oraz umożliwiają zmianę temperatury ogniwa fotowoltaicznych T_c i natężenia promieniowania słonecznego E .

$V_{oc} = 37,7$ [V], $I_{sc} = 8,7$ [A], $FF = 76\%$, $\eta = 15,7\%$, $\alpha_T = 0,05\%/^{\circ}K$, $\beta_T = -0,34\%/^{\circ}K$

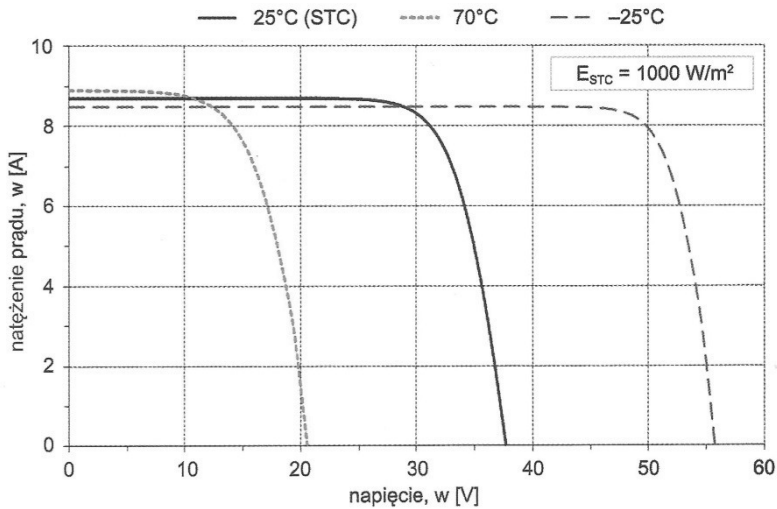


Rys. 1.4.6. Wyniki symulacji modelu rozbudowanego (uwzględniającego współczynniki temperaturowe i temperaturę ogniwa T_c) dla monokrystalicznego krzemowego ogniwa PV WEBEL SOLAR W2300 z uwzględnieniem danych wejściowych w warunkach STC [7]

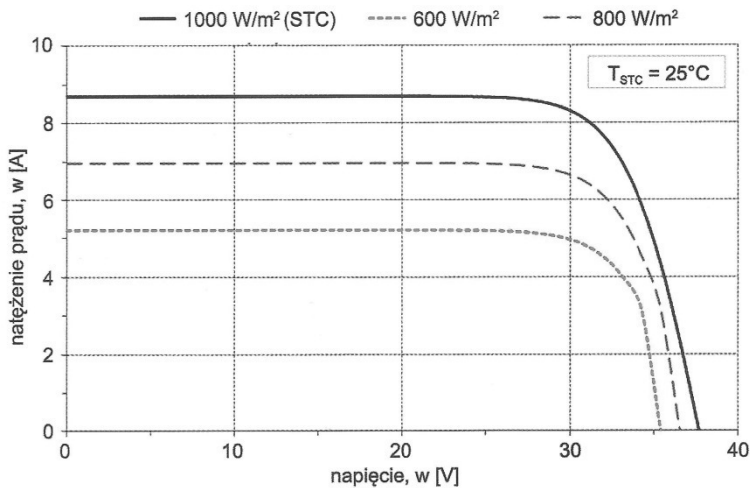
Stosując identyczną metodę weryfikacji uzyskano jeszcze lepsze dopasowanie wyników niż dla wcześniejszego ogniwa PV.

Tab. 1.4.2. Wyniki uzyskane podczas symulacji oraz dane podawane przez producenta dla modułu WEBEL SOLAR W2300 [7].

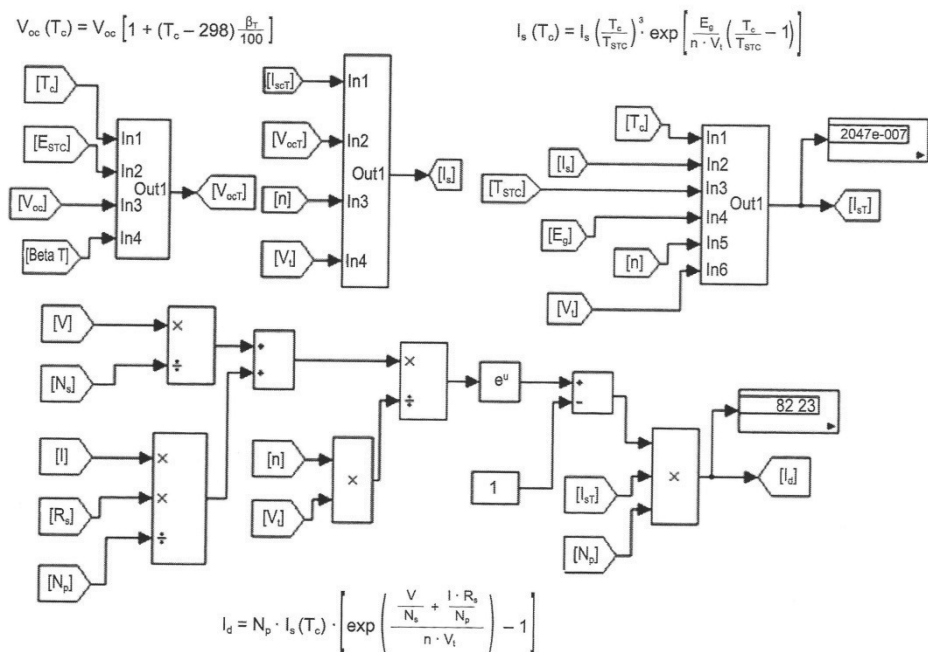
Parametr	Dane		Błąd względny δ w [%]
	producenta	z symulacji	
V_{MPP} [V]	30,16	30,86	2,32
I_{MPP} [A]	8,29	8,11	2,15
P_{MPP} [W]	249,97	250,18	0,09
FF [%]	76,2	76,3	0,12
η [%]	15,32	15,34	0,12



Rys. 1.4.7. Wyniki symulacji wpływu temperatury modułu WEBEL SOLAR 2300W na kształt charakterystyki prądowo-napięciowej [7]



Rys. 1.4.8. Wyniki symulacji wpływu natężenia promieniowania słonecznego modułu WEBEL SOLAR 2300W na kształt charakterystyki prądowo-napięciowej [7]



Rys. 1.4.9. Przykładowe modele rozbudowane do obliczania prądów I_s i I_d oraz napięcia V_{oc} [7]

1.4.6. PODSUMOWANIE

Modelowe obliczenia w głównej mierze wykorzystywane są do prognozowania parametrów funkcjonowania ogniw PV w różnych warunkach środowiskowych, w szczególności dla zmian natężenia promieniowania słonecznego i temperatury. Zaprezentowane modele można również wykorzystać do przeprowadzenia obliczeń symulacyjnych ogniw PV połączonych szeregowo i/lub równolegle w moduły bądź panele PV.

Modelowanie funkcjonowania ogniw fotowoltaicznych przy wykorzystaniu modelu z dwoma diodami powoduje komplikacje obliczeń, które są nie-współmierne do otrzymywanych wyników.

W przypadku zastosowania układu jednodiodowego najlepsze wyniki obliczeń symulacyjnych z pomiarami rzeczywistymi uzyskuje się przy następujących wartościach liczbowych współczynnika, jakości diody „n” w zależności od zastosowanego półprzewodnika do budowy ogniwa fotowoltaicznego [7]:

- AsGa n=1.3
- CIS n=1.5
- CdTe n=1.5
- Krzem monokrystaliczny n=1.2

- Krzem polikrystaliczny $n=1.3$
- Krzem amorficzny $n=1.8$

LITERATURA

- [1]. Gułkowski S., Modelowanie charakterystyki I–V ogniw słonecznych w środowisku Matlab/Simulink, Czasopismo Inżynierii Łądowej, Środowiska i Architektury, lipiec–wrzesień 2014;
- [2]. Góralczyk I., Tytko R., Fotowoltaika. Urządzenia, instalacje fotowoltaiczne i elektryczne, Kraków 2015;
- [3]. Jarmuda T., Modelowanie struktury systemu fotowoltaicznego i symulacja efektów rozproszonego zacienienia w środowisku Matlab & Simulink, Poznań 2015;
- [4]. Jastrzębski Z. M., Energia słoneczna. Konwersja fotowoltaiczna, Warszawa 1990;
- [5]. Klugmann-Radziemska E., Fotowoltaika w teorii i praktyce, Warszawa 2010;
- [6]. Łotocki H., ABC systemów fotowoltaicznych sprzężonych z siecią energetyczną. Poradnik dla instalatorów, Krosno 2013;
- [7]. Sarniak M., Budowa i eksploatacja systemów fotowoltaicznych, Warszawa 2015;
- [8]. Sarniak M., Podstawy fotowoltaiki, Warszawa 2008;
- [9]. Waclawek M., Rodziejewicz T., Ogniwa słoneczne wpływ środowiska naturalnego na ich pracę, Warszawa 2014.

Netografia

1. www.eco-energia.pl [dostęp 27.08.2016]
2. www.easysolar.pl [dostęp 18.08.2016]
3. www.fotowoltaikainfo.pl [dostęp 21.08.2016]
4. www.fotowoltaika.edu.pl [dostęp 15.08.2016]
5. www.fotowoltaika.net [dostęp 21.08.2016]
6. www.globenergia.pl [dostęp 19.08.2016]
7. www.on-eco.pl [dostęp 27.08.2016]
8. www.portal-fotowoltaika.pl [dostęp 27.08.2016]
9. www.pv-forum.pl [dostęp 27.08.2016]
10. www.pvmonitor.pl [dostęp 27.08.2016]
11. www.solsum.pl [dostęp 27.08.2016]
12. www.ieo.pl [dostęp 20.08.2016]
13. www.suntrack.pl [dostęp 22.08.2016]
14. www.yadda.icm.edu.pl [dostęp 22.08.2016]

Rozdział II. ENERGETYKA PROSUMENCKA

Obecnym trendem rozwoju rynku energii elektrycznej na świecie jest koncentracja na lokalnej energetyce rozproszonej z jednoczesnym odejściem od energetyki systemowej. Główną rolę odgrywają tutaj aktywni odbiorcy energii (producenci i konsumenci), których nazywa się prosumentami. Energetyka prosumencka wspiera i rozwija ideę inteligentnych sieci, budynków i opomiarowania. Dzięki takiej polityce umożliwia się prosumentom prawidłowe rozliczenia wytwarzanej, zużywanej, kupowanej i sprzedawanej energii elektrycznej.

W niniejszym rozdziale poruszono zagadnienia związane z energetyką prosumencką powiązaną z Odnawialnymi Źródłami Energii. Autorzy prezentują interesujące rozwiązania techniczne, posiadające praktyczne aspekty wdrożenia i zastosowania. Przykładem może być zintegrowany system zarządzania popytem w aspekcie polityki krajowej i Unii Europejskiej oraz PI System, służący do monitorowania i zarządzania instalacją prosumencką. W dalszej części rozdziału opisano funkcjonowanie giełdy energii w Polsce (TGE) na tle giełd w Unii Europejskiej i dokonano ich porównania. Przedstawiono metodę szacowania produkcji energii dla domowej mikroelektrowni PV. Na przykładzie gmin w Szwecji omówiono rolę paliw odnawialnych w strategii energetyczno-ekologicznej oraz oczekiwania Unii Europejskiej w tej kwestii. Poruszono również kilka istotnych aspektów związanych z energetyką w Polsce. Dotyczą one między innymi bezpieczeństwa energetycznego, współczesnych wyzwań w energetyce, segmentacji energetyki prosumenckiej oraz autorskiej propozycji nowej doktryny energetycznej.

Sektor energetyczny nie ma jeszcze dokładnie określonej strategii działania dotyczącego rozwoju, restrukturyzacji i prywatyzacji. Nadzieją na rozwój energetyki prosumenckiej jest uruchomiony w Narodowym Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej program „Prosument”. Ma on na celu wspieranie prosumentów i nowych technologii związanych z OZE. Dzięki takim przedsięwzięciom Polska energetyka ma szansę stać w niedalekiej przyszłości stać się niskoemisyjną, a tym samym przyjazną dla naturalnego środowiska człowieka.

Janusz Flaszka

2.1. ZASTOSOWANIE PLATFORMY PI SYSTEM DO ZARZĄDZANIA INSTALACJĄ PROSUMENCKĄ*

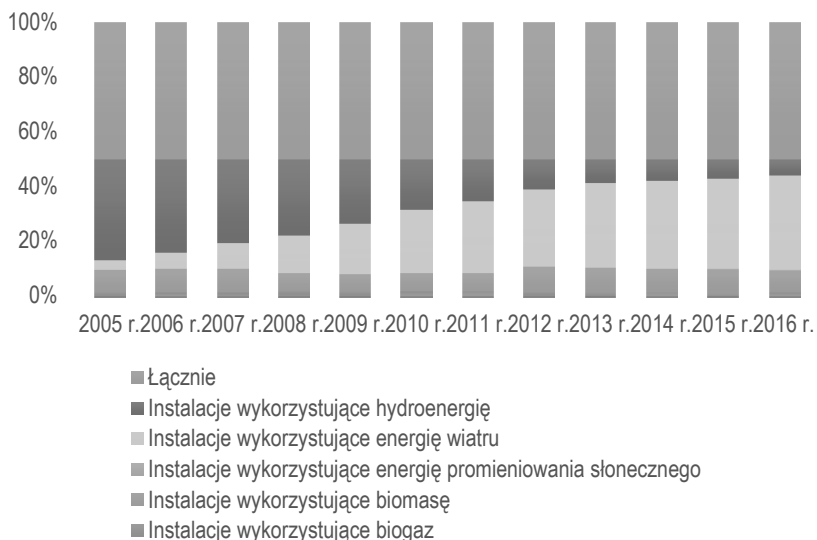
2.1.1. WSTĘP

Zarówno w Polsce jak i pozostałych krajach członkowskich UE zarysują się trendy związane z zarządzaniem procesami wytwarzania, magazynowania oraz użytkowania energii. Na tym polu coraz większe znaczenie zyskują instalacje prosumenckie. Pozwalają one na korzystanie z samodzielnie wytworzonej energii ze źródeł odnawialnych jak i sprzedaż nadwyżek zgodnie z przepisami obowiązującymi w danym kraju. W oparciu o idee DSM (ang. Demand Side Management) oraz DSR (ang. Demand Side Response) wynikającej z prostej zasady racjonalności dystrybucji i konsumpcji energii elektrycznej oraz jej magazynowania. Instalacje prosumenckie jako alternatywa dla energetyki konwencjonalnej muszą podlegać prawom rynkowym w zakresie zarządzania siecią a także podlegać praktykom benchmarkingu. Obecne przepisy prawa w tym obowiązująca Ustawa z dnia 22.06.2016 roku o zmianie ustawy o odnawialnych źródłach energii oraz niektórych innych ustawach (Dz.U. 2016 poz. 925) w pkt. 27a definiuje prosumenta jako – odbiorcę końcowego dokonującego zakupu energii elektrycznej na podstawie umowy kompleksowej, wytwarzającego energię elektryczną wyłącznie z odnawialnych źródeł energii w mikroinstalacji, w celu jej zużycia na potrzeby własne. Zatem zapewnienie optymalnego przepływu energii wymaga odpowiedniej infrastruktury sprzętowej współpracującej ze specjalizowanym oprogramowaniem, w tym systemami integrującymi rozproszone wyspy danych. Aplikacje te oprócz sprawnego zarządzania zasobami sprzętowymi pozwalają na obsługę sytuacji awaryjnych co z kolei zwiększa bezpieczeństwo użytkowania systemów automatyki domowej (ang. Smart Home), niezbędnej dla prosumenta.

2.1.2. ZARZĄDZANIE INSTALACJAMI PROSUMENCKIMI

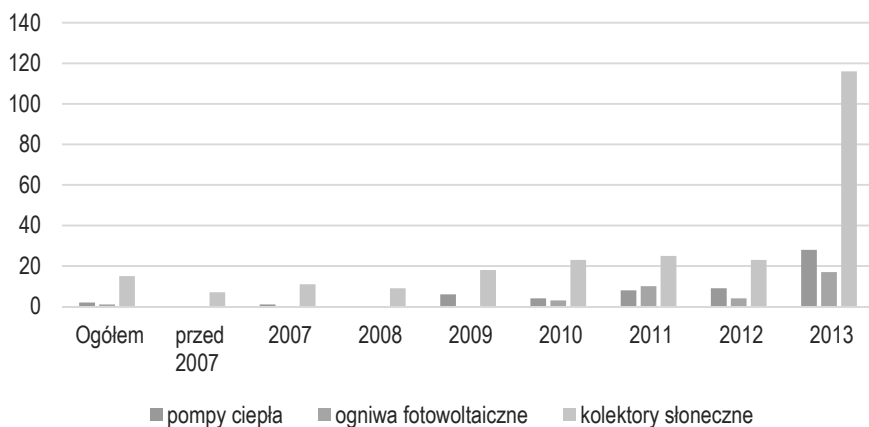
Obecnie obserwujemy na rynku energii dynamiczny wzrost udziału OZE w ogólnym bilansie energetycznym. Jak podaje Prezes URE w 2016 r. udział energii pochodzącej z OZE potwierdzonej świadectwami pochodzenia w czerwcu 2016 roku wzrósł w porównaniu do lat ubiegłych z 0,001 MW – 2009 roku do 91, 82 MW [1]

* **Autorzy:** dr inż. Piotr SZELĄG, Politechnika Częstochowska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa, e-mail: szelag@el.pcz.czyst.pl;
dr hab. inż. Sebastian DUDZIK, Politechnika Częstochowska, Instytut Elektroniki i Systemów Sterowania, ul. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa, e-mail: sebdud@el.pcz.czyst.pl;
mgr inż. Joanna KOPICA, Politechnika Częstochowska, e-mail: mkopica@o2.pl;
mgr inż. Radosław TURSKI, Politechnika Częstochowska, e-mail: radoslaw.turski@aspira.org.pl



Rys. 2.1.1. Łączna moc zainstalowana w poszczególnych rodzajach instalacji OZE, które uzyskały koncesję na wytwarzanie energii elektrycznej wg URE (opracowanie własne)

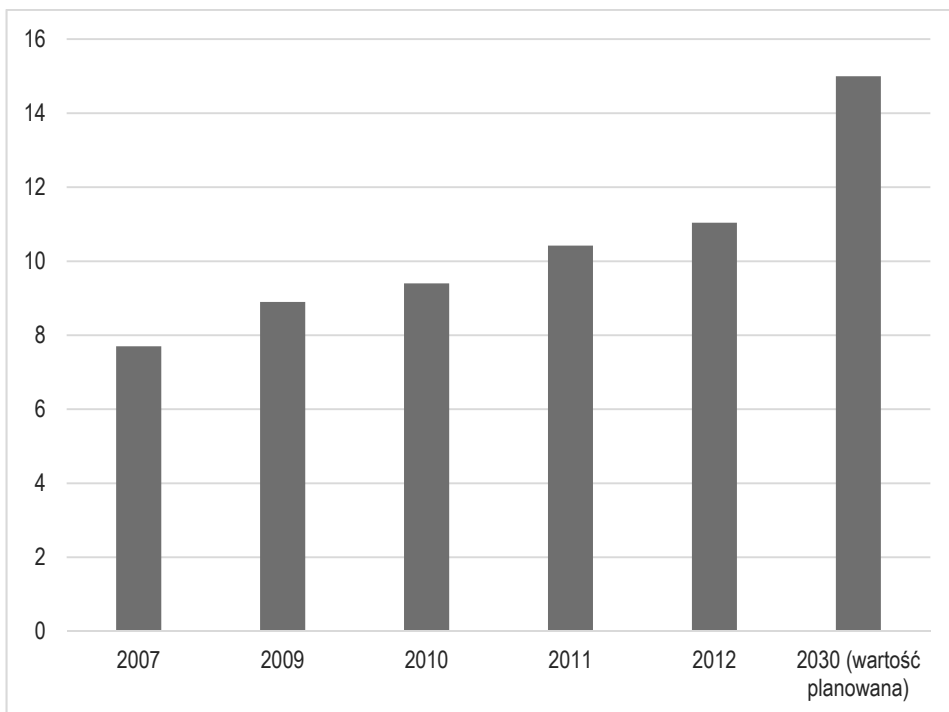
Prognozuje się też dalszy wzrost rozwoju energetyki słonecznej z uwagi na konkurencyjność cenową a także politykę krajową i Unii Europejskiej dążącą do zmniejszenia udziału CO₂ i emisji gazów cieplarnianych oraz zgodną z ideą zrównoważonego rozwoju.



Rys. 2.1.2. Liczba zrealizowanych instalacji OZE w Polsce do 2013, wg danych GUS [3] (opracowanie własne)

Jak podaje Instytut Energetyki Odnawialnej [2] najnowsze dane obrazują wzrost liczby mikroinstalacji przyłączonych do sieci OSD w pierwszych trzech kwartałach 2015 roku, liczba ta pod koniec roku zbliżała się do ponad 3000 instalacji. Typowa mikroinstalacja prosumencka to odnawialne źródło energii, o łącznej mocy elektrycznej nie większej niż 40 kW.

Rozwój niezależnych producentów energii elektrycznej tzw. IPP (ang. Independent Power Producer) wg URE wynosi obecnie 15% jest to niewiele w porównaniu z krajami rozwiniętymi. W I półroczu 2015 roku mikroinstalacje wytworzyły blisko 10,6 MWh energii elektrycznej. Jak podaje Ministerstwo Energii [4] w okresie realizacji Polityki Energetycznej Państwa (PEP 2030) udział energii ze źródeł odnawialnych w finalnym zużyciu energii wzrastał w związku z realizacją celu założonego w dyrektywie 2009/28/WE. W kolejnych latach przewidywany jest dalszy wzrost udziału energii ze źródeł odnawialnych, który pozwoli na osiągnięcie celu 15% w 2020 r. Według raportu w analizowanym okresie emisyjność produkcji energii elektrycznej wyraźnie zmalała, korzystne zmiany wynikają z zastosowania OZE.

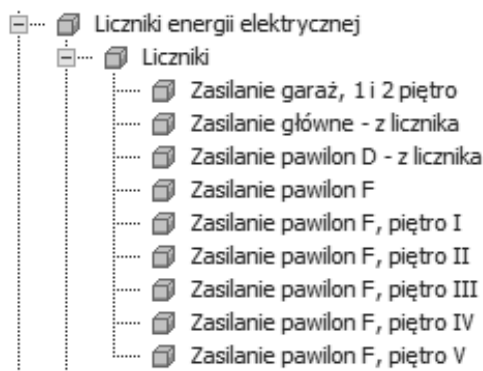


Rys. 2.1.3. Udział energii ze źródeł odnawialnych w finalnym zużyciu energii (%) wg Polityki Energetycznej Polski na lata 2030 (opracowanie własne)

2.1.3. PRZYKŁAD WYKORZYSTANIA PI SYSTEMU DO MONITOROWANIA ZASOBÓW WYDZIAŁU ELEKTRYCZNEGO POLITECHNIKI CZĘSTOCHOWSKIEJ

Wydział Elektryczny Politechniki Częstochowskiej dysponuje odnawialnymi źródłami energii, w skład których wchodzi: elektrownia fotowoltaiczna o mocy nominalnej 45 kW oraz elektrownia wiatrowa (trzy turbiny o pionowej osi obrotu – każda o mocy nominalnej 10 kW, jedna turbina o poziomej osi obrotu i mocy nominalnej 3 kW). W budynku usytuowanych jest szesnaście liczników energii elektrycznej gromadzących informacje z różnych obszarów jednostki. Część liczników jest licznikami zbiorczymi przez co możliwe jest przeprowadzenie bilansowania energii i weryfikacji odczytów. Dodatkowo na dachu zainstalowana jest stacja pogodowa rejestrująca na bieżąco parametry pogodowe.

Oprogramowanie PI System integruje wspomniane powyżej zasoby w jednej bazie danych umożliwiając ich walidację, a dzięki odpowiednim narzędziom udostępnia wgląd do nich z dowolnej lokalizacji poprzez Internet. Zapewnia przy tym bezpieczeństwo przechowywanych danych poprzez odpowiednie mechanizmy kontroli i specyficzną architekturę uniemożliwiającą bezpośredni dostęp do monitorowanych zasobów. Na rys. 2.1.4 przedstawiono fragment struktury zbudowanej przy pomocy aplikacji PI Asset Framework obrazującej liczniki energii elektrycznej.



Rys. 2.1.4. Struktura liczników energii elektrycznej, źródło: opracowanie własne.

Każdy z liczników umożliwia rejestrację dwudziestu sześciu parametrów. Na rys. 2.1.5 przedstawiono wybrane z nich. Podobna struktura została zbudowana na potrzeby pozostałych zasobów, przy uwzględnieniu specyfiki poszczególnych elementów. Dzięki odpowiednio zbudowanej strukturze możliwy jest szybki dostęp do żądanych parametrów.

	EP-	-115.120000839233 kWh
	EP+	252063.125 kWh
	EP- odczyt	-1.43900001049042 kWh
	EP+ odczyt	3150.7890625 kWh
	EQ-	-70262.48046875 kvarh
	EQ+	1476.56005859375 kvarh
	EQ+ odczyt	18.4570007324219 kvarh
	EQ- odczyt	-878.281005859375 kvarh
	IL1	20 A
	IL1 odczyt	0.25 A
	IL2	16.0000002384186 A
	IL2 odczyt	0.200000002980232 A
	IL3	19.1999995708466 A
	IL3 odczyt	0.239999994635582 A
	Mnozna	80
	P-	0 W
	P+	10.8 kW
	P+L1	3760000 W
	P-L1	0 W

Rys. 2.1.5. Wybrane parametry licznika, źródło: opracowanie własne.

Dodatkowo została przygotowana architektura za pomocą której możliwa jest optymalizacja kosztów energii elektrycznej poprzez analizę profilu zużycia. Składa się ona z trzech podstawowych stref:

- *licznik dane* – przechowuje odczyty energii elektrycznej,
- *obliczenia* – wyznaczenie zużycia energii elektrycznej i jej kosztów w poszczególnych okresach czasu,
- *taryfy dane* – dane o taryfach.

W każdym z tych zakresów przechowywane są informacje wymagane do bieżących obliczeń kosztów energii elektrycznej. Wyniki (w postaci wartości i wykresów) dostępne są za pośrednictwem aplikacji PI ProcessBook, PI Data-Link lub PI Coresight.

+	+	Licznik dane	0
-	+	Obliczenia	0
	+	EP+ 1h	11.21779 kWh
	+	EP+ 1h 1doba	209.555 kWh
	+	EP+ 1h 1week	1720.731 kWh
+	+	Taryfa wyniki	0
+	+	Taryfy dane	0

Rys. 2.1.6. Struktura umożliwiająca optymalizację kosztów energii, źródło: opracowanie własne.

2.1.4. ZARZĄDZANIE ENERGIA

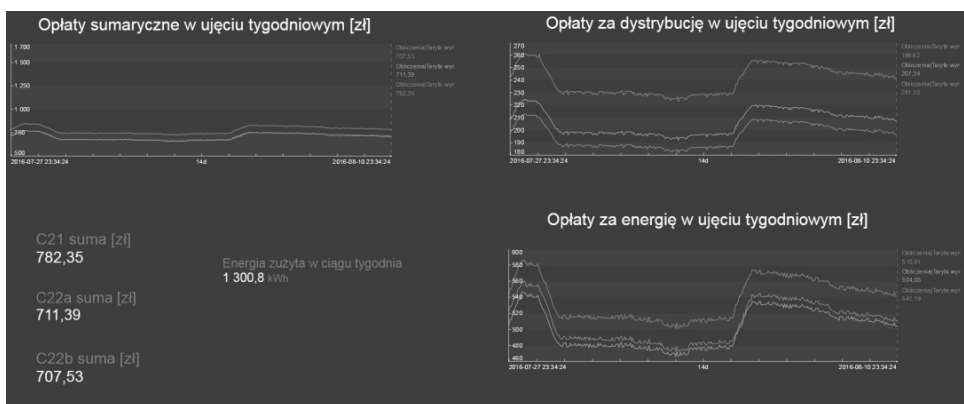
Typowe instalacje prosumenckie pracują w systemach on-grid czyli przyłączonych do sieci lub off-grid czyli tzw. systemach wyspowych nieprzyłączonych do lokalnej sieci energetycznej. Czasem spotyka się też systemy on-grid z magazynowaniem energii, które są bardziej niezawodne ale droższe. Możliwe też są kompleksowe rozwiązania z zakresu magazynowania energii, baterii, akumulatorów oraz ogniw dla cyklicznej pracy systemów korzystających z OZE. Te wszystkie rozwiązania powinny być zintegrowane w sposób przemyślany z istniejącą siecią elektroenergetyczną i odpowiednio zarządzane najlepiej za pomocą systemów modułowych, zapewniających większą intuicyjność obsługi i przyjazne oprogramowanie dla użytkownika końcowego (ang Human Fiendly). W skład typowej instalacji prosumenckiej mogą wchodzić m.in:

- inteligentne włączniki oświetlenia,
- inteligentne wtyczki,
- czujniki temperatury,
- inteligentne mierniki parametrów sieci (pomiar napięć, prądów, częstotliwości i innych).

Jednym z proponowanych rozwiązań na rynku do zarządzania platformą prosumencką jest oprogramowanie PI System. Daje ono możliwość stworzenia modułowego systemu informatycznego, który można dostosować do konkretnej architektury sprzętowej. W zależności od instalacji systemy ad hoc monitorują parametry pracy obiektu (np. zużycie energii czynnej, energii biernej czy też dane ze stacji pogodowej). W ten sposób umożliwiają integrację wysp danych i w konsekwencji ułatwiają całościową analizę danej instalacji. Wykonując różnego rodzaju analizy można optymalizować ponoszone koszty lub ograniczać straty. Przykładem tego może być analiza profilu zużycia energii elektrycznej i wybór najkorzystniejszej z punktu widzenia właściciela instalacji. W szerszej skali analiza taryf energii umożliwia sterowanie popytem oraz dostosowanie procesu generacji i dystrybucji energii do aktualnego zapotrzebowania oraz do

aktualnych cen energii zgodnych z wymogami dedykowanymi dla danego przypadku. Na rys. 1.1.7 przedstawiono przykładową analizę trzech wybranych taryf wykonaną przy pomocy modułu analitycznego PI Systemu. Przedstawiona analiza wskazuje jednoznacznie, iż taryfa C21 jest najmniej korzystna w stosunku do pozostałych. Aplikacje dedykowane instalacjom prosumenckim w sposób inteligentny zarządzają produkcją i przepływem energii.

Kluczowymi obszarami zastosowania systemów informatycznych w energetyce rozproszonej jest produkcja oraz magazynowanie energii pochodzącej z OZE. W tym przypadku uwzględnia się: energię elektryczną, ciepło, monitorowanie produkcji i konsumpcji urządzeń (np. w celu minimalizacji kosztów konsumpcji energii w oparciu o obowiązujące w danym okresie ceny dedykowane).



Rys. 2.1.7. Analiza kosztów energii elektrycznej ponoszonych przez Wydział Elektryczny Politechnika Częstochowska, źródło: opracowanie własne.

Aplikacje do zarządzania i sterowania popytem oparte są na systemach SCADA umożliwiających monitorowanie i kontrolowanie procesu zachodzącego w mikroźródłach. Produkcja, magazynowanie i zarządzanie energią pozwalają w sposób elastyczny dostosować konsumpcję do dynamicznie zmieniających się cen na rynku energii i jednocześnie korelują moc wprowadzaną do sieci z chwilowym zapotrzebowaniem. Oczywiście w zależności od ceny oprogramowania ważny jest także interfejs graficzny i metoda wizualizacji wyników [5].

W systemach informatycznych prognozowanie długoterminowe oparte jest na prognozach pogody, sezonowym zapotrzebowaniu, zaś prognozy krótkoterminowe opierają się na zdjęciach satelitarnych, siatkach punktów pomiarowych, bieżących obserwacjach pogody m.in. prognozowaniu ruchu chmur, zaciemnienia, nasłonecznienia. Należy też pamiętać, że odnawialne źródła energii są to źródła niestabilne, więc należy również w sposób inteligentny zintegrować je z KSE, szczególnie ze szczytem obciążenia sieci.

2.1.5. PROBLEM DOSTARCZANIA ENERGII OD STRONY PRZEDSIĘBIORSTWA ENERGETYCZNEGO, PROBLEM DSM, DSR

Zarządzanie popytem DSM (ang. Demand Side Management) polega na identyfikowaniu, ocenie i wykorzystaniu zasobów po stronie popytu na energię elektryczną przez jej użytkowników końcowych. Celem DSM jest efektywne wykorzystanie energii elektrycznej, kształtowanie krzywej obciążeń poprzez inteligentne sterowanie tzn. przesunięcie obciążeń poza szczytem [6]. Mechanizm DSR (ang. Demand Side Response) polega na współdziałaniu odbiorcy przy zarządzaniu popytem w sposób pasywny, czyli podporządkowanie się zdalnej redukcji energii przez operatora sieci w oparciu o zdefiniowane procedury, tzw. inteligentne sieci (ang. smart grids).

W krajach Unii Europejskiej mechanizmy DSR są regulowane przez przepisy prawne, takie jak: Dyrektywa, Electricity Law and Regulation [7] oraz Dyrektywa Energy End-Use Efficiency and Energy Services Directive (2006/32/EC)[8]. Pierwsza Dyrektywa nakłada na kraje członkowskie obowiązek opracowania planów oszczędności energii, nie wykluczając przy tym użytkowników końcowych, druga zaś dotyczy usług energetycznych i promocji technologii zarządzania obciążaniem w czasie rzeczywistym oraz efektywnego korzystania z zasobów energetycznych przez odbiorcę końcowego, zachęca do stosowania inteligentnych systemów pomiarowych takich jak sterowanie obciążeniem w czasie rzeczywistym i stosowania nowoczesnych układów pomiarowych (ang. Advanced metering systems). Kraje Wspólnoty przyjęły jako główny cel poprawę efektywności energetycznej o 20% do roku 2020, co z kolei jest związane z regulacjami zawartymi w Dyrektywie 2009/28/WE z 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych.

Mechanizm DSR w horyzoncie godzinowym czyli krótkookresowym to reakcja strony popytowej na bilans mocy w systemie czyli ekonomiczna optymalizacja zapotrzebowania na energię, ale nie na działania związane z oszczędzaniem energii. W horyzoncie długookresowym DSR może wpłynąć na bilans energii jak również spowodować oszczędność energii. Poniżej zestawiono główny podział programów DSR [9]:

- programy motywacyjne (bodźcowe) IBP (ang. *Initiative-Based Programs*),
 - programy cenowe (taryfowe) PBP (ang. *Prices-Based Programs*).
- Do grupy programów bodźcowych zalicza się:
- bezpośrednio sterowane odbiorem DLC (ang. *directloadcontrol*),
 - taryfy z wyłączeniem ICR (ang. *interruption/curtailable rates*),
 - oferty strony popytowej na ograniczenie obciążenia DBP (ang. *Demand bidding programs*),
 - program przeciwwawaryjnej odpowiedzi strony popytowej EDRP (ang. *Emergency dem and response programs*),

- programy rynku zdolności wytwórczych CMP (ang. Capacity market programs),
- programy rynku usług regulacyjnych ASMP (ang. ancillary services market programs).

Do grupy programów cenowych zalicza się:

- taryfy wielostrefowe TOU (ang. Time-of-use),
- taryfy z krytyczną stawką cenową CPP (ang. Critical-peak pricing),
- taryfy czasu rzeczywistego RTP (ang. Real-time pricing).

Poza tym stroną popytową można zarządzać aktywnie lub pasywnie. Aktywne sterowanie (DSM) popytem występuje wówczas kiedy odbiorcy dobrowolnie redukują obciążenia w konsekwencji trudnych warunków pracy systemu, zaś pasywne (DSR) wówczas występuje kiedy np. miliony odbiorców dobrowolnie redukują zapotrzebowanie w wyniku reakcji na sygnały cenowe. Aktywne sterowanie popytem umożliwia dostawcom fizycznie wyłączyć lub zredukować obciążenie u odbiorcy, urządzenia sterujące są po stronie odbiorcy, wyłączenie następuje wówczas z przyczyn ekonomicznych, technicznych np. regulacja napięć, taryfy (stawki) – jako program zachęty dla odbiorców np. wyłączenie klimatyzacji. W przypadku sterowania pasywnego, to odbiorca steruje redukcją obciążenia w oparciu o zawiadomienie dostawcy, zachętą są także taryfy, może wystąpić wyłączenie ze względów przeciwwawaryjnych lub kar za nie stosowanie redukcji, przykładem może być np. wyłączenie urządzeń przemysłowych, lub pieców hutniczych w sytuacjach awaryjnych.

2.1.6. PODSUMOWANIE

W przedstawionej pracy zarysowano problem zintegrowanego systemu zarządzania popytem. Jest to zagadnienie, które jest opracowywane przez instytucje międzynarodowe a także przez wszystkich operatorów sieci elektroenergetycznych. Zarówno polityka krajowa jak i Unii Europejskiej, kładzie ogromny nacisk na oszczędzanie energii oraz zmniejszenie emisyjności i produkcji gazów cieplarnianych. Jest to wyzwanie dla KSE, bowiem operatorzy sieci elektroenergetycznych muszą dostosować swoje zasoby do istniejącego zapotrzebowania na moc, a także w perspektywie długofalowej przyłączania coraz większej ilości instalacji korzystających z OZE, tzw. energetyki rozproszonej. W tym zakresie realizując cele zasady zrównoważonego rozwoju niezbędne są narzędzia informatyczne optymalizujące pracę sieci elektroenergetycznej lub urządzeń konkretnej instalacji. Budowanie systemów automatyki budowlanej potocznie zwanych „inteligentnymi domami”, gdzie zarządza się popytem na energię elektryczną przez samego odbiorcę w oparciu o dane aktywizacyjne pochodzące z zewnątrz tj. temperatura powietrza zewnętrznego, nasłonecznienie, sił, kierunek i prędkość wiatru, a także w oparciu o algorytmy samouczące się tzw. inteligentne czujnik pozwalające w domu zapewnić np. odpowiedni mikroklimat, wyłączać

lub włączać np. oświetlenie dostosowując je do odpowiednich stawek cenowych np. jeżeli budynek nie pracuje w systemie autonomicznym. Te rozwiązania szczególnie w przypadku biurowców, budynków publicznych pozwalają na szybką redukcję nadmiaru energii w zależności od zmiennego profilu obciążenia np. w przypadku szkół w okresie wakacyjnym jest niższe zapotrzebowanie na energię elektryczną z uwagi na przerwę wakacyjną. Z kolei w przypadku instalacji fotowoltaicznych szczyt generacji energii elektrycznej przypada na przedpołudniowy szczyt zapotrzebowania KSE, co szczególnie widoczne jest w okresach letnich. Aby rozwiązać te problemy konieczne jest implementacja systemów informatycznych i dalsze prace na udoskonaleniu już pracujących, co oczywiście już jest wdrażane. Dla przykładu Grupa Tauron ma w swojej ofercie dla klienta możliwość odczytu liczników on-line na razie na wybranych obszarach Polski. Podobne systemy będą wdrażane przez wszystkich operatorów sieci na terenie całego kraju.

LITERATURA

- [1] Urząd Regulacji Energetyki, www.URE.gov.pl
- [2] Instytut Energetyki Odnawialnej, www.IEO.pl
- [3] Główny Urząd Statystyczny, www.gov.pl
- [4] Ministerstwo Energii, <http://bip.me.gov.pl/node/24670>
- [5] R. Wójcik, „Informatyka w EP”, źródło <http://docplayer.pl/1662142-Informatyka-w-ep-robot-wojcicki.html>
- [6] Polskie sieci elektroenergetyczne, Operator S.A., Opracowanie modelu stosowania mechanizmów DSR na rynku energii w Polsce, Konstancin-Jeziorna, 14 grudzień 2009
- [7] Directive concerning measures to safeguard security of electricity supply and infrastructure investments OJ L 8 (2004), Electricity Law and Regulation (PE- Cons 3654/05)
- [8] Directive 2006/32/EC Energy End – Use Efficiency and Energy Services Directive
- [9] Assessment of 2008 Demand Response and Advance Metering Staff Report, Federal Energy Regulatory Commission, December 2008

2.2. ANALIZA KOSZTÓW INSTALACJI FOTOWOLTAICZNEJ DLA MOCY DO 40 KW *

2.2.1. WSTĘP

Zapotrzebowanie na energię elektryczną jest bardzo duże. W Polsce wynosi już blisko 4 MWh rocznie na jednego mieszkańca z tendencją wzrostową. Coraz więcej urządzeń w gospodarstwach domowych zasilanych jest energią elektryczną. Na przykład kuchenki gazowe są zastępowane przez kuchenki indukcyjne lub płyty grzewcze. Piece centralnego ogrzewania na paliwa stałe coraz częściej zastępowane są przez elektryczne ogrzewanie podłogowe lub pompy ciepła, które są zdecydowanie łatwiejsze w eksploatacji i są mniej czasochłonne w obsłudze. Zwiększenie zapotrzebowania na energię elektryczną generuje potrzebę instalowania nowych mocy wytwórczych. Przekłada się to na wzrost emisji gazów cieplarnianych do atmosfery, zanieczyszczenie powietrza oraz degradację środowiska poprzez nadmierne zużywanie paliw kopalnych. Z uwagi na malejące zasoby tradycyjnych surowców energetycznych oraz coraz większą dbałość o środowisko naturalne promowane są instalacje wykorzystujące odnawialne źródła energii (energię wiatru, słońca itp.), tzw. „zieloną energię” [1]. Bardzo dużym wyzwaniem dla linii energetycznych jest przesyłanie coraz większej ilości energii na duże odległości. W Polsce sieci energetyczne są w bardzo złym stanie technicznym i w większości przypadków niezbędne są niezwykle kosztowne modernizacje lub ich wymiana. Taki stan powoduje powstawanie częstych awarii co w rezultacie prowadzi do dyskomfortu użytkowników sieci, czego przykładem może być wstrzymanie produkcji w zakładach pracy i powstawanie strat.

2.2.2. UWARUNKOWANIA FORMALNO PRAWNE NA WYBÓR ROZWIĄZANIA TECHNICZNO-EKONOMICZNEGO

Zasady regulujące wytwarzanie i sprzedaż energii elektrycznej zawarte są w ustawie Prawo energetyczne [2] oraz w przypadku energii odnawialnej w projekcie Ustawy o Odnawialnych Źródłach Energii [3]. Wybierając konkret-

* *Autorzy: mgr inż. Paweł MATUSZCZYK, Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny, Instytut Elektroniki Przemysłowej, ul. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa,*

e-mail: pawelmatuszczuk@windowlive.com

dr inż. Janusz FLASZA, Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny, Instytut Elektroniki Przemysłowej, ul. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa, e-mail: januszflaszka@o2.pl

prof. dr hab. inż. Tomasz POPEŁAWSKI, Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny - ul. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa, e-mail: poptom@el.pcz.czyst.pl

mgr inż. Marek POPOWICZ, Ecovoltaika, ul. Sienkiewicza 6, Kurzelów, 29-100 Włoszczowa, e-mail: info@ecovoltaika.pl,

ne rozwiązanie, należy przeanalizować wszystkie możliwe warianty pod kątem regulacji zawartych w ww. aktach prawnych i wybrać najkorzystniejszy z nich.

Pierwszym czynnikiem, jaki należy rozważyć przy wyborze typu instalacji, jest jej wielkość. Według [2], instalacje wykorzystujące odnawialne źródła energii z uwagi na ich wielkość podzielić można na mikroinstalacje (o zainstalowanej: mocy ≤ 40 kW), małe instalacje (o mocy przekraczającej 40 kW, ale nie większej niż 200 kW) i pozostałe, które z uwagi na zainstalowaną moc (powyżej 200 kW) mają charakter przemysłowy. Najkorzystniejsze warunki (ograniczenie procedur formalnoprawnych) stworzone zostały dla podmiotów chcących inwestować w mikroinstalacje: wytwarzanie energii w tych instalacjach przez osoby fizyczne nie jest traktowane jako działalność gospodarcza, zagwarantowano odbiór nadmiaru wytworzonej w takich instalacjach energii elektrycznej itp.

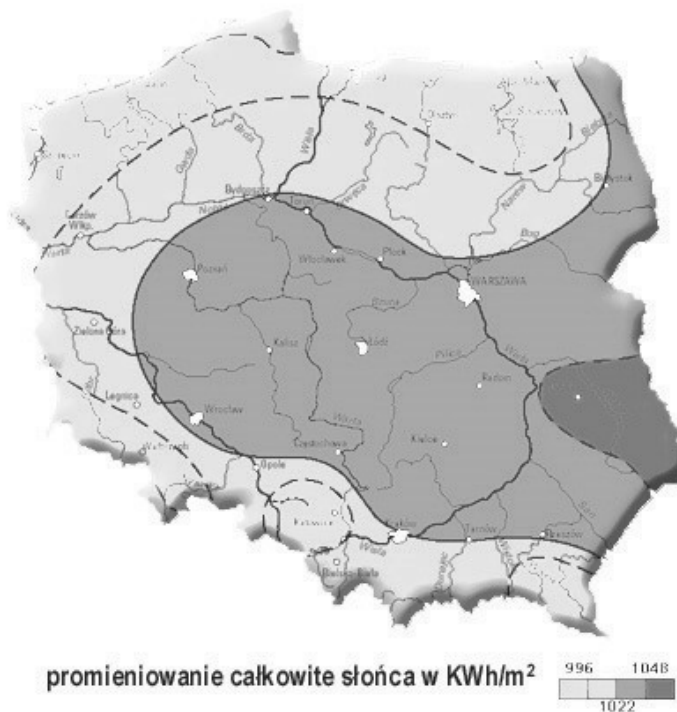
Drugim czynnikiem, jaki należałoby wziąć pod uwagę, jest wielkość produkowanej energii w stosunku do planowanego zużycia. Energię elektryczną można produkować tylko dla własnych potrzeb lub w większej ilości, a jej nadmiar odsprzedać. Według [2], energia elektryczna wytworzona w mikroinstalacji przyłączonej do sieci dystrybucyjnej musi zostać zakupiona przez dystrybutora (sprzedawcę z urzędu) działającego na danym terenie po cenie równej 80% średniej ceny sprzedaży energii elektrycznej w poprzednim roku kalendarzowym, która na chwilę obecną wynosi 0,1567 zł/kWh. Jednak aby tak wytworzoną energię wytwórca mógł sprzedać, musi zgodnie z art. 32 [1] uzyskać koncesję, co wiąże się ze spełnieniem wymaganych ww. przepisami warunków oraz poniesieniem pewnych kosztów. Kolejnym czynnikiem mogącym mieć wpływ na dokonywany wybór są ewentualne przychody ze sprzedaży praw majątkowych wynikających ze świadectw pochodzenia dla energii elektrycznej z odnawialnych źródeł (tzw. „zielone certyfikaty”). Zgodnie z [1], na wniosek wytwórcy energii z odnawialnych źródeł Prezes URE wydaje „świadectwo pochodzenia”. Prawa majątkowe wynikające z tych świadectw są zbywalne i są przedmiotem obrotu na Towarowej Giełdzie Energii. Średnioważona cena w miesiącu marcu 2014 r. na instrumencie PMOZE_A („zielone certyfikaty”) wyniosła 202,94 PLN/kWh, a wolumen obrotu uwzględniający zarówno transakcje sesyjne, jak i pozasesyjne był równy 4 174 977 MWh [3]. Biorąc pod uwagę powyższe czynniki oraz możliwą do wykorzystania powierzchnię dachu budynku, uznano, iż najkorzystniejszym rozwiązaniem będzie mikroinstalacja. Analizując cenę 1 kWh, jaką obecnie płaci właściciel budynku, sprzedaż energii wytworzonej przez własną instalację miałaby sens jedynie wtedy, jeśli nie mogłaby być ona w całości zużyta na potrzeby własne.

Uwzględniając dostępną ilość miejsca na dachu na ewentualną instalację oraz wynikające stąd moce produkcyjne, uzyskany nadmiar energii, jaki mógłby zostać sprzedany, jest na tyle niewielki, że zrezygnowano z tej opcji, zakładając jej wytwarzanie tylko na własne potrzeby. W takim przypadku wytwórcy energii

elektrycznej nie będzie przysługiwało prawo do otrzymania świadectw pochodzenia i tym samym zostanie pozbawiony ewentualnych dochodów z tytułu ich sprzedaży, które z uwagi na niewielką wartość nadwyżki wyprodukowanej, a niewykorzystanej na własne potrzeby energii nie zrekompensowałyby nakładów związanych z uzyskaniem wymaganej koncesji. Reasumując, po przeanalizowaniu ww. czynników uznano, że najkorzystniejszym rozwiązaniem z uwagi na uwarunkowania formalnoprawne dla rozpatrywanego obiektu będzie mikroinstalacja w rozumieniu [2].

2.2.3. POTENCJAŁ PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO W POLSCE

Na podstawie ekspertyzy Komitetu Termodynamiki i Spalania PAN [5] obszar Polski podzielony został (pod kątem przydatności dla energetyki słonecznej) na 11 regionów (rys. 2.2.2).



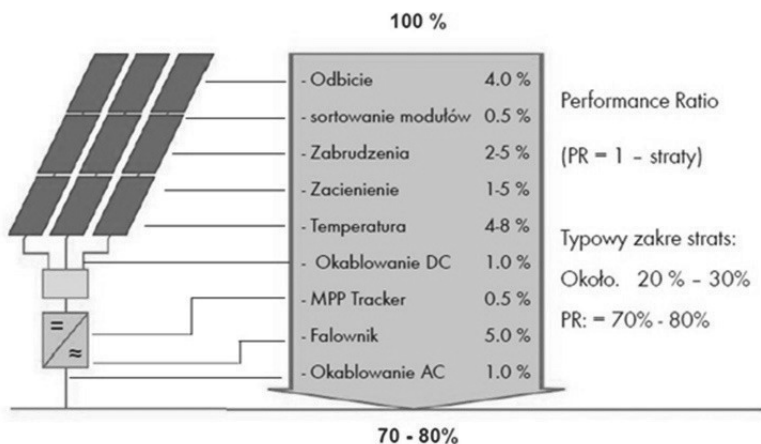
Rys. 2.2.1. Promieniowanie całkowite słońca w Polsce w kWh/m², [4]



Rys. 2.2.2. Regiony helioenergetyczne Polski, [5]

Najlepsze warunki występują w północnej i południowo-wschodniej Polsce, najgorsze na Górnym Śląsku. Średnie wartości nasłonecznienia i usłonecznienia dla Polski wynoszą odpowiednio $3510 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$ oraz $1580 \text{ h} \cdot \text{rok}^{-1}$. Mimo iż Polska z uwagi na położenie geograficzne ma gorsze warunki helioenergetyczne niż np. kraje Europy Południowej, przy zwiększającej się sprawności i jednocześnie spadających cenach ogniw fotowoltaicznych, a także przy rosnącym zapotrzebowaniu na „zieloną energię”, stosowanie instalacji fotowoltaicznych w naszym kraju wydaje się w pełni uzasadnione.

Instalacja fotowoltaiczna, tak jak każda jest obciążona pewnymi stratami systemowymi. Sprawność systemu określa się jako Performance Ratio jako wartość procentowa. Typowy zakres strat mieści się w przedziale 20–30%. Na rys. 2.2.3 przedstawiono w sposób graficzny straty systemu na poszczególnych elementach.



Rys. 2.2.3. Straty systemowe, [6]

2.2.4. ROCZNE ZUŻYCIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ W DOMU JEDNORODZINNYM

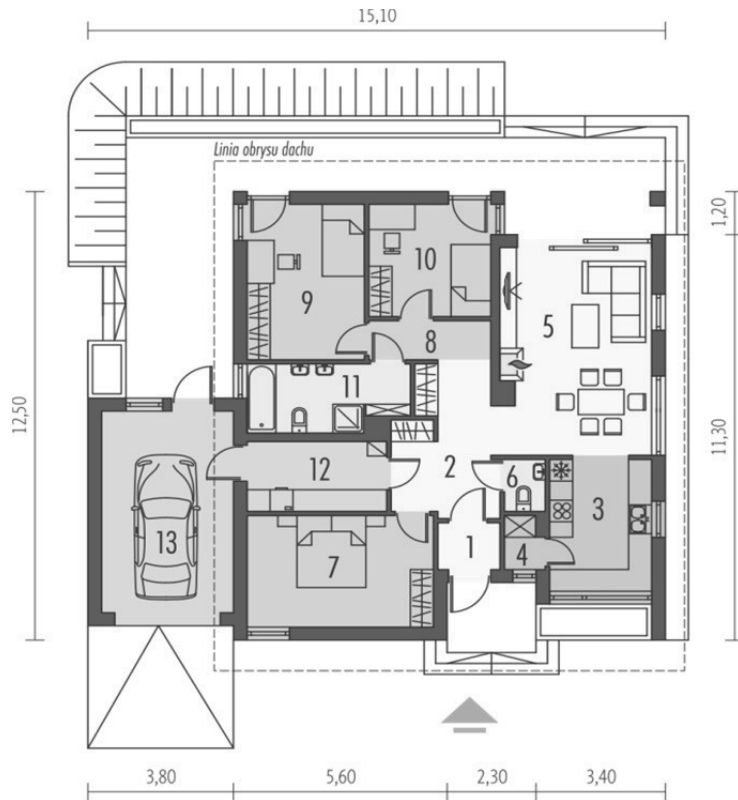
Przed przystąpieniem do projektowania instalacji fotowoltaicznej należy przeanalizować zapotrzebowanie na energię elektryczną domu, w którym planowana jest instalacja. Zgodnie z ustawą z dnia 10 kwietnia 1997 r. Prawo Energetyczne z późniejszymi zmianami ustawodawca przewiduje montaż mikroinstalacji wytwarzających energię elektryczną z odnawialnych źródeł energii oraz jej wykorzystanie na potrzeby własne przez osoby fizyczne nieprowadzące działalności gospodarczej. Umożliwia również odsprzedawać nadwyżki wyprodukowanej, niezużytej na własne potrzeby energii do operatora sieci, jednak po bardzo niekorzystnej cenie. Nie jest zatem opłacalne produkowanie większej ilości energii elektrycznej niż jest zużywane. Wobec tego, dokładna analiza zapotrzebowania na energię elektryczną ochroni inwestora przed nierentowną inwestycją.

Proces analizy odbywa się poprzez określenie wszystkich urządzeń zasilanych energią elektryczną w gospodarstwie domowym, określenie mocy oraz czasu ich pracy. Im bardziej szczegółowa analiza, tym precyzyjniej można dobrać instalację fotowoltaiczną. Ponieważ bardzo trudno określić ilość wytwarzanej energii elektrycznej przez moduły fotowoltaiczne w ujęciu dziennym, stosuje się średnie wartości produkcji w okresie rocznym. Wobec tego zużycie energii przez urządzenia w gospodarstwie domowym należy podać również w ujęciu rocznym. Czas pracy instalacji fotowoltaicznej przewiduje się na okres powyżej 30 lat, w związku z czym na już na etapie analizy powinno podejść się do projektowania w sposób jak najbardziej rzetelny. Od wyników tej analizy zależy efektywność instalacji w stosunku do zapotrzebowania.

Założenia

Budynek do którego ma być przystosowana elektrownia fotowoltaiczna to domek jednorodzinny typu Rafael III zlokalizowany w miejscowości Kurzelów przy ulicy Żeromskiego. Jest to budynek parterowy z poddaszem nieużytkowym. Proces analizy najlepiej rozpocząć od szkicu pomieszczeń budynku oraz określenia przeznaczenia pomieszczeń.

1. Wiatrołap
2. Hol
3. Kuchnia
4. Spizarnia
5. Pokój dzienny
6. Toaleta
7. Sypialnia
8. Korytarz
9. Sypialnia
10. Sypialnia
11. Łazienka
12. Kotłownia
13. Garaż



Rys. 2.2.1 Projekt domu z wyszczególnionymi pomieszczeniami, [7]

Określenie ilości oraz mocy urządzeń zasilanych energią elektryczną w poszczególnych pomieszczeniach zamieszczono w tabeli 2.2.1. Wartości poszczególnych parametrów w tabeli zostały dobrane zgodnie z informacjami zawartymi na stronie internetowej zakładu energetycznego Tauron oraz Energa i są to wartości średnie.

Tab. 2.2.1 Tabela zużycia energii elektrycznej Źródło: opracowanie własne

Urządzenie elektryczne	Ilość urządzeń [szt.]	Moc urządzenia [W]	Dobowy czas użycia [h]	Dobowe zużycie energii [kWh]
Wiatrolap				
Żarówka	2	20	0,5	0,02
Domofon z kamerą	1	13	0,2	0,0026
Hol i korytarz				
Żarówka	1	40	2	0,08
Kinkiet	2	10	4	0,08
Odkurzacz	1	2000	0,1	0,2
Telefon stacjonarny	1	15	0,5	0,0075
Kuchnia				
Żarówka	4	40	4	0,64
Czajnik	1	2000	0,5	1
Piekarnik	1	3500	0,5	1,75
Płyta ceramiczna	1	4000	1	4
Lodówka	1	170	8	1,36
Okap kuchenny	1	200	1	0,2
Kuchenka mikrofalowa	1	1000	0,4	0,4
Zmywarka	1	180	1	0,18
Inne urządzenia	1	1400	0,5	0,7
Spizarnia				
Żarówka	1	40	1	0,04
Zamrażarka	1	100	10	1
Pokój dzienny				
Żarówka	4	40	4	0,64
Komputer stacjonarny	1	500	4	2
Telewizor plazmowy	1	250	5	1,25
Kino domowe	1	400	1	0,4
Żelazko	1	2000	0,2	0,4
Oświetlenie boczne	2	10	4	0,08
Klimatyzator	1	1200	1	1,2
Toaleta i łazienka				
Żarówka	4	40	4	0,64
Wentylator	2	20	8	0,32
Pralka	1	2000	0,2	0,4
Ogrzewanie podłogowe	1	1000	3	3
Suszarka do włosów	1	1400	0,1	0,14
Sypialnia x 2				
Żarówka	4	40	1,5	0,24
Lampka nocna	2	20	2	0,08
Radio	2	80	2	0,32
Garaż				
Żarówka	2	50	0,1	0,01
Myjka ciśnieniowa	1	1000	0,01	0,01
Kompresor	1	1000	0,01	0,01
Inne urządzenia	1	800	0,01	0,008
Kotłownia				
Żarówka	2	50	0,1	0,01
Pompa ciepła	1	3000	2	6
Oświetlenie zewnętrzne	3	60	1	0,18
Inne urządzenia	1	800	0,01	0,008

2.2.5. WYNIKI I ANALIZA DANYCH

Tabela 2.4.1 zawiera spis wszystkich urządzeń zasilanych energią elektryczną, które znajdują się w gospodarstwie domowych dla projektowanego budynku. Przedstawiono opis urządzeń, ich moc oraz szacunkowy średni czas pracy, dzięki czemu można, w miarę precyzyjnie, określić roczne zużycie energii elektrycznej w kWh. Jest to bardzo istotny punkt w procesie projektowania. Pozwala to wstępnie oszacować wielkość instalacji fotowoltaicznej aby pokryć zapotrzebowanie gospodarstwa domowego na energię elektryczną. Dzięki temu w bardziej efektywny sposób można zarządzać energią i zasobami.

Całkowite roczne zużycie energii elektrycznej w gospodarstwie domowym można określić za pomocą wzoru:

$$Et = \sum_{i=1}^n x_i \cdot 365 \quad (2.2.1)$$

gdzie: Et – całkowite roczne zużycie energii [kWh]

n – ilość urządzeń [szt.]

x_i – dobowe zużycie energii przez poszczególne urządzenie [kWh]

Tab. 2.2.2 Tabela rocznego zużycia energii elektrycznej

Pomieszczenie	Dobowe zużycie energii [kWh]	Roczne zużycie energii [kWh]
Wiatrołap	0,023	8,249
Hol i korytarz	0,368	134,138
Kuchnia	10,230	3733,950
Spizarnia	1,040	379,600
Pokój dzienny	5,970	2179,050
Toaleta i łazienka	4,500	1642,500
Sypialnia	0,320	116,800
Sypialnia	0,320	116,800
Garaż	0,038	13,870
Kotłownia	6,198	2262,270
	suma	10587,227

Źródło: opracowanie własne

Na podstawie przeprowadzonej symulacji i przyjętych założeniach, zużycie energii elektrycznej w tym obiekcie kształtuje się na poziomie 10587 kWh na rok. Najmniejsze zużycie występuje w Wiatrołapie 8,25 kWh/rok, a największe w kuchni 3733,95 kWh.

2.2.6. PODSUMOWANIE

Na podstawie analizy zużycia energii elektrycznej w domu jednorodzinnym zaprojektowano prosumencką instalację fotowoltaiczną. Dobrano moc instalacji w taki sposób aby pokryć zapotrzebowanie urządzeń domowych. Przy użyciu programu PVsol służącego do wspomagania projektowania dobrano elementy, uwzględniając straty systemowe. Po wprowadzeniu wszystkich niezbędnych danych otrzymano raport wygenerowany automatycznie przez program. Wnioski opisano na podstawie tego raportu.

Zaprojektowana instalacja fotowoltaiczna będzie mieć moc nominalną 10,5 kWp, podłączona będzie do sieci energetycznej z możliwością zużywania energii na potrzeby własne i będzie składać się z następujących elementów:

- moduł fotowoltaiczny IBC PolySol 250 DS. (250W) – 42 szt.
- f
- kabel DC FlexiSun PV1-F 6 mm² – 80 mb.
- kabel AC YDY 5x2,5 – 5 mb.
- zabezpieczenie przeciwprzepięciowe DC DEHNlimit DLM PV 1000 V2.1 – szt.
- zabezpieczenie nadprądowe AC ETI B16A/3 – 1 szt.

Instalacja będzie produkować średnio rocznie 10 665 kWh energii elektrycznej natomiast średnie roczne zużycie to według tabeli 3.2 około 10 587 kWh. Porównując zużycie do produkcji wynika, iż instalacja w całości pokryje zapotrzebowanie. Ponadto, dzięki zastosowaniu odnawialnego źródła energii, nie zostanie wyemitowane ponad 6 ton dwutlenku węgla rocznie. Jest to dodatkowa korzyść ekologiczna.

Poza oczywistą korzyścią ekologiczną, z punktu widzenia konsumenta jest wyraźna korzyść ekonomiczna. Przy koszcie instalacji w granicach 60 tys. złotych, z czego aż 40% może stanowić dofinansowanie, czas zwrotu inwestycji może wynosić trochę ponad 11 lat. Przy prywatnej inwestycji jest to wynik satysfakcjonujący, ponieważ przy żywotności instalacji fotowoltaicznych w granicach 30 lat, łatwo zauważyć, że przez 20 lat będzie można zasilać urządzenia elektryczne za darmo a roczna oszczędność na rachunkach może wynieść nawet 4 tys złotych.

LITERATURA

- [1] Dyrektywa 2006/32/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 5 kwietnia 2006 r. w sprawie efektywności końcowego wykorzystania energii i usług energetycznych (Dz. U. L 114 z 27.4.2006 r.).
- [2] Krawiec F., i in.: Odnawialne źródła energii w świetle globalnego kryzysu energetycznego. Wybrane problemy. Difin. Warszawa 2010.

- [3] Lewandowski M.W.: Proekologiczne odnawialne źródła energii. Wydanie trzecie zmienione. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne. Warszawa 2006.
- [4] Lewandowski M.W.: Proekologiczne odnawialne źródła energii. Wydanie trzecie czwarte uaktualnione. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne. Warszawa 2007.
- [5] Ligus M.: Efektywność inwestycji w odnawialne źródła energii. Analiza kosztów i korzyści. Wydawnictwa Fachowe CeDeWu. Warszawa 2010.
- [6] Marona M.: Instalacje fotowoltaiczne – wymagania prawne i praktyczne aspekty instalacji systemów PV. Prezentacja multimedialna. Katowice 21-22 styczeń 2013 r. www.ottima-plus.com.pl.
- [7] Ministerstwo Gospodarki. Polityka energetyczna Polski do 2030 roku. Załącznik do uchwały nr 202/2009 Rady Ministrów z dnia 10 listopada 2009 r. Warszawa, 2009 r.
- [8] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 13 listopada 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii. Dz. U. z 2013 r. poz. 1362.
- [9] SMA Europa Centralna i Wschodnia. Falowniki i monitoring SMA. Kurs podstawowy. Prezentacja multimedialna. Zabierzów, 20 marzec 2014r.
- [10] Sobierajski J., Starzomska M., Piotrowski J.: Odnawialne źródła energii. Wiadomości ogólne. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach. Kielce 2009.
- [11] Ustawa z dnia z dnia 10 kwietnia 1997 r. Prawo energetyczne. Dz. U. 1997 Nr 54 poz. 348 z późn. zm.

2.3. FUNKCJONOWANIE GIEŁDY ENERGII W POLSCE NA TLE GIEŁD W UE*

2.3.1. WSTĘP

Giełdy energii stanowią ważny element liberalizującego się rynku energii elektrycznej.

Rynek energii jest „miejscem” dokonywania transakcji kupna i sprzedaży energii elektrycznej, mocy oraz usług systemowych. Ze względu na sposób obrotu energią elektryczną rynek ten może mieć formę rynku kontraktów dwustronnych, giełdy energii i rynku bilansującego.

Giełda energii elektrycznej sprzyja rozwojowi mechanizmów rynkowych oraz wdrażaniu skutecznych narzędzi zarządzania. Giełda jest narzędziem równoważenia rynku. Organizuje obrót energią. Rządzi się swoimi własnymi specyficznymi prawami. W jednym miejscu skupione są informacje i transakcje. Zapewnia ona równy dostęp i możliwości, co sprawia, że ułatwia kontrolę wszystkim uczestnikom rynku [1, 2, 3, 4, 5].

Polski system elektroenergetyczny sięga początków XX wieku. Wejście w życie ustawy Prawo Energetyczne w kwietniu 1997 r uważa się za moment rozpoczęcia procesu tworzenia rynku energii w Polsce. Dzięki oddzieleniu energii jako produktu od przesyłu jako usługi. Energia elektryczna bowiem przestała być traktowana jako dobro wyższego rzędu. Stała się towarem. Jej dotychczasowy odbiorca stał się natomiast klientem na rynku energii elektrycznej [1, 2, 6].

Handel energią elektryczną w Polsce może odbywać się na bazie zawieranych kontraktów zakupu i sprzedaży energii elektrycznej w trzech głównych segmentach poprzez:

- zawieranie kontraktów bilateralnych (przetargi, oferty, kontrakty);
- Towarową Giełdę Energii SA (TGE SA);
- obrót energią elektryczną na internetowych platformach handlowych, w tym na: Internetowej Platformie Obrotu Energią Elektryczną (poee), platformie TFS (Tradition Financial Services), GFI (GFI Group) oraz innych platformach.

W Europie działa kilkanaście giełd energetycznych. Według [7] do najbardziej znaczących rynków energii zalicza się zdecydowanie najstarszą i największą giełdę Nord Pool ze Skandynawii, niemiecką Europejską Giełdę Energii (EEX), francuską giełdę Powernext (która blisko współpracuje

* **Autorzy:** prof. dr hab.inż. Tomasz POPLAWSKI, Politechnika Częstochowska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa, e-mail: poptom@el.pcz.czyst.pl, mgr inż. Monika WEŻGOWIEC, Politechnika Częstochowska, Instytut Elektroenergetyki, Zakład Wytwarzania, Urządzeń i Gospodarki Elektroenergetycznej, Al. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa, e-mail: wezgowiec.monika@gmail.com;

z giełdami: belgijską Belpex i brytyjsko holenderską APX). Do mniejszych giełd energii należy m.in. PPX (TGE – Polska) oraz PXE (Czechy). Wybrane giełdy, tj. TGE, Nord pool, OTE, APX, HUPX i EEX zostaną omówione w dalszej części artykułu.

Przykładową mapę lokalizacji giełd w Europie prezentuje rys. 2.3.1.



Rys. 2.3.1. Mapa lokalizacji giełd energetycznych w Europie. Źródło: [8]

2.3.2. TOWAROWA GIEŁDA ENERGII (TGE)

Towarowa Giełda Energii S.A. powstała w 1999 r. z inicjatywy Ministra Skarbu Państwa. Od tego momentu jest jednym z głównych uczestników procesu liberalizacji rynku energii elektrycznej i gazu ziemnego w Polsce, stwarzając tym samym możliwość wolnego handlu tymi towarami. W 2003 r. jako pierwsza i do tej pory jedyna uzyskała licencję Komisji Nadzoru Finansowego (KNF) na prowadzenie giełdy towarowej. Od lutego 2012 r. TGE jest częścią Grupy Kapitałowej GPW S.A., która ma 100 proc. udziałów w kapitale spółki.

Towarowa Giełda Energii obecnie prowadzi rynki:

- RDNiB – Rynku Dnia Następnego i Bieżącego – w zakresie obrotu energią elektryczną
- RDNg – Rynku Dnia Następnego i Bieżącego Gazu – w zakresie obrotu gazem
- RTT – Rynku Terminowym Towarowym – w zakresie obrotu instrumentami terminowymi na energię elektryczną oraz instrumentami terminowymi na gaz

- RPM – Rynku Praw Majątkowych – w zakresie obrotu prawami majątkowymi, o których mowa w art. 2 pkt 2 lit. d) i f) ustawy o giełdach towarowych
- RUE – Rynku Upnień do Emisji – w zakresie obrotu upnieniami do emisji.

TGE prowadzi również Rejestr Świadcstw Pochodzenia i związany z nim rynek praw majątkowych wynikających z generacji z odnawialnych źródeł energii, kogeneracji oraz efektywności energetycznej.

Ponadto TGE jest platformą, na której prowadzone są aukcje dla energii elektrycznej i gazu – jako dodatkowy element rynku terminowego. Aukcje ułatwiają zakup lub sprzedaż dużych wolumenów energii elektrycznej lub gazu ziemnego. Organizowane są zgodnie z określonym harmonogramem.

W ramach energii elektrycznej na RDN dostępne są kontrakty godzinowe, ale także blokowe bazowe, szczytowe oraz poza szczytem.

Na rynku terminowym energii elektrycznej, członkowie TGE mogą obracać kontraktami tygodniowymi, miesięcznymi, kwartalnymi oraz rocznymi. Mogą to być kontrakty bazowe, szczytowe i pozaszczytowe. Dzisiaj rynek terminowy energii elektrycznej jest pod względem wolumenów największym z rynków energii elektrycznej. Wachlarz produktów oferowanych w tym zakresie przez TGE nie różni się od ofert najbardziej rozwiniętych giełd energetycznych w Europie (patrz rys. 2.3.1). Kontrakty terminowe zarówno na rynku energii elektrycznej jak i gazu ziemnego są kontraktami z fizyczną dostawą.

Na RDN gazu ziemnego członkowie mogą nabywać instrumenty z zakresu kontraktów bazowych i weekendowych. Na rynku terminowym gazu ziemnego, podobnie jak na rynku energii elektrycznej członkowie TGE mogą obracać kontraktami tygodniowymi, miesięcznymi, kwartalnymi i rocznymi. Mogą to być kontrakty bazowe. Rynek terminowy gazu ziemnego stanowi największą część rynku produktów gazu ziemnego na giełdzie.

RDB zarówno dla energii elektrycznej, jak i gazu ziemnego umożliwia zakup produktów godzinowych. Rynek stanowi uzupełnienie rynków dnia następnego i terminowego [weron giełda, weron weron giełda, cire, tge].

Ubiegły 2014 rok to rekordowo wysokie zainteresowanie handlem energią elektryczną. Wzrosty na TGE odnotowano zarówno na rynku terminowym, który wzrósł o prawie 5,6%, jak i rynku spot – ze wzrostem o 7,1%. Osiągnięto w nim wolumen 186,8 TWh, co oznacza, że obroty na parkiecie Towarowej Giełdy Energii S.A. stanowiły ponad 119% krajowej produkcji i ponad 139% jej konsumpcji [2, 8].

2.3.3. WYBRANE EUROPEJSKIE GIEŁDY ENERGII

NORD POOL

Nord Pool powstała w 1996 roku i jest wiodącą europejską giełdą energii. Giełdę Nord Pool Spot możemy podzielić na dwa podstawowe rynki fizyczny i finansowy.

Rynek fizyczny Nord Pool Spot AS jest podstawowym rynkiem dla całego handlu energią w Skandynawii. Rynek ten jest własnością norweskich operatorów systemów przesyłowych: Statnett SF, Svenska Kraftnat, Fingrid Oyj, Energinet.dk i bałtyckich operatorów: Elering, Litgrid, i Augstsprieguma tikls (AST). Cena energii ustalona na rynku fizycznym stanowi podstawę dla rynku finansowego. W ramach Nord Pool Spot AS działają:

- rynek dnia następnego (Elsport),
- rynek dnia bieżącego (Elbas),
- rynek CO₂,
- rynek gazu.

Nord Pool Spot AS bazuje na licencji zezwalającej na zorganizowanie rynku fizycznego handlu energią elektryczną. Licencja ta została wydana przez Ministerstwo Ropy Naftowej i Energii na podstawie ustawy o energii z 2003 roku. Organem nadzorczym jest Norweska Dyrekcja ds. Zasobów Wodnych i Energii. Drugim rynkiem jest rynek finansowy Nord Pool ASA, którego właścicielami są po połowie OSP z Norwegii i Szwecji. Rynek finansowy obejmuje także zależne spółki, rozliczeniową Nord Pool Clearing ASA oraz konsultacyjną Nord Pool Consulting AS. Rynek finansowy i biuro rozliczeniowe Nord Pool ASA działają na podstawie licencji wydanej przez norweskie Ministerstwo Finansów w oparciu o ustawę o giełdach z 2000 roku. Oba te podmioty podlegają nadzorowi ze strony Urzędu Nadzoru Finansowego Norwegii [7, 9].

OTE

OTE została założona w dniu 18 kwietnia 2001 roku przez rząd Republiki Czeskiej, która jest jedynym udziałowcem spółki. Rząd powierzył wykonywanie praw akcjonariuszy Czeskiemu Ministerstwu Przemysłu i Handlu. Pierwotna nazwa firmy Operator trhu s elektrinou a.s. została zmieniona na OTE a.s. w 2009 roku w związku z nową rolą OTE w sektorze gazowym.

Od 1 stycznia 2013 spółka dodatkowo rozszerzyła zakres działalności, który obejmuje również pomoc dla energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych źródła energii wtórne oraz połączenie ciepła i energii elektrycznej.

OTE świadczy kompleksowe usługi dla indywidualnych graczy rynku energii elektrycznej i gazu. OTE rozpoczął organizowanie obrotu na rynku energii elektrycznej dnia następnego w 2002 roku, na rynku intra-day (w ciągu dnia) oraz blokowych rynkach energii od 2004 roku.

Zorganizowany krótkoterminowy rynek energii elektrycznej pozwala uczestnikom rynku energii elektrycznej na optymalizację ich pozycji handlowych w krótkim czasie przed datą dostawy (dzień, godzina).

Prowadzone są następujące rynki:

- Rynek Blokowy;
- Rynku Dnia Następnego;
- Rynek Intra-day (w ciągu dnia);
- Rynku Bilansującym z regulacją energii.

Wszystkie oferty zamknięte na powyższych rynkach są automatycznie dodawane do odpowiednich pozycji handlowych, dlatego też uczestnicy rynku nie muszą wykonywać dodatkowej rejestracji z zawartych transakcji.

Na rynku krótkoterminowym gazu działają:

- Rynek Dnia Następnego;
- Rynek intra-day.

Inne rynki krótkoterminowe to Rynek „Unused tolerance”. Priorytety OTE obejmują przede wszystkim zapewnienie dalszego rozwoju rynku energii elektrycznej jak i gazu, przejrzystość środowisk biznesowych i wsparcie dla uczestników tych rynków w Czechach. Zarówno nowe i istniejące już przepisy europejskie, a także dynamicznie rozwijające się rynki, wymagają od operatora zapewniania niezawodnych usług, zgodnie z trendami na rynku, oraz ciągłego uaktualniania systemów informatycznych w celu realizacji wszystkich zadań OTE.

W dniu 19 listopada 2014 roku został z powodzeniem wprowadzony CZ-SK-HU-RO Market Coupling (4M MC) do integracji rynku dnia następnego w Czechach, Słowacji, Węgier i Rumunii. Powodzenie integracji rynku i udział OTE w projekcie PCR spowodowało ekspansję na produkty zbywalne na rynku DAM. Handlowcy na rynku energii elektrycznej dnia następnego mogą korzystać z tych samych standardów, jakie są zapewnione przez organizatorów rynków w Europie Zachodniej [10].

APX Group

APX Amsterdam Power Exchange (Amsterdamska Giełda Energii) powstała w maju 1999 r. jako pierwszy niezależny rynek energii elektrycznej w Europie Kontynentalnej. Jest giełdą energii zapewniająca handel i usługi rozliczeniowe na rynku hurtowym jako jedna z najbardziej doświadczonych europejskich giełd energii. Działa na rynkach energii elektrycznej i gazu ziemnego w Holandii, Wielkiej Brytanii oraz Belgii. APX zapewnia obrót giełdowy, centralne rozliczania i usługi danych porównawczych i z branży dystrybucji oraz indeksy do ponad 180 członków z ponad 15 krajów. APX jest w pełni własnością EPEX Spot SE.

W ramach giełdy działa aktualnie pięć rynków fizycznych, na których operuje łącznie ponad 120 firm. Na giełdzie APX odbywa się też obrót gazem. Funkcjonuje na niej kilka rynków, łącznie z handlem dotyczącym możliwościami przesyłowymi oraz magazynowaniem gazu. Są trzy rynki gazowe:

- APX Gas NL (Holandia),
- APX Gas UK (Wlk. Brytania) oraz
- APX Gas ZEE (hub Zeebrugge – Belgia).

Dwa rynki energii elektrycznej:

- APX Power NL (Holandia),
- APX Power UK (Wlk. Brytania).

W Holandii działa od 1999 r., natomiast w Wielkiej Brytanii – APX Power UK (UKPX) od 2000 r. Mimo że obie platformy prowadzące handel energią funkcjonują w ramach jednej struktury, oferowane przez nie produkty nie są identyczne.

Część giełdy, tzn. brytyjska APX bazuje na produktach związanych z fizyczną dostawą energii elektrycznej. Istotnym segmentem jest obrót energią na tzw. aukcjach. Handel odbywa się dzień przed planowaną dostawą energii elektrycznej, a oferty są składane dla każdej godziny oddzielnie. Uczestnicy aukcji składają „ślepe” oferty, czyli nie znają ofert innych kupujących i sprzedających. Każdy z uczestników może złożyć kilka ofert z różnymi cenami dla tej samej godziny. Wszystkie zlecenia składane są anonimowo, poprzez drogę elektroniczną. Dodatkowo każdy z uczestników może występować zarówno jako kupujący, jak i sprzedający. Po zamknięciu aukcji, na podstawie złożonych ofert, ustalane są ceny dla każdej godziny doby. Rynek spot oparty jest o półgodzinne interwały czasowe. Możliwy jest również handel standardowymi blokami dwu- i czterogodzinnymi złożonymi z następujących po sobie interwałów półgodzinnych [7, 11].

HUPX

HUPX Ltd. jest prywatną spółką akcyjną, utworzoną zgodnie z prawem węgierskim z siedzibą w Budapeszcie. HUPX jest licencjonowane przez Węgierski Urząd Energii do tworzenia i funkcjonowania rynku energii elektrycznej na Węgrzech. Firma została założona przez MAVIR Węgierskiego Operatora Systemu Przesyłowego w 2007 roku i w 100% jest jego własnością. Misją firmy jest opracowanie, przez proces krok po kroku, na pełną skalę zorganizowanego rynku energii na poziomie regionalnym, zapewniając aukcje stałe, ciągłe i intraday oraz rozwiązania handlowe i wsparcie OTC. Wprowadzenie rozliczeń w odniesieniu do transakcji sprzedaży energii elektrycznej z dostawy z węgierskiego systemu elektroenergetycznego, a po wprowadzeniu procedury market coupling także z dostawą transgraniczną.

Rynki prowadzone na giełdzie:

- Intraday (IO)
- Day-ahead auction (DAM)
- Physical futures (PHF)

HUPX może rozszerzać lub ograniczać godziny na rynku w zakresie niezbędnym do utrzymania uporządkowanych warunków transakcji lub z przyczyn dotyczących systemów handlowych.

Godziny rynkowych transakcji na Rynku Dnia Następnego obejmują trzy kolejne okresy: przed sesją, w sesji giełdowej, okres po sesji [12].

EEX

Europejska Giełda Energii (EEX – European Energy Exchange) z siedzibą w Lipsku powstała w 2002 roku w wyniku fuzji niemieckiej giełdy energetycznej we Frankfurcie (EEX) i Lipsku (LPX). Posiada aktualnie najwyższy wolumen sprzedaży w Europie kontynentalnej (poza Skandynawią i Wielką Brytanią). Od tego czasu ewoluowała z lokalnej giełdy energii w wiodącą platformę obrotu energią w Europie. Na rynkach EEX obraca się szeroką gamą produktów. Poza rynkiem energii elektrycznej, istnieją także rynki gazu ziemnego, uprawnień do emisji CO₂ oraz węgla. Ceny notowane codziennie na EEX stanowią punkt odniesienia dla cen na giełdach prawie całej Europy.

Europejska Giełda Energii działa w oparciu o niemiecką ustawę o giełdach (Börsengesetz – BörsG) z 2007 r. Dziś EEX jest częścią grupy firm (EEX Group), która ustanawia partnerstwo międzynarodowe i odgrywa decydującą rolę w europejskim handlu energią. Giełda ta nie jest obligatoryjna.

Giełda EEX, jak sama nazwa wskazuje, ma ambicje stać się główną europejską giełdą energii. W 2006 roku rozpoczęto współpracę w sektorze rozliczeń (clearing) z holenderską giełdą ENDEX i na dzień dzisiejszy izba rozliczeniowa EEX prowadzi wszystkie rozliczenia tej giełdy. Na płaszczyźnie handlu energią, giełda EEX blisko współdziała z francuską giełdą energii Powernext [7, 13].

2.3.4. PORÓWNANIE OMAWIANYCH GIEŁD

Wybrane giełdy energii (TGE, Nord pool, OTE, APX, HUPX i EEX) cechuje pewne zróżnicowanie wynikające ze specyfiki oferowanych produktów jak i ich regulacji. Dla porównania zamieszczono poniżej ofertę produktową oferowaną przez te giełdy.

Jak widać z rys. 2.3.2 oferta produktowa TGE zbliżona jest do najbardziej rozwiniętych giełd na rynkach państw UE.

Obok rynków energii elektrycznej i gazu ziemnego, oferuje także produkty z portfolio praw majątkowych oraz gwarancje pochodzenia. Nasze położenie geograficzne i geopolityczne daje mocne podstawy do dalszego rozwoju TGE, jako ważnego gracza na wymienionych rynkach.

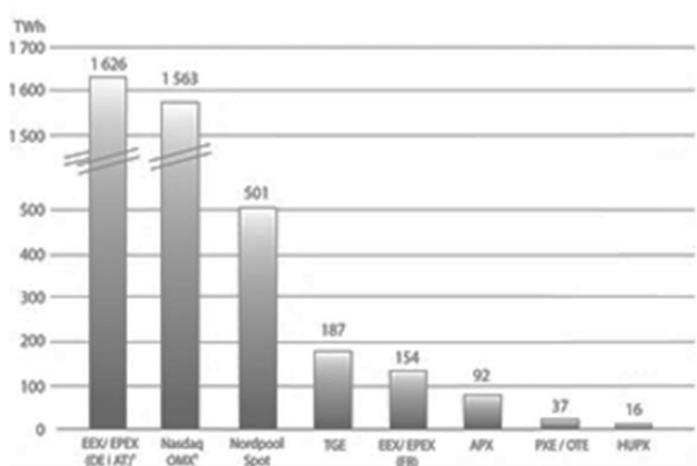
	Energia elektryczna / Electricity			Gaz / Gas			CO2		
	Spot	Rynek terminowy Derivates market			Spot	Rynek terminowy Derivates market			
		Finansowy Financial	Fizyczna dostawa Physical Delivery	Opcje Options		Finansowy Financial		Fizyczna dostawa Physical Delivery	Opcje Options
TGE/POLPX	●		●	●		●	●		
HUPX	●		●						
APX	●								
EEX		●	●	●	●	●	●		
EPEX	●								
Powermex				●		●			
ICE Eindex			●	●		●	●		
PXE		●	●			●			
OTE	●			●					
Nord Pool	●								
Nasdaq OMX Commodities		●		●		●	●		

Rys. 2.3.2. Oferta produktowa wybranych giełd energetycznych w Europie. Źródło: [8]

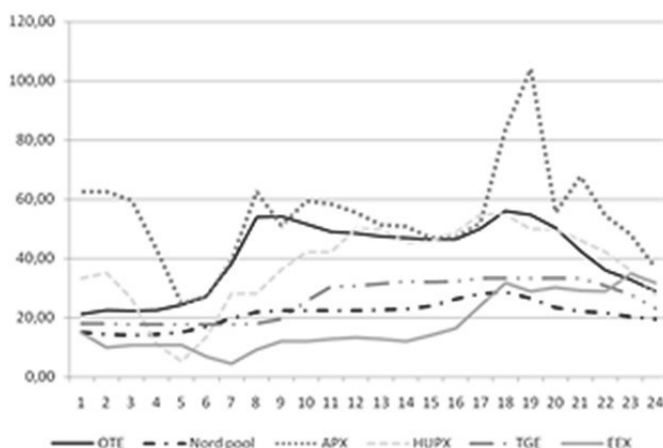
Rynki energii elektrycznej na giełdach państw sąsiadujących i państw regionu cechuje także zróżnicowany udział transakcji spotowych w całości obrotu giełdowego (rys. 2.3.3). Obrót na rynkach spot w Niemczech wyniósł ok. 30% całości obrotu, w Czechach 46%, a na rynku węgierskim sięga ponad 66%. Na najbardziej płynnym rynku skandynawskim udział ten liczy 27%. Rynek spot TGE, w zestawieniu z giełdami sąsiednimi, odpowiada niedużej części obrotu, choć wzrost na poziomie 7,1% wskazuje na stale rosnące zainteresowanie. Charakterystyczny dla rynku polskiego jest duży udział kontraktów terminowych, a rynek spot stanowi jego uzupełnienie. Według danych TGE zajmuje 4 pozycję pod względem osiągniętych obrotów w 2014 roku.

Cena energii elektrycznej na TGE nie różni się znacznie od opłat/kosztów na innych giełdach energii. Jednak nie można mówić o jednej cenie tego surowca w Europie. Średnia cena energii elektrycznej na rynkach spot giełd europejskich sąsiadujących z Polską (w EUR/MWh) została przedstawiona poniżej (rys. 2.3.4.) dla wybranego dnia tj. 6.12.2015 r.

Trendy cenowe na sąsiednich rynkach w Europie wykazują pewną zbieżność, ale podobnie jak ceny, ich zmiany nie są tożsame i wykazują okresowo znaczne zróżnicowanie.



Rys. 2.3.3. Obroty na giełdowych rynkach energii elektrycznej w 2014 r. Źródło: [8]



Rys. 2.3.4. Wykres godzinowy cen wybranych giełd na rynkach spot (EUR/MWh) w dniu 6.12.2015 r. Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z giełd

W 2013 r. średnia cena energii elektrycznej w Polsce była zbliżona do cen w Niemczech oraz w Czechach. Ceny w 2014 roku na giełdach w Budapeszcie i w Skandynawii były znacznie wyższe. Ceny na rynkach spot APX były o około 15 EUR/MWh wyższe niż na TGE. W 2014 ze względu na wysoką cenę w lipcu i listopadzie średnia cena na TGE osiągnęła poziom 44 EUR/MWh.

W 2010 r. w obrocie na TGE znalazło się 50% wolumenu krajowej produkcji, przy rocznej produkcji energii elektrycznej na poziomie ok. 160 TWh. W 2014 r. obrót ten oscylował wokół 119% wolumenu krajowej produkcji. Przekłada się to na szybki wzrost płynności polskiego rynku, czyniąc go najbar-

dziej płynnym w regionie Europy Środkowo-Wschodniej. Obroty na TGE rosły średniorocznie aż o 23% [8].

2.3.5. PODSUMOWANIE

Od momentu liberalizacji rynku energii w Europie stale wzrasta zainteresowanie handlem energią elektryczną poprzez giełdę.

W Polsce od 2010 r., po wprowadzeniu zmian w ustawie Prawo energetyczne, zainteresowanie obrotem energią na parkiecie TGE rośnie systematycznie. Zmiany te nałożyły bowiem na wytwórców obowiązek sprzedaży co najmniej 15% wytworzonej energii w ramach publicznych form sprzedaży, tj. na giełdach towarowych lub na rynku organizowanym, zgodnie z właściwymi przepisami.

Członkowie TGE mogą dzisiaj w jednym miejscu handlować energią elektryczną, gazem ziemnym, prawami majątkowymi oraz gwarancjami pochodzenia. Jest to komfortowe rozwiązanie dla uczestników, gdyż w jednym miejscu organizuje się politykę energetyczną.

Oferta produktowa Towarowej Giełdy zbliżona jest do najbardziej rozwiniętych giełd europejskich. Poprzez ciągłe dążenie do dostosowania swoich oferowanych instrumentów do oczekiwań rynku, znaczenie TGE jako platformy zawierania transakcji na rynku hurtowym w Polsce stale wzrasta. Skutkuje to także zwiększaniem się liczby uczestników TGE oraz wolumenu obrotów.

Na tle giełd z państw UE Towarowa Giełda Energii wyróżnia się szeroką ofertą. Łączy w sobie rynek terminowy i rynek spot, tak dla energii elektrycznej, jak i dla gazu ziemnego. Dodatkowo polski rynek energii cechuje szybki rozwój. Na przykładzie TGE można wnioskować, że szybkie tempo rozwoju giełd w całej Europie nadal będzie się utrzymywało. Rozpoczęte już procesy współpracy, tworzenia się nowych oraz łączenia już istniejących giełd, spowodują utworzenie wspólnego europejskiego rynku energii.

LITERATURA

- [1]. Mielczarski W., Rynki energii elektrycznej. Wybrane aspekty techniczne i ekonomiczne, ARE S.A., Warszawa 2000
- [2]. Portal CIRE: www.cire.pl.
- [3]. Weron A., Giełda energii – być albo nie być?, Materiały pokonferencyjne VII Konferencji Naukowo-Technicznej, Rynek Energii Elektrycznej: Liberalizacja – Szanse i Zagrożenia, Politechnika Lubelska, Katedra Elektrowni i Gospodarki Energetycznej, Kazimierz Dolny, 26-27.04, 2001.
- [4]. Weron A., Weron R., Giełda Energii. Strategie zarządzania ryzykiem, CIRE, Wrocław, 2000

- [5]. Weron R., Rynki Energii Elektrycznej w Polsce i na świecie, Materiały VI Konferencji pt.: Inwestycje Finansowe i Ubezpieczenia – Tendencje Światowe a Rynek Polski, Akademia Ekonomiczna we Wrocławiu, Katedra Inwestycji Finansowych i Ubezpieczeń, Szklarska Poręba 20–22.10.2003
- [6]. Zerka, M., Strategie na rynkach energii elektrycznej, Warszawa 2003
- [7]. Nehrebecki A., Giełdy energii elektrycznej w Unii Europejskiej, Integracja Europejska, „Biuletyn Urzędu Regulacji Energetyki”, nr 4(66), 2009
- [8]. TGE <https://www.tge.pl/>
- [9]. Nord pool - <http://www.nordpoolspot.com>
- [10]. OTE <http://www.ote-cr.cz>
- [11]. APX <https://www.apxgroup.com>
- [12]. HUPX <https://www.hupx.hu>
- [13]. EEX <https://www.eex.com>

2.4. SZACOWANIE PRODUKCJI ENERGII DLA DOMOWEJ MIKROELEKTROWNI PV *

2.4.1. WSTĘP

Obecnie zapotrzebowanie na energię elektryczną jest bardzo duże. W Polsce wynosi już blisko 4 MWh rocznie na jednego mieszkańca i stale wzrasta. Coraz więcej urządzeń w gospodarstwach domowych zasilanych jest energią elektryczną. Na przykład kuchenki gazowe są zastępowane przez kuchenki indukcyjne lub płyty grzewcze. Piece centralnego ogrzewania na paliwa stałe coraz częściej zastępowane są przez elektryczne ogrzewanie podłogowe lub pompy ciepła, które są zdecydowanie łatwiejsze w eksploatacji i są mniej czasochłonne w obsłudze. Zwiększenie zapotrzebowania na energię elektryczną generuje potrzebę instalowania nowych mocy wytwórczych. Przekłada się to na wzrost emisji gazów cieplarnianych do atmosfery, zanieczyszczenie powietrza oraz degradację środowiska poprzez nadmierne zużywanie paliw kopalnych, [4, 6].

Bardzo dużym wyzwaniem dla linii energetycznych jest przesyłanie coraz większej ilości energii na duże odległości. W Polsce sieci energetyczne są w bardzo złym stanie technicznym i w większości przypadków niezbędne są niezwykle kosztowne modernizacje lub ich wymiana. Taki stan powoduje powstawanie częstych awarii co w rezultacie prowadzi do dyskomfortu użytkowników sieci, czego przykładem może być wstrzymanie produkcji w zakładach pracy i powstawanie strat.

2.4.2. FOTOWOLTAIKA JAKO ALTERNATYWNE ŹRÓDŁO ZASILANIA Z OZE

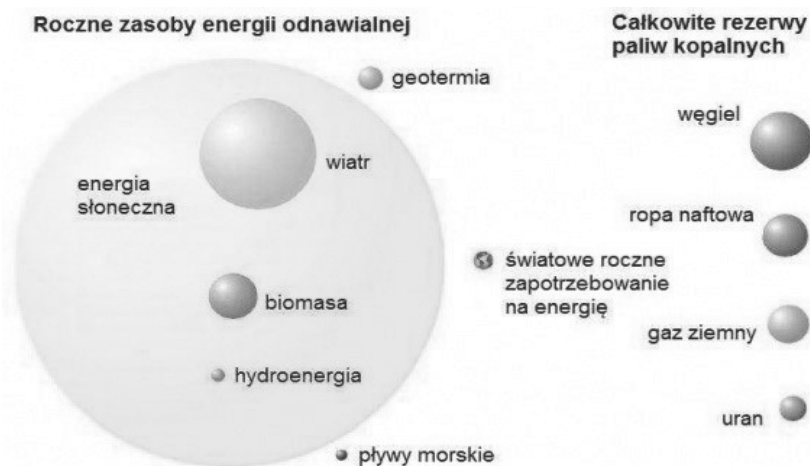
Rozwiązaniem wielu problemów opisanych powyżej mogą być rozproszone, odnawialne źródła energii, w tym energia promieniowania słonecznego (fotowoltaika). Instalacje fotowoltaiczne bezpośrednio zamieniają energię promieniowania słonecznego na energię elektryczną, a dzięki ogólnej dostępności tego paliwa na całym świecie dla wszystkich obywateli, możliwości zastosowania ma praktycznie nieograniczone. Ponieważ konwersja odbywa się dzięki wykorzystaniu materiałów półprzewodnikowych a cały system pozbawiona jest części ruchomych, to taka instalacja nie wymaga częstych konserwacji i jest o wiele

* *Autorzy: dr inż. Janusz FLASZA, Politechnika Częstochowska, Instytut Elektroniki Przemysłowej, ul. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa, e-mail: januszflasza@o2.pl*
mgr inż. Marek POPOWICZ, Ecovoltaika, ul. Sienkiewicza 6, Kurzelów, 29-100 Włoszczowa, e-mail: info@ecovoltaika.pl,
mgr inż. Monika SEKULA, Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy, Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami, 00-805 Warszawa, ul. Chmielna 132/134, e-mail: monika.sekula@kobize.pl.

mniej awaryjna od pozostałych źródeł energii. Systemy tego typu mogą być montowane na dachach budynków, elewacjach oraz na konstrukcjach budowlanych na gruncie. Szczególnymi zaletami instalacji fotowoltaicznych są:

- ochrona środowiska naturalnego,
- nie generuje odpadów co eliminuje potrzebę ich utylizacji,
- brak emisji spalin,
- nie emituje hałasu,
- nie powoduje drgań,
- monitorowanie systemu online,
- krótki czas budowy elektrowni,
- bardzo długi okres eksploatacji, powyżej 30 lat,
- bezobsługowa praca.

Jedną z najistotniejszych zalet elektrowni fotowoltaicznych jest niewyczerpalne źródła światła w postaci promieniowania słonecznego. Na poniższym diagramie porównano zapotrzebowanie na energię elektryczną do zasobów energetycznych na świecie, [8, 9, 11].



Rys. 2.4.1 Dostępne na świecie do źródła energii, [1]

Na rys. 2.4.2 przedstawiono elementy instalacji w kolejności ich działania. W systemach sieciowych (on-grid) ostatnim elementem jest publiczna sieć elektroenergetyczna niskiego napięcia



Rys. 2.4.2. Podzespoły i rozmieszczenie elementów instalacji fotowoltaicznej, [2]

Elementy z punktów 1 do 8 połączone w odpowiedni sposób tworzą instalację fotowoltaiczną. Cała instalacja działa w sposób w pełni zautomatyzowany. W dzień, kiedy promienie słoneczne padają na moduły fotowoltaiczne (generator) powodują ruch elektronów w półprzewodniku. Falownik automatycznie wykrywa przepływ prądu elektrycznego i zostaje uruchomiony, kiedy osiągnie minimalne napięcie startu. Wieczorem, kiedy promieniowanie słabnie i spada poniżej napięcia minimalnego, falownik automatycznie przechodzi w tryb nocny. Właściwie dobrane wszystkie elementy powodują, iż taka instalacja może działać ponad 30 lat, bez konieczności ingerencji. W tym czasie jedyne zabiegi konserwacyjne, jakie należy przeprowadzić to przynajmniej raz do roku umyć powierzchnię modułów czystą wodą i przetrzeć szczotką aby usunąć pyły, odchody ptaków, naloty roślinne.

Dlaczego fotowoltaika nie rozwija się w Polsce?

Wprowadzona w życie, poprawiona wersja ustawy Prawo Energetyczne, w dniu 26 lipca 2013 implementuje tylko kilka wątków dyrektywy unijnej. Jednak zmiany nie spowodowały spodziewanego wzrostu montowanych, nowych instalacji prosumenckich, [3, 5, 7]. Można odczuć wrażenie, iż osoby pracujące nad ustawą, wcale nie kierowały się dobrem obywateli a zależało im jedynie na utrzymaniu monopolu przez zakłady energetyczne. Mimo, że zostały bardzo uproszczone procedury przyłączania mikroinstalacji do sieci elektroenergetycznej, to skutecznie powstrzymuje inwestorów prywatnych cena sprzedaży i sposób rozliczania energii wytworzonej w OZE. Ustawodawca przyjął stawkę 80% ceny

rynkowej za kilowatogodzinę energii bez opłaty przesyłowej, czyli prosument za wyprodukowaną kilowatogodzinę otrzyma tylko 16 groszy netto przy cenie zakupu w okolicach 50 gr za tą samą kilowatogodzinę. Na tej ustawie zarobi jedynie zakład dystrybucyjny, który zarobi aż 34 grosze za kilowatogodzinę sprzedając energię sąsiadowi prosumenta. Bardzo niezrozumiałe jest podejście ustawodawcy do projektu tej ustawy, podczas prowadzenia konsultacji społecznych nie zastosowano się do żadnej spośród ponad tysiąca sugestii płynących od obywateli. Wszelkie proponowane zmiany, mające na celu rozwój OZE w Polsce zostały odrzucone lub niedoprecyzowane.

Jak rozwijać rozproszone mikroinstalacje OZE:

- większe wsparcie dla mikro instalacji prosumenckich
- wsparcie dla mikro i małych instalacji w przedsiębiorstwach
- zróżnicowanie w rodzaju instalacji fotowoltaicznych:
 - dachowe, BIPV
 - naziemne
- stała taryfa dla mikro i małych instalacji fotowoltaicznych utrzymująca stopę zwrotu na poziomie:
 - mikro prosumenckie 6–7 lat
 - mikro dachowe w przedsiębiorstwach 7–8 lat
 - mikro naziemne oraz małe 8–9 lat
- przejrzyste zasady finansowania i przyłączenia

Korzyści płynące z rozwoju sektora mikroinstalacji:

- kilka tysięcy nowych miejsc pracy na terenie całego kraju, nie ograniczone do jednego regionu
- transport
- handel
- projektanci
- instalatorzy
- serwisanci
- dodatkowe przychody do budżetu państwa z tytułu podatków
- wzrost konkurencyjności Polskich produktów z rodzimego przemysłu spowodowany mniejszymi kosztami produkcji
- rozwój przedsiębiorczości
- wzrost PKB
- wzrost inwestycji w przedsiębiorstwach
- stabilniejsza gospodarka
- poprawa bezpieczeństwa energetycznego kraju
- większe oszczędności w budżetach domowych co poprawi zadowolenie obywateli
- zwiększenie konkurencyjności co spowoduje spadek cen instalacji

– ograniczenie monopolu w energetyce

Rozwój mikro i małych instalacji fotowoltaicznych jest dla Polski bardzo korzystnym zjawiskiem i niesie o wiele większe korzyści niż przeinwestowanie w dużą energetykę zawodowa. Oprócz poprawy warunków życia obywateli przyczynia się on do zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego oraz konkurencyjności polskich produktów na arenie międzynarodowej, [12, 9].

Niekorzystny system

Jak bardzo niekorzystny dla obywatela jest system wyjaśnia poniższa symulacja.

Założenia:

1. roczne zużycie energii przez dom jednorodzinny – 6000 kWh
2. cena za 1 kW instalacji – 7 800 zł brutto (VAT 8%)
3. instalacja 1 kW produkuje średnio rocznie – 900 kWh
4. na potrzeby własne uda się wykorzystać około 25% wyprodukowanej energii elektrycznej z instalacji fotowoltaicznej. {(dane z czasopisma „Czysta Energia” wydanie 11/2013 strona 34) Czasopismo rozdawane uczestnikom konferencji w ministerstwie gospodarki w dniu 27-11-2013}
5. średnia cena energii elektrycznej dla odbiorcy w gospodarstwie domowym uwzględniająca opłatę za świadczenie usługi dystrybucji – 0,5047 zł netto (0,62 brutto) {(dane przedstawione przez prezesa URE informacja (nr 24/2013)}
6. cena energii elektrycznej wytworzonej w mikroinstalacji prosumenckiej według ustawy prawo energetyczne oraz projektu ustawy OZE – 0,16 zł {(dane przedstawione przez prezesa URE informacja (nr 8/2013)}

2.4.3. KLASTRY ENERGETYCZNE UZDROWIĄ SEKTOR OZE W POLSCE

Klaster energetyczny to w rozumieniu ustawy cywilnoprawne porozumienie, w skład którego mogą wchodzić osoby fizyczne, osoby prawne, jednostki nieposiadające osobowości prawnej, jednostki naukowe, badawczo-rozwojowe lub jednostki samorządu terytorialnego. Dotyczy ono wytwarzania i równoważenia zapotrzebowania lub obrotu energią w ramach jednej sieci dystrybucyjnej. Obszar działania danego klastra nie może przekraczać granic powiatu lub pięciu gmin.

Gotowość Ministerstwa Energii do prowadzenia dialogu na temat nowych rozwiązań daje nadzieję na rozwój pomysłu w oparciu o OZE. Z proponowanych rozwiązań w ustawie o OZE oraz z wypowiedzi publicznych

przedstawicielei rządu może wynikać, że klastry będą promowaną formą działalności w sektorze OZE.

Aby pomysł klastrow energetycznych miał szansę powodzenia, powinny zostać rozstrzygnięte kwestie dotyczące między innymi jego celowości, organizacji i podmiotowości. Ustawa dopuszcza, by klastrer przyjął dowolną formę prawną, grunt, aby zostało między poszczególnymi podmiotami zawarte określone porozumienie regulujące zasady ich współpracy. Brak jest formalnie przeszkód, by klastrer przyjął formę np. spółki prawa handlowego (osobowej lub kapitałowej), choć taka konstrukcja wydaje się mniej współgrać z wyrażoną powyżej ideą klastra. Co więcej utworzenie jednego podmiotu przez uczestników klastra (jednego przedsiębiorcy) – może w określonych okolicznościach wiązać się z obowiązkiem uprzedniego zgłoszenia do UOKiK zamiaru koncentracji.

Szczególnie ważnym pytaniem jest jak zrzeszeni w klastrze uczestnicy będą mogli korzystać z benefitów wynikających z systemu wsparcia przewidzianego w ustawie o OZE. Przepis, który mówi o możliwości organizowania dedykowanych aukcji dla instalacji zrzeszonych w ramach klastrow (konkretnie dla „członków klastra”) wejdzie w życie 1 lipca 2017 roku. Istotne jest, aby wytwórcy energii w ramach klastra mieli swobodę w sprzedawaniu energii elektrycznej odbiorcom na podstawie bilateralnych kontraktów, a mechanizm rozliczeń premii przez Zarządcę Rozliczeń, był z tym odpowiednio skorelowany. Powstaje też pytanie, czy lokalna spółka dystrybucyjna będzie zainteresowana oddaniem na rzecz klastra grupy swoich odbiorców i czy wyniku takiego ruchu nie okaże się, że koszty stałe funkcjonowania tej spółki dystrybucyjnej nie będą musiały w efekcie być pokryte przez mniejszą liczbę odbiorców, co zwiększy dla tych odbiorców koszt energii, nie dając w zamian wymiernej korzyści. Są to niektóre wątpliwości wymagające doprecyzowania i ujednocnienia, celem uniknięcia nadinterpretacji przepisów.

2.4.4. OBLICZENIA

Aby wyprodukować rocznie 6000 kWh potrzeba instalacji fotowoltaicznej o mocy 6,6 kW,
 $(6000 \text{ kWh}) / (900 \text{ kWh}) \approx 6,6 \text{ kW}$

Koszt instalacji 6,6 kWh – 51 480 zł brutto,
 $6,6 \text{ kW} \times 7800 \text{ zł} = 51 480 \text{ zł}$

Ilość zużytej energii na własne potrzeby 1500 kWh,
 $6000 \text{ kWh} \times 25\% = 1500 \text{ kWh}$

Oszczędność roczna z tytułu zmniejszenia rachunku za energię elektryczną 930 zł brutto,

$1500 \text{ kWh} \times 0,62 \text{ zł} = 930 \text{ zł}$ brutto

Zysk roczny ze sprzedaży energii elektrycznej 720 zł,

$4500 \text{ kWh} \times 0,16 \text{ zł} = 720 \text{ zł}$

Łączny zysk dla gospodarstwa domowego z tytułu oszczędności i sprzedaży 1 650 zł,

$930 \text{ zł} + 720 \text{ zł} = 1\,650 \text{ zł}$

Okres zwrotu inwestycji 31,2 lat,

$(51\,480 \text{ zł}) / (1\,650 \text{ zł}) = 31,2 \text{ lat}$

2.4.5. PODSUMOWANIE

Z powyższej analizy wynika, iż nie jest możliwe zamortyzowanie prosumenckiej instalacji fotowoltaicznej według projektu ustawy OZE z powodu:

- zbyt niska cena sprzedawanej przez prosumenta energii elektrycznej (80% średniej ceny za energię elektryczną na rynku konkurencyjnym)
- zbyt krótki okres gwarantowanego okresu dostarczania energii elektrycznej (15 lat)

Nie jest to ustawa pro obywatelski ale kolejny sposób na wyciągnięciu potężnych pieniędzy od obywateli. Wprowadzając ustawę w takiej formie nie jest możliwy rozwój odnawialnych źródeł energii.

Polski rząd powinien zaktualizować Politykę Energetyczną Polski do roku 2030, biorąc pod uwagę wyniki modelowych kalkulacji kosztów i analiz eksperckich zaprezentowanych przez autorów w raporcie „[R]ewolucja energetyczna dla Polski”. Redukcja emisji powstających w wyniku spalania paliw kopalnych, uznawana za koszt w obecnie realizowanej polityce energetycznej, staje się naturalną konsekwencją i największą wartością dodaną scenariusza alternatywnego. Jeżeli polski rząd umożliwi rozwój energetyki odnawialnej to w roku 2050 z OZE będzie można wyprodukować nawet 88% energii elektrycznej oraz 76% energii ciepłej i chłodu. Na tle pozostałych państw członkowskich UE wyróżnia nas brak spójnej i znaczącej polityki opartej na zasobach energii odnawialnej, przy czym ochrona środowiska powinna być podstawowym czynnikiem warunkującym wybór odpowiednich technologii energetycznych. Sektor energetyczny nie ma określonej strategii działania, tzn. rozwoju, restrukturyzacji i prywatyzacji, a co za tym idzie żadnej takiej strategii nie realizuje lub realizuje wiele różnych często mało znaczących. Udział odnawialnych źródeł energii w całkowitym zużyciu w Polsce ma wzrosnąć do 15% w 2020 roku i 20% w roku 2030. Znowelizowana w czerwcu ustawa o odnawialnych źródłach energii nadaje realny kształt idei lokalnych klastrów energetycznych. Nowe przepisy jedynie szczątkowo przedstawiają zarys ich funkcjonowania, ale czytelna jest

intencja pomysłodawców – klastry mają grupować wytwórców i odbiorców energii z danego obszaru, aby ułatwiać przepływy energii między nimi oraz promować lokalną samowystarczalność energetyczną. Nie ulega wątpliwości, iż definicja klastra jest dosyć niejasna, a zakres prowadzonej w ten sposób działalności może być wyjątkowo szeroki – od wytwarzania energii elektrycznej poprzez dystrybucję, aż po obrót. Pytania rodzić może sformułowanie „porozumienie cywilnoprawne”, które w pierwszej kolejności przywodzi na myśl pewną umowę cywilną pomiędzy poszczególnymi podmiotami normującą zasady ich współpracy. Jak zwykle życie zweryfikuje sposób funkcjonowania i ideę klastrów, tym bardziej, że instalacje oparte o OZE istnieją w Polsce i należy pozwolić im na techniczno – ekonomiczny rozwój.

LITERATURA

- [1]. W.B. Koldehoff, The Solar Thermal Market, Status-Technologies-Perspectives, Inter Solar 2009, San Francisco 2009; Krawiec F., Energia Zasoby, procesy technologiczne, rynki, transformacje, modele biznesowe, planowanie rozwoju, Warszawa 2012;
- [2]. <https://www.sma.de/en/service/downloads.html>;
- [3]. Ligus M., Efektywność inwestycji w odnawialne źródła energii. Analiza kosztów i korzyści, Warszawa 2009;
- [4]. Kiciński J., Lampart P., Mini i Mikrośilownie CHP ORC jako perspektywiczna forma wdrażania technologii OZE w Polsce, Instytut Maszyn Przepływowych PAN, Gdańsk 2009;
- [5]. Kopietz – Unger J., Zmniejszenie zapotrzebowania na energię poprzez wzrost efektywności energetycznej budynku i działania prosumenckie. Przegląd Budowlany nr 12/2012;
- [6]. Popczyk J., Energetyka rozproszona, jako odpowiedź na potrzeby rynku (prosumenta) i pakietu energetyczno-klimatycznego, Instytut na rzecz Ekorozwoju, Warszawa 2010;
- [7]. Popczyk J., Rozwój innowacyjnej energetyki jako czynnik pobudzenia lokalnej gospodarki. Synteza tradycyjnej energetyki, budownictwa, transportu i rolnictwa oraz infrastruktury Smart Grid i ochrony środowiska. Konferencja „Lokalne aspekty efektywności energetycznej”, Kielce 2011;
- [8]. Instytut na rzecz Ekorozwoju przy współpracy Instytutu Energii Odnawialnej IEO. Energetyka rozproszona, Warszawa 2011;
- [9]. Instytut Energetyki Odnawialnej IEO. Analiza dotycząca możliwości określenia niezbędnej wysokości wsparcia dla poszczególnych technologii OZE w kontekście realizacji „krajowego planu działania w zakresie energii ze źródeł odnawialnych” Pracę wykonano na zamówienie: Ministerstwa Gospodarki, Warszawa 2013;

-
- [10]. Instytut Energetyki Odnawialnej IEO i Niemieckie Centrum Badań Kosmicznych DLR: „Scenariusz długookresowego zaopatrzenia Polski w czyste nośniki energii”. Greenpeace Polska, Warszawa 2008;
 - [11]. Instytut Energetyki Odnawialnej IEO. Stan i perspektywy rozwoju rynku zielonej energii elektrycznej w Polsce, Warszawa 2009;
 - [12]. Potencjał efektywności energetycznej i redukcji emisji w wybranych grupach użytkowania energii. Droga naprzód do realizacji pakietu klimatyczno-energetycznego. Fundacja na rzecz Efektywnego Wykorzystania Energii (FEWE), 2009;
 - [13]. Puls Biznesu, 23–25 maja 2014;
 - [14]. RAPORT: „[R]ewolucja energetyczna dla Polski” Raport Greenpeace, 28.X.2013;
 - [15]. Rewizorski M., Rosicki R., Ostant W., Wybrane aspekty bezpieczeństwa energetycznego Unii Europejskiej, Warszawa 2013;
 - [16]. Wójcicki Z., Energia odnawialna, biopaliwa, ekologia. Problemy inżynierii rolniczej nr 2/2007;
 - [17]. Materiały konferencyjne. Odnawialne źródła energii u progu XXI wieku, Warszawa 2001;
 - [18]. Nowa Energia 4/2009.

2.5. ROLA PALIW ODNAWIALNYCH W STRATEGII ENERGETYCZNO-EKOLOGICZNEJ GMIN W SZWECJI*

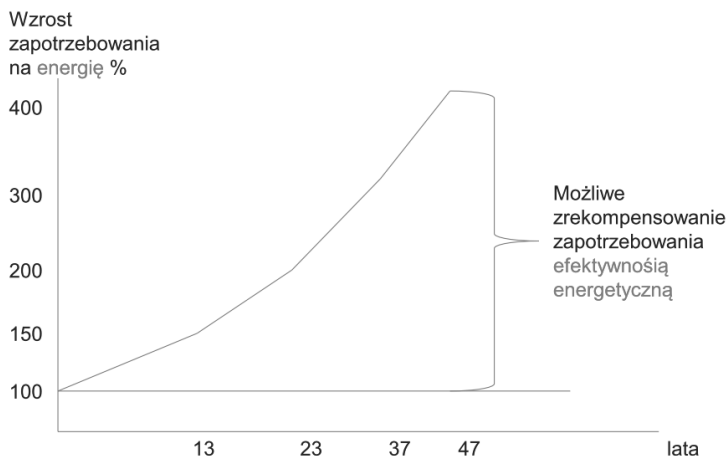
2.5.1. CZEGO OCZEKUJE UNIA EUROPEJSKA OD GMIN?

Gmina powinna zapewnić swoim mieszkańcom:

- czyste środowisko naturalne (wodę, powietrze, ziemię)
- tanie media potrzebne do życia (wodę, energię)
- niskie koszty utylizacji ścieków i odpadów stałych
- adekwatną do poziomu życia komunikację,
- równy dostęp do ochrony zdrowia i nauki
- bezpieczeństwo socjalne
- bezpieczeństwo dla mienia i życia
- maksymalne zrównoważenie w gospodarce zasobami i potrzebami

2.5.2. ISTOTA ZRÓWNOWAŻENIA

Zrównoważenie to maksymalne wykorzystanie istniejącego już potencjału do powtórnego użycia albo jako produktu (kauczja), materiału (żłom, szkło, makulatura, PET, aluminium, elektronika) lub energii (spalarnie odpadów, biogazownie) albo wykorzystanie odnawialnych źródeł energii w zamian za pokrywanie wzrastających potrzeb nowymi surowcami lub paliwami. Przy 3% wzroście PKB



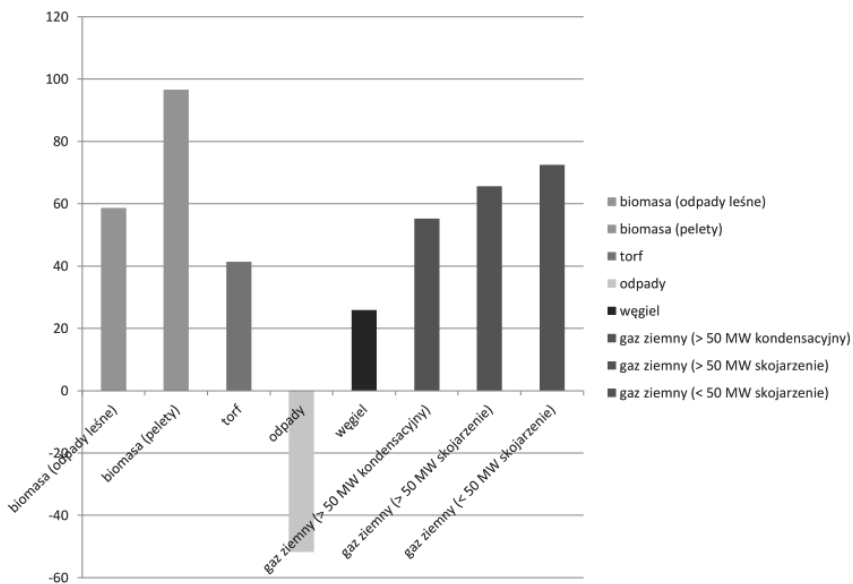
Rys. 2.5.1. Wzrost zapotrzebowania na energię w%, [opr.wł.]

*Autor: Józef NETEROWICZ, Radca Ambasady Królestwa Szwecji w Polsce, były Ekspert ds. Ochrony Środowiska i Energii Odnawialnej Związku Powiatów Polskich, Członek Rady Konsultacyjnej ds. Energii w Sejmie RP Prezes firmy Radsan Intervex Polska Sp. z o.o.

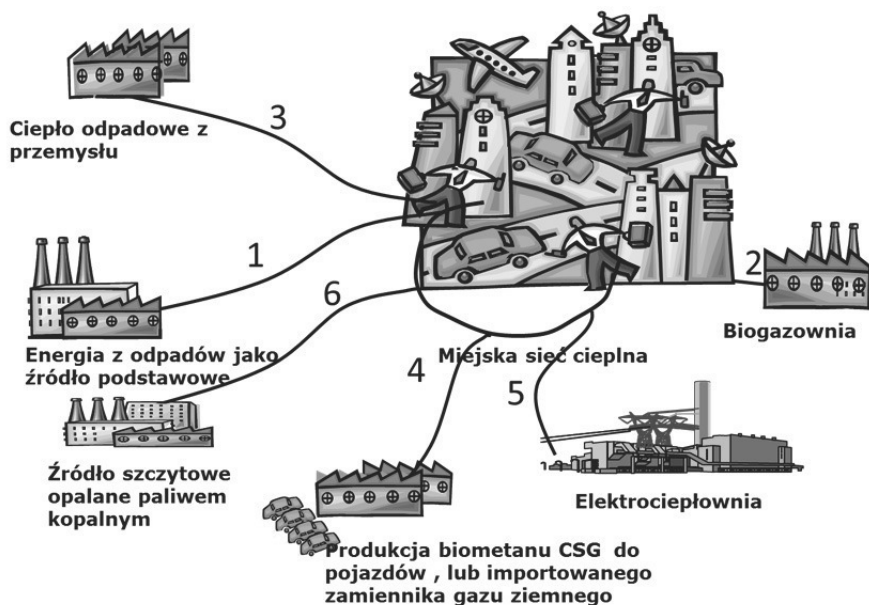
Miejsca do realizacji zrównoważenia

Do podstawowych miejsc (instalacji) w gminie istotnych dla procesu zrównoważenia są:

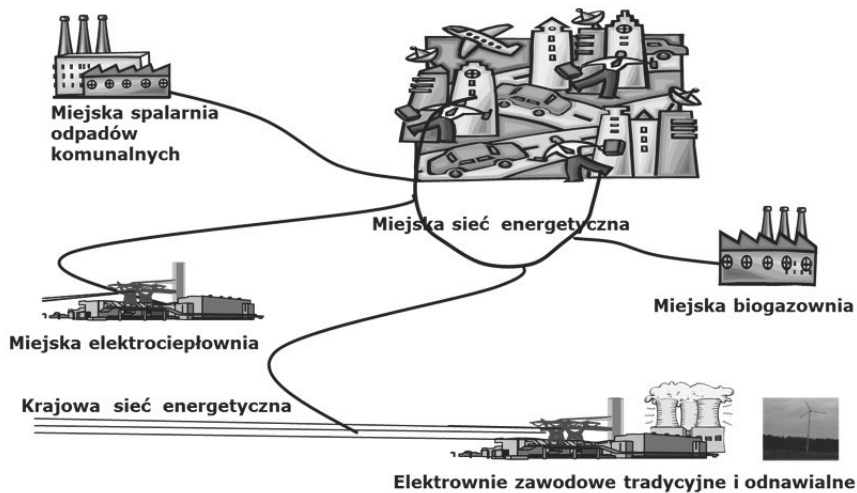
- sieć ciepła systemowego
- sieć chłodu systemowego
- źródła energii odnawialnej
- składowisko odpadów komunalnych
- oczyszczalnia ścieków, biogazownia
- spalarnia odpadów komunalnych
- transport miejski



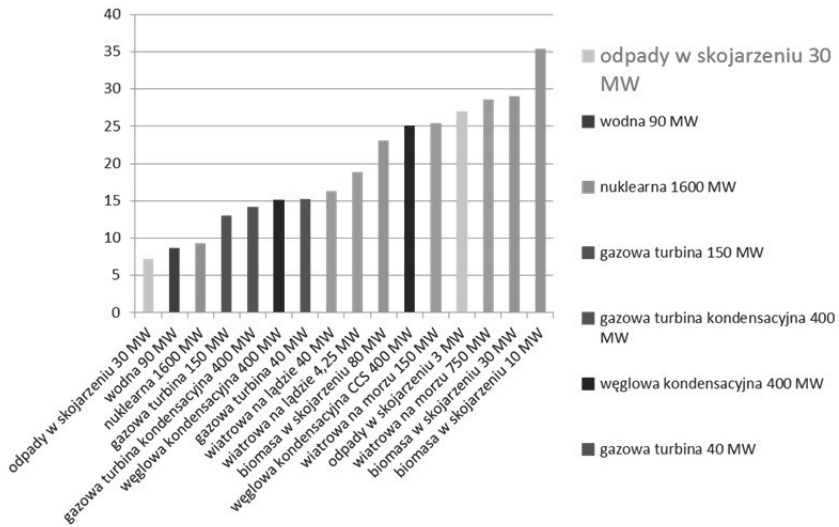
Rys. 2.5.1. Cena paliwa konieczna do wyprodukowania 1 MWh el. na przykładzie Szwecji w przeliczeniu na PLN bez dotacji, podatków i opłat [opr.wł.]



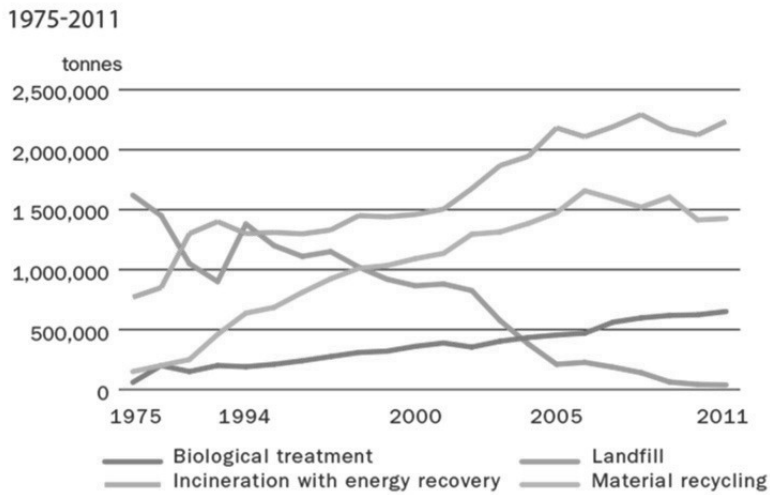
Rys. 2.5.1. Gospodarka energią ciepłą w mieście, [opr.wł.]



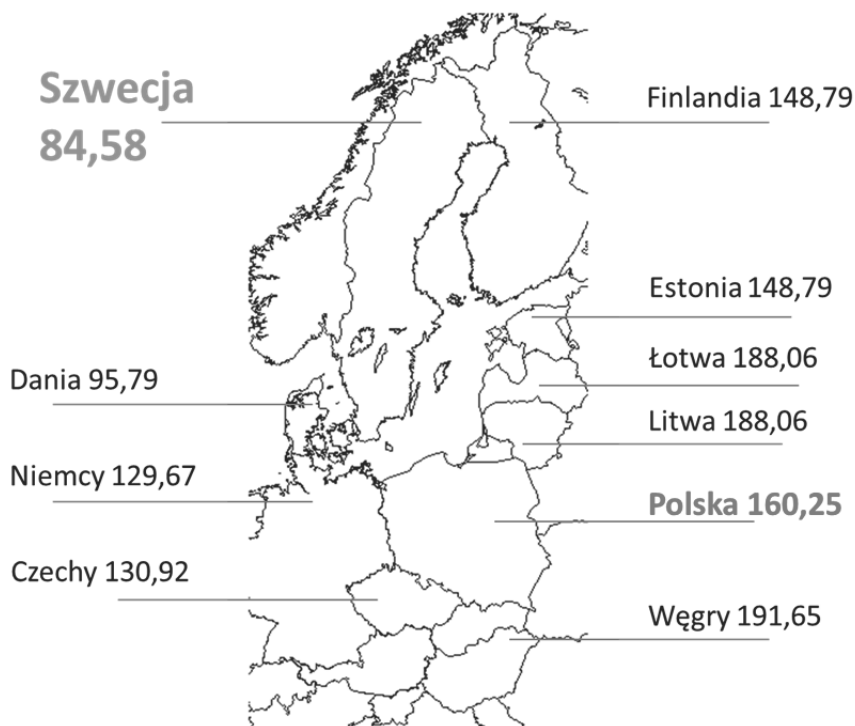
Rys. 2.5.2. Gospodarka energią ciepłą w gminie, [opr.wł.]



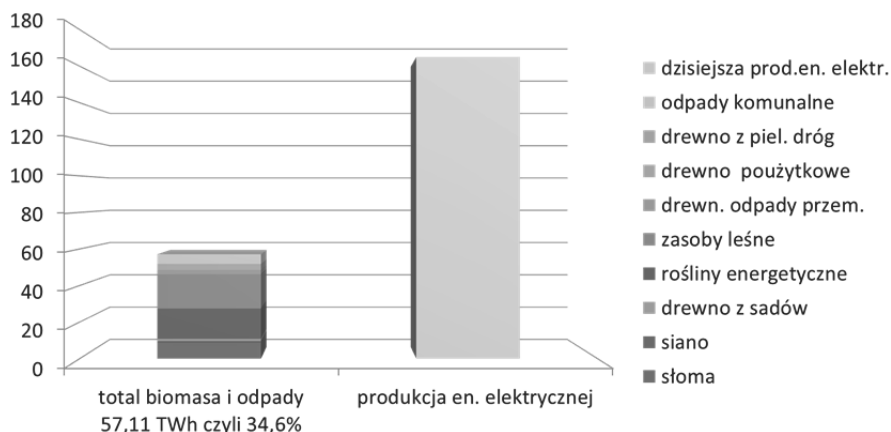
Rys. 2.5.3. Koszty stałe i ruchome kosztów produkcji energii el. w gr/kWh el. z różnych paliw w Szwecji bez podatków, VAT i subwencji państwowych, [opr.wł.]



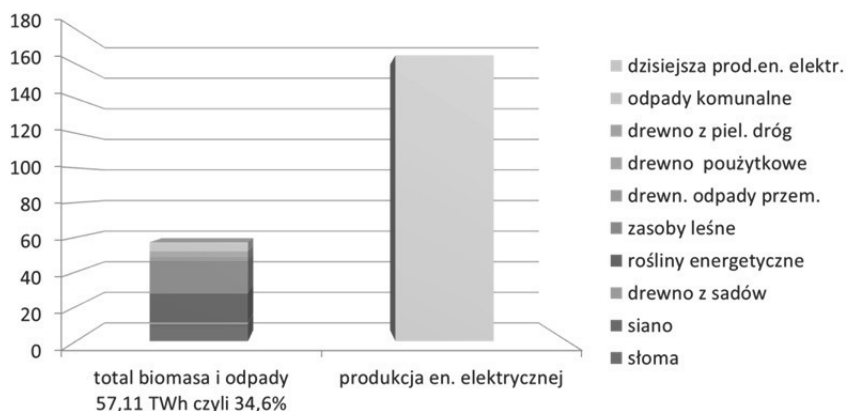
Rys. 2.5.4. Rozwój, [Avfall Sverige.]



Rys. 2.5.5. Cena hurtowa PLN/Mwhe w sąsiedztwie Polski [opr. wł.]



Rys. 2.5.6. Potencjał Polski – zielona energia elektryczna z różnych odpadów. Dodatkowo z 30% udziału frakcji biodegradowalnej w odpadach możemy otrzymać rocznie 1 mld m³ biometanu czyli 12% polskiego importu gazu ziemne, [opr. wł.]



Rys. 2.5.7. Potencjał Polski – zielone ciepło z różnych odpadów, [opr. wł.]

2.5.3. PODSUMOWANIE

Równoważniki energetyczne polskich odpadów:

- Kaloryczność: 8 GJ/tonę. = 2,2 MWh/tonę odpadów
- Ciepło spalania 16 GJ/tonę = 4,4 MWh/tonę odpadów
- Dzięki technologii skraplania ilość energii z odpadów osiąga ok. 12 GJ/tonę = 3,3 MWh/tonę odpadów komunalnych
- 1 Nm³ gazu ziemnego wytwarza 10 kWh energii zatem 1 tona odpadów odpowiada energetycznie 330 Nm³ gazu ziemnego.
- 4 tony odpadów komunalnych odpowiadają energetycznie 4,5 tonom surowej biomasy drewnianej, czyli 1 tona odpadów odpowiada 1,125 tonom surowej biomasy
- 1 tona oleju opałowego odpowiada energetycznie 4 tonom odpadów komunalnych
- 1 tona węgla odpowiada energetycznie 2 tonom odpadów Komunalnych.

Potencjał ekonomiczny w polskich odpadach:

- Wytwarzamy oficjalnie ok. 10 mln ton odpadów rocznie (w rzeczywistości jest prawdopodobnie ok. 18 mln ton rocznie.)

Odpowiada to ilościowo:

- 5 mln. ton dobrego węgla kamiennego;
- 3,3 mld m³ importowanego gazu ziemnego;
- 11,25 mln. ton surowej biomasy czyli przy założeniu że duże drzewo waży ok.0,5 tony 22,5 mln dużych drzew;
- 2,5 mln. ton importowanego oleju opałowego.

2.6. ENERGETYKA W POLSCE, WSPÓŁCZESNE WYZWANIA, NOWA DOKTRYNA ENERGETYCZNA *

2.6.1. OSACZONA ELEKTROENERGETYKA

Nieadekwatność struktury biznesowej elektroenergetyki i modelu rynku energii elektrycznej do współczesnych realiów. Koniec utajonej choroby polskiej elektroenergetyki:

- sierpień 2015 – 20. stopień zasilania;
- zadłużenie górnictwa (zobowiązania wynoszące 15 mld PLN), które tak czy inaczej przeniesie się na elektroenergetykę;
- odpisy aktywów w PGE (8 mld PLN), sygnalizujące skalę nieproduktywności majątku przedsiębiorstw elektroenergetycznych
- rozwierające się w regionie nożyce cen hurtowych energii elektrycznej, sygnalizujące trwałą niezdolność polskich przedsiębiorstw elektroenergetycznych do konkurencji na jednolitym (unijnym) rynku energii elektrycznej;
- zmiana w 2014 roku (po raz pierwszy w historii) salda wymiany energii elektrycznej z eksportowego na importowe;
- żądanie przez PGE kontraktów różnicowych dla energetyki jądrowej;
- żądanie rynku mocy dla energetyki węglowej;
- żądanie wsparcia, generalnie!

Ostatni, przed „sierpniowym”, 20. stopień zasilania był ogłoszony 30 lat temu!!! Raport zlecony przez rząd w sprawie 20. stopnia zasilania został już przekazany przez PSE do URE, ale nie jest jeszcze jawny:

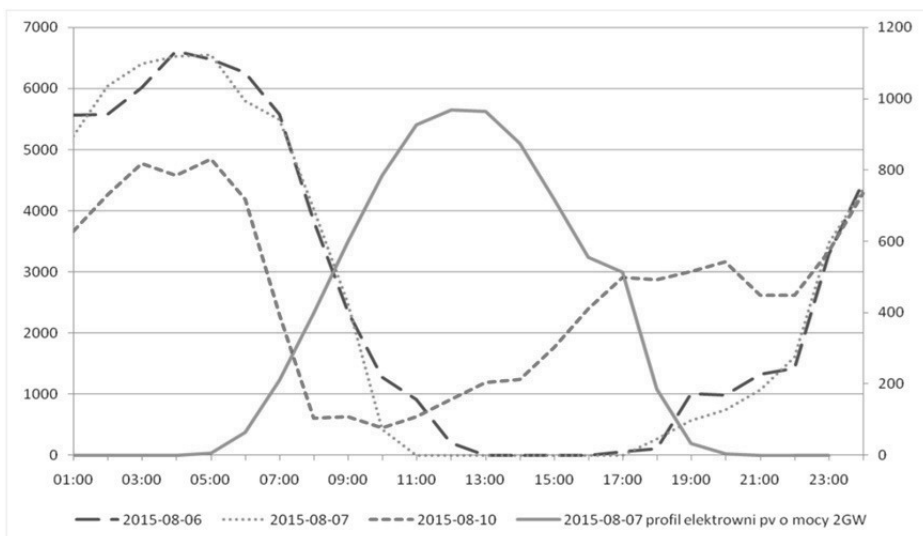
9.08.2015 (niedziela), godz. 21:00 – ogłoszenie 19. stopnia zasilania (bezpośrednia przyczyna: wytwórcy zgłaszają ubytek mocy około 1200 MW).
10.08.2015 (poniedziałek), godz. 7:55 – ogłoszenie 20. stopnia zasilania (decyzja została podyktowana ryzykiem konieczności przejścia do planu awaryjnego, czyli operatorskich wyłączeń całych regionów (GPZ-ów).

Łączne ubytki mocy, około 4,5 tys. MW: awaryjne, eksploatacyjne, hydrologiczne, spowodowane ograniczeniami sieciowymi.

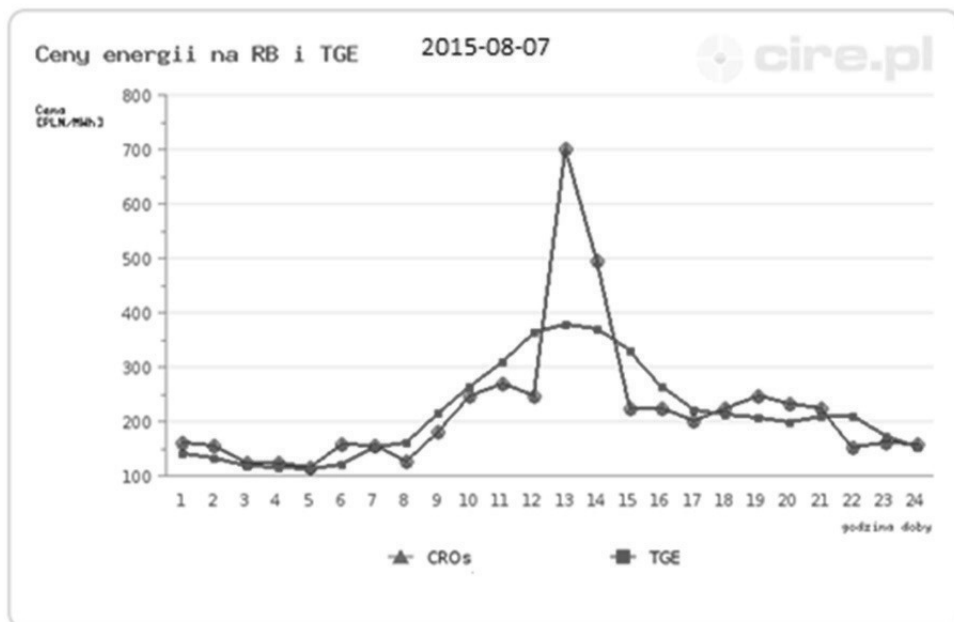
Szacowany koszt niedostarczonej energii w czasie trwania deficytu mocy:

7 tys. PLN/MWh.

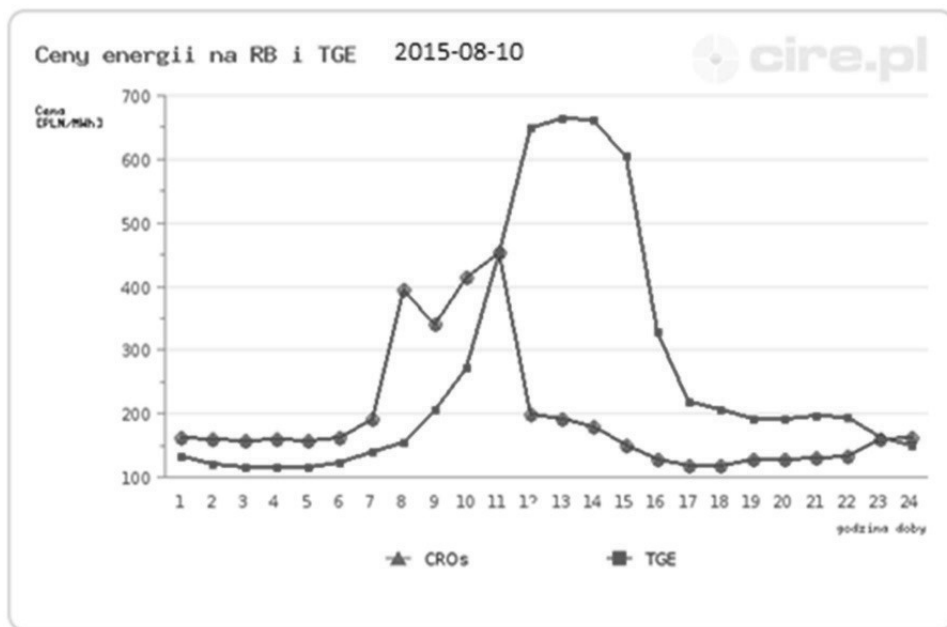
*Autor: prof. dr hab. inż. Jan POPCZYK, Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów, Wydział Elektryczny, Politechniki Śląskiej w Gliwicach, e-mail: Jan.Popczyk@polsl.pl



Rys. 2.6.1. Profile rezerwy mocy w dobowych planach koordynacyjnych PSE, [opr. wł.]



Rys. 2.6.2. Ceny na rynkach: bilansującym i giełdowym (1), [cire.pl.]



Rys. 2.6.3. Ceny na rynkach: bilansującym i giełdowym (2), [cire.pl.]

2.6.2. 12 FILARÓW BEZPIECZEŃSTWA ELEKTROENERGETYCZNEGO NA IREE

1. Masowa modernizacja oświetlenia
2. Energetyka PV
3. Usługa DSM/DSR
4. Usługa szybkiej rezerwy RZ
5. Usługa RZ o długim czasie dostępu
6. Efektywność elektroenergetyczna w przemyśle
7. Kogeneracja gazowa
8. Rewitalizacja bloków węglowych klasy 200 MW
9. Rolnictwo energetyczne i energetyka wiatrowa
10. Taryfa dynamiczna i zmiana płatnika opłaty przesyłowej
11. Inteligentna infrastruktura
12. Dwa transfery paliwowe, mianowicie z rynków ciepła i transportowego, [Popczyk, BŻEP 2014, 2015]

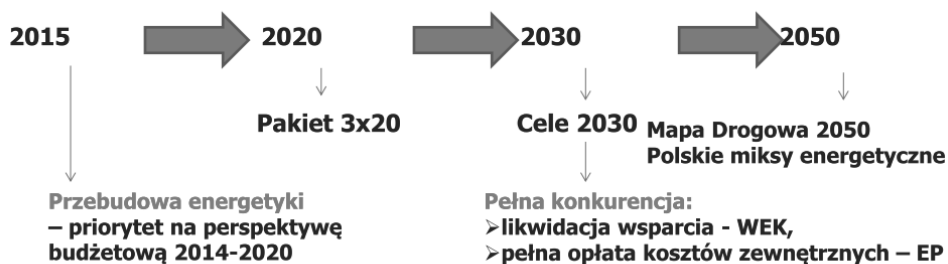
2.6.3. JAKIE CZYNNIKI NAPĘDZAJĄ WSPÓŁCZESNE ZMIANY W ENERGETYCE

1. Innowacje technologiczne (proefektywnościowe, OZE, inteligentna infrastruktura)?
2. Ekonomia wysokiego ryzyka (niezależni inwestorzy, pretendenci) i behawioralna (prosumenci)?
3. Modele biznesowe (zarządzanie, organizacja)?
4. Decyzje polityczne (polityka klimatyczna)?
5. Poziom „technologiczny” społeczeństwa (masowa zdolność dyfuzji wynalazków do gospodarstw domowych)?
6. Zmiany społeczne (kapitał społeczny, styl życia)?

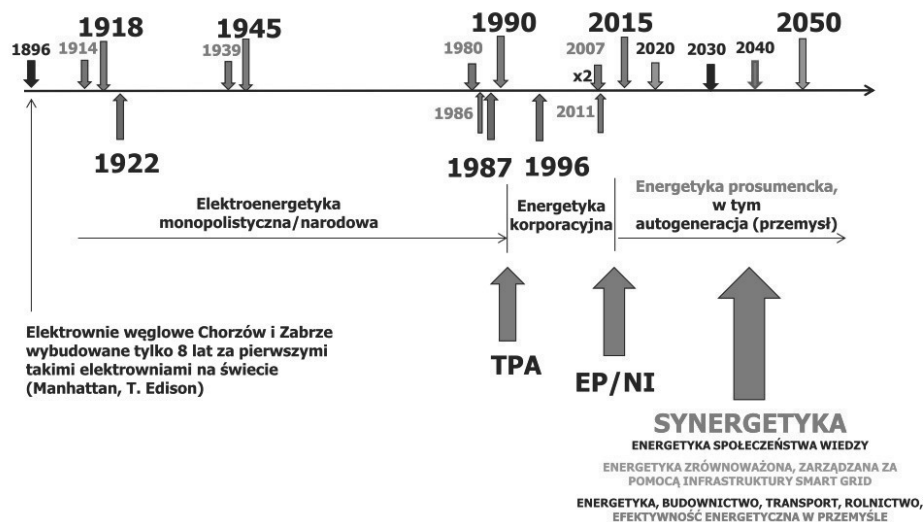
Przyszłość energetyki w perspektywie politycznej

Ważne! Aby prawidłowo antycypować procesy w energetyce w horyzoncie 2050 trzeba ponownie przeanalizować proces zapoczątkowany projektem (z 1992 r.) pierwszej dyrektywy o jednolitym rynku energii elektrycznej (dyrektywa 96/92/WE, z 1996 r.)

Horyzonty



Rys. 2.6.4. Przyszłość energetyki w perespektywie politycznej, [opr.wł.]



Rys. 2.6.5. Oś czasu od elektroenergetyki do synergetyki, [opr.wł.]

2.6.4. NOWA DOKTRYNA ENERGETYCZNA (AUTORSKA PROPOZYCJA)

GLÓWNE ELEMENTY/SKŁADOWE

1. Doktryna energetyczna zastępuje Politykę energetyczną.
2. Polityka gospodarcza staje się priorytetem (w szczególności definiuje się 6 programów gospodarczo-energetycznych).
3. Bezpieczeństwo energetyczne jest pochodną efektywności gospodarki i jest kształtowane przez rynek regulowany przez Imperium/rząd.
4. W miejsce polityki energetycznej określa się cele jakościowo-ilościowe w horyzontach 2020, 2030, 2040, 2050.

Cele do zrealizowania w horyzoncie 2020

Przygotowanie, ponad podziałami politycznymi, szerokiego środowiska na rzecz likwidacji od 2021 roku wsparcia wszystkich trzech (podmiotowych) segmentów energetycznych: WEK, NI, EP, w szczególności:

1. Wdrożenie nowego, interaktywnego rynku energii elektrycznej (EP-NI-WEK);
2. Zmiana modelu biznesowego (restrukturyzacja) energetyki WEK (tylko w ramach posiadanych uprawnień właścicielskich);
3. Powołanie Rady Bezpieczeństwa Energetycznego.

Przykładowy cel do osiągnięcia w horyzoncie 2040 – bezemisyjna energetyka na terenach wiejskich.

PROGRAMY (1)

Program I(P), modernizacyjny. Program pobudzenia efektywnościowego energetyki przemysłowej, 50% krajowego zużycia energii elektrycznej. (Działania bezinwestycyjne i inwestycje w efektywność popytową o czasie zwrotu kapitału poniżej 2 lat umożliwiają w przemyśle redukcję zapotrzebowania: 20% – energia elektryczna, 30% – ciepło)

Program II(OW), rozwojowy. Program dotyczący energetyki (prosumenckiej) na obszarach wiejskich, 15% krajowego zużycia energii elektrycznej. (1600+500) gmin, (43+13) tys. wsi, 3,5 mln domów do przekształcenia w semi off grid, 320 tys. gospodarstw rolnych o powierzchni (10–50) ha do zainstalowania mikrobiogazowni pracujących w trybie semi off grid, 150 tys. stacji SN/nN

Program III(RE), rozwojowy. Program rozwoju rolnictwa energetycznego (restrukturyzacji rolnictwa). Roczny potencjał produkcyjny Programu w horyzoncie 2050 wynosi 100–200 TWh w energii chemicznej (10–20 mld m³ biogazu w przeliczeniu na czysty metan; w przeliczeniu na energię elektryczną jest to 40–80 TWh. Taki potencjał wynika z ostrożnego oszacowania, zakładającego wykorzystanie na cele energetyczne poniżej 20% dostępnych gruntów ornych)

Program IV(M), rozwojowy. Program rewitalizacji budynkowo-transportowej miast (z wyłączeniem „wielkiego przemysłu”, z uwzględnieniem ochrony środowiska). 35% krajowego zużycia energii elektrycznej, około 70% zużycia ciepła, około 70% zużycia paliw transportowych – obejmuje trzy kierunki działań: rewitalizację zasobów budynkowych za pomocą technologii domu pasywnego, rozwój OZE oraz rozwój systemów car sharing i infrastruktury transportu elektrycznego, [www.klaster3x20.pl, podstrona CEP, BŻEP (Biblioteka Źródłowa EP)]

PROGRAMY (2)

Dwa programy intensyfikacji wykorzystania istniejących zasobów WEK (w uproszczeniu szacuje się, że „bezinwestycyjne” zasoby tej energetyki są wystarczające w horyzoncie 2050)

Program V(E), pomostowy. Program 2 wielkich transferów paliwowych do segmentu źródeł kogeneracyjnych (poligeneracyjnych) w energetyce prosumenckiej, głównie przemysłowej i budynkowej. Są to: transfer gazu ziemnego z rynku ciepła oraz transfer paliw z rynku transportowego

Program VI(EE), pomostowy. Program harmonizacji zasobów: zdolności wytwórczych w blokach, zdolności wydobywczych w kopalniach i zdolności przesyłowych w sieciach (konieczna jest odrębna harmonizacja zdolności wytwórczych w blokach i zdolności wydobywczych w kopalniach dla wk i dla wb).

2.6.5. PODMIOTOWA SEGMENTACJA ENERGETYKI PROSUMENCKIEJ

Segment 1: właściciele domów, gospodarstw rolnych, wspólnoty mieszkaniowe, „administratorzy” budynków (energetyka budynkowa!).

PME 1 (prosumencka instalacja energetyczna): 70 tys. nowych domów budowanych rocznie, 6 mln domów do modernizacji.

PME 2: 120 tys. wspólnot mieszkaniowych (budynków mieszkalnych).

PME 3: 14 tys. szkół podstawowych, 6 tys. gimnazjów, 11 tys. szkół ponadgimnazjalnych, 750 szpitali, 1300 pływalni, 2,5 tys. urzędów gmin/miast.

PME 4: 400 tys. gospodarstw rolnych mało- i średniotowarowych, 1 mln gospodarstw rolnych „socjalnych”.

Segment 2: samorządy, spółdzielnie (energetyka lokalna, w tym budynkowa; instalacje, mikrosieci, lokalne sieci).

PISE 1 (prosumencka inteligentna sieć energetyczna): 4 tys. spółdzielni mieszkaniowych, 130 osiedli deweloperskich.

PISE 2 (ARE – autonomiczny Region energetyczny): 43 tys. wsi, a wraz z przyległymi koloniami, przysiółkami i osadami – 56,5 tys.

PISE 3: 1600 gmin wiejskich i 500 gmin wiejsko-miejskich.

PISE 4 (smart city): 400 miast.

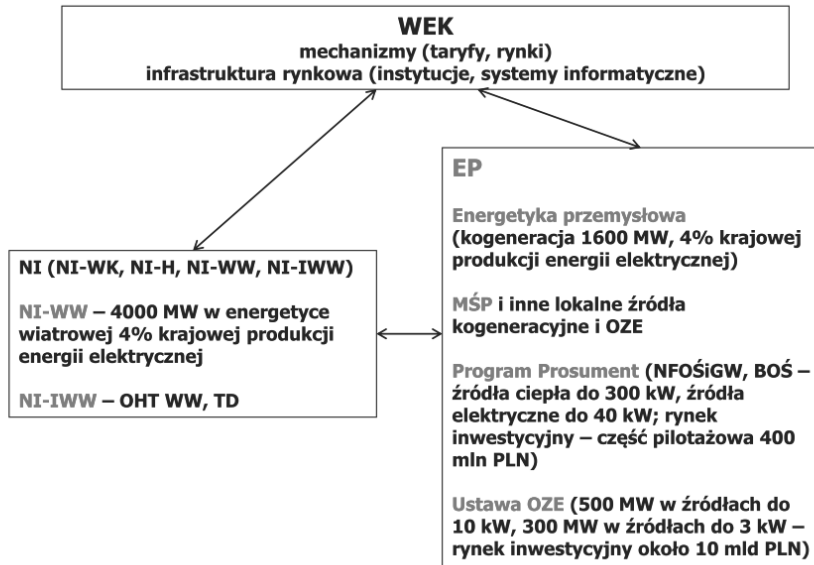
Segment 3: przedsiębiorcy, infrastruktura PKP (autogeneracja, w tym budynkowa; instalacje, mikrosieci, sieci przemysłowe, sieć energetyczna PKP; „energetyka przemysłowa”).

AG 1 (autogeneracja w hipermarketach, biurach, hotelach): 350 hipermarketów, 800 biurów, 2 tys. hoteli.

AG 2 (autogeneracja u przedsiębiorców – małe i średnie przedsiębiorstwa): 1,6 mln przedsiębiorców.

AG 3 (autogeneracja w transporcie kolejowym – PKP Energetyka): 3,5% krajowego zużycia energii elektrycznej.

AG 4: (autogeneracja w przemyśle – wielkie, energochłonne zakłady przemysłowe: górnictwo, hutnictwo, część przemysłu chemicznego, część przemysłu maszynowego, część przemysłu budowlanego): około 50% krajowego zużycia energii elektrycznej.



Rys. 2.6.4. Trzy segmenty interaktywnego rynku energii elektrycznej dominujący - WEK, pretendencki - NI, prosumencki EP, [opr.wł.]

2.6.6. PODSUMOWANIE

Obecne, dominujące środowisko rynkowe WEK (tworzone w okresie 1990-2010):

1. Taryfy końcowe: WN-A (A23) – 200/70 PLN/MWh; SN-B (B11, B21, B22, B23) – 230/100 PLN/MWh; nN-C (C11, C12, C21, C22) – 310/250 PLN/MWh; nN-G (G 11, G12) – 260/230 PLN/MWh;
2. Rynek hurtowy: kontrakty bilateralne średnioterminowe, rynki giełdowe (RDN, RDB); brakuje rynków inwestycyjnych;
3. Operator systemu przesyłowego – system informatyczny SOWE (System Operatywnej Współpracy z Elektrowniami), instrukcja IRiESP, rynek techniczny (RB);
4. Operatorzy systemów dystrybucyjnych – instrukcja IRiESD, taryfy dystrybucyjne;
5. System informatyczny WIRE (Wymiana Informacji Rynku Energii).

Obecne środowisko rynkowe OZE (tworzone przez ostatnie 10 lat):

1. Certyfikaty (gama kolorów) – dotychczasowe systemy wsparcia;
2. Aukcja (system adresowany do WEK oraz do NI) i feed-in tariff dla prosumentów – uchwalona (i w nowelizacji, jeszcze przed wejściem w życie) ustawa OZE (2015);
3. Operator OHT – operator handlowo-techniczny (NI – pretendenci).

Przyszłe środowisko rynkowe (IREE):

1. Wirtualna wyspa (WW) – domena NI-IWW (pretendentów);
2. Taryfa dynamiczna (TD) – domena NI-IWW (pretendentów);
3. Interfejs mikroinfrastruktury PME pracującej w trybie: on grid → semi off grid → off grid;
4. Systemy integracji auto-kogeneracji i autonomicznych systemów OZE dedykowane do poszczególnych segmentów EP („od Kowalskiego po KGHM”).

Energetyka WEK: model project finance (i wskaźniki NPV, IRR) – projekty inwestycyjne (gigantyczne) stały się „niebankowalne” (mają czasy zwrotu kilkanaście lat, a brytyjskie kontrakty różnicowe nawet 35 lat, i są obciążone zbyt dużym ryzykiem, nieakceptowalnym przez banki). Ponadto, niewystarczająca EBITDA przedsiębiorstw coraz mocniej ogranicza zakres programów inwestycyjnych w energetyce WEK.

Segment niezależnych inwestorów NI: modele join venture, private equity dopuszczają duże ryzyko, ale wymagają bardzo krótkich zwrotów nakładów (bez specjalnych regulacji nie dłuższych niż kilka lat). Ponadto, w segmencie inwestorów NI (bazą tego segmentu są małe i średnie przedsiębiorstwa) istnieje w Polsce duża nadwyżka kapitałów własnych (rzędu 600 mld PLN).

Segment energetyki EP: ekonomika behawioralna, z dużym potencjałem partycypacji prosumenckiej. Ponadto, w podejściu prosumenckim kluczowe znaczenie ma zamiana kosztu energii (usług energetycznych) na nakłady inwestycyjne we własną energetykę. Jest to oczywiście inwestowanie we własny majątek – prosumenci podwyższają za pomocą tych inwestycji wartość (cenę) swoich domów (doświadczenia, np. szwedzkie, pokazują, że wzrost ceny domu przewyższa znacznie nakłady inwestycyjne). Oczywiście, inwestycje prosumenckie mają bardzo długi horyzont (są to inwestycje wielopokoleniowe).

Rozdział III. NOWOCZESNE TECHNOLOGIE

Nowoczesne technologie i ich wdrożenie stanowią bardzo ważny obszar działań dla Polski, ponieważ wpływa na wzrost jej konkurencyjności w stosunku do innych państw na świecie. Wynika to między innymi z tego, że stare technologie często nie sprawdzają się w nieustannie zmieniającym się otoczeniu. Punktem spornym w dyskursie o rozwoju technologicznym i postępie cywilizacyjnym pozostaje kwestia ekologii, czyli ochrony środowiska naturalnego człowieka i poszanowania praw przyrody. Liczne dyskusje na temat rozwiązania tego problemu spowodowały, że pojawiła się idea „zrównoważonego rozwoju”, często określana również jako „ekorozwój”. Próby zdefiniowania wymienionych pojęć w szerszym kontekście uwzględniającym ekologię, gospodarkę, politykę oraz problemy społeczne, podjęto już na początku lat siedemdziesiątych. Wyrazem tych starań była Deklaracja Konferencji Narodów Zjednoczonych w sprawie środowiska człowieka.

Niniejszy rozdział dotyczy zastosowania nowoczesnych technologii w elektroenergetyce, które sprzyjają ochronie naturalnego środowiska człowieka. Poruszane zagadnienia to między innymi zastosowanie systemu KNX. Rozwiązanie to pozwala na sterowanie pracą różnych systemów występujących w budynkach, tak jak system grzewczy, ciepłej wody użytkowej, źródeł światła czy wentylacji i klimatyzacji. W rezultacie wzrasta efektywność energetyczna budynków. Autorzy skoncentrowali się na zastosowaniu wymienionego systemu do sterowania źródłami światła typu LED. Opisano i przedstawiono również innowacyjne rozwiązanie stanowiska do personalizacji dokumentów z zabezpieczeniem RFID opracowane w Instytucie Technologii Eksploatacji – Państwowym Instytucie Badawczym. Przedstawiono również analizę wymagań normatywnych certyfikacji modułów PV z krzemu krystalicznego. Analiza uwzględnia metody badań w zakresie bezpieczeństwa i jakości funkcjonowania. Tego typu analiza może być przydatna w ocenie instalacji fotowoltaicznych. Poruszony został również problem przepięć ziemnozwarciowych w kompensowanych sieciach średnich napięć, który poparto badaniami symulacyjnymi.

Niniejszy rozdział daje zatem wgląd w sposoby zastosowania nowoczesnych rozwiązań oraz płynące z tego zalety dla ludzi i ich ciągle jeszcze zagrożonego zanieczyszczeniem środowiska.

Artur Michalski

3.1. ZASTOSOWANIE SYSTEMU KNX DO OŚWIETLENIA WEWNĘTRZNEGO OBIEKTÓW UŻYTECZNOŚCI PUBLICZNEJ Z WYKORZYSTANIEM ŹRÓDEŁ ŚWIATŁA LED*

3.1.1. WSTĘP

W ostatnich latach obserwuje się dynamiczny rozwój nowych źródeł światła. Jest to spowodowane zarówno kwestiami funkcjonalnymi (wymaganymi cechami użytkowymi oświetlenia), jak i efektywnością energetyczną, dotyczącą oszczędnego gospodarowania energią elektryczną. Zagadnienie efektywności energetycznej zostało uregulowane w ustawie z dnia 15 kwietnia 2011 roku o takim samym tytule. W ustawie tej zostały zdefiniowane określone rodzaje przedsięwzięć służących do poprawy efektywności energetycznej. Jest wśród nich m.in. modernizacja oświetlenia. Rozwój nowych źródeł światła ma też związek z kwestią szeroko rozumianej ekologii (ochrony środowiska naturalnego). Jednym z takich nowych źródeł są źródła światła (lampy) LED. Inną obserwowaną tendencją są nowoczesne systemy sterowania oświetleniem. Systemy takie, zwane też inteligentnymi instalacjami oświetleniowymi, są stosowane zarówno w budownictwie mieszkaniowym, jak i w różnych obiektach użyteczności publicznej.

W referacie zostanie omówione zastosowanie systemu automatyki budynkowej KNX do oświetlenia wewnętrznego obiektów użyteczności publicznej z wykorzystaniem diod (opraw) LED. Najpierw zostanie przedstawiona charakterystyka źródeł światła LED oraz sposobów ich zasilania, jak również opis wpływu tych źródeł światła na instalację elektryczną budynku. Następnie zostanie krótko scharakteryzowany system KNX oraz urządzenia pozwalające na sterowanie w tym systemie diodami LED. W dalszej części zaprezentowano konkretny przykład zastosowania systemu KNX do oświetlenia wewnętrznego wybranego obiektu użyteczności publicznej, tj. muzeum, z wykorzystaniem opraw LED. Referat zakończy się podsumowaniem i przedstawieniem wniosków końcowych.

3.1.2. CHARAKTERYSTYKA ŹRÓDEŁ ŚWIATŁA LED ORAZ SPOSOBÓW ICH ZASILANIA

Diody LED (elektroluminescencyjne) są coraz częściej stosowanym źródłem światła. Diody te zostały opisane w wielu źródłach literaturowych, np. w [1, 2].

**Autor: prof. dr hab. inż. Mirosław PAROL, Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, e-mail: miroslaw.parol@ien.pw.edu.pl; mgr inż. Paulina ŁASEK, Elektro A-Z Sp. z o.o., e-mail: paulalasek@gmail.com*

Diody LED mogą emitować światło o różnej barwie. Nie jest możliwe uzyskanie bezpośrednio światła białego ze zwykłej LED. Światło białe można, w przypadku tych źródeł, uzyskać trzema sposobami [2]:

- dokonując mieszania barw za pomocą trzech pojedynczych LED o kolorach: czerwonym, zielonym i niebieskim, tj. przez zastosowanie systemu RGB;
- uzupełniając LED o barwie niebieskiej luminoforem o kolorze żółtoczerwonym, tj. przez zastosowanie systemu barwy dopełniającej;
- uzupełniając za pomocą luminoforu LED z promieniowaniem nadfioletowym, tj. przez zastosowanie systemu konwersji UV.

Rozróżnia się następujące rodzaje źródeł LED [2]:

- pojedynczą diodę (LED), zwykle zasilaną za pomocą zasilacza o stabilizowanej wartości prądu (np. 350 mA, 700 mA, 1000 mA);
- moduły LED, które składają się z kilku lub kilkunastu LED, zainstalowanych na wspólnym podłożu; moduły te mogą być zasilane za pomocą zasilacza o stabilizowanej wartości napięcia, np. 24 V DC;
- LEDówki, tj. moduły LED wyposażone w trzonki stosowane w tradycyjnych żarówkach, świetlówkach kompaktowych lub żarówkach halogenowych;
- oprawy LED, tj. oprawy, w których są zainstalowane LEDy lub moduły LED.

Trwałość LED, oznaczana jako L70, określana jest jako czas świecenia, w czasie którego strumień świetlny źródła nie będzie mniejszy niż 70% jego wartości początkowej. Trwałość LED zależy od warunków pracy, takich jak temperatura i wilgotność oraz od wartości prądu zasilającego. Zależy też od wytwarzanej barwy światła. Przykładowo, LED wytwarzający światło o barwie białej, zielonej i niebieskiej ma (w warunkach laboratoryjnych) trwałość około 30000 – 70000 godzin, zaś LED wytwarzający światło o barwie pomarańczowej około 250000 godzin [2].

Najczęstszą przyczyną uszkodzeń LED jest ich przegrzewanie, powodowane np. zbyt dużym prądem zasilającym lub słabym chłodzeniem, ewentualnie zbyt duża temperatura otoczenia. Uszkodzenie może być również spowodowane przepięciem lub odwrotną polaryzacją diody – zasilanie napięciem o przeciwniej biegunowości. Możliwe są także uszkodzenia mechaniczne [2].

Skuteczność świetlna LED wytwarzających światło białe jest w zakresie od 30 lm/W do 150 lm/W; w warunkach laboratoryjnych dla optymalnych warunków pracy przekracza nawet 170 lm/W [2]. Skuteczność świetlna LEDówek o klasie energetycznej A, stanowiących zamienniki tradycyjnych żarówek, wynosi od 50 lm/W do 70 lm/W. Pozwala to uzyskiwać oszczędności wynoszące około 80% zużywanego energii elektrycznej w porównaniu do tradycyjnych żarówek oraz około 30% w porównaniu do świetlówek kompaktowych [2].

Ogólny wskaźnik oddawania barw Ra dla LED wytwarzających światło białe wynosi od 70 do 90. Zaleca się, aby Ra było nie mniejsze niż 80 [2].

Diody LED można bez większych trudności ściemniać. Służą do tego odpowiednie sterowniki, które zmniejszają wartość prądu lub napięcia, bądź sterują szerokością impulsu (metoda PWM). Ta ostatnia metoda jest częściej stosowana, ze względu na szeroki zakres regulacji oraz liniową zależność między poziomem sygnału sterującego i wartością strumienia świetlnego. Sygnał sterujący może być zarówno sygnałem analogowym (1 – 10 V), jak i sygnałem cyfrowym [2].

Diody LED znajdują obecnie zastosowanie praktycznie we wszystkich obszarach, w których stosuje się światło dla celów oświetleniowych.

W szczególności LEDy znajdują zastosowanie w [2]:

- oświetleniu ogólnym wewnątrz,
- iluminacji obiektów,
- oświetleniu dekoracyjnym i reklamowym,
- oświetleniu zewnętrznym,
- oświetleniu drogowym,
- oświetleniu awaryjnym i bezpieczeństwa,
- oświetleniu akcentującym,
- oświetleniu sygnalizacyjnym,
- oświetleniu pojazdów.

Zaletami LED w porównaniu z innymi źródłami światła są w szczególności [2]:

- wysoka skuteczność świetlna;
- duża trwałość;
- zmniejszenie zapotrzebowania na moc dla potrzeb oświetlenia pomieszczeń;
- możliwość uzyskania w sposób bezpośredni światła o dowolnej barwie oraz płynnej jej zmiany, bez konieczności stosowania dodatkowych filtrów;
- brak emisji promieniowania podczerwonego i znikoma emisja promieniowania nadfioletowego, co jest ważne np. w oświetlaniu dzieł sztuki;
- natychmiastowe zaświecenie z jednoczesnym osiągnięciem pełnego strumienia świetlnego;
- duża odporność na wstrząsy;
- uzyskiwanie dowolnych rozsyłów światła w oprawach oświetleniowych, bez konieczności stosowania dodatkowych odbłyśników.

Zalety te są istotne w odniesieniu do możliwości stosowania LED w obiektach użyteczności publicznej o różnym charakterze i przeznaczeniu.

Wśród ograniczeń w stosowaniu LED można wymienić m.in. [2]:

- silną zależność skuteczności świetlnej i trwałości LED od temperatury pracy diody, a więc również od temperatury otoczenia – konieczność stosowania radiatorów oraz unikanie stosowania LED w miejscach silnie nasłonecznionych;
- oddziaływanie LED na parametry jakościowe energii elektrycznej w instalacji (sieci) zasilającej przez generowanie wyższych harmonicznych – konieczność stosowania odpowiednich zasilaczy; wysokie luminancje mo-

gące prowadzić do olśnienia, powodowane małymi wymiarami ciała świecącego i stosunkowo małym kątem wypromieniowania światła.

Do zasilania LED są stosowane odpowiednie zasilacze, czyli urządzenia sterująco-stabilizujące, które przekształcają napięcie 230 V AC na określoną wartość napięcia stałego, np. 12 V DC lub 24 V DC. Zasilacze mogą posiadać dodatkowe funkcje pozwalające na ściemnianie LED lub zmianę barwy emitowanego światła. Rozróżnia się dwa zasadnicze rodzaje zasilaczy: „stałoprądowe” – ze stabilizacją prądu oraz „stałonapięciowe” – ze stabilizacją napięcia. Ze względu na wartość i stabilność strumienia świetlnego, zaleca się stosowanie impulsowych zasilaczy stałoprądowych. Impulsowanie odbywa się z wykorzystaniem metody PWM o dużej częstotliwości. Instalowane filtry wejściowe zasilaczy mają na celu ograniczenie emisji wyższych harmonicznych do sieci zasilających [2].

Aby dokonać oceny wpływu LED lub oprawy LED na sieć zasilającą trzeba określić spektrum harmonicznych prądu pobieranego przez to źródło światła oraz obliczyć wartość współczynnika THD. Szczególnie duże są prądy 3-, 5- i 7-harmonicznej [2].

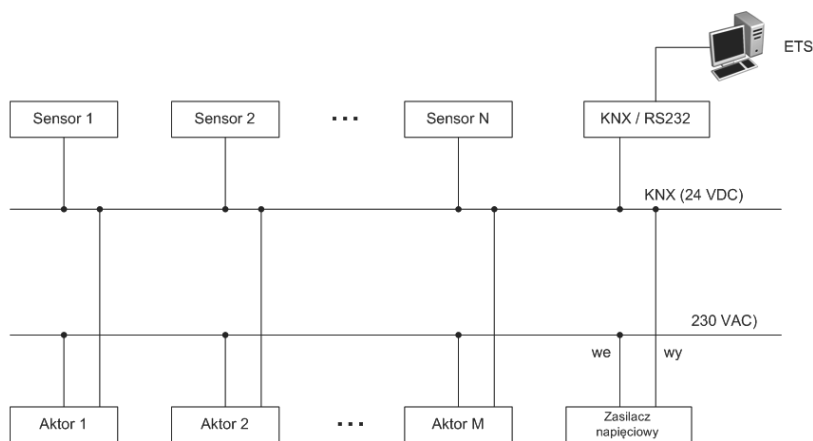
Generacja wyższych harmonicznych przez LED powoduje negatywne skutki w sieci i instalacji zasilającej. Dlatego wymaga się, aby oprawy oświetleniowe LED spełniały wymagania określone w normie PN-EN 61000-3-2: 2014-10 Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 3-2: Poziomy dopuszczalne emisji harmonicznych prądu (fazowy prąd zasilający odbiornika ≤ 16 A) dla odbiorników zaliczanych do klasy C. Zgodnie z tą normą, maksymalny dopuszczalny prąd harmonicznej, wyrażony w procentach składowej podstawowej prądu wejściowego, wynosi np.: $30 \cdot \lambda$ [%] dla 3 harmonicznej, 10% dla 5 harmonicznej, 7% dla 7 harmonicznej, 5% dla 9 harmonicznej (współczynnik λ jest stosunkiem mocy czynnej pobieranej przez urządzenie do iloczynu wartości skutecznych prądu i napięcia zasilającego). Warto zaznaczyć, że wymienione wymagania dla odbiorników zaliczanych do klasy C dotyczą sprzętu oświetleniowego (w tym LED) o pobieranej mocy czynnej większej od 25 W. W normie tej w przypadku pobieranej mocy czynnej nieprzekraczającej 25 W jest bezpośrednio odniesienie jedynie do wyładowczego sprzętu oświetleniowego. Innym zagadnieniem, który powinien podlegać za każdym razem indywidualnej ocenie, jest pobór mocy biernej przez źródła LED bądź zasilacze źródeł LED i związana z tym wartość współczynnika mocy w obwodach zawierających tego typu źródła.

3.1.3. ZASTOSOWANIE SYSTEMU KNX DO STEROWANIA ŹRÓDŁAMI TYPU LED

System KNX należy do klasy otwartych systemów sterowania występujących w automatyce budynkowej [3÷5]. System ten wykorzystuje logikę stero-

wania rozproszonego i jest stosowany głównie w obiektach użyteczności publicznej oraz w obiektach mieszkalnych. Biorąc pod uwagę stosowane media transmisyjne, rozróżnia się następujące jego odmiany [3, 4, 5]: KNX TP, w której stosuje się skrętkę, KNX RF – wykorzystującą fale o częstotliwości radiowej, KNX PL – wykorzystującą przewody elektroenergetyczne, oraz KNX IP, w której korzysta się z sieci komputerowej typu Ethernet. Szczegółowy opis wymienionych odmian systemu KNX można znaleźć m.in. w [3–8].

Zasada działania najczęściej stosowanego w praktyce systemu KNX TP została zobrazowana na schemacie poglądowym przedstawionym na rys. 3.1.1.



Rys. 3.1.1. Schemat przedstawiający zasadę działania systemu

Sensory są to urządzenia zadające polecenia sterownicze, zaś aktory to urządzenia wykonawcze. Do grupy sensorów zalicza się m.in. [3, 4, 10, 11]: łączniki klawiszowe, różnego rodzaju czujniki: natężenia oświetlenia, temperatury, podczerwieni, wilgotności, użytej siły, wiatru, otwarcia drzwi (okien) oraz zegary. Do grupy aktorów zalicza się najczęściej [3, 4, 10, 11]: wyjścia binarne, ściemniacze, elementy załączająco-ściemniające, elektrozawory, elementy sterujące pracą napędów żaluzji itd. Sensory i aktory posiadają autonomiczny system sterowania i nazywane są elementami magistralnymi. Wymiana informacji pomiędzy sensorami i aktorami odbywa się za pomocą pakietów informacyjnych, zwanych telegramami.

KNX TP (RS232/KNX – specjalizowane łącze typu RS, ETS (Engineering Tool Software) – oprogramowanie narzędziowe); opracowano na podstawie [8, 9]

Podstawowym elementem strukturalnym systemu KNX TP jest linia magistralna wychodząca z linii głównej, do której są przyłączane sensory i aktory. W pojedynczym obszarze, związanym z linią główną, może być maksymalnie 15 linii magistralnych, oddzielonych od siebie za pomocą sprzęgieł liniowych (SL). W całej instalacji KNX TP, związanej z linią obszarową, może być z kolei maksymalnie 15 obszarów, oddzielonych od siebie za pomocą sprzęgieł obszarowych

(SO). W systemie KNX TP mogą również występować wzmacniacze liniowe (WL). Sprzęgła i wzmacniacze występują zazwyczaj w przypadku rozległych instalacji, które zawierają dużą liczbę elementów magistralnych [3, 4, 10, 11].

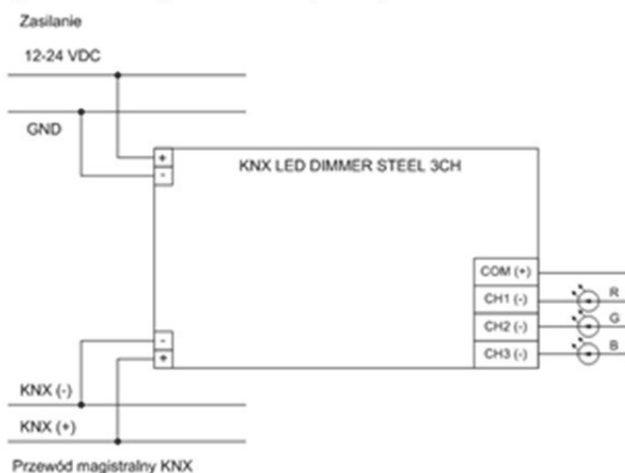
Do sterowania pracą źródeł LED (zarówno opraw oświetlenia ogólnego jak i oświetlenia punktowego) potrzebne są odpowiednie sensory i aktry. Jako sensory wykorzystać można m.in. łączniki klawiszowe, czujniki ruchu, czujniki natężenia oświetlenia, a także panele 1dotykowe, kontrolno-sterujące. Jeśli chodzi o elementy wykonawcze, to można w tym celu stosować aktry załączająco-ściemniające, ze stabilizacją napięcia lub prądu wyjściowego. Przykładowe rozwiązania techniczne w tym zakresie zostały przedstawione np. w [12÷15]. Oba typy aktorów mają trzy kanały wyjściowe, które służą do zasilania diod RGB. Pozwalają na tworzenie oświetlenia wielobarwnego oraz realizowanie wcześniej zaprogramowanych kolorowych scen świetlnych. Z punktu widzenia ochrony przeciwporażeniowej, są urządzeniami III klasy ochronności, zasilanymi napięciem SELV.

Poglądowy schemat przyłączenia aktora załączająco-ściemniającego ze stabilizacją napięcia został pokazany na rys. 3.1.2.

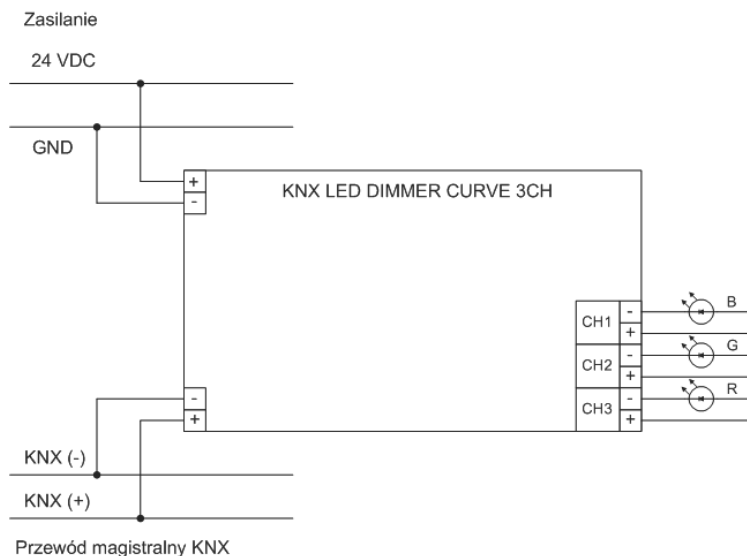
Parametry techniczne aktora typu KNX LED Dimmer Steel 3Ch przedstawiają się następująco [12, 14]:

- napięcie zasilające: 12–24 V DC,
- maksymalny prąd wyjściowy: 2,2 A / kanał,
- napięcie wyjściowe: 12–24 V DC,
- maksymalna moc wyjściowa: 80 W (12 V DC), 155 W (24 V DC).

Z kolei, poglądowy schemat przyłączenia aktora załączająco-ściemniającego ze stabilizacją prądu został zaprezentowany na rys. 3.2.3.



Rys. 3.1.2. Schemat przyłączenia aktora załączająco-ściemniającego dla diod LED ze stabilizacją napięcia; opracowano na podstawie [12]



Rys. 3.1.3. Schemat przyłączenia aktora załączająco-ściemniającego dla diod LED ze stabilizacją prądu; opracowano na podstawie [13]

Parametry techniczne aktora typu KNX LED Dimmer Curve 3Ch są następujące [13, 14]:

- napięcie zasilające: 24 V DC,
- prąd wyjściowy: 350 mA, 500 mA, 700 mA,
- maksymalne napięcie wyjściowe: 22 V DC,
- maksymalna moc wyjściowa: 7,7 W (350 mA), 11,0 W (500 mA), 15,4 W (700 mA).

Oba wymienione aktry mają wspólnie następujące parametry techniczne [12–14]:

- zainstalowane zabezpieczenie przed prądem zwarciovym w obwodach wyjściowych,
- zainstalowane zabezpieczenie przed odwrotną polaryzacją diod LED,
- sterowanie sygnałem wyjściowym: PWM, 600 Hz,
- szybkość transmisji w systemie KNX: 9,6 kb/s,
- dopuszczalne napięcie w obwodzie KNX: 21...40 V DC,
- pobór mocy z obwodu KNX: max 12 mA,
- zainstalowane zabezpieczenie przed odwrotną biegunowością w obwodzie KNX,
- temperatura pracy: $-5^{\circ}\text{C} \dots +45^{\circ}\text{C}$.

Do zasilania wymienionych aktorów załączająco-ściemniającego wymagane są zasilacze impulsowe, np. zaprezentowane w [15]. Zasilacze te prze-

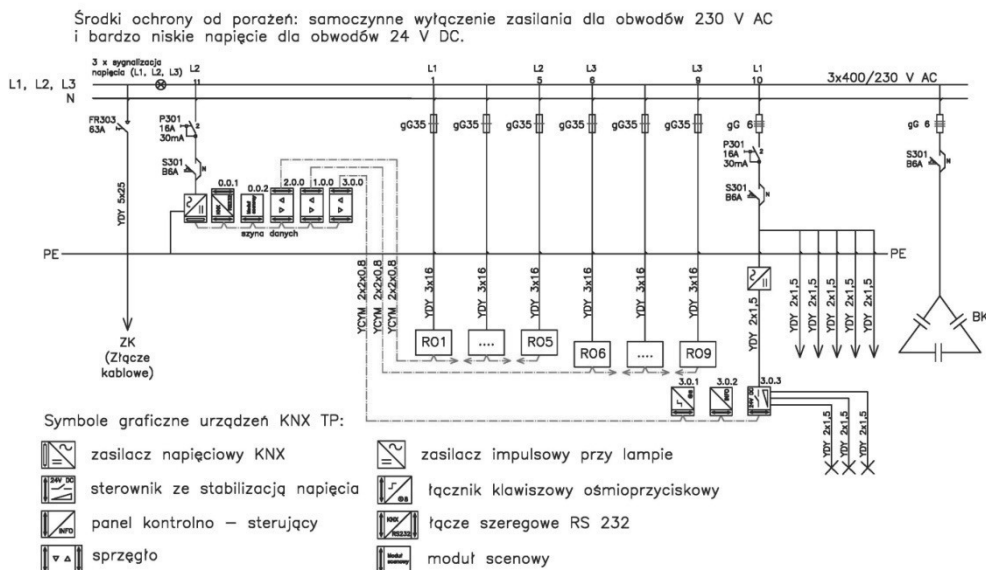
kształcają napięcie 230 V AC na napięcie 24 V DC oraz posiadają zabezpieczenie przed prądem przetężeniowym, jak i przed przepięciami. Są one wykonywane w postaci pozwalającej na zamocowanie na szynie typu TH 35, jak również w postaci umożliwiającej zamocowanie w pobliżu oprawy LED.

3.1.4. PRZYKŁAD ZASTOSOWANIA SYSTEMU KNX DO OŚWIETLENIA WEWNĘTRZNEGO BUDYNKU MUZEUM, Z WYKORZYSTANIEM ŹRÓDEŁ ŚWIATŁA LED

Zrealizowany projekt [16] dotyczył instalacji oświetleniowej KNX w budynku muzeum. Budynek ten został podzielony na dwie części: część z wystawą stałą i część z wystawą czasową. Na wystawę stałą składa się 16 sal po 30 m² każda, przeznaczonych do ekspozycji obrazów. Sala z wystawą czasową o powierzchni około 390 m² jest przeznaczona do ekspozycji rzeźb, obrazów oraz innych eksponatów. Dla części muzeum z wystawą stałą, zaprogramowane zostały 2 sceny świetlne: „zwiedzanie indywidualne” i „zwiedzanie grupowe”. W przypadku sceny „zwiedzanie indywidualne” zastosowane zostało „oprowadzanie światłem” po kolejnych obiektach wystawowych – obrazach. Scena świetlna dla „zwiedzania grupowego” polega na rozjaśnianiu oświetlenia obrazu, gdy znajduje się przy nim jakikolwiek zwiedzający.

W części z wystawą czasową sceny świetlne będą dostosowywane do potrzeb wystawy. W sali zostały umieszczone ściennie czujniki ruchu o strefie detekcji dla całej alejki zwiedzania. Dla każdego z obrazów i dwóch rzeźb umieszczone są sufitowe czujniki ruchu, umożliwiające sterowanie oprawami (lampami) LED, uzależnione od obecności zwiedzających.

Przyjęto, że instalacja elektryczna wewnątrz muzeum pracuje w układzie TN-S o napięciu znamionowym 400/230 V AC oraz jej część na napięciu 24 V DC. Jako środek ochrony przed porażeniem w instalacji 230 V AC zastosowane zostało samoczynne wyłączenie zasilania. Z kolei, w instalacji 24 V DC jako środek ochrony zostało zastosowane bardzo niskie napięcie (ELV). Z rozdzielnic głównej (RG) budynku (rys. 3.2.4) wyprowadzone zostały przewody zasilające rozdzielnic oddziałowe (RO), zlokalizowane w pobliżu sal wystawowych. Z rozdzielnic oddziałowych wyprowadzono zaś obwody oświetleniowe, zasilające poszczególne źródła światła. W pomieszczeniach użyto następujących opraw ze źródłami LED: do oświetlenia ogólnego – oprawy liniowe zasilane napięciem o stałej wartości 24 V DC, do oświetlenia punktowego – oprawy o mocy 3 W oraz 6 W, zasilane prądem o stałej wartości 350 mA.



Rys. 3.1.4. Uproszczony schemat ideowy rozdzielnic głównej (RG); opracowano na podstawie [16]

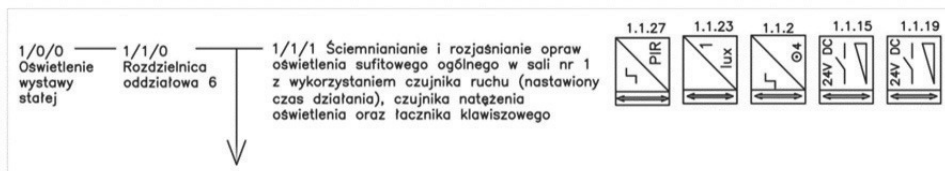
Projektowana instalacja KNX TP będzie prowadzona podtynkowo przewodami magistralnymi typu YCYM 2x2x0,8 mm, układanymi równolegle z przewodami zasilającymi odbiorniki elektryczne. Wszystkie kryteria dotyczące zachowania dopuszczalnych odległości od siebie poszczególnych elementów magistralnych zostały uwzględnione i spełnione. Do zasilania przewodów magistralnych zostało wykorzystanych 10 zasilaczy napięciowych, w każdej rozdzielnic oddziałowej zlokalizowano jeden zasilacz. Każda rozdzielnica RO została wyposażona w jedno sprzęgło liniowe i jedno łącze komunikacyjne RS 232. Dodatkowo, łącze komunikacyjne zaprojektowano również w rozdzielnic RG.

Instalacja KNX TP ma strukturę drzewiastą. Jej odzwierciedleniem jest adres fizyczny każdego urządzenia magistralnego KNX. Pierwsza cyfra tego adresu określa numer obszaru – część obiektu z wystawą stałą lub część obiektu z wystawą czasową. Druga cyfra określa numer linii magistralnej w zdefiniowanym obszarze, odrębnie dla rozdzielnic związanych z wystawą stałą oraz dla rozdzielnic związanych z wystawą czasową. Ostatnia, trzecia cyfra określa numer elementu magistralnego w linii.

Struktura logiczna instalacji KNX TP jest reprezentowana przez adresy grupowe elementów magistralnych. Pierwsza cyfra adresu grupowego określa rodzaj i miejsce instalacji oświetleniowej podlegającej sterowaniu. Druga cyfra określa numer rozdzielnic oddziałowej, z której wychodzą obwody podlegające sterowaniu, odrębnie dla rozdzielnic związanych z wystawą stałą oraz dla rozdzielnic

związanych z wystawą czasową. Trzecia cyfra adresu określa rodzaj realizowanej funkcji sterowniczej.

Fragment struktury logicznej instalacji KNX TP, dotyczącej jednej z rozdzielnic RO, został przedstawiony na rys. 3.1.5.

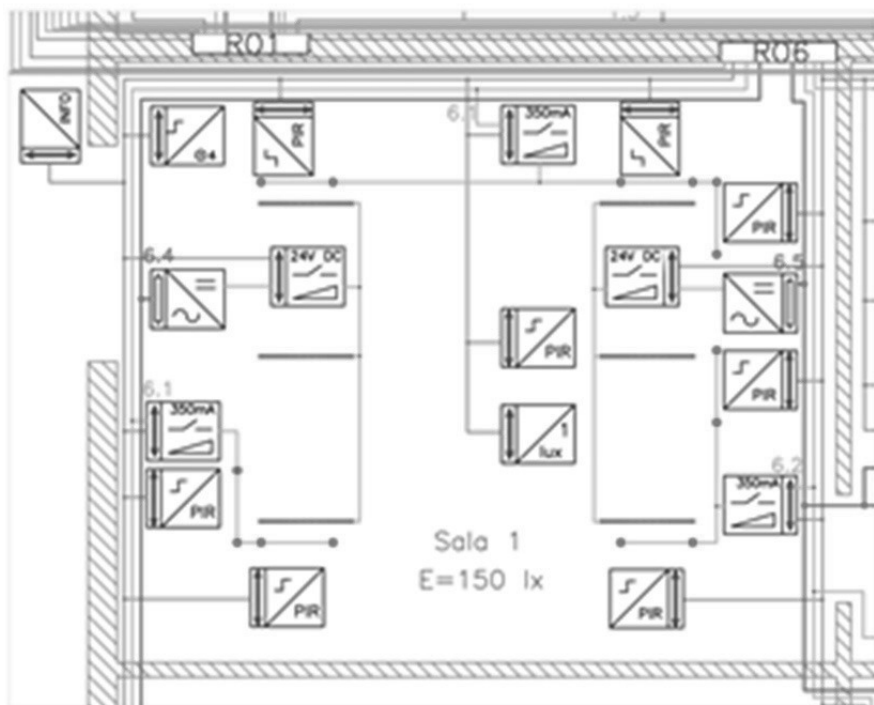


Rys. 3.1.5. Fragment schematu struktury logicznej zaprojektowanej instalacji KNX TP, dotyczącej jednej z rozdzielnic oddziałowych (RO6); opracowano na podstawie [16]

W projekcie zostały użyte następujące urządzenia systemu KNX [16]:

- 10 zasilaczy napięciowych,
- 10 łączy komunikacyjnych RS 232,
- 3 sprzęgła obszarowe,
- 9 sprzęgieł liniowych,
- 8 łączników klawiszowych poczwórnych,
- 1 łącznik klawiszowy ośmiokrotny,
- 9 podtynkowych portów magistralnych,
- 112 sterowników do opraw ze źródłami LED ze stabilizacją prądu (350 mA),
- 79 sterowników do opraw LED ze stabilizacją napięcia (24 V DC),
- 186 sufitowych czujników ruchu,
- 4 ścienne czujniki ruchu,
- 24 czujniki natężenia oświetlenia,
- 10 paneli dotykowych, kontrolno-sterujących.

Natężenie oświetlenia w salach wystawowych zostało przyjęte na poziomie około 150 lx, kierując się wymaganiami zawartymi w normie [17]. Przeprowadzone obliczenia dla instalacji oświetleniowej pozwoliły na wyznaczenie potrzebnej liczby opraw oświetleniowych dla otrzymania natężenia oświetlenia na założonym poziomie we wszystkich pomieszczeniach. Następnie określono zapotrzebowanie na moc dla celów oświetleniowych przez poszczególne rozdzielnic oddziałowe. Plan instalacji KNX dla jednej z sal wystawowych z wystawą stałą został pokazany na rys. 3.1.6. Uproszczony schemat ideowy jednej z zaprojektowanych rozdzielnic oddziałowych przedstawiono na rys. 3.1.7.



Legenda:


—oprawy ze źródłami LED:

- Oprawa typu Stella Bow
- Oprawa typu DL 136


—okablowanie:


- linia KNX YCYM 2x2x0,8
- przewód 24V DC YDY 2x1,5
- przewód 230V AC zasilający zasilacze impulsowe YDY 2x1,5

—zasilanie lamp LED:

 zasilacz impulsowy

—urządzenia KNX:


 1 lux czujnik natężenia oświetlenia

 PIR czujnik ruchu sufitowy

 Ø4 łącznik klawiszowy poczwórny

 INFO panel kontrolny – sterujący

 350mA sterownik ze stabilizacją prądu

 24V DC sterownik ze stabilizacją napięcia

Rys. 3.1.6. Plan instalacji KNX TP dla sali wystawowej nr 1; opracowano na podstawie [16]

- oprawa oświetlenia punktowego typu WL 020 LED 3S 3W – 314 szt. (temperatura barwowa: 3000 K – skuteczność świetlna: 60 lm/W, wskaźnik oddawania barw Ra: > 80);
- oprawa oświetlenia ogólnego typu Stella Bow 21W – 237 szt. (temperatura barwowa: 3000 K – skuteczność świetlna: 51 lm/W).

Charakterystyka wymienionych opraw LED została zaprezentowana w [15, 18]. Sumaryczne zapotrzebowanie na moc czynną całej instalacji oświetleniowej w budynku muzeum wynosi około 6,9 kW.

W projekcie właściwie dobrano przewody i urządzenia zabezpieczające dla obwodów oświetleniowych zasilanych z rozdzielnic oddziałowych oraz dla obwodów zasilających rozdzielnice oddziałowe, jak również dla obwodu łączącego złącze kablowe budynku z rozdzielnicą główną oraz dla obwodu łączącego transformator SN/nn ze złączem kablowym budynku muzeum.

Dla wszystkich dobranych przekrojów przewodów sprawdzono, czy spełnione jest kryterium dopuszczalnych spadków napięcia. Założono, że spadki napięcia dla obwodów oświetleniowych 230 V AC od rozdzielnicy głównej do zasilacza impulsowego nie mogą przekroczyć 3%, zaś dla obwodów 24 V DC wartość spadku napięcia nie może przekroczyć 10%.

W projekcie sprawdzono również skuteczność środków ochrony przeciwporażeniowej, wytrzymałość dobranych przewodów i kabli na warunki zwarciowe, jak również selektywność działania urządzeń zabezpieczających.

Dobór mocy znamionowej przewidzianej do zainstalowania baterii kondensatorów (rys. 3.1.4) powinien zostać przeprowadzony biorąc pod uwagę wartość naturalnego współczynnika mocy na wejściu zasilaczy impulsowych w obwodach oświetleniowych oraz wartość współczynnika mocy w innych obwodach (np. w obwodach gniazd wtyczkowych, obwodach siłowych, obwodach potrzeb administracyjnych) występujących w projektowanej instalacji elektrycznej muzeum.

3.1.5. PODSUMOWANIE

W artykule opisano zastosowanie systemu automatyki budynkowej KNX do oświetlenia wewnętrznego obiektów użyteczności publicznej z wykorzystaniem źródeł światła LED. Została przedstawiona krótka charakterystyka źródeł światła LED oraz sposobów ich zasilania, jak również opisano wpływ tych źródeł światła na instalację elektryczną budynku. Następnie został scharakteryzowany system KNX oraz urządzenia umożliwiające sterowanie w tym systemie źródłami typu LED. Został również zaprezentowany przykład zastosowania systemu KNX do oświetlenia wewnętrznego muzeum, z wykorzystaniem źródeł światła LED.

Na podstawie informacji zawartych w niniejszym referacie oraz w oparciu o wykonany projekt systemu KNX służącego do oświetlenia wewnętrznego bu-

dynku muzeum, z wykorzystaniem diod LED, należy stwierdzić, że system KNX może być wykorzystany do sterowania pracą oświetlenia wykorzystującego diody LED.

Diody (oprawy) LED posiadają wiele zalet istotnych w przypadku oświetlenia wewnętrznego obiektów użyteczności publicznej. Są to w szczególności: wysoka skuteczność świetlna, możliwość uzyskania w sposób bezpośredni światła o dowolnej barwie oraz płynnej jej zmiany, możliwość realizacji zadanych scen świetlnych, brak emisji promieniowania podczerwonego, co jest ważne np. w oświetlaniu dzieł sztuki w muzeach, zmniejszenie zapotrzebowania na moc dla potrzeb oświetlenia pomieszczeń. Ta ostatnia cecha przyczynia się do poprawy efektywności energetycznej budynków, w których zainstalowano źródła LED.

Należy też wspomnieć o jednym z ograniczeń w stosowaniu LED: jest to wpływ LED na parametry jakościowe energii elektrycznej w instalacji (sieci) zasilającej, przez generowanie wyższych harmonicznych. Wymusza to konieczność stosowania odpowiednich zasilaczy oraz aktorów załączająco-ściemniających. Ocenie powinna również podlegać wartość pobieranej mocy biernej przez źródła LED bądź zasilacze źródeł LED i związany z nią poziom współczynnika mocy w obwodach oświetleniowych zawierających tego typu źródła.

LITERATURA

- [1] Wiśniewski A.: Źródła światła. COSiW SEP, Warszawa 2013
- [2] LED-y, moduły LED, LEDówki. Odpowiedzi na najczęściej zadawane pytania. Wyd. I, POL Lighting, maj 2011
- [3] Parol M.: Podstawy budowy i projektowania instalacji elektrycznych w systemie KNX. Materiały 45. Konferencji z cyklu „Inżynieria elektryczna i energetyczna; projektowanie, budowa i eksploatacja” – Nowoczesny budynek, 25–27 maja 2012, Łochów, str. 140 – 156
- [4] Parol M.: Media transmisyjne stosowane w systemie sterowania KNX. elektro.info, 112 (2013), nr 3, 40–45
- [5] <http://www.konnex.org>
- [6] Parol M.: Instalacje w „Inteligentnych budynkach”. Przegląd Elektrotechniczny, 82 (2006), nr 10, 1–5
- [7] Petykiewicz P.: Nowoczesna instalacja elektryczna w inteligentnym budynku: przesłanki, zasady, techniczna realizacja, osprzęt. COSiW SEP, Warszawa, 2004
- [8] Project Engineering for EIB Installations. Basic Principles. 4th (revised) edition, EIBA sc, 1998
- [9] Parol M.: Ochrona przeciwprzepięciowa w instalacjach inteligentnych typu KNX. Wiadomości Elektrotechniczne, 2009, R. LXXVII, Nr 6, str. 42–45

- [10] Niestępski S., Parol M., Pasternakiewicz J., Wiśniewski T.: Instalacje elektryczne. Budowa, projektowanie i eksploatacja. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Wyd. 3 (poprawione i uzupełnione), Warszawa 2011
- [11] Barnaś K., Dołowy M., Machowski J., Magdziarz A., Pająk J., Parol M., Pasternakiewicz J., Zdun Z., Ziemianek S., Żagan Z.: Laboratorium podstaw elektroenergetyki. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2003
- [12] BILTON. KNX LED DIMMER STEEL 3 Channel. Product manual V1.2
- [13] BILTON. KNX LED DIMMER CURVE 3 Channel. Product manual V1.2
- [14] BILTON. BILTON LED LIGHTING. KNX. Precision Landing into the Light
- [15] BILTON. Let There Be LED. Edition 2.0
- [16] Łasek P.: Projekt instalacji inteligentnej typu KNX w zakresie instalacji oświetleniowej z lampami typu LED. Praca dyplomowa inżynierska. Politechnika Warszawska – Wydział Elektryczny, Warszawa 2013
- [17] Norma PN-EN 12464-1 Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy. Miejsca pracy we wnętrzach
- [18] Collingwood Lighting 2012 Catalogue. Katalog firmy Collingwood

3.2. SYSTEM STEROWANIA STANOWISKA DO PERSONALIZACJI I ZABEZPIECZANIA MECHANICZNEGO DOKUMENTÓW Z UKŁADAMI RFID*

3.2.1. WSTĘP

Nowoczesne dokumenty wymagają rozwijania i stosowania coraz nowszych technik i technologii do ich zabezpieczenia. Producenci takich dokumentów poszukują najróżniejszych rozwiązań, uniemożliwiających ich fałszowanie. Przykładem tego typu rozwiązań są metody zapisu informacji i danych o użytkowniku (metody personalizacji), które mogą być wprowadzane do dokumentów (kart identyfikacyjnych) [1] w postaci graficznej i elektronicznej. Personalizacja graficzna pozwala na stosowanie czytelnych i wydajnych metod poligraficznych jako zabezpieczenia, a personalizacja elektroniczna umożliwia zastosowanie szybkiej metody, elektronicznego kodowania informacji w dokumencie. Przykładem elektronicznego układu wykorzystywanego w tego typu aplikacjach jest układ RFID (Radio Frequency IDentification) [2]. Oprócz wymagań bezpieczeństwa, dokumenty podlegają wymaganiom odpowiednich norm i uregulowań prawnych w zakresie ich metod badań. Badania te mogą być realizowane zgodnie z szeregiem norm, których przykładem jest norma PN-ISO/IEC 10373 [3], która opisuje grupę metod badawczych właściwości kart identyfikacyjnych oraz podaje zasady dotyczące technologii zapisu i przechowywania informacji.

Spełnienie wymagań producentów kart identyfikacyjnych uwzględniających uregulowania prawne i stosowne normy oraz zalecenia bezpieczeństwa w zakresie personalizacji danych, przy opracowaniu nowych rozwiązań produktów – kart identyfikacyjnych, wiąże się z zastosowaniem urządzeń i stanowisk do ich wytwarzania.

Przykładem takiego innowacyjnego rozwiązania jest stanowisko do personalizacji dokumentów z zabezpieczeniem RFID opracowane w Instytucie.

3.2.2. MODUŁOWA KONSTRUKCJA STANOWISKA

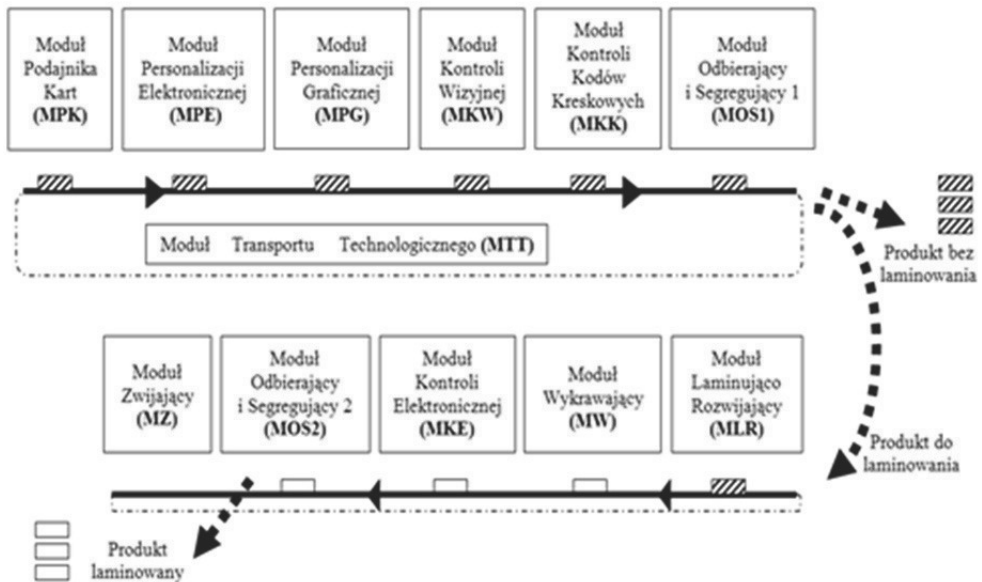
Opracowane i wykonane stanowisko (linia) do personalizacji dokumentów z zabezpieczeniem RFID zostało skonstruowane w oparciu o budowę modułową i podzielone na dwa etapy produkcyjne (rys. 3.2.1), które determinuje wyrób końcowy etapu.

***Autorzy:** dr inż. Jan PRZYBYLSKI, Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Puławskiego 6/10, 26-600 Radom, e-mail: jan.przybylski@itee.radom.pl;
mgr inż. Mirosław NESKA, Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Puławskiego 6/10, 26-600 Radom, e-mail: miroslaw.neska@itee.radom.pl;

W etapie pierwszym półwyrob przechodzi przez sześć gniazd procesowych (modułów produkcyjnych), etap ten kończy się spersonalizowanym produktem (dokumentem) bez zabezpieczenia mechanicznego. Etap drugi składający się z pięciu modułów produkcyjnych umożliwia dodanie do spersonalizowanego dokumentu, dodatkowego zabezpieczenia mechanicznego w postaci laminowania, uzyskując w ten sposób spersonalizowany laminowany produkt końcowy. Podstawą budowy części pierwszej stanowiska jest Moduł Transportu Technologicznego (MTT), którego zasadniczym zadaniem jest przemieszczanie dokumentów wzdłuż linii technologicznej zawierającej poszczególne moduły tworzące zespół zapewniający pełną personalizację tych wyrobów.

Na początku pierwszego etapu produkcyjnego, przygotowane półwyroby-dokumenty umieszczane są w specjalnym automatycznym zasobniku Modułu Podajnika Kart, który stanowi początkowe ogniwo stanowiska automatycznej personalizacji dokumentów (kart). Zadaniem tego modułu jest pobieranie kolejnych kart i umieszczanie ich na przenośniku taśmowym MTT, który służy do przemieszczania wyrobów do kolejnych gniazd procesowych. Pierwszym modulem personalizacji jest Moduł Personalizacji Elektronicznej (MPE) przeznaczony do zaprogramowania układu RFID, kolejnym jest Moduł Personalizacji Graficznej (MPG), który służy do wprowadzania danych tekstowych i graficznych. Dane wydrukowane na powierzchni zewnętrznej dokumentu są następnie weryfikowane w Module Kontroli Wizyjnej (MKW) i w gnieździe procesowym Modułu Kontroli Kodów Kreskowych (MKK). Zweryfikowane karty są przemieszczane w trybie pracy cyklicznej do Modułu Odbierającego i Segregującego 1 (MOS1). W tym module kończy się pierwszy etap związany z personalizacją dokumentów. Karty nieprawidłowo spersonalizowane lub uszkodzone są automatycznie niszczone mechanicznie. Ten etap może stanowić zakończenie procesu technologicznego lub istnieje możliwość dodatkowego zabezpieczenia tych dokumentów poprzez proces ich laminowania.

W drugim etapie pracy stanowiska karty podawane są do Modułu Laminująco Rozwijającego (MLR), w którym dokumenty mogą być poddawane jednostronnemu lub dwustronnemu laminowaniu. Dalsze przemieszczanie kart odbywa się w trybie pracy ciągłej, z wykorzystaniem taśmy laminującej. Zalaminowane karty są następnie w Module Wykrawającym (MW) wycinane i po zweryfikowaniu w Module Kontroli Elektronicznej (MKE) następuje ich odbiór poprzez Moduł Odbierający i Segregujący 2 (MOS2). Dodatkowo w module tym następuje automatyczne niszczenie mechaniczne dokumentów, które nie przeszły pozytywnie testu kontroli w MKE. Ostatnim gniazdem procesowym drugiego etapu pracy stanowiska jest Moduł Zwijający (MZ), którego zadaniem jest zwinięcie pozostałości taśmy laminującej. Ponadto moduł ten pełni funkcję kontrolną, właściwego napięcia taśmy transportującej karty i jej prawidłowego przemieszczania, tak aby dokumenty były prawidłowo wycinane.



Rys. 3.2.1. Schemat rozmieszczenia modułów stanowiska

3.2.3. ALGORYTM DZIAŁANIA SYSTEMU STEROWANIA

W normalnej pracy stanowiska operacje na poszczególnych kartach odbywają się jednocześnie i równolegle we wszystkich modułach. Praca pierwszej części stanowiska realizowana jest metodą cykliczną (start- stopową), w której karty przemieszczane są kolejno poprzez wszystkie moduły. Wykonanie kolejnego ruchu, oddania karty i pobrania następnej realizowane jest po równoległym wykonaniu zadań przez wszystkie moduły.

Pierwszym etapem działania systemu sterowania jest sprawdzenie zgodności konfiguracji sprzętowej z planowanym trybem pracy. Zadanie to dotyczy szczególnie tych elementów, które są konfigurowalne i podłączane w trybie manualnym. Takim modułem jest przede wszystkim moduł laminowania wraz z naciąganiem taśmy laminującej (rys. 3.2.2).

Ustawienie wszystkich podzespołów i osiągnięcie właściwych parametrów we wszystkich wskazanych modułach jest sygnałem gotowości stanowiska i jednocześnie sygnałem zezwalającym na rozpoczęcie procesu automatycznej personalizacji dokumentów.

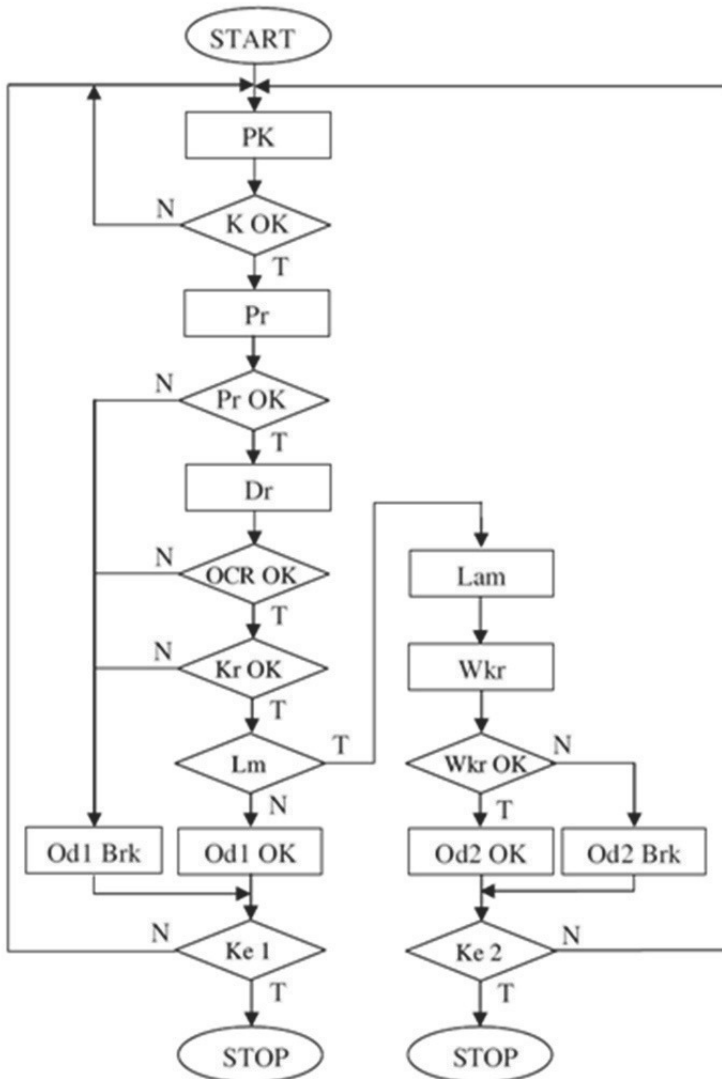


Rys. 3.2.2. Widok modułu laminującego stanowiska; 1 – laminarka, 2 – taśma laminująca, 3 – karta laminowana

Na rys. 3.2.3 przedstawiono algorytm działania systemu sterowania stanowiskiem personalizacji kart. Pierwszym krokiem działania systemu sterowania jest podanie kolejnej karty (PK) i rozpoczęcie programowania modułu RFID (Pr) poprzez pobranie odpowiednich danych z lokalnej bazy i wprowadzenie ich drogą radiową do pamięci karty. Zrealizowanie tego zadania jest następnie weryfikowane (Pr OK), a jej wynik jest podstawą dalszego działania. Kolejnym etapem personalizacji prawidłowo zaprogramowanych kart jest nadruk właściwych informacji tekstowych i graficznych (Dr) pozwalających na optyczną identyfikację danego dokumentu i jednocześnie drukowany jest odpowiedni kod kreskowy. Moduł ten wyposażony jest w układ czteroosiowego manipulatora składającego się z trzech osi liniowych (x , y , z) i jednej osi obrotowej (ϕz). Manipulator ten umożliwia przemieszczanie elementu drukującego w trzech kierunkach ruchu liniowego i jednym kierunku ruchu obrotowego. Co pozwala na wygenerowanie druku w pełnym obszarze dokumentu. Po zadrukowaniu karta przemieszczana jest do modułu wizyjnego, w którym następuje sprawdzenie poprawności nadruku obrazów i tekstu przez układ wizyjny (OCR OK).

Ze względu na uzyskanie optymalnych parametrów odczytu tekstu i identyfikacji grafiki zastosowano specjalizowany układ wizyjny (kamera, oświetlacz kamery i dedykowane oprogramowanie). Kamera układu wizyjnego wraz z oświetlaczem umieszczona jest na dwuosiowym (x , y) układzie manipulatora, który pozwala na bardzo szybką weryfikację wizyjną wybranych sektorów karty pokrytych tekstem i grafiką. Podczas weryfikacji wizyjnej tekstu,

uzyskany obraz jest poddawany procesowi OCR (Optical Character Recognition), a następnie porównywany jest z danymi zawartymi w bazie danych. Prawidłowo rozpoznane dane wydruku są podstawą do przemieszczenia karty do kolejnego gniazda procesowego stanowiska, w którym jest realizowane sprawdzenie poprawności odczytu kodu kreskowego (Kr OK) przez przemysłowy skaner kodu.



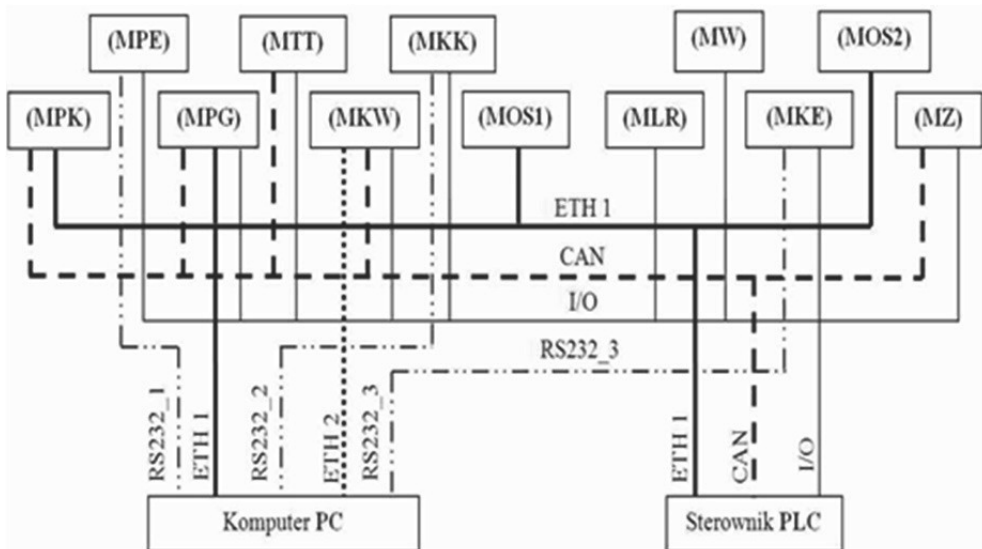
Rys. 3.2.3. Algorytm funkcjonowania stanowiska

W kolejnym kroku, jeśli w cyklu pracy stanowiska technologicznego nie zostanie wybrane opcjonalne zabezpieczenie mechaniczne dokumentu w formie laminowania (Lm). Wówczas dla tych kart następuje ich przemieszczenie do modułu MOS1, który stanowić może zakończenie personalizacji dokumentów. W module tym następuje segregacja kart (Od1 OK) na podstawie danych zawartych w roboczej bazie aplikacji sterującej pracą linii. Jeśli na wcześniejszym etapie personalizacji wybranej karty nastąpiły nieprawidłowości (Od1 Brk), to karta ulega skasowaniu poprzez jej zniszczenie, polegające na wycięciu w niej otworu technologicznego. Otwór ten jest wycinany w miejscu zapewniającym zniszczenie modułu RFID umieszczonego w karcie. Wykonanie operacji segregacji przez moduł MOS1 dla danej karty jest jednocześnie zakończeniem udziału dokumentu w procesie personalizacji (Ke1). Tak uzyskany produkt nie posiada dodatkowego zabezpieczenia mechanicznego w postaci laminowania.

Jeśli w cyklu pracy stanowiska technologicznego zostanie wybrana opcja dodatkowego zabezpieczenia mechanicznego dokumentu w formie laminowania (Lm). Wówczas spersonalizowane wcześniej karty, omijają moduł odbierający MOS1 i uruchomienie drugiego etapu pracy stanowiska technologicznego. Spersonalizowane karty trafiają w dalszej części procesu do modułu laminującego MLR, gdzie zależnie od wymagań finalnego produktu aktywowana jest operacja jednostronnego lub dwustronnego laminowania dokumentu (Lam). W tym trybie pracy spersonalizowane karty zostają wsunięte do urządzenia laminującego, w którym taśmy laminujące stanowią jednocześnie środek ich dalszego przemieszczania. Taśma laminująca z zalaminowanymi w niej kartami trafia do modułu wykrawającego (Wkr), gdzie następuje wycięcie zalaminowanej karty. Wycięte karty są odbierane dedykowanym modułem odbierającym bezpośrednio z wykrojnika. Na drodze przenoszenia karty przez przenośnik, umieszczony jest dodatkowy moduł kontroli elektronicznej pozwalający na sprawdzenie poprawności działania modułu RFID (Wkr OK), a szczególnie sprawdzenia, czy proces wykrawania zalaminowanego dokumentu nie spowodował uszkodzenia w nim układu mikroprocesora RFID, anteny lub ich połączenia elektrycznego. Na podstawie otrzymanej informacji elektronicznej z modułu MKE, w czasie procesu przenoszenia karty następuje segregacja gotowego wyrobu (Od2 OK) i braków (Brk2) oraz niszczenie braków. Kolejnym krokiem systemu sterowania jest sprawdzenie, czy wszystkie zaplanowane karty zostały już spersonalizowane. Jeśli wynik jest pozytywny, wówczas proces personalizacji partii produktów zostaje zakończony (Ke2) i następuje przejście systemu do zatrzymania pracy stanowiska, a jeśli wynik sprawdzenia jest negatywny to praca linii jest kontynuowana. W ten sposób praca etapu pierwszego i drugiego stanowiska do personalizacji dokumentów jest zakończona, a wynikiem finalnym obu etapów pracy linii jest dokument spersonalizowany elektronicznie i graficznie, zabezpieczony mechanicznie, zweryfikowany i wycięty według zadanej formatki.

3.2.4. REALIZACJA SYSTEMU STEROWANIA

W systemie sterowania stanowiskiem można wyróżnić dwa ośrodki zarządzające pracą stanowiska. Pierwszym z nich jest główny sterownik PLC pracujący w trybie „Master” odpowiedzialny za pracę podstawowych elementów automatyki i innych sterowników PLC pracujących w trybie „Slave”. Główny sterownik PLC w strukturze zarządzania stanowiskiem technologicznym posiada niższy priorytet zarządzania, natomiast nadrzędnym systemem zarządzania jest komputer PC wyposażony w monitor do wizualizacji procesu technologicznego. Dodatkowo komputer PC zawiera dedykowane aplikacje do obsługi wybranych podzespołów stanowiska oraz posiada specjalnie do tego celu stworzone oprogramowanie zarządzające personalizacją dokumentów. Wybrane moduły stanowiska wyposażone są we własne sterowniki zarządzające ich pracą. Zastosowanie sterowania rozproszonego [4] pozwala na zwiększenie mocy obliczeniowej i przyspieszenie pracy modułów, zwiększenie ich niezawodności i rekonfigurowalności, usprawnienie ich komunikacji z jednostką nadrzędną, minimalizację połączeń pomiędzy poszczególnymi podzespołami i modułami stanowiska, które połączone są ze sobą z wykorzystaniem lokalnych sieci przemysłowych, tak jak to przedstawiono schematycznie na rys. 3.2.4.



Rys. 3.2.4. Schemat przyłączy sieci komunikacyjnych stanowiska

W systemie sterowania podstawowe zadania realizowane są z wykorzystaniem sieci Ethernet pracującej z różnymi protokołami, pozwalającej nie tylko na komunikację pomiędzy wybranymi modułami stanowiska, ale przede wszystkim

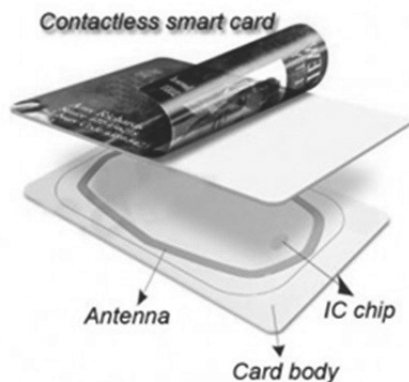
kim łączącej oba zasadnicze centra sterowania, jakimi są główny sterownik PLC i komputer PC.

W systemie sterowania jest również druga sieć Ethernet (ETH2) przeznaczona do bezpośredniego sterowania systemem wizyjnym, który służy do kontroli personalizacji graficznej. Sterowanie zespołami napędowymi stanowiska zrealizowano w oparciu o wykorzystanie lokalnej sieci CANopen. Natomiast wybrane moduły stanowiska sterowane są z wykorzystaniem lokalnych połączeń komunikacji szeregowej RS232. Dodatkowo wybrane moduły połączone są z głównym sterownikiem PLC za pomocą cyfrowych sygnałów wejściowych i wyjściowych. Sygnały te wykorzystywane są też w obwodach zabezpieczeń, pozwalając na bezpieczne zatrzymanie pracy w przypadku wystąpienia awarii lub zerwania komunikacji w lokalnych sieci komunikacyjnych.

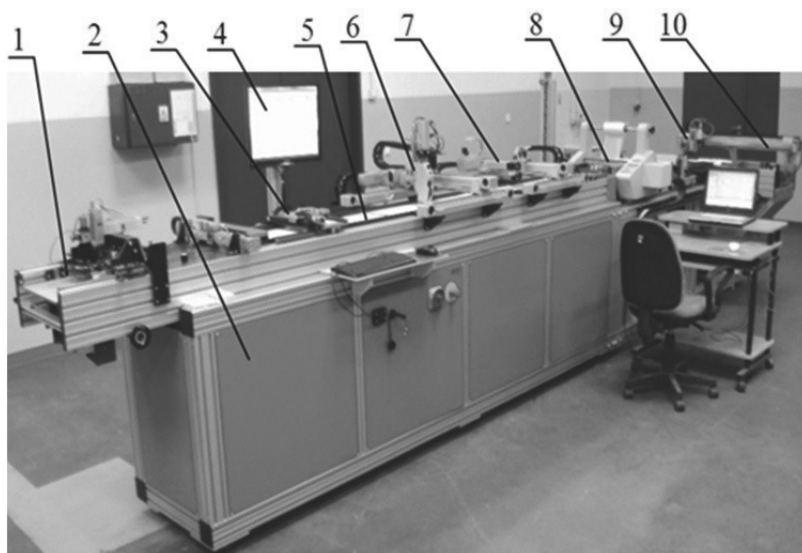
3.2.5. PERSONALIZACJA GRAFICZNA I ELEKTRONICZNA

Personalizacja graficzna i elektroniczna jest realizowana w modułach personalizacji. Moduł personalizacji elektronicznej wyposażony jest w układ do elektronicznego zapisu danych wykorzystując technologię RFID. Bezprzewodowa wymiana danych z wykorzystaniem technologii RFID odbywa się na częstotliwości 13.56 MHz i jest realizowana pomiędzy urządzeniem odczytującym w technologii RFID, a wybraną warstwą dokumentu, wyposażoną w układ mikroprocesora RFID i jego anteny (rys. 3.2.5), który kodowany jest w standardzie MIFARE [5]. Zapisywane dane elektroniczne w układzie mikroprocesora RFID są usystematyzowane hierarchicznie, z przypisaniem poziomu dostępu do danej informacji i określeniem kluczy dostępu do danych objętych klauzulą bezpieczeństwa.

Opracowane stanowisko (rys. 3.2.6) umożliwia implementację danych graficznych na powierzchni dokumentu oraz zapis i kodowanie danych elektronicznych wewnątrz dokumentu. Proces personalizacji dokumentu rozpoczyna się od identyfikacji elektronicznej półfabrykatu-dokumentu i jego wstępnej weryfikacji elektronicznej, następnie w karcie zapisywane są elektroniczne dane personalizacji pobierane z bazy danych. W dalszej kolejności następuje weryfikacja poprawności odczytu zapisanych danych elektronicznych w dokumencie. Po zakończeniu procesu zapisu danych elektronicznych, półfabrykat-karta przemieszczana jest do modułu personalizacji graficznej, gdzie zidentyfikowana elektronicznie karta poddawana jest nadrukowi. Zależnie od zapisanych w bazie danych informacji graficznych dla danego dokumentu, na danej karcie zadrukowywana jest odpowiednio: grafika, tekst, kod kreskowy lub inny obraz. Po zakończeniu procesu personalizacji graficznej, dokument poddawany jest weryfikacji druku w kolejnych modułach. Moduł kontroli wizyjnej weryfikuje kompleksowo całą personalizację graficzną umieszczoną na dokumencie, a moduł kontroli kodów kreskowych potwierdza czytelność kodu kreskowego.



Rys. 3.2.5. Widok przykładowego wyrobu z zabezpieczeniem RFID [6]



Rys. 3.2.6. Widok stanowiska; 1 – moduł podajnika kart, 2 – szafa sterownicza, 3 – moduł personalizacji elektronicznej, 4 – monitor komputera PC, 5 – taśma modułu transportera technologicznego, 6 – moduł personalizacji graficznej, 7 – moduł kontroli wizyjnej, 8 – moduł laminowania, 9 – moduł wykrawający, 10 – moduł odbierający i segregujący 2

W kolejnych etapach procesu wytwarzania realizowana jest jeszcze jedna kontrola personalizacji elektronicznej, której zadaniem jest ostateczna weryfikacja poprawności odczytu gotowego wyrobu-dokumentu. Przykładem danych

personalizacji elektronicznej i graficznej, które mogą być zapisywane w dokumencie są elektroniczne i graficzne dane użytkownika karty.

3.2.6. PODSUMOWANIE

Zaprezentowany system sterowania stanowiska umożliwia realizację operacji personalizacji elektronicznej i graficznej dokumentów, ich automatyczną weryfikację oraz daje możliwość implementacji dodatkowego zabezpieczenia mechanicznego do finalnego produktu-dokumentu.

Nowością proponowanego rozwiązania jest modułowa budowa stanowiska oraz zastosowanie rozproszonego systemu sterowania wykorzystującego lokalne sieci przemysłowe. Pozwala to, na łatwą, wygodną i szybką rekonfigurację stanowiska, umożliwiającą wytworzenie nowych, innowacyjnych produktów, w których stosuje się bezprzewodowe technologie elektronicznego zabezpieczenia, takie jak: RFID, Bluetooth, BLE (Bluetooth Low Energy) [7], czy NFC (Near Field Communication) [8].

Proponowane rozwiązanie może mieć zastosowanie w projektowaniu i testowaniu zaawansowanych technicznie dokumentów lub ich poszczególnych elementów, takich jak układy komunikacji bezprzewodowej, tekst i grafika, materiały warstw wewnętrznych i zewnętrznych dokumentu oraz typy laminałów zewnętrznych pokryć, podnoszących odporność mechaniczną dokumentu.

LITERATURA

- [1] Strony internetowe Centrum Personalizacji Dokumentów Ministerstwa Spraw Wewnętrznych i Administracji.
- [2] Szczuka M.: Technologia RFID — technologia obsługująca świat. *Gospodarka Materiałowa i Logistyka*, 11/2014, s. 141—144.
- [3] PN-ISO/IEC 10373, Karty identyfikacyjne – Metody badań.
- [4] Trybus L.: Rozproszone systemy sterowania DCS. *Pomiary Automatyka Kontrola*, r. 52, nr 1; 2006; s. 26–29.
- [5] Strony internetowe firmy NXP Semiconductors.
- [6] Strony internetowe firmy RFIDCARDCHINA Intelligent Technology Co.,Ltd.
- [7] Gomez C., Oller J., Paradells J.: Overview and evaluation of bluetooth low energy: an emerging low-power wireless technology. *SENSORS*, 12/2012, pp.11734-11753; ISSN 1424-8220.
- [8] Rahul A., Krishnan G. G., Krishnan U. H., Rao S.: Near field communication (NFC) technology: a survey. *International Journal on Cybernetics & Informatics (IJCI)*, vol. 4, no. 2, 2015.

3.3. PRZEPIĘCIA ZIEMNOZWARCIOWE W KOMPENSOWANYCH SIECIACH ŚREDNICH NAPIĘĆ – TEORIA I BADANIA SYMULACYJNE*

3.3.1. WSTĘP

Zwarcia doziemne w kompensowanych sieciach średnich napięć (SN) mają często charakter zwarć łukowych niestacjonarnych, podczas których łuk zapala się i gaśnie w nieregularnych odstępach czasowych. W skutek stosowania mało dokładnej zaczepowej regulacji urządzeń gaszących prądy resztkowe osiągną wartości od kilkunastu do kilkudziesięciu procent pojemnościowych prądów sieci, co ogranicza samoistną likwidację zwarć doziemnych. Powstają tzw. zwarcia łukowe uporczywe, którym towarzyszą znaczne, wielokrotnie powtarzające się przepięcia, odpowiadające kolejnym zapłonom łuku. Ich utrzymywanie się prowadzi z reguły do zwarć wielokrotnych, szczególnie groźnych w sieciach kablowych. Według różnych źródeł około 25–65% zwarć doziemnych rozwija się w zwarcia podwójne lub wielokrotne, zanim zostaną zlokalizowane. Zwarcia łukowe mogą także inicjować drgania ferorezonansowe.

Przepięcia wywoływane zwarciami doziemnymi łukowymi w kompensowanych sieciach SN są złożonym zjawiskiem elektromagnetycznym [1–3], niepoddającym się dokładnej ocenie analitycznej. Charakteryzują się dużą zmiennością i zależnością od wielu czynników: rodzaju sieci, stopnia rozstrojenia kompensacji, długości linii, obciążenia, miejsca zwarcia, wielkości rezystancji przejścia, parametrów łuku zwarciovego, warunków atmosferycznych, itp.

Badanie przepięć jest niezbędne do prawidłowego doboru aparatury rozdzielczej, zabezpieczeniowej i ochronnej (odgromników, ograniczników przepięć, iskierników) [6].

Do oceny przepięć stosowane są metody analityczne [1–3], eksperymentalne [4, 5] oraz symulacyjne [6–8]. Najbardziej wiarygodnym źródłem informacji na temat przepięć były kosztowne i destrukcyjne badania w sieci rzeczywistej [4, 5]. Jednak w warunkach energetyki rynkowej możliwość prowadzenia takich badań jest bardzo ograniczona.

Do analitycznej oceny przepięć wykorzystuje się klasyczne teorie Petersena, Petersa i Slepiana oraz Bielakowa [1, 3] oparte na bardzo uproszczonych modelach matematycznych sieci. Próby uszczegółowienia teorii przepięć, na przykład w [4], nie przyniosły pozytywnych rezultatów. Za najbardziej dokładną uważa się teorię przepięć Bielakowa, najpełniej opisaną w [3].

W pracy przedstawiono ocenę przepięć ziemnozwarciowych w kompensowanych sieciach SN otrzymanych z zależności analitycznej wynikającej

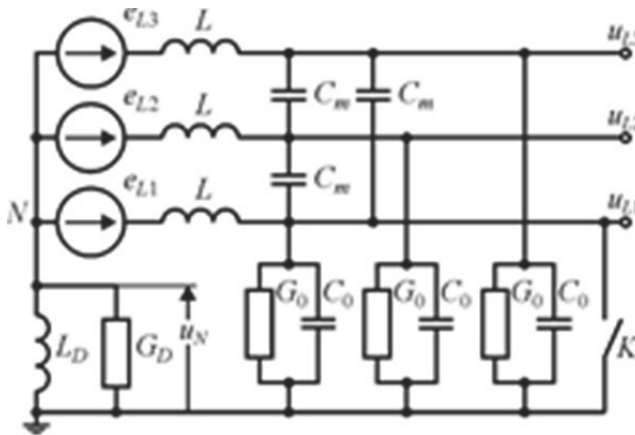
* **Autor:** dr hab. inż. Lubomir MARCINIAK, Politechnika Częstochowska, Instytut Elektroenergetyki, Al. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa, e-mail: lubmar@el.pcz.czyst.pl

z teorii Bielakowa [3] oraz z badań symulacyjnych uzyskanych za pomocą programu PSCAD [9].

3.3.2. PRZEPIĘCIA W UJĘCIU ANALITYCZNYM

Podstawą analitycznej oceny przebiegu jest uproszczony schemat zastępczy sieci o parametrach skupionych, przedstawiony na rys. 1.3.1. Uwzględnia on indukcyjność L_D i konduktancję G_D dławika kompensacyjnego, napięcia źródła zasilania e_{L1} , e_{L2} , e_{L3} , indukcyjności L źródła, pojemności międzyfazowe C_m oraz pojemności C_0 i konduktancje G_0 dla składowej zerowej linii. Przyjmuje się następujące założenia upraszczające:

- źródło zasilania i sieć są symetryczne;
- pomija się parametry podłużne linii (rezystancję i indukcyjność linii uwzględnia się jedynie na etapie palenia się łuku);
- łuk przedstawia się w postaci idealnego klucza K o zerowej rezystancji w stanie przewodzenia i nieskończonej rezystancji w stanie otwartym.



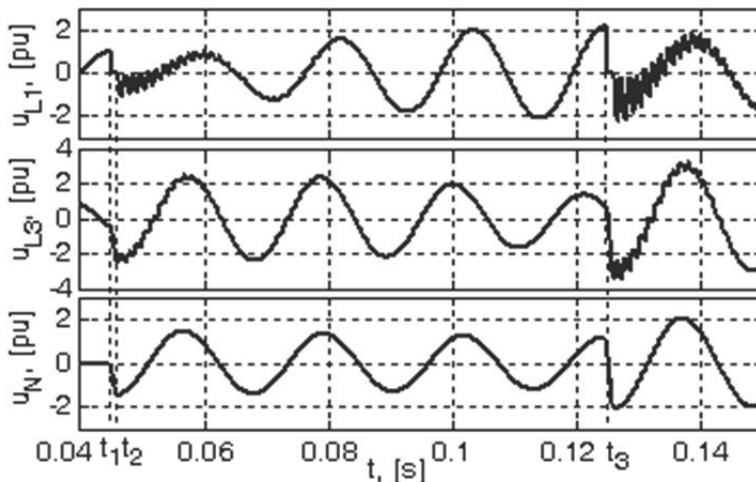
Rys. 3.3.1. Schemat zastępczy sieci do analitycznej oceny przebiegu

Zakłada się, że w fazie L_1 dochodzi do zwarć łukowych przerywanych. Zgodnie z teorią Bielakowa największe napięcia powstają w fazie wyprzedzającej L_3 po kolejnym zapłonie łuku następującym w chwili t_3 (rys. 3.3.2), gdy zdudnione napięcie powrotne fazy L_1 osiąga maksymalną wartość pokrywającą się ze szczytem obwiedni dudnień. Przy czym maksymalne z możliwych napięcie obwiedni wystąpi, gdy pierwszy, poprzedzający, zapłon łuku zacznie się w chwili t_1 odpowiadającej wartości amplitudowej napięcia źródłowego tej fazy. Przy przyjętych założeniach, prąd zwarciový po pierwszym zapłonie zawiera wyłącznie składową przejściową o częstotliwości rzędu $f_l = 500 \div 3000$ Hz. Łuk gaśnie w chwili t_2 odpowiadającej pierwszemu lub kolejnym przejściom prądu

przez zero, po czym następuje proces odbudowy napięcia w fazie L_1 , Napięcie u_{L1} , z pominięciem szybko zanikającej składowej przejściowej doładowania faz, jest sumą napięcia źródła $eLI(t)$ oraz zanikającego napięcia w punkcie neutralnym $uN(t)$ i zmienia się zgodnie z przybliżoną zależnością:

$$u_{L1}(t) \cong E_{fmax} \sin(\omega t + \pi/2) - U_{Nmax} e^{-d\omega t/2} \cos(\omega_2 t) \quad (3.3.1)$$

w której: E_{fmax} – amplituda napięcia fazowego, U_{Nmax} – maksymalna wartość amplitudy napięcia w punkcie neutralnym w chwili t_2 , $d = (G_0 + G_D/3)/\omega C_0$ – współczynnik tłumienia sieci, $\omega_2 = \omega \sqrt{1-s}$ – pulsacja drgań własnych składowej przejściowej zerowej napięcia, ω – pulsacja sieci, s – współczynnik rozstrojenia kompensacji.



Rys. 3.3.2. Proces formowania się maksymalnego przepięcia

Maksymalne przepięcie występuje po ponownym zapłonie w chwili t_3 , po czasie $\Delta t = t_3 - t_2 = \pm \pi/(\omega - \omega_2)$ od pierwszego zapłonu, i może być określone z zależności [3]:

$$U_{L3M} = e_{L13}(t_1) + u_{L1max}(t_3)(1 - k_d)(1 - k_C) \quad (3.3.2)$$

w której: $e_{L13}(t_1) = 1,5E_{fmax}$ – różnica napięć źródłowych faz L_1 i L_3 w chwili t_1 , $u_{L1max}(t_3)$ – maksymalne z możliwych napięcie fazy L_1 w chwili t_3 , $k_d \cong 0,1$ – współczynnik zmniejszenia amplitudy składowych przejściowych napięć na etapie zwarcia w skutek tłumienia, k_C – współczynnik oddziaływania pojemności międzyfazowej C_m na napięcia wyznaczany z wyrażenia:

$$k_C = C_m / (C_0 + C_m) \quad (3.3.3)$$

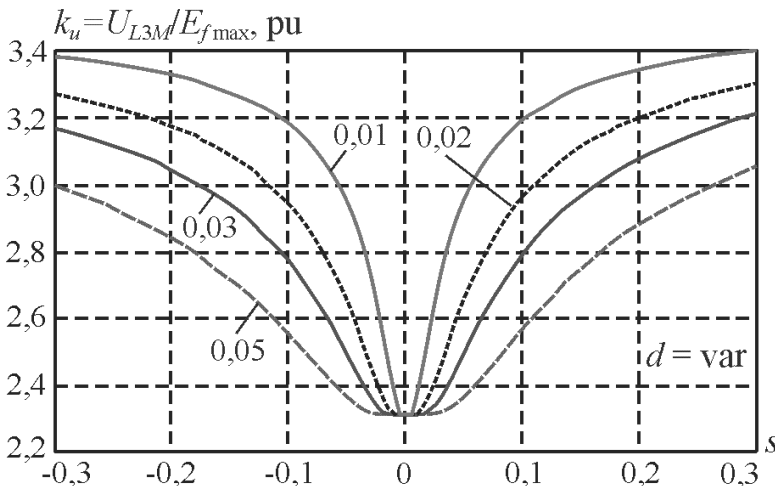
Ostateczny wzór do określania przebiegów przyjmuje formę:

$$U_{L3M} = 1,5E_{fmax} + \left(E_{fmax} + U_{Nmax} e^{\frac{-d\pi}{2(1-\sqrt{1-s})}} \right) (1-k_d)(1-k_C) \quad (3.3.4)$$

przy czym maksymalne napięcie w punkcie neutralnym w chwili t_2 jest w przybliżeniu równe $U_{Nmax} = 1,48E_{fmax}$.

Wzór (1.3.4) pozwala oszacować maksymalne napięcia w funkcji istotnych parametrów sieci kompensowanej: współczynnika rozstrojenia kompensacji s , tłumienia d a także współczynników k_d i k_C . Współczynnik k_d przyjmuje wartości z zakresu 0,1–0,3, zależne od rezystancji obwodu zwarciovego i czasu trwania zwarcia. W przypadku zwarć w pobliżu rozdzielni z łukiem gasnącym po pierwszym przejściu prądu przez zero można przyjąć $k_d = 0,1$. Współczynnik k_C zależy od rodzaju linii tworzących sieć – w sieci napowietrznej $k_C = 0,3$, a w sieci kablowej z zastosowaniem kabli o izolacji promieniowej $k_C = 0$.

Na rys. 1.3.3 przedstawiono rodzinę charakterystyk maksymalnych napięć w jednostkach względnych ($k_u = U_{L3M}/E_{fmax}$), obliczonych z zależności (3.3.4) w funkcji współczynnika rozstrojenia kompensacji s dla kilku wartości współczynnika tłumienia d .

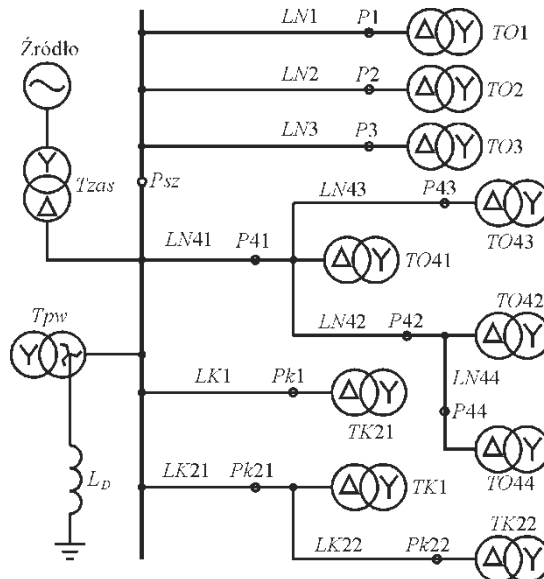


Rys. 3.3.3. Charakterystyki napięć w jednostkach względnych w funkcji współczynnika rozstrojenia kompensacji s : $k_d = 0,1$, $k_C = 0,1$

3.3.3. MODEL SYMULACYJNY SIECI I ZWARCIA ŁUKOWEGO

Przydatność analitycznego wzoru do szacowania przepięć sprawdzono symulacyjnie z użyciem profesjonalnego programu PSCAD do analizy systemów elektroenergetycznych w stanach przejściowych [9].

Badania prowadzono w przeciętnej sieci mieszanej 15 kV, której schemat ogólny przedstawiono na rys. 3.3.4. Składa się ona z czterech linii napowietrznych $L_{N1}-L_{N4}$ i dwóch linii kablowych $L_{K1}-L_{K2}$. Łączna długość linii napowietrznych wynosi 200 km, a linii kablowych 32 km.



Rys. 3.3.4. Schemat modelowanej sieci

Linie odwzorowano za pomocą modeli dla składowych fazowych o parametrach rozłożonych, zależnych od częstotliwości. Założono, że linie napowietrzne są zbudowane z zastosowaniem przewodów typu AFL6/70 w układzie Δ na słupach SP 12, a linie kablowe składają się z trzech kabli jednożyłowych typu YHAKXs z żyłami roboczymi o przekroju 120 mm^2 . W liniach napowietrznych uwzględniono konduktancję poprzeczną o wartości jednostkowej $G'0=1,38 \cdot 10^{-7} \text{ S/km}$. Prąd doziemny pojemnościowy tej sieci wynosi 46,79 A. Sieć zasilana jest ze źródła 110 kV za pośrednictwem transformatora 110/15 kV o mocy 16 MVA. W modelu sieci uwzględniono obciążenie linii w postaci impedancji stałych zasilanych z transformatorów odbiorczych. Łączne obciążenie sieci wynosi $S_{obc} = (5,78+0,63j) \text{ MVA}$. Uziemienie przez dławik kompensacyjny L_D jest realizowane za pośrednictwem transformatora uziemiającego T_{pw} (15/0,4 kV, 480 kVA).

Do symulacji zwarć doziemnych łukowych zastosowano model łuku dynamicznego z charakterystyką wykładniczą [10]. Badania przebiegów przeprowadzono przy założeniu zmienności głównie napięcia zapłonu łuku U_z . Dla pozostałych parametrów zadano wartości przeciętne: prąd zapłonu $I_z = 0,1$ A, napięcie progu $U_0 = 500$ V, rezystancja $R_l = 0,1$ Ω , stała czasowa $\tau = 0,1$ ms. Łuk inicjowano przy napięciu zapłonu zbliżonym do amplitudy napięcia fazowego $U_{z1} \approx U_{fmax}$, natomiast napięcie kolejnych zapłonów U_{z2} zwiększano do maksymalnej wartości, przy której możliwe było podtrzymanie łuku ($U_{z2} > U_{fmax}$). Badano maksymalne przebiegi występujące w kilkunastu różnych punktach sieci (punkty $P1$ – $P44$, $Pk1$ – $Pk22$ i Psz na rys. 3.3.4) przy różnym położeniu zwarcia względem punktów pomiarowych. Współczynnik maksymalnych przebiegów określano z zależności:

$$k_u = U_{max} / U_{fmax} \quad (3.3.5)$$

w której: U_{max} – napięcie maksymalne, $U_{fmax} = 12,25$ kV – amplituda napięcia fazowego.

3.3.4. WYNIKI BADAŃ SYMULACYJNYCH PRZEBIEGÓW

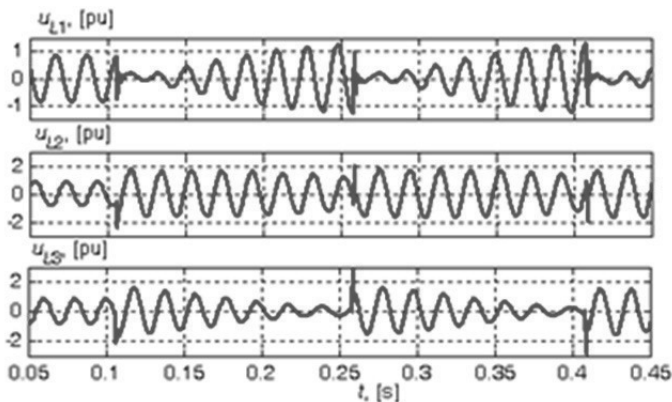
Badania symulacyjne przebiegów ziemnozwarciowych w różnych punktach sieci przy różnym położeniu miejsca zwarcia wskazują na silną zależność w tym zakresie. Potwierdzają to wyniki badań maksymalnych przebiegów, zamieszczone w tabeli 1.3.1, uzyskane w sieci z rozstrojeniem kompensacji $s = 0,1$. Jak wynika z tabeli 1.3.1, występuje duża rozpiętość współczynnika $k_u = 1,83 \div 3,0$. Największe wartości k_u występują w punkcie $P3$ na końcu najdłuższej linii napowietrznej podczas zwarcia na szynach stacji (punkt Psz).

Tab. 3.3.1. Współczynniki maksymalnych przebiegów sieci kompensowanej w zależności od położenia miejsca zwarcia ($s = 0,1$)

Punkt zwarcia			Napięcia zapłonu U_z , [kV]	Współczynniki maksymalnych przebiegów w punktach sieci k_u , [pu]										
Ozn.	Odl., [km]	Rodz. zw.		Psz	$P1$	$P2$	$P3$	$P41$	$P42$	$P43$	$P44$	$Pk1$	$Pk21$	$Pk22$
Psz	0	p/k	9,8/16,1	2,46	2,59	2,57	3,00	2,69	2,80	2,76	2,83	2,49	2,46	2,45
$P1$	30	p/k	9,4/15,4	2,18	1,93	2,16	2,13	2,16	2,16	2,16	2,16	2,17	2,16	2,16
$P2$	50	p/l	8,7/15,2	2,08	2,02	1,83	2,01	2,06	2,05	2,05	2,05	2,06	2,06	2,05
$P3$	70	p/k	10,3/15,1	2,06	2,00	2,01	1,83	2,04	2,03	2,03	2,03	2,05	2,04	2,04
$P41$	10	p/k	10,8/15,9	2,43	2,38	2,44	2,40	2,11	2,14	2,12	2,15	2,43	2,42	2,42
$P42$	25	p/k/L2	9,9/15,3	2,27	2,25	2,23	2,24	2,17	2,07	2,17	2,07	2,264	2,26	2,26
$P43$	30	p/k/L2	9,5/15,7	2,25	2,22	2,24	2,21	2,15	2,15	1,99	2,15	2,24	2,24	2,23
$P44$	33	p/k/L2	9,5/15,8	2,22	2,22	2,24	2,20	2,15	2,04	2,14	2,03	2,24	2,23	2,23
$Pk1$	15	p/k	11,4/15,1	2,28	2,31	2,517	2,50	2,45	2,56	2,55	2,59	2,30	2,27	2,27
$Pk21$	10	p/k	11,4/15,3	2,32	2,50	2,510	2,66	2,57	2,71	2,68	2,74	2,31	2,31	2,31
$Pk22$	17	p/k	11,2/15,3	2,24	2,29	2,483	2,46	2,43	2,54	2,53	2,58	2,24	2,24	2,24

Fazą najbardziej zagrożoną jest najczęściej faza wyprzedzająca $L3$. Największe przepięcia występują na ogół po kolejnym zapłonie łuku, lecz zdarzają się także po pierwszym zapłonie. Zwarcia łukowe mogą być podtrzymywane przy napięciach zapłonu dochodzących do $1,3U_{fmax}$, jednak nie prowadzi to do istotnego wzrostu przepięć w stosunku do tych, które powstają przy $U_{z1} \approx U_{fmax}$.

Procesy przejściowe napięć przebiegają oscylacyjnie zarówno w miejscu zwarcia jak i w punktach odległych od miejsca zwarcia (rys. 3.3.5). Przebiegi napięć w punkcie zwarcia są zbliżone jakościowo do teoretycznych przedstawionych na rys. 3.3.2, ale w punktach odległych od miejsca zwarcia występują znaczne różnice wynikające z oddziaływania parametrów podłużnych, obciążenia linii a także zjawisk falowych.

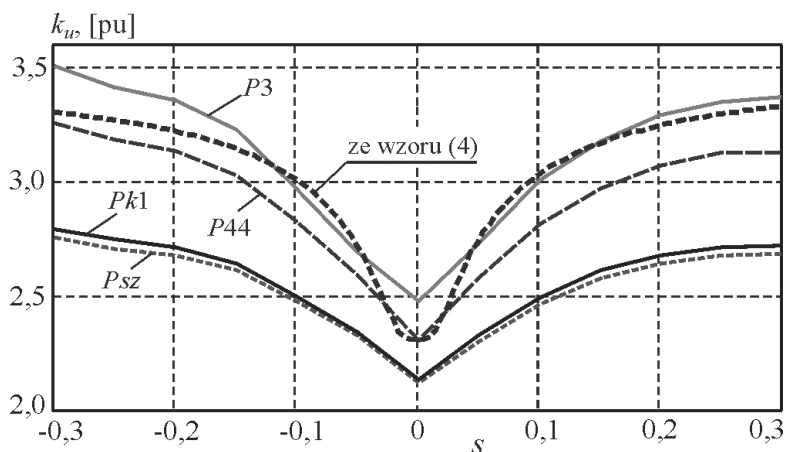


Rys. 3.3.5. Przebiegi napięć fazowych w punkcie P_3 sieci podczas zwarcia $L1-E$ w punkcie P_{sz} w przypadku $U_{Z1} = 9,9 \text{ kV}$, $U_{Z2} = 16,1 \text{ kV}$, $s = 0,1$

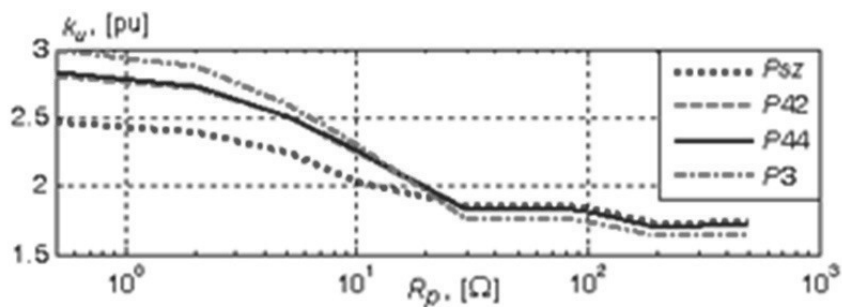
Na wartość ku istotnie wpływa stopień kompensacji sieci s (rys. 3.3.6). Najmniejsze przepięcia występują w przypadku dokładnej kompensacji ($s = 0$). Nawet w najodleglejszym punkcie $P3$ nie przekraczają one wartości 2,5. Ze wzrostem niedokompensowania ($s < 0$) lub przekompensowania ($s > 0$) przepięcia rosną nieliniowo osiągając przy $s = -0,3$ wartość 3,5.

Na rys. 3.3.6 zamieszczono również charakterystykę teoretyczną obliczoną ze wzoru (3.3.4) dla rozpatrywanej sieci z uwzględnieniem następujących parametrów: $d = 0,0166$, $k_C = 0,06$, $k_d = 0,1$. Charakterystyka ta daje wartości uśrednione dla całej sieci, gdyż nie uwzględnia ona wzajemnego położenia punktu zwarciovego i punktów pomiarowych.

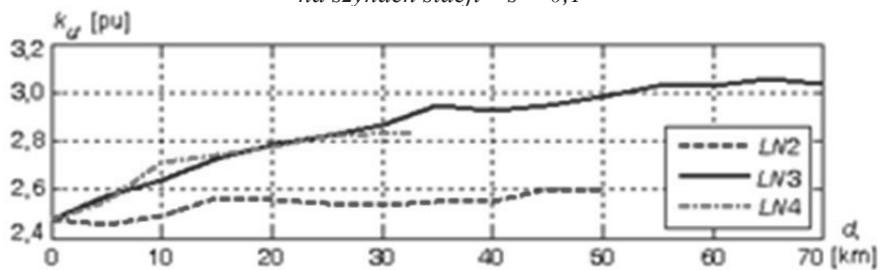
Maksymalne przepięcia występują podczas zwarć doziemnych z udziałem niewielkiej rezystancji przejścia R_p nie większej niż $5 \div 10 \Omega$ (rys. 3.3.7). Rosną one w miarę oddalania się od stacji, w której nastąpiło zwarcie (rys. 3.3.8). Zależą one także od parametrów łuku, głównie od napięcia w kolumnie łukowej U_0 (rys. 3.3.9), proporcjonalnego do długości kolumny łukowej. Największe wartości ku występują w przypadku łuku krótkiego.



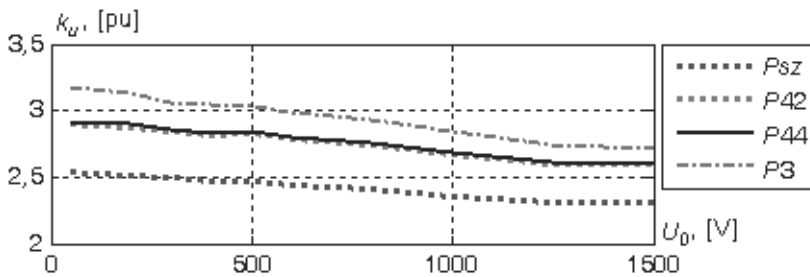
Rys. 3.3.6. Zależność maksymalnych napięć w kilku punktach sieci od współczynnika rozstrojenia kompensacji s w przypadku zwarcia L1-E w punkcie P_{sz}



Rys. 3.3.7. Zależność k_u w kilku punktach sieci od rezystancji R_p w przypadku zwarcia na szynach stacji – $s = 0,1$



Rys. 3.3.8. Zależność k_u w funkcji odległości punktu pomiarowego d na wybranych liniach od zwarcia na szynach stacji – $s = 0,1$



Rys. 3.3.9. Zależność k_u w kilku punktach sieci od napięcia progowego łuku U_0 w przypadku zwarcia na szynach stacji – $s = 0,1$

3.3.5. PODSUMOWANIE

Podczas zwarć doziemnych łukowych w kompensowanych sieciach SN zachodzą złożone elektromagnetyczne procesy przejściowe formowania się przepięć. Maksymalne przepięcia występują w trakcie zwarć łukowych przerywanych zapalających się sporadycznie, o niewielkiej wartości rezystancji przejścia do ziemi podczas zwarcia, nieprzekraczającej kilku omów. Są one inicjowane przy napięciu zapłonu łuku $U_{z1} \approx U_{fmax}$ i mogą być podtrzymywane przy wyższym napięciu kolejnych zapłonów, dochodzącym do wartości $U_{z2} = 1,3U_{fmax}$, dzięki efektowi kumulacji ładunku w pojemnościach faz. O maksymalnej wartości przepięć podczas takich zwarć decydują wzajemne relacje zachodzące między głównymi składowymi w przebiegach napięć fazowych: składowymi wymuszonymi, zanikającymi oscylacyjnie składowymi przejściowymi o częstotliwości rzędu 500÷1500 Hz oraz składowymi o częstotliwości zbliżonej do sieciowej powodującymi zdudnienie amplitudy napięć.

Największe przepięcia powstają na słabo obciążonym końcu najdłuższej linii w przypadku zwarcia na szynach stacji. Ogólnie jednak maksymalne przepięcia w poszczególnych punktach linii zależą od wzajemnego położenia punktu pomiarowego względem punktu zwarciego, rodzaju linii, konfiguracji sieci, wielkości i rodzaju obciążenia.

Przepięcia zależą silnie od stopnia rozstrojenia kompensacji sieci s . Najmniejsze wartości k_u występują w sieci skompensowanej dokładnie ($s = 0$). Wzrost przekompensowania lub niedokompensowania powoduje wzrost przepięć, przy czym większe wartości k_u występują w sieci niedokompensowanej.

Szacowanie przepięć na podstawie wzoru analitycznego daje na ogół wartości zawyżone w stosunku do otrzymanych z symulacji. Wyjątek stanowią przepięcia na końcu bardzo długich linii napowietrznych. Są one nieco większe od otrzymanych z symulacji, zwłaszcza w sieci z dużym rozstrojeniem kompensacji. Szczególnie duże różnice wartości k_u otrzymane z symulacji i ze wzoru, rzędu 20%, występują na liniach kablowych.

Wzór analityczny uzyskano na podstawie bardzo uproszczonego modelu sieci, w którym pominięto parametry podłużne i obciążenie linii. Nie uwzględnia on wzajemnego położenia miejsca zwarcia i punktu pomiarowego sieci. Generalnie jednak wzór analityczny odzwierciedla jakościowo poprawnie zależność ku od rozstrojenia kompensacji s i tłumienia sieci d . Umożliwia on szybkie szacowanie maksymalnych przepięć z dokładnością około 20%, co wydaje się wystarczająco dokładnym przybliżeniem do większości zastosowań inżynierskich.

LITERATURA

- [1] Kinsner K., Przepięcia ziemnozwarciowe w sieciach średnich napięć, PWN, Warszawa 1967.
- [2] Łobos T., Przebiegi przejściowe podczas jednofazowych zwarć doziemnych w sieciach średnich napięć i wykorzystanie ich w automatyce zabezpieczeniowej, Prace Naukowe Instytutu Energoelektryki Politechniki Wrocławskiej, nr 30, Monografie nr 3, 1975.
- [1] Лихачев Ф.А., Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией емкостных токов, Москва, Эхергия, 1971.
- [4] Anderson E., Wpływ sposobu uziemiania punktu zerowego na przepięcia w sieciach średniego napięcia. Prace Instytutu Energetyki, zeszyt nr 16, Warszawa 1986.
- [5] Anderson E., Przepięcia wewnętrzne w sieciach średnich napięć i ich ograniczanie. Seria wydawnicza KE PAN pt. „Postępy techniki wysokich napięć”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1997.
- [6] Michalik M., Pytel J., Ochrona przepięciowa sieci z małymi prądami zwarć z ziemią. Prace Naukowe Instytutu Energoelektryki Politechniki Wrocławskiej, nr 89, Wrocław 1997, 101–113.
- [7] Michalik M., Rebizant W., Optymalizacja sposobu uziemiania sieci SN ze względu na poziom spodziewanych przepięć ziemnozwarciowych. Prace Naukowe Instytutu Energoelektryki Politechniki Wrocławskiej, nr 90, Wrocław 1998, 419–426.
- [8] Marciniak L., Analiza przepięć ziemnozwarciowych w sieciach średnich napięć. Przegląd Elektrotechniczny, nr 8, 2010, 77–81.
- [9] PSCAD. Power system computer aided design. User's guide. Manitoba HVDC Research Centre Inc., 2004.
- [10] Marciniak L., Modelowanie zwarć łukowych w sieciach średniego napięcia, Przegląd Elektrotechniczny, 2009, nr 3, 188–181.
- [8] Marciniak L., Application of signal wavelet decomposition for identification of arc earth fault, Przegląd Elektrotechniczny, 87(2011), nr 2, 101–104.
- [9] Marciniak L., Impulsowoprądowe i falkowe kryteria identyfikacji zwarć doziemnych rezystancyjnych oraz łukowych w sieciach średnich napięć. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Monografie nr 273, 2013.

-
- [10] Marciniak L., Implementacje modeli łuku ziemnozwarciowego w programach PSCAD i Matlab/Simulink. *Przegląd Elektrotechniczny*, 9a (2012), 126–129.
 - [11] Kizilcay M., Pniok T., Digital simulation of fault arc in power system. *ETEP*, 1 (1991), No. 1, 55–60.
 - [12] PSCAD. Power Systems Computer Aided Design. User's Guide, Manitoba HVDC Research Centre Inc., 2004.
 - [13] Misiti M., Misiti Y., Oppenheim G., Poggi J.M., Wavelet Toolbox 4. User's Guide. The MathWorks, Inc, 2010.

3.4. ANALIZA WYMAGAŃ NORMATYWNYCH CERTYFIKACJI MODUŁÓW PV Z KRZEMU KRystalicznego*

3.4.1. WSTĘP

Dynamiczny rozwój krajowego sektora fotowoltaiki, wynika między innymi z wyznaczenia krajowych celów ogólnych w zakresie udziału energii ze źródeł odnawialnych w końcowym zużyciu energii brutto w 2020 roku, na poziomie 15,0% [1].

Wiąże się to, ze zwiększonym wprowadzaniem na rynek nowych lub ulepszonych rozwiązań modułów fotowoltaicznych (PV), w ciągu najbliższych kilku lat. Dopuszczenie do obrotu produktów (modułów fotowoltaicznych) w krajach Unii Europejskiej wymaga ich badania i certyfikacji na zgodność z odpowiednimi dyrektywami i normami. Badania certyfikujące tego typu, są realizowane w akredytowanych jednostkach zagranicznych, gdyż brak jest obecnie takiej jednostki polskiej.

W artykule dokonano analizy głównych wymagań normatywnych, niezbędnych do powołania akredytowanej jednostki badawczej lub certyfikującej moduły PV z krzemu krystalicznego. Jako kryteria przeprowadzonej analizy przyjęto: limit kosztów powołania laboratorium, możliwość rozbudowy istniejącej jednostki akredytowanej jedynie w zakresie dyrektywy EMC i LVD [2, 3] oraz zapotrzebowanie rynkowe na badania modułów PV.

3.4.2. WYMAGANIA OGÓLNE

Certyfikacja modułów fotowoltaicznych z krzemu krystalicznego wymaga od jednostek badawczych (laboratoriów badawczych lub certyfikujących) kompetencji zarówno jakościowych jak i badawczych (rys. 3.4.1). W zakresie kompetencji jakościowych wymagania podają normy: PN-EN ISO/IEC 17025 [4] i PN-EN ISO/IEC 17065 [5]. Zawierają one opisy dotyczące polityki jakości w jednostkach, m. in. w zakresie zarządzania, czy ogólnych wymagań technicznych laboratoriów.

Norma PN-EN ISO/IEC 17025 opisuje ogólne wymagania w zakresie kompetencji do przeprowadzania badań i wzorcowań oraz określa warunki związane z pobieraniem badanej próbki. Przedstawia postępowanie podczas badań i wzorcowań, wykonywanych z wykorzystaniem metod znormalizowanych, metod nieznormalizowanych i własnych metod opracowanych

* *Autorzy: mgr inż. Mirosław NESKA, Instytut Technologii Eksploatacji - Państwowy Instytut Badawczy, ul. K. Pułaskiego 6/10, 26-600 Radom, e-mail: miroslaw.neska@itee.radom.pl;
dr inż. Andrzej MAJCHER, Instytut Technologii Eksploatacji - Państwowy Instytut Badawczy, ul. K. Pułaskiego 6/10, 26-600 Radom, e-mail: andrzej.majcher@itee.radom.pl.*

w poszczególnych laboratoriach. Główne wymagania normy PN-EN ISO/IEC 17025 obejmują dwa działy: wymagania dotyczące zarządzania oraz wymagania techniczne. Wymagania dotyczące zarządzania odnoszą się do szeregu zagadnień, między innymi takich jak: organizacja; system zarządzania; nadzór nad dokumentami; obsługa klienta; działania korygujące; nadzór nad zapisami, czy przeglądy zarządzania.



Rys. 3.4.1. Kompetencje jednostki badawczej moduły PV z krzemu krystalicznego

W zagadnieniu organizacji laboratorium opisane są wymagania dotyczące siedziby oraz niezbędnego personelu kierowniczego i technicznego posiadającego odpowiednie uprawnienia do wdrażania, utrzymywania i doskonalenia systemu zarządzania w laboratorium.

Zagadnienie system zarządzania określa procedury ustanowienia, wdrożenia i utrzymania laboratorium. W ramach systemu zarządzania, laboratorium powinno stworzyć własną dokumentację, opisującą: politykę, systemy, programy, procedury i instrukcje, które zapewnią jakość wyników badań i wzorcowań.

W zagadnieniu nadzoru nad dokumentami określone są wymagania dotyczące ustanowienia i utrzymywania procedur nadzoru nad wszystkimi dokumentami laboratorium, które składają się na system zarządzania.

Zagadnienie obsługi klienta przedstawia wymogi dotyczące: współpracy laboratorium z klientem, zapewnienia poufności wobec klientów oraz monitorowania poziomu satysfakcji z obsługi klienta.

W zagadnieniu działań korygujących opisane są przyczyny pojawienia się prac niezgodnych oraz wymagania dotyczące ustanowienia w laboratorium polityki, procedur i nadania uprawnień do wdrażania działań korygujących w przypadku stwierdzenia niezgodności.

Zagadnienie nadzoru nad zapisami określa sposób postępowania z procedurami identyfikacji zapisów jakości i zapisów technicznych, ich gromadzenia, przechowywania i niszczenia.

W zagadnieniu przeglądów zarządzania przedstawiony jest sposób postępowania najwyższego kierownictwa laboratorium w zakresie przeprowadzania przeglądów systemu zarządzania oraz działalności badawczej i wzorcującej, celem ulepszenia funkcjonowania laboratorium.

Norma PN-EN ISO/IEC 17065 opisuje wymagania, które dotyczą spójności działania, kompetencji oraz bezstronności jednostek w zakresie certyfikacji wyrobów, procesów i usług. Zalecenia normy zawierają szereg wymagań, takich jak: strukturalne, związane z zasobami, dotyczące procesu certyfikacji oraz związane z systemem zarządzania.

Wymagania strukturalne opisują sposób funkcjonowania struktury organizacyjnej i kierowanie jednostką, jak również przybliżają mechanizm ochrony bezstronności procesu certyfikacji.

Wymagania związane z zasobami odnoszą się do zasobów personalnych jednostki certyfikującej oraz do niezbędnych zasobów wymaganych na potrzeby certyfikacji.

Wymagania dotyczące procesu certyfikacji opisują sposób: przeprowadzenia przeglądów i ich oceny, formowania dokumentacji certyfikacji oraz sprawowania nadzoru nad procesem certyfikacji.

Wymagania związane z systemem zarządzania opisują: ogólne wytyczne dotyczące dokumentacji systemu zarządzania, proces nadzoru nad prowadzoną dokumentacją i zapisami z prowadzonych badań certyfikacyjnych, zalecenia dotyczące prowadzenia przeglądów zarządzania i auditów oraz sposób postępowania w podejmowaniu działań korygujących i zapobiegawczych w akredytowanej jednostce certyfikującej.

Akredytowane laboratorium badań lub certyfikacji modułów PV z krzemu krystalicznego może być powołane na dwa sposoby. Jako samodzielna odrębna, nowa akredytowana jednostka, która musi opracować własne procedury i instrukcje funkcjonowania przyszłego akredytowanego laboratorium, w odniesieniu do wymagań norm jakościowych oraz musi przejść szereg auditów wstępnych, co znacząco zwiększa koszty powołania takiego laboratorium i wydłuża czas jego powołania. Drugi sposób znacznie ekonomiczniejszy i szybszy, to powołanie akredytowanego laboratorium badań lub certyfikacji modułów PV z krzemu krystalicznego w ramach istniejącej akredytowanej jednostki, która już posiada odpowiednie kompetencje i ma opracowane własne procedury i instrukcje w zakresie spełniania norm jakościowych. Znacząco zmniejsza to koszt i czas powołania laboratorium.

W zakresie kompetencji badawczych, certyfikacji modułów fotowoltaicznych z krzemu krystalicznego, wymagania badawcze jednostek określają następujące uregulowania prawne: dyrektywa odnosząca się do sprzętu elektrycznego przewidzianego do stosowania w określonych granicach napięcia (Dyrektywa Niskonapięciowa LVD) oraz szereg norm opisujących badania modułów fotowoltaicznych, wśród których są normy: PN-EN 61215 [6]; PN-EN 61646 [7];

PN-EN 61730-1 [8] i PN-EN 61730-2 [9], które można podzielić na metody badań modułów fotowoltaicznych w zakresie bezpieczeństwa oraz w zakresie ich jakości funkcjonowania.

3.4.3. METODY BADAŃ W ZAKRESIE BEZPIECZEŃSTWA

Badanie modułów fotowoltaicznych w zakresie ich bezpieczeństwa jest realizowane zgodnie z normą PN-EN 61730 „Ocena bezpieczeństwa modułu fotowoltaicznego (PV)”, podzielonej na dwie części: Część 1 „Wymagania dotyczące konstrukcji” [8] oraz Część 2 „Wymagania dotyczące badań” [9]. Część druga zawiera opis dziesięciu metod badań modułów fotowoltaicznych (tab.3.4.1).

Tab. 3.4.1. Metody badań zgodnie z PN-EN 61730-2 [9]

L.p.	Nazwa
1	Wizualna inspekcja
2	Próba dostępności do części czynnych
3	Próba podatności na cięcie
4	Próba ciągłości obwodu ochronnego
5	Próba napięciem impulsowym
6	Próba wytrzymałości dielektrycznej
7	Test temperaturowy
8	Próba palności
9	Test przeciążenia prądem wstecznym
10	Próba na zniszczenie modułu

Wizualna inspekcja polega na wizualnym sprawdzeniu, czy panel nie posiada defektów i uszkodzeń mogących mieć wpływ na bezpieczeństwo jego użytkowania. W metodzie tej należy odnotować i udokumentować (np. fotograficznie), dostrzeżone w module fotowoltaicznym jego nieprawidłowości i odchyłki konstrukcyjne oraz funkcjonalne.

Badanie realizowane jest na stanowisku wyposażonym w stół (rys. 3.4.2), na którym horyzontalnie umieszczony jest badany moduł fotowoltaiczny. Podczas badania moduł oświetlany jest światłem o natężeniu większym równym 1000 luksów i wówczas sprawdzany jest wizualnie stan badanego modułu fotowoltaicznego.

Próba dostępności do części czynnych polega na określeniu dostępu do części czynnych, między innymi takich jak niez izolowane połączenia elektryczne, które stwarzają zagrożenie porażeniem. W metodzie tej wykorzystuje się specjalizowane próbniki dostępności do elementów czynnych oraz urządzenie do sprawdzania ciągłości obwodu elektrycznego.

W metodzie podatności na cięcie określana jest wytrzymałość przedniej i tylnej powierzchni modułu fotowoltaicznego, wykonanej z materiałów polimerowych, na rutynowe operacje montażowe i konserwacyjne modułu.



Rys. 3.4.2. Przykład stanowiska do wizualnej inspekcji [10]

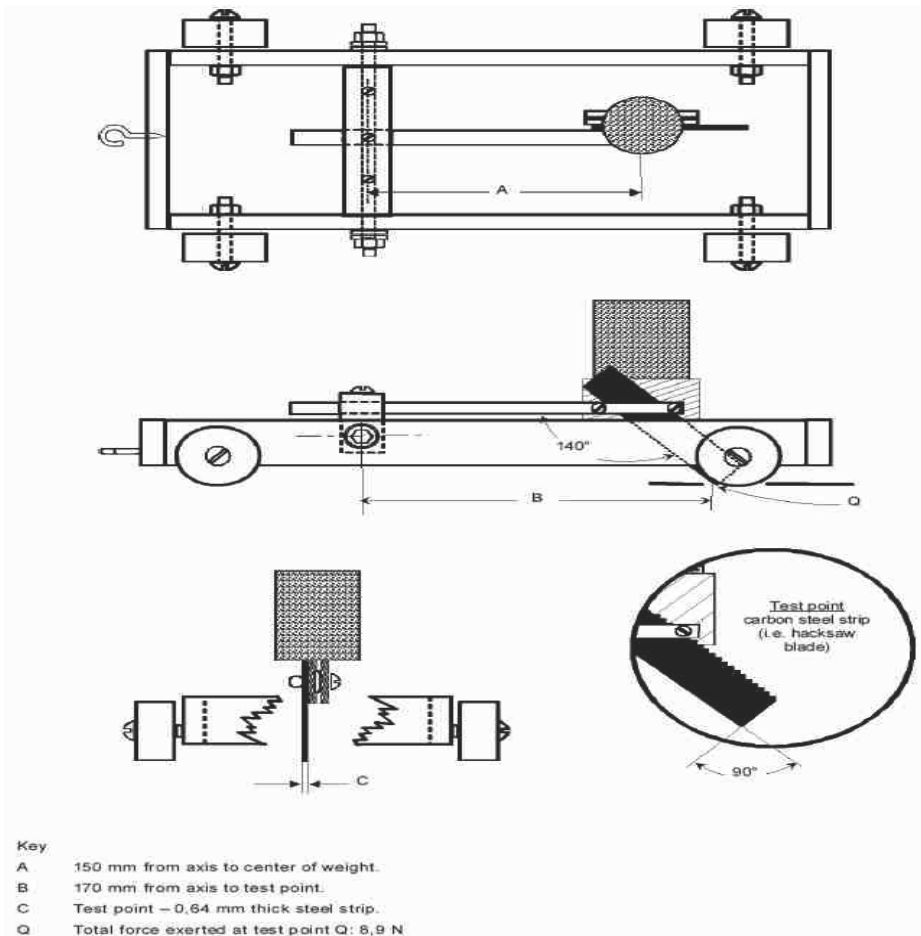
Przeprowadzane operacje z udziałem modułów fotowoltaicznych, nie powinny narażać pracowników na niebezpieczeństwo porażenia prądem elektrycznym. W metodzie tej wykorzystuje się specjalizowane urządzenie do cięcia powierzchni modułu fotowoltaicznego, przy określonych parametrach siły docisku piły i prędkości jej przesuwu. Przykład takiego urządzenia zaprezentowano na rys. 3.4.3.

Próba ciągłości obwodu ochronnego polega na pomiarze rezystancji obwodu ochronnego, podczas przepuszczania przez niego prądu o wartości $I = (2,5 \pm 10\%) \times I_{max}$, w czasie minimum 2 minut, gdzie I_{max} jest maksymalnym prądem przetężenia zabezpieczenia modułu. Prąd przepuszczany jest pomiędzy zaciskiem obwodu ochronnego, a każdą dostępną częścią metalową. Badanie wymaga aparatury do generowania prądu stałego i pomiaru rezystancji oraz stanowiska, na którym można umieścić analizowany moduł fotowoltaiczny.

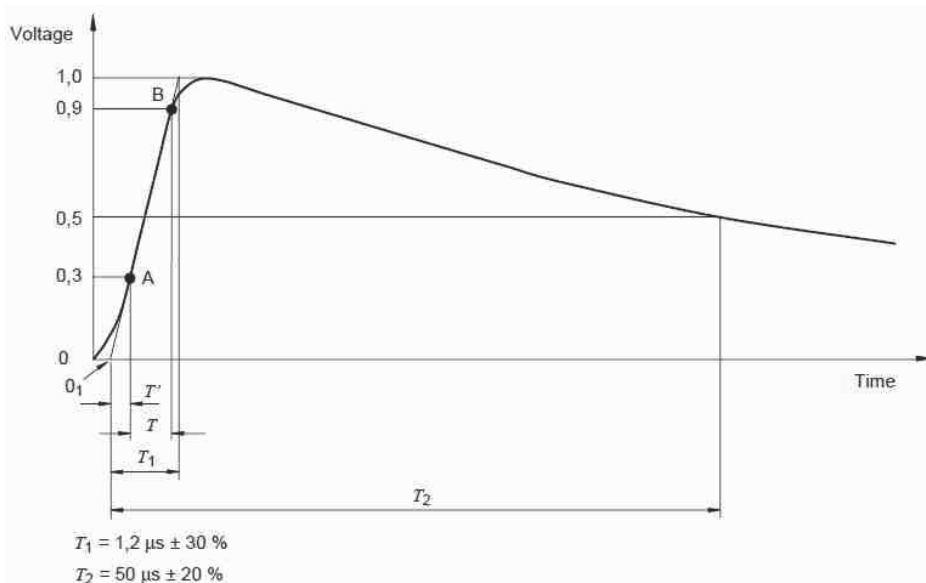
W metodzie badania napięciem impulsowym sprawdzana jest wytrzymałość izolacji modułu (obudowy) na przepięcia pochodzenia atmosferycznego oraz spowodowane włączaniem sprzętu niskiego napięcia. Próba wymaga specjalizowanego generatora impulsów probierczych 1,2/50 μs (Rys. 3.4.4), urządzeń pomiarowych impulsów oraz stanowiska do umieszczenia w nim badanego modułu fotowoltaicznego i przeprowadzenia próby.

Próba wytrzymałości dielektrycznej polega na określeniu, jakości izolacji pomiędzy elementami czynnymi (przewodzącymi prąd elektryczny), a elementami umożliwiającymi jego mocowanie lub przenoszenie (rama modułu). Badanie to wymaga generatora napięcia stałego o maksymalnym poziomie napięcia wyjściowego, wynoszącego ponad 2 kV i posiadającym ograniczenie prądowe oraz urządzenia do pomiaru rezystancji izolacji. W metodzie testu temperaturowego określone są maksymalne temperatury odniesienia dla różnych elementów konstrukcyjnych i materiałów stosowanych do budowy badanego modułu, celem potwierdzenia zasadności ich użycia w module. Przeprowadzenie testu wymaga

umieszczenie badanego modułu na specjalizowanym drewnianym stanowisku, wyposażonym szereg czujników pomiarowych (m. in. czujniki: temperatury otoczenia, temperatury komponentów modułu, pomiaru natężenia oświetlenia) i zapewniającym narażanie badanego modułu, natężeniem oświetlenia na poziomie większym lub równym 700 W/m^2 . Próba palności polega na określeniu podstawowej odporności ogniowej modułów fotowoltaicznych zastosowanych zarówno jako materiał pokrycia dachowego lub zamontowanych na istniejącym dachu budynku.



Rys. 3.5.3. Normatywne urządzenie do badania podatności na cięcie [9]



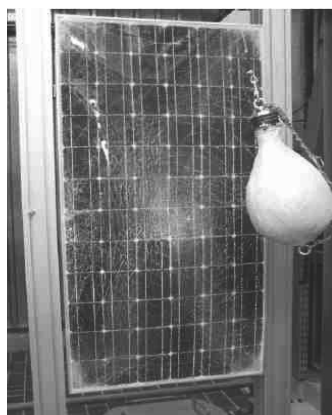
Rys. 3.4.4. Parametry impulsu probierczego w próbie napięciem impulsowym [9]

Moduły te mogą być wystawione na działanie ognia pochodzącego z zewnątrz budynku, na którym są one zamontowane i dlatego należy wyznaczyć ich charakterystyki odporności ogniowej. Do przeprowadzenia próby palności wymagane jest specjalizowane stanowisko, znacznych rozmiarów, umożliwiające umieszczenie w nim badanego modułu fotowoltaicznego i poddanie go spalaniu w kontrolowanych i monitorowanych warunkach. W metodzie przeciążenia prądem wstecznym, badanie polega na określeniu akceptowalnego poziomu ryzyka, powstania zapłonu lub ognia w warunkach pojawienia się usterki w badanym module fotowoltaicznym, podczas przepływu prądu w kierunku wstecznym. Test wymaga izolowanego stanowiska (rys. 3.4.5), na którym umieszczony jest badany moduł, poddawany narażeniom stałym prądem wstecznym, z zewnętrznego układu zasilania z ograniczeniem prądowym.

Próba na zniszczenie modułu polega na zapewnieniu wystąpienia minimalnych uszkodzeń modułu, wynikających z cięcia lub uderzenia modułu. Przeprowadzenie badania wymaga specjalizowanego stanowiska umożliwiającego zamocowanie i unieruchomienie badanego modułu, na którym będzie wywierana energia uderzenia o różnej wartości, z wykorzystaniem młota o masie około 45,5 kg (rys. 3.4.6).



Rys. 3.4.5. Przykład stanowiska do testu przeciążenia prądem wstecznym [10]



Rys. 3.4.6. Widok stanowiska do próby na uderzenie [11]

3.4.4. METODY BADAŃ W ZAKRESIE JAKOŚCI FUNKCJONOWANIA

Badania modułów PV z krzemu krystalicznego w zakresie jakości funkcjonowania opisuje norma PN-EN 61215 (tabela 3.4.2). Przywołuje ona osiemnaście procedur badawczych, które wymagają specjalizowanej aparatury i stanowisk badawczych, między innymi takich jak: komory klimatyczne, źródła promieniowania świetlnego, czy specjalizowane stanowiska do realizacji testów mechanicznych. Wybrane metody badań będą omówione szerzej w dalszej części artykułu.

Tab. 3.4.2. Metody badań zgodnie z PN-EN 61215 [6]

L.p.	Nazwa
1	Wizualna inspekcja
2	Wyznaczenie mocy maksymalnej przy STC
3	Test izolacji
4	Wyznaczanie współczynników temperaturowych
5	Pomiar normalnej temperatury pracy ogniwa
6	Wydajność w warunkach STC i NOCT
7	Wydajność przy niskim natężeniu promieniowania
8	Zewnętrzne badanie odporności na działanie czynników zewnętrznych
9	Gorące miejsca
10	Badanie wstępne na odporność UV
11	Test cyklicznej zmiany termicznej
12	Test wilgotnego zamrażania
13	Test wilgotnego gorącego powietrza
14	Test wytrzymałości mocowania i końcówek
15	Test upływności w podwyższonej wilgotności
16	Test obciążenia mechanicznego
17	Test gradobicia
18	Test temperaturowy diody bocznikującej

Metoda wizualnej inspekcji jest realizowana podobnie jak w normie PN-EN 61730-2 [9].

Celem metody badań wyznaczania mocy maksymalnej przy STC (standardowe warunki badań) jest wyznaczenie charakterystyk prądowo-napięciowych modułu i na ich podstawie obliczenia maksymalnej mocy modułu przy STC. Próba polega na wyznaczeniu maksymalnej mocy badanego modułu przed i po testach środowiskowych, wykonywanych na badanym module. Realizacja badania wymaga specjalizowanego stanowiska pomiarowego wyposażonego w: układ do mocowania badanych obiektów, źródło promieniowania (o widmie 400–1100 nm i natężeniu promieniowania 1000 W/m²), referencyjne urządzenie fotowoltaiczne, układ do monitorowania temperatury badanych obiektów, urządzenia do pomiaru prądu i napięcia obiektów badań, z których wyznacza się wartość maksymalnej mocy badanego modułu PV.

Metoda pomiaru wydajności przy niskim natężeniu promieniowania ma na celu określenie zmian parametrów elektrycznych badanego modułu fotowoltaicznego, poddanego obciążeniu w temperaturze 25 °C i przy natężeniu promieniowania 200 W/m². Przeprowadzenie badań zgodnych z tą metodą wymaga następującej aparatury: źródła promieniowania o zmiennym i kontrolowanym natężeniu ≥ 200 W/m², urządzenia referencyjnego zgodnego z normą PN-EN 60904-2 [12]; stanowiska do mocowania badanego modułu fotowoltaicznego

i urządzenia referencyjnego w płaszczyźnie prostopadłej do wiązki strumienia promieniowania, urządzenia do monitorowania temperatury badanego modułu i urządzenia referencyjnego oraz układów do pomiaru natężenia prądu i napięcia badanego modułu i urządzenia referencyjnego.

Badanie wstępne na odporność na promieniowanie ultrafioletowe (UV) modułów fotowoltaicznych polega na zidentyfikowaniu materiałów i połączeń spoin modułów, które są podatne na degradację w wyniku ich ekspozycji na promieniowanie UV. Realizacja badania wymaga specjalizowanej komory klimatycznej, umożliwiającej wymuszanie i utrzymywanie zadanej temperatury na poziomie $60 \pm 5^\circ\text{C}$, przy jednoczesnym naświetlaniu badanego modułu PV promieniowaniem UV w zakresie długości fal od 280 do 385 nm i pomiarze promieniowania UV z niepewnością równą $\pm 15\%$. Temperatura badanego modułu fotowoltaicznego powinna być mierzona w komorze z dokładnością $\pm 2^\circ\text{C}$ i rejestrowana. Przykład takiego stanowiska badawczego przedstawiono na rys. 3.4.7.

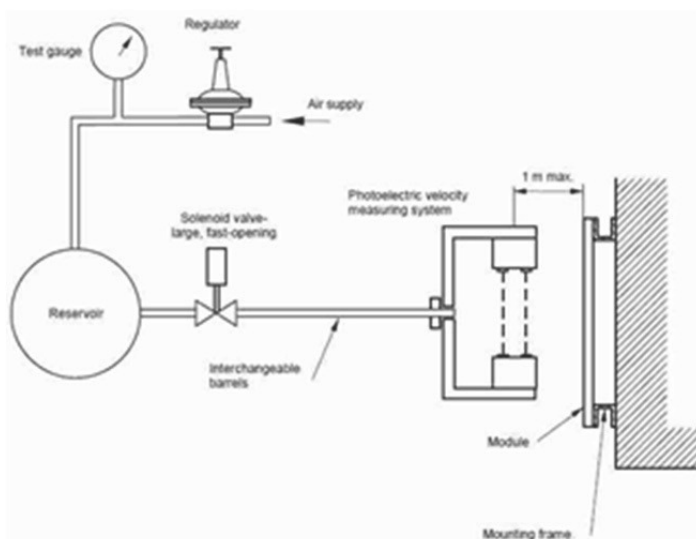


Rys. 3.4.7. Widok stanowiska do badań wstępnych na odporność UV [13]

Celem testu wilgotnego gorącego powietrza jest określenie wytrzymałości badanego modułu PV na długotrwałą penetrację wilgotnego powietrza. Badanie to, dodatkowo powinno być prowadzone zgodnie z normą PN-EN 60068-2-78 [14]. Test ten, podobnie jak poprzednie badanie, wymaga zastosowania specjalizowanej komory klimatycznej. Podczas testu powinny być utrzymywane następujące warunki klimatyczne: temperatura $85 \pm 2^\circ\text{C}$, wilgotność względna $85\% \pm 5\%$, a czas trwania testu powinien wynosić 1000 godzin. Badanie może być realizowane z zastosowaniem komory klimatycznej produkcji Instytutu Technologii Eksploatacji – Państwowego Instytutu Badawczego (ITeE-PIB) (rys. 3.4.8).



Rys. 3.4.8. Widok stanowiska do badań modułów PV w warunkach wilgotnego gorącego powietrza, produkcji ITeE-PIB



Rys. 3.4.9. Schemat normatywny wyrzutni kulek lodu w tęście gradobicia [6]

Test gradobicia polega na sprawdzeniu czy moduł jest w stanie wytrzymać warunki atmosferyczne gradobicia. Badanie przeprowadzane jest na specjalizowanym stanowisku badawczym, wyposażonym w wyrzutnię umożliwiającą strzelanie kulką lodu o standardowej średnicy 25 mm, z określoną prędkością w granicach $\pm 5\%$ i jej monitorowanie. Badany moduł fotowoltaiczny umieszczony jest w odległości 1 m od wyrzutni i uderzany kulkami lodu w określonych miejscach.

Stanowisko powinno być wyposażone w urządzenia do wytwarzania i przechowywania kulek lodu o określonej masie i średnicy (od 12,5 do 35 mm). Na stanowisku powinna być mierzona prędkość kulek lodu. Dodatkowo stanowisko do testu gradobicia powinno być wyposażone w uchwyty do mocowania i wspierania badanego modułu, w sposób określony przez producenta modułu, z możliwością ustawiania narażanej powierzchni badanego modułu, pod kątem prostym do kierunku lotu kulki lodu. Przykład schematu normatywnego wyrzutu kulek lodu przedstawiono na rys. 3.4.9.

3.4.5. PODSUMOWANIE

Przeprowadzono analizę wymagań normatywnych, co pozwoliło na określenie struktury laboratorium badawczego i certyfikującego moduły PV z krzemu krystalicznego. Przedstawiona analiza wymagań ułatwia podjęcie decyzji o budowie laboratorium przy uwzględnieniu takich wymagań jak: limit kosztów powołania laboratorium, możliwość rozbudowy istniejącej jednostki akredytowanej, czy zapotrzebowanie rynkowe na badania modułów PV.

Struktura laboratorium zarówno badawczego, jak również certyfikującego, od strony technicznej realizacji badań modułów fotowoltaicznych z krzemu krystalicznego, powinna uwzględniać sekwencyjność wykonywanych badań. Począwszy od badań nieniszczących związanych z funkcjonowaniem modułów [6], a kończąc na badaniach niszczących, które są grupą badań związanych z bezpieczeństwem modułów fotowoltaicznych [9].

Wyniki z przeprowadzonej analizy w ramach rozbudowy istniejącej jednostki akredytowanej wskazują, iż część stanowisk badawczych do badań modułów fotowoltaicznych z krzemu krystalicznego może być zestawiona z aparatury wykorzystywanej w akredytowanych jednostkach badawczych i certyfikujących w zakresie dyrektywy EMC i LVD, co pozwoliłoby na rozbudowę akredytowanych jednostek tego typu oraz znacząco zmniejszyłoby koszty powołania nowej akredytowanej jednostki w zakresie badań modułów fotowoltaicznych z krzemu krystalicznego. Najbardziej kosztownymi urządzeniami związanymi z powołaniem laboratorium badań modułów fotowoltaicznych z krzemu krystalicznego są: regulowany symulator promieniowania słonecznego, komory klimatyczne do badań środowiskowych, złożone specjalizowane stanowiska do badań wytrzymałości mechanicznych modułów PV z krzemu krystalicznego oraz stanowisko o znacznych gabarytach do próby palności modułów.

Obecnie w Polsce wzrasta zapotrzebowanie rynkowe na badania modułów PV, ze względu na zwiększony krajowy popyt na montaż instalacji fotowoltaicznych i towarzyszący temu rozwój produkcji modułów PV.

LITERATURA

- [1] Komisja Europejska – Komunikat prasowy: Sprawozdanie z postępów w dziedzinie energii odnawialnej. Bruksela, 16 czerwiec 2015.
- [2] 2004/108/WE, Dyrektywa kompatybilności elektromagnetycznej (EMC).
- [3] 2006/95/WE, Dyrektywa Niskonapięciowa (LVD).
- [4] PN-EN ISO/IEC 17025:2005, „Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących”.
- [5] PN-EN ISO/IEC 17065:2013-03, „Ocena zgodności – Wymagania dla jednostek certyfikujących wyroby, procesy i usługi”.
- [6] PN-EN 61215:2005, Moduły fotowoltaiczne (PV) z krzemu krystalicznego do zastosowań naziemnych – Kwalifikacja konstrukcji i aprobata typu.
- [7] PN-EN 61646:2008, Cienkowarstwowe naziemne moduły fotowoltaiczne (PV) – Kwalifikacja konstrukcji i zatwierdzenie typu.
- [8] PN-EN 61730-1:2007, Ocena bezpieczeństwa modułu fotowoltaicznego (PV) – Część 1: Wymagania dotyczące konstrukcji.
- [9] PN-EN 61730-2: 2007, Ocena bezpieczeństwa modułu fotowoltaicznego (PV) – Część 2: Wymagania dotyczące badań.
- [10] Strony internetowe firmy: Shanghai B.R.Sci. Instrument Co.,Ltd.
- [11] Strony internetowe TÜV Rheinland.
- [12] PN-EN 60904-2:2015-07, Elementy fotowoltaiczne – Część 2: Wymagania dotyczące fotowoltaicznych elementów wzorcowych.
- [13] Strony internetowe: Raystan Industry Gladson N. Raj.
- [14] PN-EN 60068-2-78:2013-11, Badania środowiskowe – Część 2-78: Próby – Próba Cab: Wilgotne gorąco stałe.

Rozdział IV EKOROZWÓJ

Ekorozwój jest nierozdzielnie połączony z ekoinnowacyjnymi przedsięwzięciami, które prowadzą do osiągnięcia zrównoważonego rozwoju poprzez ograniczenie negatywnego oddziaływania na naturalne środowisko człowieka. Przykładem może być znaczny wzrost wykorzystania odnawialnych źródeł energii, którego główną przyczyną jest zmniejszenie się zasobów paliw kopalnianych oraz negatywny wpływ jaki na środowisko naturalne wywiera konwencjonalna energetyka.

W niniejszym rozdziale przedstawiono zmiany poziomu zanieczyszczenia środowiska naturalnego w ostatnim wieku i wpływ człowieka na taki stan rzeczy. Omówiono zarówno negatywne jak i pozytywne sposoby oddziaływania człowieka na środowisko naturalne. W dalszej części rozdziału opisano sposoby wykorzystania Ekoinnowacji w przedsiębiorstwie. Dążenie do optymalizacji produkcji i zysków wiąże się nierozdzielnie ze zwiększeniem zużywanych surowców oraz z większym zanieczyszczeniem środowiska naturalnego. Zwyczajowo innowacja utożsamiana jest również ze zmianami technicznymi i rozumiana jest wówczas jako prowadzenie działalności badawczo-rozwojowej przez jednostki gospodarcze. Wynikiem takiej działalności są wynalazki wprowadzane docelowo na rynek gospodarczy. Obecnie pojęcie innowacji najczęściej odnosi się do rozwiązań związanych z ochroną środowiska lub organizacyjnych. Kolejną tematyką podjętą w tym rozdziale jest ekoinnowacja, jej rodzaje i znaczenie. Odpowiedzią na pewne pytania z tej dziedziny jest raportem WWF „*Living Planet 2010*”, który prezentuje wpływ działalności ludzkiej na środowisko przyrodnicze w skali światowej. Informuje on, że od 1961 wskaźnik śladu ekologicznego działalności ludzkiej wzrósł ponad dwukrotnie, a dla wyprodukowania surowców zużywanych przez ludzkość w ciągu jednego roku Ziemia potrzebuje półtora roku. Według raportu „*Żyjemy na ekologiczny kredyt. Jeśli nic się nie zmieni, w 2030 roku będziemy potrzebować dwóch, a w 2050 prawie trzech kul ziemskich, żeby zaspokoić nasze potrzeby*”

Radosław Luft

4.1. WPLYW CZŁOWIEKA NA ŚRODOWISKO PRZYRODNICZE*

4.1.1. WSTĘP

Walory i zasoby przyrody w mniejszym lub większym stopniu zostają przekształcane przez człowieka. W miarę rozwoju człowieka, powstawania społeczeństw czy zmian kulturowych wzrastała siła oddziaływania człowieka na środowisko, czego konsekwencją był z jednej strony wzrost liczebności społeczności ludzkiej, z drugiej – z doskonalenie środków technicznych, którymi człowiek dysponował do zaspokajania swoich potrzeb cywilizacyjnych. Zwiększał się więc zasięg natury sztucznej (antropogenicznej). Początkowo człowiek dostosowywał się do praw rządzących przyrodą i nie powodował znaczących zakłóceń w równowadze środowiska przyrodniczego. Jednak we współczesnej gospodarce w wyniku rozwoju industrialnego nastąpiło negatywne oddziaływanie człowieka na środowisko przyrodnicze. Efektem tego jest zachwianie równowagi ekologicznej.

Celem artykułu jest zaprezentowanie relacji zachodzących pomiędzy działalnością człowieka a środowiskiem przyrodniczym.

Wskazano, iż środowisko przyrodnicze jako zbiór elementów warunkujących istnienie człowieka i zaspokojenie jego potrzeb, wymaga odpowiedniego gospodarowania zasobami przyrody.

4.1.2. CZŁOWIEK W ŚRODOWISKU PRZYRODNICZYM

Działalność człowieka wywarła duży wpływ na samo definiowanie pojęcia ‘środowisko’. W przypadku, gdy bierzemy pod uwagę stopień przekształceń w ówczesnym świecie, to zauważamy, że możemy wyróżnić trzy typy środowiska, mianowicie: środowisko naturalne, geograficzne i sztuczne. Środowisko naturalne – nazywane niekiedy przyrodniczym – charakteryzuje się niewielkim stopniem transformacji w wyniku działalności człowieka. Występuje ono obecnie jedynie na terenie rzadko zamieszkiwanych bądź wręcz takich, których człowiek nie zamieszkuje w ogóle. Natomiast środowisko geograficzne cechuje się znacznie większym stopniem przeobrażeń, powstałych w wyniku działalności człowieka. Takowe środowisko występuje na obszarach zaludnionych przez człowieka jednak poza obszarami najgęściej zamieszkałymi, ponieważ w ich

* **Autorzy:** mgr Radosław LUFT, Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, Wydział Ekonomiczny, ul. Chrobrego 31, 26-600 Radom, e-mail: r.luft@uthrad.pl.

mgr Urszula KRÓL, Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, Wydział Ekonomiczny, ul. Chrobrego 31, 26-600 Radom, e-mail: u.krol@uthrad.pl

mgr inż. Artur MICHAŁSKI, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Pracownia Oceny i Wyceny Zasobów Przyrodniczych, ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa, e-mail: f19@tlen.pl

przypadku będziemy już mieć do czynienia ze środowiskiem sztucznym.¹ Tymczasowe korzyści będące wynikiem rozwoju technicznego współczesnego świata spowodowały, że człowiek przez bardzo długi czas ignorował wszelkiego rodzaju uboczne skutki owej działalności a szczególnie wpływu jaki ta działalność miała na środowisko naturalne. Wraz z przyrostem ludności oraz postępowaniem cywilizacyjnym ludzie w coraz większym stopniu ingerowali w środowisko naturalne. Ogromne szkody powstałe w wyniku działalności człowieka dopiero uświadomiły ludzkiej populacji skalę problemu i zagrożenia wynikające z zanieczyszczenia środowiska.²

Każdy człowiek w trakcie realizacji swoich czynności życiowych funkcjonuje w jakimś środowisku, które w zależności od ukształtowania może sprzyjać owej działalności bądź niweczyć realizację planów. Środowisko które nas otacza może również wpływać dodatnio lub ujemnie na nasze aspiracje, funkcje życiowe, a także na zachowania. Zgodnie z ogólną definicją środowiska jego elementami są zarówno elementy naturalne, materialne i przestrzenne z jednej strony, jak i ludzie pozostający w różnych stosunkach wobec siebie i rzeczy z drugiej. Dlatego w tym w pierwszym przypadku mówimy o środowisku naturalnym, materialnym i przestrzennym, a w drugim o środowisku społecznym i kulturowym.³ Człowiek ingeruje w środowisko przyrodnicze w trakcie swojej działalności, w wyniku czego przekształca jego poszczególne elementy a w efekcie końcowym przekształca je w środowisko geograficzne. Poza komponentami przyrodniczymi jego istotnym elementem są materialne wytwory działalności człowieka. Oczywiście w tym przypadku jest, że to tereny miejskie i przemysłowe będą się charakteryzować najwyższym stopniem przekształcenia środowiska geograficznego – które będziemy już nazywać środowiskiem antropogenicznym czyli sztucznym.⁴

Musimy jednak pamiętać, że środowisko w którym człowiek funkcjonuje nie składa się tylko i wyłącznie ze środowiska geograficznego, ponieważ składają się na nie także elementy życia społecznego, typu normy etyczne, moralne, kontakty międzyludzkie, dorobek kulturalny, stosunki produkcji itp. Owe elementy powstałe w wyniku działalności człowieka uznajemy za środowisko społeczne. Dopiero połączenie środowiska geograficznego i społecznego ukazuje nam obraz środowiska życia człowieka. W takowym przypadku mamy do czynienia z przenikaniem się społecznych i materialnych efektów aktywności człowieka, które zachodzi w otoczeniu komponentów przyrody. Owe elementy powstają w stanie dynamicznej równowagi.⁵

¹ K. Kopeć, *Człowiek w środowisku i związane z tym zagrożenia*, [w:] T. Michalski (red), *Zagrożenia we współczesnym świecie jako temat edukacji geograficznej*, Pelplin 2008, s. 60-61.

² A. Bańka, *Spoleczna psychologia środowiskowa*. Wydaw. Naukowe Scholar, Warszawa 2002, s. 35.

³ A. Bańka, *Spoleczna psychologia... op. cit.*, s. 18.

⁴ K. Kopeć, *Człowiek w środowisku... op. cit.*, s.61-62.

⁵ *Ibidem*, s. 62-63.



Rys. 4.1.1. Uwarunkowania towarzyszące dyskusjom o granice. Źródło: J. Pociask-Karteczka, *Czy istnieją granice integracji człowieka w środowisko przyrodnicze?*, [w:] *Nauka a zarządzanie obszarem Tatr i ich otoczeniem*, tom III, Zakopane 2010

Obecnie w sytuacji, gdy zwracamy uwagę na relację człowiek–środowisko i przyjmujemy punkt widzenia geografii fizycznej to wówczas możemy wyróżnić aspekty ontologiczny oraz etyczny.⁶ W koncepcji ontologicznej człowieka uznajemy jako istotę dwoistą, ponieważ z jednej strony jest on podległy prawom natury ale z drugiej strony różni się od świata przyrody przez swoje wyposażenie w rozum i odpowiedzialność. Z kolei w ramach koncepcji etycznej możemy wyróżnić dwa podejścia, mianowicie etykę humanistyczną, w której potrzeby człowieka są najważniejsze ale musi on być powściągliwy w ich zaspokajaniu, a także etykę ekologiczną, która oparta jest na prawach kosmologicznych, a nie wyłącznie rozumowych.⁷

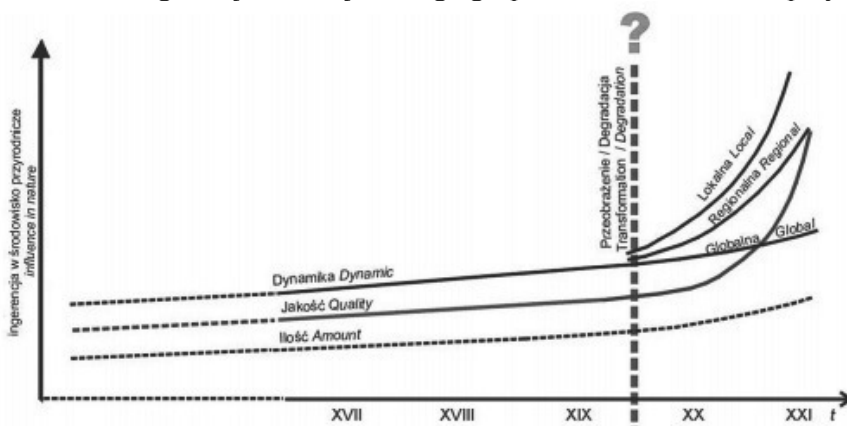
4.1.3. NIEKORZYSTNE SKUTKI DZIAŁALNOŚCI CZŁOWIEKA

Niekorzystne skutki działalności prowadzonej przez człowieka były sygnalizowane już w XIX wieku, kiedy to amerykański geograf George’a Perkinsa Marsha (1801–1882) w swoim artykule pt. „*Man and Nature; or, Physical Geography as Modified by Human Action*” (1864), pisał: „Jest pewne, że człowiek zrobił dużo w celu przekształcenia oblicza Ziemi [...], że zniszczenie lasów, osuszenie jezior i bagien, działalność w zakresie rolnictwa i przemysłu dopro-

⁶ K. Ostaszewska, *Miejsce człowieka w naturze - rekonstrukcja obrazu człowieka w geografii fizycznej* [w:] W. Maik, K. Rembowska, A. Suliborski (red.) *Człowiek w badaniach geograficznych. Seria: Podstawowe idee i koncepcje w geografii*, tom 2, Bydgoszcz 2006, s. 111-119.

⁷ Kistowski M., „Regionalny model zrównoważonego rozwoju i ochrony środowiska Polski a strategię województw”, *Gdańsk-Poznań 2003*, s. 67-69.

wadziły do wielkich zmian wilgotnościowych, termicznych, elektrycznych i chemicznych warunków atmosfery [...]; i wreszcie, że miliardy form zwierzęcego i roślinnego życia, które zapełniały Ziemię w czasie, kiedy człowiek po raz pierwszy pojawił się na wielkiej scenie przyrody, [...] były w dużym stopniu zmienione ilościowo, a nawet całkowicie wyeliminowane”.⁸ Pomimo, iż w latach 60. XX w., za przyczyną Walerego Goetla pojawiła się nauka, której zadaniem było m.in. badanie i zapobieganie oraz łagodzenie niekorzystnych zmian w strukturze i funkcjonowaniu środowiska przyrodniczego zachodzących pod wpływem działalności człowieka (sozologia) nie spowodowało to jednak zahamowania degradacji i nieracjonalnego gospodarowania zasobami przyrody.⁹



Rys. 4.1.2. Zmiany nasilenia ingerencji człowieka w środowisko przyrodnicze Źródło: J. Pociask-Karteczka, *Czy istnieją granice integracji człowieka w środowisko przyrodnicze?*, [w:] *Nauka a zarządzanie obszarem Tatr i ich otoczeniem*, tom III, Zakopane 2010

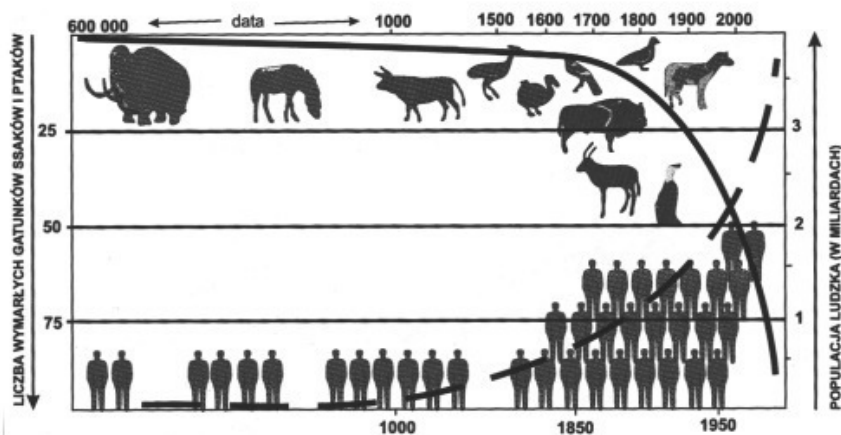
W przypadku, gdy rozpatrujemy stosunek człowieka do środowiska możemy wyróżnić cztery zasadnicze podejścia:

- konserwatorskie, w ramach którego przyroda jest traktowana jako zespół tworów, z których wybrane (gatunki zagrożone, unikatowe, rzadkie zespoły form lub gatunków będących na danym obszarze systemem ekologicznym) obejmuje się ochroną pod postacią obiektów bądź obszarów;
- techniczno-ekonomiczne, w którym przyroda zostaje sprowadzona jedynie do roli czynnika służącego do maksymalizacji dochodu narodowego, tym samym jest ona rozpatrywana jedynie jako zbiór zasobów i walorów naturalnych;

⁸ D. P. Marsh, 1864. *Man and Nature; or, Physical Geography as Modified by Human Action*, New York, C. Scribner & Co., 560, <http://memory.loc.gov/cgi-bin/>

⁹ J. Pociask-Karteczka, *Czy istnieją granice integracji człowieka w środowisko przyrodnicze?*, [w:] *Nauka a zarządzanie obszarem Tatr i ich otoczeniem*, tom III, Zakopane 2010, s. 12.

- społeczno-ekonomiczne, traktujące środowisko przyrodnicze jako istotny czynnik wpływający na jakość zarówno obecnego życia, jak też i na podstawy egzystencji przyszłych pokoleń;
- ekologiczno-społeczne, dla którego środowisko przyrodnicze jest czynnikiem umożliwiającym godne warunki przetrwania nie tylko ludziom żyjącym dzisiaj i w przyszłości, lecz także gatunkom pozaludzkich form życia w obrębie systemów ekologicznych i przy zachowaniu środowiskotwórczej roli przyrody.¹⁰



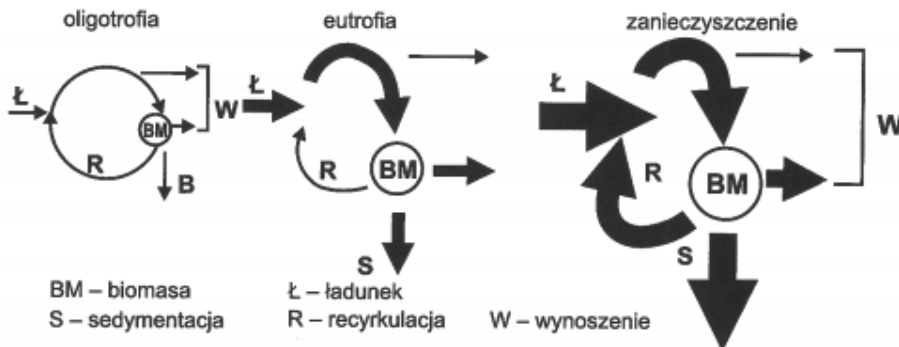
Rys. 4.1.3. Wymieranie gatunków na przykładzie ssaków i ptaków Źródło: Głowaciński Z., *O antropogenicznym wymieraniu gatunków* [w:] M. Grzegorzczak (red.), *Integralna ochrona przyrody*, Wyd. Instytut Ochrony Przyrody PAN, Kraków 2007

Najbardziej widoczne negatywne skutki ingerencji człowieka w środowisko dotyczą świata zwierząt. Bowiem w wyniku ludzkiej działalności wyginęło wiele gatunków zwierząt i bardzo dużo jest zagrożonych wyginięciem – wręcz na skraju. Niezwykle duża liczba zwierząt została zmuszona do funkcjonowania w skażonym środowisku, pije zatrutą wodę, zjada niezdrowy pokarm, oddycha zanieczyszczonym powietrzem. Jest to efektem, tego że trujące z związki przenikają do ziemi, wody, a także powietrza. Przyczyn takiego stanu rzeczy możemy doszukiwać się w:

- stosowaniu środków ochronnych roślin i nawozów sztucznych;
- nadpoziomowe i podpoziomowe wysypiska odpadów;
- spalanie śmieci, głównie tworzyw sztucznych;

¹⁰A. Kassenberg, M. Marek, „Ekorozwój - istota i rzeczywistość” [w:] A. Ginsberg-Gebert (red.) „Ekonomiczne i socjologiczne problemy ochrony środowiska”, Tom II, Wrocław-Warszawa-Kraków-Gdańsk-Lódź 1988, s. 46-51.

- emisja gazów, dymów i pyłów do atmosfery;
- wycinanie lasów
- osuszanie gruntów (melioracje)
- wypalanie traw
- zabieranie zwierzętom ich naturalnego środowiska (budowa dróg, autostrad, ośrodków przemysłowych itp.)
- kłusownictwo,
- doprowadzanie do wód ścieków bytowo – gospodarczych i przemysłowych, które bardzo często są albo w ogóle nieoczyszczone, albo oczyszczone w stopniu niewystarczającym, spływy wód z terenów rolniczych, które niosą ze sobą wodę zawierającą środki ochrony roślin, zanieczyszczenia z nawozów organicznych i mineralnych, spływy wód z terenów użytkowanych przemysłowo (np. zasolone wody kopalne), przedostawanie się do zbiorników wodnych zanieczyszczeń znajdujących się w powietrzu
- hałas i wibracje
- katastrofy ekologiczne (awarie tankowców, wybuch elektrowni w Czarnobylu itp.)¹¹

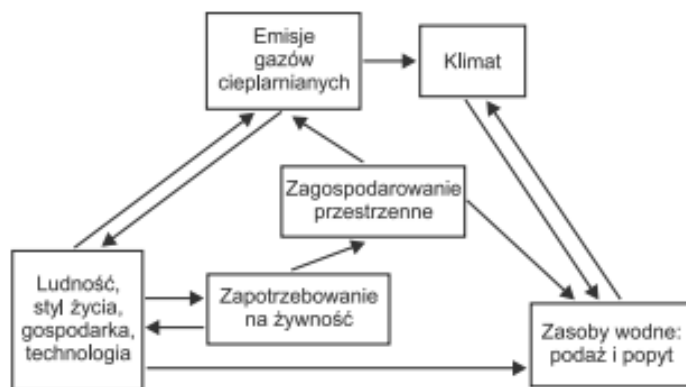


Rys. 4.1.4. Łańcuch powiązań w ekosystemach wodnych przeciężonych biogenami Źródło: Dumnicka E., Wpływ zanieczyszczeń środowiska na ekosystemy wodne [w:] M. Grzegorzczak (red.), *Integralna ochrona przyrody*, Wyd. Instytut Ochrony Przyrody PAN, Kraków 2007

Omawiając niekorzystny wpływ człowieka na środowisko nie sposób nie poruszyć kwestii związanych ze zmianą klimatu. Klimat zmieniał się już kilkakrotnie w historii Ziemi, a okresy chłodniejsze przeplatały się z cieplejszymi. Można wyróżnić kilka grup mechanizmów odpowiedzialnych za zmiany klimatu:

¹¹ K. Kopeć, *Człowiek w środowisku... op. cit.*, s.65-66.

- wahania promieniowania słonecznego (aktywność Słońca, np. określana przez wskaźnik liczby plam słonecznych);
- zmiany parametrów orbity ruchu Ziemi wokół Słońca (w skali czasowej dziesiątek tysięcy lat, a więc bez znaczenia dla obecnego ocieplenia);
- oscylacje oceaniczne, tzn. procesy quasi-okresowych wahań procesów wymiany ciepła między atmosferą a oceanem (np. ENSO – El Niño Southern Oscillation, NAO – North Atlantic Oscillation, AMO – Atlantic Multi-decadal Oscillation i in.);
- zmiany składu ziemskiej atmosfery (gazy cieplarniane – para wodna, dwutlenek węgla, metan, podtlenek azotu; pyły; aerozole);
- zmiany właściwości powierzchni Ziemi (współczynnik odbicia, retencja wodna, przepuszczalność powierzchni, użytkowanie terenu, roślinność).¹²



Rys. 4.1.5. Uproszczony schemat powiązań między systemami Źródło: Z. Kundzewicz, *Zmiany klimatu, ich przyczyny i skutki – obserwacje i projekcje*, [w:] *Landform Analysis*, Vol. 15: (2011)

O ile pierwsze trzy wymienione czynniki są naturalne i człowiek nie ma na nie wpływu, to już na pozostałe dwa elementy ma bardzo duży wpływ. Istnieją przesłanki potwierdzające tezę, że współczesne zmiany klimatu różnią się w sposób istotny od zmian wcześniejszych wywołanych wyłącznie czynnikami naturalnymi.¹³ Podczas wyjścia z ostatniej epoki lodowcowej na całej Ziemi żyło mniej ludzi niż dziś tylko w jednej z wielkich aglomeracji miejskich. Aktualnie naszą planetę zamieszkuje około 7 mld ludzi, którzy zużywają coraz więcej energii i drastycznie zmieniają użytkowanie terenu. Efektem tego są zmiany

¹² Z. Kundzewicz, *Zmiany klimatu, ich przyczyny i skutki – obserwacje i projekcje*, [w:] *Landform Analysis*, Vol. 15: (2011), s. 42.

¹³ S. Solomon, D. Qin, M. Manning, i in. (red.) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, Cambridge 2007, s. 92.

powierzchni Ziemi istotne w procesach przenoszenia masy i energii. W ciągu 200 lat, między rokiem 1800 a 2000, liczba ludności wzrosła 8-krotnie, emisje dwutlenku węgla 21-krotnie, produkcja energii pierwotnej 32-krotnie. Musimy również pamiętać, że węgiel z zasobów kopalnych, które powstawały w skorupie ziemskiej przez miliony lat, jest uwalniany obecnie do atmosfery w ogromnych ilościach w postaci gazu cieplarnianego – dwutlenku węgla. Trwa to od dziesięcioleci. Ziemski klimat ociepla się głównie z powodu wywołanego przez człowieka wzrostu stężenia atmosferycznego gazów cieplarnianych. Rosną emisje i atmosferyczne stężenie dwutlenku węgla (wskutek wzrostu spalania węgla, ropy i gazu, a także redukcji możliwości sekwestracji węgla przez roślinność, towarzyszącej wylesieniu), metanu (produkcja ryżu, hodowla, topnienie zmarzliny) i podtlenku azotu (rolnictwo).¹⁴

Zaobserwowano już ważne konsekwencje ocieplenia klimatu. Choć globalne zmiany klimatu utożsamia się potocznie ze wzrostem temperatury, w istocie zmieniają się wszystkie elementy sprzężonych systemów klimatu i zasobów wodnych, a w efekcie – także wielu systemów fizycznych, biologicznych i ludzkich (społeczno-ekonomicznych). Dotyczy to m.in. kriosfery, systemów wodnych, wybrzeży, klęsk żywiołowych, ekosystemów, rolnictwa i zdrowia. Bardzo silne zmiany wynikające z ocieplenia dostrzeżono powszechnie w kriosferze (lodowcach i lodach, pokrywie śnieżnej i zmarzlinie), która kurczy się wraz z postępującym ociepleniem. Lodowce cofają się z szybkością większą niż kiedykolwiek w ciągu ostatnich 5 tys. lat, a tempo topnienia rośnie w czasie. W efekcie wzrasta odpływ rzeczny, a woda morska wysładza się.¹⁵

4.1.4. POZYTYWNY WPŁYW CZŁOWIEKA NA ŚRODOWISKO

Do pozytywnych wpływów człowieka na środowisko należy uwzględnić następujące zachowania:

- wprowadzenie okresów ochronnych dla zwierząt (np. prawo łowieckie);
- otoczenie ochroną zagrożonych gatunków;
- hodowla zagrożonych gatunków w celu ratowania ich populacji;
- tworzenie Parków Narodowych i Rezerwatów Ścisłych
- zagospodarowanie nieużytków lub terenów zdegradowanych przez działania człowieka (np. wykopaliska, hałdy itp.)
- oczyszczanie ścieków;
- zalesianie terenów, ochrona wód, dokarmianie ptaków i innych zwierząt leśnych;
- powołanie służb i organizacji zajmujących się ochroną środowiska;
- recykling.¹⁶

¹⁴ Z. Kundzewicz, *Zmiany klimatu, ... op. cit., s. 42-43.*

¹⁵ *Ibidem, s. 44.*

¹⁶ K. Kopeć, *Człowiek w środowisku... op. cit., s. 67.*

Parki narodowe i rezerваты przyrody uznaje się za najwyższą formę ochrony środowiska przyrodniczego przez człowieka. Na obszarze objętym pieczęcią człowieka ochronie podlega cała przyroda ożywiona i nieożywiona, a zatem wszystkie występujące na danym obszarze rośliny, zwierzęta, ekosystemy, ich wzajemne oddziaływanie oraz woda, gleba i krajobraz. Ochrona takowa może być wykonywana w formie biernej (ochrona ścisła) lub w formie czynnej (ochrona częściowa). W obszarze gdzie mamy do czynienia z ochroną ścisłą nie wolno wykonywać żadnych czynności, a ochronie podlegają naturalnie przebiegające procesy przyrodnicze. Z kolei ochrona częściowa polega na wykonywaniu różnorodnych czynności ochronnych w danym ekosystemie, ale również służących ochronie zasobów kulturowych i historycznych.¹⁷

Przepisy dotyczące stref ochronnych dla zwierząt były wydane w Polsce w roku 1983, 1995, 2001 i 2004. W kolejnych rozporządzeniach liczba chronionych taksonów wrosła z 10 do 26. Jednolity dla wszystkich gatunków termin ochrony okresowej został zastąpiony 11 różnymi terminami. Identyczne dla wszystkich gatunków wielkości stref ochronnych zostały zastąpione wieloma różnymi wartościami. Jednak mimo znacznego wzrostu złożoności przepisów ochrona strefowa okazała się bardzo skutecznym sposobem ochrony rzadkich gatunków. Analiza ochrony strefowej np. ptaków szponiastych pokazuje nam, że jest to bardzo konkretna i skuteczna forma ochrony. Łączna powierzchnia wszystkich 2830 stref ochronnych wyznaczonych w Lasach Państwowych wynosi 174798 ha, co jest wielkością porównywalną z powierzchnią wszystkich parków narodowych w Polsce.¹⁸

Parki narodowe zaczęto tworzyć w Polsce tuż po drugiej wojnie światowej, chociaż tradycje ochrony prawnej na terenie pięciu z nich – Babiogórskiego, Białowieskiego, Pienińskiego, Tatrzańskiego i Wielkopolskiego – powstały już w latach trzydziestych ubiegłego wieku. Jako pierwszy po wojnie utworzony został w 1947 r. Białowieski Park Narodowy, a większość parków, tj. siedemnaście, powstała na mocy pierwszej powojennej ustawy o ochronie przyrody z 1949 r. Dalszych sześć powołano po 1990 r. na podstawie nowej ustawy z 1991 r. Najpóźniej, bo w 2001 r. powstał Park Narodowy Ujście Warty. Obecnie w Polsce działają dwadzieścia trzy parki narodowe, a planuje się utworzenie dalszych dziesięciu. Na przeszkodzie ich powołania stoi przede wszystkim brak zgody samorządów lokalnych, który stanowi jeden z wymogów obowiązującej obecnie ustawy o ochronie przyrody. Działające w Polsce 23 parki narodowe wyróżniają się stosunkowo niewielką, ale jednak zróżnicowaną powierzchnią – od ponad 2 tys. ha (Ojcowski Park Narodowy) do około 60 tys. ha (Biebrzański Park Narodowy) – średnio jest to powierzchnia ok. 13,8 tys. ha. W wyniku war-

¹⁷ J. Rażny, *Źródła finansowania parków narodowych*, [w:] *Zeszyty Naukowe Akademii Ekonomicznej w Krakowie nr 732*, Kraków 2007, s. 95.

¹⁸ P. Zieliński, D. Anderwald, *Ochrona strefowa zwierząt w Polsce – przegląd zmian w przepisach*, Łódź 2008, s. 233-2334.

tości przyrodniczych i krajobrazowych, zwłaszcza rejonów górskich, większość zlokalizowana jest na południu Polski.¹⁹



Rys. 4.1.6. Parki narodowe i krajobrazowe w Polsce Źródło: G. Rąkowski, *Parki narodowe w Polsce*, Warszawa 2009.

Od lat w Polsce trwają intensywne prace i działania inwestycyjne, których celem jest budowa, rozbudowa i modernizacja komunalnych oczyszczalni ścieków i systemów kanalizacji zbiorczej. Realizacja wymagań Dyrektywy Rady 91/271/EWG [1991] w aglomeracjach powyżej 15000 RLM następuje poprzez budowę zbiorczych oczyszczalni ścieków ze skutecznym usuwaniem azotu i fosforu. W mniejszych aglomeracjach stosowane są rozwiązania technologiczne zapewniające przynajmniej biologiczne oczyszczanie ścieków. Z kolei na

¹⁹ J. Partyka, *Ruch turystyczny w polskich parkach narodowych*, [w:] *Folia Turistica* 22 (2010), Kraków 2010., s. 9-13.

terenach wiejskich o rozproszonej zabudowie, gdzie budowa systemów kanalizacji zbiorczej jest niemożliwa ze względu na nadmierne koszty coraz szersze zastosowanie znajdują lokalne systemy unieszkodliwiania ścieków. W ostatnich latach oczyszczalnie przydomowe stają się coraz częściej jednym z podstawowych elementów infrastruktury technicznej terenów wiejskich²⁰

4.1.5. PODSUMOWANIE

Człowiek, który funkcjonuje w środowisku przyrodniczym niezależnie od swojej woli zawsze będzie je przekształcał. Musi bowiem korzystać z jego zasobów, aby przetrwać. Pomimo postępu w nauce i ciągłych prób uniezależnienia się człowieka od czynników naturalnych – człowiek i przyroda stanowią nierozłączny system, funkcjonujący w ścisłej zależności. W trakcie eksploatacji zasobów przyrodniczych, człowiek kieruje się zwykle bieżącymi potrzebami, nie uwzględniając dalszego kształtowania się rozwoju przyrody.

LITERATURA

- [1] Bańka A., Społeczna psychologia środowiskowa, Wydaw. Naukowe Scholar, Warszawa 2002.
- [2] Dumnicka E., Wpływ zanieczyszczeń środowiska na ekosystemy wodne [w:] M. Grzegorzczak (red.), Integralna ochrona przyrody, Kraków 2007
- [3] Głowaciński Z., O antropogenicznym wymieraniu gatunków [w:] M. Grzegorzczak (red.), Integralna ochrona przyrody, Kraków 2007.
- [4] Jozwiakowski K., Badania skuteczności oczyszczania ścieków w wybranych systemach gruntowo-roślinnych, [w:] Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich 1, Kraków 2012.
- [5] Kassenberg A., Marek M., Ekorozwój – istota i realność” [w:] A. Ginsberg-Gebert (red.) Ekonomiczne i socjologiczne problemy ochrony środowiska, Tom II, Wrocław–Warszawa–Kraków–Gdańsk–Łódź 1988.
- [6] Kistowski M., Regionalny model zrównoważonego rozwoju i ochrony środowiska Polski a strategię województw, Gdańsk–Poznań 2003.
- [7] Kopeć K., Człowiek w środowisku i związane z tym zagrożenia, [w:] Michalski T. (red). Zagrożenia we współczesnym świecie jako temat edukacji geograficznej”, Pelplin 2008.
- [8] Kundzewicz Z., Zmiany klimatu, ich przyczyny i skutki – obserwacje i projekcje, [w:] Landform Analysis, Vol. 15: (2011).

²⁰K. Jozwiakowski, "Badania skuteczności oczyszczania ścieków w wybranych systemach gruntowo-roślinnych". [w:] *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich 1*, Kraków 2012, s. 11-13.

-
- [9] Marsh D.P., 1864. *Man and Nature or, Physical Geography as Modified by Human Action*, New York, C. Scribner & Co., 560, <http://memory.loc.gov/cgi-bin/>
- [10] Ostaszewska K., "Miejsce człowieka w naturze – rekonstrukcja obrazu człowieka w geografii fizycznej" [w:] W. Maik, K. Rembowska, A. Suliborski (red.) *Człowiek w badaniach geograficznych*, Seria: Podstawowe idee i koncepcje w geografii, tom 2, Bydgoszcz 2006.
- [11] Partyka J., *Ruch turystyczny w polskich parkach narodowych*, [w:] *Folia Turistica* 22 (2010), Kraków 2010.
- [12] Pociask-Karteczka J., *Czy istnieją granice integracji człowieka w środowisko przyrodnicze?*, [w:] *Nauka a zarządzanie obszarem Tatr i ich otoczeniem*, tom III, Zakopane 2010.
- [13] Rażny J., *Źródła finansowania parków narodowych*, [w:] *Zeszyty Naukowe Akademii Ekonomicznej w Krakowie* nr 732, Kraków 2007.
- [14] Rąkowski G., *Parki narodowe w Polsce*, Warszawa 2009.
- [15] Solomon S., Qin D., Manning M, i in. (red.) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, Cambridge 2007.
- [16] Zieliński P., Anderwald D., *Ochrona strefowa zwierząt w Polsce – przegląd zmian w przepisach*, Łódź 2008.

4.2. INNOWACJE EKOLOGICZNE W PRZEDSIĘBIORSTWIE*

4.2.1. WSTĘP

Głównym źródłem rozwoju gospodarczego, każdego przedsiębiorstwa są innowacje. Dążenie do optymalizacji produkcji i zysków wiąże się nierozdzielnie ze zwiększeniem zużywanych surowców oraz z większym zanieczyszczeniem środowiska naturalnego. Reakcją na ten proces była idea ochrony środowiska, która powstała w drugiej połowie XIX wieku. Można zauważyć na przestrzeni ostatnich lat wzmożone jest zainteresowanie zasadą zrównoważonego rozwoju, jednak pomimo szerokiej debaty na ten temat w dalszym ciągu widać stale postępującą degradację środowiska naturalnego człowieka, która jest zagrożeniem dla istnienia życia na Ziemi. Źródła zanieczyszczeń można podzielić na:

- naturalne (na przykład powódzie, pożary, wybuchy wulkanów);
- sztuczne (na przykład przemysł energetyczny i transportowy).

Dlatego tak istotne jest wprowadzanie innowacji ekologicznych, których głównymi celami są:

- zmniejszenie zanieczyszczenia środowiska naturalnego człowieka,
- efektywne wykorzystanie zasobów naturalnych, w tym technologii wykorzystującej energię odnawialną.

Konieczne jest ich wprowadzenie zarówno w przedsiębiorstwach, które mają znaczny wpływ na poziom zanieczyszczenia środowiska jak i w domach mieszkalnych, gdzie pojedyncze jednostki nie mają aż takiego wpływu na stan środowiska jednak zsumowane wywierają ogromny wpływ.

Zgodnie z przyjętą systematyką innowacje ekologiczne możemy podzielić na techniczne, czyli produktowe i procesowe oraz na organizacyjne. Przepisy prawa regulują kwestie związane z korzystaniem z naturalnych zasobów Ziemi jak i wielkość emisji zanieczyszczeń jaka jest dopuszczalna. Wszelkie nowo powstałe innowacje ekologiczne muszą być zatem zgodne z obowiązującymi standardami i normami prawnymi. Istotne znaczenie odgrywają również ekologiczne innowacje techniczne, które w regulacjach prawnych określane jako instalacje – urządzenia albo zespoły urządzeń technicznych oraz technologie środowiskowe, które stymulują tworzenie innych innowacji, a także generują niższe

* *Autorzy: mgr Radosław LUFT, Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, Wydział Ekonomiczny; 26-600 Radom; ul. Chrobrego 31, e-mail: r.luft@uthrad.pl, mgr Urszula KRÓL, Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, Wydział Ekonomiczny, ul. Chrobrego 31, 26-600 Radom, e-mail: u.krol@uthrad.pl, mgr inż. Krzysztof MELKA, Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy, Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami, 00-805 Warszawa, ul. Chmielna 132/134, e-mail: krzysztof.melka@kobize.pl.*

zewnątrzne koszty środowiskowe.²¹ Relacje człowiek – środowisko są przedmiotem badań naukowych w ramach różnorodnych dyscyplin. „*Punktem wyjścia tych rozważań są kwestie z pogranicza filozofii, moralności, ekonomii, i prawa, dotyczące racjonalnego gospodarowania zasobami naturalnymi, poprawy stanu środowiska naturalnego i jego ochrony oraz regulacji i kształtowania postaw i zachowań ludzi oraz podmiotów w odniesieniu do środowiska naturalnego*”²².

4.2.2. POJĘCIE, ZAKRES I RODZAJE EKOINNOWACJI

Innowację możemy zdefiniować, jako wprowadzenie czegoś nowego, rzecz nowo wprowadzona, nowość, reforma. Zakres pojęcia „innowacja” może być różnie ujmowany. Najszerszą definicją jest określenie innowacji jako wprowadzenie do użytku nowych rzeczy, pomysłów lub sposobów postępowania. Zwyczajowo innowacja utożsamiana jest również ze zmianami technicznymi i rozumiana jest wówczas jako prowadzenie działalności badawczo-rozwojowej przez jednostki gospodarcze, której wynikiem są wynalazki, które są następnie na rynek. Obecnie pojęcie innowacji bardzo często odnosi się do rozwiązań organizacyjnych czy w dziedzinie ochrony środowiska.²³ Należy zaznaczyć, że innowacje wpływają na każdy aspekt naszego życia. Można je zauważyć w nowych rozwiązaniach dotyczących życia gospodarczego czy społecznego oraz w nowych prądach myślowych i kulturalnych.²⁴ Jedną z pierwszych definicji Ekoinnovazione określa je jako innowacje „przynoszące korzyści zarówno przedsiębiorcy, jak i konsumentowi, jednocześnie znacząco zmniejszając oddziaływanie na środowisko”.²⁵ Ekoinnovazione mogą być zatem postrzegane jako innowacje, które redukują negatywne oddziaływanie procesów gospodarczych na środowisko przyrodnicze oraz minimalizujące szkody w środowisku.²⁶

Innowacje ekologiczne możemy zdefiniować jako „wszelkie formy innowacji zmierzające do znacznego i widocznego postępu w kierunku realizacji celu w postaci zrównoważonego rozwoju, poprzez ograniczanie oddziaływania na środowisko lub osiąganie większej skuteczności i odpowiedzialności w zakresie wykorzystywania zasobów, w tym energii. Innowacja ekologiczna jest pojęciem ewoluującym, w związku z czym musi zapewniać możliwość reago-

²¹ M. Witkowska-Dąbrowska, A. Napiórkowska-Bryła, *Ochrona środowiska a innowacje*, wyd. EXPOL, Olsztyn 2014, s. 7.

²² M. Rudnicki, *Prawne i ekonomiczne dylematy zrównoważonego rozwoju w dobie ogólnoświatowego kryzysu* [w:] *Studia Ecologiae et Bioethicae* 7 (2009) 2, KUL, Lublin, s. 63

²³ B.T. Kalinowski, „Innowacyjność przedsiębiorstw a systemy zarządzania jakością”, Wyd. Wolters Kluwers, Warszawa, 2010, s. 34-35.

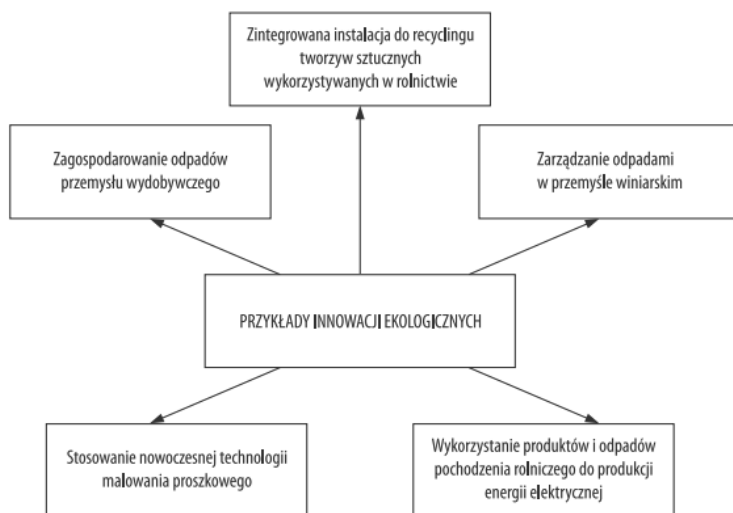
²⁴ J. Prystrom, *Innowacyjność „kluczem do sukcesu” – przykład Volvo Car Corporation*, [w:] „*Optimum. Studia Ekonomiczne*” 2008 nr 2 (38), s. 153.

²⁵ C. Fussler, T. James, *Eco-innovation: A Breakthrough Discipline for Innovation and Sustainability*, Pitman Publishing, London 1996, s. 86.

²⁶ M. Kanerva, A. Arundel, R. Kemp, *Environmental innovation: Using qualitative models to identify indicator for policy*, United Nations University Working Papers Series, Maastricht 2009, s. 45.

wania na zmiany.”²⁷ Istotnym jest fakt, że innowacje ekologiczne służą przede wszystkim zapobieżeniu bądź redukcji niszczących oddziaływań ludzkich, pozwalają w pewnym stopniu zmniejszyć degradację środowiska, a także monitorować problemy ekologiczne.²⁸ W celu zmniejszenia oddziaływania na środowisko naturalne przez człowieka konieczna jest zmiana wzorców konsumpcji i produkcji oraz rozwijanie technologii, produktów i usług ograniczających oddziaływanie na środowisko.²⁹

Innowacyjność ekologiczna jest tak niezwykle istotna, ponieważ zgodnie z raportem WWF „*Living Planet 2010*”, który prezentuje wpływ działalności ludzkiej na środowisko przyrodnicze w skali światowej, informuje, że od 1961 wskaźnik śladu ekologicznego działalności ludzkiej wzrósł ponad dwukrotnie, a dla wyprodukowania surowców zużywanych przez ludzkość w ciągu jednego roku Ziemia potrzebuje półtora roku. „*Żyjemy na ekologiczny kredyt. Jeśli nic się nie zmieni, w 2030 roku będziemy potrzebować dwóch, a w 2050 prawie trzech kul ziemskich, żeby zaspokoić nasze potrzeby*”.³⁰



Rys. 4.2.1. Przykłady innowacji ekologicznych

Źródło: J. Prystrom, „*Innowacje ekologiczne a ochrona środowiska wobec wyzwań XXI wieku na przykładzie strategii Unii Europejskiej*”, [w:] *Ekonomia i Środowisko 1* (44) 2013, s. 83.

²⁷ B.T. Kalinowski, „*Innowacyjność przedsiębiorstw... op. cit. s. 54.*

²⁸ *Drivers of environmental innovation, VINNOVA – Verket för Innovationssystem, Stockholm och Energimyndigheten, Stockholm 2001, s. 11.*

²⁹ *Eco-Innovation 2008-2013. Gdy biznes i środowisko idą w parze, www.ppts.pl [27-009-20016]*

³⁰ K. Araszkiewicz, *Innowacje ekologiczne a konkurencyjność gospodarki regionu, Praca doktorska, Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu, Wydział Zarządzania, Poznań 2012, s. 5.*

Innowacje ekologiczne dostarczają konsumentom i przedsiębiorcom pewnej oczekiwanej wartości, przy równoczesnym zmniejszeniu wpływu na środowisko naturalne, dlatego też bywają nazywane innowacjami środowiskowymi. Możemy wyróżnić następujące odmiany innowacji ekologicznych:

- innowacje zmniejszające negatywny wpływ na środowisko,
- innowacje rozwiązujące problemy środowiskowe,
- innowacje rozwijające Ekowydajne produkty lub usługi.³¹



Rys. 4.2.2. Relacje zachodzące pomiędzy strategią zrównoważonego rozwoju, a innowacjami ekologicznymi.

Źródło: M. Matejun, Zarządzanie innowacjami ekologicznymi we współczesnym przedsiębiorstwie, [w:] Grądzki R., Matejun M. (red.), *Rozwój zrównoważony – zarządzanie innowacjami ekologicznymi*, Wydawnictwo Media Press, Katedra Podstaw Techniki i Ekologii Przemysłowej PŁ, Łódź 2009, s. 21.

Zgodnie z najpopularniejszymi kwalifikacjami Ekoinnowacji możemy wyodrębnić technologiczne, społeczne, organizacyjne i instytucjonalne Ekoinnowacje. Innowacje ekologiczne mogą obejmować nowości z zakresu technicznego i nietechnicznego. Nowości nie technologiczne dotyczą m.in.:

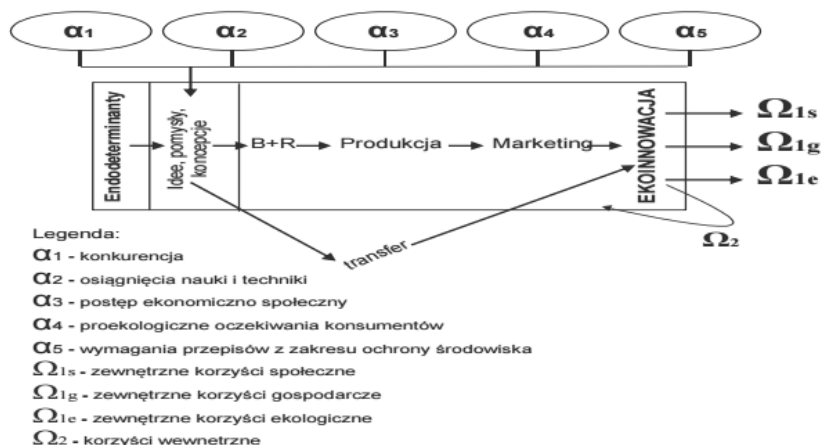
- nowości wprowadzonych w przedsiębiorstwie,
- zmian po stronie użytkownika,
- zmian instytucjonalnych i kulturowych.³²

³¹ A.H. Jasiński, R. Ciborowski, *Ekonomika i zarządzanie innowacjami w warunkach zrównoważonego rozwoju*, Wydawnictwo Uniwersytetu w Białymstoku, Białystok 2012, s. 72.

³² J. Korkosz-Gębska, *Wspieranie i promocja innowacji ekologicznych na przykładzie województwa lubelskiego*, [w:] *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Finanse i rachunkowość na rzecz zrównoważonego rozwoju – odpowiedzialność, etyka, stabilność finansowa Tom 1. Finanse*, nr 395., Wrocław 2015, s. 171

4.2.3. ZARZĄDZANIE EKOINNOWACJAMI W PRZEDSIĘBIORSTWIE

Przedsiębiorstwa w dzisiejszych czasach coraz częściej stają w obliczu zmieniających się warunków gospodarowania na które składa się szereg procesów, przede wszystkim o globalnym charakterze. Zaliczyć do nich możemy między innymi: unifikację standardów i homogenizację zachowań konsumentów, liberalizację wymiany handlowej w wymiarze międzynarodowym, postęp w sferze informatyzacji oraz transformację w kierunku społeczeństwa informacyjnego i gospodarki opartej na wiedzy. Niestety owym zmianą często towarzyszy postępująca degradacja środowiska naturalnego, która tworzy liczne bariery w rozwoju gospodarczym. Dlatego wielu przedsiębiorców decyduje się na wprowadzenie zmian w systemie zarządzania przedsiębiorstwem. Jednym z najistotniejszych ze względu na ochronę środowiska naturalnego kierunków tych zmian jest zwrócenie uwagi na ekologiczny kontekst zarządzania oraz – szerzej – na potrzebę kształtowania świadomości ekologicznej i urzeczywistnienia idei rozwoju zrównoważonego w funkcjonowaniu współczesnych przedsiębiorstw.³³



Rys. 4.2.3. Zewnętrzne i wewnętrzne determinanty działalności Ekoinnowacyjnej przedsiębiorstw

Źródło: L. Kaźmierczak-Piwko, *Determinanty działalności ekoinnowacyjnej przedsiębiorstw* [w:] *Zarządzanie i Finanse*, Tom 1, cz. 2., wyd. Uniwersytet Gdański, Gdańsk 2012, s.538.

³³ M. Matejun, *Zarządzanie innowacjami ekologicznymi we współczesnym przedsiębiorstwie*, [w:] Grądzki R., Matejun M. (red.), *Rozwój zrównoważony - zarządzanie innowacjami ekologicznymi*, Wydawnictwo Media Press, Katedra Podstaw Techniki i Ekologii Przemysłowej PŁ, Łódź 2009, s. 19

Celem wprowadzania w przedsiębiorstwach EkoInnowacji jest rozwoju nowych produktów i procesów, które dostarczają zarówno konsumentowi, jak i biznesowi wartości, a także w istotnym stopniu zmniejszają negatywne oddziaływanie środowiskowe. Należy zaznaczyć, że są one uznawane za innowacje złożone z nowych procesów, technik, praktyk, systemów, produktów, które umożliwiają uniknięcie lub zredukowanie uciążliwości wobec środowiska lub pozwalają osiągnąć wyższą wydajność środowiskową.³⁴ Takie pojmowanie innowacji ekologicznych wymagają celowego i skoordynowanego podejścia realizowanego na poziomie przedsiębiorstwa, rozumianego jako proces zarządzania innowacjami ekologicznymi. Klasyczne definicje zarządzania opisujące jego istotę odwołują się do pewnych stałych elementów tego zjawiska, np.:

- celów, jakim ma służyć zarządzanie,
- funkcji zarządzania,
- przedmiotu (obiektu) zarządzania,
- podmiotów zarządzających,
- narzędzi i instrumentów wykorzystywanych w procesie zarządzania,
- efektów, jakie ma przynosić zarządzanie.³⁵

Działalność EkoInnowacyjną w przedsiębiorstwach należy rozumieć „jako uporządkowany zbiór działań w ujęciu funkcjonalnym (planowanie i podejmowanie decyzji, organizowanie, przeprowadzenie i kontrolowanie), skierowanych na za-soby organizacji (ludzkie, finansowe, rzeczowe i niematerialne, w tym informacyjne), dla osiągnięcia zamierzonych celów organizacji w zakresie: wyboru techniki, technologii i organizacji, pozyskiwania wiedzy i innowacji oraz ich wykorzystania w sposób sprawny, skuteczny i wpisujący się w zasady koncepcji zrównoważonego rozwoju. Zarządzanie innowacjami ekologicznymi na poziomie przedsiębiorstwa stanowi subdyscyplinę i konkretyzację działalności innowacyjnej w zakresie ekologii i aktywności przyjaznej środowisku realizowanej przez organizację.”³⁶ Natomiast jeżeli chodzi o cel, w celu osiągnięciu którego stosuje się EkoInnowacje w przedsiębiorstwie, to możemy go rozważać na różnych poziomach: strategicznym, taktycznym, a także operacyjnym. Wśród celów zarządzania innowacjami ekologicznymi należy wymienić:

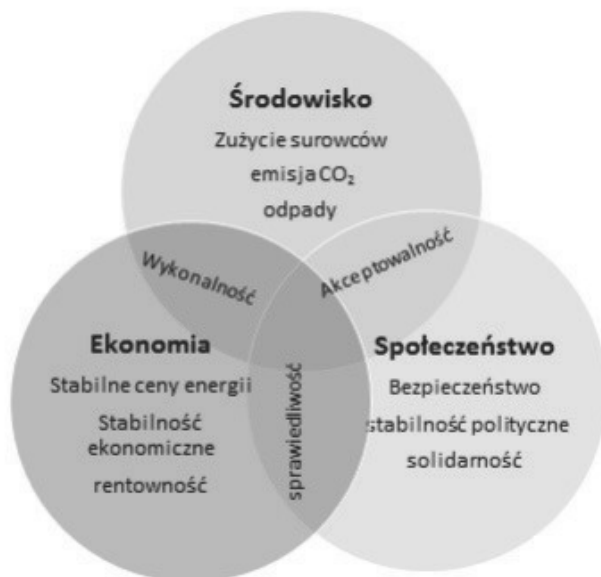
- zmniejszenie, zapobieganie lub eliminację negatywnego oddziaływania przedsiębiorstwa na środowisko naturalne,
- wsparcie dla realizowanej strategii zrównoważonego rozwoju,
- poprawę wyników ekonomicznych i sprawności prowadzonej działalności,
- poprawę reputacji przedsiębiorstwa i jego wizerunku w otoczeniu.³⁷

³⁴ E. Jamroz-Dzięcioł, P. Jura, Biopaliwa jako „ekoinnowacyjny” element strategii rozwoju Wspólnoty, http://ekologia-info.eu/index.php?lang=1&menu=1&menu_select=12&podmenu_select=89#!, z dnia 29.09.2016.

³⁵ M. Matejun, Zarządzanie innowacjami ekologicznymi..., op. cit., s. 23.

³⁶ Loc cit.

³⁷ Ibidem, s. 23-24.



Rys. 4.2.4. Trzy główne obszary wpływające na poziom zrównoważenia światowej gospodarki

Źródło: E.M. Siedlecka, *Ekoinnowacje w technologii i organizacji przedsiębiorstw*, wyd. Uniwersytet Gdański, Gdańsk 2014, s. 10.

W tematyce zarządzanie Ekoinnowacjami w przedsiębiorstwach niezwykle ważną rolę odgrywają instrumenty i narzędzia, które są po temu wykorzystywane. Do wybranych instrumentów zarządzania ekologicznego w organizacji można zaliczyć m.in.:

- systemy zarządzania środowiskowego, zarówno według norm międzynarodowych, np. EMAS, ISO serii 14000, jak również bazujące na innych podstawach, np. program Responsible Care,
- narzędzia dokonywania przeglądu środowiskowego (ekologicznego),
- ocenę oddziaływania na środowisko (EIA),
- ekologiczne projektowanie cyklu życia wyrobu (LCD lub DFE),
- bilans ekologiczny (ekolobilans),
- środowiskową ocenę miejsc i organizacji (EASO),
- audyt środowiskowy,
- metody wielokryterialnego podejmowania decyzji,
- metody modelowania i symulacji,
- metody heurystyczne, np. burza mózgów.³⁸

³⁸ I. Nowak, *Zarządzanie ekologiczne w organizacji*, [w:] Kowalczewski W., Matwiejczuk W. (red.): *Aktualne problemy zarządzania organizacjami*, wyd. Difin, Warszawa 2008, s. 301-303.

4.2.4. TECHNOLOGIE OCHRONY ŚRODOWISKA A EKOINNOWACJE

Technologie środowiskowe (*environmental sounds technology*) umożliwiają minimalizację emisji zanieczyszczeń, a także oszczędne wykorzystywanie istniejących zasobów naturalnych, w przypadku których istnieje ryzyko wyczerpania. Należy zaznaczyć, że są to nie tylko technologie produkcji, lecz całe systemy technologiczne, procesy produkcyjne, wyroby, obsługa, urządzenia oraz procedury organizacyjne i zarządzanie. Działania na rzecz technologii środowiskowych, które są prowadzące w celu zwiększenia potencjału innowacji ekologicznych i ich znaczenia, stanowią istotny element wzmocnienia polityki ochrony środowiska oraz polityki innowacyjnej państwa. Dążą one do efektywnego wykorzystania potencjału technologii dla realizacji wyzwań ekologicznych, przy jednoczesnym zachowaniu wzrostu gospodarczego i poprawy konkurencyjności.³⁹ Istotnym jest fakt, że w ostatnim dziesięcioleciu europejski sektor przemysłu ekologicznego odnotowuje około 5% wzrost roczny i bezpośrednio zatrudnia ponad 2 mln ludzi. Zgodnie z Planem Działania w dziedzinie Technologii Środowiskowych (ETAP) priorytetowe obszary tematyczne dla technologii środowiskowych to:

- ochrona zasobów wód – kształtowanie i ochrona zasobów wodnych, korzystanie z wód oraz zarządzanie zasobami wodnymi;
- ochrona powietrza i przeciwdziałanie powstawaniu globalnych zmian klimatu, w tym inżynieria ekologiczna dla ochrony bioróżnorodności;
- zrównoważona produkcja i konsumpcja, w tym zintegrowana polityka produktowa;
- ochrona gleb;
- rozwój badań o tematyce przekrojowej, mieszczącej się w wyżej wymienionych czterech polach badawczych.⁴⁰

W ramach planów Unii Europejskiej w tematyce rozwoju technologii ochrony środowiska duży nacisk kładzie się na przejściu od badań do rynku, poprawie warunków na rynku oraz wspieraniu odpowiedzialnych inwestycji w technologie ochrony środowiska w krajach rozwijających się. Wskazać tu należy m.in. tworzenie platform technologicznych, które promują współpracę badaczy oraz przedsiębiorstw. Ich celem jest przede wszystkim rozwijanie długoterminowej wizji potrzeb w dziedzinie badań naukowych i rozwoju rynku oraz mobilizacja środków finansowych na nowe technologie i proekologiczne zamówienia organów publicznych.⁴¹

³⁹ J. Prystrom, „Innowacje ekologiczne a ochrona środowiska...”, *op. cit.*, s. 87.

⁴⁰ Program wykonawczy do krajowego planu działań na rzecz technologii środowiskowych na lata 2007-2009 z uwzględnieniem perspektywy na lata 2010-2012, Ministerstwo Środowiska, Warszawa 2007, s. 4, www.mos.gov.pl

⁴¹ J. Prystrom, „Innowacje ekologiczne a ochrona środowiska...”, *op. cit.*, s. 87-88.

4.2.5. PODSUMOWANIE

Procesy globalizacyjne, rozwój gospodarek kosztem degradacji środowiska naturalnego wymuszają zachowania innowacyjne, zarówno krajowych podmiotów gospodarczych, działań rządów poszczególnych państw, sfery społecznej, jak również aktywności na rzecz ochrony środowiska naturalnego. Wzrost zainteresowania dbałością o środowisko naturalne jest dziś tendencją ogólnoswiatową. Obecnie interpretujemy Ekoinnowacje jako sposobu rozwiązywania obecnych i przyszłych problemów, do których niewątpliwie należą np. zmiany klimatyczne. Podejmowanie inicjatywy w zakresie wdrażania Ekoinnowacyjności niewątpliwie wpłynie na poprawę stanu środowiska w całym kraju jak i w poszczególnych regionach poprzez zwiększenie efektywności wykorzystania surowców i posiadanych zasobów, zwłaszcza odnawialnych źródeł energii. Obiecujący jest również fakt, iż zainteresowanie Ekoinnowacjami zauważalne jest nie tylko wśród przedsiębiorców ale również w gospodarstwach domowych.

LITERATURA

- [1] Araszkiwicz K., Innowacje ekologiczne a konkurencyjność gospodarki regionu, Praca doktorska, Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu, Wydział Zarządzania, Poznań 2012.
- [2] Drivers of environmental innovation, VINNOVA – Verket för Innovationssystem, Stockholm och Energimyndigheten, Stockholm 2001.
- [3] Fussler C., James T., „Eco-innovation: A Breakthrough Discipline for Innovation and Sustainability”, Pitman Publishing, London 1996.
- [4] Jamrozy-Dzięcioł E., Jura P, Biopaliwa jako „ekoinnowacyjny” element strategii rozwoju Wspólnoty, http://ekologia-info.eu/index.php?lang=1&menu=1&menu_select=12&podmenu_select=89#!, z dnia 29.09.2016.
- [5] Jasiński A.H., Ciborowski R., *Ekonomika i zarządzanie innowacjami w warunkach zrównoważonego rozwoju*, Wydawnictwo Uniwersytetu w Białymstoku, Białystok 2012.
- [6] Kalinowski B. T., *Innowacyjność przedsiębiorstw a systemy zarządzania jakością*, Wyd. Wolters Kluwers, Warszawa, 2010.
- [7] Kanerva M., Arundel A., Kemp R., *Environmental innovation: Using qualitative models to identify indicator for Policy*, United Nations University Working Papers Series, Maastricht 2009.
- [8] Kaźmierczak-Piwko L., *Determinanty działalności ekoinnowacyjnej przedsiębiorstw [w:] Zarządzanie i Finanse, Tom 1, cz. 2.*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2012
- [9] Korkosz-Gębska J., *Wspieranie i promocja innowacji ekologicznych na przykładzie województwa lubelskiego, [w:] Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Finanse i rachunkowość na rzecz zrównoważonego*

- ważonego rozwoju – odpowiedzialność, etyka, stabilność finansowa Tom 1. *Finanse*, nr 395., Wrocław 2015.
- [10] Matejun M., Zarządzanie innowacjami ekologicznymi we współczesnym przedsiębiorstwie, [w:] Grądzki R., Matejun M. (red.), *Rozwój zrównoważony – zarządzanie innowacjami ekologicznymi*, Wydawnictwo Media Press, Katedra Podstaw Techniki i Ekologii Przemysłowej PŁ, Łódź 2009.
- [11] Nowak I., Zarządzanie ekologiczne w organizacji, [w:] Kowalczewski W., Matwiejczuk W. (red.): *Aktualne problemy zarządzania organizacjami*, Wydawnictwo Difin, Warszawa 2008.
- [12] Prystrom J., Innowacje ekologiczne a ochrona środowiska wobec wyzwań XXI wieku na przykładzie strategii Unii Europejskiej, [w:] *Ekonomia i Środowisko* 1 (44) 2013
- [13] Prystrom J., Innowacyjność „kluczem do sukcesu” – przykład Volvo Car Corporation, [w:] *Optimum. Studia Ekonomiczne* 2008 nr 2 (38).
- [14] Rudnicki M., 2009, Prawne i ekonomiczne dylematy zrównoważonego rozwoju w dobie ogólnoswiatowego kryzysu [w:] *Studia Ecologiae et Bioethicae* 7 (2009) 2, KUL, Lublin.
- [15] Siedlecka E.M., *Eko-innowacje w technologii i organizacji przedsiębiorstw*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2014
- [16] Witkowska-Dąbrowska M., Napiórkowska-Bryła A., *Ochrona środowiska a innowacje*, Wydawnictwo EXPOL, Olsztyn 2014.
- [17] *Eco-Innovation 2008-2013. Gdy biznes i środowisko idą w parze*, www.ppts.pl [27-009-20016].