

EKSPERTYZA

„Mapa rozwoju dyscypliny Elektrotechnika”

Komitet Elektrotechniki PAN

Warszawa 2013

Spis treści

1. Wstęp	6
<i>Opracował:</i> <i>prof. dr hab. inż. Tadeusz Cítko, Politechnika Białostocka</i>	
2. Stan i perspektywy rozwoju badań naukowych oraz postępu technicznego	7
2.1. Materiały i Technologie Elektrotechniczne	7
<i>Opracował:</i> <i>prof. dr hab. inż. Ryszard Kacprzyk, Politechnika Wroclawska</i>	
<i>Uzupełnienia i uwagi:</i> <i>dr hab. Marek Florkowski, Korporacyjne Centrum Badawcze ABB</i> <i>prof. dr hab. Stanisław Gubański, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden</i> <i>dr inż. G. Paściak, Politechnika Wroclawska</i> <i>dr hab. inż. J. Rezmer, Politechnika Wroclawska</i> <i>prof. dr hab. Jacek Wańkiewicz, Instytut Energetyki, Warszawa</i> <i>prof. dr hab. Wiesław Wilczyński, Instytut Elektrotechniki Warszawa</i> <i>prof. dr hab. Romuald Włodek, AGH, Kraków</i>	
2.1.1. Materiały elektryczne	7
2.1.1.1. Tendencje światowe	7
2.1.1.2. Stan i perspektywy w Polsce.....	9
2.1.2. Elektrotechnologie	10
2.1.2.1. Tendencje światowe	10
2.1.2.2. Stan i perspektywy w Polsce.....	11
2.2. Elektrotermia i Technika Oświetleniowa	11
<i>Opracował:</i> <i>prof. dr hab. inż. Mieczysław Hering, Politechnika Warszawska</i>	
2.2.1. Wprowadzenie	11
2.2.2. Tendencje światowe	12
2.2.3. Perspektywiczne zadania badawcze w Polsce	13
2.2.3.1. Elektrostalownictwo	13
2.2.3.2. Elektrometalurgia żelazostopów	14
2.2.3.3. Odlewnictwo	14
2.2.3.4. Elektrotermia w przemysłach maszynowym, spożywczym, tekstylnym i środków transportu	14
2.2.3.5. Elektrotermiczne techniki obróbki odpadów trudnoobrabialnych.....	15
2.2.3.6. Ogrzewnictwo elektryczne.....	15
2.3. Energoelektronika i napęd elektryczny	16
<i>Opracował:</i> <i>prof. dr hab. inż. Stanisław Piróg, Akademia Górniczo Hutnicza.</i>	
2.3.1. Stan obecny i trendy rozwojowe	16
2.3.2. Potencjał badawczy wyższych szkół technicznych	19
2.3.3. Energoelektronika i napęd elektryczny a przemysł krajowy	19
2.4. Maszyny Elektryczne i Transformatory	19
<i>Opracował:</i> <i>prof. dr hab. inż. Tadeusz Glinka, Politechnika Śląska</i> <i>prof. dr hab. inż. Kazimierz Zakrzewski, Politechnika Łódzka</i>	
2.4.1. Wprowadzenie	19
2.4.2. Tendencje światowe	19
2.4.3. Perspektywiczne zadania badawcze w Polsce.....	19

2.4.3.1.	Maszyny elektryczne.....	19
2.4.3.2.	Transformatory	21
2.4.4.	Diagnostyka eksploatacyjna dużych transformatorów w Polsce.....	22
2.4.4.1.	Wprowadzenie	22
2.4.4.2.	Zagrożenia eksploatacyjne.....	23
2.4.4.3.	Wyładowania niezupełne	23
2.4.4.3.1.	Metody elektryczne	24
2.4.4.3.2.	Metoda emisji akustycznej	25
2.4.4.4.	Chromatografia gazowa	26
2.4.4.5.	Diagnostyka przełączników zacze­pów	28
2.4.4.6.	Diagnostyka izolatorów	30
2.4.4.7.	Metoda FRA.....	31
2.4.4.8.	Wnioski	32
2.4.5.	Aktualna problematyka konstrukcyjno-technologiczna transformatorów największych mocy i napięć	34
2.4.5.1.	Rozwój produkcji transformatorów w Polsce [7,8,9,10,11]	34
2.4.5.2.	Podstawowe rodzaje transformatorów o parametrach ekstremalnych [1,2,18,20]	37
2.4.5.2.1.	Wyprowadzenie mocy z elektrowni	37
2.4.5.2.2.	Łączenie linii wysokich napięć prądu przemiennego.....	37
2.4.5.2.3.	Łączenie systemów prądu przemiennego i stałego	38
2.4.5.2.4.	Regulacja przepływu mocy w liniach przesyłowych i połączonych systemach	40
2.4.5.3.	Technologia transformatorów mocy	43
2.4.5.3.1.	Rdzenie magnetyczne [14]	43
2.4.5.3.2.	Materiały przewodowe	43
2.4.5.3.3.	Układy izolacyjne-ciecze i izolacja stała [11,14,15].....	44
2.4.5.3.4.	Technologia transformatorów [14].....	44
2.4.5.3.5.	Konstrukcja a wytrzymałość zwarcio­wa transformatorów [5,11].....	45
2.4.5.3.6.	Wytrzymałość dielektryczna [3,4,19]	45
2.4.5.3.7.	Wytrzymałość termiczna [19]	46
2.4.5.3.8.	Kierunki działań przyszłościowych na świecie o charakterze materiałowym [14,26]	46
2.4.5.4.	Prace badawczo rozwojowe	47
2.4.5.4.1.	Problematyka elektromagnetyczna w projektowaniu [11,14,23,24,25].....	47
2.4.5.4.2.	Badania w eksploatacji [19]	49
2.4.5.5.	Zakończenie	50
2.5.	Trakcja Elektryczna i Napęd Elektryczny Pojazdów	51

Opracował:

dr hab. inż. Krzysztof Karwowski, prof. PG, Politechnika Gdańska

dr hab. Grzegorz inż. Skarpetowski, Politechnika Krakowska

prof. dr hab. inż. Adam Szeląg, Politechnika Warszawska

2.5.1.	Wstęp	51
2.5.2.	Strategiczna rola trakcji elektrycznej	52
2.5.3.	Trakcja sieciowa	53
2.5.3.1.	Trakcja kolejowa.....	53
2.5.3.2.	Trakcja elektryczna w komunikacji miejskiej	54
2.5.3.3.	Trakcja podmiejska	56
2.5.4.	Trakcja autonomiczna.....	56
2.5.5.	Obwody główne pojazdów z napędem elektrycznym	56
2.5.6.	Trakcja elektryczna a przemysł krajowy	57
2.5.7.	Preferowane kierunki badań	58

2.5.7.1.	Preferowane kierunki badań w Polsce	58
2.5.7.2.	Preferowane kierunki prac na kolei	58
2.5.7.3.	Preferowane kierunki prac w obszarze komunikacji miejskiej/podmiejskiej	59
2.6.	Wielkie Moce i Wysokie Napięcia	59
	<i>Opracował:</i>	
	<i>dr inż. Jerzy Bielecki, Instytut Energetyki Warszawa,</i>	
	<i>prof. dr hab. inż. Barbara Florkowska, AGH Kraków,</i>	
	<i>dr hab. inż. Marek Florkowski, ABB Polska,</i>	
	<i>dr hab. inż. Jakub Furgal, prof. AGH Kraków,</i>	
	<i>prof. dr inż. Stanisław Gubański, Chalmers Univ.,</i>	
	<i>mgr inż. Dariusz Lubera, TAURON Polska,</i>	
	<i>dr hab. inż. Grzegorz Masłowski, prof. Polit. Rzeszowska,</i>	
	<i>mgr inż. Stanisław Onak, ZAPEL Boguchwała,</i>	
	<i>dr hab. inż. Piotr Borkowski, prof. Polit. Łódzka,</i>	
	<i>prof. dr hab. inż. Jerzy Skubis, Polit. Opolska,</i>	
	<i>prof. dr hab. inż. Jacek Wańkiewicz, Instytut Energetyki Warszawa,</i>	
	<i>prof. dr hab. inż. Romuald Włodek, Polit. Rzeszowska,</i>	
	<i>dr hab. inż. Paweł Zydróż, AGH Kraków</i>	
2.6.1.	Wstęp	59
2.6.2.	Modernizacja konstrukcji elementów systemu elektroenergetycznego	61
2.6.3.	Niezawodność elementów układu elektroenergetycznego	62
2.6.4.	Podstawowe źródła teoretyczne.....	64
2.6.5.	Charakterystyka metodyczna.....	64
2.6.6.	Przykłady wybranych problemów teoretycznych.....	65
2.7.	Zagadnienia związane z przebudową energetyki	65
	<i>Opracował:</i>	
	<i>prof. dr hab. Jan Popczyk, Politechnika Śląska</i>	
2.7.1.	Główna teza	65
2.7.2.	Intensyfikacja wykorzystania zasobów SEE	66
2.7.3.	Energetyka prosumencka.....	66
2.7.4.	Prąd stały – renesans.....	67
2.7.5.	Współczesna przebudowa energetyki jako szansa rozwojowa dla elektryki (elektrotechniki)	68
3.	Problemy dotyczące kształcenia wykwalifikowanych kadr	70
3.1.	Kształcenie na kierunku Elektrotechnika	70
	<i>Opracował:</i>	
	<i>prof. dr hab. inż. Stanisław Bolkowski, Politechnika Warszawska</i>	
3.1.1.	Umiejscowienie kierunku ELEKTROTECHNIKA w obszarze kształcenia.....	70
3.1.2.	Cel ogólny kształcenia	70
3.1.3.	Ocena aktualnie realizowanych studiów dwustopniowych	70
3.1.4.	Propozycje zmian	72
3.2.	Stan kadrowy, kształcenie oraz rozwój zawodowy specjalistów w Trakcji Elektrycznej	73
	<i>Opracował:</i>	
	<i>dr hab. inż. Krzysztof Karwowski, prof. PG, Politechnika Gdańska</i>	
	<i>dr hab. Grzegorz inż. Skarpetowski, Politechnika Krakowska</i>	
	<i>prof. dr hab. inż. Adam Szeląg, Politechnika Warszawska</i>	
3.2.1.	Krótką diagnoza stanu	73

3.2.2.	Kształcenie kadr	74
3.2.3.	Kierunki poprawy sytuacji dotyczącej kształcenia kadr.....	77
3.2.4.	Perspektywa krótkoterminowa	78
3.2.5.	Trakcja elektryczna i automatyka kolejowa w uczelniach technicznych i instytutach naukowych.....	80
3.2.5.1.	Trakcja elektryczna	80
3.2.5.2.	Automatyka kolejowa	82
3.3.	Problemy kształcenia kadr inżynierskich dla Energoelektroniki i napędu elektrycznego w Polsce.....	82

Opracował:

prof. dr hab. inż. Krzysztof Zawirski, Politechnika Poznańska.

3.4.	Edukacja w zakresie Elektrotechniki.....	84
-------------	---	-----------

Opracował:

prof. dr hab. inż. Romuald Włodek, Politechnika Rzeszowska,

Redakcja techniczna

dr inż. Mariusz Barański, Politechnika Poznańska

1. Wstęp

W nawiązaniu do §1 ust.1. pkt.1. Regulaminu Komitetu Elektrotechniki PAN – „Komitet w szczególności może: wyrazić opinię we wszystkich sprawach istotnych dla nauki i rozwoju społeczno-gospodarczego kraju w zakresie działania Komitetu”.

Do istotnych uwarunkowań określających rozwój społeczno-gospodarczy związany z każdą dyscypliną należą:

1. Zasoby wiedzy wynikające ze stanu prowadzonych badań naukowych będące podstawą planowania i projektowania przedsięwzięć.
2. Zapotrzebowanie społeczno-gospodarcze na rezultaty przedsięwzięć określane wielkością rynku zbytu.
3. Zasoby kapitałowe powiązane z rachunkiem ekonomicznym określającym rentowność i ryzyko ekonomiczne przedsięwzięcia.
4. Zasoby kadrowe w tym szczególnie kadry wysokokwalifikowanej.
5. Polityka Państwa wynikająca z konieczności ochrony środowiska, potrzeby realizacji zrównoważonego rozwoju kraju, itd.

W zakresie kompetencji KE PAN znajduje się 1 i 4 z wymienionych uwarunkowań. Stąd niniejsze opracowanie jest w szczególności poświęcone tym dwóm uwarunkowaniom. Przedstawia ono stan i potrzeby rozwoju badań naukowych oraz postępu technicznego, a także problemy dotyczące procesu kształcenia wysokokwalifikowanych kadr w Polsce na tle tendencji obserwowanych w świecie. Jest to materiał wyjściowy do rozwinięcia i wykorzystania przez Instytucje i Organizacje zaangażowane w proces społeczno-gospodarczego rozwoju kraju. Stąd adresatami opracowania są: Polska Akademia Nauk (prezydium, Wydział IV PAN, wybrane komitety naukowe i problemowe), minister właściwy ds. gospodarki, minister właściwy ds. nauki i szkolnictwa wyższego, prezes Urzędu Regulacji Energetyki, Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, Narodowe Centrum Nauki, wydziały elektryczne uczelni technicznych, instytuty przemysłowe i branżowe, zarządy największych spółek elektroenergetycznych i producenci urządzeń elektroenergetycznych.

Opracowanie jest rezultatem dyskusji przeprowadzonych w ramach poszczególnych sekcji KE, a główni Autorzy są wymienieni w poszczególnych rozdziałach powiązanych ze specjalizacją każdej z sekcji.

2. Stan i perspektywy rozwoju badań naukowych oraz postępu technicznego

2.1. Materiały i Technologie Elektrotechniczne

2.1.1. Materiały elektryczne

Materiały elektryczne, coraz częściej nazywane elektro-magnetycznymi obejmują zarówno materiały stosowane w elementach i urządzeniach tradycyjnych, odgrywających nadal podstawową rolę w wytwarzaniu, przesyłaniu oraz konsumpcji energii elektrycznej jak również materiały stosowane w nowych rozwiązaniach lub niezbędnych do opracowania nowych koncepcji. W pierwszym przypadku chodzi o materiały, które tradycyjnie dzieli się na przewodzące, nieprzewodzące i magnetyczne, którym to materiałom stawia się specyficzne wymagania umożliwiające podwyższenie parametrów urządzeń budowanych na ich bazie (np. wyższą temperaturę pracy, niższe straty energii etc). W drugim przypadku chodzi o materiały wykazujące specyficzne właściwości elektryczne, umożliwiające ich wykorzystanie w opracowanych w ostatnich latach lub całkowicie nowych, niekonwencjonalnych konstrukcjach. Przykładem mogą być ceramiczne i organiczne elektrolity z silnym przewodnictwem jonowym, materiały z właściwościami silnie nieliniowymi, cała grupa tzw. materiałów inteligentnych i wiele innych.

Z materiałów elektrotechnicznych proponuje się wyłączyć materiały półprzewodnikowe stosowane w technologiach przyrządów półprzewodnikowych. Jest to związane zarówno ze specyfiką ich wytwarzania jak i właściwościami (elektrycznymi).

2.1.1.1. Tendencje światowe

Materiały przewodzące

1. Wytwarzanie i zastosowanie w elementach przewodzących urządzeń elektrycznych grafenów. Grafeny (monoatomowa warstwa węgla), przejrzyste, elastyczne, wykazują wyjątkowo wysoką ruchliwość elektronów $\sim 10^5$ cm²/Vs. Potencjalnie mogą w wielu wypadkach zastąpić/wyeliminować krzem, znaleźć zastosowanie przy wytwarzaniu przejrzystych, elektrod, energooszczędnych źródeł światła, elementów fotowoltaicznych oraz produkcji wysokowydajnych akumulatorów, superkondensatorów, czujników i innych. Jako nano-dodatek do tworzyw sztucznych grafeny pozwalają zmieniać ich przewodność elektryczną i przewodnościowe właściwości nieliniowe.
2. Ceramiczne i polimerowe materiały jonoprzewodzące do zastosowań w urządzeniach elektrochemicznych (ogniwa paliwowe, czujniki i pompy gazów, elektrolizery). Elementem ogniwa paliwowych SOFC (solid oxide fuel cell), wpływającym

w decydującym stopniu na jego sprawność działania, koszt wytworzenia, oraz stabilną i trwałą pracę jest elektrolit. Elektrolit powinien posiadać wysoką przewodność jonową (ok. 0,1 S/cm) w możliwie niskich temperaturach, wykazywać braki przewodnictwa elektronowego, wysoką stabilność termodynamiczną i inne.

3. Materiały nadprzewodzące o możliwie wysokiej temperaturze krytycznej do zastosowań w kablach, maszynach i urządzeniach elektrycznych.
4. Materiały przewodzące do zastosowań klasycznych (stykowe, eliminujące metale szlachetne oraz metale ziem rzadkich, itp).

Materiały nieprzewodzące

1. Polimery (termoplasty) do izolacji kabli najwyższych napięć prądu przemiennego, odpornych na zjawiska starzeniowe oraz z obniżoną energią aktywacji procesu przewodnictwa (działania w zakresie niskoemisyjnego przesyłu energii, wymagające przejścia, szczególnie w terenach zurbanizowanych, z linii napowietrznych na kablowe).
2. Materiały elektroizolacyjne do pracy długotrwałej w silnych polach stałych (np. dla kabli WN DC w sieciach współpracujących z farmami wiatrowymi, również izolacja napowietrzna). (Zapaść w zakresie edukacji – przewodnictwo elektryczne, fotoprzewodnictwo i inne zjawiska występujące w polach stałych w dielektrykach).
3. Nanokompozyty dielektryczne do polepszenia właściwości izolacji głównej, (np. pokrycia superhydrofobowe).
4. Dielektryczne kompozyty i nanokompozyty polimerowe z termoplastami, umożliwiające zastąpienie materiałów termoutwardzalnych (chodzi głównie o obniżkę kosztów produkcji oraz nieznaczny ich wpływ na środowisko).
5. Kompozyty dielektryczne o znacznie zwiększonym przewodnictwie cieplnym.
6. Ciecze izolacyjne biodegralne (oleje roślinne).
7. Mieszaniny gazów dla zastąpienia SF₆.
8. Rozwój konstrukcji izolatorów wsporczych i osłon opartych na rurze szkło-epoksydowej (o dużej sztywności) wypełnionej pianką izolacyjną (Obecnie są poddawane badaniom konstrukcje o wysokości 8 m).
9. Piezoaktywne materiały i struktury dielektryczne (Energy harvesting).

Materiały magnetyczne

1. Superiorientowane (zmniejszenie średniego odchylenia kierunku łatwego magnesowania blach orientowanych z 7° do 3° w stosunku do kierunku walcowania) materiały magnetycznie miękkie, oraz blachy w wprowadzonych naprężeniach rozciągających - wykazujące wysoką indukcję nasycenia oraz niskie straty ($B_{1000} \geq 1,95$ T, $P_{1,7/50} \geq 0,80$ W/kg).
2. Materiały magnetyczne miękkie niskostratne do pracy przy wysokich częstotliwościach ($10^4 - 10^5$ Hz) proszkowe oraz nanomateriały (pozbawione uporządkowania dalekiego zasięgu).

3. Materiały magnetycznie twarde ferrytowe oraz magnesy wytwarzane na bazie pierwiastków ziem rzadkich (neodymu i samaru), osiągające gęstości energii $(BH)_{max}$ powyżej 400 kJ/m^3 .
4. Materiały magnetyczne o specjalnych właściwościach (magnetostrykcja).

Inne materiały do zastosowań w elektrotechnice

1. Kompozyty i nanokompozyty o właściwościach specjalnych (półprzewodzące – do sterowania rozkładem pola elektrycznego, do zapobieganiu osiadania sadzi na przewodach linii elektroenergetycznych, polimerowe materiały pozystorowe – inteligentne grzejniki).
2. Kompozyty na bazie tworzyw organicznych, wykazujące właściwości antystatyczne i ekranujące.
3. Materiały dla różnych technologii wytwarzania i magazynowania energii (np. PV, ogniwa paliwowe, superkondensatory).

2.1.1.2. Stan i perspektywy w Polsce

Materiały nieprzewodzące

1. Ocena stanu izolacji papier-olej dla układów z estrami, z olejami mineralnymi oraz
2. wpływu domieszek ulepszających (inhibitory, antyutleniacze, środków ograniczających gazowanie etc) na proces starzenia się izolacji papier-olej.
3. Ocena możliwości wykorzystania olejów roślinnych jako biodegradalnych cieczy izolacyjnych.
4. Kompozyty polimerowe (nanokompozyty – do strukturalnych) na elementy elektroizolacyjne i konstrukcyjne dla napowietrznych linii elektroenergetycznych niskiego, średniego i wysokiego napięcia oraz aparatury stacyjnej (np. izolatory kompozytowe, osłony ograniczników przepięć i inne). (Elastomery - Nowa Sarzyna, rury szkło-epoksydowe - Zakład Doświadczalny Instytutu Elektrotechniki w Międzyzlesiu Kłodzkim).

Materiały magnetyczne

1. Produkowane w kraju metodą walcowania na zimno blachy anizotropowe i orientowane (walcownia Stalprodukt S.A., Bochnia) nie odbiegają swoim poziomem od właściwości magnetycznych blach produkowanych przez największych producentów. Rozwój technologii w zakresie materiałów magnetycznych i związane z nim nakłady finansowe zagranicznych producentów spowodował, że powstała przepaść, która wydaje się nie do pokonania.
2. Nanomateriały magnetyczne (Instytut Metali Nieżelaznych) o specjalnych właściwościach.

Materiały przewodzące i inne

1. Materiały stykowe (wykorzystanie krajowych surowców – domieszek).
2. Materiały antystatyczne (do produkcji wykładzin - Gamrat-Erg, wyrobów włókienniczych - IW. Łódź).

2.1.2. Elektrotechnologie

Pojęcie technologia dotyczy działalności związanej z przetwarzaniem w sposób celowy, użyteczny i ekonomiczny dóbr naturalnych w dobra użyteczne. Tradycyjnym zakresem elektrotechnologii było wytwarzanie i przetwarzanie materiałów dla przemysłu elektrotechnicznego, sposoby wytwarzania urządzeń elektrotechnicznych i ich podzespołów oraz te sposoby wytwarzania (także poza przemysłem elektrotechnicznym), w których elektryka odgrywała decydującą rolę. Wydaje się, że pomimo wzajemnego przenikania się obszarów elektrotechnologii (ukierunkowanej na zakres silnych prądów i wysokich napięć) i technologii elektronowej, zachowują one w Polsce nadal swoją specyfikę i integralność. Przykładem wzajemnego przenikania się obu obszarów może być bateria ogniw fotowoltaicznych. Ich technologia, ze względu na czystość stosowanych materiałów czy specyfikę stosowanych procesów technologicznych jest przedmiotem technologii elektronowej. Z drugiej zaś strony poszukiwania optymalnych sposobów użytkowania tych źródeł energii wymaga zaangażowania narzędzi z obszaru elektrotechniki (współpraca z systemem elektroenergetycznym, wpływ na jakość energii i wiele innych).

2.1.2.1. Tendencje światowe

1. Technologie materiałów (elektrotechnicznych - patrz wyżej). Technologie kompozytów i nanokompozytów dielektrycznych. Technologie kompozytów półprzewodzących (antystatycznych, nieliniowych) oraz materiałów aktywnych (piezo-, piro). Technologie proszkowe materiałów magnetycznych. Technologie nadprzewodników wysokotemperaturowych. Technologie materiałów dla PV, ogniw paliwowych oraz superkondensatorów.
2. Energooszczędne technologie elektrostatyczne (technologie oczyszczanie gazów – elektrofiltry, filtry elektretowe, elektrostatyczne lub elektrostatycznie wspomagane pokrywanie powierzchni (malowanie, oprysk - ochrona roślin i płodów rolnych, flokowanie), separacja elektrostatyczna, poligrafia, elektrostatyczne wyciąganie włókien (elektro-spinning) itp.).
3. Technologie plazmowe wykorzystujące plazmę gorącą (cięcie, witrifikacja odpadów, etc.)
4. Technologie plazmowe wykorzystujące plazmę niskotemperaturową (obróbka powierzchni ciał stałych (polimerów), obróbka powierzchni obiektów biologicznie

- czynnych, technologie cienkich warstw przewodzących i nieprzewodzących, rozkład lotnych substancji organicznych, plazmowo wspomaganą katalizą, produkcja ozonu, itp.).
5. Elektroerozyjna obróbka materiałów (obróbka metali, wiercenie skał).
 6. Technologie fotowoltaicznych źródeł prądu (badania obejmują ogniwa jedno i wielozłączowe, wykonywane na bazie krzemu, arsenku galu, tellurku kadmu i innych półprzewodników, w tym materiałów organicznych. Rozwijane są technologie w oparciu o struktury wykonywane z materiałów krystalicznych, polikrystalicznych i amorficznych. Wśród perspektywnych trendów dotyczących fotowoltaiki organicznej (polimerowej) należy wymienić prace związane z: (1) syntezą nowych materiałów organicznych zarówno polimerowych jak i małowcząsteczkowych, (2) syntezą i zastosowaniem związków organicznych o właściwościach ciekłokrystalicznych w warstwie aktywnej ogniwa, (3) otrzymaniem i zastosowaniem grafenu lub tlenku grafenu modyfikowanego chemicznie, jako elektrod (anody i/lub katody) lub międzywarstwy w ogniwie, oraz (4) zastosowaniem nanorurek, fulerenów, TiO₂ oraz nanocząstek srebra i złota w ogniwie.
 7. Technologie chemicznych źródeł prądu oraz ogniw paliwowych.
 8. Technologie maszyn i urządzeń elektrycznych oraz ich elementów i podzespołów.

2.1.2.2. Stan i perspektywy w Polsce

1. Badania w kierunku ulepszenia procesu technologicznego oraz właściwości izolatorów z ceramiki wysokoglinowej (ZAPEL S.A. eksportuje około 70-80 % produkcji) (Ad. 8).
2. Technologie izolatorów kompozytowych w oparciu o surowce krajowe (elastomery) (Ad. 1, 8).
3. Technologie kompozytów półprzewodzących (ekranujących, antystatycznych, inteligentnych itp).
4. Rozwój technologii ogniw SOFC i PEMFC.
5. Rozwój technologii superkondensatorów.
6. Rozwój technologii plazmowych (głównie w zakresie plazmy nie termicznej).
7. Rozwój energooszczędnych technologii elektrostatycznych.

2.2. Elektrotermia i Technika Oświetleniowa

2.2.1. Wprowadzenie

Elektrotermia jest działem nauki i techniki zajmującym się przemianami energii elektrycznej w ciepło dla celów użytkowych. Pozyskiwane w ten sposób ciepło wykorzystywane jest w przeważającej liczbie obszarów działalności człowieka, a głównie w procesach technologicznych i w ogrzewnictwie, czyli w celu zapewnienia organizmom żywym, obiektom, przedmiotom stanu cieplnego korygującego warunki klimatyczne. Trudno obecnie wskazać aplikację wymagającą dostarczenia ciepła, której nie można byłoby zrealizować z użyciem energii elektrycznej. Głównymi czynnikami limitującymi ekspansję elektrotermii są: podaż energii elektrycznej i jej cena, która według aktualnych prognoz

będzie wzrastać do roku 2030, lecz w mniejszym i bardziej przewidywalnym stopniu niż inne nośniki energii. Dlatego też udział metod elektrotermicznych w generacji ciepła do celów technologicznych i ogrzewniczych nieprzerwanie rośnie. Czynnikiem decydującym o tym jest wiele, lecz najbardziej istotnymi są: ewidentnie korzystny wpływ elektrotermii na rozwój przemysłów średniej i wysokiej techniki, zdolnych do konkurencji oraz rosnące wymogi w zakresie ochrony środowiska i zdrowia człowieka. Techniki elektrotermiczne jeszcze bardziej wiążą się z wprowadzaniem tzw. „technologii przełomów”, co musi skutkować z masową wymianą dotychczas stosowanych technologii przemysłowych, ekspansją przemysłu proekologicznego, a także z odejściem od tradycyjnych i nie ekologicznych systemów ogrzewniczych.

2.2.2. Tendencje światowe

Są one w istotnym stopniu podporządkowane strategii globalizacji gospodarki. Zmiany związane z tą strategią, czyli reindustrializacja obejmuje przebudowę struktury gałęziowej praktycznie wszystkich najistotniejszych z punktu widzenia zastosowań elektrotermii przemysłów, zmiany w ich rozmieszczeniu i stopniu koncentracji oraz zmiany w organizacji i wielkości przedsiębiorstw. W ramach restrukturyzacji stopniowo modernizowane są całe ciągi technologiczne, a także eliminowane liczne gałęzie przemysłu i zastępowane przemysłami nowoczesnymi. Zwykle dzieje się to z dużym udziałem środków finansowych i kadry specjalistów z krajów najwyżej rozwiniętych gospodarczo. Powoduje to w konsekwencji tworzenie zagranicznych filii przedsiębiorstw macierzystych, a rozproszone po całym świecie zagraniczne ich oddziały zajmują się produkcją i dystrybucją towarów. Tego rodzaju praktyka sprzyja rozwojowi małych i średnich przedsiębiorstw, w których łatwiej o ciągłe i szybkie unowocześnianie produkcji niż w dużych zakładach.

Na tego rodzaju tendencje mają wpływ głównie trzy kategorie czynników o charakterze: technologicznym, ekonomicznym i ekologicznym. Czynniki o charakterze technologicznym obejmują m.in. wprowadzanie energooszczędnych ciągów technologicznych, bezodpadowych technologii produkcji, wielokrotne wykorzystywanie tego samego surowca, a także w pewnych obszarach miniaturyzację produkcji. Czynniki ekonomiczne wynikają w szczególności z wyczerpywania się złóż paliw i surowców łatwych i tanich w eksploatacji, z poszukiwania najtańszej siły roboczej, z korzystnej dla inwestorów polityki podatkowej. Czynniki ekologiczne wiążą się z koniecznością eliminacji przemysłów, a także zastosowań pozaprzemysłowych o dużym degradującym wpływie na środowisko.

Biorąc powyższe pod uwagę w dalszym ciągu przedstawione zostaną perspektywiczne zadania badawcze w Polsce osadzone w obserwowanych trendach światowych, którym można nadać status preferowanych z uwagi na ich rangę określoną globalnym zapotrzebowaniem na energię elektryczną, wpływem na środowisko oraz determinującymi procesy technologiczne wysokiego poziomu.

2.2.3. Perspektywiczne zadania badawcze w Polsce

2.2.3.1. Elektrostalownictwo

Z uwagi na skalę produkcji oraz zużycie energii elektrycznej elektrostalownictwo stanowi jeden z najważniejszych działów elektrotermii. Poziom produkcji stali w piecach elektrycznych w Polsce osiągnął 50% całkowitej produkcji tego metalu i nadal szybko rośnie. Wykorzystuje się do tego celu piece łukowe. Najważniejszym zadaniem badawczym jest współdziałanie z metalurgami w celu opracowanie takich technologii, które pod względem energetycznym zbliżą się do swoich limitów termodynamicznych z jednoczesnym spełnieniem standardów BAT. Zadania badawcze z tego wynikające lokują się w obszarach związanych z:

- Celowością wprowadzenie stalowniczych urządzeń łukowych na prąd stały.
- Opracowaniem nowych drażonych elektrod grafitowych wypełnionych różnymi dodatkami i zastosowaniem pokryć ograniczających utlenianie elektrod.
- Intensyfikacją wstępnego podgrzewania wsadu stałego, stosowaniem wsadu ciekłego oraz gorących peletów DRI (żelaza gąbczastego).
- Optymalizacją procesów piecowych z zastosowaniem sztucznej inteligencji.
- Komputerowym sterowaniem procesami wytapiania i zużyciem energii elektrycznej w piecach łukowych wytopowych oraz w metalurgii pozapiecowej w oparciu o zintegrowany system sterowania procesami stalowniczymi.
- Optymalizacją wskaźnika PUTU (Power Utilization and Time Utilization) wyrażającego czas wytopu w stosunku do mocy doprowadzanej do pieca.
- Zastosowaniem mikrofal do przygotowania wsadu metalicznego i innych dodatków w celu poprawy bilansów zużycia energii elektrycznej.
- Rozwojem metod termowizyjnych i laserowych do kontroli stanu i pracy agregatów metalurgicznych.
- Modelowaniem komputerowym, symulacją i automatycznym sterowaniem procesami w metalurgii pozapiecowej (MP) oraz w systemach COS.
- Wprowadzeniem on-line kontroli i sterowania wykańczaniem i rafinacją w MP.
- Produkcja stali ze złomu stalowego zamiast z pierwotnej rudy zmniejsza nakłady energii o około 75 % i pozwala zaoszczędzić 90 % surowców do jej produkcji. Maksymalizacja ilości stali produkowanej ze złomu jest więc uzasadniona ekonomicznie, a za takim rozwiązaniem przemawiają również względy ochrony środowiska (redukcja zanieczyszczenia powietrza o około (86 %), zużycia wody (40 %), zanieczyszczenia wody (76 %) oraz odpadów górniczych (97 %). Produkcji jednej tony stali ze złomu odpowiada emisja CO₂ jest o 231 ton mniejsza niż

w przypadku produkcji z pierwotnej rudy. Produkty uboczne produkcji stali (np. zużel) są niemal w pełni wykorzystywane.

2.2.3.2. Elektrometalurgia żelazostopów¹

Spośród żelazostopów w Polsce najistotniejsze znaczenie ma wytwarzanie żelazkrzemu realizowane w piecach łukowo-rezystancyjnych. Jest to proces wysoce energochłonny z potencjalnymi możliwościami dalszego ograniczenia zużycia właściwego energii elektrycznej (koszty energii elektrycznej w procesie produkcyjnym przekraczają 50% kosztów produkcji). Zadania badawcze w tym obszarze wiążą się z następującymi celami produkcyjnymi i ekonomicznymi:

- Zwiększenie zdolności produkcyjnych istniejących pieców poprzez wprowadzenie zmian modernizacyjnych.
- Wytworzenie z ciepła odpadowych gazów poprocesowych energii elektrycznej oraz energii cieplnej w postaci wody użytkowej, a tym samym poprawienie efektywności energetycznej procesu.
- Obniżenie emisji pyłów i gazów (NO_x, SO₂, CO₂) i doprowadzenie technologii do kategorii BAT.

2.2.3.3. Odlewnictwo²

W trakcie uzupełniania przez Sekcję.

2.2.3.4. Elektrotermia w przemyśle maszynowym, spożywczym, tekstylnym i środków transportu³

- Opracowanie urządzeń do obróbki jarzeniowej warstw wierzchnich części maszyn o złożonej geometrii w warunkach próżni dynamicznej.
- Komputerowe wspomaganie projektowania procesów indukcyjnego hartowania powierzchniowego części maszyn.
- Opracowanie technik indukcyjnego nagrzewania wirujących walców dla potrzeb przemysłu papierniczego i włókienniczego.
- Technologie indukcyjnego nagrzewania objętościowego metali żelaznych i nieżelaznych w procesach obróbki plastycznej.
- Konstrukcja i badania źródeł zasilania systemów wielowzбудnikowych i wieloczęstotliwościowych do nagrzewania indukcyjnego w procesach wytwarzania monokryształów.

¹ Elektrotermia i Technika Oświetleniowa/Elektrometalurgia żelazostopów w trakcie dyskusji i uzupełnień

² Elektrotermia i Technika Oświetleniowa/ Odlewnictwo w trakcie dyskusji i uzupełnień

³ Elektrotermia i Technika Oświetleniowa/ Elektrotermia w przemyśle maszynowym, spożywczym, tekstylnym i środków transportu w trakcie dyskusji i uzupełnień

2.2.3.5. Elektrotermiczne techniki obróbki odpadów trudnoobrabialnych

Elektrotermia była i jest wykorzystywana w procesach zmniejszenia obciążenia środowiska różnymi odpadami, np. złomem stalowym, lecz tego rodzaju procesy zaliczają się do odzyskowych jako alternatywnych dla nieelektrycznych procesów wytwórczych. Współcześnie rozwijany nowy obszar zastosowań elektrotermii, polega na neutralizacji i degradacji trudno obrabialnych odpadów przemysłowych (także radioaktywnych) i komunalnych, a w tym bezpośrednio w miejscu ich występowania (in situ), co ma istotne znaczenie w obróbce gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi, zwłaszcza w obszarach wyłączanych z użytkowania obiektów przemysłowych. Celami badawczymi, w wielu przypadkach w kraju już wstępnie podejmowanymi, z wyraźnymi perspektywami komercjalizacji wyników są:

- Neutralizacja silnie skażonej ziemi poprzez jej wityfikację in situ metodą rezystancyjno-elektrodową.
- Wityfikacja popiołów i żużli pochodzących ze spalania odpadów komunalnych
- w wysokotemperaturowych piecach rezystancyjno-elektrodowych, ukierunkowana m.in. na rozkład dioxyn i związaną z masą szklaną metali ciężkich.
- Niszczanie techniką łukową toksycznych substancji organicznych, destrukcja oraz redukcja ich objętości w stopniu pozwalającym na złagodzenie wymagań w zakresie składowania odpadów lub separację i recykling surowców.
- Obróbka w piecach łukowych pyłów zawierających duże ilości cynku, a pochodzących ze stalowniczych pieców łukowych przerabiających złom samochodowy.
- Obróbka w kąpieli matalowej o temperaturze 1600⁰C odpadów będących źródłem dużych ilości dioxyn i furanów w tandemie piec indukcyjny – reaktor wylewny.
- Wstępna mikrofalowa obróbka nieczystości szpitalnych, pochodzących z przychodni, laboratoriów przed ich transportem do spalarni typu przemysłowego.
- Zastosowanie technik plazmowych w krakingu termicznym łańcuchów molekuł szkodliwych substancji organicznych, wityfikacji substancji toksycznych, obróbki odpadów radioaktywnych o niskim i średnim poziomie radioaktywności.

2.2.3.6. Ogrzewnictwo elektryczne

Problematyka ogrzewania elektrycznego, m.in. jako alternatywy dla rozwiązań tradycyjnych opartych w szczególności na paliwach stałych staje się w Polsce problemem niezwykle aktualnym z uwagi na spodziewane wprowadzenie za dwa lata dyrektywy unijnej, która skutkować musi dużym ograniczeniem bądź całkowitą eliminacją pieców węglowych. Na dopłaty do wymiany tych pieców rząd rezerwuje ok. 5 mld zł ze środków budżetowych

i unijnych. Niewątpliwie znaczna część pieców węglowych zastąpiona zostanie układami ogrzewania elektrycznego, stąd też problematyka ta nabiera niezwyklej aktualności. W grupie problemów, które są mniej rozeznane i wymagają podjęcia badań, wyodrębnić można następujące tematy.

- Badania nad nowymi rozwiązaniami układów ogrzewania elektrycznego w systemach zasilania lokalnego.
- Układy ogrzewania elektrycznego w domach pasywnych.
- Metody programowania całkowicie zautomatyzowanych układów ogrzewania elektrycznego.
- Skojarzone układy ogrzewania pompy ciepła – ogrzewacze bezpośrednie.
- Metody analizy efektywności energetycznej elektrycznych układów grzewczych w warunkach komfortu cieplnego.
- Metody symulacji ogrzewania promiennikowego pomieszczeń wielkokubatorowych dla potrzeb projektowania układów grzewczych.

2.3. Energoelektronika i napęd elektryczny

2.3.1. Stan obecny i trendy rozwojowe

Energoelektronika i automatyka napędu elektrycznego obsługuje praktycznie wszystkie obszary produkcji, dystrybucji i użytkowanie energii elektrycznej.

Aktualne obszary rozwijanych aplikacji to:

1. Przekształcanie energii pozyskiwanej z odnawialnych źródeł (elektrownie wiatrowe, fotowoltaika, gospodarka wodorowa i ogniwa paliwowe):
 - a. przekształtniki dc/dc,
 - b. falowniki 1- i 3- fazowe do przekazywania energii do sieci prądu przemiennego,
 - c. mikrokonwertery dla mikroźródeł (pojedyncze panele PV, małe elektrownie wiatrowe).
2. systemy lokalnej dystrybucji energii pozyskiwanej ze źródeł odnawialnych za pomocą sieci prądu stałego,
3. komercyjny przesył energii prądem stałym,
4. napędy elektronarzędzi i urządzeń gospodarstwa domowego z zastosowaniem trójfazowych silników indukcyjnych, reluktancyjnych, maszyn o magnesach trwałych,
5. serwosilniki i nastawniki dla automatyki,
6. układy napędowe bezczujnikowe (estymacja położenia, prędkości i momentu),
7. obsługa energooszczędnych źródeł światła (lampy LED, świetlówki kompaktowe),
8. urządzenia grzewcze dla przemysłu i dla medycyny,
9. układy kompensacji mocy biernej i filtracji aktywnej indywidualnej i centralnej,
10. napędy trakcyjne i napędy pojazdów indywidualnych:

- a. napędy trakcji miejskiej (tramwaj, metro, trolejbus) z zastosowaniem maszyn prądu przemiennego zasilanych przez wysokosprawne, niezawodne przekształtniki energoelektroniczne dc/ac,
 - b. dwukierunkowe stacje miejskich przekształtników trakcyjnych (dla zapewnienia odzysku energii hamujących pojazdów),
 - c. samochód elektryczny jako element miejskiego transportu indywidualnego oraz jako konsument i magazyn energii odnawialnych jej źródeł,
 - d. energoelektronika w wyposażeniu samochodu,
 - e. nieduże pojazdy, najczęściej 2 lub 3 kołowe, przeznaczone do celów rekreacyjnych lub transportu osób (w tym o ograniczonych zdolnościach ruchowych) a także zaopatrzenia na małych odległościach z napędem elektrycznym głównym lub tylko wspomagającym napęd realizowany za pomocą pedałów.
11. energooszczędne napędy urządzeń technologicznych dużych mocy (górnictwo, hutnictwo, przemysł przetwórczy) z zastosowaniem maszyn indukcyjnych i maszyn o magnesach trwałych,
12. działania prowadzące do minimalizacji gabarytów i masy, a tym samym kosztów produkcji urządzeń energoelektronicznych poprzez zastosowanie nowych przyrządów półprzewodnikowych umożliwiających stosowanie wyższych częstotliwości impulsowania (SiC, GaN).
13. systemy magazynowania energii:
- a. dla ograniczenia wahań mocy w lokalnych układach odbiorczych,
 - b. magazynowania nadwyżek energii pozyskiwanych z odnawialnych źródeł,
 - c. krótkotrwałego magazynowania energii uzyskiwanej z odzyskowego hamowania napędów (np. intensywnie eksploatowane windy),
 - d. zasobniki superkondensatorowe i zasobniki wirujące (szybko- i wolno obrotowe)
14. systemy bezstykowego przesyłu energii na małe odległości:
- a. bezstykowe zasilanie pojazdów szynowych (bezstykowy odbierak),
 - b. układy dla ładowania akumulatorów samochodu elektrycznego,
 - c. układy dla technologii zagrożonych wybuchem (np. górnictwo) lub zalaniem,
 - d. układy małej mocy dla urządzeń AGD, RTV, itp.
15. transformatory „inteligentne” – trójfazowe układy energoelektroniczne pracujące przy wysokiej częstotliwości (trójfazowy dwukierunkowy układ ac/dc – jednofazowy dwukierunkowy układ dc/ac wysokiej częstotliwości – transformator- jednofazowy dwukierunkowy układ dc/ac wysokiej częstotliwości - trójfazowy dwukierunkowy układ ac/dc).
16. napędy transportu poziomego i pionowego w górnictwie.

Wymienione obszary mieszczą się w polityce UE zmierzającej do:

1. zwiększenia udziału energii odnawialnej w gospodarce,

2. tworzenia systemów prosumenckich,
3. oszczędnym gospodarowaniu energią i surowcami,
4. poprawy komfortu życia,
5. ograniczenia emisji gazów cieplarnianych i zanieczyszczenia środowiska,
6. minimalizacji gabarytów i masy, a tym samym kosztów produkcji urządzeń energoelektronicznych poprzez zastosowanie nowych przyrządów półprzewodnikowych (SiC, GaN), materiałów magnetycznych i kondensatorów umożliwiających stosowanie wyższych częstotliwości impulsowania.

Wymaga do prac nad:

- nowymi algorytmami sterowania i regulacji,
- nowymi topologiami układów o miękkiej komutacji,
- nowymi algorytmami detekcji uszkodzeń łączników energoelektronicznych i czujników pomiarowych oraz metodami kompensacji tych uszkodzeń,
- stosowaniem układów wbudowanych (embedded systems, system-on-chip SoC) zawierających układy FPGA lub ASIC do sterowania i regulacji,
- topologiami i algorytmami układów „niskobudżetowych”
- nowymi materiałami magnetycznymi,
- konstrukcją elementów elektromagnetycznych dla układów podwyższonej częstotliwości (ograniczenie pojemności pasożytniczych, skutków efektu naskórkowego),
- kondensatorami o dużej obciążalności impulsowej i małej stratności,
- ograniczeniem zakłóceń elektromagnetycznych.

Preferowane kierunki prac i badań w Polsce dotyczyć powinny:

1. zmniejszenia zużycia energii elektrycznej,
2. efektywnego pozyskiwania i przekształcania energii pozyskiwanej ze źródeł odnawialnych,
3. poprawy jakości energii elektrycznej (zmniejszenie negatywnego oddziaływania odbiorników, kompensacja i filtracja w indywidualna oraz kompensacja w węzłach systemu),
4. nowych konstrukcjami silników, w szczególności silników wysokoobrotowych, silników wolnoobrotowych do napędów bezpośrednich, w tym silników o magnesach trwałych,
5. nowych topologii przekształtników dla zmniejszenia strat (układy miękkiego łączenia),
6. systemów smart grid i systemy prosumenckie,
7. zwiększenia czasu niezawodnej pracy urządzeń energoelektronicznych (topologie i algorytmy sterowania do eliminacji lub znacznego ograniczenia stosowania kondensatorów elektrolitycznych,
8. zwiększenia niezawodności układów o specjalnych wymaganiach w zakresie zapewnienie ciągłości działania ze względów bezpieczeństwa na drodze rozwoju struktur i algorytmów sterowania odpornych na uszkodzenia (Fault tolerant control).

2.3.2. Potencjał badawczy wyższych szkół technicznych

W trakcie uzupełniania przez Sekcję.⁴

2.3.3. Energoelektronika i napęd elektryczny a przemysł krajowy

W trakcie uzupełniania przez Sekcję.⁵

2.4. Maszyny Elektryczne i Transformatory

2.4.1. Wprowadzenie

Maszyny elektryczne (turbogeneratory i hydrogeneratory) i transformatory blokowe stanowią główne elementy systemu elektroenergetycznego w zadaniach wytwarzanie i przesyłu energii elektrycznej. Transformatory rozdzielcze odgrywają rolę pośredniczącą w systemach przesyłowych i dystrybucyjnych. Silniki wykonawcze o różnych zasadach działania i właściwościach mają powszechne zastosowanie w eksploatacji urządzeń przemysłowych, trakcyjnych, gospodarczych itp. Nic nie wskazuje na to, aby ich dotychczasowa rola mogła ulec zmniejszeniu.

2.4.2. Tendencje światowe

a) W praktyce światowej panuje trend w zakresie budowy maszyn energooszczędnych i transformatorów o zmniejszonych stratach mocy. Trwają także działania nad zmniejszeniem materiałochłonności urządzeń z uwzględnieniem wymogów ochrony środowiska.

b) W sensie projektowym i wykonawczym oraz eksploatacyjnym pracuje się nad zwiększeniem niezawodności i trwałości maszyn elektrycznych i transformatorów.

c) Rozwijana jest koncepcja energetyki rozproszonej (prosumenckiej), w tym z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii.

2.4.3. Perspektywiczne zadania badawcze w Polsce

2.4.3.1. Maszyny elektryczne

1. Podwyższenie sprawności maszyn elektrycznych poprzez stosowanie w ich konstrukcji magnesów trwałych. Zastosowanie magnesów trwałych pozwala zwiększyć sprawność

⁴ Energoelektronika i napęd elektryczny/ Potencjał badawczy wyższych szkół technicznych w trakcie dyskusji i uzupełnień.

⁵ Energoelektronika i napęd elektryczny/ Energoelektronika i napęd elektryczny a przemysł krajowy w trakcie dyskusji i uzupełnień

i zmniejszyć masę w stosunku do obecnie powszechnie stosowanych maszyn indukcyjnych:

- w maszynach małej mocy (o mocy znamionowej do 10kW) sprawność można podwyższyć o około 8% i masę zmniejszyć o około 30%,
- w maszynach średniej mocy (o mocy znamionowej do 100kW) sprawność można podwyższyć o około 4% i masę zmniejszyć o około 20%,
- w maszynach dużej mocy sprawność można podwyższyć o około 2% i masę zmniejszyć o około 10%,
- w prądnicach synchronicznych ze wzbudzeniem hybrydowym można zmniejszyć straty wzbudzenia o około 80%.

1.1 Maszyny przeznaczone do napędów pracujących przy stałej prędkości obrotowej, mogą to być silniki asynchroniczne synchronizowane polem magnetycznym magnesów trwałych zasilane bezpośrednio z sieci elektroenergetycznej i rozruchem asynchronicznym.

1.2 Maszyny przeznaczone do napędów pracujących przy zmiennej prędkości obrotowej, będą to:

- silniki bezszczotkowe prądu stałego BLDCPM, (Brush-Less Direct Current Motor) i BLSMPM (Brush-Less Synchronous Motor), zasilane z komutatora energoelektronicznego sterowanego kątem położenia wirnika oraz silniki synchroniczne BLPMSM (Brush-Less Permanent Magnet Synchronous Motor), które są zasilane napięciem stałym poprzez komutator energoelektroniczny. Silniki BLDCPM mają jedną strefę regulacji prędkości obrotowej (przy stałym momencie), a regulacja prędkości obrotowej jest realizowana poprzez zmianę napięcia stałego. Silniki BLSMPM mają dwie strefy regulacji prędkości obrotowej: przy stałym momencie poprzez zmianę napięcia stałego i przy stałej mocy poprzez odwzbudzenie,
- silniki synchroniczne PMSM (Permanent Magnet Synchronous Motor), które są zasilane z falowników. Regulacja prędkości obrotowej odbywa się poprzez zmianę częstotliwości napięcia falownika napięciem przemiennym o zadanej częstotliwości.

1.3 Prądnice synchroniczne ze wzbudzeniem magnesami trwałymi i ze wzbudzeniem hybrydowym (proca doktorska S. Gawrona).

2. W zakresie pomiarów i diagnostyki maszyn elektrycznych przewiduje się opracowanie zbioru zunifikowanych parametrów kryterialnych i opracowanie skali oceny stanu technicznego maszyn elektrycznych (dla każdego rodzaju maszyn):

- określenie metody i czujników (np. wyładowań niezupełnych) pozyskiwanie sygnałów diagnostycznych,

- wyznaczenie zależności między np. drganiami węzłów łożyskowych i spektrum harmonicznym w prądzie i napięciu stojana,
 - ocena stanu technicznego uzwojeń (np. klatki wirnika silnika indukcyjnego) i ocena stanu symetrii szczeliny powietrznej na podstawie przebiegu czasowego prądu maszyny,
 - ocena on-line stanu technicznego izolacji głównej i zwojowej np. na podstawie analizy przebiegu składowej zerowej prądu.
3. Tworzenie centrów diagnostycznych i archiwizacji danych eksploatacyjnych dla maszyn strategicznych (np. generatorów synchronicznych i transformatorów w elektrowniach):
- zdalna kontrola maszyn elektrycznych powierzonych nadzorowi,
 - powiadamianie służb odpowiedzialnych za eksploatację maszyny o symptomach wystąpienia awarii,
 - gromadzenie, archiwizacja danych pomiarowych w celu przeprowadzania analiz poawaryjnych i w celach poznawczych itp.

2.4.3.2. Transformatory

W Polsce istnieją dwie duże fabryki transformatorów: ABB w Łodzi i Turbo Care produkujące transformatory jednostkowe (elektrownie i sieciowe) o mocy powyżej 500 MVA. Transformatory rozdzielcze mniejszych mocy (ok. 40 MVA) produkuje ZREW Janów, transformatory specjalne (suche) MEFTA, a także ABB w Łodzi (olejowe i suche).

Problematyka badawcza w zakresie projektowo-konstrukcyjnym obejmuje:

1. Zastosowanie nowych materiałów magnetycznych o obniżonej stratności w budowie rdzeni transformatorów, zarówno największych mocy (olejowych), jak również o mniejszych gabarytach (suchych).
2. Aplikację nowych materiałów izolacyjnych w zakresie izolacji twardej w transformatorach olejowych i żywicznej w transformatorach suchych.
3. Zastosowanie przewodów nawojowych o wyższej klasie wytrzymałości termicznej.
4. Postęp w obliczeniach elektromagnetycznych, cieplnych i wytrzymałościowych struktur transformatorowych.

Problematyka eksploatacyjna nakierowana jest na monitoring:

1. Wyłądowań niezupełnych.
2. Przegrzań rdzenia, uzwojeń, części konstrukcyjnych itp., skutkujących degradacją oleju.
3. Zawilgocenia izolacji.
4. Monitoring stanu izolatorów przepustowych.
5. Monitoring przełączników zaczepek pod obciążeniem.
6. Kontrolę drgań i hałasów.

Wprowadza się powszechnie metody częstotliwościowe FRA do oceny stanu technicznego transformatorów.

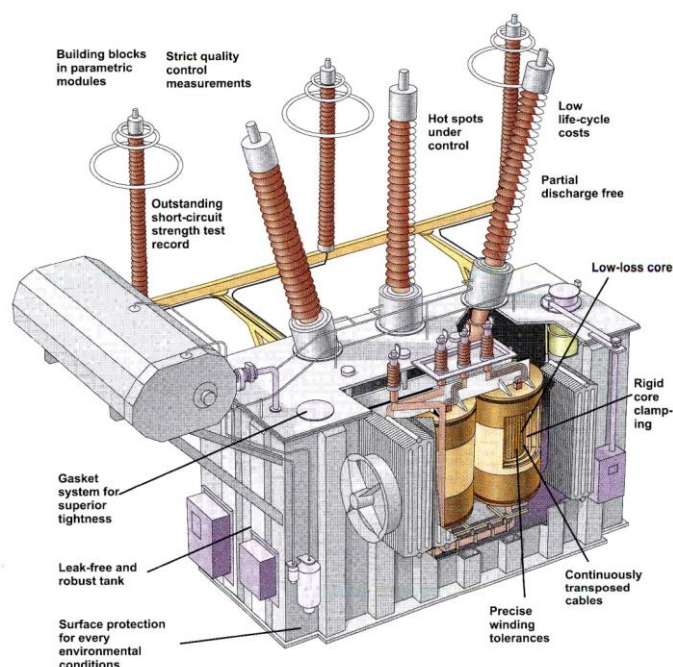
2.4.4. Diagnostyka eksploatacyjna dużych transformatorów w Polsce

2.4.4.1. Wprowadzenie

Transformatory stanowią jeden z droższych składników sieci elektroenergetycznych. Dbłość o ich zdolność eksploatacyjną wiąże się z nakładami finansowymi. Pod pojęciem zarządzania eksploatacją transformatorów kryją się nowoczesne sposoby dyspozycji, nadzoru i sterowania tymi urządzeniami połączone z coraz doskonalszą diagnostyką techniczną.

W ramach Komitetu Studiów A2 „Transformatory” CIGRE powołana została Grupa Robocza A2-20 „Aspekty ekonomiczne gospodarowania transformatorami” (Economics of Transformer Management) [10]. Doświadczenia polskie w tym zakresie zawarto w pracy [23]. W wyniku prac wspomnianej Grupy powstał przewodnik przeznaczony dla personelu, który odpowiada za ekonomiczne aspekty zarządzania eksploatacją transformatorów [6]. Obejmuje on cztery obszary:

- zarządzanie ryzykiem,
- wymagane warunki techniczne i zakupy,
- zagadnienia eksploatacyjne,
- procedury decyzyjne: naprawa, modernizacja, wymiana.



Rys. 1. Budowa transformatora z serii TRAF0 STAR według projektu ABB [25]
Fig. 1. Construction of transformer from series TRAF0 STAR according to ABB project [25]

Zarządzanie eksploatacją w Polsce zasadza się na przepisach zawartych w Ramowej Instrukcji Transformatorów [19], modernizowanej, co kilka lat. Choć nie jest ona dokumentem obligatoryjnym, to jest bardzo często wykorzystywana przy opracowaniu szczegółowych instrukcji eksploatacji. Transformatory różnią się konstrukcją, wiekiem i stanem eksploatacji, dlatego trudno sporządzić dla nich instrukcję o charakterze uniwersalnym.

2.4.4.2. Zagrożenia eksploatacyjne

W polskim systemie przesyłowym pracuje ok. 200 sztuk transformatorów sieciowych o mocy 160 MVA i większej, górnym napięciu przewodowym 220 kV i 400 kV. Transformatory dużych mocy (grupy I i II) zainstalowane w energetyce krajowej zostały wyprodukowane przez fabryki w Żychlinie, Łodzi, dawne Zakłady Remontowe Energetyki w Lublińcu (obecnie TURBO CARE) a transformatory mniejszej mocy w Łodzi-Janowie (obecnie POLIMEX MOSTOSTAL ZREW). Pojedyncze jednostki blokowe i sieciowe pochodzą z Austrii (ELIN), Japonii (HITACHI), Ukrainy (ZAPOROŻTRANSFORMATOR), a ostatnio z Korei Południowej (HYUNDAI). Duża liczba tych transformatorów ma staż w po zainstalowaniu dłuższy niż 30 lat.

Transformatory te wykazują oznaki zesterzenia izolacji i tendencje do zawilgocenia. Jednakże ze względu na przewymiarowaną izolację papierową i nie wykorzystanie ciepłe uzasadniona jest ich dalsza eksploatacja.

W transformatorach projektowanych i wytwarzanych współcześnie najczęściej

- rozwijają się uszkodzenia wewnętrzne z powodu przegrzań i wyładowań niepełnych (wnz) i zupełnych,
- ulegają uszkodzeniom przełączniki zaczeów pod obciążeniem,
- następują uszkodzenia izolatorów przepustowych (w transformatorach najwyższych napięć),
- powstają zagrożenia związane z obecnością cząstek stałych oraz siarki korozyjnej w oleju.

2.4.4.3. Wyładowania niepełne

Izolacja papierowo-olejowa w dużych transformatorach pozostaje nadal najlepszym rozwiązaniem oddzielającym obszary o różnych potencjałach, a sam olej jest przewodnikiem wymiany ciepła generowanego stratami w rdzeniu, uzwojeniach, częściach konstrukcyjnych, dopływach i odpływach. Zgodnie z klasyfikacją podaną przez J. Skubisa w pracy [21], wyładowania niepełne występujące w izolacji papierowo-olejowej można scharakteryzować następująco

- a. wyładowania niepełne występujące we wtrącinach gazowych,

- b. wyładowania ślizgowe (powierzchniowe),
- c. wyładowania niezupełne na lokalnych ostrzach (ulotowe, typu mostkowego),
- d. wyładowania występujące w cząstkach o nieokreślonym potencjalnie, przemieszczających się w oleju (opilki żelazne i miedziane).

Podczas wyładowań niezupełnych obserwuje się

- impuls prądowy i emisję fali elektromagnetycznej,
- chemiczny rozkład oleju i celulozy,
- impuls ciśnieniowy wywołujący falę akustyczną.

2.4.4.3.1. Metody elektryczne

W celu oceny wyładowań niezupełnych wykorzystuje się odpowiednio metody elektryczne [21] polegające na pomiarach

- ładunku pozornego,
- zakłóceń radioelektrycznych,
- impulsów w paśmie UHF,
- średniego kwadratu ładunków,
- z zastosowaniem metody mostkowej,
- z zastosowaniem metody watomierzowej.

Od pewnego czasu prowadzi się badania nad wykorzystaniem do ocen wyładowań niezupełnych

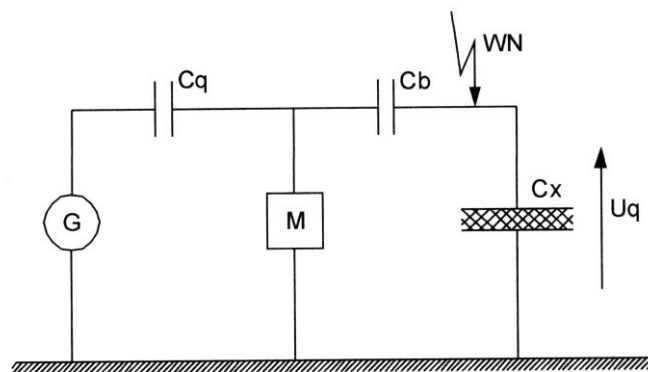
- pomiaru światła emitowanego przez wyładowania,
- pomiaru ciepła powstającego wskutek wyładowania,
- pomiaru gradientu ciśnienia w obszarze wyładowania.

Do tych prac zaliczyć należy publikację P. Frącza w zakresie oceny wyładowań niezupełnych w izolatorach wysokiego napięcia, jeśli chodzi o charakterystyki częstotliwościowe przydatne w badaniach i próbę oceny za pomocą kamery termowizyjnej [5].

Z metod elektrycznych należy wyróżnić pomiar ładunku pozornego, stosowany dość powszechnie w wytwórniach i w eksploatacji. Prosty schemat metody przedstawiono na rys. 2 (metoda ERA) [21].

Wartość ładunku pozornego Q_p wyładowania można obliczyć według wzoru (1) w założeniu, że impuls prostokątny skalujący i impuls mierzonego wyładowania są sobie równe.

$$Q_p = U_q C_q \left(1 + \frac{c_x}{c_b} \right) \quad (1)$$



Rys. 2. Schemat układu pomiarowego metody ERA. *G* – generator impulsów prostokątnych, *M* – miernik, *Cb* – kondensator sprzęgający, *Cq* – kondensator wzorcowy, *Cx* – kondensator odwzorowujący pojemnościowo badany obiekt [21]

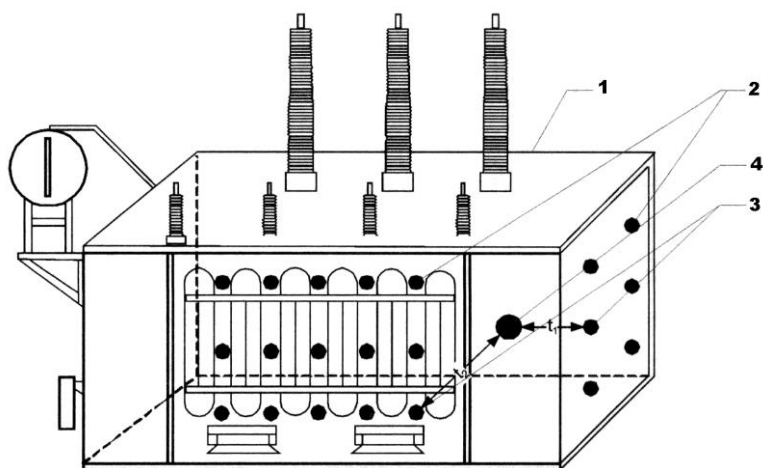
Fig. 2. System of method ERA measurement. *G*-rectangular impulse generator, *M*- measurement instrument, *Cb*-couple capacitor, *Cq* - standard capacitor, *Cx* – simulation capacitor of the object [21]

Zaletą metody jest możliwość rozróżniania wyładowań zewnętrznych od wewnętrznych, wadą wrażliwość na zakłócenia i ocena zagrożeń według amplitud wyładowań, bez uwzględnienia energii wyładowania.

Wpływ energii wyładowań na niszczenie izolacji uwzględnia pomiar średniego kwadratu napięcia impulsu. W sprawie pozostałych metod elektrycznych odsyłamy czytelnika do literatury [12].

2.4.4.3.2. Metoda emisji akustycznej

Podczas wyładowań niepełnych, jedynie niewielka część energii zamienia się na energię mechaniczną (akustyczną), gdyż większość zamienia się na energię cieplną, chemiczną oraz jest emitowana elektromagnetycznie. Powstająca fala rozchodzi się kuliście z miejsc generacji, których może być wiele, co sprawia, że impulsy akustyczne są przesunięte względem siebie w czasie i przestrzeni. Istnieje możliwość lokalizacji miejsc wzn. tzw. metodą osłuchową (według amplitud drgań) triangulacyjną (według czasów propagacji). Zaleca się, aby podczas eksploatacji wykorzystywać badania metodą osłuchową ze względu na posługiwanie się jednym torem pomiarowym.



Rys. 3. Ideowe przedstawienie triangulacyjnej metody lokalizacji wyladowań. 1 – szkic kadzi transformatora, 2 – rozmieszczenie punktów pomiarowych, 3 – punkty, do których sygnały EA docierają w najkrótszym czasie, 4 – zlokalizowany punkt wystąpienia wyladowań [21]

Fig. 3. Idea of triangulation method localization of partial discharges. 1- transformer tank, 2- localization of sensors, 3- points from which is observed the shortest time penetration of EA signals, 4- estimated place of partial discharges generation [21]

2.4.4.4. Chromatografia gazowa

Chromatografia gazowa została wykorzystana do analizy oleju transformatorowego degradowanego podczas eksploatacji pod względem fizyko-chemicznym i dielektrycznym.

Naturalne starzenie jest powodowane wpływem temperatury, tlenu z atmosfery i pola elektrycznego [14,17,18,20,22]. Znaczne zmiany temperaturowe w transformatorze występują zwykle podczas awarii, związanych z wyladowaniami wewnętrznymi wskutek zwarć lukowych, przegrzań połączeń elektrycznych i zwiększonych strat dodatkowych w częściach konstrukcyjnych. Działanie wyladowań niezupełnych, początków niegroźne, z biegiem czasu powoduje zmiany fizyko-chemiczne, które mogą sygnalizować miejsca przyszłych uszkodzeń w izolacji. Analiza gazów rozpuszczonych w oleju metodą chromatograficzną jest szeroko stosowana do wczesnego wykrywania wolno rozwijającego się uszkodzenia powodującego degradację oleju lub materiałów izolacyjnych.

Badane zawartości gazów takich jak: wodór, metan, etan, etylen, acetylen, tlenek węgla, dwutlenek węgla, azot i tlen odpowiednio zinterpretowane stały się obecnie użytecznym narzędziem do nadzorowania stanu technicznego transformatorów olejowych.

Związki powstające podczas utleniania węglowodorów wpływają szkodliwie na izolację stałą (degradacja celulozy), natomiast inne związki chemiczne powiększają stratność dielektryczną ($\tan \delta$) z powodu zwiększenia absorpcyjnych właściwości papieru.

Wymagane granice wykrywalności gazów wyrażone w $\mu\text{l/l}$ z podziałem na badania fabryczne i eksploatacyjne zostały określone przez normę IEC [9].

W ciągu ostatnich lat podstawowym dostawcą oleju Nytro na rynek polski była szwedzka firma Nynas. Są to oleje naftenowe przy produkcji których stosowano proces hydorafinacji, preferowany obecnie w olejach elektroizolacyjnych nowej generacji. Dzięki badaniom

chromatograficznym stwierdzono, między innymi, powstawanie gazów pasożytniczych po nagrzewaniu oleju w stosunkowo niskiej temperaturze (nagrzewanie w ciągu 164 godzin w temperaturze 100 °C) [17].

Tabela 1. Gazy pasożytnicze wytworzone w różnych rodzajach olejów mineralnych w warunkach testu opracowanego przez TF 15/12-01-11 [17]

Table 1. Parasitic gases generated by mineral oil of different sort according to TF 15/12-01-11 test [17]

Rodzaj oleju (test: 120°C 164 godz.)	Wodór H ₂ [ppm]	Metan Ch ₄ [ppm]
Nytro 10X	73	0
Diala S	187	9
Univolt 52	73	5
Nytro 10 GBN	269	145
Voltesso 35	92	158
Voltesso 35 (nowa generacja oleju)	2399	105

Wyniki zawiera Tabela 1, w której dla porównania podano skład gazów rozpuszczonych w oleju przed przeprowadzeniem testu.

Tabela 2. Wyniki badań DGA [20]
Table 2. Results of DGA investigation [20]

Transformator	25 MVA, 110 kV TDR3b 25000/110	25 MVA, 115 kV TNARCA 25000/110	2,5 MVA, 15.0/6.0 kV Tod 2500/15/6	63 MVA, 121 kV TFR 3a 63000/121x	1 MVA, 15 kV TO 1000/15
Skład i koncentracja gazów					
H ₂	65	169	181,9	13,7	17,5
CH ₄	94	495	189,5	73,2	35,4
C ₂ H ₆	1007	183	139,7	550,8	67
C ₂ H ₄	83	1059	551,3	22,9	11,5
C ₂ H ₂	9	50	460,4	17,3	---
C ₃ H ₈	1135	40	107,5	629	103,5
C ₃ H ₆	130	527	312,8	33,4	65,3
CO	218	65	109,8	85,1	237,2
CO ₂	5565	1848	1518,6	1257,4	2124
Suma gazów palnych	3062	2694	2052,9	1425,4	537,4
Postawiona diagnoza	Miejscowe niskotemperaturowe przegrzanie 150-300°C	Przegrzanie powyżej 700°C	Wyładowania łukowe o wysokiej energii	Miejscowe przegrzanie 200-300°C	Przegrzanie 150-200°C, termiczny rozkład celulozy
Wyniki oględzin wewnętrznych	Odształcenia mechaniczne uzwojeń DN, ślady lokalnych przegrzań	Przerwa na uzwojeniu GN. Upalone połączenie uzwojenia podstawowego	Uszkodzone uzwojenie regulacyjne	Ślady przegrzań na uzwojeniach, rozprasowany rdzeń oraz obwody zwarte	Luźne styki na beznapięciowym przełączniku zaczeń, ślady szlamu na części aktywnej transformatora

W tabeli 2 za pracą [20] zamieszczono wyniki badań DGA dla kilku uszkodzonych transformatorów, a szczegóły uszkodzeń poznano dopiero po przeprowadzeniu badań oleju i demontażu transformatora.

Prowadzone są badania w zakresie analizy statystycznej stężeń gazów rozpuszczonych w oleju transformatorowym, gdyż stężenia te są zmienna losową.

Autorzy pracy [16] stwierdzają, że traktowanie ilości gazu rozpuszczonego w oleju transformatora jako zmiennej losowej stwarza możliwość zastosowania analizy statystycznej do opracowania metod diagnostycznych, wspomagających już istniejące. Prace zespołu F. Mosińskiego pozwalają na wykorzystanie statystyki nie tylko w celu wyznaczenia wartości typowych stężeń gazów dla określonego prawdopodobieństwa defektu, ale także śledzenia wybranych deskryptorów statystycznych i badania jednomodalności rozkładu statystycznego, jako wskaźników wystąpienia i rozwoju defektu.

2.4.4.5. Diagnostyka przełączników zaczepów

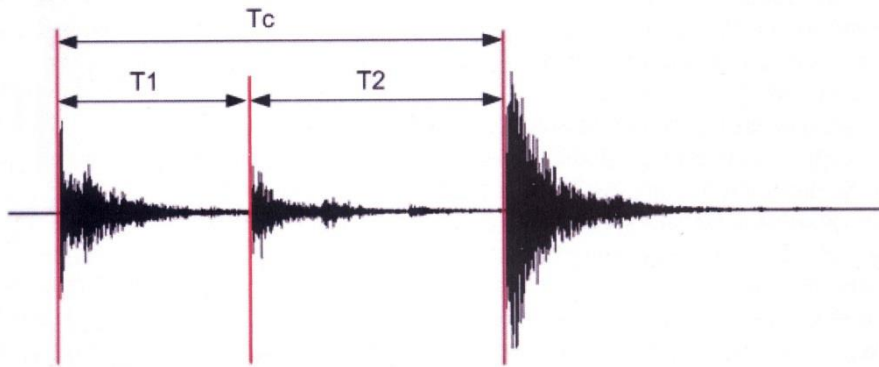
Ważną częścią składową transformatorów dużych mocy są podobciążeniowe przełączniki zaczepów (PPZ), które służą do regulacji napięcia w sieci. Dotyczy to zarówno transformatorów systemowych, jak również rozdzielczych i specjalnych np. piecowych stosowanych w hutnictwie.

Diagnostyka PPZ w Polsce jest głównie oparta na badaniach oscylograficznych w stanie pracy off-line. Budowa przełączników jest dość skomplikowana i składa się z wybieraka oraz elementów łączeniowych. Po pewnym czasie elementy stykowe zużywają się wskutek ścierania i erozji spowodowanej wyładowaniami. Osobne trudności sprawiają elementy mechanicznego przenoszenia momentu obrotowego [2,7].

W pracy [7] obejmującej system nadzoru PPZ monitorowane są : prąd płynący przez przełącznik w chwili rozpoczęcia przestawiania pozycji, przebieg mocy czynnej silnika napędu PPZ w trakcie zmiany pozycji zaczepowej, opcjonalny sygnał z czujnika obrotu zainstalowanego na wale napędu, stan wyłącznika napędu, temperaturę oleju itp. , ułatwiające bieżącą informację o stanie przełącznika zaczepów.

A. Cichoń, autor pracy [2], po wieloletnich doświadczeniach, zaproponował wykorzystanie metody emisji akustycznej (EA) do oceny stanu PPZ. Zaproponował również system diagnostyczny, wykorzystujący wyżej wymienioną metodę.

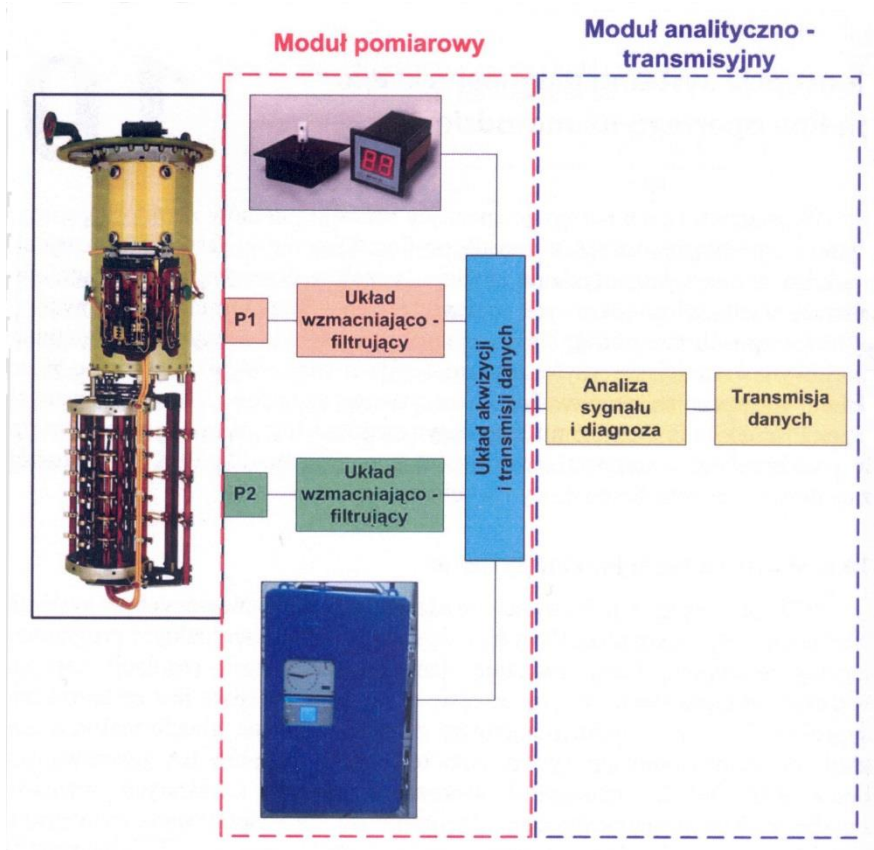
Wyładowania elektryczne powstające podczas procesu łączeniowego PPZ generują sygnały EA o częstotliwościach ok. 350 kHz. W pomiarach została przyjęta częstotliwość próbkowania 1000 kHz. Drgania w wybranych obszarach przełącznika odbierane są za pomocą czujników piezoelektrycznych. Analiza sygnałów jest dokonywana w dziedzinie czasu i w konwencji czasowo-częstotliwościowej. Przebieg akustyczny zwiera struktury czasowe jak na rys. 3.



Rys. 4. Sposób wyznaczania czasów charakterystycznych w sygnałach EA generowanych przez PPZ [2]

Fig. 4. Definition of characteristic periods in EA signals generated by tape-changer [2]

W trakcie modelowania defektów, odstępy czasowe między tymi strukturami ulegały zmianom. Do wyznaczenia czasów charakterystycznych zostało wykorzystane specjalistyczne oprogramowanie służące do analizy sygnałów EA i wibroakustycznych opracowane w Instytucie Elektroenergetyki Politechniki Opolskiej. Schemat blokowy systemu diagnostyki przedstawiony został na rys.4



Rys. 5. Schemat blokowy systemu diagnostyki PPZ on-line opartego na metodzie EA [2]

Fig. 5. Block scheme of tape-changer diagnosis system with application EA method [2]

Ważnym kierunkiem dalszych prac nad tym zagadnieniem powinno być stworzenie bazy tzw. „odcisków palca” dla różnych typów PPZ znajdujących się w eksploatacji dla celów dalszego monitoringu.

2.4.4.6. Diagnostyka izolatorów

Obecnie w kraju w eksploatacji znajduje się ok. 1200 sztuk transformatorowych izolatorów przepustowych na napięcie 110 kV i większe. Są to przepusty typu olej-powietrze, w większości z izolacją papierowo –olejową (OIP Oil Impregnated Paper) w osłonie porcelanowej. Wyjątkiem są 3 przepusty na 400 kV typu olej-SF₆. Od pewnego czasu dla nowych jednostek zamawiane są izolatory (400 kV, 220 kV, 110 kV) z papierem nasączonym żywicą epoksydową, tzw. suche (ERIP Epoxy Resin Impregnated Paper), zawsze w osłonie kompozytowej, których ilość można określić na ok. 10% wszystkich wymienionych izolatorów. Skutki uszkodzenia izolatorów napełnionych olejem mogą być katastrofalne. Zachodzi konieczność stosowania rozwiązań wykluczających, bądź eliminujących ryzyko wystąpienia eksplozji i pożaru wskutek uszkodzenia izolatora [1].

W ostatnich latach uszkodzenia izolatorów były przyczyną znacznej liczby poważnych awarii transformatorów w energetyce krajowej [4].

Ocenia się, że wiek izolatorów, dla których występuje najwięcej awarii zawiera się w granicach 15-20 lat.



*Rys. 6. Izolator na napięcie rzędu 400 kV po eksplozji [1]
Fig. 6. Isolator of the range 400 kV after explosion [1]*

Większość izolatorów przepustowych wysokiego napięcia jest wyposażona w zacisk pomiarowy, pozwalający wykonać stosowane dotychczas badania off-line, które ograniczały się do pomiarów tg δ oraz pojemności izolatorów na wyłączonych transformatorach. Przykładowe pomiary tg δ na transformatorach blokowych w Elektrowni w Bełchatowie wykonywane były dwójako: między zaciskiem liniowym a izolowanym zaciskiem pomiarowym izolatora przepustowego lub między zaciskiem pomiarowym a uziemionym

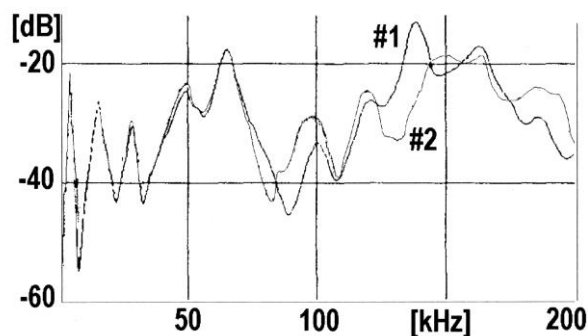
kołnierzem i zaciskiem liniowym izolatora przepustowego. Wykazały one duże różnice między sposobami pomiaru i różne wartości dla trzech izolatorów fazowych, co skłoniło do dalszej obserwacji badanych obiektów[13].

Obecnie stosuje się także analizę DGA oleju w przypadku izolacji olejowo-papierowej oraz metodę spektroskopii dielektrycznej FDS. Metoda ta polega na wyznaczeniu współczynnika strat dielektrycznych oraz pojemności w funkcji częstotliwości. Może być ona z powodzeniem zastosowana do kompletnego izolatora, jak również pobranych próbek oleju.

Monitoring on-line wykorzystuje czujniki(pojemnościowe lub rezystancyjne) podłączone do zacisków pomiarowych izolatorów, przy czym najczęściej mierzonym parametrem jest prąd upływu. Na podstawie analizy sumy prądów upływu dla trzech izolatorów z jednej strony (GN) transformatora obliczana jest zmiana pojemności oraz współczynnika $\text{tg}\delta$ izolatorów. Zmiana parametrów obliczana jest ze stosunku amplitud i faz prądów upływu, dlatego nie można porównywać ich bezpośrednio z wartościami pojemności i $\text{tg}\delta$ zmierzonymi w trybie off-line. Diagnostyka ta wykorzystuje trend zmian monitorowanych parametrów. Jako wielkości alarmowe, uważa się przekroczenie prądu niezrównoważenia od 5% do 20% i współczynnika $\text{tg}\delta$ od 1% do 5% [1].

2.4.4.7. Metoda FRA

Transformatory w eksploatacji narażone są na zwarcia, co skutkuje siłami dynamicznymi, które mogą powodować odkształcenia uzwojeń, w szczególnych przypadkach prowadzących do poważnych awarii. Następuje to zwłaszcza po kilku powtarzających się zwarcia, które powodują kolejne odkształcenia uzwojeń.

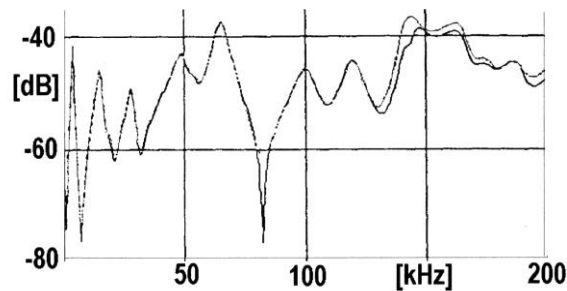


Rys. 7. Funkcja przeniesienia transformatora, którego uzwojenie uległo odkształceniu: najwyższe dwa zwoje cewki zostały podniesione o kilka centymetrów #1 oraz to samo uzwojenie przed deformacją #2 [14]

Fig. 7. Transmission function of transformer with displacement of two end wires about some centimeters #1 and before deformation #2 [14]

Transformatory o znaczeniu strategicznym są badane okresowo pod kątem wczesnego wykrycia tych uszkodzeń. Odbywa się to poprzez zastosowanie metody analizy odpowiedzi częstotliwościowej uzwojenia FRA (Frequency Response Analysis) [3,15,24]. Według R. Malewskiego [15], napięcie probiercze o częstotliwości zmieniającej się od kilkudziesięciu

herców do kilku megaherców jest doprowadzane do przepustu na izolatorze i odpowiedź jest rejestrowana w punkcie neutralnym lub na przepuście drugiego izolatora tej samej fazy



Rys. 8. Funkcja przenoszenia uzwojenia sprasowanego i po zdjęciu szczęk pasujących. Nieznaczna zmiana wysokości uzwojenia spowodowała czytelną różnicę pomiędzy porównywanymi funkcjami przenoszenia w zakresie częstotliwości powyżej 120 kHz [14].

Fig. 8. Transmission function of press winding and after depression with small displacement of the wires. The readable function difference is observed over 120 kHz [14]

Funkcja przenoszenia stanowi widmo przebiegu prądu zarejestrowanego na krańcu neutralnym uzwojenia podzielone przez widmo napięcia udarowego przyłożonego do zacisku wysokiego napięcia. Stosowana jest także funkcja przenoszenia pomiędzy uzwojeniem pierwotnym i wtórnym tej samej fazy. Przebieg tej funkcji to szereg wierzchołków występujących przy częstotliwości drgań własnych, spowodowanych rezonansem szeregowym pomiędzy pojemnością doziemną oraz pojemnością między cewkami uzwojenia a indukcyjnością rozproszenia uzwojenia. Wymagana jest Przy tym krzywa rezonansowa dla transformatora nowego, która stanowi odniesienie do dalszych porównań. Jest to tzw. wzorec-„odcisk palca „ (finger print) .Różnice między przebiegami dla transformatora nowego i eksploatowanego mogą wskazywać na powstanie zwoju zwartego (znaczne i niebezpieczne uszkodzenie), już przy częstotliwościach kilku kiloherców. Natomiast niewielkie odkształcenia uzwojeń można zidentyfikować dopiero przy wyższych częstotliwościach. Funkcję przenoszenia oblicza się przy zastosowaniu transformaty Fouriera do niskonapięciowego udaru przyłożonego do przepustu GN oraz do przebiegu prądu zarejestrowanego punkcie neutralnym, który stanowi odpowiedź uzwojenia na przyłożony udar. To samo postępowanie dotyczy funkcji przenoszenia między uzwojeniem GN i DN w tej samej fazie.

2.4.4.8. Wnioski

W zakresie zarządzania eksploatacją transformatorów w Polsce, podobnie jak w innych krajach, stosuje się zabiegi zmierzające do sprawdzania stanu technicznego poprzez okresowe badania zgodnie z Ramową Instrukcją Eksploatacji Transformatorów. W tych zagadnieniach wiodącą rolę odgrywa ENERGOPOMIAR-ELEKTRYKA w Gliwicach. W pracach bierze udział szereg pracowni o charakterze przemysłowym (fabrycznym) i eksploatacyjnym (PSE, Instytut Energetyki Oddział w Łodzi, Grupy Energetyczne), przy współpracy z ośrodkami

akademickimi w Polsce. Od wielu lat prowadzi się prace diagnostyczne w zakresie badania stanu olejów transformatorowych, izolatorów przepustowych, więcej uwagi poświęca się przełącznikom zacze­pów pod obciążeniem, wd­raża się metodę FRA.

Należy podkreślić, że istnieje wyraźna tendencja do monitoringu stanu transformatorów w systemie on-line. Powstały już konkretne projekty oraz rozwiązania techniczne i aplikacje w elektroenergetyce o różnym stopniu zaawansowania. Zagadnienie to jest bardzo szerokie i wymagałoby oddzielnego omówienia

Literatura

- [1] BUCHACZ J., SZYMAŃSKI Z., Warczyński P., *Wybrane metody diagnostyki stanu technicznego izolatorów przepustowych z izolacją papierowo-olejową*, Mat. Konferencji Zarządzanie Eksploatacją Transformatorów, Wisła-Jawornik, 27-29 kwietnia 2010 r., ss. 143-156
- [2] CICHON A., *Nowa metoda diagnostyki stanu technicznego podobciążeniowych przełączników zacze­pów*, Wyd. Politechniki Opolskiej, Opole 2011
- [3] FLORKOWSKI M., FURGAŁ J., *Rozpoznawanie uszkodzeń transformatorów na podstawie funkcji przenoszenia transformatorów*, Przegląd Elektrotechniczny Nr 12, 2007, ss.60-63
- [4] FIGURA M., MAŃSKI P., *Izolatory przepustowe dużych transformatorów sieciowych-doświadczenia eksploatacyjne oraz ich wpływ na zarządzanie populacją izolatorów*, Mat. Konferencji Zarządzanie Eksploatacją Transformatorów, Wisła- Jawornik, 27-29 kwietnia 2010 r., ss.105-120
- [5] FRĄCZ P., *Wykorzystanie optycznych sygnałów emitowanych przez wyladowania elektryczne w diagnostyce transformatorów*, Wydawnictwo Politechniki Opolskiej 2011
- [6] Guide on Economics of Transformer Management , Brochure No 248
- [7] GIL W., ANDRZEJEWSKI M., SOBOCKI R., *Monitorowanie on-line pracy podobciążeniowego przełącznika zacze­pów transformatora*, Mat. Konferencji Zarządzanie Eksploatacją Transformatorów, Wisła-Jawornik , 16-18 kwietnia 2008 r., ss.171-180
- [8] IEC 61184:2007, *Mineral oil filled electrical equipment-application of dissolved gas analysis (DGA) to factory tests on electrical equipment.*
- [9] IEC 60567:2005, *Oil filled electrical equipment sampling of gases and of oil for analysis of free and dissolved gases.* Guidance
- [10] KAŻMIERSKI M., OLECH W., PAWŁOWSKI D., *Aktualne problemy zarządzania eksploatacją transformatorów*, Mat. Konferencji Zarządzanie Eksploatacją Transformatorów, Wisła-Jawornik 16-18 kwietnia 2008 r. , ss. 3-21
- [11] KAŻMIERSKI M., *Diagnostyka stanu technicznego izolatorów przepustowych transformatorów*, Mat. Forum ABB Transformatory Energetyczne, 25-26 listopada 2009 r. ss. 195-224
- [12] KOŁTUNOWICZ W., *Rejestracja wyladowań niezupełnych w zakresie wysokich częstotliwości (UHF)*, Transformatory w eksploatacji, Wydawnictwo Energo – Complex , kwiecień 2005, ss.189-195
- [13] ŁUKASZEWSKI J, NIEWIERSKI R., *Zapobieganie awarii transformatorów poprzez wczesne wykrywanie uszkodzeń izolatorów przepustowych wysokiego napięcia*, Mat. Konferencji Zarządzanie Eksploatacją Transformatorów, Wisła-Jawornik 26-28 kwietnia 2006 r. , ss.207-214
- [14] MALEWSKI R., *Odkształcenia uzwojeń*, Transformatory w eksploatacji, Wydawnictwo Energo - Complex, ss.197-215
- [15] MICOR S., WARCZYŃSKI P., *Badania stanu mechanicznego uzwojeń metodą odpowiedzi częstotliwościowej (SFRA)*, Mat. Konferencji Zarządzanie Eksploatacją Transformatorów, Wisła-Jawornik 26-28 kwietnia 2006 r., ss.215-217
- [16] MOSIŃSKI F., PIOTROWSKI T., *Statystyka DGA*, Mat. Konferencji Transformatory Energetyczne i Specjalne, Kazimierz Dolny, 13-15 października 2010 r. ss.103-114
- [17] OLEJNICZAK H., BUCHACZ T., BEDNARSKA B., *Powstawanie gazów w transformatorach napełnionych olejem mineralnym związane z występowaniem uszkodzeń wewnętrznych*, Mat. Konferencji Zarządzanie Eksploatacją Transformatorów, Wisła-Jawornik, 16-18 kwietnia 2008 r., ss.121-132

- [18] OLECH W., OLEJNICZAK H., BUCHACZ T., *Problemy związane z występowaniem siarki korozyjnej w olejach transformatorowych*, Mat. Konferencji Zarządzanie Eksploatacją Transformatorów, Wisła-Jawornik, 16-18 kwietnia 2008 r., ss.181-192
- [19] *Ramowa Instrukcja Eksploatacji Transformatorów ZPBE*, Energopomiar –Elektryka, Gliwice 2006
- [20] SKOWRON A., KOZAK R., *Badanie olejów elektroizolacyjnych a stan techniczny transformatorów*, Mat. Konferencji Transformatory Energetyczne i Specjalne, Kazimierz Dolny 13-15 października 2010, ss.115-124
- [21] SKUBIS J., *Pomiary i lokalizacja wyladowań niezupełnych*, Transformatory w eksploatacji, Wydawnictwo Energo – Complex , kwiecień 2005, ss.175-188
- [22] SŁOWIKOWSKA H., *Wskaźniki diagnostyczne procesów cieplnych zachodzących w izolacji celulozowej transformatorów olejowych*, Mat. Konferencji Transformatory Energetyczne i Specjalne, Kazimierz Dolny, 13-15 października 2010, ss.87-101
- [23] SOBOCKI R., KAŹMIERSKI M., OLECH W., *Technical and Economic Assessment of Power Transformers*, the Polish Practice, CIGRE 2002, Rep. No 12-104
- [24] WITCZAK P., WNUK Ł., *Możliwości diagnostyczne analizy odpowiedzi częstotliwościowej uzwojeń transformatora*, Mat. Konferencji Zarządzanie Eksploatacją Transformatorów, Wisła-Jawornik 16-18 kwietnia 2008 r. ss.103-110
- [25] ZAKRZEWSKI K., *Transformatory największych mocy i napięć-problematyka techniczna i badawcza*, Zeszyty Problemowe KOMEL Maszyny Elektryczne Nr 83 2009 ss.1-12

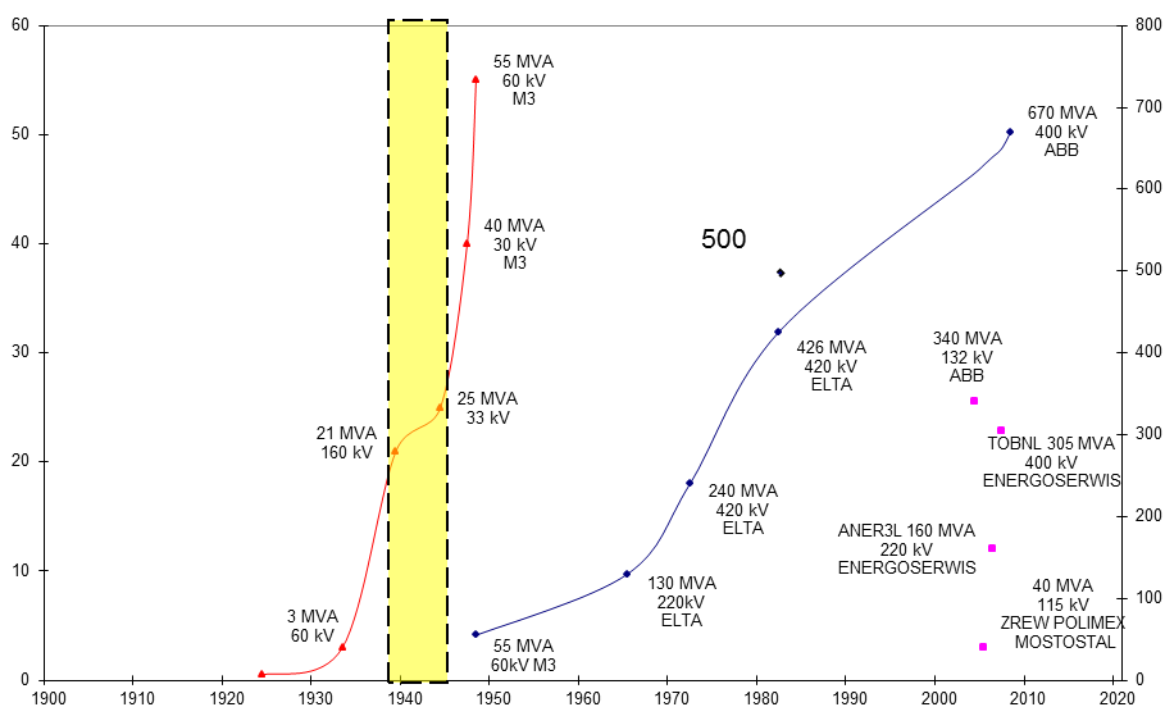
2.4.5. Aktualna problematyka konstrukcyjno-technologiczna transformatorów największych mocy i napięć

2.4.5.1. Rozwój produkcji transformatorów w Polsce [7,8,9,10,11]

Początki produkcji transformatorów w Polsce sięgają lat dwudziestych ubiegłego stulecia (Fabryki: EIEKTROBUDOWA-później M3 w Łodzi, ROHN-ZIELIŃSKI-później M1 w Żychlinie). Dzięki usilnym staraniom prof. Eugeniusza Jezierskiego, Kierownika Katedry Maszyn Elektrycznych i Transformatorów Politechniki Łódzkiej, zlokalizowano w Łodzi nową fabrykę transformatorów, przewidzianą w Narodowym Planie Gospodarczym na lata 1956-60, łącznie z fabryką aparatury trakcyjnej. Nazwa fabryki w skrócie-ELTA. Projektowaniem stacji prób i laboratorium wysokich napięć zajmowała się Katedra Maszyn Elektrycznych Politechniki Łódzkiej oraz Zakład Wysokich napięć Instytutu Elektrotechniki w Warszawie, kierowany przez doc. Zygmunta Hastermana. Zakupiona została licencja austriackiej firmy Elin, dzięki której wykonano w 1965 r. transformator blokowy o mocy 130 MVA na 220 kV i autotransformator 160 MVA, $230 \pm 12\%/120/10,5$ kV. W tym samym czasie na terenie ELTY powstał Oddział Instytutu Elektrotechniki w Warszawie – Zakład Transformatorów, kierowany przez późniejszego prof. Macieja Kozłowskiego, wywodzącego się z Katedry Maszyn Elektrycznych i Transformatorów Politechniki Łódzkiej. Zakład ten odegrał bardzo istotną rolę w rozwoju konstrukcji nowoczesnych jednostek transformatorowych, prowadząc prace studialne, badawcze i projektowe na użytek zamówień fabrycznych. Po wielu latach został przejęty przez Instytut Energetyki w Warszawie; obecnie w okrojonej postaci zajmuje się diagnostyką i monitoringiem transformatorów. W 1966 r.

powstał transformator blokowy polskiej konstrukcji o mocy 240 MVA, początkowo na napięciu 126 kV, a następnie na napięciu 250 kV (nagroda państwowa II-go stopnia). W 1971 r. wyprodukowano transformator blokowy dla Elektrowni Turów o mocy 240 MVA i napięci GN 420 kV, w 1974 r. transformator sieciowy 250 MVA, 400/123± 12%/31,5 kV. Wymagało to zainstalowania w fabryce, do prób, trójfazowej baterii kondensatorów o mocy 95 MVAR, wspomagającej generator 35 MVA oraz skonstruowania dławika o jedno- i trójfazowej symetrycznej lub niesymetrycznej obciążalności do równoległego połączenia z transformatorem badanym, stanowiącym duże obciążenie pojemnościowe dla generatora napięcia przemiennego indukowanego. W tej pracy udział wzięła także Katedra Maszyn Elektrycznych i Transformatorów Politechniki Łódzkiej. Zainstalowano nowy generator udarowy firmy HAEFELY (pioruny 2400 kV, 240 kJ), przepięcia łączeniowe (2280 kV, 215 kJ) z elektronicznym układem ucinającym i dzielnikiem napięcia. W 1984 r. powstał transformator blokowy (pięciokolumnowy) o mocy 426 MVA i przekładni 420/22 kV, a w 1985 r. autotransformator sieciowy regulacyjny 500 MVA, 410/245 ±10%/22 kV. Fabryka ELTA została sprywatyzowana i przejęta przez koncern ABB w 1992 r.

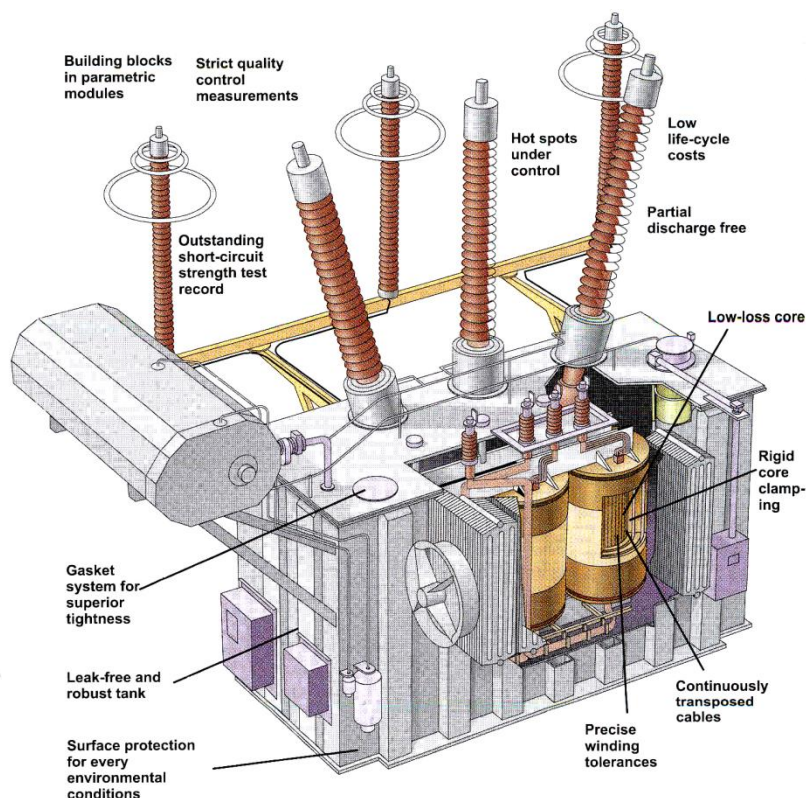
Uległa następnie modernizacji budowlanej (posadzka przystosowana do transportu na poduszce powietrznej). Zorganizowano nowe działy produkcyjne, zmieniono wyposażenie. Modernizacja umożliwiła produkcję transformatorów do mocy ponad 300 MVA. Uruchomiono Zakład Produkcji Elementów Izolacyjnych, dla wszystkich fabryk ABB w Europie, rozwijano produkcję transformatorów rozdzielczych olejowych i żywicznych. W 2004 r. wyprodukowano transformator blokowy o mocy 340 MVA 132/17,5 kV dla elektrowni jądrowej SIZEWELLA na wschodnim wybrzeżu Suffolk w Wielkiej Brytanii.



Rys. 1. Rozwój produkcji transformatorów największych mocy w Polsce w XX i XXI wieku

Największe osiągnięcia ostatnich lat, to:

- a. transformator blokowy 670 MVA, 400/20 kV dla Elektrowni Kozienice (pięciokolumnowy)-ze względu na moc,
- b. transformator sieciowy 250 MVA, 500/121/38,5 kV- ze względu na napięcie.



Rys. 2. Konstrukcja transformatorów TRAF0 STAR (ABB) [2]

Należy również wymienić osiągnięcia firmy TURBO CARE (dawniej Energoserwis) w Lublińcu, w zakresie projektowania oraz produkcji nowoczesnych jednostek transformatorowych. W 2006 r. wykonano transformator blokowy (pięciokolumnowy) 305 MVA, 400 kV, dla Elektrowni Turów. Układ izolacyjny wykonano przy współpracy ze szwajcarską firmą Weidmann (odpływ modułarny). W tym samym roku wykonano autotransformator 160 MVA, 220 kV o wzmocnionej wytrzymałości zwarciowej w porównaniu z uszkodzonym autotransformatorem firmy Elin o mocy 125 MVA, 220 kV. Firma ta wykonuje także transformatory sieciowe średniej mocy n.p. 40 MVA, 110 kV.

Firma ZREW Transformatory Janów w Łodzi, wykonuje nowe oraz modernizuje stare transformatory o mocach do 75 MVA i napięciach do 121 kV, w tym także trójzwojowe n.p. 40/40/13 MVA, 115/16,5/6,6 kV.

Fabryka, o dużej tradycji, w Żychlinie oferuje transformatory trójfazowe o mocy do 90 MVA. Prowadzi także produkcję transformatorów małej mocy do 2,5 MVA oraz specjalizuje się w takich wykonaniach specjalnych jak transformatory piecowe do 40 MVA, przekształtnikowe i trakcyjne do 10 MVA itp.

W Polsce istnieje także szereg wytwórni produkujących transformatory rozdzielcze (ABB Łódź) i specjalne (MEFTA w Mikołowie) o znacznie mniejszych mocach i napięciach górnych, w wykonaniu olejowym i żywicznym.

2.4.5.2. Podstawowe rodzaje transformatorów o parametrach ekstremalnych [1,2,18,20]

Do podstawowych zastosowań transformatorów największych mocy i napięć należą

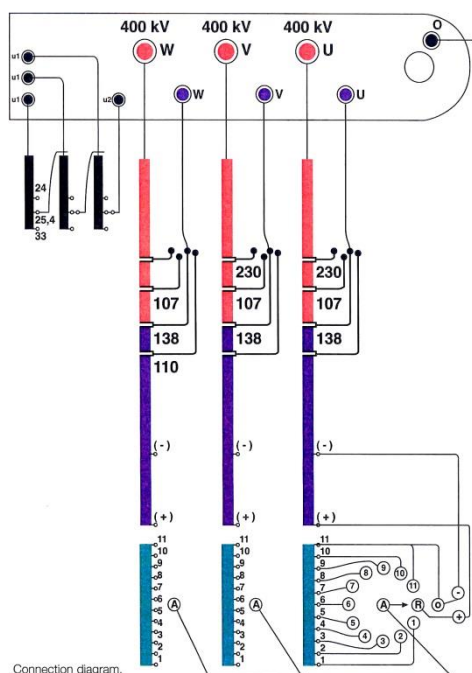
2.4.5.2.1. Wyprowadzenie mocy z elektrowni

Wyprowadzenie mocy z generatorów elektrownianych do sieci, wymaga transformacji stosunkowo niskiego napięcia generatora na wysokie napięcie przesyłowe, z możliwością regulacji napięcia wyjściowego pod obciążeniem. W celu realizacji tego zdania buduje się **transformatory podwyższające napięcie, zwane blokowymi**. Transformatory budowane na świecie mogą osiągać napięcia GN na poziomie 800 kV. W tych transformatorach jest stosowany z reguły układ połączeń uzwojeń Ynd. Połączenie uzwojenia DN w trójkąt jest uzasadnione stosunkowo małą impedancją dla składowej zerowej oraz mniejszą wartością prądów fazowych w stosunku do przewodowych. Uzwojenie GN ma skutecznie uziemiony punkt zerowy, co umożliwi obniżenie poziomu izolacji tego punktu względem początku uzwojenia. Transformator blokowy jest połączony szynoprzewodami na stałe z generatorem i wymaga ochrony przed przewzbudzeniem w stanie nagłego zrzutu obciążenia. Należy zwrócić uwagę na konieczność ochrony przepięciowej uzwojenia DN w postaci odgromników wraz z kondensatorami między końcami uzwojenia i ziemią. Przepięcia indukowane są szczególnie niebezpieczne, jeśli uzwojenie DN jest odłączone od generatora.

2.4.5.2.2. Łączenie linii wysokich napięć prądu przemiennego

W tym celu buduje się transformatory i autotransformatory sprzęgające, zwane sieciowymi, podwyższające i obniżające napięcie wraz z regulacją napięcia pod obciążeniem.

Moc transformatorów sprzęgających może osiągać wartość 1000 MVA. W większości są to autotransformatory, jako rozwiązania oszczędnościowe.

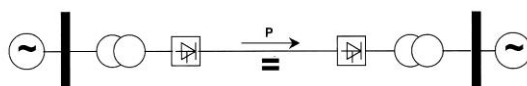


Rys. 3. Autotransformator sprzęgający uniwersalny POLYTRANSFORMER (ABB) [18]

Najczęściej istnieje możliwość regulacji napięcia po obu stronach uzwojenia transformatora, co umożliwia regulację mocy biernej między połączonymi systemami. Izolacja uzwojeń jest stopniowana. W przypadku transformatorów, regulacja napięcia odbywa się dzięki uzwojeniom regulacyjnym dołączonym od strony punktu neutralnego. W przypadku autotransformatorów, regulacja następuje po stronie DN. Firma ABB opracowała tzw. Polytransformer, który jest autotransformatorem regulacyjnym o wielu przekładniach: 400/230, 400/138, 400/110 kV. Uzwojenie połączone w trójkąt ma napięcia: 33, 25,4, 24 kV. Moc przechodnia maksymalna 450 MVA. Układ połączeń Ynad11.

2.4.5.2.3. Łączenie systemów prądu przemiennego i stałego

Wymaga to budowy transformatorów przekształtnikowych, zasilających z jednej strony układ prostownikowy połączony z linią przesyłową prądu stałego wysokiego napięcia (High Voltage Direct Current -HVDC) oraz transformujących napięcie falownikowe na napięcie wysokiego systemu odbiorczego

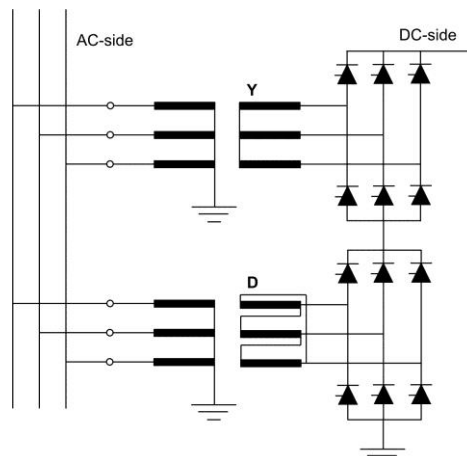


Rys. 4. Układ przesyłowy HVDC [2]

Straty mocy przy takim przesyśle są mniejsze niż przy prądzie przemiennym, a poza tym można łączyć ze sobą systemy niesynchroniczne. Transformatory przekształtnikowe zapewniają izolację galwaniczną układu DC i AC. Ze względu na współpracę transformatora

z przekształtnikiem pojawiają się nieparzyste harmoniczne prądu w uzwojeniach (5.7, 13 i wyższe), które są powodem strat dodatkowych-obciążeniowych.

Na rys. 5 przedstawiono schemat połączeń układu transformatorów z zaworami układu 12-topulsowego. Po stronie sieci zasilającej AC, nie występują w prądzie wyższe harmoniczne wspomnianych rzędów, gdyż zamykają się przez uzwojenia obydwu transformatorów, powiększając straty obciążeniowe. Harmoniczna 5-ta może osiągać nawet wartość 20% harmonicznej podstawowej. Na stacji przetwarzającej prąd stały na przemienny istnieje w zasadzie możliwość przetwarzania prądu na dowolną częstotliwość narzucona przez system AC. Jak wynika z rys.5, napięcia po stronie zaworów są przesunięte względem siebie o 30° .



Rys. 5. Układ prostujący 12-topulsowy HVDC [2]

Napięcie wyprostowane w stanie jałowym wynosi

$$U_{DC} = \frac{6\sqrt{2}}{\pi} \cdot U_{AC} \cdot \cos \alpha \quad (1)$$

Gdzie:

U_{DC} – napięcie stałe wzdłuż szeregowo połączonych zaworów w mostkach,
 U_{AC} – napięcie międzyfazowe po stronie zaworów od strony transformatora (wartość skuteczna),

α – kąt opóźnienia zapłonu (kąt sterowania). Dla $\alpha = 0$, otrzymujemy $U_{DC} = 2,7 U_{AC}$.

Podczas obciążenia $U_{DC} = 2,4 \div 2,5 U_{AC}$.

Uzwojenie od strony zaworu, w dolnym uziemionym mostku, znajduje się na ok. $\frac{1}{4}$ potencjału linii DC, a uzwojenia od strony zaworu dla górnego mostka, na poziomie $\frac{3}{4}$ potencjału linii.

Rozkład napięcia między izolacją stałą i ciekłą transformatora przy prądzie przemiennym jest pojemnościowy. Oznacza to, że rozkład napięcia i natężenia pola elektrycznego jest określony, między innymi, przenikalnością materiałów. Przy prądzie stałym, rozkład ten jest określony przez rezystywność materiałów. Zastosowane materiały są te same tzn. olej i produkty celulozy. Z uwagi na to, że rezystywność izolacji stałej jest znacznie większa niż oleju transformatorowego, prawie całe napięcie odkłada się na izolacji stałej.

W konsekwencji, transformatory HVDC mają znacznie większe proporcje izolacji stałej (blisko trzykrotnie więcej) w porównaniu z transformatorami AC. Aktualne systemy przesyłowe DC przewidziane są na napięcia ± 600 kV. Transformatory są zaopatrzone w przełączniki zaczepów po stronie GN w celu regulacji napięcia wtórnego. Dodatkowo zachodzi konieczność dokładnego kontrolowania impedancji zwarcia transformatorów. Odchyłki impedancji, między poszczególnymi uzwojeniami fazowymi nie mogą być większe niż $\pm 3\%$ od wartości średniej. Wymaganie to wynika z potrzeby eliminowania wyższych harmonicznych w układzie mostka 12-to pulsowego.

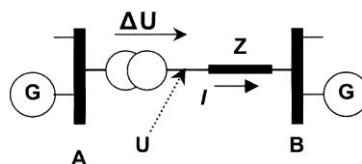
Jeżeli wymagania dotyczące ciężarów i wymiarów transformatorów trójfazowych nie mogą być spełnione, wtedy istnieje możliwość zastosowania trzech jednostek jednofazowych. Największa instalacja tego typu, firmy ABB, istnieje w USA (Sylmar East) o łącznej mocy 620 MVA i napięciu GN 230 kV.

2.4.5.2.4. Regulacja przepływu mocy w liniach przesyłowych i połączonych systemach

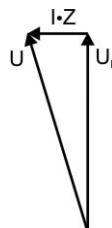
Do tego celu buduje się przesuwniki fazowe (Phase - Shifting Transformers, PSTs), umożliwiające regulację kąta przesunięcia napięcia wyjściowego transformatora względem napięcia zasilającego.

Transformatory te są używane do sterowania przepływem mocy czynnej między dwoma dużymi, niezależnymi systemami lub do wyrównywania obciążeń w liniach równoległych, o różnych impedancjach, łączących dwa systemy, jeśli rozkład mocy w liniach jest nierównomierny.

a)



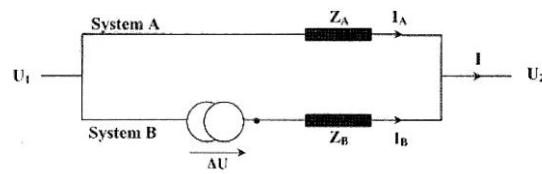
b)



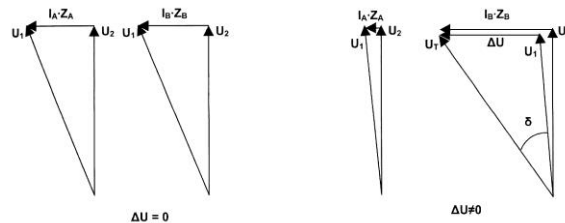
Rys. 6. Linia z przesuwnikiem fazowym (a) i wykres wskazowy (b) [2]

W przypadku pierwszym, jak na rys.6a, aby moc czynna była przekazywana od sieci A do B, napięcie U za transformatorem musi wyprzedzać napięcie po stronie B. Impedancję transformatora pomijamy. Napięcia U_A i U_B są w przybliżeniu równe. Jeżeli impedancja linii Z jest równa reaktancji X , to wykres wskazowy przedstawiać się będzie jak na rys.6b. Jeżeli napięcie U opóźnia się względem U_B , to moc czynna przekazywana jest od strony A do B.

a)



b)



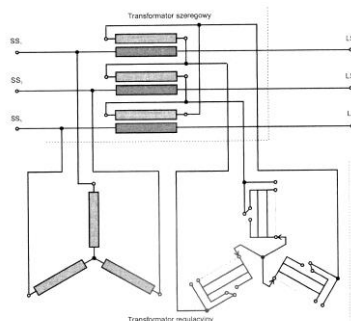
Rys. 7. Układ dwóch linii równoległych z przesuwnikiem fazowym (a) i wykresy wskazowe napięć (b) [2]

W przypadku dwóch linii (rys.7}, jeśli $\Delta U = 0$, to wskutek nierówności $Z_A < Z_B$ $I_A > I_B$, gdyż różnica $U_1 - U_2 = I_A Z_A = I_B Z_B$. Przyjmując, że obydwie linie mają jedynie reaktancje, stwierdzamy, że aby doprowadzić do równości prądów, należy wprowadzić napięcie dodatkowe do linii B, zgodnie z rys.7b, które jest napięciem U_T poza transformatorem. Jeżeli $Z_B > Z_A$, to zwrot ΔU musi być przeciwny, aby zapobiec zbyt dużej wartości prądu I_B w stosunku do pożądanego obciążenia. Na kąt przesunięcia ma wpływ współczynnik mocy prądu obciążenia oraz impedancja transformatora. Należy zauważyć, że transformator spełniający rolę przesuwnika fazowego wpływa na wymianę mocy czynnej i biernej między systemami lub gałęziami (liniami łączącymi) systemów. Przykładowy schemat połączeń uzwojeń przesuwnika fazowego o regulacji kwadraturowej za pomocą jednego uzwojenia regulacyjnego (odwracalnego) przedstawia rys. 8a.

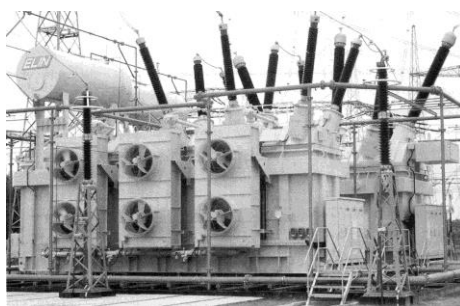
Przesuwnik zawiera dwa transformatory, na dwóch różnych rdzeniach. Jeden transformator nosi nazwę transformatora dodatkowego-szeregowego, gdyż jedno z jego uzwojeń włączone jest w sieć, drugi nazywa się transformatorem wzbudzającym lub regulacyjnym. Transformator regulacyjny ma dwa uzwojenia połączone w gwiazdę. Uzwojenie GN jest zasilane z sieci. Uzwojenie DN współpracuje z przełącznikiem zaczepek pod obciążeniem. Transformator regulacyjny może mieć jedno lub więcej uzwojeń o zmiennej liczbie zwojów. Transformator szeregowy ma po dwa niezależne uzwojenia na każdej kolumnie rdzenia. Jego uzwojenie nieskojarzone GN jest włączone w szereg z siecią, w której reguluje się przesunięcie fazowe. Przez to uzwojenie przepływa pełny prąd sieci. Uzwojenie DN jest skojarzone w trójkąt i zasilane z uzwojenia regulacyjnego transformatora wzbudzającego. Połączenie poszczególnych faz uzwojenia regulacyjnego oraz zasilanego z niego uzwojenia DN transformatora szeregowego jest takie, aby uzyskać przesunięcie fazowe równe $\pi/2$ względem napięcia sieci. Napięcie z uzwojenia GN transformatora wzbudzającego, transformuje się do uzwojenia regulacyjnego i poprzez uzwojenie DN transformatora szeregowego, wytwarza żądane napięcie ΔU w uzwojeniu szeregowym.

Przy mniejszej mocy jednostek, oba transformatory znajdują się we wspólnej kadzi, przy większej oddzielnie.

a)



b)



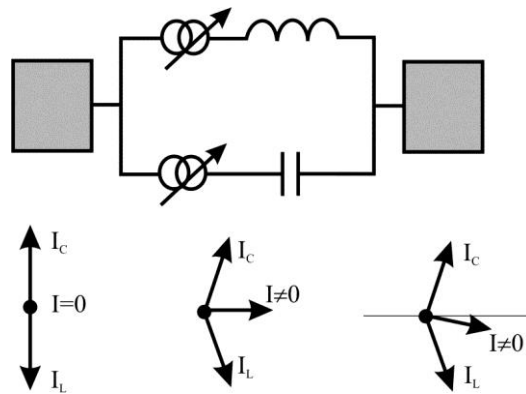
Rys. 8. Schemat połączeń przesuwnika (a) i widok ogólny zestawu f-my ELIN (b) [20]

W Polsce, jednym z najważniejszych węzłów krajowego Systemu Energetycznego jest stacja 400/220/110 kV Mikułowa, niedaleko Elektrowni Turów. W tej stacji, od 2001 r. pracują dwa nowoczesne zespoły firmy Elin, obejmujące w zestawie:

- Autotransformator główny z podobciążeniową regulacją napięcia o mocy 500/500/75 MVA i przekładni 410kV/245 kV $\pm 10\%..-12\%/15,75$ kV, Grupa połączeń YNa0d11. Napięcia zwarcia GN-DN na zaczepek znamionowy 10%, zaczepek skrajny plusowy 11,4%, zaczepek skrajny minusowy 10,8%. Waga ok.293 t.
- przesuwnik fazowy o mocy przechodniej 500 MVA, mocy własnej każdego z transformatorów przesuwnika ok. 100 MVA, zakres regulacji kąta $\pm 10,1$ °. Napięcie zwarcia widziane od strony uzwojenia szeregowego: zaczepek znamionowy ok.0,9% , zaczepek skrajne ok. 1,9% .Waga ok. 321 t.

Firma ABB opatentowała tzw. Regulator mocy międzyfazowej (Interface Power Controller), przedstawiony ideowo na rys.9.

W układzie tym, prąd między punktem A i B rozdziela się na gałąź indukcyjna i pojemnościową tak dostrojone, że przepływ mocy między gałęziami jest blokowany, jeżeli między gałęziami nie ma przesunięcia fazowego. Realne sterowanie mocą osiąga się poprzez wprowadzenie symetrycznego przesunięcia fazowego w obydwu gałęziach.



Rys. 9. Układ zwany Interface Power Controller (ABB) [1]

Przy zdefiniowanej asymetrii przesunięcia fazowego, układ może działać jako źródło mocy biernej lub przestać działać. Jako filtr, może ograniczać ewentualne prądy awaryjne, przewodząc wyselekcjonowany prąd obciążenia. Jeżeli potrzebny jest tylko wzrost lub zmniejszenie przepływu mocy, jeden z przesuwników fazowych może być wyeliminowany z powyższego układu.

2.4.5.3. Technologia transformatorów mocy

Transformatory mocy podlegają od lat, być może powolnym, ale postępującym usprawnieniom, wpływającym na niezawodność pracy, zmniejszenie strat przez wprowadzenie ulepszonych materiałów i wyposażenia oraz doskonalenie procesów wytwórczych.

2.4.5.3.1. Rdzenie magnetyczne [14]

W celu ograniczenia strat w rdzeniach stosuje się blachy stalowe-krzemowe o grubości 0,23-0,3 mm i domenach drobnoziarnistych zorientowanych. W miarę potrzeb wykorzystuje się inne rdzenie z blachy krzemowej zimnowalcowanej o kryształach zorientowanych (CRGO Cold Grain Oriented Silicon Steel). Rdzenie amorficzne nie znalazły zastosowania w transformatorach największych mocy ze względu na trudności wykonania rdzenia o dużej wytrzymałości mechanicznej i braku dostępności taśm o odpowiednio dużych wymiarach w płaszczyźnie rdzenia. Producenci stali, koncentrują się obecnie na redukcji różnorodności odmian, właściwości oraz różnych wymiarów zrolowanej blachy.

2.4.5.3.2. Materiały przewodowe

Większość transformatorów ma uzwojenia miedziane. Uzwojenia formowane są różnie. Najczęściej stosowane są układy przewodów dwu lub trzykrotnie przeplecionych oraz kable transponowane, w których zachodzi ciągła zmiana pozycji przewodów w przekroju kabla (Continuously Transposed Cable CTC). Wiązane żywicą przewody transponowane, owijane

papierem lub opłotem bawełnianym, pokryte warstwą srebra lub bez niej, są stosowane rutynowo dla zwiększenia wytrzymałości mechanicznej, zwłaszcza podczas zwarć. Kosztowne kable transponowane zapewniają obniżenie strat obciążeniowych.

2.4.5.3.3. Układy izolacyjne-ciecze i izolacja stała [11,14,15]

Większość transformatorów jest wypełniana olejem, a izolacja uzwojeń oparta jest na celulozie. Jest to układ stosunkowo niezawodny i tani. Wprowadzone do eksploatacji oleje mineralne izoparafinowe mogą przy niezmienniej lepkości pracować w niskich temperaturach i mają lepsze właściwości odprowadzania ciepła. Syntetyczne oraz naturalne estry ciekłe, to nowe materiały, mniej szkodliwe dla środowiska, przy ewentualnym wypływie z kadzi. Mają one lepsze powinowactwo chemiczne do wilgoci (wody) niż oleje mineralne i nadają się szczególnie do układów izolacyjnych zawierających celulozę. Zarówno izoparafiny i estry nie zawierają siarki, co również należy zapisać na ich korzyść. W transformatorach stosuje się także dobrze wysuszony materiał izolacyjny stały pochodzenia celulozowego. Poprawiono znacznie wytrzymałość termiczną papieru oraz zwiększono jego gęstość poprzez silne sprasowanie, a przez to jego wytrzymałość mechaniczną.

2.4.5.3.4. Technologia transformatorów [14]

Produkcja transformatorów największych mocy i napięć ma charakter jednostkowy lub małoseryjny. O ile system cieciska blach jest w dużym stopniu zautomatyzowany, to składanie blach rdzenia odbywa się ręcznie. Nawijanie uzwojeń w większości odbywa się na nawijarkach pionowych, chociaż w dalszym ciągu używane są nawijarki poziome. Promieniowa ścisłość uzwojeń jest zapewniona przez urządzenia do naciągu przewodów i doświadczenie nawijaczy. Czasami podczas nawijania stosuje się nacisk osiowy. Cewki i uzwojenia fazowe są suszone z tzw. Odparowaniem dla uzyskania jednolitego wysuszenia. Mogą być suszone bez ciśnienia lub pod ciśnieniem, jak również z impregnacją olejową zapewniającą stabilność procesu suszenia. Czasochłonny jest montaż i połączenia końcówek uzwojeń, zwłaszcza podczas lutowania twardego.

Obróbka oleju wymaga dokładnego osuszenia, odgazowania i usunięcia drobnych zanieczyszczeń stałych. Transformatory są wyposażone w izolatory przepustowe, przełączniki zaczepów pod obciążeniem, przekładniki prądowe, konserwatory oleju i wskaźniki temperatury. Izolatory przepustowe kondensatorowe mogą być bezolejowe i olejowe, epoksydowe z papierem nasączonym żywicą i rdzeniem porcelanowym, osłonami z gumy silikonowej i polimerów. Przełączniki zaczepów pod obciążeniem są często wbudowywane do wnętrza transformatora w obudowie hermetycznej w postaci szczelnego cylindra z żywicy epoksydowej wzmocnionego włóknem szklanym. Olej przełącznika nie styka się z olejem transformatora. Nowe rozwiązania zawierają próżniowe układy gaszeniowe, co przedłuża

trwałość przełącznika. Przełączniki zaczepek ze stykami pracującymi w oleju wyposażone są często w układy filtrujące. Olej odsiarczony i odwodniony zmniejsza opalanie styków. Układy ochrony oleju są zaopatrzone w konserwatory z komorami powietrznymi, z osłoną azotową i hermetyzowaną kadzią. Zastosowano generatory azotu, wykorzystujące technologię membran separacyjnych. W ten sposób zlikwidowano konieczność ciągłej wymiany butli z ciekłym azotem.

Szczególnym problemem jest transport transformatorów największych mocy i napięć. Ciekawe rozwiązanie transportu w stanie demontażu transformatora i składanie na miejscu przeznaczenia opracowała firma Hitachi [6].

2.4.5.3.5. Konstrukcja a wytrzymałość zwarciowa transformatorów [5,11]

Najbardziej popularną konstrukcją są transformatory „rdzeniowe”, o rdzeniu ustawionym w pozycji pionowej kolumn. Mają one uzwojenia cylindryczne. Siły powstające podczas zwarcia powodują, że uzwojenie zewnętrzne jest rozciągane, a uzwojenie wewnętrzne ściskane pod wpływem sił promieniowych. W przypadku różnic wysokości uzwojeń powstają składowe osiowe siły, dążące do wzajemnego przesunięcia uzwojeń wzdłuż osi kolumny. Transformatory o parametrach ekstremalnych nie mogą być badane w wytwórni w stanie zwarcia przy pełnym napięciu, z powodu braku odpowiednich możliwości zasilania. Dlatego wymagają odpowiednich obliczeń na etapie projektowania i właściwego zaprojektowania układu uzwojeń. Istotną rolę odgrywa wytrzymałość mechaniczna tulei izolacyjnych, klinów podłużnych i przekładek izolacyjnych poprzecznych. Szczególnie ważna jest wytrzymałość mechaniczna przewodów uzwojenia GN na rozerwanie. Siły osiowe są przenoszone na podkładki rozmieszczone promieniowo, pierścienie prasujące i na końcach uzwojeń przenoszone są na belki jarzmowe. Siły te ściskają materiał przekładek, co z czasem powoduje luzy w uzwojeniach. Skutkiem sił osiowych może dojść do deformacji (przekrzywienia), przewodów profilowych w uzwojeniach, z powodu zwiększonego nacisku na powierzchnie mniejszego boku przewodów składowych wiązki.

Bardziej odporny na siły zwarciove jest układ z tzw. płaszczową konstrukcją rdzenia, który obejmuje uzwojenia w pozycji poziomej, a cewki swym układem przypominają uzwojenia krążkowe. Wtedy, siły mają głównie charakter osiowy, ale działając na dużej powierzchni cewek spiralnych są łatwiejsze do opanowania [2].

2.4.5.3.6. Wytrzymałość dielektryczna [3,4,19]

Sprawa właściwej izolacji transformatora, zwłaszcza przeznaczonego na największe napięcia, jest przedmiotem głębokich studiów na etapie projektowania. Transformator musi długotrwale znosić natężenia pól elektrycznych przemiennych, być odpornym na przepięcia

atmosferyczne (udarowe-piorunowe) i przepięcia łączeniowe sieciowe. Szczególną troską jest rozkład napięcia udarowego, w pobliżu zaatakowanego zacisku liniowego transformatora. Wymaga to odpowiedniego wzmocnienia i kształtowania układu izolacyjnego, wraz z ekranami elektrostatycznymi. Jak wspomniano wcześniej izolacja uzwojeń jest oparta na celulozie miękkiej nasyconej olejem, papierze twardym (preszpanie) oraz oleju wypełniającym wnętrze transformatora. Obliczenia rozkładów pól mają charakter polowy z wykorzystaniem równania Laplace'a.

Rozkład natężeń pól elektrycznych przy prądzie przemiennym ma charakter pojemnościowy. Wszelkie szczeliny powietrzne w układzie izolacyjnym mogą stanowić zaczyn wyładowań niezupełnych, które mogą doprowadzić w przyszłości do lokalnego przebicia izolacji. Obserwuje się także z tego powodu awarie układu izolacyjnego izolatorów najwyższych napięć.

2.4.5.3.7. Wytrzymałość termiczna [19]

Zagadnienie nagrzewania i chłodzenia transformatorów, w sensie globalnym, jest rozwiązywane jak dotychczas z dobrym skutkiem. Dotyczy to układu kanałów chłodzących uzwojenia i rdzeń wewnątrz transformatora, wspomaganie chłodzenia naturalnego za pomocą oleju w sposób wymuszony przepompowywaniem oraz nadmuchem wentylatorowym na radiatory. Problemem pozostają miejsca wzmożonego nagrzewania wskutek strat generowanych polem magnetycznym rozproszenia w stalowych częściach konstrukcyjnych i fragmentach uzwojeń transformatora. Miejsca lokalnych przegrzań mogą stanowić przyczynę rozwoju znacznie większych awarii transformatora, dlatego „poszukiwanie „ tych miejsc na etapie projektowania odgrywa bardzo istotną rolę. Zagadnienie to łączy się bezpośrednio z obliczeniami elektromagnetycznymi transformatora.

2.4.5.3.8. Kierunki działań przyszłościowych na świecie o charakterze materiałowym [14,26]

Prowadzi się badania nad zmniejszeniem stratności blach oraz zmniejszeniem właściwości magnetostrykcyjnych w celu obniżenia poziomu hałasu wzbudzonego rdzenia magnetycznego. W USA prowadzone są badania nad blachami o znacznie większych indukcjach nasycenia. Pracuje się nad metodami niezależnego sterowania hałasem poprzez aktywną lub pasywną kompresję drgań magnetostrykcyjnych. Minimalizacja strat w rdzeniu ma duże znaczenie ekonomiczne, gdyż wymienione straty wydzielają się zawsze w stanie wzbudzenia transformatora.

Prowadzone są badania dotyczące drugiej generacji taśm nadprzewodnikowych, wysokotemperaturowych (High Temperature Superconductors HTS), wykorzystujący tlenek

itrowo-barowo-miedziany (YBCO), z przeznaczeniem na uzwojenia transformatorów. Umożliwi to zwiększenie gęstości prądu w uzwojeniach, lecz wymagać będzie umieszczenia uzwojeń w kąpeli ciekłego azotu. Specjalny program badawczy został uruchomiony pod patronatem Ministerstwa Energetyki USA. Przewiduje się opracowanie cieczy izolacyjnych-niepalnych, nieszkodliwych dla środowiska poprzez możliwość rozkładu biologicznego. Nowe oleje powinny być odporne na utlenianie i mieć lepsze właściwości termiczne, przy odpowiednich właściwościach dielektrycznych.

W odniesieniu do izolacji stałej, pracuje się nad zastosowaniem poliamidów włóknotwórczych, polietermidem (PEI), siarczkiem polifenyleny (PPS), polietyleny, naftalatu (PEN), papierem laminowanym polipropylenem (PPLP), polietylenem itp. Duże nadzieje wiąże się z materiałami tworzonymi w ramach tzw. nanotechnologii. Wykazują one dużą odporność na prądy pełzające i mają dużą wytrzymałość elektryczną. Przy drobnych uszkodzeniach podlegają samoregeneracji.

Transformatory eksperymentalne nadprzewodnikowe wykorzystują ciekły azot jako ciecz chłodzącą i izolacyjną. Prowadzone są także prace w zakresie stabilizacji dielektryków stałych nasyconych ciekłym azotem.

2.4.5.4. Prace badawczo rozwojowe

Aktualne zagadnienia badawcze, które dotyczą transformatorów obejmują sferę projektowania, badań w wytwórni i niezwykle istotnej gospodarczo sfery eksploatacji.

Podstawowe wymagania, które musi spełnić transformator w czasie pracy dotyczą wytrzymałości mechanicznej, elektrycznej i termicznej. Na czoło wysuwają się zatem zagadnienia elektromagnetyczne, będące przyczyną powstawania strat podstawowych i dodatkowych, sił zwarciovych w wyniku ewentualnych awarii, zagadnienia wytrzymałości dielektrycznej, związane z rozkładem pól potencjalnych i rozkładów powstających w wyniku elektryzacji strumieniowej, a także zjawiska związane z wyładowaniami niezupełnymi. Zagadnienia nagrzewania i skutecznego chłodzenia transformatorów, a zwłaszcza właściwej obciążalności w różnych warunkach klimatycznych są przedmiotem ciągłych badań

Szczególną rolę odgrywa diagnostyka transformatorów wchodząca w zakres zarządzania eksploatacją transformatorów. Ten kierunek badań jest intensywnie rozwijany w sensie metodologicznym i narzędziowym. Należy podkreślić, że w Polsce zagadnienia monitoringu transformatorów, badań okresowych czystości i wytrzymałości oleju, łącznie z analizą chromatograficzną, badania stanu przepustów wysokiego napięcia itp. są przedmiotem szczególnej troski.

2.4.5.4.1. Problematyka elektromagnetyczna w projektowaniu [11,14,23,24,25]

Współczesna technika komputerowa pozwala na przedstawienie poszczególnych elementów transformatora, lub części jego układów, a także widoku zewnętrznego

w konwencji trójwymiarowej, z możliwością obrotu i specjalnego podświetlenia obiektu. Do tego służą, między innymi, programy komercyjne AUTOCAD i AUTODESK. Transformator składa się z uzbrojonego rdzenia, uzwojeń, przełącznika zaczeów, sieci przewodów łączeniowych i wyprowadzeń, które można odwzorować z dość dużą dokładnością pod względem proporcji wymiarowych.

- Rdzeń transformatora składa się z ogromnej ilości blach magnetycznych, przeplatanych w narożach, najczęściej tworzących rdzenie wieloramowe. Każda warstwa blach stanowi wydzielony obwód magnetyczny. Trójwymiarowa analiza pola elektromagnetycznego z uwzględnieniem rozwiązań w poszczególnych warstwach przekracza możliwości obecnych trójwymiarowych programów obliczeniowych w rodzaju ANSYS, FLUXA, OPERY i innych. Modele traktujące rdzeń jako element jednolity, wymagają określenia zastępczych równoważnych przenikalności i przewodności elektrycznych rdzenia, co jest obecnie przedmiotem prac badawczych. Szczególnym węzłem rdzenia są naroża, w których zaplatane są blachy, gdzie zmiana kierunku strumienia powoduje zwiększone straty mocy.

Znacznie lepiej przedstawiają się obecne możliwości obliczeniowe pól rozproszenia. Obszary rdzenia można traktować w przybliżeniu jako pozbawione prądów wirowych, o przenikalności magnetycznej dążącej do nieskończoności. Najczęściej wprowadza się do obliczeń fragmenty transformatora. Wynika to najczęściej z symetrii obiektu. Można także rozpatrywać węzły elektromagnetyczne w postaci wyizolowanej, zwłaszcza wtedy, gdy mają odmienne wyprowadzenia przewodów, inne odstępy od kadzi i pokrywy itp. Spotyka się obecnie trójwymiarowe rozwiązania pól z wykorzystaniem pakietów komercyjnych dla potrzeb wyznaczania lokalnych strat w częściach konstrukcyjnych, ekranach, czy też określania rozkładu sił zwarciovych w uzwojeniach nieuszkodzonych i uszkodzonych [22,25].

Niezwykle ważne jest obliczenie na etapie projektowania rozkładów napięć i natężeń pola elektrycznego w układzie izolacyjnym transformatora, ze względu na kryteria wytrzymałości na przebicie. Obliczenia te, w konwencji trójwymiarowej, wykonuje się również dla istotnych fragmentów transformatora lub węzłów izolacyjnych w rodzaju wyprowadzeń z obszarów wysokiego napięcia. W wyniku obliczeń projektowych, udaje się skonstruować uniwersalną izolację stałą, wyprowadzenia mocy na wysokim napięciu, czego przykładem może być modułarny układ izolacyjny odpływu 400 kV transformatora blokowego [3,4], czy też izolacja ceramiczna przekładnika kombinowanego [12]. Należy zwrócić uwagę na potrzebę aplikacji metod polowych do rozwiązywania rozkładów pól w dielektrykach stałych i ciekłych, w warunkach pola przepływowego, wywołanego przykładowo w transformatorach HVDC.

Stosowane oprogramowanie, w większości wykorzystuje metodę elementu skończonego FEM (Finite Element Method), rzadziej metodę elementu brzegowego BEM (Boundary Element Method), czy też metodę różnic skończonych FDM (Finite Difference Method) [21,22].

Należy wyraźnie podkreślić, że transformatory o mocach ekstremalnych mają znaczne wymiary geometryczne (kilka metrów wysokości i kilkanaście długości). Siatka przestrzenna (zależna od liczby węzłów) pokrywająca obszar transformatora, możliwa do wykorzystania, nie zapewnia wysokiego stopnia dyskretyzacji geometrycznej. Dlatego autor proponuje posłużyć się modelem transformatora w zmniejszonej skali wymiarów liniowych [23]. Przy narzuconej granicznej liczbie węzłów, powinno to wpłynąć na wzrost dokładności obliczeń, ze względu na powiększony stopień dyskretyzacji.

Już obecnie, obliczenia trójwymiarowe, wymagają zastosowania coraz szybszych komputerów. Metody komputerowe powinny rozwijać się w kierunku badania nie tylko możliwych, ale także dopuszczalnych uproszczeń geometrycznych obiektów, bez większego uszczerbku na dokładności obliczeń parametrów całkowych pola.

Nie ustają prace nad transformatorami nadprzewodnikowymi. Opracowywane metody obliczeń elektromagnetycznych, muszą uwzględniać kryteria magnetyczne, prądowe i ciepłne utraty nadprzewodnictwa w projektowaniu dopuszczalnej obciążalności transformatorów.

2.4.5.4.2. Badania w eksploatacji [19]

Transformatory o mocach ekstremalnych należą do I grupy urządzeń, od których zależy niezawodność pracy systemów elektroenergetycznych. W czasie transportu, instalowania oraz podczas pracy są narażone na przejściowe lub stałe działanie czynników elektromagnetycznych, mechanicznych, termicznych, atmosferycznych, które mają wpływ na kondycję urządzeń i czas życia. W szczególności, badania diagnostyczne podczas eksploatacji, dotyczą stanu izolacji. Mogą być one wykonywane okresowo z zastosowaniem konwencjonalnych i nowych, rozwijających się metod badawczych, a także mogą być przeprowadzane w trakcie stałego monitoringu transformatorów i ich wyposażenia. W pracy [19] zestawiono najbardziej znane techniki pomiarowe, konwencjonalne i będące w stanie rozwoju, stosowane w diagnostyce transformatorów, obejmujące skutki zakłóceń mechanicznych, termicznych i dielektrycznych. Przytoczono je w tablicy 1.

W pracy [19] można znaleźć także podobne sposoby przeznaczone do badań przepustów wysokiego napięcia oraz szereg fachowych informacji dotyczących programów badań i aparatury pomiarowej. W problematyce badań diagnostycznych, istnieją także bogate doświadczenia polskie, prezentowane szczególnie na krajowych konferencjach transformatorowych [16, 17].

Tabela 1

Problemy	Techniki diagnostyczne	Miejsce wykonania	Stan obecny techniki diagnost.	Skuteczność diagnost.
Mechaniczne	1. Prąd wzbudzenia	W	P	S
	2. Impuls niskonapięciowy	W	P	M
	3. Analiza odpowiedzi częstotliwościowej	W	P	D
	4. Pomiar indukcyjności rozproszenia	W	P	S/D
	5. Pojemność	W	P	D
Termiczne	ANALIZA GAZÓW W OLEJU			
	6. Chromatografia gazowa	E	P	D
	7. Równoważna metoda wodorowa	E	P	S
	POGORSZENIE IZOLACJI PAPIEROWO-OLEJOWEJ			
	8. Chromatografia cieczy, metod DP	E	R	S/D
	9. Analiza furanowa	E	R	S/D
	DETEKCJA PUNKTÓW GORĄCYCH			
Dielektryczne	10. Czujniki inwazyjne	E	R	M
	11. Tomografia w podczerwieni	E	P	D
	ANALIZA OLEJU			
	12. Zawilgocenie, wytrzymałość elektryczna, rezystywność, itp.	E	P	S
	13. Przekładnia zwojowa	W	P	M
	WYŁADOWANIA NIEZUPEŁNE			
	14. Metoda akustyczna	E	R	S/D
15. Metoda elektryczna	E	R	S/D	
	16. Wskaźnik mocy i pojemności	W	P	D
	17. Odpowiedź częstotliwościowa dielektryka	W	P	D

Legenda:

W – wytwórnia, baza remontowa, E – eksploatacja, P- stosowana powszechnie, R – rozwijana, D- duża, S – średnia, M - mała

2.4.5.5. Zakończenie

Transformatory najwyższych mocy i napięć, stanowią istotny element systemów elektroenergetycznych, należąc do odpowiedzialnych i bardzo drogich zasobów majątku spółek odpowiadających za produkcję i rozdział energii elektrycznej. Istotną rzeczą jest niezawodność zasilania i jakość energii. Wpływają na to poprawność konstrukcji urządzeń, wykorzystująca doświadczenia naukowe i praktyczne w procesie projektowania i produkcji transformatorów, oraz właściwa eksploatacja wraz z badaniami diagnostycznymi. W obecnym czasie, badaniom diagnostycznym poświęca się w sposób uzasadniony dużo uwagi.

Literatura

- [1]. *ABB Phase Shifting Transformers* – ABB Transformatoren GmbH, Bad Honnef 2000
- [2]. *ABB Transformer Handbook*, ABB Management Services Ltd, Zurich 2007
- [3]. BERNHARDT H. i inni :*Modularny układ izolacyjny odpływu 400 kV transformatora blokowego*, Mat. VI Konferencji Naukowo-Technicznej Transformatory Energetyczne i specjalne, Kazimierz Dolny 11-13 października 2006,ss.55-57.
- [4]. BERNHARDT H. i inni: *Transformator blokowy 305 MVA, 400/15,75 kV z nowoczesnym układem izolacyjnym*, Mat. XV Konferencji Energetyki, Zamek Ryn 5-7 09 2007 ss. 137-143

- [5]. BERTAGNOLLI G.: *The ABB approach to short circuit duty of Power transformers*, ABB Management Services, Zurich 2006
- [6]. HIROYUKI S., KAZUYUKI K.: *Large-Capacity Disassembled-transport Transformers*, Hitachi Review, vol.49 (2000), No2 pp.88-92
- [7]. JABŁOŃSKI M.: *Powstanie rozwój fabryki transformatorów energetycznych w Łodzi*, Przegląd Elektrotechniczny, Rok LXXXI 12'2005, ss.43-50
- [8]. JABŁOŃSKI M.: *Rola Politechniki Łódzkiej w rozwoju Łódzkiego ośrodka transformatorowego*, Przegląd Elektrotechniczny, LI (1975), nr 3, ss.99-101
- [9]. JEZIEŃSKI E.: *Polskie osiągnięcia naukowo-techniczne w dziedzinie transformatorów w latach 1945-1963*, Przegląd Elektrotechniczny, Rok XL (1964), nr 10, ss.421-425
- [10]. KOPCZYŃSKI Z., LELONKIEWICZ J.: *Rozwój produkcji transformatorów dużej mocy w FTAIT ELTA*, Wiadomości Elektrotechniczne, 1985, nr 11-12 (648-649) ss.243-245
- [11]. KOZŁOWSKI M.: *Ważniejsze problemy naukowo-techniczne w dziedzinie transformatorów*, Przegląd Elektrotechniczny LI (1975) nr 3, ss.105-115
- [12]. LEŚNIEWSKA E.: *Application of 3D field analysis for modelling the electric field distribution in ceramic insulator of HV combined instrument transformer*, Journal of Electrostatics 51-52 (2001), pp. 610-617
- [13]. MASATO ENOKINOZO i inni: *Dynamic vector magnetohysteretic E and S model considering eddy current effect*, The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering, COMPEL, vol.28 No1 2009 pp.85-97
- [14]. METHA S. i inni: *Power transformers technology review and assessments*, Electra CIGRE February 2008, (tłumaczenie na język polski w czasopiśmie Urządzenia dla energetyki Nr 4/2008 ss.24-29)
- [15]. MOSIŃSKI F.: *Zagadnienia izolacyjne w treściach łódzkich konferencji transformatorowych*, Energetyka58 (2005), nr 10, ss. 701-712
- [16]. OLECH W. i inni: *Efektywność wykrywania uszkodzeń transformatorów na podstawie badań metodą SFRA (doświadczenia krajowe)*, Materiały VI Konferencji Naukowo-Technicznej Transformatory Energetyczne i Specjalne, Kazimierz Dolny 1-3 października 2008, ss.103-116
- [17]. PINKIEWICZ I., SZYMAŃSKI Z.: *Izolatory przepustowe wysokiego napięcia-awarie, diagnostyka, ewidencja*, Materiały VI Konferencji Naukowo-Technicznej Transformatory Energetyczne i Specjalne, Kazimierz Dolny, 11-13 października 2008, ss.277-286
- [18]. *The Polytransformer-the Multivoltage Substation Power Transformer*, ABB, Asea Brown Boveri Madrid 2007
- [19]. *Service Handbook for transformers*, ABB Managements Services Ltd Transformers, Zurich 2007
- [20]. SOBOCKI R. i inni: *Regulacja przesyłu mocy między systemami za pomocą zestawu transformatorów z regulacją modułu i fazy napięcia*, XV Konferencja Energetyki, Zamek Ryn 5-7 09 2007, ss.144-157
- [21]. SYKULSKI J. K. i inni: *Computational Magnetics*, Chappman and Hall, London –Madras, 1995 stron 373
- [22]. TOMCZUK B.Z.: *Metody numeryczne w analizie pola układów transformatorowych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej, Opole 2007, stron 218
- [23]. ZAKRZEWSKI K.: *Modelowanie pól elektromagnetycznych w projektowaniu transformatorów*, Przegląd Elektrotechniczny, Rok LXXVIII 3'2002, ss.59-63
- [24]. ZAKRZEWSKI K.: *Additional losses in transformer structural parts in the light of growth law*, Proceedings of XIX Symposium Electromagnetic Phenomena in Nonlinear Circuits, June 28-30, Maribor Slovenia, pp.71-73
- [25]. ZAKRZEWSKI K., Tomczuk B., Koterias D.: *Simulation of forces and 3D field arising during Power autotransformer fault due to electric arc in HV winding*, IEEE Transactions on Magnetism, New York, USA, vol.38 No2, March 2002, pp.1153-1156
- [26]. ZAKRZEWSKI K.: *Zjawisko nadprzewodnictwa i jego zastosowanie w transformatorach*, Materiały Forum ABB Transformatory energetyczne, Łódź 18-19 listopada 2008, ss. 53-76

2.5. Trakcja Elektryczna i Napęd Elektryczny Pojazdów

2.5.1. Wstęp

Polityka UE w zakresie transportu ma na celu:

- zwiększenie udziału transportu kolejowego w przewozach pasażerskich i towarowych (sprawny transport aglomeracyjny, szybki transport kolejowy),
- zmniejszenie zużycia energii i paliw płynnych w transporcie,

- zmniejszenie negatywnego oddziaływania środków i systemów transportu na środowisko (redukcja kosztów zewnętrznych, redukcja emisja, hałasu i zatłoczenia dróg),
- preferencyjne traktowanie rozwoju w kierunku zwiększenia udziału pojazdów trakcyjnych z napędem elektrycznym (sieciowego i autonomicznego).

2.5.2. Strategiczna rola trakcji elektrycznej

Trakcja elektryczna jest odmiennym, ale też bardziej ekologicznym i konkurencyjnym systemem transportowym w porównaniu z systemem drogowym. Należy zatem podjąć działania mające na celu powstrzymanie dalszego spadku przewozów kolejowych z wykorzystaniem trakcji elektrycznej. Istotne jest (poza zwiększeniem nakładów na trakcje elektryczną także różnymi innymi metodami, w tym administracyjnymi i fiskalnymi) dążenie do zwiększania wykorzystania istniejącej sieci transportu elektrycznego dla przewozów tak pasażerskich jak i towarowych. Udział kolei w Polsce w przewozach jest zbyt niski względem wskaźników wiodących krajów europejskich oraz wobec dużej długości funkcjonujących sieci kolei i trakcji miejskiej (co prawda nie zawsze odpowiedniej jakości). Zelektryfikowana komunikacja miejska ma jednak zdecydowaną przewagę nad transportem drogowym.

Strategiczna rola trakcji elektrycznej w Polsce wynika z:

- możliwości zapewnienia funkcjonowania gospodarki w warunkach braku dostaw paliw płynnych (energia elektryczna wytwarzana jest głównie z wydobywanego w Polsce węgla),
- dużej sieci zelektryfikowanych linii kolejowych (12000 km), pokrywających praktycznie, choć nierównomiernie cały kraj,
- zastosowania transportu elektrycznego w większości głównych miast w Polsce (poza Radomiem, Zieloną Górą, Rzeszowem, Białymstokiem i Kielcami),
- dość dobrze rozwiniętego (mimo likwidacji fabryk w latach 90-tych) polskiego przemysłu elektromaszynowego, co pozwala na produkcję prawie całego osprzętu potrzebnego do budowy układów zasilania i taboru dla kolei o prędkościach do 200 km/h, nie tylko na potrzeby krajowe, ale także zdolnego do konkurencji z wyrobami zachodnio-europejskimi,
- zastosowania w transporcie elektrycznym najnowszych technologii i rozwiązań będących wyzwaniem do rozwoju nauki i innowacji,
- ekologicznych aspektów transportu, co pozwala na wykorzystanie środków UE w rozwoju trakcji elektrycznej w następnej perspektywie budżetowej tj. praktycznie przez najbliższe 10 lat.

2.5.3. Trakcja sieciowa

2.5.3.1. Trakcja kolejowa

Górna sieć trakcyjna jest nadal najbardziej efektywnym sposobem dostarczania energii elektrycznej do pojazdów dużej mocy i prędkościach do 350 km/h. W odniesieniu do warunków kolei w Polsce oznacza to:

- zwiększenie wykorzystania istniejącego na 12000 km linii systemu zasilania DC 3 kV na liniach magistralnych do prędkości 160-200 km/h, a tam, gdzie jest to uzasadnione powyżej 200 km/h (linia CMK),
- prowadzenie badań i prac wdrożeniowych, przygotowujących kolei i przemysł w Polsce do perspektywnego wdrożenia systemu AC 2x25 kV/50 Hz – przede wszystkim dla nowych zastosowań w Polsce. Przesunięcie terminu realizacji nowych linii kolei dużych prędkości stwarza wyjątkową szansę na przeprowadzenie głębokich rodzimych studiów analitycznych usprawniających ten system i dających możliwość uniknięcia błędów popełnionych w przeszłości
- prowadzenie prac nad wdrożeniem systemu 25 kV nie tylko dla nowych linii kolei dużych prędkości, ale także dla linii dotychczas niezelektryfikowanych, a nie kolidujących z istniejącymi liniami zelektryfikowanymi w systemie 3 kV DC, czyli linii wydzielonych (np. LHS, odcinki linii przygranicznych stykających się z liniami zelektryfikowanymi w systemie 25 kV, np. przy granicy z Litwą).

Wymaga to:

- wyprzedzającej o lata odpowiedniej rozbudowy sieci zasilających WN i NWN,
- zabezpieczenia źródeł mocy, zasilających te linie z odpowiednio rozbudowanej energetyki zawodowej,
- przygotowania produkcji aparatury i urządzeń wyposażenia systemu linii zasilających oraz podstacji trakcyjnych systemu 25 kV 50 Hz,
- przygotowania poligonu doświadczalnego (odcinek pilotażowy systemu 2x 25 kV 50Hz) na jednej z niezelektryfikowanych linii wymienionej we wcześniejszym punkcie,
- pobudzenia i wsparcia rodzimego przemysłu produkującego na potrzeby transportu kolejowego,
- opracowania rozwiązań technicznych, zapewniających separację odmiennych systemów zasilania w miejscach gdzie dochodzi do ich spotkania w celu wyeliminowania oddziaływań zakłócających.

Ze względu na wzrost mocy i prędkości pojazdów potrzebne są:

- nowe metody i rozwiązania do diagnostyki, monitoringu i eksploatacji podstacji trakcyjnych, sieci trakcyjnej i odbieraków prądu,

- opracowania i dopracowania konstrukcji różnych wariantów sieci trakcyjnych dla systemu 25 kV,
- wdrożenia nowych rozwiązań charakteryzujących się: zwiększoną obciążalnością, większą niezawodnością, mniejszą podatnością na oddziaływania środowiska (temperatura, opady, zanieczyszczenia), większą podatnością serwisową, odpornością na kradzieże i dewastacje,
- opracowania dot. metod separacji sieci trakcyjnej od sieci przemysłowej, w celu uniknięcia zbyt dużej asymetrii obciążenia sieci trójfazowej oraz zbyt dużego wzajemnego wpływu na siebie.

Typowym rozwiązaniem przejściowym będzie stosowanie relatywnie drogiej pojazdów wielosystemowych (przystosowanych do prac przy różnych napięciach zasilania), a nawet hybrydowych (np. sieciowo-autonomiczne, kolejowo-tramwajowe). W trakcji pasażerskiej dominować będą pojazdy zespołowe.

Ze względu na znaczące zapotrzebowanie na energię elektryczną przez infrastrukturę kolejową obejmującą zasilanie układów bezpieczeństwa, sterowania i sygnalizacji istotne jest wdrażanie rozwiązań:

- podnoszących niezawodność i zapewniających odpowiednią jakość tego zasilania
- poprawiających jego odporność na różne zakłócenia, w tym zakłócenia środowiskowe
- zapewniających poprawną pracę w warunkach awaryjnych przez wykorzystanie własnych źródeł zasilania niekonwencjonalnego (np. z sieci trakcyjnej) lub zasilania autonomicznego (elektrownie wiatrowe, panele słoneczne, baterie akumulatorów czy też generatory prądotwórcze
- energooszczędnych (oświetlenie, ogrzewanie, urządzenia o wysokiej sprawności)

2.5.3.2. Trakcja elektryczna w komunikacji miejskiej

W trakcji miejskiej dominująca będzie rola tramwaju, który w dużych aglomeracjach przyjmie formę tramwaju szybkiego lub metra.

W ostatnich latach obserwuje się wzrost inwestycji w tramwajowej komunikacji miejskiej. Świadczy o tym wzrost zainteresowania zakupem nowego lub modernizacją starego taboru tramwajowego. Prowadzi to do znacznego wzrostu obciążenia systemów zasilania, zwykle niezmodernizowanych – wywołany przez zamierzoną w tym rozwoju zwiększoną moc nowych układów napędowych, przewidzianych na sprostanie zwiększonej intensywności ruchu.

Nawet ograniczając się tylko do poprawy układów zasilania trakcji tramwajowej, trzeba prowadzić badania nad nowymi rozwiązaniami uwzględniającymi:

- nowe konfiguracje zasilania (np. zasilanie 2-stronne, analogiczne jak dla systemu kolejowego),
- wdrożenia do eksploatacji nowych typów sieci trakcyjnych o zwiększonym przekroju i obciążalności w celu podwyższenia zdolności przesyłowych, ponieważ nowoczesne układy napędowe pracują z hamowaniem odzyskowym a to wraz z zasilaniem na potrzeby trakcyjne i nietrakcyjne zwiększa średnie obciążenie termiczne przewodów linii zasilającej,
- możliwość zwiększenia wykorzystania energii hamowania odzyskowego poprzez magazynowanie energii elektrycznej (zasobniki: pojazdowe, stacyjne i sieciowe) i/lub jej zwrot do sieci trakcyjnej w celu wykorzystania przez inne pojazdy, lub przesłania do sieci elektroenergetycznej (za pośrednictwem energoelektronicznych przekształtników w podstacjach),
- wykorzystanie do ruchu odcinków bez zasilania – stosowanie pojazdów hybrydowych sieciowo-autonomicznych (praca na odcinku bez zasilania z górnej sieci jezdnej),
- podniesienie napięcia zasilania sieci trakcyjnej do np. 1 kV w okresie kilkunastu lat, co pozwoli zmniejszyć straty przesyłu i prądy błądzące,
- zasilanie bezstykowe na drodze indukcyjnej (punktowe lub liniowe bez górnej sieci jezdnej),
- poprawę bezpieczeństwa, dyspozycyjności i podatności serwisowej układów zasilania, szczególnie w warunkach awaryjnych.

Istotne jest indywidualizowanie podejścia do rozwiązań stosowanych w komunikacji miejskiej i stosowanie odmiennych rozwiązań w systemach tramwajowych w dużych aglomeracjach (Warszawa, Łódź, Kraków) w porównaniu z miastami małymi (Elbląg, Grudziądz, Gorzów Wlkp.).

Komunikacja trolejbusowa, stosowana jest w znacznie mniejszej liczbie miast niż komunikacja tramwajowa. Dużo mniejsza moc układów napędowych trolejbusów ułatwia poszukiwanie rozwiązań przyszłościowych. Szczególne znaczenie mogą mieć tu nowe – wymagające dalszych prac badawczych systemy zasilania i magazynowania energii elektrycznej. Te nowe rozwiązania przyczynią się istotnie do rozwoju tej komunikacji i wzrostu jej mobilności.

Systemy metra będą rozwijać się powoli i dotychczas ich rozbudowa przewidziana jest jedynie w kilku polskich miastach. Następuje rozbudowa metra warszawskiego, ale ze względu na koszty budowy bierze się także pod uwagę rozwiązania tańsze – w formie szybkiego tramwaju o liniach znajdujących się tylko częściowo w tunelach lub wykopach, albo przebiegających po estakadach.

Rozważa się wykorzystanie do przewozów miejskich nieczynnych – będących w złym stanie technicznym – linii kolejowych (bocznic), które po rozbudowie lub remoncie

powiązaniem z elektryfikacją mogłyby stanowić uzupełnienie sieci transportu elektrycznego, niekiedy w formie pojazdów kolejowo-tramwajowych.

2.5.3.3. Trakcja podmiejska

W trakcji podmiejskiej może dojść do zastosowania pojazdów wielosystemowych, np. zasilanych z sieci tramwajowych jak i kolejowych, umożliwiających bezprzesiadkowe połączenie nawet dalekich osiedli podmiejskich z centrami miast dzięki rozwiązaniom hybrydowym sieciowo autonomicznym z generatorem prądotwórczym i/lub zasobnikami energii (superkondensatory, akumulatory).

Przykładem takiego rozwiązania może być przygotowywana w najbliższym czasie zmiana systemu zasilania z 660 V DC na 3 kV DC na **WKD**. Ma ona poprawić wydolność transportową tego systemu o charakterze szybkiego tramwaju, tak znaczącego w obszarze podwarszawskim, mimo występujących aktualnie – a wymagających szybkiego rozwiązania – problemów ze zwiększonym zużyciem zestawów kołowych nowego dwusystemowego taboru.

Tendencje rozwojowe w komunikacji tramwajowej na świecie potwierdzają poprawność założeń komunikacyjnych opracowanych już ponad 100 lat temu w Łodzi. Przykładem może być Paryż i Zurych, gdzie buduje się nowe połączenia tramwajowe. Problemy komunikacyjne miejscowości podwarszawskich mogłoby rozwiązać wybudowanie linii tramwajowych w kierunku: Konstancina (przez Wilanów), Łomianek, Piaseczna, Janek, Marek.

2.5.4. Trakcja autonomiczna

Źródła energii autonomicznych pojazdów z napędem elektrycznym.

Jako rozwojowe w dalszej perspektywie wydają się pojazdy z zasilaniem autonomicznym, np. z ogniwami paliwowymi, akumulatorami elektrochemicznymi i superkondensatorami. Dla pojazdów dużej mocy istotna pozostaje przekładnia spalinowo-elektryczna, podobnie do pracy manewrowej.

Wydajne (energia, moc, liczba cykli roboczych, bezpieczeństwo użytkownika) źródła energii elektrycznej są kluczowym problemem dla rozwoju autonomicznej trakcji miejskiej (tramwaje, trolejbusy, ebusy, samochody elektryczne). Wymaga to, oprócz rozwoju samych źródeł i zasobników, badań nad algorytmami sterowania i zarządzania przepływem energii pomiędzy źródłem, zasobnikami i napędem pojazdu.

2.5.5. Obwody główne pojazdów z napędem elektrycznym

Nowoczesne napędy trakcyjne osiągnęły obecny poziom i mogą się dalej rozwijać przede wszystkim dzięki postępowi w energoelektronice. Impulsowe przekształcanie energii elektrycznej pozwala na dowolne sterowanie dopływem mocy do silników i kształtowanie charakterystyk trakcyjnych pojazdów odpowiednio do zapotrzebowania energetycznego dla danego typu pojazdu.

Dalszy rozwój przyrządów energoelektronicznych (np. na bazie węgla krzemu) wymagać będzie nowych metod sterowania napędów. Stosowane będą urządzenia o mniejszej masie, mniejszym zużyciu energii i wyższej sprawności takie jak:

- transformatory energoelektroniczne w pojazdach zasilanych z systemu AC zamiast klasycznych transformatorów (zmiana częstotliwości za pomocą przekształtników energoelektronicznych zmniejszy masę transformatora),
- przekształtniki o wyższej sprawności i mniejszych gabarytach,
- napędy sterowane indywidualnie (pojedyncze sterowanie momentem napędowym koła), co zwiększa przestrzeń wewnątrz i umożliwia konstrukcję pojazdów niskopodłogowych,
- silniki z wysokenergetycznymi magnesami trwałymi,
- nowoczesne układy automatyki i sterowania z oprogramowaniem zapewniającym wykorzystanie mocy zainstalowanych w pojazdach oraz podejmowanie decyzji w sytuacjach awaryjnych,
- rozwiązania zwiększające dyspozycyjność taboru dzięki wysokiej niezawodności i podatności serwisowej poprzez stosowanie rezerwowania istotnych urządzeń i diagnostyki predykcyjnej, pozwalającej na wymianę elementu zanim dojdzie do jego uszkodzenia, z systemami automatycznej informacji serwisowej zmniejszającej koszty eksploatacji,
- systemy transmisji momentu poprawiające współpracę koła z szyną, szybko wykrywające – dzięki dobrze działającym układom antypoślizgowym – sytuacje prowadzące do zwiększonego zużycia zestawów kołowych, co jest typowym problemem w produkowanym obecnie w Polsce taborze,

2.5.6. Trakcja elektryczna a przemysł krajowy

1. Stan techniczny krajowego przemysłu związanego z siecią trakcją elektryczną należy określić jako dobry. Istnieje duży potencjał w zakresie możliwości technicznych dotyczących zasilania 3 kV (podstacji i sieci trakcyjnych). Realizacja zasilania AC 25 kV/50 Hz, jeśli będzie poprzedzona skrupulatnymi, dobrze zorganizowanymi i koordynowanymi badaniami naukowymi i technicznymi – będzie możliwa do przeprowadzenia własnym wysiłkiem krajowym w ciągu najbliższych lat. Pojazdy różnych typów: lokomotywy, zespoły trakcyjne, tramwaje i trolejbusy produkowane są w Polsce jako opracowania własne lub przy współpracy z firmami zagranicznymi. Niektóre wysokotechnologiczne podzespoły muszą jeszcze chwilowo być kupowane za granicą.
2. Zastosowanie elektrycznych układów napędowych w budowie pojazdów samochodowych znajduje się obecnie jeszcze na etapie prób ibłędów. Opracowania są rozproszone. Produkowane są krótkie serie różnych typów pojazdów (o małym stopniu zaawansowania technologicznego).

3. Jest prawdopodobne, że zwiększenie inwestycji w obszarze trakcji elektrycznej – poczynając od badań, poprzez wdrożenia i produkcję przemysłową, dla której zapewniono by zbyt w kraju – dałoby szansę, oprócz rozwoju infrastruktury i ekologicznego transportu w Polsce, na uzyskanie przez ten przemysł (pracujący na potrzeby transportu) wręcz marki przemysłu narodowego. Do tego niezbędne są jednak dobrze przygotowane i wyposażone zespoły badawcze z wysokim wykształceniem naukowo-technicznym.

2.5.7. Preferowane kierunki badań

2.5.7.1. Preferowane kierunki badań w Polsce

Preferowane kierunki prac i badań w Polsce dotyczyć powinny:

1. zmniejszenia zużycia energii,
2. zmiany w konstrukcji i wyposażeniu taboru,
3. zmniejszenia strat przetwarzania i przesyłu energii w układzie zasilania i taborze,
4. efektywnego wykorzystania energii hamowania odzyskowego (zasobniki energii),
5. opracowania systemu rozliczeń za energię na potrzeby trakcyjne i nietrakcyjne,
6. wprowadzenia preferencji dla operatorów systemów transportu elektrycznego wdrażających rozwiązania energooszczędne (np. możliwości wprowadzenia certyfikatów za zmniejszenie zużycia energii i wykorzystanie energii hamowania odzyskowego),
7. poprawy niezawodności funkcjonowania transportu elektrycznego,
8. wprowadzania rozwiązań proekologicznych i wpisanych w politykę zrównoważonego rozwoju (hałas, emisja zanieczyszczeń, obniżka kosztów zewnętrznych transportu),
9. poprawy konkurencyjności transportu elektrycznego,
10. efektywnych i bezpiecznych źródeł energii dla pojazdów autonomicznych.

2.5.7.2. Preferowane kierunki prac na kolei

Preferowane kierunki prac na kolei powinny dotyczyć:

- modernizacji istniejących układów zasilania kolejowego w systemie 3 kV DC ze względu na jego niewydolność energetyczną w stosunku do mocy nowoczesnych pojazdów, zbyt małą moc podstacji trakcyjnych i ich przestrzenne rozmieszczenie (nowe metody analiz, diagnostyka, poprawa niezawodności, wyszukiwanie wąskich gardeł). Wyniki takich prac pozwolą na optymalizację działań, skrócenie okresu modernizacji i zapewnią kompatybilność subsystemów na styku: układ zasilania-tabor),
- prac nad rozwojem Kolei Dużych Prędkości śladami tendencji rozwoju komunikacji światowej. Należy prowadzić prace przygotowawcze w celu perspektywicznego wdrożenia system zasilania AC 25 kV/50 Hz (układy zasilania w tym systemie, obszary stykowe DC-AC, tabor wielosystemowy),

- interoperacyjności kolei i wdrożenia wymagań Technicznych Specyfikacji Interoperacyjności i Pakietu Kolejowego wynikającego z Dyrektywy UE.

2.5.7.3. Preferowane kierunki prac w obszarze komunikacji miejskiej/podmiejskiej

Istotne problemy stojące przed komunikacją miejską mogą być rozwiązane przez:

- opracowanie metod analiz i projektowania w celu zapewnienie kompatybilności zwykle wysłużonego układu zasilania z nowym taborem przy minimalizacji kosztów modernizacji i eksploatacji,
- zmniejszenie zużycia energii poprzez wykorzystanie energii hamowania odzyskowego pojazdów, a także przez inteligentne energooszczędne sterowanie napędem,
- zapewnienie niezawodności i bezpieczeństwa systemu tramwajowego.

Literatura

- [1] Polityka Transportowa Państwa 2006 – 2025. *Ministerstwo Infrastruktury*. Warszawa, 2005
- [2] WACH A., *Zagadnienia kształcenia w zakresie związanym z trakcją elektryczną na poziomie szkoły wyższej w aspekcie potrzeb przedsiębiorstwa PKP*. Seminarium Wydziału Elektrycznego Politechniki Warszawskiej nt. kształcenia kadr w zakresie inżynierii elektrycznej. 2000
- [3] MIKULSKI J., *Kształcenie kadr na poziomie wyższym (inżynierskim) w dziedzinie transportu, ze szczególnym uwzględnieniem automatyki kolejowej*. Seminarium Automatyki i Telekomunikacji
- [4] Materiały zespołu ds. kształcenia kadr (przewodniczący: prof. H. Bałuch) Rady Naukowej Kolei Dużych Prędkości przy PKP PLK SA.
- [5] Materiały ogólnodostępne prasy technicznej i na stronach internetowych poszczególnych instytucji
- [6] SZELAĞ A., *Problemy procesu projektowania układów zasilania linii kolejowych*. Międzynarodowa Konferencja N-T „Problemy projektowania i budowy systemu zasilania sieci trakcyjnej Kolei Dużych Prędkości”, Krzyżowa, 19-21 XI 2009
- [7] SZELAĞ A., *Problemy kształcenia i zatrudniania specjalistów z zakresu inżynierii elektrycznej w transporcie*. Materiały Konferencji „90 lat nauczania trakcji elektrycznej w Politechnice Warszawskiej”, Warszawa 24 IX 2010r.
- [8] MACIOŁEK T., SZELAĞ A., *Elektroenergetyka trakcyjna linii kolejowych w Polsce - uwagi dotyczące procesu projektowania*, TTS Technika Transportu Szynowego, 2012, nr 7-8, s. 30-37.

2.6. Wielkie Moce i Wysokie Napięcia

2.6.1. Wstęp

Temat wiodący Mapa rozwoju dyscypliny „elektrotechnika” obejmuje:

- podstawy teoretyczne służące zagadnieniom technologicznym i systemowym, wynikającym z trendów i potrzeb aplikacji tej dyscypliny w różnych dziedzinach techniki i życia społecznego;
- rekomendacje i strategie badawcze oraz edukacyjne.

Temat wiodący *Mapa rozwoju dyscypliny „elektrotechnika”* wskazuje przewidywane kierunki rozwoju tej dyscypliny i wynikające stąd racjonalne programy badań.

Perspektywy rozwoju dyscypliny „Elektrotechnika” są związane z technologiami w zakresie wytwarzania, przesyłu, rozdziału i wykorzystania energii elektrycznej. Obecny zakres „Elektrotechniki” wskazuje na jej multidyscyplinarny charakter, wymagający współdziałania wielu dziedzin szczegółowych. Systemy elektroenergetyczne, aparaty wysokiego napięcia, energoelektronika, maszyny, napędy, informatyka, elektronika i mikroelektronika, optoelektronika, technologie materiałowe, nanotechnologia, telekomunikacja, systemy mobilne i wbudowane są tego przykładem. W ostatniej dekadzie powstało wiele kierunków mających zasadnicze implikacje dla rozwoju elektroenergetyki. Prace związane z wdrażaniem koncepcji SmartGrid na wszystkich poziomach napięć (nn-SN-WN), nowe generacje układów automatyki zabezpieczeniowej, pozwalające na tworzenie efektywnych systemów kontroli systemów rozległych (WAMS), rozwiązania energooszczędne (np. Smart Building), eMobility - samochody elektryczne- oraz infrastruktura szybkiego ładowania, wymagająca zapewnienia zasilania w sieciach elektroenergetycznych, układy generacji rozproszonej oraz ich integracja i ich współpraca z systemem elektroenergetycznym, przesył prądem stałym, zwiększenie przepustowości i stabilności sieci poprzez instalacje FACTS, etc. Naturalnymi tematami w zakresie elektrotechniki, mającymi obecnie duże znaczenie aplikacyjne, jest np. penetracja energoelektroniki w obszar tradycyjnych aparatów czy magazynowanie energii elektrycznej.

Niezmiernie ważnym tematem jest też wizja przyszłego przesyłu energii elektrycznej, kanały przesyłu GW, przesył niskoemisyjny, przejście szczególnie w terenach zurbanizowanych z linii napowietrznych, wzrost udziału linii kablowych, nowe technologie kablowe. Istnieje potrzeba przyszłościowych tematów alternatywnego przesyłu energii elektrycznej. Na pograniczu elektrotechniki i informatyki nowym zagadnieniem jest bezpieczeństwo sieci elektroenergetycznych (cybersecurity). Rozwój informatyki w ostatnich dwóch dekadach sprawił, że obecne aparaty, urządzenia i systemy elektroenergetyczne są oparte na rozwiązaniach informatycznych. W zakresie tym mieszczą się zagadnienia zastosowania inżynierii wysokich napięć i wielkich prądów w technice przesyłu i rozdziału (dystrybucji) energii elektrycznej. Wprowadzenie i lokalizacja tej tematyki w elektroenergetyce może być zatem wkładem ze strony obszaru tematycznego Sekcji Wielkich Mocy i Wysokich Napięć KE/PAN do rozwoju „Elektrotechniki” jako dyscypliny.

Tematyka prac badawczych i aplikacyjnych Sekcji Wielkich Mocy i Wysokich Napięć dotyczy szczegółowych zagadnień związanych z realizacją techniczną funkcji spełnianych przez podstawowe działy elektroenergetyki: wytwarzanie, przesył i rozdział energii elektrycznej.

W ramach tych działań prace badawcze i aplikacyjne w obszarze merytorycznym Sekcji Wielkich Mocy i Wysokich Napięć dotyczą zasadniczo następujących grup problemów:

1. modernizacja i rozwój nowych konstrukcji elementów systemu elektroenergetycznego,

2. zapewnienie odpowiedniego poziomu niezawodności w eksploatacji elementów systemu elektroenergetycznego,
3. minimalizacja środowiskowych i zdrowotnych narażeń, będących konsekwencją stosowanych technologii w systemie elektroenergetycznym
4. konsekwencje badawcze dla inżynierii wysokonapięciowej, wynikające z wprowadzania technologii wytwarzania energii w źródłach odnawialnych i systemów energetyki rozproszonej.
5. poprawa efektywności energetycznej w obszarze wytwarzania, przesyłu i zużycia energii elektrycznej przy wykorzystaniu zaawansowanych systemów zarządzania energią.

2.6.2. Modernizacja konstrukcji elementów systemu elektroenergetycznego

Elementami systemu elektroenergetycznego są urządzenia i aparaty niskiego i wysokiego napięcia. Budowa i eksploatacja układów izolacyjnych wymienionych elementów należą do zakresu zainteresowań merytorycznych Sekcji Wielkich Mocy i Wysokich Napięć.

Następujące obszary teoretyczne są źródłami do modernizacji i rozwoju układów izolacyjnych i stanowią kierunki prac w ramach „*Mapy rozwoju dyscypliny elektrotechnika*”:

1. Projektowanie układów izolacyjnych

- a. Modelowanie matematyczne narażeń przepięciowych pochodzenia wewnętrznego i zewnętrznego w warunkach eksploatacyjnych i zakłóceńowych.

Zadania do dalszych opracowań:

- Metody aproksymacji przepięć łączeniowych o dużej stromości przebiegu czoła napięcia.
- Metody aproksymacji przepięć atmosferycznych ze szczególnym uwzględnieniem koordynacji skutków z urządzeniami ograniczającymi
- Metody aproksymacji przepięć generowanych przez urządzenia energoelektroniczne.

b. Modelowanie matematyczne:

- ✓ pól elektrycznych i magnetycznych
- ✓ pól cieplnych

w warunkach eksploatacyjnych i zakłóceńowych aktualnych i przewidywanych w przyszłości:

Zadania do dalszych opracowań:

- analityczne i numeryczne rozwiązywanie równań polowych opisujących rozkłady wektorów natężeń w polach elektrycznych i magnetycznych oraz rozkłady temperatury w polach cieplnych, w szczególności w układach o złożonej konstrukcji oraz w warunkach działania pól sprzężonych

- optymalizacja metod numerycznych. Adaptacja programów profesjonalnych do szczególnych warunków konstrukcji układów izolacyjnych wysokiego napięcia
- a. Metody laboratoryjne weryfikacji i walidacji efektów prac teoretycznych

Zadania do dalszych opracowań:

- rozwój metod generowania w warunkach laboratoryjnych narażeń napięciowych, cieplnych i środowiskowych dla szczególnych warunków konstrukcji układów izolacyjnych wysokiego napięcia
- rozwój metod detekcji sygnałów diagnostycznych i przetwarzania wyników badań eksperymentalnych wpływu procesów starzeniowych w układach izolacyjnych

2. Aplikacja efektów inżynierii materiałów elektrotechnicznych dla rozwoju konstrukcji i technologii układów izolacyjnych wysokich napięć

Możliwości konstrukcji systemów izolacyjnych wynikają z postępu w materiałach elektroizolacyjnych.

Przykładowe cele jako kierunki prac w ramach „*Mapy rozwoju dyscypliny elektrotechnika*”:

- a. Materiały izolacyjne stałe w zastosowaniach wewnętrznych: dopuszczenie w konstrukcjach urządzeń wartości gęstości objętościowej energii pola elektrycznego większych niż powszechnie obecnie przyjmowane i od dawna ustalone, rozwój materiałów polimerowych o dużej przewodności cieplnej, mikrokompozytów, nanomateriałów i nanokompozytów. Oprócz problemu podstawowego zastosowania nowych materiałów w konstrukcjach układów izolacyjnych wskazane jest podjąć badania możliwego wpływu procesów technologicznych nowoczesnych nanomateriałów i nanokompozytów na warunki zdrowotne zatrudnionego personelu.
- b. Materiały izolacyjne stałe w zastosowaniach zewnętrznych: zapewnienie odporności na działanie narażeń środowiskowych z uwzględnieniem synergii narażeń, rozwój materiałów polimerowych i kompozytowych
- c. Materiały izolacyjne gazowe: rozwój gazowych i próżniowych układów izolacyjnych, w których barierami, wyznaczającymi budowę są zjawiska jonizacji gazów i emisji polowej z katody. Konieczność ograniczania SF₆ niepożądanego ze względów środowiskowych sugeruje potrzebę badań nad równoważnymi zamiennikami gazowymi.

2.6.3. Niezawodność elementów układu elektroenergetycznego

Wymagana niezawodność urządzeń elektroenergetycznych jest następstwem normowanych warunków pewności zasilania energią dla odbiorców. Jest to podstawowe zadanie w systemie zarządzania eksploatacją. Zarówno elementy systemu jak i wykonawcy na

etapie budowy oraz obsługa w eksploatacji powinny odpowiadać aktualnym standardom i certyfikacji, które wynikają z współczesnych badań w dziedzinie wysokich napięć.

Jednym z elementów systemu zapewnienia niezawodności w zakresie przedstawionego tematu szczegółowego jest diagnostyka urządzeń elektroenergetycznych i najwyższa jej forma – monitoring.

Prawidłowa interpretacja wyników badań diagnostycznych powinna być oparta na wiarygodnej znajomości procesów starzeniowych i wynikających z nich kryteriów kwalifikujących dla różnych rodzajów urządzeń. W szczególności szybki rozwój urządzeń energoelektronicznych wymaga objęcia stosowanymi dotąd procedurami badań starzeniowych również układów elektroizolacyjnych pracujących w warunkach narażeń istniejących w tych urządzeniach.

Powiększanie skuteczności i wiarygodności metod badań diagnostycznych urządzeń elektroenergetycznych dla zwiększenia niezawodności pracy układów elektroenergetycznych oparte jest na następujących kierunkach, które są elementami „Mapy rozwoju dyscypliny elektrotechnika”:

1. Rozwój metod pomiarowych detekcji defektów układów elektroizolacyjnych.

Źródłem informacji są sygnały elektryczne, akustyczne, cieplne, IR, UV i chemiczne.

Przykłady: - sygnały od wyładowań niezupełnych,
- sygnały od lokalnych pól cieplnych,

Zadania do dalszych opracowań w tym temacie:

- a. Rozwój metod pomiarowych, diagnostycznych i monitoringu oraz metod eksperckich wspierających decyzje diagnostyczne w oparciu o nowoczesne układy elektroniczne, optoelektroniczne, energoelektroniczne i zaawansowane oprogramowanie IT.
- b. Szczególne obiekty zastosowań: transformatory energetyczne wysokich napięć, podobciążeniowe przełączniki zaczepów, linie napowietrzne, kable i linie kablowe najwyższych napięć różnych konstrukcji
- c. Rozbudowa laboratoriów badawczych wyposażonych w systemy i aparaty pomiarowe dla prowadzenia badań nowych materiałów i prób starzeniowych
- d. Rozwój metod matematycznych przetwarzania sygnałów jako źródła informacji o stanie układu izolacyjnego.

Stosowane i rozwijane metody:

- analiza widmowa, korelacja;
- rozpoznawanie obrazów;
- metody sztucznej inteligencji;
- data mining, klasteryzacja;
- klasyfikacja statystyczna: Bayesa, geometryczna, wielomianowa;

- sieci neuronowe;
 - logika rozmyta;
 - i inne.
2. Procedury logiczne i informatyczne w zastosowaniu do opracowania diagnoz stanów urządzeń

Podejmowanie decyzji o eksploatacji jest funkcją informacji uzyskiwanych z diagnostyki.

Zadania do dalszych opracowań w tym temacie:

- wpływ możliwości diagnostyki na zarządzanie majątkiem, na przykład określanie terminów wymian eksploatowanych elementów
- ocena ryzyka defektów i jego związku z badaniami mechanizmów fizykalnych procesów starzeniowych
- przygotowanie systemów przetwarzających wyniki analiz technicznych na wskaźniki ekonomiczne uzasadniające podejmowanie decyzji inwestycyjnych. Systemy takie powinny być dedykowane różnym grupom urządzeń (np. dla transformatorów – TrafoGrade).

2.6.4. Podstawowe źródła teoretyczne

Temat szczegółowy, rozwijany w Sekcji Wielkich Mocy i Wysokich Napięć korzysta przede wszystkim z następujących dziedzin:

1. Elektrotechnika teoretyczna, teoria pola elektromagnetycznego i jego szczególne przypadki.
2. Fizyka i chemia ciała stałego, w szczególności fizykochemia polimerów syntetycznych.
3. Fizyka i chemia gazów syntetycznych.
4. Teoria i przetwarzanie sygnałów jedno- i wielowymiarowych w zastosowaniu do interpretacji wyników pomiarów w diagnostyce.

2.6.5. Charakterystyka metodyczna

Podstawowe źródła teoretyczne tematu szczegółowego

Cechą opisywanej tematyki Sekcji Wielkich Mocy i Wysokich Napięć jest splot funkcji teoretycznej i aplikacyjnej w zakresie merytorycznym określonym w p. 2.2.

Oznacza to, że istnieją wzajemnie uzupełniające się kierunki działań:

- a. z jednej strony postęp techniczny w elektroenergetyce podpowiada i inspiruje kierunki badań teoretycznych zmierzających do optymalizacji istniejących już konstrukcji,
- b. z drugiej strony badania teoretyczne prowadzą do modeli nowych konstrukcji lub modernizacji istniejących.

2.6.6. Przykłady wybranych problemów teoretycznych

1. Następujące problemy o charakterze teoretycznym stwarzają możliwości i cele badawcze:
2. Działania silnych pól oraz innych narażeń środowiskowych (wysokie ciśnienia i temperatury, promieniowanie radiacyjne, zanieczyszczenia) w materiałach
 - materiały izolacyjne stałe, efekty działania energii pola elektrycznego ze strukturą fizykochemiczną na poziomie nadmolekularnym i molekularnym,
 - materiały izolacyjne gazowe, efekty działania emisji polowej w silnych polach elektrycznych ($> 10^8$ [V/m]) jako granica możliwości konstrukcyjnych.
3. Pola elektromagnetyczne i ich zastosowania: indukowanie napięć w liniach kablowych w różnych sytuacjach eksploatacyjnych, propagacja napięć w liniach kablowych i napowietrznych dla celów konstrukcyjnych lub diagnostycznych.
4. Tory wieloprądowe, będące źródłem silnych pól magnetycznych, inspirują tematy teoretyczne działań takich pól w otaczającym środowisku naturalnym i technicznym.
 5. Narażenia od wyładowań atmosferycznych: mechanizm wyładowania, napięcia i prądy indukowane w obiektach – zastosowania do oceny zagrożeń wrażliwych urządzeń elektronicznych.
6. Nowe narażenia przepięciowe jako efekty eksploatacji urządzeń energoelektronicznych.
7. Kompatybilność elektromagnetyczna rozproszonych źródeł wytwarzania energii elektrycznej z systemem elektroenergetycznym, konsekwencje rozwoju energetyki rozproszonej dla inżynierii wysokonapięciowej.

2.7. Zagadnienia związane z przebudową energetyki

2.7.1. Główna teza

Rozwój elektroniki i energoelektroniki wykreował koncepcję kompatybilności elektromagnetycznej: „dostosowanie” odbiorników (odbiorów przemysłowych) – za pomocą ich wewnętrznych, rozbudowanych, układów elektronicznych (energoelektronicznych) – do wymagań SEE (system elektroenergetyczny), a bardziej szczegółowo do warunków budynkowej instalacji („odbiorczej”) nN, sieci przemysłowej, korporacyjnej sieci rozdzielczej. Rozwój teleinformatyki, Internetu i energetyki prosumenckiej doprowadzi do wykreowania systemu energetycznych łańcuchów wartości (u prosumentów) i wirtualnej sieci usług energetycznych ze wspomagającą (zmniejszającą się) rolą SEE. To oznacza odwrócenie podejścia w stosunku do tego, którego skutkiem była dotychczasowa koncepcja kompatybilności elektromagnetycznej: zamiast dominującego SEE z dołączanymi – przy wykorzystaniu infrastruktury smart grid 1 – instalacjami budynkowymi PME (prosumencka

mikroinstalacja energetyczna), sieciami lokalnymi PISE (prosumencka inteligentna sieć energetyczna), sieciami przemysłowymi AG (autogeneracja w energetyce przemysłowej) dominujący będzie trend rozwojowy ukierunkowany na tworzenie zdolności PME, PISE, AG do pracy typu off grid (*smart grid 2 vs smart grid 1*).

2.7.2. Intensyfikacja wykorzystania zasobów SEE

1. Diagnostyka transformatorów (blokowych, sieciowych „sprzęgłowych”, sieciowych „odbiorczych”). Wykorzystanie inteligentnej infrastruktury (*smart grid 1*) do zarządzanie eksploatacją i przedłużania czasu życia transformatorów
2. Diagnostyka linii napowietrznych (przesyłowych 400 kV i 220 kV oraz rozdzielczych 110 kV, SN, nN). Wykorzystanie inteligentnej infrastruktury (*smart grid 1*) do zarządzanie eksploatacją i przedłużania czasu życia linii napowietrznych
3. Wykorzystanie inteligentnej infrastruktury (*smart grid 1*) do dynamicznego zarządzania obciążalnością linii i urządzeń elektroenergetycznych (przepustowością sieci elektroenergetycznych), w szczególności dynamiczną obciążalnością linii napowietrznych.

2.7.3. Energetyka prosumencka

1. Koncepcja kształtowania budynkowej instalacji PME. Punktem wyjścia do prac nad koncepcją musi być krytyczna analiza współczesnego etapu realizacji koncepcji kompatybilności elektromagnetycznej, w szczególności krytyczna analiza uwarunkowań rozwoju tej koncepcji (jej adekwatności do braku przełomu technologicznego w obszarze instalacji budynkowych AC i dokonującego się bardzo szybkiego postępu technologicznego w obszarze odbiorników – AGD, napędy elektryczne, urządzenia grzewcze, źródła światła – wyposażonych w przekształtniki energoelektroniczne). Na wynikach tej krytycznej analizy trzeba następnie określić kierunki badań na rzecz nowej koncepcji instalacji budynkowej integrującej odbiorniki (w tym samochód elektryczny traktowany jako odbiornik i zasobnik akumulatorowy), zasilanie z SEE, własne mikroźródła wytwórcze (w tym ogniwa PV) oraz inteligentną infrastrukturę *smart grid 2*, czyli na rzecz rozwoju PME.
2. Koncepcja transformacji współczesnego SEE w wirtualną sieć układów: PME, PISE, AG. Koncepcja ta sprowadza się do kreowania nowego systemu usług energetycznych ze wspomagającą (zmniejszającą się) rolą SEE. Jest ona przeciwstawna do koncepcji dominującego SEE z dołączanymi PME, PISE, AG (*smart grid 1*) i w praktyce oznacza odwrócenie koncepcji kompatybilności elektromagnetycznej. Mianowicie, w koncepcji kompatybilności

elektromagnetycznej coraz bardziej złożone odbiorniki muszą spełniać wymagania „prostych” instalacji budynkowych AC, które utrzymują swoje znaczenie. W koncepcji wirtualnej sieci energetycznych układów prosumenckich (PME, PISE, AG) jest odwrotnie: SEE musi dostosowywać się do rozwoju układów prosumenckich.

3. Jakość energii i jej regulacja w instalacjach PME off grid. Istnieje potrzeba prac nad systemem regulacji w instalacjach PME off grid, jako odpowiednikiem trzech rodzajów regulacji w SEE: pierwotnej – sekundowej, wtórnej – minutowej, trójnej – godzinowej. (Proponuje się na początek następujący zakres przedmiotowy instalacji PME off grid, obejmujący w różnych zestawach: referencyjny zestaw odbiorników energii elektrycznej, ogniwo PV, ogniwo paliwowe, mikrowiatrak, zasobnik akumulatorowy, mikrobiogazownia z zasobnikiem biogazu i agregatem poligeneracyjnym na różne rodzaje paliwa gazowego).

2.7.4. Prąd stały – renesans

1. Współistnienie magistral AC i DC (optymalizacja ich struktury) jest w PME ważnym kierunkiem badawczym o praktycznym znaczeniu. Mianowicie, ten kierunek badawczy będzie wpływał na kształtowanie odbiorników (stopniowy odwrót od trendu dotyczącego ich wyposażenia w przekształtniki energoelektroniczne) oraz nowe zasady integracji: odbiorników (w tym samochodu elektrycznego), zasilania z SEE i zróżnicowanych mikroźródeł energii elektrycznej, w tym ogniwo PV.
2. Mikrosieci (sieci lokalne) prądu stałego można i należy rozpatrywać w świetle obserwowanego renesansu prądu stałego, ale przede wszystkim w zastosowaniach green field. Problem wyboru rozwiązań w obszarach PME i PISE, których przyszłość w postaci masowych zastosowań będzie się rozstrzygać w kolejnych latach, jest porównywalny do tego, który ponad 110 lat temu dotyczył wyboru w ogóle prądu stałego (Edison, General Electric) oraz przemiennego (Tesla, Westinghouse), a 60 lat temu wyboru układów przesyłowych prądu przemiennego i stałego.
3. Systemy hybrydowe⁶, ze składową stałą napięcia wprowadzoną do punktu gwiazdowego transformatora) w lokalnych sieciach elektroenergetycznych jako sposób zwiększania ich przepustowości. Byłaby to realizacja koncepcji sprzed ponad 30 lat, sformułowanej w warunkach odmiennych od obecnych, zarówno w odniesieniu do układów przesyłowych jak i sieci rozdzielczych, zwłaszcza kablowych (w przypadku których potencjalne korzyści z połączenia systemów prądu przemiennego i stałego są bardzo istotne). W przeszłości koncepcja nie

⁶ Popczyk J., Elektroenergetyczne układy przesyłowe. Wydawnictwa Politechniki Śląskiej. Gliwice 1984.

została zrealizowana, głównie z uwagi na trudności technologiczne (był to jeszcze okres przekształtników z zaworami rzęciowymi). Analiza możliwości zastosowania układów hybrydowych współcześnie wydaje się na nowo interesująca.

2.7.5. Współczesna przebudowa energetyki jako szansa rozwojowa dla elektryki (elektrotechniki)

Rozwój elektroniki w zderzeniu z niepoddającą się zmianom elektroenergetyką wytworzył wielkie pole badawcze opisane za pomocą pojęcia „kompatybilność elektromagnetyczna”. Rozwój energetyki prosumenckiej będzie wytwarzał pola badawcze związane z praktycznymi zagadnieniami wymagającymi rozwiązania (por. powyżej – p. 1 do 3). Konsolidację tych zagadnień i ich nazwę uznaje się tu na razie za sprawę otwartą.

Zał. 1. Energetyka prosumencka – próba (autorska) definicji

Przedstawia się tu następującą trójczłonową definicję energetyki prosumenckiej (jest to definicja autorska, ugruntowana w ramach licznych dyskusji i analiz bilansowych ukierunkowanych na implementację unijnej Energetycznej Mapy Drogowej 2050).

Po pierwsze, prosument to dotychczasowy odbiorca, który wykorzystuje dostępne na konkurencyjnym rynku technologie energetyczne (wytwórcze i proefektywnościowe po stronie popytowej, czyli po stronie użytkowania energii i paliw), w szczególności podejmuje produkcję energii elektrycznej na własne potrzeby w źródłach OZE.

Po drugie, energetyka prosumencka, to przejście od produktów (w energetyce sektorowej) do energetycznych łańcuchów wartości (zintegrowana gospodarka energetyczna); prosument zmienia produktowe podejście w zakresie pokrywania zapotrzebowania na energię elektryczną, ciepło i paliwa transportowe (osobny zakup od branżowych/sektorowych dostawców) na gospodarkę integrującą popyt i podaż we wszystkich trzech segmentach potrzeb energetycznych (energia elektryczna, ciepło, energia transportowa).

Po trzecie, energetyka prosumencka, to synteza energetyki i inteligentnej infrastruktury (*smart grid 2*); przy tym wykorzystanie inteligentnej infrastruktury do zarządzania gospodarką energetyczną jest tylko częścią inteligentnej infrastruktury prosumenta, wykorzystywanej przez niego w całym zakresie aktywności (zaspakajania potrzeb życiowych ludności, w tym teleedukacja, telepraca, telemedycyna, bezpieczeństwo szeroko rozumiane, komfort, inne).

Komentarz. Zaproponowana definicja rozciąga się swoim zakresem na wszystkich odbiorców energii/paliw (jest rozszerzona względem potocznego rozumienia, redukującego najczęściej pojęcie prosumenta do właściciela domu jednorodzinnego). W definicji kładzie się akcent na kształtowanie gospodarki energetycznej na „miarę”, czyli na gospodarkę dostosowaną do specyficznych potrzeb odbiorcy (szeroko rozumianego), a przyszłego prosumenta. W tym podejściu kluczową rolę odgrywa segmentacja podmiotowa energetyki

prosumenckiej⁷ oraz perspektywy rozwoju infrastruktury *smart grid* i prosumenckich instalacji energetycznych⁸.

Zal. 2. Przykładowe nowe pola badawcze w elektryce

Istnieje potrzeba zredefiniowania na nowo pól badawczych w elektryce. Decyduje o tym fakt, że energetyka prosumencka jest syntezą rozproszonych (aż do pojedynczego budynku) źródeł wytwórczych energii elektrycznej, w tym ogniw PV, i infrastruktury *smart grid*, w której kluczową rolę odgrywa energoelektronika⁹ oraz teleinformatyka, mechatronika i inne dyscypliny. Poniżej przedstawia się dwa pola mające systemowe znaczenie praktyczne, przy tym szczególnie interesujące pod względem teoretycznym.

Smart grid. Należy tę infrastrukturę/koncepcję rozpatrywać w dwóch aspektach: 1° - w pierwszym, węższym, jest to inteligentna infrastruktura do integracji rozproszonych źródeł energii elektrycznej z SEE (system elektroenergetyczny) i do intensyfikacji wykorzystania sieci elektroenergetycznych, zwłaszcza rozdzielczych (*smart grid 1*), 2° - w drugim, szerszym, jest to inteligentna infrastruktura energetyki prosumenckiej, w tym infrastruktura rynku usług energetycznych, lub inaczej rynku „energetycznych łańcuchów wartości” (*smart grid 2*).

W pierwszym aspekcie SEE jest „szkieletem” konstytuującym energetykę rozproszoną (do szkieletu przyłączane są instalacje/sieci energetyki prosumenckiej – segmenty PME, PISE, AG). W drugim SEE jest infrastrukturą wykorzystywaną do zarządzania niezbilansowaniami w instalacjach/sieciach energetyki prosumenckiej.

Jakość energii i jej regulacja w instalacjach PME *off grid*. Punktem wyjścia do prac nad modelem referencyjnym PME typu *off grid* jest gazowy agregat kogeneracyjny (już obecnie) wyposażony „fabrycznie” w automatykę umożliwiającą pracę wyspową. Wykorzystując takie rozwiązanie jako bazowe, należy opracować referencyjny system regulacji (zapewnienia odpowiedniej jakości energii) dla PME *off grid*. Z tego punktu widzenia ważne są na początek dwa zagadnienia. **Pierwsze**, to "integracja" w jeden system regulacyjny: 1° - charakterystyk napięciowo-prądowych ogniwa PV, 2° - charakterystyk sterowania baterią akumulatorów, 3° - charakterystyk czasowych napięciowych i prądowych przekształtnika energoelektronicznego, 4° - mechanicznych charakterystyk regulacyjnych silnika gazowego i 5° - charakterystyk napięciowo-prądowych generatora (maszyny elektrycznej). **Drugie**, to jakość energii elektrycznej (dopuszczalne: 1° - odchylenia częstotliwości, 2° - odchylenia napięcia, 3° - wahania napięcia, 4° - udział wyższych

⁷ J. Popczyk. *Od energetyki sektorowej do prosumenckiej* (sierpień 2013). Repozytorium iLab EPRO (<http://ilabepro.polsl.pl/audyt>).

⁸ J. Popczyk, M. Zygmantowski, J. Michalak, P. Kielan, M. Fice. *Koncepcja prosumenckiej mikroinstalacji energetycznej PME wg iLab EPRO* (sierpień 2013). Repozytorium iLab EPRO (<http://ilabepro.polsl.pl/audyt>).

⁹ G. Benysek, M.P. Kazimierkowski, J. Popczyk, R. Strzelecki. *Power electronic systems as a crucial part of Smart Grid infrastructure – a survey*. Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences, Vol. 59, No 4, 2011.

harmonicznych), rozpatrywana w kontekście wymagań ze strony współczesnych odbiorników, wyposażonych na ogół w przekształtniki energoelektroniczne.

3. Problemy dotyczące kształcenia wykwalifikowanych kadr

3.1. Kształcenie na kierunku Elektrotechnika

3.1.1. Umiejscowienie kierunku ELEKTROTECHNIKA w obszarze kształcenia

Kierunek Elektrotechnika należy do obszaru kształcenia w zakresie nauk technicznych i jest powiązany z takimi kierunkami studiów jak Automatyka i robotyka, Energetyka, Elektronika i telekomunikacja oraz Informatyka.

3.1.2. Cel ogólny kształcenia

a) 1 stopień

Przygotowanie studenta do pracy w obszarze szeroko rozumianej elektrotechniki; przygotowanie do samodzielnego korzystania z nabytej wiedzy i umiejętności; wykształcenie umiejętności samodzielnego myślenia w sposób abstrakcyjny i rozwiązywania problemów inżynierskich; przygotowanie do pracy indywidualnej i zespołowej; zdobycie podstawowej wiedzy z zakresu projektowania, konstruowania i eksploatacji urządzeń i systemów elektrycznych z wykorzystaniem narzędzi informatycznych; absolwent jest przygotowany do podjęcia pracy w zakładach przemysłowych oraz biurach konstrukcyjnych i projektowych związanych z szeroko rozumianą inżynierią elektryczną i dziedzinami pokrewnymi; absolwent jest przygotowany do podjęcia studiów drugiego stopnia.

b) 2 stopień

Przygotowanie studenta do samodzielnego korzystania z nabytej wiedzy i umiejętności oraz nadzorowania pracy innych; podniesienie poziomu zaawansowania umiejętności samodzielnego myślenia i rozwiązywania problemów technicznych i naukowo-badawczych z zakresu inżynierii elektrycznej. Absolwent posiada zaawansowaną i ugruntowaną wiedzę z zakresu projektowania, konstruowania, funkcjonowania i testowania urządzeń elektrycznych oraz komputerowych systemów pomiarowych i systemów sterowania cyfrowego. Posiada umiejętności stosowania właściwych narzędzi informatycznych i elektronicznych. Jest zdolny do pracy twórczej oraz do podejmowania decyzji i kierowania zespołami pracowniczymi. Jest przygotowany do podjęcia studiów trzeciego stopnia (doktoranckich).

3.1.3. Ocena aktualnie realizowanych studiów dwustopniowych

Teza podstawowa: Poziom absolwentów kształconych na kierunku elektrotechnika na studiach dwustopniowych w ostatnich latach obniżył się. Dotyczy to zarówno pierwszego jak i drugiego stopnia.

Wpłynęły na to następujące czynniki:

1. **Nowa matura** i z tym związany brak egzaminu wstępnego na studia.
2. Wprowadzenie **studiów dwustopniowych**.
3. Malejąca z roku na rok **dotacja budżetowa** dla uczelni.
4. Przy prowadzonych ocenach pracowników naukowo-dydaktycznych, zwłaszcza przy awansach, **w małym stopniu branie pod uwagę działalności dydaktycznej**.
5. Zbyt mało **praktyk przeddyplomowych i dyplomowych** w czasie studiów.
6. **Niskie płace**, a co za tym idzie, podejmowanie przez nauczycieli akademickich dodatkowego zatrudnienia.
7. Niezbyt prawidłowo stosowany **system ECTS** przy rejestracji.

Ad 1

Powszechnie wiadomo, że po wprowadzeniu nowej matury i nowych programów obniżył się poziom absolwentów szkół średnich zwłaszcza z przedmiotów takich jak matematyka i fizyka. Kandydaci na studia techniczne mają ogromne braki z tych przedmiotów. Dopiero po wprowadzeniu od kilku lat matury z matematyki sytuacja może nieco poprawiła się.

Ogromnie szkodliwe są egzaminy testowe.

Ad 2

Studia dwustopniowe mają szereg wad.

W czasie siedmiu semestrów bardzo trudno wykształcić inżyniera.

Egzamin dyplomowy stał się fikcją, studenci nie mają czasu żeby przygotować się do egzaminu dyplomowego, nie mówiąc o przygotowaniu pracy dyplomowej.

Brak jest jasności, czy powinien być sprawdzian dla podejmujących studia na drugim stopniu.

Ad 3

Wobec malejących środków na dydaktykę podejmowane są różne, przeważnie szkodliwe, działania. Ogranicza się liczbę godzin na zajęcia laboratoryjne. Z roku na rok wzrasta liczba studentów przypadająca na jednego nauczyciela akademickiego prowadzącego zajęcia laboratoryjne. Zmniejszyła się liczba godzin przeznaczonych na laboratoria typu pomiarowego.

Ad 4

W szkolnictwie wyższym pracownik dydaktyczny jest oceniany głównie z punktu widzenia dorobku naukowego (liczą się tylko punkty za publikacje w czasopismach określonych przez Ministerstwo).

W małym stopniu brana jest pod uwagę praca dydaktyczna. Mało jest nagród za osiągnięcia dydaktyczne.

Ad 5

Praktyki wakacyjne odgrywają ważną rolę w procesie kształcenia, zwłaszcza na pierwszym stopniu. Brak jest praktyki przed dyplomowej jako obowiązkowej.

Ad 6

Poziom płac w szkolnictwie wyższym jest żenująco niski. Trudno się dziwić, że w tej sytuacji pracownicy uczelni podejmują różne prace dodatkowe. Rzadko kiedy, są to prace pożyteczne z punktu widzenia rozwoju naukowego.

Ad 7

System ECTS może być dobrym narzędziem do rejestracji jeśli jest dobrze i konsekwentnie prowadzony. Nie można przyporządkować punktów poszczególnym przedmiotom tylko na podstawie liczby godzin w programie studiów. Nie jest brana pod uwagę sekwencja zaliczeń poszczególnych przedmiotów oraz nakład pracy studenta poza godzinami figurującymi w siatce godzin. Zbyt nisko ustawiany jest procentowy próg decydujący o zaliczeniu roku, zwłaszcza pierwszego roku.

3.1.4. Propozycje zmian

W trosce o usprawnienie procesu dydaktycznego, o podniesienie poziomu absolwentów kształconych na kierunku Elektrotechnika, należałoby podjąć następujące działania:

1. Dokonać gruntownej oceny programów na obu stopniach kształcenia z punktu widzenia ich dostosowania do wymogów współczesnego rynku pracy, eliminowania powtórzeń treści w poszczególnych przedmiotach, właściwej korelacji przedmiotów. Komisje programowe złożone z profesorów oraz przedstawicieli przemysłu i elektroenergetyki powinny dokonać gruntownej analizy obecnie realizowanych programów.
2. Należy bezwzględnie rozwiązać problemy występujące na styku pierwszego i drugiego stopnia.
Jednym z wariantów byłoby:
 - odstąpienie od egzaminu dla studentów, którzy będą kontynuowali studia na drugim stopniu,
 - przedłużenie np. o dwa, trzy miesiące studiów na pierwszym stopniu, w celu umożliwienia studentom wykonanie w miarę solidnej pracy dyplomowej i zdanie egzaminu.
 - wprowadzenie sprawdzianu na drugi stopień dla osób, które nie kończyły studiów na pierwszym stopniu na wydziale elektrycznym.
3. Należy rozważyć możliwość wprowadzenia jednolitych studiów magisterskich 5-letnich.
4. Elementem procesu kształcenia powinny być praktyki wakacyjne oraz praktyki dyplomowe w firmach specjalistycznych o znaczącej pozycji na rynku pracy.
5. Na pierwszym stopniu studiów należy zwiększyć liczbę godzin laboratoryjnych.

6. Ważnym instrumentem w procesie rejestracji studentów powinien odgrywać prawidłowo stosowany system ECTS. Rejestracja na kolejny semestr (rok) powinna nastąpić po uzyskaniu 80% punktów, co wpłynie na wzrost dyscypliny studiów.

Studia podyplomowe powinny ustawowo uzyskać wysoką rangę. W tym zakresie należałoby podjąć współpracę z organizacjami pozarządowymi (stowarzyszenia naukowo-techniczne).

3.2. Stan kadrowy, kształcenie oraz rozwój zawodowy specjalistów w Trakcji Elektrycznej

3.2.1. Krótka diagnoza stanu

Historia rozwoju trakcji elektrycznej naznaczona jest pasmem wzlotów i upadków. Po burzliwym rozwoju mającym miejsce do lat 50-ych minionego stulecia, lata 60-te przyniosły zanik miejskiej trakcji elektrycznej na rzecz rosnącej indywidualnej motoryzacji (w Polsce dopiero po zmianach ustrojowych – w latach 90-ych ubiegłego wieku zaczęła intensywnie rozwijać się indywidualna motoryzacja). Kryzys paliwowy lat 70-ych poddał weryfikacji to postępowanie i miejska trakcja elektryczna ponownie zaczęła być postrzegana jako nowoczesny i wydajny środek komunikacji miejskiej.

W transporcie miejskim, za wyjątkiem likwidacji kilku linii trolejbusowych w ubiegłym wieku, nie popełniono błędów krajów zachodnich i nie zlikwidowano komunikacji tramwajowej.

Obecnie w szerokim stopniu modernizuje i rozwija się miejską trakcję elektryczną w zakresie infrastruktury i pojazdów – dotyczy to zarówno ekologicznych trolejbusów, a zwłaszcza tramwajów oraz metra i SKM (Szybkiej Kolei Miejskiej). Krajowe firmy dostarczają tabor i wykonawstwo w zakresie budowy infrastruktury.

W Polsce w latach 80-ych zaznaczył się intensywny rozwój kolejowej trakcji elektrycznej, zrealizowany siłami krajowych przedsiębiorstw. Po zmianach ustrojowych znacznie spadły kolejowe przewozy towarowe i pasażerskie. Obecnie transport kolejowy w Polsce przeżywa trudny okres. Związane jest to z jednej strony ze znacznym spadkiem przewozów w ostatnich latach, spowodowanym przede wszystkim zmianą struktury produkcji krajowych przedsiębiorstw, kryzysem ekonomicznym i silną konkurencją transportu drogowego (z powodu ogólnej motoryzacji), z drugiej strony prowadzonym trudnym procesem przekształceń organizacyjnych, uwarunkowanych zmianami w gospodarce i zmianą polityki transportowej. Pomimo licznych zmian organizacyjnych PKP i wysiłków modernizacyjnych nie uzyskano znacząco pozytywnych wyników. Postępująca degradacja linii kolejowych powoduje ograniczenia prędkości i zwiększa koszty transportu (w ogólności działalności gospodarczej). Stosunkowo szeroka modernizacja linii kolejowych została rozłożona na wiele lat, co nie pozwala na medialne przedstawienie tych osiągnięć jako sukcesu. W zasadzie tylko dwie znaczące spółki PKP osiągają dobre wyniki finansowe: PKP Energetyka, i po dużych zmianach organizacyjnych PKP Cargo. Znaczne straty odnotowały InterCity i Przewozy

Regionalne. Należy zaznaczyć, że z linii PLK korzysta wielu przewoźników – w tym konkurentów grupy PKP. Prywatni przewoźnicy dysponują – w coraz większym stopniu – nowoczesnym taborem. Ich działalność organizacyjna jest bardziej sprawna, co wymusza konkurencję na torach.

Reasumując – przedstawiany w mediach „bałagan” na kolei nie jest wynikiem chwilowych zaburzeń w działalności przewozowej, a stanowi wynik wieloletnich zaniedbań spowodowanych w znacznej części niedoinwestowaniem w zakresie infrastruktury i taboru. Poprawa zaniedbań będzie wymagała co najmniej kilku a nawet kilkunastu lat inwestycji.

Jednocześnie znaczący dopływ środków z UE na modernizację linii kolejowych i zakup nowego taboru wymaga istotnego wysiłku ze strony przedsiębiorstw kolejowych, jak i innych firm działających na rzecz transportu, aby:

- dysponować środkami na wniesienie wkładu własnego do inwestycji i bieżącą działalność,
- posiadać odpowiednią liczbę wykształconego w zakresie nowych rozwiązań, technologii i doświadczonego, znającego języki personelu, aby nadzorować prowadzenie przetargów oraz inwestycji, współpracując w gronie międzynarodowych firm,
- mieć odpowiednie wyposażenie i potencjał techniczny, umożliwiające terminową realizację zadań, tak aby środki z UE zostały wykorzystane,
- zmienić postrzeganie transportu kolejowego w Polsce tak, aby podkreślić jego proekologiczne zalety i możliwość poprawy jakości świadczonych usług, co pozwoli na zwiększenie konkurencyjności kolei.

Jest to o tyle utrudnione, że potencjał firm pracujących na rzecz kolei uległ załamaniu w latach 90-tych (na skutek spadku zamówień) i jego odbudowywanie, które zaczęło się w ostatnich latach nie będzie łatwe. Występuje luka pokoleniowa – doświadczeni pracownicy odchodzą na emerytury, młodych dopiero się szkoli (jeśli tacy się znajdują, bo proponowane wynagrodzenia nie są zbyt atrakcyjne). Dlatego niezbędne są działania w zakresie zwiększenia kształcenia kadr specjalistycznych z zakresu szeroko pojętej inżynierii elektrycznej transportu, szczególnie w związku z przygotowaniami do budowy kolei dużych prędkości.

3.2.2. Kształcenie kadr

Jednym z istotnych obszarów działania przedsiębiorstw, wymagających zatrudnienia kadry o kwalifikacjach w zakresie trakcji elektrycznej jest dział elektroenergetyki i taboru. Branża ta powinna dysponować wykwalifikowaną kadrą, szczególnie związaną z wykonywanym zawodem, co jest warunkiem sprawnego działania w specyficznych okolicznościach, na które składa się konieczność wykonywania prac związanych z występowaniem zagrożeń wynikających z pracy przy urządzeniach elektrycznych, z pracy przy elementach sieci

trakcyjnej pod wysokim naciągiem mechanicznym, często w bezpośrednim sąsiedztwie lub na torach kolejowych.

Właściwe przygotowanie absolwentów Wydziałów Elektrycznych Uczelni Technicznych do pracy w transporcie powinno uwzględniać, oprócz dobrego przygotowania teoretycznego, również przekazanie im wiedzy odnośnie aktualnego stanu wyposażenia technicznego przedsiębiorstw transportowych oraz podejmowanych i planowanych do podjęcia w ciągu najbliższych 15-20 lat działań w zakresie podnoszenia poziomu technicznego transportu kolejowego w Polsce. Obecnie realizowany jest szeroko zakrojony program modernizacyjny i rozwojowy – obejmujący systemy transportu w miastach (tramwaje, trolejbusy, metro) oraz wszystkie zelektryfikowane linie magistralne – którego celem jest wprowadzenie w ciągu najbliższych lat prędkości jazdy pociągów na poziomie 250 km/h i więcej. Programy modernizacyjne dotyczą zarówno infrastruktury, jak i taboru.

Realizacja zadań modernizacyjnych wiąże się z koniecznością uruchamiania inwestycji o znacznym zakresie (z udziałem środków UE), wprowadzania do eksploatacji nowoczesnych urządzeń oraz, co jest ściśle związane z tymi działaniami, prowadzenia procedur przetargowych i uzgodnień z dostawcami krajowymi i zagranicznymi, testowania nowych rozwiązań itp.

Bardzo istotnym zagadnieniem dla dalszego funkcjonowania wielu przedsiębiorstw jest skuteczne przeprowadzenie procesu restrukturyzacji wewnętrznej i zewnętrznej. Działania modernizacyjne w zakresie wyposażenia technicznego oraz stosowanych technologii i metod zarządzania, przynoszą jako efekt spadek zapotrzebowania na siłę roboczą. Jednak nieodłącznym warunkiem realizacji tych przeobrażeń staje się pozyskiwanie większej liczby kadry z wyższym wykształceniem (spośród absolwentów szkół wyższych), jak również stwarzanie warunków do podnoszenia kwalifikacji pracowników kolei poprzez uzyskiwanie przez nich (bądź uzupełnienie) wykształcenia wyższego. Wchodzący na rynek absolwenci szkół wyższych, w tym specjaliści z zakresu inżynierii elektrycznej, powinni posiadać również wiedzę w zakresie prawa, posługiwać się językami obcymi oraz być przygotowani do rozwiązywania – poza technicznymi – zagadnień finansowo-prawnych i organizacyjnych.

Podobny charakter ma zapotrzebowanie przez firmy kolejowe i produkcyjne na absolwentów o specjalności automatyka kolejowa (sterowanie ruchem kolejowym) – z jednej strony ze względu na lukę pokoleniową, a z drugiej strony wejście Polski do struktur unijnych wymuszana będzie konieczność zatrudnienia w najbliższym czasie nowych generacji inżynierów, a raczej magistrów inżynierów tej branży, zdolnych podjąć wyzwania nowoczesnej interoperacyjnej europejskiej kolei XXI wieku, w szczególności produkcji i wdrażaniu nowoczesnych systemów sterowania, takich jak ERTMS i GSM-R.

Reforma szkolnictwa podstawowego i średniego spowodowała zanik zawodowego szkolnictwa średniego. Wywołało to m.in. zwiększone zapotrzebowanie na inżynierów. Ze względu na zmianę systemu studiów wyższych na tzw. Proces Boloński (I stopień inżynierski, II – magisterski i III – doktorski) kształceni są studenci w systemie dwustopniowym. Wskutek

niedostatecznego nauczania matematyki i dość powszechnych studiów inżynierskich panuje opinia o spadku jakości kształcenia. Dwustopniowe studia zawodowe – jak dotychczas – charakteryzują się obniżeniem poziomu prac magisterskich względem studiów jednolitych magisterskich. Zmiana systemu szkolnictwa wyższego, oraz pogoń za obniżeniem kosztów kształcenia, spowodowały likwidację kierunków dyplomowania. Nie ma kształcenia związanego z trakcją elektryczną a jedynie z ogólnymi specjalnościami. W zakresie studiów doktorskich panuje zastój powodowany zbyt niskim stypendium doktoranckim i brakiem ofert pracy w środowisku poza uczelnianym. Działania MNiSW w zakresie stypendiów projakościowych i projektów konkursowych częściowo poprawiają warunki kształcenia III stopnia.

Program nauczania studentów na kierunku Elektrotechnika specjalności trakcja elektryczna, jak i specjalnościach pokrewnych, np. elektroenergetyka czy napęd elektryczny, powinien w szczególności obejmować zagadnienia specjalistyczne. Magister inżynier elektryk – pracujący na potrzeby przedsiębiorstwa transportu zelektryfikowanego – specjalista trakcji elektrycznej, staje się coraz częściej nie tylko specjalistą technicznym o szerokich horyzontach, ale również managerem, organizatorem, negocjatorem, handlowcem. Potrzeby dotyczące zatrudniania takich osób na terenie całej Polski ocenia się na kilkadziesiąt osób rocznie. Niestety, w związku z wprowadzeniem 2-stopniowych studiów (inż. i mgr) wymiar przedmiotów został znacznie zmniejszony, a kształcenie specjalistyczne ograniczone na rzecz kształcenia ogólnego. Związane jest to także z małym zainteresowaniem studentów wyborem specjalności, uznawanej za trudną i nieatrakcyjną, co jest związane z postrzeganiem kolei poprzez pryzmat zaniedbań ostatnich kilkadziesiąt lat.

Kierunek *Transport* występuje w 15 uczelniach technicznych kształcąc zaledwie w kilku uczelniach w zakresie specjalności związanych z *automatyką kolejową*.

W zakresie *trakcji elektrycznej* i *automatyki/sterowania ruchem kolejowym* zauważa się, że:

- w wielu uczelniach nie przewiduje się kształcenia na I stopniu w zakresie specjalności czy nawet węższym zakresie kierunków dyplomowania. Kształcenie specjalistyczne występuje w ograniczonym zakresie, zazwyczaj tylko na sem. VI i VII i to tylko w ramach części przedmiotów obieralnych;
- ograniczenia finansowe uczelni utrudniają wprowadzenie studiów w zakresie specjalności o małej liczebności studentów;
- występuje trend do ograniczenia studiów specjalizacyjnych na rzecz studiów ogólnych. Podział na studia I-szego i II-giego stopnia ten trend podkreśla. Studia I-szego stopnia ‘inżynierskie’ powinny mieć większy udział przedmiotów inżynierskich, takich jak ‘trakcja elektryczna’! Na II-stopniu z kolei ponownie pojawiają się przedmioty ogólne i brak jest miejsca na zaawansowane kształcenie w specjalności. Wymusza to konieczność przerzucania kształcenia specjalnościowego na studia podyplomowe;

- zamawianie kształcenia specjalistycznego na I-szym lub II-gim stopniu studiów stacjonarnych lub niestacjonarnych przez Ministerstwa Infrastruktury lub PKP pozwoliłoby na zwiększenie dopływu kadry w tej specjalności;
- studia I-szego stopnia stanowią aktualnie, wobec braku techników, jedyną szansę na wykształcenie kadry technicznej w zakresie trakcji elektrycznej.

3.2.3. Kierunki poprawy sytuacji dotyczącej kształcenia kadr

W celu poprawy sytuacji dotyczącej kształcenia kadr należy:

- a. rozwijać istniejące (trakcja elektryczna, inżynieria elektryczna transportu szynowego) i nowe specjalności (np. infrastruktura transportu szynowego, transport szynowy) na studiach stacjonarnych i niestacjonarnych na uczelniach państwowych. Wymaga to kadry i bazy laboratoryjnej. Nie dadzą sobie z tym rady uczelnie prywatne, które nastawione są na minimalizację nakładów i duży zysk, a zatem prowadzenie co najwyżej laboratoriów komputerowych. A nie da się nauczyć „komputerowo” zagadnień dotyczących sterowania, układów pomiarowych i napędowych, automatyki i zabezpieczenia ruchu kolejowego, elektrotechniki transportowej, elektroenergetyki trakcyjnej;
- b. dążyć do włączenia specjalności transportowych do grupy kierunków zamawianych przez MNiSW lub PKP, co – na podstawie doświadczeń na innych kierunkach zamawianych – pozwoli na zwiększenie zainteresowania tymi specjalnościami;
- c. wyposażać jednostki prowadzące specjalności kolejowe w aparaturę ze środków firm kolejowych/resortu infrastruktury/UE tak, aby studenci kształceni byli z wykorzystaniem najnowszego sprzętu i technologii;
- d. oferować stypendia (staże, konkursy) na prace dyplomowe dla studentów. Znacząco podnieść wynagrodzenia, tak aby zatrudnienie absolwentów w firmach kolejowych było konkurencyjne. Dobrym przykładem jest prowadzony od lat konkurs MI na najlepszą pracę dr, mgr i inż. z zakresu transportu i ogłoszenie (tylko 2 razy) przez PKP PLK S.A. konkursu na pracę dyplomową dotyczącą kolei dużych prędkości;
- e. rozwijać kształcenie podyplomowe w postaci kursów i studiów podyplomowych. Np. studia podyplomowe w zakresie *elektroenergetyki transportu szynowego* prowadzone są cyklicznie m. in. na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej. Studia obejmują 180 godzin wykładów, ćwiczeń projektowych, laboratoriów i seminariów oraz pracę końcową;
- f. zmienić przepisy dotyczące uprawnień projektowych – wydzielając specjalności projektowe dla elektroenergetyki kolejowej i automatyki ze specjalności projektowych elektroenergetycznych. Obecnie „podpisywać się” pod projektami sieci i podstacji trakcyjnych mogą elektroenergetycy, którzy nigdy nie mieli z tym do czynienia, o ile mają uprawnienia np. dla sieci elektroenergetyki zawodowej

o odpowiednim napięciu. Podobnie dotyczy to automatyki. A przecież specyfika kolejowa jest zupełnie różna od elektroenergetyki zawodowej czy przemysłowej!

- g. precyzować wymagania dotyczące personelu wykonawczego prac w zakresie transportu (uprawnienia, doświadczenia) zgodnie z wymaganiami. Nie są potrzebne np. na etapie koncepcji czy projektu wstępne uprawnienia projektowe, a umiejętności przeprowadzenia analiz i obliczeń z zastosowaniem odpowiednich narzędzi (np. programy symulacyjne) i doświadczenie w wykonywaniu takich prac w systemie zasilania 3 kV DC czy automatyki stosowanych w Polsce i Europie (przy modernizacji linii) oraz znajomość polskich i międzynarodowych przepisów.

Podsumowując – do najważniejszych uwag należy zaliczyć podkreślone powyżej stwierdzenie (uwaga - b). Zauważa się niezbyt duże zainteresowanie studiami „kolejowymi” zarówno na kierunkach elektrotechnika jak i budownictwo. Wzrasta zainteresowanie kierunkiem budownictwo w zakresie budowy dróg oraz kierunkiem transport (w zakresie ogólnym, a nie kolejowym).

3.2.4. Perspektywa krótkoterminowa

Od lat 90-tych prowadzone są na rzecz PKP prace studialne i projektowe w zakresie modernizacji istniejących linii kolejowych w systemie 3 kV DC, a w ostatnich latach przygotowanie do wdrożenia nowego systemu 25 kV, 50 Hz dla kolei dużych prędkości (KDP). Jest to o tyle utrudnione, że potencjał firm projektowych pracujących na rzecz kolei uległ załamaniu w latach 90-tych (na skutek spadku zamówień) i jego odbudowywanie, które zaczęło się w ostatnich latach nie będzie łatwe. Zwłaszcza, że występuje luka pokoleniowa i doświadczeni pracownicy odchodzą na emerytury. Dlatego tak niezbędne są działania w zakresie zwiększenia kształcenia kadr specjalistycznych, szczególnie w związku z przygotowaniem do budowy kolei dużych prędkości.

Studia wykonalności i projekty realizowane są w dużym stopniu z udziałem firm zagranicznych, które zwykle nie mają doświadczenia w rozwiązaniach technicznych stosowanych w Polsce, a jeśli do projektu przysyłają specjalistów, to młodych bez doświadczenia lub na kierownicze, nie-projektowe stanowiska. Wymagania (głównie finansowe), dotyczące przystąpienia do przetargów preferują duże firmy, co powoduje, że przetargi wygrywają przedsiębiorstwa zagraniczne, które często zlecają podwykonania prac firmom polskim po znacznie niższych kosztach. Dobrze, jeśli to są firmy mające za partnera polskie biura projektowe, gdzie jeszcze działa kadra mająca wiedzę i doświadczenie w warunkach polskich. Niestety, w wielu przypadkach firmy zagraniczne traktują jako priorytet jedynie wygranie przetargu a podwykonawcom lub zatrudnianym, często na umowę o dzieło emerytom, oferują nieporównywalne z wartością kontraktu, minimalne warunki finansowe.

W efekcie podstawowy koszt i nakład pracy skupiony jest nie na jakości pracy projektowo-studialnej, a na pracach marketingowych i organizacyjno-biurowych nastawionych na

uzyskanie „przyjęcia studium”, którego standard bardzo często odbiega od wymagań opisanych w specyfikacji istotnych warunków zamówienia (SIWZ).

Nie bez winy jest też zleceniodawca, który wobec dużej liczby prowadzonych projektów, braku wykwalifikowanej kadry, krótkich terminów i konieczności posiadania dokumentacji, tak aby złożyć dokumenty o dofinansowanie inwestycji z UE, godzi się często z dyktatem wykonawcy. Stąd niekiedy stosowanie przestarzałych metod projektowych, niekompletność dokumentacji (np. projekty „nie nadające się do celów projektowych”), opóźnienia i długie terminy realizacji prac, a następnie trudności z realizacją inwestycji i kosztowna konieczność „aktualizacji projektów”.

Takie rozregulowanie rynku usług projektowych jest niekorzystne zarówno dla zamawiającego, jak i dla polskich biur projektowych poważnie traktujących swoje prace, a umożliwia wygrywanie przetargów przez firmy nastawione jedynie na „zdobycie kontraktu”, bez zatrudniania stałej kadry projektowej.

Wydaje się, że niezbędne jest tu podjęcia pewnych działań regulujących funkcjonowanie prac projektowych w zakresie usług na rzecz kolei. Dotyczy to w szczególności:

- dołączenia do listy specjalności – zamawianych na uczelniach wyższych przez ministerstwo infrastruktury – kierunków kolejowych (trakcja elektryczna, automatyka i sterowanie ruchem kolejowym, drogi kolejowe itp.) oraz rozwinięcie w tych specjalnościach kształcenia podyplomowego;
- wprowadzenia zmian w przepisach dotyczących uprawnień projektowych i wydzielenie specjalności projektowej dla elektroenergetyki kolejowej i automatyki ze specjalności projektowych elektroenergetycznych;
- precyzowania wymagań dotyczących personelu wykonawczego (uprawnienia, doświadczenia) zgodnie z wymaganiami dla danego etapu prac projektowych. Nie są potrzebne np. na etapie koncepcji czy projektu wstępnego uprawnienia projektowe, a ważne przede wszystkim umiejętności przeprowadzenia analiz i obliczeń z zastosowaniem odpowiednich narzędzi (np. programów symulacyjnych) i doświadczenie w wykonywaniu takich prac w danym systemie zasilania (np. 3 kV DC czy automatyki) stosowanych w Polsce i Europie (przy modernizacji linii) oraz znajomość polskich i międzynarodowych przepisów;
- dopuszczania na dowolne kompletowanie zespołu po wygraniu przetargu, a nie przed przystąpieniem do niego. W efekcie firmy najpierw wygrywają przetarg, a potem szukają taniego pracownika (a więc niedoświadczonego lub emerytowanego), który skupia swoje wysiłki nie na realizacji projektu według najnowszej wiedzy projektowej (której niekiedy nie posiada), a jedynie na uzyskaniu odbioru opracowanej dokumentacji projektowej (często miernej jakości). Odbierający też nierzadko stawiani są „pod ścianą” przez przełożonych i terminy! Efekt: zamawiający dostaje dokumentację z opóźnieniem, jest ona mało przydatna,

nie można uzyskać np. uzgodnień z instytucjami zewnętrznymi, a ponadto trzeba ją wielokrotnie „aktualizować” i poprawiać;

- propozycji ogłaszania np. corocznie „krótkiej listy” wiarygodnych wykonawców tak, aby nierzetelne firmy, często stosujące dumpingowe ceny i przedłużające w nieskończoność terminy, eliminować z rynku.

W celu poprawy „wizerunku” zelektryfikowanego transportu należy dążyć do:

- poprawy efektywności i jakości zarządzania, co wymaga zwiększenia nakładów na kolej. Wymagana jest szybka modernizacja linii kolejowych i zakup nowoczesnego taboru. Celem powinno być zwiększenie ilościowe i jakościowe przewozów pasażerskich i towarowych (p. Polityka Transportowa Państwa 2006 – 2025. Ministerstwo Infrastruktury. Warszawa, 2005);
- realizacji budowy kolei dużych prędkości. Projekt ten zwiększy mobilność polskiego społeczeństwa i przyczyni się do rozwoju gospodarczego. KDP zapewni nową jakość w krajowych przewozach pasażerskich. Ważne, aby nie odbywało się to kosztem modernizacji linii konwencjonalnych. KDP powinna być wydzieloną instytucją z grupy PKP.

3.2.5. Trakcja elektryczna i automatyka kolejowa w uczelniach technicznych i instytutach naukowych

3.2.5.1. Trakcja elektryczna

Nauką i dydaktyką w zakresie trakcji elektrycznej zajmują się w Polsce zarówno specjalizowane jednostki uczelni jak i poszczególni naukowcy, w szczególności:

- Zakład Trakcji Elektrycznej Instytutu Maszyn Elektrycznych, a także inne zakłady Wydziału Elektrycznego Politechniki Warszawskiej oraz Wydziału Transportu (Zakład Systemów Informatycznych i Trakcyjnych w Transporcie) i Wydziału Samochodów i Maszyn Roboczych (Zakład Pojazdów Szynowych).
- Katedra Trakcji Elektrycznej Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej,
- Katedra Trakcji Elektrycznej i Sterowania Ruchem. Wydziału Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej w Politechnice Krakowskiej.
- Zakład Maszyn Elektrycznych i Inżynierii Elektrycznej w Transporcie Wydziału Elektrycznego Politechniki Śląskiej,
- Zakład Transportu i Przetwarzania Energii w Politechnice Łódzkiej, a kształcenie w zakresie trakcji elektrycznej prowadzone jest na kierunku transport. Prace związane z aparaturą trakcyjną wykonywane były w Instytucie Aparatów Elektrycznych.
- W Politechnice Radomskiej specjalność jest prowadzona w ramach Wydziału Transportu i Elektrotechniki pod nazwą elektroenergetyka trakcyjna.

Zagadnieniami związanymi z trakcją elektryczną zajmują się też naukowcy z innych ośrodków takich jak: Akademia Górniczo-Hutnicza oraz Politechniki- Poznańska, Wrocławska, Rzeszowska, Szczecińska.

W rozpowszechnianiu wiedzy umożliwiającym kształceniu wysokiej klasy specjalistów dużą rolę odgrywają wzajemne kontakty i publikacje wyników badań. Politechnika Krakowska od lat 70. organizuje w latach parzystych krajową konferencję SEMTRAK, poświęconą trakcji elektrycznej. Zakład Trakcji Elektrycznej PW od początku lat 80, w latach nieparzystych, organizował krajowe konferencje naukowe, które od 1993 roku przekształciły się w konferencję międzynarodową "Nowoczesna trakcja elektryczna - Modern Electric Traction" - MET. Konferencje te, pod patronatem Sekcji Trakcji Elektrycznej Komitetu Elektrotechniki PAN stanowią ważne forum wymiany doświadczeń i dyskusji specjalistów trakcji elektrycznej z całego świata, a informacje o MET podawane są w czasopismach i na zagranicznych stronach internetowych, zaś publikowane materiały rozprawdane także do bibliotek zagranicznych. Politechnika Gdańska zorganizowała konferencję MET2001 i MET2009 oraz poświęcone transportowi miejskiemu konferencje TRAM96 i CESURA2003, a Instytut Pojazdów Szynowych TABOR i Politechnika Poznańska w 2011 r.

W latach 2003-2005 Zakład Trakcji Elektrycznej wraz z Zakładem Maszyn Elektrycznych w Instytucie Maszyn Elektrycznych PW utworzył Centrum Doskonałości EESEMC, współfinansowane z 5. Programu Ramowego Unii Europejskiej. W ramach tego projektu, w którym transport elektryczny był jednym z wiodących tematów, odbyły się 2 cykle studiów podyplomowych z zakresu nowoczesnej trakcji elektrycznej dla 40 osób oraz 9 kursów specjalistycznych dla około 450 osób. W latach 2008-2013 w trzech kolejnych cyklach kursów podyplomowych (*Nowoczesny ekologiczny i energooszczędny transport zelektryfikowany*), współfinansowanych z programu Kapitał Ludzki, wzięło udział 79 osób.

Podobne studia podyplomowe organizowane są w innych ośrodkach zajmujących się trakcją elektryczną (m. in. Politechnika Krakowska, Politechnika Gdańska).

Prace naukowe, badania i wdrożenia z zakresu szeroko pojętej trakcji elektrycznej prowadzone są w jednostkach badawczo-rozwojowych.

W Instytucie Elektrotechniki funkcjonuje Zakład Trakcji Elektrycznej, a prace dot. przekształtników i napędów trakcyjnych prowadzone są także w innych zakładach,

Centrum Naukowo - Techniczne Kolejnictwa (po przekształceniu od 2010 r. w Instytut Kolejnictwa), instytucja wiodąca w zakresie prac badawczo-wdrożeniowych, obecnie jednostka notyfikowana, w 1999 r. została wyłączona ze struktur PKP. Prace z zakresu trakcji elektrycznej wykonywane przede wszystkim przez Zakład Pojazdów Szynowych i Zakład Elektroenergetyki.

Poznański Instytut Pojazdów Szynowych – Tabor ma istotne osiągnięcia w zakresie wdrożeń rozwiązań z zakresu szeroko pojętej elektrotechniki taborowej.

Naukowców i przedstawicieli przemysłu z zakresu trakcji elektrycznej skupia istniejąca od kilkudziesięciu lat Sekcja Trakcji Elektrycznej Komitetu Elektrotechniki Polskiej Akademii

Nauk, która w kadencji 2007-2010 liczyła 25 członków. Od kadencji 2011-2014 po zmianie regulaminu członkami Sekcji Trakcji Elektrycznej KE mogą być tylko członkowie KE (10 osób). W 2013 r. pojawiła się możliwość przywrócenia szerszej formuły działalności STE poprzez udział w pracach Sekcji członków stowarzyszonych (15 osób).

Bogate doświadczenia i wiedza naukowców z zakresu trakcji elektrycznej są przekazywane studentom studiów stacjonarnych i niestacjonarnych, a także studiów podyplomowych i kursów. Pracownicy przemysłu elektrotrakcyjnego i eksploatacji podnoszą swoje kwalifikacje zdobywając kolejne stopnie naukowe, doktoraty pracowników kolei nie należą do rzadkości. Po 1990 r. w uczelniach polskich uzyskano 6 habilitacji z zakresu trakcji elektrycznej (1 na PG, 3 na PW, 1 na PŚI, 1 w PP).

Kadry specjalistów trakcji elektrycznej też są ograniczone, co powoduje konieczność wykorzystywania do kształcenia i pełnienia funkcji kierowniczych, specjalistów specjalności pokrewnych, tj. maszyny, napęd elektryczny, energoelektronika czy elektroenergetyka. W niektórych uczelniach, szczególnie słabszych kadrowo, występują, formalnie możliwe, awanse z wykorzystaniem ścieżek uzyskiwania stopni czy tytułów poprzez uczelnie zagraniczne.

3.2.5.2. Automatyka kolejowa

Kierunek Transport występuje w 15 uczelniach technicznych. Na Politechnice Warszawskiej istnieją w programie studiów specjalności sterowanie ruchem i telematyka, w Politechnice Radomskiej - sterowanie ruchem i automatyka. Politechnika Krakowska prowadzi specjalność systemy i urządzenia transportowe, a Politechnika Śląska prowadzi specjalność inżynieria ruchu, zaś Politechnika Łódzka – transport szynowy. Politechnika Gdańska utworzyła studia I (w 2006 r.) i II stopnia (w 2011 r.) o kilku specjalnościach transportowych. W praktyce dydaktyka z automatyki kolejowej ogranicza się do kilku uczelni. W dziedzinie nauk technicznych z zakresu transportu - automatyki kolejowej pracuje 7 profesorów/doktorów habilitowanych.

3.3. Problemy kształcenia kadr inżynierskich dla Energoelektroniki i napędu elektrycznego w Polsce

Automatyka napędu elektrycznego i energoelektronika rozwijała się w Polsce bardzo dynamicznie w latach 70. i 80. minionego stulecia. Efektem tego były m.in. systemy napędowe dla górniczych maszyn wyciągowych i dla walcarek w hutnictwie „Jantar” opracowane w AGH, systemy ISUE i TUN opracowane w Politechnice warszawskiej i Instytucie Elektrotechniki w Międzyzlesiu. W latach tych wykonano wiele prac badawczych, które były wdrożone takich jak napędy dla tramwaju, kompensatory mocy biernej, napędy lokomotyw górniczych, napędy pomp i wentylatorów, wiele specjalizowanych napędów dla przemysłu. Do tej pory wiele z wtedy opracowanych i wyprodukowanych urządzeń jest z powodzeniem eksploatowanych. Prace te odpowiadały na ówczesne potrzeby gospodarki.

Potrzeby te powodowały, że rozwinął się wtedy krajowy przemysł produkujący urządzenia energoelektroniczne. Do tej pory z powodzeniem eksploatowane są urządzenia energoelektroniczne wyprodukowane przez Eltę w Łodzi, Apator w Toruniu, Elektromontaż nr 2 w Krakowie Nowej Hucie i innych. Po zmianach ustrojowych – w latach 90. ubiegłego wieku, w wyniku których nastąpiły zmiany właścicielskie przy jednocześnie następującej w tym czasie rewolucyjnej wręcz zmianie technologicznej (tranzystor IGBT i MOSFET) nastąpiło załamanie krajowego przemysłu energoelektronicznego i rozpoczął się czas importu urządzeń. Spowodowało to upadek biur projektów i zanik badań prowadzących do wdrożeń prowadzonych w ośrodkach akademickich. Jednocześnie brak istotnego finansowania z przemysłu spowodował, że zaplecze badawcze przestało nadążać za tendencjami światowymi. Dopiero w ostatnim dziesięcioleciu zaczęły powstawać nowe podmioty gospodarcze nastawione nie tylko na import urządzeń lub ich montaż, ale również na prowadzenie badań w Polsce. Należy tu podkreślić udział NCBiR w kreowaniu zachęt dla podmiotów gospodarczych do współfinansowania prac badawczo-rozwojowych w ramach tworzonych konsorcjów zrzeszających jednostki badawcze i przemysłowe.

Zmiany sposobu finansowania nauki (bardzo niski poziom płac, szczególnie młodych pracowników, w odniesieniu do płac pracowników niskowyzkwalifikowanych w gospodarce), a przede wszystkim sposób oceny pracowników naukowo badawczych „za publikacyjny urobek punktowy” nie zachęca do prowadzenia trudnych i w realny sposób weryfikowanych badań stosowanych i wdrożeniowych. Stan ten nie powoduje ssania talentów (słabo wykształconych z powodu zapaści szkolnictwa średniego) do pracy naukowej.

Jednym z istotnych obszarów wykształcenia inżynierów elektryków są: energoelektronika, automatyka napędu, informatyka stosowana dla sterowania i regulacji. Absolwenci specjalności związanych z energoelektroniką i automatyką napędu powinni poza wiedzą teoretyczną przejść dobre szkolenie laboratoryjne, wykonać projekt i zrealizować na jego podstawie działający model urządzenia lub układu. Takie kształcenie wymagałoby zmiany struktury studiów nastawionej na indywidualizm na rzecz kształcenia pracy zespołowej, większej samodzielności uczelni (niekoniecznie systemy punktowe rozliczane w cyklach rocznych itp.) oraz przeznaczenia pewnych środków na materiały, podzespoły i usługi. Kształcenie powinno przekazywać duży zasób wiedzy podstawowej umożliwiającej absolwentowi permanentne kształcenie się w miarę nieprzewidywalnego rozwoju techniki.

Likwidacja średniego szkolnictwa zawodowego (techników) spowodowała z jednej strony znacznie zwiększone zapotrzebowanie na inżynierów. Powszechność wykształcenia ciesząca zapewne decydujących, nie idzie w parze z jego poziomem. Studia dwustopniowe w dyscyplinie elektrotechniki nie sprzyjają dobremu wykształceniu absolwentów. Jest to wynikiem sztucznego podziału treści na dwa stopnie, brak czasu na pierwszym stopniu na zajęcia realizujące wykształcenie średnie z zakresu fizyki i matematyki zupełnie zaniedbane w szkole średniej oraz pogoń za oszczędnościami (zmniejszanie liczby godzin, zwiększanie liczebności grup laboratoryjnych). Zaczyna pojawiać się opinia, że absolwenci powinni

osiągać przynajmniej poziom jaki w przeszłości był udziałem absolwentów techników. To już jest świadectwem upadku. Za obecny stan rzeczy, w dużym stopniu odpowiada zapaść szkoły średniej w zakresie nauczania i egzekwowania matematyki i fizyki. Skutki działania szkoły średniej są doświadczane w trakcie studiów i nie jest przekazywany zwrotnie jednorazowy sygnał o rezultatach jej pracy. Może warto przywrócić egzaminy wstępne badające kompetencje kandydata?

Nadzieja na to, że w miejsca, w których powinni pracować dobrze wykwalifikowani inżynierowie zatrudni się absolwentów studiów doktoranckich (III stopnia wykształcenia wyższego) też jest nierealna. Bardzo niskie stypendium doktoranckie nie zachęca młodych zdolnych do kolejnych lat zawieszenia życiowego. Absolwenci studiów doktoranckich są kształceni w celu rozwiązania pewnego wąskiego i problemu naukowego co nie zawsze odpowiada pracy inżyniera w zakładzie przemysłowym, natomiast może być przydatne przy zatrudnieniu w ośrodku badawczo-rozwojowym. Tych jednak jest jak na razie w kraju niewiele.

Wykształcenie magistra inżyniera elektryka powinno składać się z dobrego przygotowania ogólnego (fizyka, matematyka, teoria obwodów, teoria sterowania, elementy informatyki), specjalistycznego (np. automatyka napędu, energoelektronika, elementy elektroenergetyki) oraz z zakresu zarządzania, socjologii pracy, gdyż w wielu przypadkach musi on być nie tylko specjalistą w swojej dziedzinie technicznej, ale również managerem, organizatorem, negocjatorem, handlowcem. Pewne nadzieje na poprawę sytuacji stwarzają studia dualne, które są tworzone na wybranych uczelniach technicznych.

Prowadzone w wielu ośrodkach studia podyplomowe umożliwiają słuchaczom zapoznawanie się z aktualnymi zagadnieniami i nowościami naukowo technicznymi, a jednocześnie stanowią platformę wzajemnych kontaktów pomiędzy kadrą inżynierską różnych zakładów.

Specjalności związane z energoelektroniką i automatyką napędu występują w 15 polskich uczelniach technicznych. Aktualnie we wszystkich uczelniach polskich zatrudnionych jest profesorów tytularnych oraz doktorów habilitowanych z zajmujących się energoelektroniką i automatyką napędu.

Jedną z pożądanych form kształcenia są studia podyplomowe częściowo kompensujące braki wykształcenia i udostępniające słuchaczom szczegółowe treści istotne dla ich specjalizacji zawodowej.

3.4. Edukacja w zakresie Elektrotechniki

Ważnym aspektem jest wypracowanie i wdrożenie konkretnych planów dotyczących edukacji w zakresie elektrotechniki. Widoczna luka generacyjna na polskich uczelniach sprawia, iż wiele zagadnień związanych z Elektrotechniką po prostu znikło z programów nauczania, nie ma bowiem kompetentnej kadry (naturalnej kontynuacji) – ciągle bardzo duże zagrożenie dla egzystencji wielu kierunków. Jest to trudny temat, ale należy go zaadresować,

gdyż każdy rok powoduje tylko jeszcze większą zapaść. Konsekwencją tego stanu jest zamykanie na krajowych uczelniach Laboratoriów dydaktyczno-badawczych. Tego typu nieodwracalne posunięcia mają dramatyczne skutki w postaci zaniku badań eksperymentalnych, tworzenia nowych innowacyjnych koncepcji, braku publikacji na odpowiednim poziomie etc. Stąd priorytetowym krokiem wydaje się stworzenie planu utrzymania i reaktywacji laboratoriów „elektrotechnicznych” na polskich uczelniach, bez których prowadzenie prawdziwych badań naukowych jest niemożliwe.

Ważne jest stworzenie dobrego klimatu i uregulowań prawnych dla współpracy przemysłu i uczelni. Dobrym posunięciem w tym kierunku mogłoby być stworzenie fundowanych przez przemysł pozycji naukowych na uczelniach, tak jak to ma miejsce od wielu lat w krajach Europy zachodniej. Zatrudnienie, np. w wymiarze 20% takiej osoby, pracującej w przemyśle lub przemysłowej instytucji badawczej, spowoduje naturalne sprzężenie zwrotne, możliwość realizacji tematów aplikacyjnych, a z drugiej strony prowadzenie wykładów z praktycznymi przykładami, czy wręcz naturalna możliwość zatrudnienia dla przyszłych absolwentów w przemyśle.

Przemysł potrzebuje absolwentów studiów inżynierskich, którzy nie tylko posiadają wystarczającą wiedzę techniczną, niezbędną do rozwiązywania zadań w praktyce zawodowej, ale mają także odpowiedni zasób wiedzy teoretycznej aby sprostać nowym wyzwaniom. Podkreślenia wymaga konieczność utrzymania na odpowiednim poziomie i rozbudowy laboratoriów dydaktycznych dla prowadzenia zajęć praktycznych oraz zapewnienia możliwości udziału studentów w badaniach eksperymentalnych. Laboratoria wysokich napięć są obiektami w których takie warunki można stworzyć.

Utrzymanie i rozbudowa laboratoriów badawczych i dydaktycznych na wyższych uczelniach powinny być objęte programem szczególnej troski przez Komitet Elektrotechniki PAN, a w odniesieniu do zagadnień wysokonapięciowych - przez Sekcję Wielkich Mocy i Wysokich Napięć.

Poważnym problemem dla utrzymania potencjału dydaktycznego wyższych uczelni technicznych kształcących na kierunku Elektrotechnika będzie niewątpliwie nadchodzący w najbliższych latach niż demograficzny. Środkiem zaradczym może być zmiana sposobu kształcenia i powrót do prowadzenia zajęć dydaktycznych w mniejszych grupach problemowych, nastawionych na intensywną pracę i oraz rozwój nowych specjalizacji. Na pewno konieczne jest w tym obszarze nakreślenie pewnej dalekosiężnej perspektywy, z uwzględnieniem realnych prognoz ludnościowych oraz przyszłych potrzeb gospodarki.