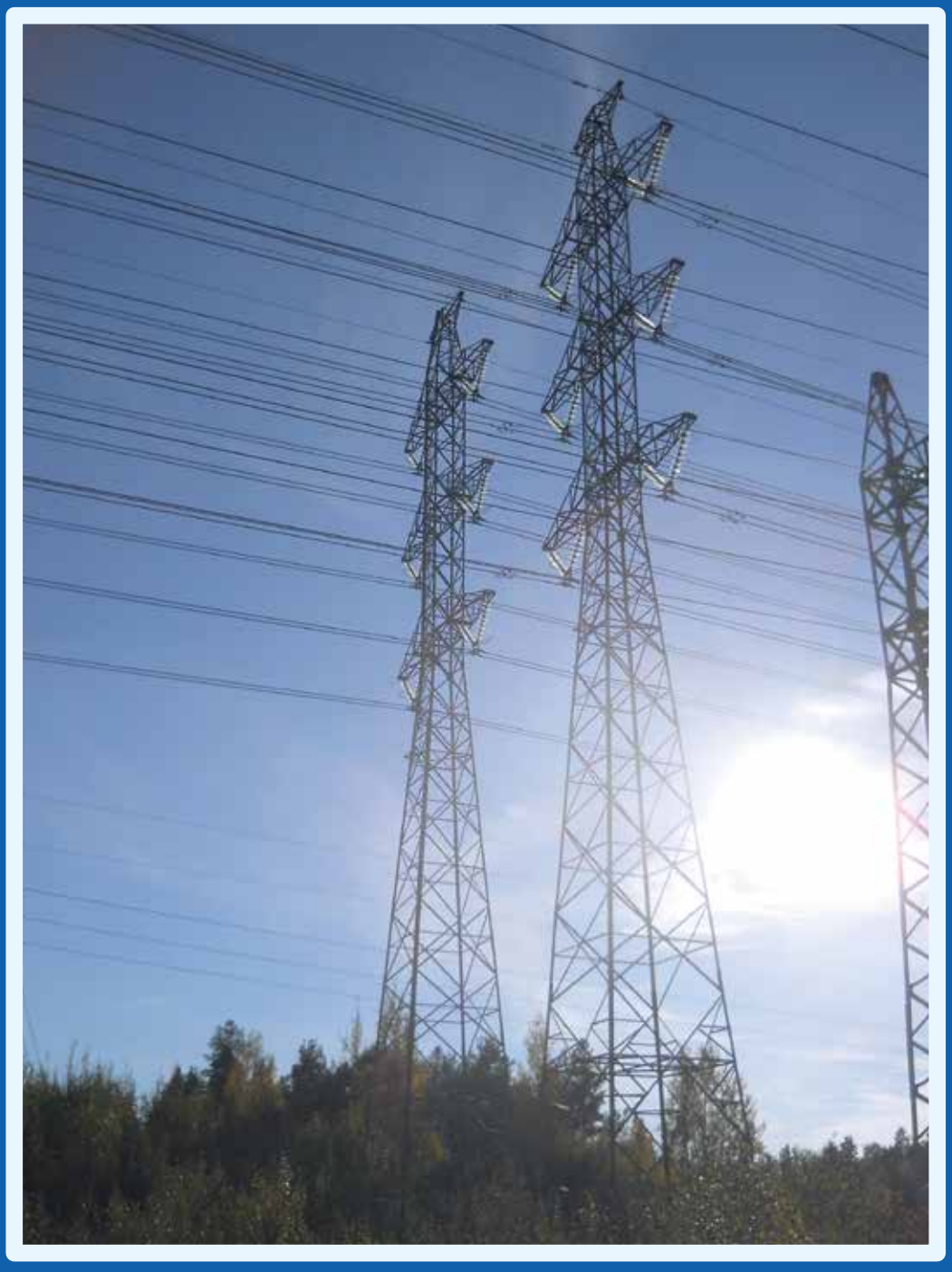
# BIULETYN
## TECHNICZNO-INFORMACYJNY
### Oddziału Łódzkiego Stowarzyszenia Elektryków Polskich

Nr 1/2020 (88) ISSN 2082-7377 Marzec 2020



# STOWARZYSZENIE ELEKTRYKÓW POLSKICH

**Oddział Łódzki**
90-007 Łódź, pl. Komuny Paryskiej 5a
Dom Technika, IV p., pok. 409 i 404
tel./fax 42 630 94 74, 42 632 90 39
e-mail: sep@seplodz.pl
www.seplodz.pl

- Egzaminy kwalifikacyjne dla osób na stanowiskach EKSPLOATACJI i DOZORU w zakresach: elektroenergetycznym, cieplnym i gazowym
- Kursy przygotowujące do egzaminów kwalifikacyjnych (wszystkie grupy)
- Kursy pomiarowe (zajęcia teoretyczne i praktyczne)
- NOWOŚĆ! Kurs dla instalatorów systemów fotowoltaicznych uprawniający do ubiegania się o TYTUŁ CERTYFIKOWANEGO INSTALATORA SYSTEMÓW FOTOWOLTAICZNYCH
- Kursy specjalistyczne na zlecenie firm
- **Konsultacje jednodniowe przygotowujące do egzaminu kwalifikacyjnego**
- **Ekspresowe kursy pomiarowe w zakresie skuteczności ochrony przeciwporażeniowej do 1 kV dla STUDENTÓW i ABSOLWENTÓW WEEIA PŁ**
- Szkolenia BHP dla wszystkich stanowisk
- Pomiary i ocena skuteczności ochrony przeciwporażeniowej
- Prezentacje firm
- Reklamy w Biuletynie Techniczno-Informacyjnym OŁ SEP
- Rekomendacje dla wyrobów i usług branży elektrycznej
- Organizacja imprez naukowo-technicznych (konferencje, seminaria)

**Ceny szkoleń organizowanych przez OŁ SEP są zwolnione z podatku VAT**

## OŚRODEK RZECZOZNAWSTWA OŁ SEP

### oferuje bogaty zakres usług technicznych i ekonomicznych:

- Projekty techniczne i technologiczne
- Ekspertyzy i opinie
- Badania eksploatacyjne
- Badania techniczne urządzeń elektrycznych, elektronicznych i elektroenergetycznych
- Ocena zagrożeń i przyczyn wypadków powodowanych przez urządzenia elektryczne
- Ocena prototypów wyrobów, maszyn i urządzeń produkcyjnych
- Ocena usprawnień, pomysłów, projektów i wniosków racjonalizatorskich
- Opracowywanie projektów przepisów wewnętrznych bhp oraz instrukcji eksploatacji
- Wykonywanie wszelkich pomiarów w zakresie elektryki
- Prowadzenie nadzorów inwestorskich i autorskich
- Wykonywanie ekspertyz o charakterze prac naukowo-badawczych
- Odbiory jakościowe
- Wyceny maszyn, urządzeń oraz obiektów energetycznych
- Tłumaczenia dokumentacji technicznej i literatury fachowej
- Doradztwo i ekspertyzy ekonomiczne
- Audyty energetyczne
- Przygotowanie dokumentów dla przekształceń własnościowych

**OR SEP tel. 42 632 90 39, 42 630 94 74**

**Pozycja i ranga SEP jest gwarancją najwyższej jakości, niezawodności i wiarygodności**

**BIULETYN TECHNICZNO-INFORMACYJNY OŁ SEP**

Wydawca:

**Zarząd Oddziału Łódzkiego Stowarzyszenia Elektryków Polskich**

90-007 Łódź
pl. Komuny Paryskiej 5a,
tel./fax 42-632-90-39, 42-630-94-74
Konto:
Santander Bank Polska SA XV O/Łódź
nr 21 1500 1038 1210 3005 3357 0000

**e-mail: sep@seplodz.pl**
**www.seplodz.pl**

- **Nowoczesne bloki węglowe w krajowym systemie elektroenergetycznym** – J. Buchta, A. Oziemski
- **Wytrzymałość elektryczna celulozowego papieru izolacyjnego wzmocnionego aramidem – podejście statystyczne** – N. Dyttus, P. Rózga ..... 5
- **Zygmunt Piotr Witczak (1927–2020)** – P. Witczak ..... 9
- **Jerzy Szastałło (1951–2020)** – A. Boroń ..... 10
- **Złoty Inżynier 2019** – A. Boroń ..... 11
- **Kariera Ewy Korzeniewskiej** ..... 12
- **Spotkanie wigilijne Oddziału Łódzkiego SEP** – A. Grabiszewska ..... 13
- **80 lat minęło jak jeden dzień** – H. Małasiński ..... 16
- **Spotkanie Centralnego Kolegium Sekcji Trakcji Elektrycznej SEP** – J. Gałęski ..... 18
- **Rozstrzygnięcie Konkursu na najlepszą pracę dyplomową magisterską na Wydziale Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej** ..... 20
- **Przemysłowy system sterowania kotłów gazowych ze sterownikiem PLC** – J. Stańczyk ..... 20
- **Układ do wielopunktowego pomiaru siły w aplikacjach medycznych** – D. Wójcik ..... 21
- **Metody uczenia maszynowego w zastosowaniu do automatycznego wyznaczania arteryjnej funkcji wejścia na potrzeby ilościowej oceny perfuzji nerek** – M. Wasilewska ..... 21
- **Robotyczny system napędowy dla silników bezszczotkowych wraz z interfejsem użytkownika** – D. Wroński ..... 22
- **A high-power single-phase voltage inverter with precise current regulation *Projekt jednofazowego falownika napięciowego dużej mocy z precyzyjną regulacją prądu*** – F. Chudzik ..... 23
- **Falownik napięciowy z kompensacją czasów martwych** – M. Kaczorowski ..... 25
- **100 lat i 150 dni** – J. Kuczkowski ..... 27

Komitet Redakcyjny:
mgr inż. Andrzej Boroń
dr hab. inż. Andrzej Dębowski, prof. UTP
mgr Anna Grabiszewska – sekretarz
dr inż. Adam Ketner
inż. Katarzyna Kolanek
dr inż. Tomasz Kotlicki
mgr inż. Jacek Kuczkowski
prof. dr hab. inż. Franciszek Mosiński
dr hab. inż. Paweł Rózga, prof. PŁ – przewodniczący
dr inż. Artur Szczęsny
dr inż. Przemysław Tabaka
dr inż. Józef Wiśniewski
prof. dr hab. inż. Jerzy Zieliński

Redakcja nie ponosi odpowiedzialności za treść ogłoszeń. Zastrzegamy sobie prawo dokonywania zmian redakcyjnych w zgłoszonych do druku artykułach.

Redakcja:
Łódź, pl. Komuny Paryskiej 5a, pok. 404
tel. 42-632-90-39, 42-630-94-74

Skład: Alter
tel. 42-652-70-73, 605-725-073

Druk: Drukarnia BiK Marek Bernaciak
95-070 Antoniew, ul. Krucza 21
tel. 42-676-07-78

Nakład: 350 egz.

ISSN 2082-7377

W dniu 11 czerwca 2019 r. odbyła się uroczystość odsłonięcia tablicy pamiątkowej w EC1, upamiętniającej pierwszą siedzibę Oddziału Łódzkiego SEP.

CENTRUM NAUKI I TECHNIKI

ŁÓDŹ

# Nowoczesne bloki węglowe w krajowym systemie elektroenergetycznym

dr inż. Janusz Buchta, dr inż. Andrzej Oziemski
Politechnika Łódzka, Instytut Elektroenergetyki

W artykule przedstawiono podstawowe trendy rozwojowe współczesnych bloków parowych. Przedstawiono podstawowe metody wzrostu sprawności stosowane w wysokosprawnych blokach węglowych na nadkrytyczne parametry pary. Scharakteryzowano zmiany w stosowanych materiałach konstrukcyjnych kotłów i turbin, jak również innowacyjne rozwiązania stosowane w tych urządzeniach.

## 1. Wprowadzenie

W 2019 roku przekazane zostały do eksploatacji 2 nowe bloki o mocy 900 MW w Elektrowni Opole. W ten sposób powiększyła się do sześciu grupa bloków na parametry nadkrytyczne pracujących w krajowym systemie elektroenergetycznym. Pierwsza tego rodzaju jednostka została zbudowana w 2008 roku w Elektrowni Pątnów. W bieżącym roku zaplanowano uruchomienie kolejnych dwóch nowoczesnych bloków w Elektrowni Jaworzno 3 oraz w Elektrowni Turów. Nowe jednostki wytwórcze nie odbiegają parametrami od najnowocześniejszych rozwiązań światowych, zapewniają najwyższy poziom sprawności wytwarzania energii elektrycznej. Czym charakteryzują się nowe bloki elektrowni parowych? Na to pytanie autorzy starają się odpowiedzieć w niniejszym artykule.

Z początkiem ostatniej dekady XX wieku technologie węglowe wykorzystywane w produkcji energii elektrycznej weszły w nowy etap rozwoju charakteryzujący się przejściem na parametry nadkrytyczne: ciśnienie 25÷28,5 MPa, temperatura 550÷585°C. Nastąpił wzrost sprawności netto wytwarzania energii elektrycznej, najpierw do poziomu 42% (pierwsze instalacje z lat 1990–1991), a następnie do 47% w 1999 r. Rozwój inżynierii materiałowej, w tym opracowanie produkcji nowych gatunków stali, pozwala dziś na bezpieczne i niezawodne podniesienie parametrów pary świeżej do 30 MPa i 600÷620°C, temperatury wody zasilającej do 300°C i znaczne (o 7÷8 punktów procentowych) zwiększenie sprawności netto wytwarzania energii elektrycznej. Jest to istotne, ponieważ zwiększenie sprawności jest, jak dotychczas, podstawowym i najprostszym działaniem ograniczającym emisję $CO_2$. Wzrost sprawności to oszczędność zasobów paliwa i mniejsze obciążenia środowiska ciepłem opadowym oraz innymi substancjami emitowanymi przez elektrownie. Zastępowanie wyeksploatowanych bloków węglowych o sprawności wytwarzania netto 33÷35% nowymi blokami na parametry nadkrytyczne pozwala znacząco ograniczać emisję dwutlenku węgla.

Stosowane w tych blokach wysokosprawne instalacje: spalania, odpylania i odsiarczania pozwalają spełnić surowe wymagania odnośnie limitów emisji $SO_2$, $NO_x$ oraz pyłu. Bloki na parametry nadkrytyczne spełniają także surowe wymagania ENTSO-E (*European Network of Transmission System Operators for Electricity*) dotyczące elastyczności ruchowej.

W tabeli 1. przedstawiono dane dotyczące bloków na parametry nadkrytyczne eksploatowanych i budowanych w Polsce. Tabela zawiera informacje na temat parametrów technicznych jednostek wytwórczych, ale także czasu realizacji inwestycji i poniesionych nakładów. Na rys. 1. przedstawiono ścieżkę wzrostu sprawność wytwarzania energii elektrycznej w elektrowniach węglowych w Polsce i Niemczech oraz perspektywy jej zwiększenia w przypadku zrealizowania jednostki klasy AD700 na parę o temperaturze 700°C.

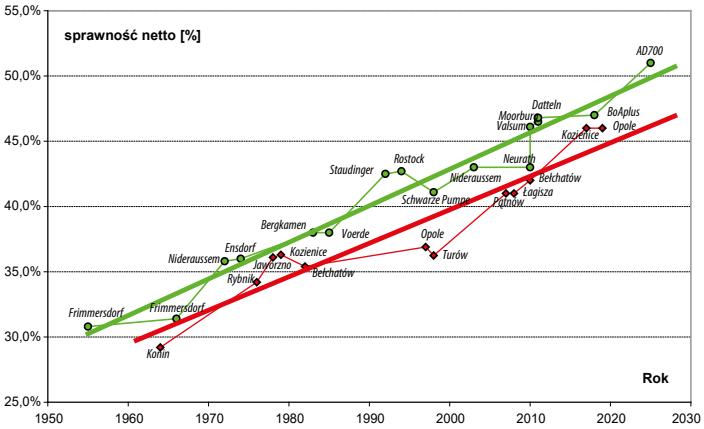
## 2. Wysokosprawne bloki węglowe

Aktualny poziom rozwoju technologii węglowej wyznaczają bloki nadkrytyczne nowej generacji o sprawności netto dochodzącej do 47% dla węgla kamiennego i do 43,5% dla węgla brunatnego. Stan ten został osiągnięty poprzez zastosowanie szeregu innowacji w tradycyjnym obiegu

**Tabela 1. Zestawienie danych dotyczących bloków na parametry nadkrytyczne w Polsce**

| Nazwa elektrowni | Rok uruch. | Moc bloku [MW] | Paliwo | Parametry czynnika | | $\eta_{br}/\eta_{net}$ [%] | Koszt budowy | Producent kotła/ turbozespołu | Czas budowy |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | $P_1/t_1/t_m$ [MPa/°C/°C] | $t_{wz}$ [°C] | | | | |
| Pątnów II | 2008 | 464 | wb | 25,8/540/568 | 273 | 44/41 | 580 mln € | Rafako- Alstom / Alstom Power | 6 lat |
| Łagisza | 2009 | 460 | wk | 27,5/560/582 | 285 | 45/41,7 | ~2 mld zł | Foster Wheeler / Alstom Power | 42 m-ce |
| Bełchatów | 2011 | 858 | wb | 25,2/550/582 | 278 | -/41,7 | 1,2 mld € | Rafako-Alstom / Alstom | 52 m-ce |
| Kozienice | 2017 | 1075 | wk | 24,3/600/620 | 315 | -/45,6 | 6,4 mld zł | MHPS Europe / MHPS Japan | 62 m-ce |
| Opole | 2019 | 2x900 | wk | 26,0/600/610 | 295 | -/45,5 | 11,6 mld zł | GE Power | 66 m-cy |
| Jaworzno 3 | 2020 | 910 | wk | 27,5/600/610 | 305 | -/45,9 | ~6,2 mld zł | Rafako / Siemens | ~65 m-cy |
| Turów | 2020 | 496 | wb | 28,5/600/610 | | 45/ 43,4 | ~4 mld zł | MHPS Europe / MHPS Japan | ~6 lat |

Objaśnienia: wb – węgiel brunatny, wk – węgiel kamienny, $p_1/t_1/t_m$ – ciśnienie pary świeżej, temperatura pary świeżej, temperatura pary wtórnie przegrzanej, $t_{wz}$ – temperatura wody zasilającej kocioł, $\eta_{br}/\eta_{net}$ – sprawność brutto i netto bloku.



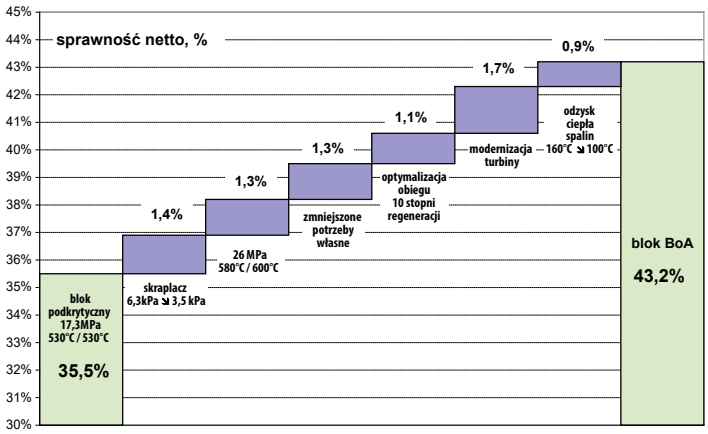

*Rys. 1. Ścieżka wzrostu sprawność wytwarzania energii elektrycznej w elektrowniach węglowych w Polsce i Niemczech oraz perspektywy jej zwiększenia*

parowym Rankine'a. Podstawową cechą wyróżniającą nową generację bloków węglowych jest wzrost parametrów początkowych czynnika roboczego w tradycyjnym obiegu parowym Rankine'a. W przypadku ciśnień nadkrytycznych wytwarzanie pary w kotle odbywa się z ominięciem obszaru pary mokrej. Przejście czynnika roboczego z fazy ciekłej w fazę gazową odbywa się w sposób niezauważalny, co ma zasadniczy wpływ na organizację układu wodno-parowego w kotle.

Do najważniejszych innowacyjnych przedsięwzięć zastosowanych w tradycyjnym obiegu parowym Rankine'a, które przyniosły wzrost sprawności ogólnej elektrowni należą:

- wzrost parametrów początkowych obiegu poprzez wzrost temperatury i ciśnienia pary świeżej odpowiednio do 25÷30 MPa i 580÷610°C; temperatura pary wtórnie przegrzanej jest zwykle wyższa od temperatury pary pierwotnie przegrzanej; możliwy dzięki osiągnięciom inżynierii materiałowej i zastosowaniu nowych materiałów na elementy krytyczne kotłów i turbin;
- zmniejszenie parametrów końcowych obiegu poprzez obniżenie ciśnienia w skraplaczu do poziomu 2,2÷2,5 kPa przy chłodzeniu skraplacza wodą morską (Dania) oraz 3,5÷4,2 kPa w układzie z chłodnią kominową (zależnie od warunków klimatycznych); możliwe dzięki odpowiedniej konstrukcji części wylotowej turbiny (liczba wylotów, długość i kształt ostatnich rzędów łopatek), skraplacza oraz chłodni kominowej o zwiększonej strefie chłodzenia (12°C);
- modernizacja konstrukcji i układu przepływowego turbin; stosowanie modelowania CFD (*computational fluid dynamics*) w projektowaniu; stosowanie łopatek 3D zaprojektowanych dla trójwymiarowych warunków przepływu pary (tzw. łopatki „bananowe"); podniesienie sprawności wewnętrznej turbin do rekordowego poziomu 94,2% w części wysokoprężnej (WP), 96,1% w części średnioprężnej (SP) i 93,6% w części niskoprężnej (NP) [4];
- udoskonalenie procesu spalania i konstrukcji kotłów; redukcja nadmiaru powietrza do spalania w kotle; podniesienie sprawności kotłów do poziomu 94,5%;
- optymalizacja obiegu cieplnego – dobór optymalnych ciśnień pary w układzie regeneracji (w upustach), stosowanie podgrzewaczy trójstrefowych, optymalne spiętrzenia temperatury w podgrzewaczach powierzchniowych;
- zwiększenie liczby stopni podgrzewania regeneracyjnego do 9–10 i podniesienie temperatury wody zasilającej do 290÷300°C;
- wykorzystanie ciepła spalin wylotowych z kotła do podgrzewania czynnika roboczego w układzie regeneracji nisko- i wysokoprężnej; obniżenie temperatury spalin do poziomu ok. 100°C;
- wyeliminowanie podgrzewania spalin za instalacją odsiarczania spalin;
- optymalizacja układu potrzeb własnych, zmniejszenie zużycia energii przez urządzenia pomocnicze.

Potencjał wzrostu sprawności elektrowni poprzez zastosowanie poszczególnych metod został zilustrowany na rys. 2. dla przypadku bloku na węgiel brunatny. Warto zwrócić uwagę na przyrosty sprawności wynoszące od 0,9 punktów procentowych do 1,7 punktów procentowych, odpowiadające zastosowanym rozwiązaniom zwiększającym sprtawność.

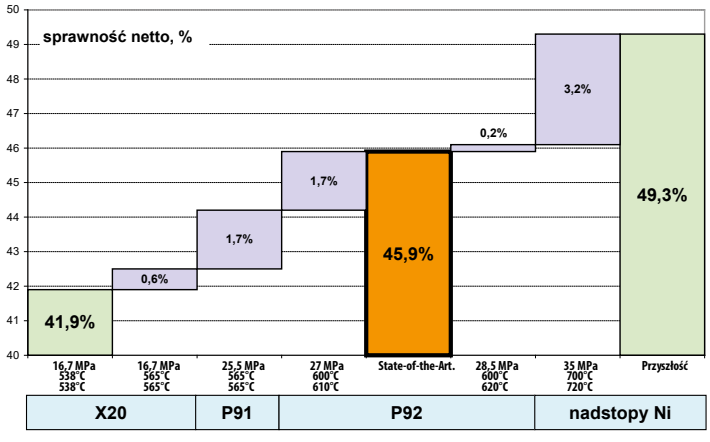



*Rys. 2. Metody wzrostu sprawności w nadkrytycznym bloku na węgiel brunatny na przykładzie niemieckiego bloku BoA (Block mit optimierter Anlagentechnik) z zamkniętym obiegiem chłodzenia [8, 9]*

## 3. Materiały na budowę kotłów i turbin

Począwszy od wczesnych lat 60., w instalacjach energetycznych pracujących w warunkach pełzania powszechnie stosowano stal wysokochromową X20CrMoV11-1. Pozwalała ona uzyskać poziom temperatury pary 560°C. Z końcem lat 80. dostępna była stal P91 i poziom temperatury pary 580°C. Począwszy od roku 2001 dostępna jest stal P92 i poziom temperatury pary 610°C.

Kolejny wzrost temperatury pary do poziomu 700°C stanie się możliwy dzięki nadstopom na osnowie niklu, które znajdują się u progu komercyjnych zastosowań. Wpływ parametrów początkowych obiegu i stosowanych materiałów konstrukcyjnych na sprawność netto elektrowni został przedstawiony na rys. 3.




*Rys. 3. Wpływ parametrów początkowych obiegu i stosowanych materiałów konstrukcyjnych na sprawność netto elektrowni (węgiel kamienny, obieg chłodzenia zamknięty) [6]*

Osiągnięcie aktualnie stosowanego poziomu parametrów nadkrytycznych pary świeżej 30 MPa i 600–610°C stało się możliwe dzięki postępom inżynierii materiałowej. Opanowana została technologia produkcji nowych gatunków stali martenzytycznych typu P91/T91, HCM12 i austenitycznych

chromowo-niklowych typu Esshete 1250, TP347 czy Super 304H. Wymienione gatunki stali charakteryzują się obniżoną zawartością chromu (Cr) i węgla (C) oraz stosowaniem dodatków w postaci niklu (Ni), molibdenu (Mo), wanadu (V), niobu (Nb) i wolframu (W). Dodatki zwiększają odporność stali na korozję wysokotemperaturową, pękanie naprężeniowe oraz ułatwiają spawanie.

Materiały konstrukcyjne przeznaczone na budowę przegrzewaczy pary w kotłach na parametry nadkrytyczne są poddane działaniu szczególnie wysokich temperatur i ciśnień. Stale kotłowe muszą charakteryzować się znacznie wyższą wytrzymałością w wysokich temperaturach w porównaniu z innymi stalami. Od stali kotłowych wymaga się, aby były żarowytrzymałe i żaroodporne. Żaroodporność oznacza zdolność materiału do przeciwstawienia się korozji gazowej w podwyższonych temperaturach. Żarowytrzymałość oznacza odporność materiału na odkształcenia, zdolność do przenoszenia krótko- lub długotrwałych obciążeń w wysokiej temperaturze.

W celu zwiększenia żaroodporności stali stosuje się dodatki stopowe takie jak: chrom (Cr), krzem (Si) i aluminium (Al). Dodatki te chronią stal przed utlenianiem ze względu na ich większe powinowactwo do tlenu niż żelazo. Tworzą szczelne warstewki tlenków $Cr_2O_3$, $Al_2O_3$, $SiO_2$, które utrudniają wnikanie tlenu w głąb metalu. Wyższa temperatura pracy danego elementu wymaga większej zawartości pierwiastka stopowego dla zapewnienia żaroodporności. Węgiel zawarty w stali pogarsza jej odporność na korozję, szczególnie wtedy, gdy występuje w niej w postaci węglików.

## 4. Kotły i turbiny bloków parowych na parametry nadkrytyczne

W blokach na nadkrytyczne parametry pary szerokie zastosowanie znalazły kotły przepływowe typu Bensona. Konstrukcja kotłów przepływowych ma już ponad 60-letnią historię. Zasada pracy tego typu kotłów jest ogólnie znana [1] i nie będzie tutaj omawiana. Do najistotniejszych cech kotłów przepływowych w blokach nadkrytycznych należą [3]:

- wysoka sprawność,
- duża elastyczność ruchowa – możliwość nadążania za nagłymi zmianami obciążenia oraz praca na parametrach poślizgowych w warunkach obciążenia częściowego,
- konieczność stosowania czułych i szybko działających układów regulacji,
- brak stałego punktu odparowania wody, punkt ten przemieszcza się w zależności od obciążenia kotła,
- zwiększone powierzchnie wymiany ciepła spowodowane mniejszymi gradientami temperatur w wymianie ciepła i wyższymi temperaturami końcowymi pary przegrzanej,
- ekstremalnie wysokie wymagania w stosunku do czystości wody zasilającej kocioł,
- niewrażliwość wydajności i parametrów pary z kotła na zmienne właściwości paliwa.

Ponadto w porównaniu z kotłami walczakowymi stosowanymi dla parametrów podkrytycznych, kotły przepływowe charakteryzuje większa wartość dopuszczalnego gradientu zmian temperatury, co jest istotne ze względu na skrócenie czasu rozruchu kotła. W parownikach kotłów przepływowych stosowane są rury ożebrowane wewnątrz (ryflowane). Poprawia to wymianę ciepła poprzez odrzucanie cząstek wody na ścianki dzięki większej turbulencji. Intensyfikacja wymiany ciepła umożliwia użycie pionowych rur ekranowych z małym strumieniem masy bez ryzyka przegrzania rur [5].

Stosowane są zarówno kotły o sylwetce jednociągowej (wieżowe), jak i dwuciągowej [1]. Kotły jednociągowe są szczególnie korzystne w przypadku spalania paliwa o dużej zawartości popiołu lub silnych właściwościach korozyjnych popiołu. Charakteryzują się znaczną wysokością, dochodzącą do 165 m. Kotły o sylwetce dwuciągowej mają mniejszą wysokość (do 70 m) i kompaktową komorę spalania. Kotły dwuciągowe na nadkrytyczne parametry pary częściej występują w USA i Japonii aniżeli w Europie, co wynika z tradycji lokalnych dostawców kotłów.

Wśród kotłów na parametry nadkrytyczne dominują kotły pyłowe. Pierwszy na świecie blok na parametry nadkrytyczne z kotłem fluidalnym ze złożem cyrkulacyjnym uruchomiony został w polskiej Elektrowni Łagisza.

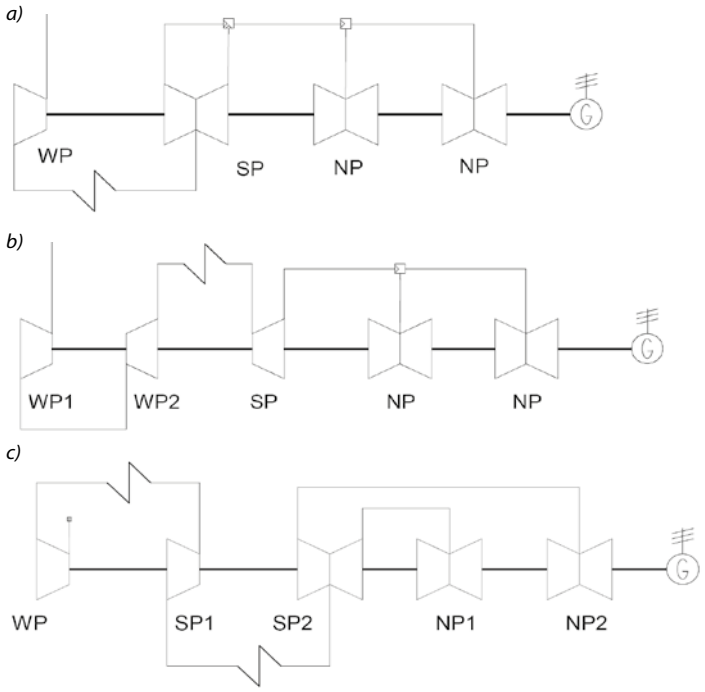
Interesującą innowacją, odmienną od dotychczasowych kanonów, jest projekt kotła poziomego, przeznaczony dla przyszłościowego bloku na parametry ultranadkrytyczne 35 MPa/700/720°C. Firma Siemens opracowała całkowicie nowy typ kotła przepływowego. Konstrukcja kotła w układzie z paleniskiem poziomym radykalnie zmniejsza jego wysokość, trzykrotnie w stosunku do równoważnego kotła wieżowego. W założeniu poziomy układ kotła ma ograniczyć koszty budowy i zminimalizować udział drogich stopów niklowych dzięki znacznemu skróceniu rurociągów pary świeżej i wtórnie przegrzanej łączących kocioł i turbinę [5].

Turbiny na parametry nadkrytyczne pracują w klasycznej konfiguracji obejmującej część wysokoprężną (WP), średnioprężną (SP) i niskoprężną (NP). Przykłady rozpływów pary w turbinach na parametry nadkrytyczne przedstawiono na rys. 4. Z zamieszczonych schematów wynika, że w przypadku turbin o większych mocach część niskoprężna jest wielowylotowa, przy czym najczęściej liczba wylotów wynosi 4 lub 6.

Na rys. 4*b* przedstawiono przykład turbiny przeznaczonej do temperatury pary 700°C, w której przewidziano dwie rozdzielone części wysokoprężne WP1 i WP2. Część WP1 pracuje w zakresie najwyższych temperatur, a jej kadłub wewnętrzny i wirnik musi być wykonany ze stopów niklu. Część WP2 pracuje w zakresie niższych temperatur i może być wykonana ze stali martenzytycznych. Część SP turbiny musi być wykonana podobnie jak część WP1. Ciekawym rozwiązaniem jest stosowanie w niektórych przypadkach wspólnego kadłuba części WP i SP turbiny (np. bloki 600 MW). Takie „zblokowanie" pozwala zmniejszyć gabaryty turbiny, a tym samym koszty jej budowy i fundamentowania.

Z kolei na rys. 4*c* przedstawiono rozpływ pary dla przypadku podwójnego przegrzewu międzystopniowego (blok Convoy). Turbina posiada dwa kadłuby średnioprężne, przy czym część SP2 jest niesymetryczna (niesymetryczne upusty i ciśnienia na wylocie) [7].

Wysiłki producentów turbin nie są wyłącznie skoncentrowane na podwyższaniu parametrów początkowych, ale także na optymalizowaniu „zimnego" końca turbiny. W przypadku stopnia wylotowego turbiny, długości łopatek ok. 1200 mm i prędkości 3000 obr/min, wyczerpują się możliwości




*Rys. 4. Organizacja rozpływu pary w turbinach na parametry nadkrytyczne*

stosowania stali jako materiału łopatkowego. Od kilku lat stosowane są łopatki o długości do 1500 mm wykonane ze stopów tytanu (Ti-5Al, Ti-6Al 4V, Ti-6Al-6V-2Sn) [4, 11].

## 5. Podsumowanie

Dalszy wzrost sprawności elektrowni węglowych możliwy będzie poprzez skokowe zwiększenie początkowych parametrów pary do poziomu 35÷37,5 MPa i 700/720°C, które znajdują się w zakresie tzw. parametrów ultranadkrytycznych. Zastosowanie takiego pułapu parametrów stwarza możliwość przekroczenia 50%, a być może nawet osiągnięcia 55% sprawności netto wytwarzania energii elektrycznej. Stanie się to możliwe dzięki stosowaniu stopów na bazie niklu.

W Europie i USA prowadzone są prace badawcze zmierzające do opanowania i wdrożenia nowej technologii. Już w 1998 r. rozpoczęto realizację programu AD700 (*Advanced Supercritical 700°C Coal-Fired Power Plant*) finansowanego przez UE. Jego celem było określenie opłacalności dalszego rozwoju technologii PF. W jego realizację włączonych było ok. 40 firm europejskich. Począwszy od 2003 r. realizowano program COMTES 700 (*Component Test Facility*) finansowany przez RFCS (*Research Fund for Coal and Steel*) oraz Emax (grupa koncernów energetycznych). Cele programu COMTES to:

- opanowanie parametrów ultranadkrytycznych 35÷37,5 MPa i 700/720°C,
- zastosowanie nowych superstopów na bazie niklu na wysokotemperaturowe elementy krytyczne kotła i turbiny,
- testowanie krytycznych elementów instalacji (minimum 30 tys. godzin pracy w temperaturze powyżej 700°C).

Zwieńczeniem programu AD700 będzie prawdopodobnie realizacja demonstracyjnego bloku energetycznego o mocy ok. 500 MW na parametry 35 MPa/700/720°C, zlokalizowanego w Wilhelmshaven (Niemcy), w ramach projektu „50+" koncernu E.ON. Duński koncern Dong Energy także zamierza zbudować dwa bloki 800 MW na parametry ultranadkrytyczne w niemieckiej elektrowni Greifswald. W USA, tamtejszy Departament Energii (DOE) współfinansuje badania zmierzające do opanowania jeszcze wyższej temperatury początkowej, tj. 760°C (1400°F) w klasycznych blokach opalanych węglem [1, 5].

Na uwagę zasługuje również realizowany w Polsce w latach 2010–2015 Program Strategiczny „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii", zadanie 1 „Opracowanie technologii dla wysokosprawnych „zeroemisyjnych" bloków węglowych zintegrowanych z wychwytem $CO_2$ ze spalin", w ramach którego prowadzono prace badawcze dotyczące jednostki wytwórczej na ultranadkrytyczne parametry pary 30 MPa/650°C/670°C [12].

## Bibliografia


[1] Pawlik M., Strzelczyk F., *Elektrownie*, WNT, Warszawa 2016.

[2] Paska J., *Wytwarzanie energii elektrycznej,* Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2005.

[3] Praca zbiorowa pod redakcją G. Kosmana, A. Rusina, J. Talera i M. Pawlika, *Zagadnienia projektowania i eksploatacji kotłów i turbin do nadkrytycznych bloków węglowych*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2010.

[4] Leyzerovich A. S., *Steam Turbines for Modern Fossil-Fuel Power Plants,* The Fairmont Press Inc., 2007.

[5] Pawlik, M., Kotlicki, T.. *Innowacyjne technologie węglowe dla ograniczania emisji $CO_2$,* Rynek Energii 2011 vol. 94, nr 3, s. 57–63.

[6] Cziesla F., Kremer H., Much U., Riemschneider J. E., Quinkertz R., *Advanced 800+ MW Steam Power Plants and Future CCS Options*, COAL-GEN Europe 2009 – Katowice, Poland, 2009.

[7] Kjear S., *Status and future of advanced PF power plants,* Energy Conversion and Management. Volume 37, Issues 6-8, June-August 1996, s. 897–902.

[8] RWE Energie: *Założenia do projektu BoA w Elektrowni Niderausse,* Materiały Seminarium Naukowo-Technicznego „Wysokosprawne bloki energetyczne", Słok, listopad 1996, s. 145–176.

[9] Tippkötter T., *Elektrownia na węgiel brunatny ze zoptymalizowaną techniką instalacji*, Materiały V Konferencji Naukowo-Technicznej „Elektrownie cieplne", Słok, wrzesień 2001.

[10] Nyqvist J., Faellman S., Lahoda J., *Upgrading of industrial steam turbine SST-900 to meet new customer requirements in utility and industrial applications*, POWER-GEN Asia 2008, Kuala Lumpur, Malezja, 2008.

[11] Ulm W., *The situation in steam turbine construction and current development trends*, OMMI (vol. 2, issue 3), December 2003.

[12] Praca zbiorowa pod redakcją T. Chmielniaka i H. Łukowicza, *Modelowanie i optymalizacja węglowych bloków energetycznych z wychwytem $CO_2$,* Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2015.


# Wytrzymałość elektryczna celulozowego papieru izolacyjnego wzmocnionego aramidem – podejście statystyczne


mgr inż. Norbert Dyttus,
dr hab. inż. Paweł Rózga, prof. uczelni
Politechnika Łódzka, Instytut Elektroenergetyki


## Wprowadzenie

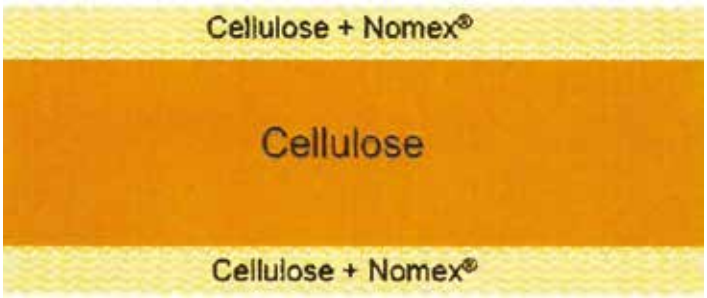
Konstruktorzy urządzeń elektroenergetycznych w ostatnich latach mają do dyspozycji coraz więcej nowoczesnych rozwiązań z dziedziny inżynierii materiałowej. Mnogość rozwiązań, jakie daje aktualnie rynek towarów jest spowodowany między innymi: dużą konkurencją, coraz bardziej rygorystycznymi przepisami, jakie określają jakość energii elektrycznej, pewność dostaw, a także ochronę środowiska naturalnego. W zakresie materiałów stosowanych przy produkcji transformatorów można zauważyć, że klasyczna izolacja celulozowo-olejowa jest coraz częściej zastępowana izolacją półsyntetyczną, czy też syntetyczną. Powodem tego są niewątpliwie zalety nowych rozwiązań w zakresie właściwości termicznych, elektrycznych, mechanicznych, czy też wolniejsze starzenie się materiałów [1–5].

Jednym z ciekawych rozwiązań w tym zakresie jest nowy materiał dielektryczny – papier aramidowy o nazwie Nomex®910. Produkt ten jest

odpowiedzią na potrzeby rynku związane z zapotrzebowaniem na papier izolacyjny o lepszych parametrach termicznych niż klasyczne papiery celulozowe. Użycie podczas produkcji zarówno celulozy, jak i składników aramidowych spowodowało, że uzyskano dielektryk o podwyższonej odporności termicznej oraz lepszych właściwościach elektrycznych w porównaniu z konkurencyjnymi, standardowymi papierami celulozowymi. Najważniejszymi korzyściami wynikającymi ze stosowania papieru Nomex®910 są [4]:

- wydłużona żywotność izolacji przewodu, a zarazem całego systemu izolacji transformatora,
- obniżony wpływ wysokiej temperatury otoczenia na starzenie się izolacji,
- obniżony wpływ pełnego, ciągłego obciążenia transformatora,
- zmniejszona wrażliwość izolacji transformatora na tymczasowe przeciążenia.

Poniżej przedstawiono strukturę materiału Nomex®910 oraz widok przewodu izolowanego tym materiałem.




*Rys. 1. Struktura papieru Nomex®910 wzmocnionego aramidem [4]*

*Rys. 2. Widok przewodu o izolacji wykonanej z materiału Nomex®910 [4]*

W niniejszej pracy przedstawione zostaną wyniki badań wytrzymałości elektrycznej wzmiankowanego papieru przy uwzględnieniu próbek o grubości 0,18 mm. W rozważaniach uwzględniono podejście statystyczne, w którym analiza otrzymanych wyników została przeprowadzona z wykorzystaniem dwóch rozkładów zmiennej losowej: Weibulla i Gaussa. Badania przeprowadzono w normatywnym układzie elektrod o równomiernym rozkładzie pola elektrycznego i dwóch cieczach dielektrycznych użytych do nasączenia badanego papieru.

## Metodologia badań

Badaniom poddane zostały arkusze papieru aramidowego Nomex®910 o wymiarach 10×10 cm i grubości 0,18 mm, które wycięte zostały z arkusza A4, w którym to formacie producent dostarczył materiał. Kolejno, w tabelach 1., 2. i 3. przedstawiono podstawowe parametry badanego materiału.

**Tabela 1. Typowe parametry mechaniczne papieru aramidowego Nomex®910**

| Parametr | Jednostka | Wartość |
|---|---|---|
| Grubość | [mm] | 0,18 |
| Waga | [g/m$^2$] | 160 |
| Gęstość | [g/cc] | 0,8 – 1,00 |
| Siła rozrywająca | [N/cm$^2$] | 62 |
| Wytrzymałość na rozciąganie, MD | [N/cm] | 175 |
| Wytrzymałość na rozciąganie, XD | [N/cm] | 42 |
| Wydłużenie, MD | [%] | 2,8 |
| Wydłużenie, XD | [%] | 9,5 |
| Wytrzymałość na rozdarcie, MD | [N] | 0,45 |
| Wytrzymałość na rozdarcie, XD | [N] | 0,70 |

MD – kierunek maszynowy
XD – kierunek poprzeczny do maszynowego

**Tabela 2. Typowe parametry elektryczne papieru aramidowego Nomex®910 impregnowanego w oleju mineralnym**

| Parametr | Jednostka | Wartość |
|---|---|---|
| Wytrzymałość elektryczna dla napięcia AC | [kV/mm] | 75 |
| Stała dielektryczna (przenikalność elektryczna) przy częstotliwości 60 Hz oraz temperaturze 23°C | [-] | 3,3 |
| Współczynnik rozproszenia przy częstotliwości 60 Hz oraz temperaturze 23°C | [%] | 1,00 |

**Tabela 3. Typowe parametry elektryczne papieru aramidowego Nomex®910 impregnowanego w estrze syntetycznym**

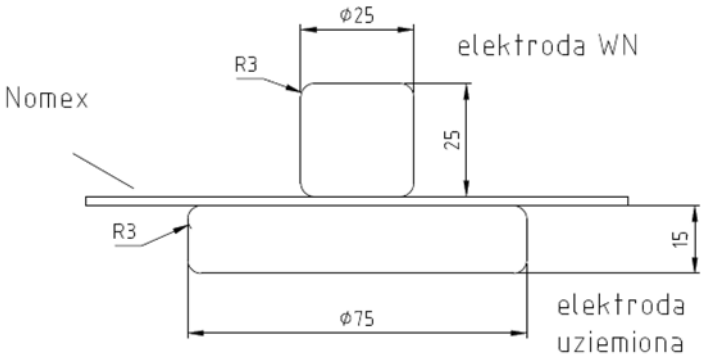
| Parametr | Jednostka | Wartość |
|---|---|---|
| Wytrzymałość elektryczna dla napięcia AC | [kV/mm] | 80 |
| Stała dielektryczna (przenikalność elektryczna) przy częstotliwości 60 Hz oraz temperaturze 23°C | [-] | 4,4 |
| Współczynnik rozproszenia przy częstotliwości 60 Hz oraz temperaturze 23°C | [%] | 1,1 |

Układ elektrod oraz cały układ badawczy jest zwykle zależny od formy badanego materiału, co określa norma PN-EN 606243-1:2013 [6]. W odniesieniu do elektrod, powinny być one utrzymane w czystości, a także nie powinny mieć żadnych defektów, które mogłyby zafałszować wyniki pomiarów. W odniesieniu do wymagań stawianych przewodom, nie powinny się one odchylać, jak również przesuwać elektrod, wywierać na nie nacisku czy zakłócać rozkład pola elektrycznego wokół mierzonego materiału.

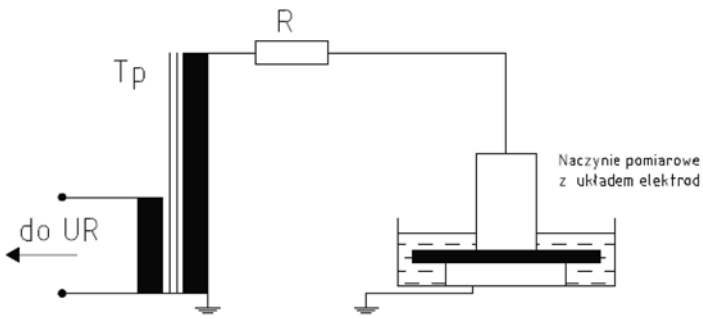
Ze względu na ustawienie elektrod, stosowane są dwa główne typy układów różniące się między sobą ułożeniem względem badanego materiału:

- prostopadły do powierzchni próbki,
- równoległy do powierzchni próbki.

W czasie wykonywania badań papieru Nomex®910 zastosowano układ równoległy elektrod o nierównych rozmiarach, a więc pomiar wytrzymałości elektrycznej odbywał się w polu równomiernym. W tym miejscu należy zaznaczyć, że podczas pomiaru badany papier był w całości zanurzony w cieczy dielektrycznej, podobnie jak obie elektrody pomiarowe – jest to również wymóg przytoczonej normy. Ciecz dielektryczna, którą napełniono naczynie pomiarowe, została wcześniej użyta do impregnacji badanego papieru. Wykorzystany układ elektrod oraz schemat układ badawczego zostały przedstawione odpowiednio na rysunkach 3. i 4.




*Rys. 3. Układ elektrod użyty w badaniach*




*Rys. 4. Układ pomiarowy do wyznaczania wytrzymałości elektrycznej papieru: UR – układ regulacji, Tp – transformator probierczy, R – rezystancja ograniczająca*

Impregnacja papieru aramidowego została przeprowadzona w Laboratorium Wysokich Napięć Instytutu Elektroenergetyki Politechniki Łódzkiej. Układ, który posłużył do tego celu składał się z komory próżniowej, w której odbywało się wygrzewanie papieru aramidowego przy użyciu promienników oraz pompy, której zadaniem było wytworzenie próżni o określonych parametrach. Proces suszenia i impregnacji przebiegał następująco:

- pierwszy etap odpowiadał za wygrzanie próbki przez okres 24 h w komorze próżniowej pod ciśnieniem poniżej 100 Pa, w temperaturze 105°C,
- następnie do komory próżniowej trafiła ciecz dielektryczna, która spełniała wymogi stawiane przez II klasę zgodnie z PN-EN 60296 i która uprzednio była podgrzana do temperatury 80°C, a tempo napełniania komory musiało zapewnić utrzymanie ciśnienia wewnątrz komory na poziomie nie przekraczającym 250 Pa,
- w trzecim etapie, po całkowitym zanurzeniu próbek, nastąpiło usunięcie próżni, a temperaturę utrzymywano na poziomie 80°C przez czas 24 h,
- na końcu procesu ostudzono próbki do temperatury otoczenia (23°C), przy całkowitym zanurzeniu w danej cieczy.

Zgodnie z normą [6] algorytm postępowania podczas badania próbek był następujący:

- badaną próbkę papieru umieszczano pomiędzy elektrodami,
- napięcie podwyższano aż do momentu wystąpienia przebicia,
- następnie zmieniano badaną próbkę na kolejną i powtarzano proces.

Powyżej opisane czynności zostały wykonane dla piętnastu próbek, przy dwóch cieczach dielektrycznych zastosowanych w procesie impregnacji: oleju mineralnego i estru syntetycznego.

Dla uzyskanych w ten sposób wyników obliczono bezpośrednio z otrzymanego wektora zmiennej losowej następujące parametry:

- średnią wartość napięcia przebicia,
- odchylenie standardowe,
- medianę,
- wytrzymałość elektryczną wyliczoną z wartości mediany oraz średniej.

Następnie przedstawiono uzyskane wyniki w formie rozkładów zmiennych losowych Gaussa i Weibulla obliczając stosowne parametry charakteryzujące dany rozkład. Analizę wykonano z użyciem programu Mathcad, gdzie zaaplikowana została metoda graficzna obliczania parametrów danego rozkładu [7].

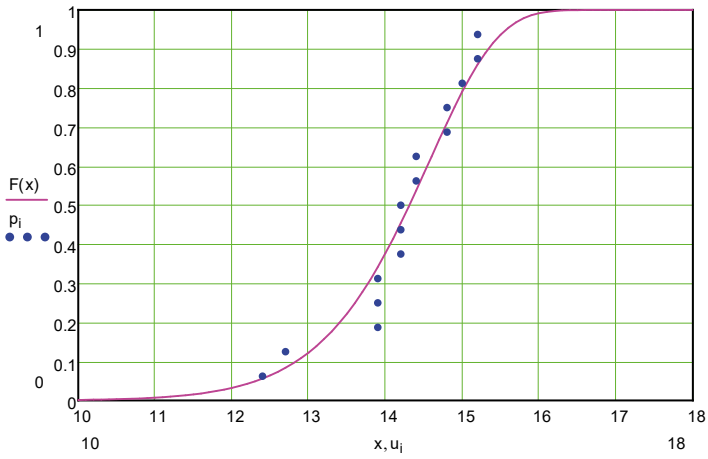
## Wyniki pomiarów

W tabeli 4. zestawiono wyniki otrzymane podczas pomiarów w postaci średniej, odchylenia standardowego i mediany napięć przebicia obliczonych bezpośrednio z wektora zmiennej losowej, a więc zestawu danych napięć przebicia dla dwóch przypadków: impregnacji olejem mineralnym i impregnacji estrem syntetycznym.

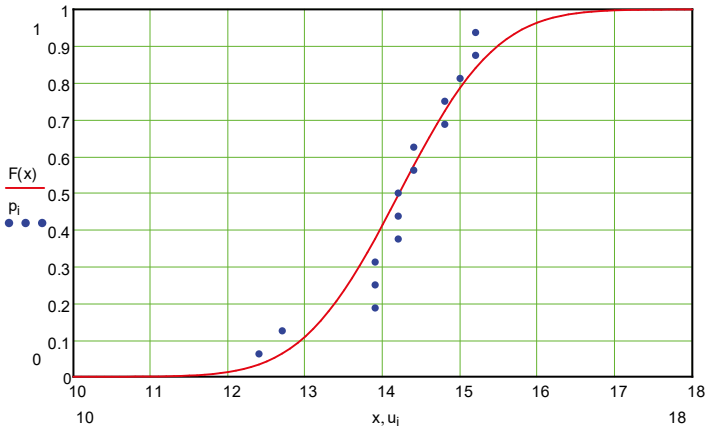
**Tabela 4. Wyniki pomiarów napięć przebicia otrzymane bezpośrednio z wektora zmiennej losowej – jednostka [kV]**

| Parametr | Impregnacja olejem mineralnym | Impregnacja estrem syntetycznym |
|---|---|---|
| Średnia arytmetyczna | 14,21 | 14,28 |
| Odchylenie standardowe | 0,66 | 0,48 |
| Mediana | 14,2 | 14,2 |

Na kolejnych rysunkach 5. i 6. przedstawiono natomiast wyznaczone metodą graficzną w programie Mathcad dystrybuanty rozkładu Weibulla i Gaussa dla przypadku impregnacji papieru Nomex®910 olejem mineralnym.

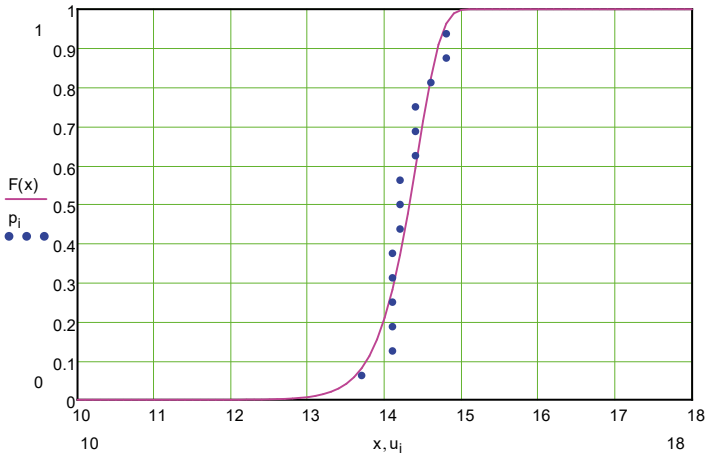



*Rys. 5. Dystrybuanta rozkładu Weibulla dla przypadku impregnacji papieru Nomex®910 olejem mineralnym*

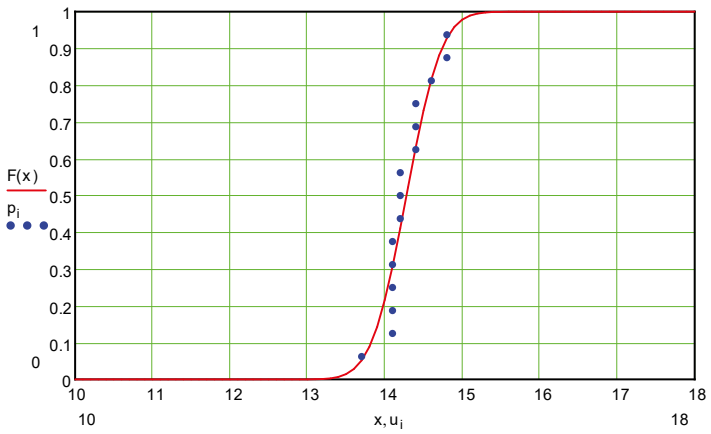



*Rys. 6. Dystrybuanta rozkładu normalnego Gaussa dla przypadku impregnacji papieru Nomex®910 olejem mineralnym*

Analogiczne wyniki dotyczące impregnacji estrem syntetycznym pokazane zostały na rysunkach 7. i 8.




*Rys. 7. Dystrybuanta rozkładu Weibulla dla przypadku impregnacji papieru Nomex®910 estrem syntetycznym*




*Rys. 8. Dystrybuanta rozkładu normalnego Gaussa dla przypadku impregnacji papieru Nomex®910 estrem syntetycznym*

W tabeli 5. zestawiono natomiast wyznaczone na podstawie krzywych rozkładu Gaussa, następujące charakterystyczne prawdopodobieństwa przebicia dla obu przypadków cieczy użytej do impregnacji:

- Ub5% – jako niskie prawdopodobieństwo przebicia,
- Ub50% – mediana (50-procentowe napięcie przebicia),
- Ub63.2% – jako wartość odpowiadająca parametrowi skali w rozkładzie Weibulla
- Ub95% – reprezentujące wysokie prawdopodobieństwo przebicia.

**Tabela 5. Wartości napięć przebicia badanego papieru impregnowanego odpowiednio w oleju mineralnym i estrze syntetycznym na bazie krzywej dystrybuanty rozkładu Gaussa**

| Prawdopodobieństwo przebicia | Napięcie przebicia w danej cieczy w [kV] | |
|---|---|---|
| | Olej mineralny | Ester syntetyczny |
| Ub5% | 12,58 | 13,69 |
| Ub50% | 14,21 | 14,28 |
| Ub63.2% | 14,55 | 14,40 |
| Ub95% | 15,84 | 14,85 |

Analogiczne wyniki pokazane w tabeli 6. dotyczą charakterystycznych prawdopodobieństw przebicia z rozkładu Weibulla. W przypadku rozkładu Weibulla, w tabeli dodatkowo pojawiła się wartość Ub0%, jako parametr przesunięcia reprezentujący próg wytrzymałości.

**Tabela 6. Wartości napięć przebicia badanego papieru impregnowanego odpowiednio w oleju mineralnym i estrze syntetycznym na bazie krzywej dystrybuanty rozkładu Weibulla**

| Prawdopodobieństwo przebicia | Napięcie przebicia w danej cieczy w [kV] | |
|---|---|---|
| | Olej mineralny | Ester syntetyczny |
| Ub0% | 12,15 | 13,56 |
| Ub5% | 12,29 | 13,73 |
| Ub50% | 14,32 | 14,26 |
| Ub63.2% | 14,63 | 14,42 |
| Ub95% | 15,52 | 15,12 |

## Analiza wyników i wnioski

W celu przeprowadzenia analizy oraz sformułowania wniosków otrzymane wartości napięć przebicia przeliczono na wartości wytrzymałości elektrycznej badanego papieru. Ponieważ napięcie przebicia wyznaczane było w układzie o równomiernym rozkładzie pola elektrycznego, przeliczenia dokonano w sposób prosty, dzieląc wartość napięcia przebicia przez grubość próbki papieru.

Celem porównania, wyniki dotyczące wytrzymałości elektrycznych przytoczone zostały dla poszczególnych prawdopodobieństw, tj. 0- i 5-procentowego prawdopodobieństwa przebicia, mediany oraz wartości prawdopodobieństwa równej 63,2% (parametru skali w rozkładzie Weibulla). Wyniki zestawiono finalnie z wartościami, które podaje producent w karcie katalogowej papieru aramidowego Nomex®910 i umieszczono w tabeli 7.

Zgodnie z obowiązującą normą do wyznaczenia minimalnej wytrzymałości elektrycznej papieru izolacyjnego producent jest zobowiązany do podania wartości wytrzymałości elektrycznej na podstawie uzyskanych wartości napięć przebicia. Analizując tabelę 7. zestawiającą wartości wytrzymałości elektrycznej badanego dielektryka (obliczonej różnymi sposobami) widać, że wartości katalogowe odpowiednio 75 i 80 kV/mm są osiągnięte już dla poziomu 5-procentowego prawdopodobieństwa przebicia w przypadku impregnacji olejem mineralnym i 63,2-procentowego napięcia przebicia w przypadku impregnacji estrem syntetycznym. W tym drugim przypadku jednak, dla mediany napięć przebicia uzyskana wartość wytrzymałości osiąga niemal 80 kV/mm już w przypadku mediany (79,56 kV/mm). Można więc stwierdzić, że potwierdzono dane katalogowe w tym zakresie.

Z kolei porównując wyniki z tabeli z punktu widzenia cieczy dielektrycznych użytych do impregnacji widać, że w zakresie niskich prawdopodobieństw papier aramidowy posiada wyższe wartości wytrzymałości

**Tabela 7. Zestawienie wartości wytrzymałości elektrycznych w [kV/mm] obliczonych oraz katalogowych**

| Wartość wytrzymałości elektrycznej | Impregnacja w oleju mineralnym | Impregnacja w estrze syntetycznym |
|---|---|---|
| Odczytana z karty katalogowej | 75,00 | 80,00 |
| Obliczona dla 0-procentowego prawdopodobieństwa przebicia (parametru przesunięcia) z rozkładu Weibulla | 67,50 | 75,33 |
| Obliczona dla 5-procentowego prawdopodobieństwa przebicia z rozkładu Gaussa | 69,89 | 76,06 |
| Obliczona dla 5-procentowego prawdopodobieństwa przebicia z rozkładu Weibulla | 76,28 | 76,27 |
| Obliczona dla Ub50% na podstawie rozkładu Gaussa | 78,94 | 79,33 |
| Obliczona dla Ub50% na podstawie rozkładu Weibulla | 79,22 | 79,56 |
| Obliczona dla Ub63,2% na podstawie rozkładu Gaussa | 80,83 | 80,00 |
| Obliczona dla Ub63,2% na podstawie rozkładu Weibulla | 81,27 | 80,11 |

gdy do jego impregnacji użyty został ester syntetyczny. Sytuacja zmienia się na odwrotną, gdy rozpatrujemy prawdopodobieństwa wyższe (powyżej 63,2%).

Generalnie oceniając otrzymane wyniki należy zwrócić uwagę na fakt, że wartość minimalnej wytrzymałości elektrycznej obliczonej na podstawie parametru przesunięcia rozkładu Weibulla oraz 5-procentowego prawdopodobieństwa przebicia jest znacząco niższa do odpowiednio od wartości 75 i 80 kV/mm zawartej w karcie katalogowej materiału. Oznacza to, że ze statystycznego punktu widzenia istnieje możliwość wystąpienia przebicia badanego materiału przy napięciu, które jest znacznie niższe od napięcia wytrzymywanego, jakie deklaruje producent.

## Bibliografia


[1] Perrier C., Beroual A., *Experimental investigations on insulating liquis for power transformers: mineral, ester and silicone oils*, IEEE Electr. Insul. Mag., Vol. 25, No. 6, pp. 6–13, 2009.

[2] Martins M. A. G., Gomes A. R., *Comparative study of the thermal degradation of synthetic and natural esters and mineral oil: Effect of oil type in the thermal degradation of insulating Kraft paper*, IEEE Electr. Insul. Mag., Vol. 28, No. 2, pp. 22–28, 2012.

[3] Rozga P., Stanek M., *Comparative analysis of lightning breakdown voltage of natural ester liquids of different viscosities supported by light emission measurement*, IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., vol. 24, no. 2, pp. 991–999, 2017.

[4] DuPont, *DuPont™ Nomex®910 Engineered Cellulose Paper*, 2018.

[5] Moranda H., Moscicka-Grzesiak H., Przybylek P., Walczak K., Szewczyk R., *Comparative Tests of Partial Discharges in Nomex®910 Paper and Cellulose Paper*, Energies 13(3), 647, 2020.

[6] Norma PN-EN 606243-1:2013, *Wytrzymałość elektryczna materiałów izolacyjnych. Metody badań. Część 1: badania przy częstotliwości sieciowej.*

[7] Mosiński F., *Zastosowania metod statystycznych dla inżynierów elektryków*, Łódź, Monografie Politechniki Łódzkiej, 2000.


# Zygmunt Piotr Witczak (1927–2020)

Zygmunt Piotr Witczak urodził się 28 kwietnia 1927 roku w Łodzi. W czasie niemieckiej okupacji został wywieziony na roboty przymusowe do Ulm w Niemczech. Po powrocie do Łodzi ukończył szkołę średnią i podjął studia na Wydziale Elektrycznym Politechniki Łódzkiej. Dyplom magistra inżyniera nr 1038 uzyskał w 1952 r.

Po studiach pracował krótko jako asystent w Katedrze Miernictwa Elektrycznego a w 1953 r. rozpoczął pracę w Poznańskim Biurze Projektów Sieci Energetycznych. W latach 1958–1972 został powołany na stanowisko dyrektora naczelnego Przedsiębiorstwa Robót Elektrycznych „Elektromontaż" w Łodzi. W lutym 1972 został dyrektorem naczelnym Łódzkiego Zjednoczenia Budownictwa, gdzie pracował do sierpnia 1973 r. Po tym okresie wrócił do organizacji „Elektromontaż", gdzie pracował na stanowisku dyrektora Biura Konstrukcyjno-Technologicznego Urządzeń Elektrycznych.

Wraz ze współpracownikami brał udział w realizacji wielu ważnych inwestycji, takich jak Huta Aluminium w Koninie, Zakłady Azoty we Włocławku, Huta Szkła w Sandomierzu, a w Łodzi Teatr Wielki oraz budynek Wydziału Elektrycznego Politechniki.

Za swoją działalność zawodową został nagrodzony wieloma odznaczeniami i medalami, w tym Krzyżem Kawalerskim Orderu Odrodzenia Polski, Złotym i Srebrnym Krzyżem Zasługi oraz Honorową Odznaką Miasta Łodzi.

Pracę zawodową przerwał w 1986 roku wypadek, w którym stracił nogę.

Prowadził szeroką działalność społeczną, również po przejściu na emeryturę, zwłaszcza w Stowarzyszeniu Elektryków Polskich, za którą wyróżniono Go Srebrną i Złotą Odznaką Honorową Stowarzyszenia oraz Naczelnej Organizacji Technicznej. W 2004 roku uzyskał godność Zasłużonego Seniora Stowarzyszenia Elektryków Polskich. Zmarł 7 stycznia 2020 r.

*Paweł Witczak*

# Jerzy Szastałło (1951–2020)

W sobotę, 22 lutego 2020 r., w kościele pw. św. Patryka w Warszawie, a następnie na Cmentarzu Parafialnym w Gołąbkach k/Warszawy, pożegnaliśmy naszego Przyjaciela – Jurka Szastałłę, byłego prezesa Oddziału Warszawskiego SEP (przez dwie kadencje), dziekana Rady Prezesów, wiceprezesa SEP w kadencji 2010–2014. W ceremonii pogrzebowej w kościele, w imieniu Stowarzyszenia Elektryków Polskich pożegnali Jerzego – wiceprezes SEP Mieczysław Żurawski i prezes O. Warszawskiego Ryszard Marcińczak. W imieniu Oddziału Łódzkiego SEP wyrazy współczucia wdowie po Jerzym – Elżbiecie – złożyli Andrzej Boroń i Franciszek Mosiński. Andrzej Boroń przekazał również Elżbiecie Szastałło list pożegnalny od b. prezesa SEP – Jerzego Barglika.

Jerzy Szastałło urodził się w Warszawie (1951). Po ukończeniu szkoły średniej – XVIII Liceum Ogólnokształcącego im. Jana Zamojskiego w Warszawie, rozpoczął studia na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej, gdzie uzyskał tytuł magistra inżyniera elektryka (1975). Pracę zawodową rozpoczął w ówczesnym Zakładzie Energetycznym Warszawa Miasto (ZEWM). Do 1994 r. pracował w ZEWM na różnych stanowiskach kierowniczych, zajmując się utrzymaniem urządzeń oraz kierowaniem ruchem sieci elektroenergetycznej zasilającej centralne dzielnice Warszawy. Zdobył tam doświadczenie w dziedzinie organizacji eksploatacji i zarządzania zespołami pracowników. W latach 1990–1994 pełnił funkcję dyrektora Rejonu Energetycznego Warszawa Praga Północ, zapewniając dostawę energii elektrycznej do blisko 250 000 klientów Stoen SA, w tym: dużym zakładom przemysłowym, szpitalom, urzędom administracji państwowej, odbiorcom komunalnym i indywidualnym.

Wyróżnił się realizacją ponad 20 zadań inwestycyjnych, przyczyniając się do podwyższenia niezawodności i jakości zasilania odbiorców m. st. Warszawy. W 1994 roku rozpoczął pracę w Polskich Sieciach Elektroenergetycznych SA, gdzie był zastępcą dyrektora eksploatacji w Dyrekcji Przesyłu. Od 1997 r. był dyrektorem ds. gospodarki infrastrukturą techniczną, a od 2001 r. dyrektorem techniki i technologii, kierując działalnością wydziałów merytorycznych w Departamencie Zarządzania Majątkiem Sieciowym PSE SA w zakresie techniki stacyjnej, liniowej, zabezpieczeń i pomiarów rozliczeniowych energii elektrycznej. Prowadził również prace z udziałem jednostek naukowo-badawczych i biur projektowych w zakresie przygotowania standardów technicznych aparatury przeznaczonej do instalacji w sieci przesyłowej PSE SA. Do szczególnych Jego osiągnieć należy zaliczyć prace przygotowujące KSE do synchronizacji z systemami CENTERTEL i UCTE.

Do Stowarzyszenia Elektryków Polskich wstąpił w 1981 roku. Był członkiem Zarządu Oddziału Warszawskiego SEP (1994–2002) i skarbnikiem (1997–2002), prezesem Oddziału Warszawskiego SEP (2002–2010). W roku 2006 został wybrany dziekanem Rady Prezesów SEP.

Był członkiem Sekcji Energetycznej OW SEP od roku 1987, a jej przewodniczącym od roku 1998 oraz członkiem Centralnego Kolegium Sekcji Energetyki SEP. Jego działalność zawodowa i stowarzyszeniowa była związana z energetyką zawodową i obejmowała zagadnienia zarządzania procesami technicznymi oraz organizacyjnymi w sieciach elektroenergetycznych, poczynając od sieci przemysłowych, dystrybucyjnych, a kończąc na sieci Krajowego Systemu Przesyłowego i współpracy międzynarodowej w ramach EURELECTRIC i CIGRE.

Był dobrym organizatorem, zapoczątkował organizację cyklicznych konferencji pt. *Optymalizacja w elektroenergetyce* organizowanych przez Oddział Warszawski SEP. Był inicjatorem nadania Oddziałowi Warszawskiemu imienia Kazimierza Szpotańskiego.

Za wyżej wymienione osiągnięcia i działalność społeczną w SEP został odznaczony Brązowym oraz Srebrnym Krzyżem Zasługi. Posiadał również odznaczenia resortowe i zakładowe, a za pracę stowarzyszeniową odznaki srebrną, złotą i szafirową SEP, srebrną NOT, medale: im. Alfonsa Hoffmanna, im. Kazimierza Szpotańskiego, im. Stanisława Szpora, im. Stanisława Groszkowskiego, im. Jana Obrąpalskiego oraz 90-lecia Stowarzyszenia Elektryków Polskich. Długotrwała choroba przerwała jego aktywność. Zmarł 14 lutego 2020 roku.

Pisząc te słowa cały czas mam przed oczami postać Jerzego – serdecznego, dowcipnego i ciepłego człowieka, profesjonalistę i wybitnego specjalistę w dziedzinie energetyki, z którym współpracowałem przez kilkanaście lat w Radach Prezesów i w Zarządzie Głównym, z którym spędziłem wiele godzin na dyskusjach dotyczących naszego Stowarzyszenia i energetyki, z którą związani byliśmy zawodowo. Bardzo Ci dziękuję za te chwile. Żegnaj Przyjacielu

*Andrzej Boroń*

*W tekście wykorzystano materiały biograficzne opracowane przez kol. z Oddziału Warszawskiego – Miłosławę Bożentowicz i Zenona Stodolskiego*

# Złoty Inżynier 2019

Andrzej Boroń
Oddział Łódzki SEP

27 lutego 2020 r., w salach liczącego ponad 115 lat budynku NOT w Warszawie, odbyła się uroczystość nadania wyróżnień Przeglądu Technicznego „Złoty Inżynier", wyłonionych na podstawie plebiscytu wśród czytelników Przeglądu. Uroczystość otworzyła prezes FSNT NOT, a zarazem redaktor naczelna Przeglądu – Ewa Mankiewicz-Cudny. Pani prezes przypomniała, że rok 2020 jest rokiem szczególnych jubileuszy – mija bowiem 220 lat od utworzenia przez księdza Stanisława Staszica Zespołu Pracujących Techników Polskich Warszawskiego Królewskiego Towarzystwa Przyjaciół Nauk, 185 lat od założenia w Paryżu przez gen. inż. Józefa Bema Towarzystwa Politechnicznego Polskiego, 85 lat od założenia Naczelnej Organizacji Inżynierów RP (NOI), 75 lat od reaktywowania i połączenia w jedno istniejących przed II wojną światową NOI i Naczelnej Organizacji Stowarzyszeń Naukowo-Technicznych RP (NOST) pod nazwą Naczelna Organizacja Techniczna NOT i 30 lat od jej transformacji w Federację Stowarzyszeń Naukowo Technicznych NOT. Tak więc jubileuszy związanych z organizacjami technicznymi w Polsce – dużo.

Prezes Ewa Mankiewicz-Cudny przywitała przybyłych na uroczystość gości specjalnych, wśród nich ministra Andrzeja Derę, sekretarza stanu w Kancelarii Prezydenta RP, prof. Michała Kleibera – w latach 2001–2005 ministra nauki w rządach Leszka Millera i Marka Belki, od 2007 do 2015 prezesa Polskiej Akademii Nauk, w latach 2006–2010 doradcę społecznego prezydenta Lecha Kaczyńskiego ds. kontaktów ze środowiskiem naukowym, Kawalera Orderu Orła Białego. Przywitała również laureatów z ubiegłych plebiscytów Złotego Inżyniera oraz wyróżnionych w plebiscycie za rok 2019. Odczytano okolicznościowe listy, m.in. od Prezydenta RP Andrzeja Dudy i ministra rolnictwa – Jana Krzysztofa Ardanowskiego.

Uroczystość nadania tytułu Złotego Inżyniera (a także Diamentowego i Srebrnego Inżyniera oraz wyróżnień) odbyła się po raz 26. Co pięć lat uroczystość ma miejsce w pałacu prezydenckim, co nadaje jej szczególny charakter. Do tej pory, od początku istnienia plebiscytu, spośród zaproponowanych przez Przegląd ponad 1500 kandydatów, czytelnicy wytypowali ok. pięciuset. Wśród nich byli łodzianie i członkowie OŁ SEP (m.in. prof. Marek Bartosik). W tym roku laureatką wyróżnienia w kategorii *nauka* została dr hab. inż. Ewa Korzeniewska z Politechniki Łódzkiej, członek naszego Oddziału. Dr inż. Ewa Korzeniewska jest absolwentką Politechniki Łódzkiej, adiunktem na Wydziale Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki PŁ. Prowadzi badania w dziedzinie tekstroniki cienkich warstw elektroprzewodzących. Jest współautorką patentu „Sposób wytwarzania warstw superhydrofobowych na powierzchni kauczuków akrylonitrylowego i butadienowo-styrenowego, zawierających nanorurki węglowe" oraz dwóch zgłoszeń patentowych „Sposób zmniejszania tendencji wyrobów tekstylnych do pillingu" oraz „Sposób oceny tendencji wyrobów tekstylnych do pillingu".

*Wręczenie wyróżnienia. Na zdjęciu: Ewa Korzeniewska i wręczający wyróżnienie – prof. Michał Kleiber, Ewa Mankiewicz-Cudny i Andrzej Dera*

Jest organizatorką i jurorką konkursów dla młodzieży. Ma duże sukcesy w popularyzacji wiedzy technicznej. Od 2007 roku jest pełnomocnikiem dziekana Wydziału EEIA ds. promocji. Była jedyną kandydatką z Łodzi nominowaną do nagrody „Złotego Inżyniera" za 2019 rok.

Wśród kilkunastu wyróżnionych Diamentowym Inżynierem roku 2019 został prof. Jan Szmidt – rektor Politechniki Warszawskiej, który w imieniu odznaczonych podziękował za wyróżnienie.

Ciekawą inicjatywą Przeglądu było wręczenie wyróżnień specjalnych wybitnym indywidualnościom w dziedzinach pozatechnicznych dla osób posiadających dyplomy inżynierskie. W tym roku otrzymali je: mgr inż. Jan Kanty Pawluśkiewicz – współzałożyciel grupy muzycznej Anawa (w której grał do roku 1980), związany z Piwnicą pod Baranami i Teatrem STU oraz Teatrem Narodowym i Teatrem Powszechnym w Warszawie. Ukończył Państwową Szkołę Muzyczną oraz Wydział Architektury Politechniki Krakowskiej; ks. mgr inż. Michał Tomiak z Poznania, poza swoimi czynnościami duszpasterskimi znany z gry na saksofonie oraz kpt pilot mgr inż. Tadeusz Wrona – znany z awaryjnego lądowania na pasie Lotniska Chopina w Warszawie bez wysuniętego podwozia.

Uroczystość została uświetniona występami artystów Teatru Komedia z Krakowa. Wbrew nazwie teatru, spektakl miał podniosły charakter. Z cyklu „100 lat radości w niepodległości" aktorzy przedstawili piosenki i pieśni patriotyczne. Przy „Czerwonych makach" wszyscy powstali.

# Kariera Ewy Korzeniewskiej

Ewa Korzeniewska jest zatrudniona jako adiunkt w grupie naukowo-dydaktycznej w Instytucie Systemów Inżynierii Elektrycznej na Wydziale Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej. Swoją edukację techniczną w obszarze elektrycznym rozpoczęła w łódzkim Technikum Elektronicznym im. Jana Szczepanika, w klasie o specjalności urządzenia elektryczne, gdzie mogła rozpocząć realizację swoich marzeń i zbudować swoje pierwsze urządzenia elektroniczne. Wśród takich konstrukcji znalazło się urządzenie do rehabilitacji za pomocą podczerwieni, na które uzyskała wniosek racjonalizatorski.

Po maturze kontynuowała naukę na kierunku elektrotechnika na ówczesnym Wydziale Elektrotechniki i Elektroniki Politechniki Łódzkiej, dzięki czemu mogła posiadaną już wiedzę poszerzać. W 1995 roku uzyskała tytuł magistra inżyniera elektryka o specjalności automatyka i metrologia elektryczna. Kilka lat później, w 2007 roku, po przedstawieniu i obronie swojej pracy doktorskiej „Model stanu krytycznego nadprzewodnika wysokotemperaturowego" na tym samym Wydziale uzyskała tytuł doktora nauk technicznych.

Przez kolejne lata pracuje nad wytwarzaniem i zastosowaniem elektroprzewodzących warstw cienkich na podłożach tekstylnych, kierując swoje badania w obszar systemów tekstronicznych i elementów systemów elektroniki noszonej. Prowadzone w tej dziedzinie badania stanowiły podstawę do opublikowania wielu artykułów naukowych indeksowanych w ogólnoświatowych bazach naukowych. Wyniki prac umożliwiły jej w 2019 roku uzyskanie tytułu doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie: automatyka, elektronika i elektrotechnika. Tytuł osiągnięcia naukowego to „Wytwarzanie struktur tekstronicznych o predefiniowanych właściwościach elektrycznych metodą fizycznego osadzania próżniowego".

Wśród jej wielu zainteresowań naukowych można również znaleźć tematykę oddziaływania pola elektrycznego na owoce, wykorzystanie technologii laserowych w modyfikacji właściwości powierzchni materiałów czy też energię odnawialną.

Ewa Korzeniewska jest współautorką patentu „Sposób wytwarzania warstw superhydrofobowych na powierzchni kauczuków akrylonitrylowego i butadienowo-styrenowego, zawierających nanorurki węglowe" oraz dwóch zgłoszeń patentowych „Sposób zmniejszania tendencji wyrobów tekstylnych do pillingu" oraz „Sposób oceny tendencji wyrobów tekstylnych do pillingu". Zgłoszone patenty są efektem jej zaangażowania oraz współpracy z inżynierami informatykami, włókiennikami, chemikami i mechanikami. Bieżąca współpraca z lekarzami zaowocowała między innymi opracowaniem rozwiązań tekstronicznych dedykowanych osobom niepełnosprawnym.

Ewa Korzeniewska od wielu lat zaangażowana jest w badania dotyczące zastosowania pola elektromagnetycznego w nowoczesnych technikach.

W Stowarzyszeniu Elektryków Polskich pełni funkcję sekretarza naukowego w Komitecie ds. Zastosowań Pola Elektromagnetycznego w Medycynie. Jest również wiceprezesem Polskiego Towarzystwa Zastosowań Elektromagnetyzmu.

Swoją pasją i doświadczeniem dzieli się ze studentami prowadząc zajęcia z elektrotechniki i elektroniki, jak również z inżynierii materiałowej. Zachęca do zgłębiania tajników techniki również młodszych, organizując dla niech konkursy fizyczne i informatyczne oraz warsztaty tematyczne. Wspiera zdolną młodzież włączając się w organizację Olimpiady Wiedzy Technicznej jako członek Komitetu Głównego oraz łódzkiego Komitetu Okręgowego. Popularyzuje naukę na stanowiskach edukacyjnych na targach, piknikach naukowych, organizuje warsztaty dla młodzieży, włącza się w akcję „Dziewczyny na Politechniki" oraz prowadzi wykłady popularno-naukowe i pokazy fizyczne.

Od 1998 jest również przedsiębiorcą, a w latach 2014–2016 występowała jako ekspert w projektach unijnych skierowanych do przedsiębiorców z województwa łódzkiego.

# Spotkanie wigilijne Oddziału Łódzkiego SEP

Anna Grabiszewska
Oddział Łódzki SEP

Rok 2019 był dla SEP i Oddziału Łódzkiego rokiem szczególnym. Ostatnim akcentem tego wyjątkowego i bogatego w wydarzenia roku jubileuszowego było tradycyjne spotkanie wigilijne członków i sympatyków Oddziału Łódzkiego SEP, z udziałem zaproszonych gości, które odbyło się w dniu 13 grudnia 2019 r. W spotkaniu uczestniczyło około 110 osób.

Otwierając zebranie wiceprezes Oddziału Łódzkiego SEP Członek Honorowy SEP Andrzej Boroń powitał przybyłych: wiceprezesa SEP, Członka Honorowego SEP Jana Musiała, Członka Honorowego SEP – prezesa Oddziału Zagłębia Węglowego SEP prof. Jerzego Barglika, Członka Honorowego SEP prof. Franciszka Mosińskiego. Przywitał obecnych na sali przedstawicieli łódzkiego przemysłu i członków wspierających oraz łódzkich instytucji: Sławomira Burmanna – wiceprezesa zarządu, dyrektora operacyjnego Veolii Energii Łódź S.A, Grzegorza Sołtysiaka – prezesa ZREW Transformatory S.A., Marcina Błaszczyka – dyrektora handlowego, członka zarządu ZREW Transformatory S.A., Marka Sroczyńskiego – dyrektora generalnego PGE Dystrybucja Oddział Łódź, Pawła Zaorskiego – prezesa ERBUD INDUSTRY Centrum Sp. z o.o. oraz Michała Bursę wiceprezesa ERBUD INDUSTRY Centrum Sp. z o.o., Mirosława Urbaniaka prezesa Łódzkiej Rady Federacji Stowarzyszeń Naukowo-Technicznych NOT, Wiesławę Zewald – prezes Strefy Edukacji Sp. z o.o., reprezentującego dyrektora EC 1 Łódź Miasto Kultury Pawła Żuromskiego, reprezentującego dyrektora Oddziału Urzędu Dozoru Technicznego w Łodzi Andrzeja Stawskiego, Janusza Moosa – dyrektora Łódzkiego Centrum Doskonalenia Nauczycieli i Kształcenia Praktycznego. Powitani zostali również: prezesi zaprzyjaźnionych oddziałów SEP, dyrektorzy instytutów kierownicy i pracownicy katedr Politechniki Łódzkiej, członkowie Zarządu OŁ, Komisji Rewizyjnej i Sądu Koleżeńskiego oraz pozostali gości.

Sprawozdanie z działalności Oddziału w 2019 roku przedstawił wiceprezes Oddziału Andrzej Boroń, który pod nieobecność prezesa Oddziału Władysława Szymczyka poprowadził całe spotkanie. Towarzyszyła temu ilustrowana zdjęciami prezentacja multimedialna ukazująca główne kierunki działalności OŁ SEP oraz najważniejsze wydarzenia 2019 roku. Należały do nich m.in.: spotkanie Prezydium Oddziału Łódzkiego SEP z prezesami sąsiadujących Oddziałów SEP podczas Balu Elektryka inaugurującego rok jubileuszowy (styczeń 2019), udział przedstawicieli Oddziału

*Zebrani goście wysłuchali sprawozdania z działalności Oddziału*

w III Kongresie Elektryki Polskiej (kwiecień 2019), udział delegatów Oddziału Łódzkiego SEP w Nadzwyczajnym Walnym Zjeździe Delegatów SEP w Warszawie (czerwiec 2019), odsłonięcie tablicy pamiątkowej na terenie EC1 Łódź Miasto Kultury (czerwiec 2019), Piknik z okazji Międzynarodowego Dnia Elektryka (czerwiec 2019), seminarium wyjazdowe do Czarnogóry i Albanii pn. *Energetyka odnawialna i jądrowa* (czerwiec 2019), szkolenie dla członków komisji kwalifikacyjnych powołanych przy Oddziale Łódzkim SEP (październik 2019), gala jubileuszowa z okazji 100-lecia Oddziału Łódzkiego SEP (październik 2019), uroczystość wręczenia Odznaki *Za zasługi dla Województwa Łódzkiego* przyznanej Oddziałowi (listopad 2019). Były to także cieszące się dużym zainteresowaniem *Wieczorki z elektryką*.

W prezentacji podkreślono również, że Oddział, obok działalności gospodarczej, prowadzi różnorodne formy działalności statutowej, skierowane do członków Stowarzyszenia i środowisk naukowo-technicznych, uczniów i studentów. Są to m.in.: wydawanie kwartalnika Biuletynu Techniczno-Informacyjnego OŁ SEP, organizacja konkursów skierowanych do studentów (najlepsza praca dyplomowa magisterska i inżynierska) oraz młodzieży szkół ponadgimnazjalnych, z którymi Oddział ściśle współpracuje. Działalność na rzecz młodzieży została doceniona przez Łódzkie Centrum Doskonalenia Nauczycieli i Kształcenia Praktycznego, które w 2019 roku uhonorowało Oddział Łódzki SEP Złotym Certyfikatem KREATOR INNOWACJI, a także wyróżniono Oddział w konkursie Prezydenta Miasta Łodzi „Pracodawca kreujący i wspierający edukację".

Ważny dla Oddziału był również fakt pozytywnego audytu nadzoru i utrzymania certyfikatu Systemu Zarządzania Jakością według normy PN – EN ISO 9001:2015. Jest to potwierdzenie dobrej jakości wykonywanych przez Oddział usług w zakresie szkoleń, egzaminów, konferencji, działalności Ośrodka Rzeczoznawstwa, a także równie ważnej działalności stowarzyszeniowej.

W części oficjalnej wiceprezes SEP Jan Musiał, wiceprezes OŁ SEP Andrzej Boroń oraz prezes ŁRFSNT-NOT prof. Mirosław Urbaniak wręczyli nadane przez ZG SEP, FSNT NOT w 2019 r. odznaczenia i medale członkom OŁ SEP:

- Medal im. prof. Eugeniusza Jezierskiego otrzymał **Franciszek Wójcik**,
- Medal im. prof. Janusza Groszkowskiego otrzymała **Lucyna Drygalska**,
- Srebrną Odznakę Honorową NOT otrzymał **Krzysztof Dzieciątkowski**.

Miłym akcentem było uhonorowanie Oddziału Medalem 100-lecia Oddziału Zagłębia Węglowego, który na ręce wiceprezesa OŁ SEP Andrzeja Boronia wręczył prof. Jerzy Barglik – prezes OZW SEP.

*Od lewej: prof. Franciszek Mosiński, Andrzej Kanicki, Paweł Rózga, Anna Grabiszewska*

Po raz czwarty wręczono również Złote Pióra Oddziału Łódzkiego SEP za aktywny, merytoryczny oraz publicystyczno-dziennikarski wkład pracy w redagowanie Biuletynu Techniczno-Informacyjnego Oddziału Łódzkiego SEP. Pióra, wręczone przez prof. Franciszka Mosińskiego – przewodniczącego Kapituły oraz Annę Grabiszewską – sekretarza Kapituły, w 2019 roku otrzymali: dr hab. inż. Paweł Rózga, prof. PŁ i dr hab. inż. Andrzej Kanicki, prof. nadzw.

Miłym akcentem spotkania było wręczenie stypendium im. Lecha Grzelaka, które otrzymali: Dawid Chudy – student Politechniki Łódzkiej na studiach doktoranckich kierunek *Elektrotechnika* oraz Michał Wesołowski

*Uroczystość wręczenia stypendium im. Lecha Grzelaka. Od lewej: Michał Wesołowski, Dawid Chudy, Halina Grzelak, Andrzej Boroń*

*Od lewej: Lucyna Drygalska, Franciszek Wójcik, Jan Musiał, Andrzej Boroń*

*Od lewej: Jan Musiał, Krzysztof Dzieciątkowski, Mirosław Urbaniak*

– student Politechniki Wrocławskiej na kierunku *Automatyka i Robotyka* specjalność: automatyzacja maszyn, napędów i urządzeń. Okolicznościowe dyplomy wręczyli Halina Grzelak i Andrzej Boroń.

*Moment wręczenia medalu 100-lecia OZW SEP. Prof. Jerzy Barglik i Andrzej Boroń*

Wręczenia dyplomów i nagród w konkursie na najlepszą pracę dyplomową inżynierską i magisterską wykonaną na Wydziale Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej w roku akademickim 2018/2019 dokonali: wiceprezes Andrzej Boroń i dr hab. inż. Andrzej Kanicki, prof. nadzw. – przewodniczący Komisji Konkursowej.

W konkursie inżynierskim Komisja nagrodziła i wyróżniła następujące prace:

- I miejsce – **Julia Dominiak** za pracę pt. „Konstrukcja manipulatora sterowanego na podstawie sygnałów bioelektrycznych". Promotorzy: dr inż. Andrzej Romanowski i dr inż. Zbigniew Chaniecki;
- II miejsce – **Adam Perlik** za pracę pt. „Modułowy system automatycznego sterowania oświetleniem oraz urządzeniami elektrycznymi w gospodarstwie domowym z wykorzystaniem sieci WIFI". Promotor: dr inż. Tomasz Rybicki;
- III miejsce – **Jakub Felcenloben** za pracę pt. „Electronic Control System for a Solar Powered Electric Car". Promotor: dr inż. Piotr Korbel;
- wyróżnienie – **Konrad Koperek** za pracę pt. „Zastosowanie mikrofonów mikromaszynowych w ultradźwiękowej detekcji wycieków gazu". Promotor: dr inż. Piotr Pietrzak;
- wyróżnienie – **Marta Kania** za pracę pt. „Wielowymiarowy interfejs uzytkownika sterowany przez Arduino". Promotor: dr hab. inż. Jacek Kabziński, prof. PŁ;
- wyróżnienie – **Łukasz Sienkiewicz** za pracę pt. „System optycznego rozpoznawania rodzaju cieczy bezbarwnych". Promotor: dr inż. Tomasz Sobieraj.

W konkursie magisterskim Komisja nagrodziła i wyróżniła następujące prace:

- I miejsce – **Jakub Stańczyk** za pracę pt. „Przemysłowy system sterowania kotłów gazowych ze sterownikiem PLC". Promotor: dr inż. Tomasz Sobieraj;
- II miejsce – **Dominika Wójcik** za pracę pt. „Układ do wielopunktowego pomiaru siły w aplikacjach medycznych". Promotor: dr inż. Marcin Kociołek;
- III miejsce – **Martyna Wasilewska** za pracę pt.: „Metody uczenia maszynowego w zastosowaniu automatycznego wyznaczania arteryjnej funkcji wejścia na potrzeby ilościowej oceny perfuzji nerek". Promotor: dr hab. inż. Artur Klepaczko;
- wyróżnienie – **Damian Wroński** za pracę pt.: „Robotyczny system napędowy dla silników bezszczotkowych wraz z interfejsem użytkownika". Promotorzy: dr hab. inż. Grzegorz Granosik, prof. PŁ i mgr inż. Mateusz Kujawiński;
- wyróżnienie – **Filip Chudzik** za pracę pt.: „A high – power single – phase voltage inwerter with precise current regulation". Promotor: dr inż. Rafał Nowak;
- wyróżnienie – **Marcin Kaczorowski** za pracę pt.: „Falownik napięciowy z kompensacją czasów martwych". Promotor: dr inż. Tomasz Rybicki.

*Wręczenia wyróżnień w konkursie na najlepszą pracę dyplomową inżynierską i magisterską. Od lewej: Rafał Nowak, Filip Chudzik, Andrzej Kanicki, Andrzej Boroń*

Spotkanie uświetnił koncert kolęd i piosenek świątecznych w wykonaniu artystów Fundacji AVANGART, Katarzyny Zając-Caban i Piotra Wołosza. Artyści wprowadzili wyjątkowy, świąteczny klimat. Była to prawdziwa uczta dla duszy, pięknie brzmiały tego dnia zarówno tradycyjne kolędy, jak również znane wszystkim świąteczne piosenki. Solistom przy kolędach wtórowali uczestnicy spotkania.

*Występ artystów Fundacji AVANGART, soliści Katarzyna Zając-Caban i Piotr Wołosz wraz z muzykami*

Drugą, już nieoficjalną, część wieczoru rozpoczęto od tradycyjnego podzielenia się opłatkiem i poczęstunkiem zestawu potraw Wigilijnych. W świątecznej atmosferze, komentowano mijający rok i składano sobie życzenia.

*Foto: Archiwum Oddziału Łódzkiego SEP*

# 80 lat minęło jak jeden dzień

Henryk Małasiński

Dzień 26 marca 1940 roku nie był wymarzonym terminem przyjścia na świat w okupowanej przez Niemców Łodzi. Rodzice byli pochodzenia robotniczego, lecz mieszkali w dobrych warunkach mieszkaniowych na Chojnach, przy dawnej ulicy Literackiej, a obecnie Broniewskiego.

Dobre warunki mieszkaniowe stały się dla nas tragedią. Niemcy wyrzucili nas dosłownie na bruk. Zamieszkaliśmy w lokalu będącym raczej komórką, a nie mieszkaniem.

W krótkim czasie ojciec został zabrany do pracy przymusowej do Niemiec, a matkę zatrudniono w zakładach włókienniczych pod zarządem niemieckim. W maju 1945 r. ojciec wrócił do domu, niestety zginął 7 września 1945 r. w tragicznym wypadku tramwajowym. Z matką zostaliśmy przygarnięci przez rodzinę do jednego pokoju mieszkalnego bez podstawowych wygód.

Po ukończeniu szkoły podstawowej w 1947 r. zdałem egzamin i zostałem przyjęty do Technikum Przemysłu Włókienniczego na Wydział Elektryczny w Łodzi przy ul. Żeromskiego 115 (dawnej Państwowej Szkoły Techniczno-Przemysłowej), której dyrektor Kazimierz Jarzębiński był w latach 1949–1952 prezesem NOT w Łodzi. Szkoła była wspaniale wyposażona w obiekty warsztatowe i stanowiła w początkowym okresie tworzenia Politechniki Łódzkiej jej zaplecze techniczne.

W 1959 r. zdałem egzamin i zostałem przyjęty w poczet studentów Politechniki Łódzkiej. W 1964 r. złożyłem pracę magisterską badawczo-laboratoryjną w Katedrze Aparatów Elektrycznych pod kierunkiem profesora Starczakowa i uzyskałem tytuł magistra inżyniera. Miałem zaszczyt słuchać wykładów uznanych, wybitnych profesorów i być przez nich często egzaminowanym. Byli wśród nich prof. B. Konorski, prof. W. Jwaszkiewicz, prof. Koter, prof. M. Jabłoński, prof. St. Dzierzbicki, prof. Sochor, prof. Pełczewski i oczywiście legenda studentów pierwszego roku – prof. J. Buchholtz.

Nie ominęło mnie szkolenie wojskowe oraz obóz wojskowy, na który pojechałem wraz jednostką służby zasadniczej z południowo-wschodniej Polski na poligon nad morze. Podróż odbyła się wojskowym pociągiem kolejowym wraz z sprzętem ciężkiej artylerii przeciwlotniczej i transporterami. W czasie trzydniowej jazdy spaliśmy na pryczach w wagonach towarowych, a wyżywienie stanowił „kipiatok" i kawa wojskowa w kostkach (podobno z bromem) oraz wojskowe suchary z tuszonką. Na poligonie uczestniczyłem w strzelaniu artyleryjskim do „rękawa" ciągnionego przez samolot na wysokości ok. 2000 m oraz w nocnym strzelaniu do desantu morskiego. Oczywiście odbyłem również strzelanie z kałasznikowa. Dwa lata później zostałem powołany na kurs oficerski do jednostki wojskowej w południowo–-zachodniej Polsce, gdzie odbyłem szkolenie w zakresie uzbrojenia samolotu, wówczas MIG 15, i również w strzelaniu z broni krótkiej, a po ukończeniu kursu otrzymałem nominacje na podporucznika.

W tym samym czasie zostałem zatrudniony w Fabryce Transformatorów i Aparatury Trakcyjnej „Elta" na stanowisku konstruktora w zespole aparatury dźwignicowej, a następnie kierownika zespołu konstrukcyjnego obsługi produkcji.

Przeszedłem w ramach stażu pracowniczego praktykę na oddziałach technologicznych, narzędziowni, w warsztacie prototypów, laboratorium niskiego napięcia, w dziale głównego energetyka oraz w wydziale kontroli technicznej wyrobów.

Pomimo wykształcenia jako elektryk, w zespole zajmowałem się, z dobrymi rezultatem, konstrukcjami mechanicznymi urządzeń aparatury dźwignicowej. Byłem współautorem urządzenia technologicznego do produkcji pierwszych w Polsce oporników z taśmy wysokochromowej z huty Bayildon tzw. bayildonalu, zastępując przedwojenne przestarzałe technicznie żeliwne elementy oporowe nowoczesnymi, ze stali chromowej.

Sprzyjająca atmosfera pracy w zespole konstrukcyjnym owocowała współudziałem w uzyskaniu w 1967 r. Nagrody NOT za wybitne osiągnięcia w dziedzinie techniki, jak również uzyskaniem kilku świadectw autorskich o dokonaniu wynalazków i wzorów użytkowych.

W 1966 r. kol. Sergiusz Górski zaproponował mi wstąpienie w szeregi członków Stowarzyszenia Elektryków Polskich w kole „Elta" przynależnej wówczas do Sekcji Trakcji Elektrycznej. Członkiem SEP OŁ jestem do obecnej chwili. W tym roku również założyłem rodzinę.

Sytuacja gospodarcza w kraju odbiła się negatywnie na dalszym rozwoju „Elty", w związku z powyższym w 1970 r. na przeszedłem do biura projektów „Miastoprojekt Łódź". Był to okres, gdy władze podjęły decyzje o rozwoju budownictwa mieszkaniowego prefabrykowanego. Zostałem zatrudniony początkowo na stanowisku starszego asystenta projektanta, a po uzyskaniu uprawnień budowlanych, do projektowania oraz do wykonawstwa bez ograniczeń w zakresie sieci, instalacji i urządzeń elektrycznych i elektroenergetycznych – na stanowisku projektanta, kierownika pięcioosobowego zespołu projektowego.

W trakcie pracy zawodowej ukończyłem studia podyplomowe w zakresie elektroenergetyki na Politechnice Łódzkiej oraz studium w zakresie metod i technik w projektowaniu technicznym w Katowicach, w Zakładzie Kształcenia i Doskonalenia Kadr Kierowniczych. W końcowym

czasie działalności biura projektów pełniłem funkcję zastępcy kierownika wielobranżowej pracowni projektowej.

W pracy zawodowej od samego początku zajmowałem się instalacjami elektrycznymi przy wdrażaniu systemów budownictwa wielkopłytowego, takiego jak ŁSM,W-70 i Wk-70. Przy wdrażaniu systemu W-70 i Wk-70 współpracowałem z Centralnym Biurem Projektów Budownictwa Ogólnego w Warszawie, z autorami wdrażania rozwiązań nowych technologii montażu bezbruzdowego instalacji elektrycznych, preferowanych w ramach systemu przez kol. Wiaderka i Boczkowskiego z Elektromontażu Warszawa.

W ramach wdrażania budownictwa wielkopłytowego uczestniczyłem w projektowaniu instalacji elektrycznych zaplecza prefabrykacji przy ul. Pojezierskiej (obecne tereny Tesco) oraz przy ul Romana. Tematyka opracowań projektowych obejmowała całe spektrum budownictwa ogólnego, jak sieci sn, nn, oświetlenia ulic, stacji transformatorowych, instalacji mieszkaniowych i usługowych osiedla Chojny i Kurczaki (ok. 100 000 mieszkańców).

Poza obiektami budownictwa mieszkaniowego uczestniczyłem w projektowaniu obiektów służby zdrowia, szkolnictwa, domów kultury, hal sportowych oraz obiektów przemysłowych, w tym o zagrożeniu wybuchowym zarówno na terenie Łodzi, jak i województwa.

W latach 90., wobec upadku biura projektów „Miastoprojekt Łódź", podjąłem pracę w kilku prywatnych zespołach projektów, w których wykonałem szereg opracowań projektowych, w tym rozległe sieci kabli sn, stacje transformatorowe, sieci i instalacje nn dla Sortowni Odpadów Komunalnych na Lublinku oraz podobną dla Bazy Magazynowo-Dystrybucyjnej dla kontenerów w Lućmierzu. W kolejnych latach projektowałem linie kablowe sn i również stacje transformatorowe dla znacznej liczby budowanych centrów handlowych jak: Makro, Tesco na Widzewie, Tesco na ul. Pojezierskiej, Hipernowa (obecnie Carrefur) na ul. Plantowej, Galeria Łódzka przy al. Piłsudskiego, jak również zasilanie kablowe sn i stację transformatorową abonencko-sieciową wraz z przebudową sieci miejskiej nn w obrębie ul Wólczańskiej 178 projektowanego zespołu biurowców po dawnej Fabryce im. J. Strzelczyka.

W kolejnych latach zajmowałem się projektowaniem przy mniejszych inwestycjach i częściej angażowałem się w pełnieniem nadzorów inwestorskich między innymi na budowach: Galerii Łódzkiej, budynków mieszkalnych wielorodzinnych z garażami podziemnymi, przy rozbudowie Sądu Rejonowego i Okręgowego przy ul Uniwersyteckiej, przebudowie budynku Miejskiego Ośrodka Geodezji (dawnego budynku Miastoprojektu Łódź) oraz rozbudowie Szpitala Miejskiego w Brzezinach. Niestosownie byłoby prezentować przebieg 45-letni pracy zawodowej, gdyż obecnie w pracę zawodową angażuję się sporadycznie, między innymi przy sporządzaniu opinii technicznych.

Z chwilą zatrudnienia w „Miastoprojekcje" kontynuowałem przynależność do SEP-u, początkowo jako członek koła, a następnie jako jego prezes. Nawiązałem współpracę z Oddziałowym Kolegium Sekcji Instalacji i Urządzeń Elektrycznych prowadzonym przez kol. Jana Lisowskiego. Wówczas Kolegium zrzeszało większość kół z biur projektów i przedsiębiorstw zatrudniających elektryków w sferze budownictwa. Ich członkowie stanowili znaczącą grupę osób zrzeszonych w Oddziale Łódzkiego SEP. Kolegium organizowało kilkakrotnie konferencje krajowe o tematyce ochrony przeciwporażeniowej w sieciach i instalacjach niskiego napięcia. Organizatorem, jako sekretarz konferencji, był kol. Krzysztof Sałasiński. Moje zaangażowanie dotyczyło współpracy z wydawnictwem COSIW w zakresie przygotowania materiałów konferencyjnych oraz kontaktów z Centralnym Kolegium SIiUE. Z rekomendacji OŁ SEP uczestniczyłem, jako egzaminator, w Zespole Egzaminacyjnym Urzędu Wojewódzkiego do spraw Uprawnień Budowlanych, a następnie w 2000 r. w zespole powołującym Łódzką Oddziałową Izbę Inżynierów Budownictwa. W ŁOIIB przez kilka kadencji byłem członkiem Komisji Kwalifikacyjnej, a obecnie jestem zapraszany jako egzaminator wspierający zespoły egzaminacyjne.

Za działalność zawodową oraz społeczna byłem wyróżniony odznaczeniami państwowymi, Stowarzyszenia Elektryków Polskich i Polskiej Izby Inżynierów Budownictwa.

Poza zainteresowaniami zawodowymi starałem się być aktywny również sportowo i turystycznie. W okresie studiów brałem udział w sekcji piłki siatkowej PŁ, jeździłem na łyżwach, podróżowałem z kolegami autostopem zwiedzając Pomorze Zachodnie, uczestniczyłem w spływie kajakowym na rzece Wda, od Szczecinka do Piły oraz na jeziorze Jeziorak, kanałem Elbląskim do Ostrudy, rzeką Drwęcą oraz w rajdach turystycznychh w Góry Świętokrzyskie.

Pracując w „Miastoprojekcie" uczestniczyłem w zawodach piłkarskich między pracowniami. Znalazłem się w gronie kolegów, którzy uprawiali narciarstwo zjazdowe. Podjąłem próby uprawiania tego sportu z mizernymi efektami, dopiero jazda na nartach „carvingowych" stała się przyjemnością. Kilka lat temu jeździłem na lodowcu Kitsteinhorn (3000 m) w Kapron oraz na stokach ośrodka sportów zimowych „Hohzillertal" w Tyrolu. Obecnie już nie podejmuję takich eskapad.

Latem wraz z żoną i córką odbywaliśmy wycieczki piesze w Pieninach zwiedzając wąwóz Homole, Sokolicę nad przełomem Dunajca, Czorsztyn, Nidzicę i oczywiście uczestnicząc w spływie Dunajcem.

W Tatrach zwiedziliśmy większość dolin, w tym Czarny Staw pod Rysami, Dolinę Roztoki i Pięciu Stawów, Rusinową Polanę, Dolinę Gąsienicową z Murowańcem oraz szlakiem w kierunku przełęczy Zawrat, obok kamiennego obelisku poświeconego Karłowiczowi, Dolinę Kondratową przez Kalatówki i dalej Przełęczą Kondracką do Doliny Małej Łąki, jak również Dolinę Kościeliską z mroczną Halą Ornak i oczywiście Dolinę Chochołowską. Nie obce były nam Sudety, w tym Karpacz z wędrówką poprzez Strzechę Akademicką i uroczą Samotnię. W Szklarskiej Porębie od Szrenicy odwiedziliśmy Śnieżne Kotły. Kotlinę Kłodzką zwiedziliśmy objazdowo, od Międzygórza pod Śnieżnikiem, przez Polanicę z Aleją Gwiazd Polskiej Koszykówki z odciskiem dłoni olimpijczyka Jerzego Piskuna (mojego szwagra), Duszniki z Zieleńcem, gdzie jeździłem na nartach, Kudową, Karłowem ze Szczelincem, Górami Stołowymi i Wambierzycami.

Wraz z przyjaciółmi organizowaliśmy turystykę karawaningową nad jeziora między Koninem i Gnieznem.

Pierwsze wakacje za granicą spędziliśmy jadąc do Bułgarii przez Ukrainę i znaną Polakom miejscowość Zaleszczyki oraz przejście graniczne w Czerniowcach. W Bukareszcie widzieliśmy zniszczenia po trzęsieniu ziemi. W Bułgarii biwakowaliśmy na kempingu Łozieniec, za pięknym starym Sozopolem. W następnych latach zwiedzaliśmy dwukrotnie Jugosławię, biwakując na kempingach Pakostane oraz Omiś w okolicach Splitu (kompleks pałacowy Dioklecjana). Wracaliśmy przez Mostar, wzdłuż rzeki Neretwy, z nocnym biwakowaniem nad jeziorem wśród gór Chorwacji, dalej przez Sarajewo (Bośnia) i Wojwodinę z miastem Wukowar, gdzie potem wybuchły walki etniczne. W kolejnym roku podobną trasą, lecz przez Serbię i wzdłuż Bułgarii wybraliśmy się do Turcji na kemping nad morzem Marmara. Zwiedziliśmy Stambuł, w tym Haga Sofia z VI wieku – kościół chrześcijański, potem meczet, a obecnie muzeum oraz ogromny Kryty Bazar, w którym polscy turyści często się gubili.

Pierwszy rodzinny wyjazd za granicę zachodniej Polski odbyliśmy trabantem do NRD, zwiedzając Berlin wschodni, w tym aleję Unter der Linden, Bramę Brandenburską z Murem Berlińskim oraz Aleksanderplatz (Plac cara Rosji Aleksandra I), a następnie Poczdam. W Poczdamie zwiedziliśmy pałac Cecilienhof, gdzie obradowali uczestnicy Konferencji Poczdamskiej w 1945 r.: Wilston Churchill, Harry Truman i Józef Stalin. W czasie konferencji Harry Truman wydał rozkaz zrzucenia bomby atomowej na Hiroszimę.

W Poczdamie dużą atrakcją turystyczną jest Pałac Letni króla Fryderyka Wielkiego Sanssusi wraz z parkiem – ogrodem. Drogę powrotną wykonaliśmy objazdem przez NRD do Drezna, zwiedzając Galerię Drezdeńską.

Kolejne cztery wyjazdy rodzinne, tym razem do Francji, już większym samochodem wynikały ze sprzyjających okoliczności. Szwagier Jerzy Pisku zamieszkał czasowo w Auxere, gdzie trenował lokalną młodzieżową

drużynę koszykarzy. Dwukrotnie jechałem przez Hanower, Dortmund, Achan i w Belgii przez Liege, Sedan (znany z walk w 1870 r. z Prusami) oraz Chalons our Marne gdzie toczyły się walki w obronie Paryża w 1914 r. (cud nad Marną z pomnikiem i cmentarzem poległych). Dwukrotnie podróżowaliśmy inną trasą, przez Kassel, nocując w bezobsługowym hotelu Formuły 1, dalej przez Saarbrucken Metz (Francja), zwiedzając w części twierdzę Verdun (walki nad Mozą w 1916 r.).

Przy okazji pobytu we Francji jeździliśmy do Paryża, zwiedzając ciekawsze obiekty i dzielnice, jak dzielnicę nowoczesnej zabudowy La Defense, a przede wszystkim popularne miejsca: wieżę Eiffla, Łuk Triumfalny, Avenue des Champs-Élysées, Katedrę Notre Dame, Bazylikę Sacré-Cœur, Pałac Inwalidów z grobem Napoleona, dzielnicę Montmarte i oczywiście cmentarz Père-Lachaise. Zwiedziłem również inne okolice we Francji jak Orlean i kilka zamków nad Loarą, w tym zamek Chambord. Poznałem również trud zbiorów winorośli w okolicy Chablis w Burgundii, znanej z wyśmienitych win. Inne wyjazdy rodzinne były wyjazdami zbiorowymi do Włoch. Brałem udział w wyjazdach organizowanych przez OŁ SEP do Lwowa i Litwy, Łotwy i Estonii.

Obecnie spędzam często czas na zajęciach na leśnej działce (w granicy której rośnie ogromny dąb co najmniej stuletni) w miejscowości Dębniak na skraju Sokolnik. Mogę stwierdzić, że moim „hobby" była i jest praca na działce. W latach 80. z moim szwagrem Ryszardem zbudowaliśmy z okrąglaków przyzwoity dom letniskowy ok. 50 m2 (z murowanym kominkiem) na skraju Puszczy Bolimowskiej, w miejscowości Mogiły w pobliżu rzeki Rawki. Miejscowość ta znana jest z mogił powstańców z 1863 r. oraz walk i mogił wojskowych z I wojny światowej. Tutaj wojska niemieckie zastosowały pierwszy raz atak gazowy (chlor) – jest to fakt mało znany.

Oosiemdziesiąt lat życia minęło jak jeden dzień. Pozostały wspomnienia, których każdy epizod mógłby stanowić odrębną opowieść. Życie płynie dalej, jak daleko – kto to wie?

# Spotkanie Centralnego Kolegium Sekcji Trakcji Elektrycznej SEP

Jakub Gałęski
Koło Terenowe nr 2

W dniu 21 listopada 2019 r. na terenie zajezdni tramwajowej MPK-Łódź Sp. z o.o. przy ulicy Telefonicznej odbyło się spotkanie Centralnego Kolegium Sekcji Trakcji Elektrycznej Stowarzyszenia Elektryków Polskich. Oprócz przybyłych członków kolegium, Józefa Dąbrowskiego z Instytutu Elektrotechniki w Warszawie, Stefana Granatowicza z Zarządu Głównego SEP, Michała Grzegrzółki z Tramwajów Warszawskich, Witolda Hejnryjcha z PRKil Trakcja – Warszawa, Mirosława Herman z PKP Energetyka S.A. Oddział w Warszawie, Adama Majrzyckiego z MPK Poznań, Wiesława Majewskiego z Instytut Kolejnictwa w Warszawie, Janusza Prusaka z Politechniki Krakowskiej, Władysława Reducha z PKP CARGO Gdańsk, Łukasza Sobiesiuka z APS Energia z Warszawy, Sławomira Wesołka z APS Energia z Warszawy, Waldemara Zająca z Politechniki Krakowskiej, Łukasza Soszyńskiego z MPK Poznań, w spotkaniu uczestniczyli zaproszeni goście: Władysław Szymczyk – prezes Stowarzyszenia Elektryków Polskich Oddział Łódzki, Anna Grabiszewska – dyrektor Biura Oddziału Łódzkiego Stowarzyszenia Elektryków Polskich, Janusz Andrzejewski – prezes Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji RP Oddział w Łodzi oraz Sergiej Wasiljew – prokurent firmy Pluton Polska.

Wśród licznie zgromadzonych w spotkaniu CKSTE SEP ze strony gospodarza spotkania, MPK-Łódź Sp. z o.o., udział wzięli: Krzysztof Kamiński – wiceprezes, Renata Sytyk-Zatorska – dyrektor ds. inwestycji strategicznych i funduszy zewnętrznych, a także kadara kierownicza z Zakładów Eksploatacji Tramwajów, Zakładu Techniki, Zakładu Torów i Sieci oraz Działu Technicznego.

W pierwszej części spotkania omówiono sprawy związane z bieżącą działalnością CKSTE SEP, podsumowano przebieg XII Międzynarodowych Targów Kolejowych TRAKO, które odbyły się w 26–29 września 2019 w Gdańsku. Na koniec tej części z okazji przejścia na emeryturę, Adam Majchrzycki – dyrektor ds. infrastruktury w MPK Poznań został uhonorowany pamiątkową tablicą wykonaną przez MPK – Łódź Sp. z o.o.

Drugą część kolegium otworzył referat Jakuba Gałęskiego z MPK-Łódź Sp. z o.o. pt. „Historia zasilania sieci tramwajów łódzkich", po którym Sergiej Wasiljew – prokurent firmy Pluton Polska przedstawił urządzenia i aparaty elektroenergetyki trakcyjnej produkowane przez firmę Pluton.

Następnie uczestnicy spotkania udali się na budowę nowej podstacji trakcji tramwajowej „Telefoniczna" na terenie zajezdni przy ulicy Telefonicznej, której inwestorem jest MPK-Łódź Sp. z o.o., a generalnym wykonawcą firma Pluton Polska.

Nowa podstacja trakcyjna o mocy trakcyjnej 6,4 MVA zastąpi dotychczas eksploatowaną podstację o mocy 4,8 MVA. Oprócz zwiększenia mocy wynikającej z wprowadzania do ruchu nowoczesnych tramwajów, w nowej podstacji zastosowano rozdzielnicę średniego napięcia opartą na wyłącznikach próżniowych, transformatory trakcyjne wykonane jako suche, prostowniki trakcyjne ze sterownikiem kontrolującym stan diod oraz rozdzielnicę prądu stałego wyposażoną w wyłącznik szybki na wysuwnych wózkach.

Na zakończenie spotkania CKSTE SEP zwiedzono nową halę serwisową do obsługi niskopodłogowych tramwajów wybudowanej na terenie zajezdni przy ulicy Telefonicznej. Inwestorem tej hali było również MPK – Łódź Sp. z o.o. Zwiedzający obiekt mogli się przekonać, że jest on tak skonstruowany, aby serwis tramwajów niskopodłogowych był przeprowadzony w możliwie najkrótszym czasie.

*Zwiedzanie podstacji trakcji tramwajowej „Telefoniczna"*

# Rozstrzygnięcie Konkursu na najlepszą pracę dyplomową magisterską na Wydziale Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej

Do tradycyjnego konkursu na najlepszą pracę dyplomową magisterską w roku akademickim 2018 / 2019, organizowanego przez Zarząd Oddziału Łódzkiego SEP i Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej zgłoszono 11 prac dyplomowych ocenionych przez Komisję Konkursową w składzie: dr hab. inż. Andrzej Kanicki (przewodniczący), dr hab. inż. Szymon Grabowski prof. nadzw., dr hab. inż. Ryszard Pawlak prof. nadzw., dr hab. inż. Maciej Sibiński, dr inż. Mariusz Jabłoński, dr inż. Jerzy Powierza, dr inż. Witold Marańda, dr inż. Krzysztof Tomalczyk, dr inż. Tomasz Sobieraj

Przy ocenie prac Komisja brała pod uwagę: nowoczesność tematyki, użyteczność i przydatność dla gospodarki narodowej uzyskanych wyników badań, pracochłonność, poprawność językową, stronę graficzną oraz deklarowaną i wykorzystaną w czasie wykonywania pracy literaturę polską i obcojęzyczną.

Po przeprowadzonej analizie i dyskusji Komisja ustaliła podany niżej podział nagród. Wręczenie dyplomów i nagród odbyło się w dniu 13 grudnia 2019 r., podczas tradycyjnego spotkania wigilijnego Oddziału Łódzkiego SEP.

W dalszej części biuletynu zamieszczamy streszczenia prac laureatów trzech pierwszych miejsc oraz osób wyróżnionych.

Na podstawie protokołu Komisji Konkursowej

*(AG)*

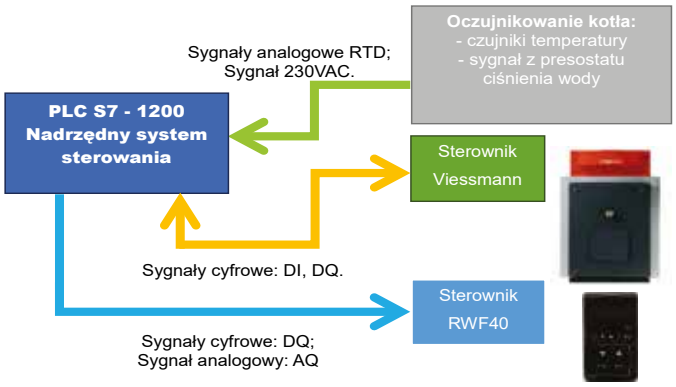
| Rodzaj nagrody | Autor | Tytuł | Promotor | Instytut lub Katedra |
|---|---|---|---|---|
| I nagroda | Jakub Stańczyk | Przemysłowy system sterowania kotłów gazowych ze sterownikiem PLC | dr inż. Tomasz Sobieraj | Instytut Automatyki |
| II nagroda | Dominika Wójcik | Układ do wielopunktowego pomiaru siły w aplikacjach medycznych | dr inż. Marcin Kociołek | Instytut Elektroniki |
| III nagroda | Martyna Wasilewska | Metody uczenia maszynowego w zastosowaniu do automatycznego wyznaczania arteryjnej funkcji wejścia na potrzeby ilościowej oceny perfuzji nerek | dr hab. inż. Artur Klepaczko | Instytut Elektroniki |
| wyróżnienie | Damian Wroński | Robotyczny system napędowy dla silników bezszczotkowych wraz z interfejsem użytkownika | dr hab. inż. Grzegorz Granosik, prof. PŁ, mgr inż. Mateusz Kujawiński | Instytut Automatyki |
| wyróżnienie | Filip Chudzik | A high – power single – phase voltage inverter with precise current regulation | dr inż. Rafał Nowak | Instytut Automatyki |
| wyróżnienie | Marcin Kaczorowski | Falownik napięciowy z kompensacją czasów martwych | dr inż. Tomasz Rybicki | Instytut Automatyki |

# Przemysłowy system sterowania kotłów gazowych ze sterownikiem PLC

Jakub Stańczyk

We współczesnym przemyśle w coraz większym zakresie dąży się do automatyzacji różnych układów sterowania. Powszechnym rozwiązaniem wykorzystywanym do sterowania procesami produkcyjnymi są programowalne sterowniki logiczne (PLC).

W ramach prezentowanej pracy magisterskiej został wykonany w całości projekt automatyki przemysłowej obejmujący realizację sterowania kotłownią zakładu produkcyjnego. Sterowaniu podlegają kotły gazowe Viessmann Vitoplex 100, modulator palnika gazowego Siemens RWF40, pompy wody, system utrzymywania temperatury wody w układzie C.W.U oraz system bezpieczeństwa pracy wymiennika ciepła. Uproszczony schemat układu sterowania przedstawiony został na rysunku 1.




*Rys. 1. Schemat układu sterowania*

Dodatkowo w celu wizualizacji opisywanych procesów zaprogramowany został panel HMI oraz zaproponowano zdalny dostęp do systemu za pośrednictwem technologii VNC.

W ramach pracy zrealizowano zadania z zakresu: automatyki, elektrotechniki, mechaniki, hydrauliki, pneumatyki i technologii informatycznych. Projekt obejmuje wszystkie etapy tworzenia produktu automatyki przemysłowej.

Zrealizowany układ gwarantuje bezawaryjne działanie systemu w automatycznym trybie pracy. Wizualizacja HMI, jak również jej zdalny dostęp, pozwala na szybsze reagowanie w sytuacjach krytycznych. Archiwizowane dane oraz wykresy zmiennych procesowych zapewniają możliwość analizy przebiegu całego procesu. Wykonany system automatyki jest kompatybilny z przyszłym planem rozwoju fabryki w zakresie IoT i pozwala na optymalizację działań działu technicznego.

Wdrożenie projektu spowodowało optymalizację całego procesu. Obniżone zostały także znacząco koszty eksploatacji systemu grzewczego w przedsiębiorstwie spowodowane eliminacją wcześniej występujących awarii i przestojów, głównie związanych z koniecznością ręcznego sterowania wielu elementów kotłowni.

# Układ do wielopunktowego pomiaru siły w aplikacjach medycznych

Dominika Wójcik

Wielopunktowe układy pomiaru sił stosowane są w medycynie coraz powszechniej. Ich wzrastająca popularność wynika z możliwości pomiaru rozkładu sił, który w wielu dziedzinach medycznych jest kluczowym czynnikiem w poszukiwaniu odstępstw u pacjenta. Przed wielopunktowymi systemami pomiaru sił w aplikacjach medycznych stoi jednak wiele wyzwań. Precyzja tych układów stanowi często najważniejsze wyzwanie, z którym mierzą się systemy ostrzegające lekarza o nadmiernie przyłożonej sile.

Celem pracy było zaprojektowanie, zbudowanie, uruchomienie oraz przebadanie wielopunktowego systemu pomiaru sił. Cel pracy został osiągnięty. W ramach pracy został zbudowany układ pomiarowy siły dla dwóch czujników: Flexiforce A301 i tensometru.

**Słowa kluczowe:** pomiar siły, układ pomiarowy, PCB, układ elektroniczny.

# Metody uczenia maszynowego w zastosowaniu do automatycznego wyznaczania arteryjnej funkcji wejścia na potrzeby ilościowej oceny perfuzji nerek

Martyna Wasilewska

Popularnym badaniem wykonywanym w celu ilościowej oceny perfuzji nerek jest DCE-MRI – metoda dynamicznej sekwencji obrazów rezonansu magnetycznego z użyciem środka cieniującego. Dzięki zastosowaniu jednego z wielu opracowanych modeli farmakokinetycznych można ocenić parametry perfuzji na podstawie obrazu.

Niezależnie od wybranego modelu, konieczne jest wyznaczenie arteryjnej funkcji wejścia, czyli krzywej stężenia środka cieniującego w aorcie zstępującej w czasie. Funkcję tę zwykle wyznacza się manualnie, co zwiększa błąd wspomnianej metody. Celem tej pracy jest próba automatyzacji procesu wyznaczania arteryjnej funkcji wejścia, z uwzględnieniem

trudności, jaką jest pojawiający się w badaniach wykonanych metodą DCE-MRI artefakt wpływu. Proponowane rozwiązanie ma dwa etapy: pierwszy polega na wysegmentowaniu aorty zstępującej za pomocą popularnych filtrów i funkcji unaczynienia. Drugim etapem jest grupowanie wektorów z wysegmentowanej aorty i wybór tego obszaru, który znajduje się możliwie najbliżej tętnic nerkowych, a w jego obszarze nie zachodzi artefakt wpływu. Ma to zwiększyć dokładność i wiarygodność tej metody oceny perfuzji nerek.

Zaproponowaną metodę zastosowano do rzeczywistych danych dziesięciu zdrowych ochotników. Dla zwiększenia wiarygodności automatycznej segmentacji aorty, dla każdego badania wykonano też ręczną segmentację. Wyniki GFR otrzymane na podstawie obu sposobów segmentacji porównano z tymi otrzymanymi metodami nieobrazowymi. Są to klirens joheksolu (złoty standard) oraz wynik eGFR ze stosowanego klinicznie równania MDRD.

Precyzja zaproponowanej metody jest porównywalna ze spotykaną w literaturze. Wykazana zgodność z metodami referencyjnymi jest akceptowalna i niewiele mniejsza niż zgodność pomiędzy samymi metodami odniesienia.

Zgodnie z założonym celem, opisana metoda pozwala w dużej mierze zautomatyzować jeden z pierwszych etapów ilościowej perfuzji nerek, eliminując błąd spowodowany często występującym przy tym sposobie obrazowania artefaktem wpływu.

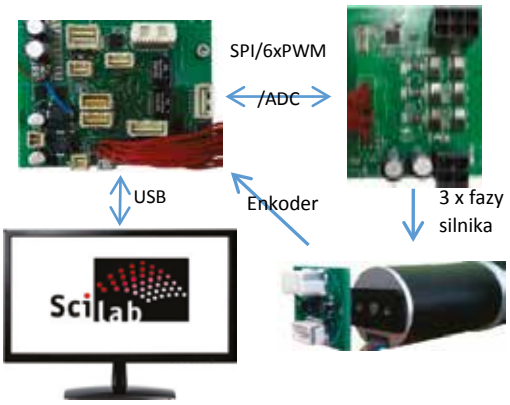
**Słowa kluczowe:** arteryjna funkcja wejścia, perfuzja nerek, modelowanie farmakokinetyczne

# Robotyczny system napędowy dla silników bezszczotkowych wraz z interfejsem użytkownika

Damian Wroński

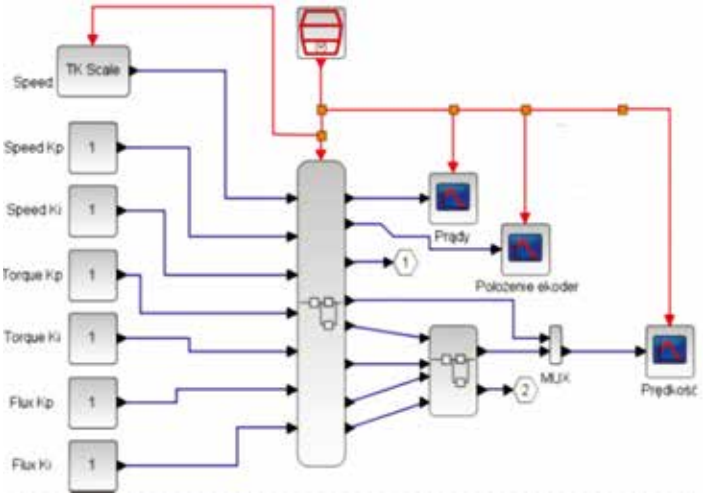
Niniejszy projekt dotyczy przede wszystkim rozbudowy możliwości technicznych inspekcyjnego robota mobilnego Raptors budowanego przez Studenckie Koło Naukowe Robotyki SKaNeR, jednak uniwersalność stworzonych rozwiązań pozwala na ich wykorzystanie w dowolnych, średniej wielkości robotach mobilnych oraz innych napędach elektrycznych pracujących w trybie prędkościowym. Motywacją do stworzenia prezentowanego systemu było przejście od często stosowanych szczotkowych silników prądu stałego, dla których można zastosować proste algorytmy sterowania, na silniki bezszczotkowe prądu stałego (BLDC) lub silniki synchroniczne z magnesami trwałymi (PMSM) oraz chęć zapoznania się z problemami implantacyjnymi bardziej złożonych algorytmów sterowania.

Zaletą silników bezszczotkowych jest ich lepsza efektywność energetyczna, cicha praca oraz brak szczotek, dlatego silniki te są mniej awaryjne. Metoda sterowania polowo zorientowanego została zastosowana ze względu na fakt, że daje najlepsze rezultaty jeżeli chodzi o sprawność układu napędowego w szerokim zakresie pracy oraz zapewnia wysoką dynamikę regulacji momentu obrotowego i prędkości, co w robotyce mobilnej, zwłaszcza przy zasilaniu akumulatorowym, jest kluczowym aspektem. Warstwa Scilab Xcos jest oprogramowaniem Open Source i pełni funkcje graficznego interfejsu użytkownika, ma służyć przede wszystkim celom testowym i konfiguracyjnym, czyli do podglądu danych oraz zadawania wartości przy pomocy graficznych bloków. Autor, pomimo istniejących na rynku produktów do testowania algorytmu sterowania polowo zorientowanego, zdecydował się na opracowanie własnych modułów elektronicznych oraz oprogramowania. Powodem takiego podejścia jest zbyt zamknięta struktura oprogramowania dostarczanego przez innych producentów, która eliminuje możliwość podglądu oraz modyfikacji plików bibliotek dołączanych w procesie kompilacji.




Dostarczany w ten sposób kod źródłowy oraz biblioteki nie mogą być w żaden sposób przeniesione na inne rodzaje mikrokontrolerów. Dodatkowo struktura hardwarowa musi być łatwo adaptowalna dla zastosowań robotycznych (różne sposoby sterowania, różne moce napędu), dlatego stworzone zostały moduły elektroniczne, które charakteryzują się elastycznością konfiguracji między jednostką sterującą i systemem mocy dla silnika BLDC. Poprzez elastyczność rozwiązania należy rozumieć, że ta sama jednostka sterująca może współpracować z różnymi układami mocy oraz wykorzystywać odpowiednie sprzężenie zwrotne (prądowe, prędkościowe lub pozycyjne). Wtedy, dla zastosowań robotyki mobilnej, gdzie w jednym pojeździe znajdziemy napędy różnej wielkości i pracujące w różnych trybach, jedynym komponentem skalowanym jest układ mocy.

Zwykle sprowadza się to do zaprojektowania kilku typów układu mocy z różnymi tranzystorami MOSFET i odpowiednimi rezystorami pomiarowymi. Dzięki takiemu podejściu, system napędowy jest dopasowany do zapotrzebowań energetycznych zespołu napędowego, bez konieczności modyfikacji układu sterującego.




Materiał przedstawiony w pracy stanowi opis implementacji algorytmu sterowania polowo zorientowanego dla silników bezszczotkowych z wykorzystaniem mikrokontrolera opartego na architekturze ARM oraz opracowanie interfejsu graficznego bazującego na środowisku Scilab Xcos.

W dokumencie ujęto opis projektów elektronicznych oraz oprogramowania opracowanych w celu realizacji założeń pracy. W warstwie oprogramowania niskiego poziomu dla mikrokontrolera zaimplementowane zostały algorytmy pozwalające na kontrolę prądów faz silnika bezszczotkowego, a także algorytmy odpowiadające za regulację prędkości obrotowej wału silnika. Moduł sterujący komunikuje się ze środowiskiem Scilab Xcos w celu wymiany informacji o aktualnych zmiennych występujących w algorytmie sterowania. Komunikacja ze środowiskiem graficznym została oparta na interfejsie USB ze względu na popularność i kompatybilność tego medium komunikacyjnego wśród współczesnych urządzeń. Głównym zadaniem warstwy graficznej opartej na Scilab Xcos jest zadawanie paramentów dla algorytmu sterowania oraz wizualizacja pracy układu w postaci wykresów zmiennych układu regulacji występujących w czasie działania sterowania. Dokument zawiera również metody pozyskiwania danych potrzebnych w procesie regulacji oraz protokół wymiany informacji dla komunikacji USB.

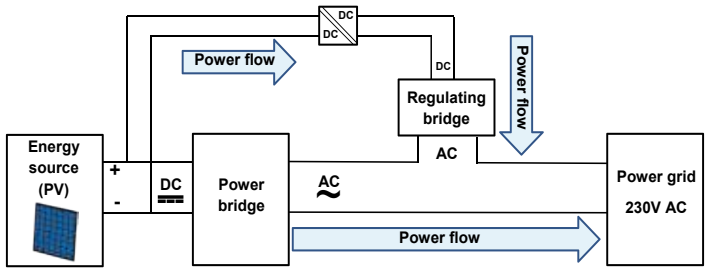
Jednym z istotnych celów stworzonego systemu jest ułatwienie testowania algorytmu sterowania polowo zorientowanego. Efekt ten uzyskano dzięki użyciu odpowiednich bloków funkcyjnych dostępnych z poziomu oprogramowania Scilab Xcos, które odpowiadają za zadawanie parametrów oraz wizualizację otrzymanych danych.

# A high-power single-phase voltage inverter with precise current regulation

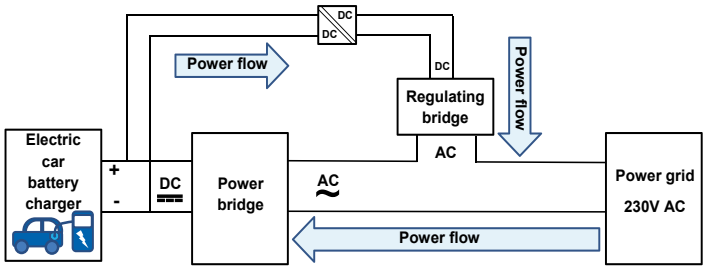
## *Projekt jednofazowego falownika napięciowego dużej mocy z precyzyjną regulacją prądu*

Filip Chudzik

W ciągu ostatniej dekady nastąpiła wyraźna zmiana w sposobie współpracy urządzeń z zasilającą je siecią elektroenergetyczną. W przypadku układów o znacznych mocach, popularne dotychczas prostowniki diodowe zostają coraz częściej zastępowane układami energoelektronicznymi umożliwiającymi kształtowanie przebiegów prądu w zakresie zawartości harmonicznych oraz przesunięcia fazowego. Szczególnego znaczenia nabierają tego typu rozwiązania w ładowarkach pojazdów elektrycznych, których rynek niebawem lawinowo wzrośnie wraz z nadchodzącą rewolucją technologiczną w motoryzacji. Inną, w ostatnich latach bardzo intensywnie rozwijaną, grupę urządzeń współpracujących z siecią elektroenergetyczną stanowią systemy energetyki odnawialnej. Podobnie jak w przypadku odbiorników i tutaj coraz większe znaczenie przywiązuje się do jakości przekazywanej do sieci energii elektrycznej, czyli zawartości harmonicznych i mocy biernej.



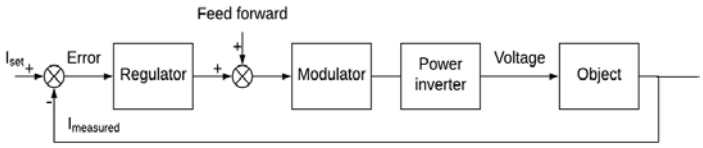

*Rys. 1. Rysunek ukazujący przepływ energii ze źródła odnawialnego do sieci zasilającej*



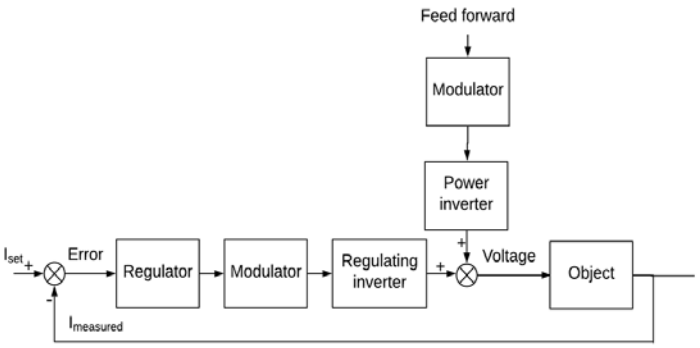

*Rys. 2. Rysunek ukazujący przepływ energii z sieci zasilającej do samochodu elektrycznego*

Dążenie do zmniejszenia wpływu na sieć elektroenergetyczną urządzeń bezpośrednio z nią współpracujących oraz uzyskanie zdolności do pracy dwukierunkowej prowadzi do poszukiwania coraz doskonalszych rozwiązań układów energoelektronicznych.

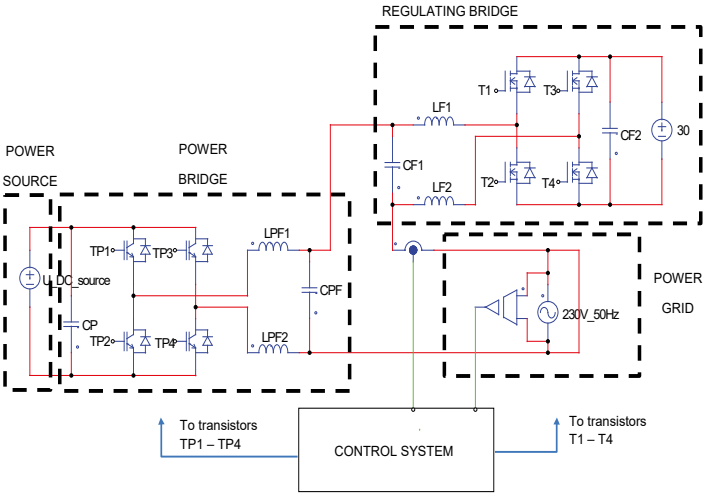
Jednym z nich jest projekt przekształtnika zaproponowany w pracy. Zastosowano w nim nową koncepcję falownika napięciowego z precyzyjną regulacją prądu. Elementem o charakterze nowatorskim jest włączenie w szereg z głównym przekształtnikiem mocy elementu umożliwiającego precyzyjną regulację prądu. Z punktu widzenia struktury regulacji układu, takie rozwiązanie jest równoważne przeniesieniu węzła sumacyjnego, który zwykle znajduje się przed modulatorem szerokości impulsów, za przekształtnik energoelektroniczny. Takie rozwiązanie pozwala na zastosowanie dodatkowego przekształtnika mniejszej mocy, pozwalającego na precyzyjne kształtowanie przebiegu prądu przy zachowaniu standardowego sterowania przekształtnika głównego. Dzięki zaproponowanej koncepcji regulacji możliwe jest zwiększenie wydajności przetwarzania energii poprzez obniżenie częstotliwości przełączania części dużej mocy przy zachowaniu właściwości regulacyjnych uzyskiwanych dzięki szybkiemu przełączaniu w części małej mocy.



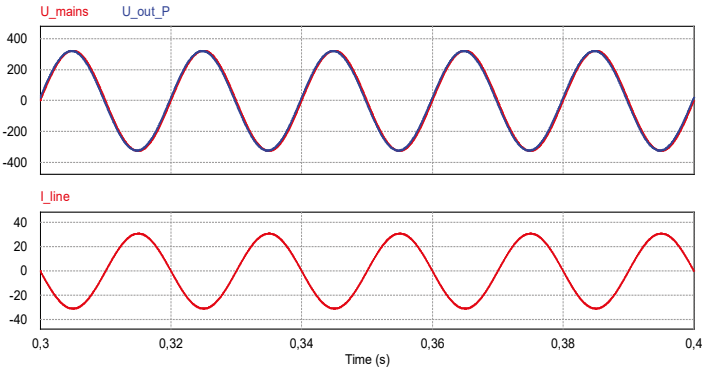

*Rys. 3. Schemat blokowy układu regulacji prądu w klasycznym falowniku napięciowym*



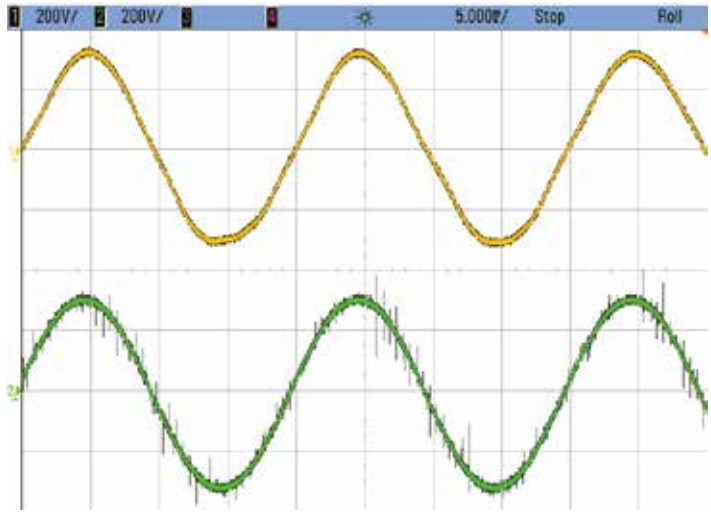

*Rys. 4. Schemat blokowy układu regulacji prądu w nowoopracowanym falowniku napięciowym z precyzyjną regulacją prądu*



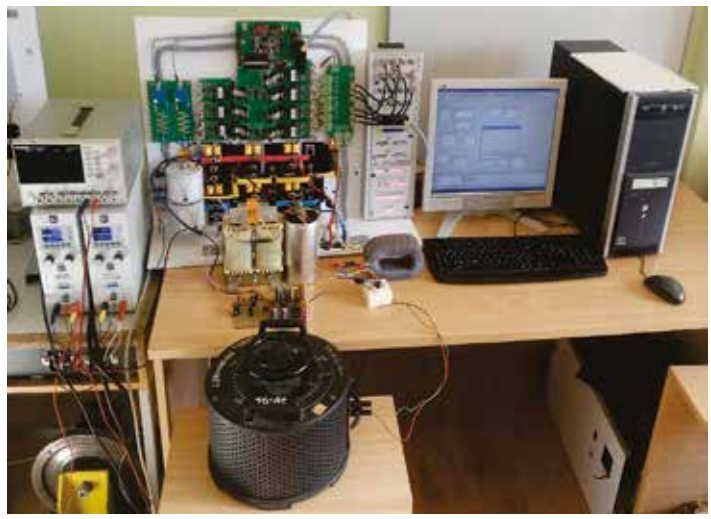

*Rys. 5. Model symulacyjny nowoopracowanego falownika napięciowym z precyzyjną regulacją prądu*




*Rys. 6. Przebiegi napięcia sieciowego (U_mains), napięcia wyjściowego falownika (U_out_P) oraz prądu fazowego (I_line) uzyskane na drodze badań symulacyjnych dla przypadku ładowania baterii samochodu elektrycznego mocą 5 kW*




*Rys. 7. Przebiegi oscyloskopowe, napięcia sieciowego (zielony) oraz napięcia wyjściowego falownika (żółty), uzyskane podczas badań laboratoryjnych przekształtnika*



*Rys. 8. Zdjęcie stanowiska laboratoryjnego*

# Falownik napięciowy z kompensacją czasów martwych

Marcin Kaczorowski

Falownik, czyli urządzenie energoelektroniczne, służy do przekształcania energii prądu lub napięcia stałego na energię prądu i napięcia przemiennego. Umożliwia to przekształcanie zmagazynowanej energii z akumulatorów bądź z energii źródeł odnawialnych, zapewniając możliwość zasilania urządzeń wykorzystujących napięcie przemienne w domach lub w miejscach, gdzie nie ma stałego dostępu do sieci elektroenergetycznej, np. samochody, łodzie.

Najważniejszym zastosowaniem falowników jest jednak zasilanie i sterowanie silników prądu przemiennego. Rozwój techniki mikroprocesorowej pozwolił na zastosowanie skomplikowanych algorytmów sterowania, umożliwiając precyzyjne regulowanie prędkości obrotowej lub położenia. Nieidalne łączniki energoelektroniczne wymagają jednak zastosowania czasów martwych (ang. *dead-time*) w celu ochrony obwodu mocy podczas przełączania dużych wartości napięć, powodując zniekształcenie prądu. Mogą także powodować niestabilną pracę układu regulacji. Warto o tym pamiętać podczas konstruowania precyzyjnego układu sterowania.

W pracy została stworzona kompensacja czasów martwych, polegająca na wydłużaniu lub skracaniu wartości PMW w zależności od kierunków prądów fazowych. Wartość, o jaką należy wydłużyć lub skrócić impuls, wynika z średniej wartości napięcia, jakie jest zabierane wskutek występowania czasów martwych. Napięcie, o jakie należy skompensować układ sterowania, można wyznaczyć korzystając ze wzoru:

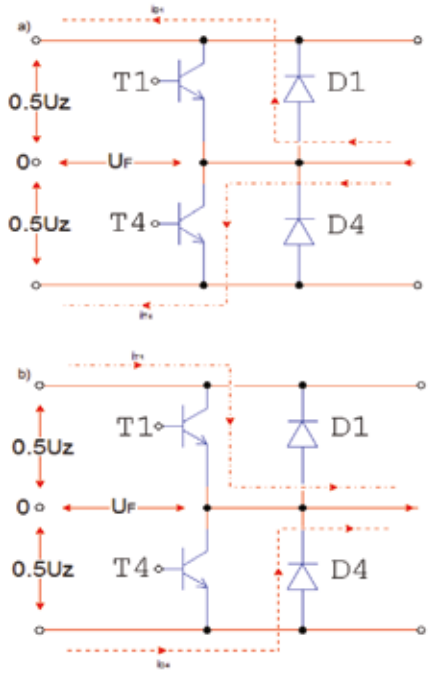
$$Ua_{komp} = U_z \cdot \frac{t_d}{t_p} \cdot sgn(Ia)$$

gdzie:

$Ua_{komp}$ – wartość napięcia kompensowana dla fazy *a*,
$U_z$ – napięcie zasilania,
$t_d$ – wielkość czasów martwych,
$t_p$ – okres przebiegu PWM.

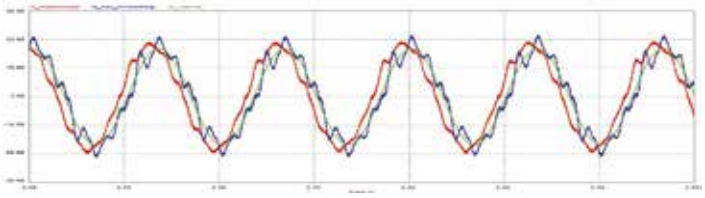
Kompensacja czasu martwego jest związana z przepływem prądu w obwodzie mocy urządzenia podczas występowania czasu martwego, dlatego podczas ujemnego prądu napięcie kompensujące jest odejmowane, a podczas dodatniego dodawane. Przepływ prądu podczas czasu martwego został przedstawiony na rysunku 1.

W pracy stworzono dwa sterowania, skalarne i wektorowe asynchronicznego silnika klatkowego, wykonano symulacje komputerowe, jak i rzeczywiste sterowanie trójfazowego przemysłowego falownika.



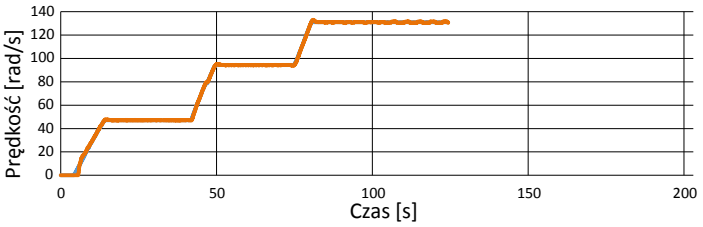

*Rys. 1. Ilustracja przepływu prądu dla jednej fazy podczas czasu martwego: a) dla ujemnego prądu, b) dla dodatniego prądu*

Dzięki symulacji komputerowej udało się porównać trzy sytuacje zasilania układu: bez kompensacji, z kompensacją czasów martwych oraz podczas idealnego zasilania. Poniżej, na rysunku 2. przedstawiono przebiegi prądu w stanie ustalonym dla sterowania skalarnego i trzech sytuacji zasilania. Dodanie kompensacji zmniejszyło zniekształcenie prądu fazowego .



*Rys. 2. Przebiegi prądu fazowego dla sterowania skalarnego i trzech sytuacji zasilania. Kolor czerwony – układ z kompensacją, kolor niebieski – układ bez kompensacji, kolor zielony – układ idealnie zasilany*

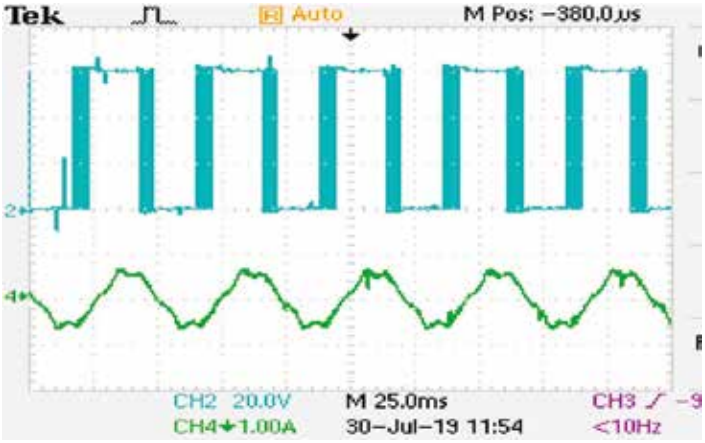
W rzeczywistym układzie kompensacja czasów martwych zmniejszyła tętnienie prędkości obrotowej przy większych wartościach czasów martwych. Na rysunku 3. przedstawiono przebiegi prędkości zadanej oraz prędkości mierzonej dla rzeczywistego układu. Do około 100 sekundy układ posiadał włączoną kompensację czasów martwych, po 100 sekundzie kompensacja została wyłączona. Wyłączenie kompensacji czasów martwych spowodowało oscylacje prędkości obrotowej.



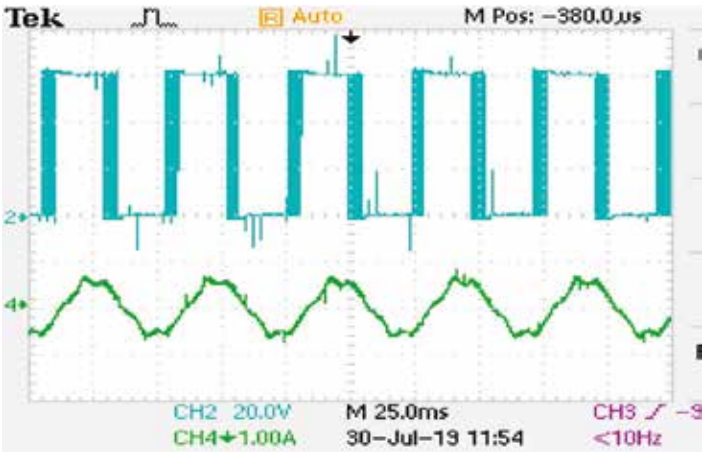

*Rys. 3. Przebieg prędkości obrotowej dla rzeczywistego układu ze sterowaniem skalarnym*

Zarówno sterowanie skalarne, jak i wektorowe stworzone w rzeczywistości, dobrze odwzorowują zadaną prędkość obrotową. Zmniejszenie czasów martwych powodowało zwiększenie prądów fazowych falownika. Spowodowane zostało to zbyt długimi czasami przełączeń tranzystorów bipolarnych QM30DX-H wykorzystanych w falowniku przemysłowym.

Rysunek 4. i 5. przedstawiają przebiegi napięcia i prądu dla sterowania skalarnego – rysunek 4. bez kompensacji czasów martwych oraz rysunek 5. z kompensacją czasów martwych. W przypadku sterowania skalarnego widać znaczne zniekształcenie prądów fazowych w obu przypadkach. Spowodowane jest to prawie prostokątnym przebiegiem napięcia zasilania silnika.

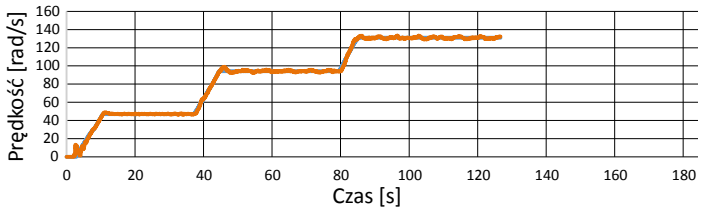



*Rys. 4. Przebiegi napięcia i prądu dla jednej fazy silnika dla sterowania skalarnego, czasu martwego 1.01e-5 s i prędkości obrotowej 1250 obr/min, bez kompensacji czasów martwych*



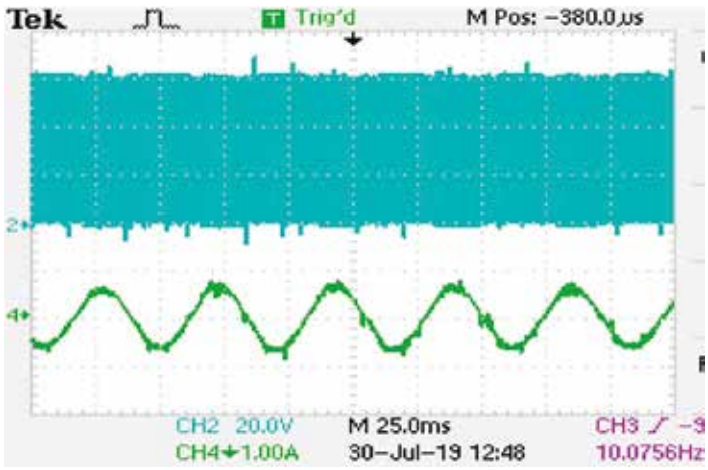

*Rys. 5. Przebiegi napięcia i prądu dla jednej fazy silnika dla sterowania skalarnego, czasu martwego 1.01e-5 s i prędkości obrotowej 1250 obr/min, z kompensacją czasów martwych*

W stworzonym sterowaniu wektorowym widać większe oscylacje prędkości obrotowej niż dla sterowania skalarnego dla dwóch sytuacji, włączonej (do 100 sekundy) oraz wyłączonej kompensacji czasów martwych (powyżej 100 sekundy).

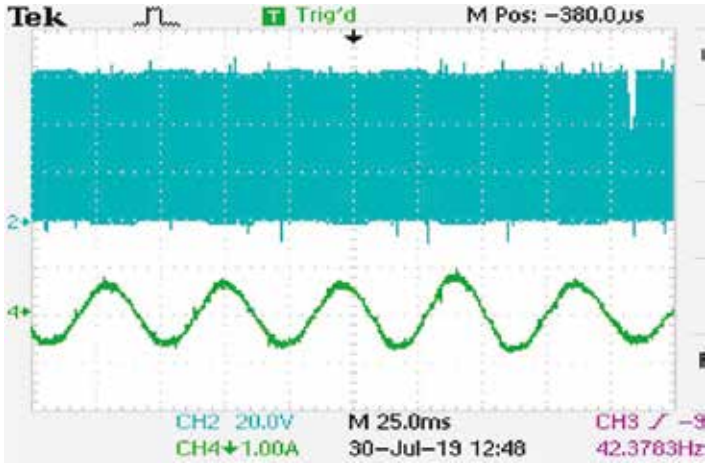



*Rys. 6 Przebiegi prędkości obrotowej dla rzeczywistego układu ze sterowaniem wektorowym*

Przebiegi prądów fazowych dla sterowania wektorowego przedstawione zostały na rysunkach 7. i 8. Dla sterowania wektorowego prądy fazowe lepiej przedstawiają sinusoidalny przebieg prądu niż w przypadku sterowania skalarnego.




*Rys. 7. Przebiegi napięcia i prądu dla jednej fazy silnika dla sterowania Wektorowego, czasu martwego 2,32e-6 s i prędkości obrotowej 1250 obr/min, bez kompensacji czasów martwych*




*Rys. 8. Przebiegi napięcia i prądu dla jednej fazy silnika dla sterowania Wektorowego, czasu martwego 2,32e-6 s i prędkości obrotowej 1250 obr/min, z kompensacją czasów martwych*

Kompensacja czasów martwych jest ważnym zagadnieniem podczas konstruowania sterowania dla precyzyjnych układów. Pominięcie kompensacji czasów martwych podczas konstruowania falownika może doprowadzić do niestabilnej pracy układu w stanie ustalonym maszyny. Algorytm sterowania wektorowego pozwala na dokładniejsze sterowanie prędkością i momentem lecz jest droższy w wykonaniu, dlatego należy zastanowić się, jaki algorytm wybrać dla danego układu sterowania.

# 100 lat i 150 dni

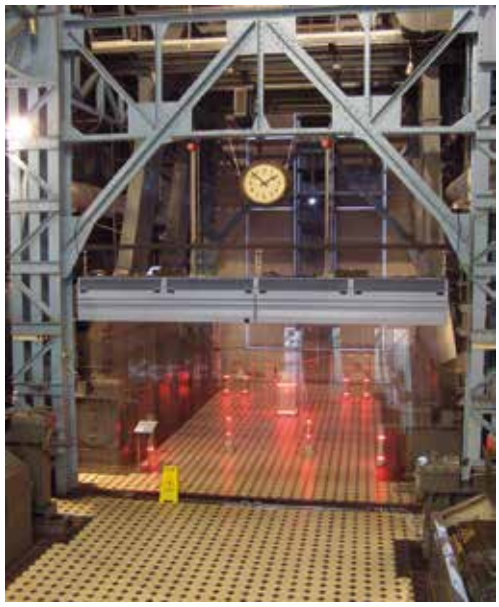
Jacek Kuczkowski
Koło SEP przy Veolia Energia Łódź SA

Po takim czasie (tytuł) od powołania Stowarzyszenia, którego jednym z sześciu założycieli byli przedstawiciele Łodzi, Koło przy Veolia Energia Łódź SA zorganizowało zwiedzanie Centrum Nauki i Techniki w EC1, tj. dawnej Elektrowni Łódzkiej. Była ona w tym czasie, ale także później siedzibą Stowarzyszenia.

Po krótkim powitaniu i przekazaniu informacji o sposobie użytkowania zestawów słuchawkowych, jak się okazało bardzo przydatnych w tych warunkach, podzieleni na dwie grupy, pod opieką przewodników Magdy Prasal i Pawła Żuromskiego udaliśmy się na zwiedzanie.

W programie ścieżki: „Przetwarzanie energii" wyłącznym partnerem jest Veolia Energia Łódź SA. Pozostałe ścieżki edukacyjne w EC1 to: „Mikro- i makroświat", „Rozwój wiedzy i cywilizacji". Nie zamierzam opisywać tras, ale myślę, że warto zwrócić uwagę na te fragmenty, które cieszyły się szczególnym zainteresowaniem, głównie młodszych uczestników – to oni, wyrażając zadowolenie, reagowali najgłośniej.

Wzięliśmy udział w grze strategicznej polegającej na sterowaniu produkcją pary w funkcji podawanego węgla, powietrza, wody i jej zrzutu do turbozespołu. Było dużo radości i satysfakcji do czasu, aż drobny błąd kończył grę. A grać mogą jednocześnie dwie drużyny. Na turbinie 10 audiowizualny pokaz procesów w turbinie i generatorze przedstawiono na trójwymiarowej powierzchni z komentarzem do ilustracji. To kolejna ciekawostka w tej części zwiedzania. Następnie model zegara w strefie maszyn prostych wzbudził szczególne zainteresowanie, ponieważ pani przewodniczka, opowiadając, stała na wahadle zegara. Laboratorium



i pokonanie labiryntu przez promień światła to kolejny obiekt, który na dłużej absorbował uwagę sporej grupki naszych uczestników. „Przygody łódzkiej wody" to nowe stanowisko wykonane przy współpracy Łódzkiego Zakładu Wodociągów i Kanalizacji. Szklane rury, różnej średnicy, były odwzorowaniem trzech obiektów – EC1, EC3 i EC4, zasilanych ze zbiornika (Stoki), a zadaniem dla grających była regulacja pokrętłami i utrzymywanie zaznaczonych, wymaganych poziomów wody w poszczególnych zakładach.

Większość z pięćdziesięciu uczestników, czując zmęczenie, opuściła Centrum Nauki i Techniki wkrótce po zakończeniu zwiedzania z przewodnikami, ale niektórzy spędzili tam wiele godzin, niemal do zamknięcia (godz. 19), korzystając wielokrotnie z pomocy animatorów, którzy pracowali na poszczególnych stanowiskach.

Wycieczka odbyła się przy wsparciu finansowym Oddziału Łódzkiego. Ewentualne powtórzenie tej wycieczki wiosną można wzbogacić o wyjazd na taras widokowy.

*Foto: Jacek Kuczkowski*

Więcej o Centrum Nauki i Techniki w naszym Biuletynie Techniczno-Informacyjnym: 1/2018, 4/2018 i 3/2019. Także w Biuletynie na www.seplodz.pl.

*Uczestnicy wycieczki*

# Bal Elektryka 2020

*1 lutego 2020 r.*

*Foto: www.DVcomp.com.pl*

# XIII KONFERENCJA NAUKOWO-TECHNICZNA

## TRANSFORMATORY ENERGETYCZNE I SPECJALNE

## KAZIMIERZ DOLNY 7-9 października 2020 r.

## TEMATYKA KONFERENCJI

Tematyka konferencji obejmuje zagadnienia z zakresu transformatorów energetycznych i specjalnych:

- problemy eksploatacyjne,
- diagnostykę, próby i badania,
- nowoczesne metody obliczeniowe i projektowanie,
- remonty i modernizacje,
- aktualne trendy rozwojowe.

W ramach konferencji zostaną zaprezentowane referaty wiodących ośrodków naukowych, przedsiębiorstw reprezentujących energetykę zawodową, placówek naukowo-badawczych oraz firm współpracujących z energetyką.

## MIEJSCE KONFERENCJI

Hotel Król Kazimierz w Kazimierzu Dolnym

## KONTAKT


**Małgorzata Siedlarek**
*Sekretarz Komitetu Organizacyjnego*

**ZREW Transformatory S.A.**
92-412 Łódź, ul. Rokicińska 144
T +48 42 671 86 15
M +48 607 211 380
konferencja@zrew-tr.pl

**Krzysztof Majer**
*Sekretarz Komitetu Naukowo-Programowego*

**Politechnika Łódzka**
Instytut Mechatroniki i Systemów Informatycznych
90-924 Łódź, ul. Stefanowskiego 18/22
M +48 503 868 152
krzysztof.majer@p.lodz.pl


## ORGANIZATORZY

R&S ZREW

IMSi IEEE SEP