

## W numerze:

- Od naczelnego ...
- Z życia Oddziału SEP
- Patron ROKU 2022 – Paweł Mytnik - *Prof. Kazimierz Bisztyga – teoretyk i praktyk konstrukcji napędów i maszyn elektrycznych*
- Nauka i praktyka – Jerzy Gryko - *Eliminacja CO<sub>2</sub> w krajowej produkcji energii elektrycznej i transporcie oraz ekonomiczne warunki tej transformacji*
- Konkurs SEP - Jarosław Werdoni - *Konkurs Oddziału Białostockiego SEP na wyróżniającą się pracę dyplomową z dziedziny elektryki w roku akademickim 2020/2021*
- Artykuł młodego inżyniera – Mateusz Wasilewski - *Opracowanie algorytmu sterowania przekształtnika DC/AC z dodatkowym wspomagającym przekształtnikiem DC/DC*
- Studenci o sobie – Mariusz Drobiszewski – *Relacja z XXII ODME 2021 we Wrocławiu*
- Relacja – Paweł Mytnik - *Oddziałowe Spotkanie Noworoczne*
- Felieton – Marek Powichrowski – *Ruletka carskich oficerów*



**Wydawca:** Oddział Białostocki Stowarzyszenia Elektryków Polskich

**Adres redakcji:** Biuro Oddziału Białostockiego SEP

15-097 BIAŁYSTOK, ul. Marii Skłodowskiej-Curie 2 pok. 207

tel/fax 85 74 28 524

e-mail: [biuro@sep.bialystok.pl](mailto:biuro@sep.bialystok.pl)

[www.sep.bialystok.pl](http://www.sep.bialystok.pl)

**Zespół redakcyjny:**

Paweł Mytnik,

Marek Powichrowski, Kamil Tymiński, Jarosław Werdoni, Bartłomiej Żywolewski

**Nakład: 400 egz.**

### **Koleżanki i Koledzy! Drodzy Czytelnicy!**

*Mamy za sobą 2021 rok, jakże dla nas trudny, bo pandemiczny. Pełni nadziei na normalność wkraczaliśmy w nowy 2022 rok. Niestety „bestia” ze wschodu zafundowała w Europie wojnę, a nam ogromny niepokój o nasze życie i losy świata. Obecny rok w naszym stowarzyszeniu jest też szczególny, bo wyborczy. Na kolejne cztery lata wybieramy nowe władze w kołach, oddziałach i centralne. Kolejny XL Walny Zjazd Delegatów odbędzie się we wrześniu w Bydgoszczy. Na pewno czekają nas spore zmiany.*

*Szanowni czytelnicy! Przekazujemy Wam do rąk najnowszy 62. numer naszego Oddziałowego Biuletynu, a w nim polecamy wiele ciekawych materiałów przygotowanych przez redakcję oraz naszych współpracowników i sympatyków. Na wstępie prezentujemy diariusz „Z życia Oddziału...”. Po nim przedstawiamy sylwetkę Patrona Roku w SEP prof. Kazimierza Bisztygi. Dalej zamieszczamy artykuł (pisany jeszcze przed destabilizacją rynków związaną z wojną na Ukrainie) będący efektem przemyśleń autora na temat możliwości eliminacji emisji CO<sub>2</sub> pochodzącego z przemysłu i transportu. Kolejne pozycje, to informacja na temat wyników oddziałowego Konkursu na wyróżniającą się pracę dyplomową z dziedziny elektryki i artykuł młodego inżyniera - laureata ubiegłorocznej edycji konkursu. W następnym artykule jeden z uczestników XXII ODME 2021 przedstawia relację z tej imprezy. Kolejną pozycją jest relacja z Oddziałowego Spotkania Noworocznego. Nasz numer kończymy kolejnym, jak zwykle ciekawym i intrygującym, felietonem naszego redakcyjnego kolegi Marka Powichrowskiego.*

*Zespół redakcyjny Biuletynu Oddziału Białostockiego SEP ma nadzieję, że przedstawione materiały zaciekawią sympatyków naszego Biuletynu. Życząc miłej lektury zapraszamy do spotkania w następnym numerze.*

**Paweł Mytnik**

### Grudzień 2021 – Kwiecień 2022

- Koło SEP przy PGE Dystrybucja S.A. Oddział Białystok w dniu **10 grudnia 2021 r.** w „Dworku nad Łakami” w Kiermusach k. Tykocina zorganizowało swe spotkanie integracyjne. Do udziału zaproszeni zostali też przedstawiciele innych Kół oraz prezes Oddziału Białostockiego SEP. Spotkanie uświetnił wspaniałym występem muzyki rockowej i bluesowej inżynierski zespół „Po pięćdziesiątę”. Panowała wspaniała koleżeńska atmosfera.



Fot.1. Zespół „Po pięćdziesiątę” w akcji podczas spotkania w Kiermusach 10.12.2021 r.

- Niestety z przyczyn pandemicznych Zarząd Oddziału Białostockiego SEP zmuszony był odwołać tradycyjne doroczne Spotkanie Opłatkowe 2021, które planowane było na dzień 20.12.2021 r. Niejako w zamian, w nieco innej formule, zorganizowane zostało **Spotkanie Noworoczne aktywu Oddziału w dniu 17.01.2022 r.**, związane z kończącą się w SEP kadencją władz 2018-2022. Przy okazji wręczono wyróżnienia SEP, ogłoszono wyniki dorocznego oddziałowego Konkursu na wyróżniającą się pracę dyplomową z dziedziny elektryki, uhonorowano jego laureatów i ich promotorów, oficjalnie pożegnano odchodzącą na emeryturę wieloletnią pracownicę biura Zarządu Oddziału SEP kol. Danutę Matejczyk, a w części nieoficjalnej wysłuchano występu artystów.

## Członkowie wspierający Oddział Białostocki SEP



**ENE A Ciepło Sp. z o.o. Oddział Białystok z siedzibą w Białymstoku**  
ul. Gen. Władysława Andersa 15, 15-124 Białystok



**Grupa ELTRON Sp. z o.o.**  
18-100 Łapy, ul. Główna 7  
[www.eltron.org.pl](http://www.eltron.org.pl)



**ENERGOL Mariusz Tokarzewicz**  
Ul. Armii Krajowej 18/23, 18-200 Hajnówka

## **Prof. Kazimierz Bisztyga – teoretyk i praktyk konstrukcji napędów i maszyn elektrycznych**



**Prof. Kazimierz Bisztyga  
(1922-2010)**

**Prof. dr hab. inż. Kazimierz Bisztyga był wybitnym teoretykiem i praktykiem konstrukcji napędów i maszyn elektrycznych. Przez większość kariery naukowej związany z AGH w Krakowie. Członek honorowy SEP (1998) oraz PTETiS (1993).**

**Na wniosek Oddziału Krakowskiego SEP, decyzją Zarządu Głównego SEP, patronem SEP w Roku 2022 został wybrany prof. Kazimierz Bisztyga. W roku 2022 wypada 100 rocznica urodzin Profesora.**

Urodził się 2 stycznia 1922 roku w Myślenicach jako piąte spośród dziewięciorga dzieci w rodzinie kowala Bisztygi. Był wychowankiem (1934–40) humanistycznego gimnazjum i liceum myślenickiego (1939–40 w ramach tajnego nauczania). Dzięki temu na całe życie pozostało Mu umiłowanie łaciny i biegłość w posługiwaniu się łaciną i językiem polskim.

W latach okupacji niemieckiej, podjął naukę w Państwowej Szkole Budowy Maszyn i Elektrotechniki (1941) i w 1943 r. uzyskał dyplom technika elektryka. Bezpośrednio po egzaminie końcowym rozpoczął pracę w warsztatach remontowych maszyn elektrycznych Krakowskiego Oddziału Firmy Siemens, na stanowisku technika. W tym czasie działał w ruchu oporu (struktury AK), został aresztowany przez gestapo (w czerwcu 1944) i osadzony w więzieniu “Montelupich” w Krakowie, gdzie spędził 3 miesiące aż do wyzwolenia Krakowa przez wojska sowieckie.

W czerwcu 1945 r. rozpoczął studia na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej z tymczasową siedzibą w Krakowie. Słuchał wykładów sławnych profesorów przedwojennej Politechniki Lwowskiej, takich jak: Fryze, Malarski, Burzyński, Ochęduszek, Kołek. W roku 1948 został zatrudniony w Centralnym Biurze Konstrukcyjnym Maszyn Elektrycznych w Katowicach (CBKME)

otrzymując jednocześnie urlop na dokończenie studiów. W 1950 r. obronił pracę dyplomową pt.: „Projekt generatora 1500 kW dla maszyny wyciągowej”, którą kierował prof. Zygmunt Gogolewski i w CBKME objął stanowisko konstruktora, a następnie kierownika Zespołu Maszyn Elektrycznych Specjalnych. Równocześnie (1950) podjął pracę dydaktyczną w Technikum Energetycznym przy ulicy Loretańskiej w Krakowie, jako wykładowca teorii i budowy maszyn elektrycznych.

Zajmował się między innymi zagadnieniami projektowania specjalnych maszyn prądu stałego, takich jak: spawarki, prądnice galwanizacyjne i wzmacniacze elektromaszynowe. W tym czasie wykonał swoją pierwszą pracę badawczą nt. strat dodatkowych w uzwojeniach z przeplecionymi prętami, której wyniki były wykorzystywane w CBKME przy projektowaniu nowych modeli maszyn przez lata następne.

Do 1952 r. opracował kilka nowych typów maszyn, m.in.: silnik 1,5 MW, 50 obr/min do maszyny wyciągowej, serię prądnic galwanizacyjnych od 0,5 kA do 2 kA oraz silniki do wind okrętowych. Interesował się problemami eksploatacji i regulacji maszyn elektrycznych, które badał na stacji prób CBKME oraz u użytkowników. Duże doświadczenie uzyskane w tamtych czasach wykorzystywał później w pracach teoretycznych i praktycznych związanych z konstruowaniem i eksploatacją napędów elektrycznych.

Z powodów rodzinnych w 1952 r. przeniósł się do Krakowa i podjął pracę w AGH jako asystent w Katedrze Elektrotechniki Hutniczej, którą kierował prof. Jan Manitus, na nowo utworzonym Wydziale Elektrotechniki Górniczej i Hutniczej. W roku 1956 został adiunktem, zajmował się napędami elektrycznymi i ich automatyką. Opracował nowoczesne Laboratorium Elektrycznych Napędów Hutniczych, w którym uruchomił szereg oryginalnych układów maszyn elektrycznych oraz ich sterowania.

W 1961 roku obronił rozprawę doktorską nt. „Właściwości napędowe silnika indukcyjnego przy częstotliwościach poniżej 10 herców”, której promotorem był prof. J. Manitus. Wyniki pracy opublikował w Rozprawach Elektrotechnicznych, a streszczone w Elektrotechnische Zeitschrift, Ausgabe A, 1965.

Brał udział w wielu pracach badawczych dla przemysłu i opracowywał ekspertyzy, np.: usunięcie niestabilności pracy napędu walcarki trio w Hucie Będzin, wykrycie i usunięcie błędu strukturalnego w unikalnym układzie Scherbiusa kaskady asynchronicznej dużej mocy, z przetwornicami komutatorowymi prądu przemiennego, zainstalowanej jeszcze przed wojną przez francuską firmę w walcowni Huty Zawiercie, co umożliwiło osiągnięcie pełnego zakresu regulacji prędkości i kompensacji mocy biernej, udział (1959) w rozruchu napędów i automatyki 5-klatkowej walcarki blach na zimno w ówczesnej Hucie im. Lenina (obecnie im. T. Sędzimiry), badania serii amplitudyn oraz nowoczesnych silników prądu stałego z klejonymi uzwojeniami wirnika dla uzyskania dużej przeciążalności prądowej oraz szerokiego zakresu regulacji prędkości przez osłabianie strumienia magnetycznego, automatyczną regulację mocy biernej przez sterowa-

nie wzbudzeniem silników synchronicznych, nadające tyrystorowe układy kompensacji mocy biernej.

Rozprawę habilitacyjną nt. „*Wpływ nieliniowości prostownika na charakterystyki asynchronicznej kaskady zaworowej*” przygotował podczas pięciomiesięcznego (1964/65) pobytu w MEI w Moskwie i w roku 1967 uzyskał stopień doktora habilitowanego. Został docentem i kierownikiem Zakładu Automatyki Napędu. W latach 1967-72 pracownicy Jego Zakładu uzyskali kilkanaście publikacji i patentów oraz przygotowali i obronili trzy rozprawy doktorskie (w tym 2 z wyróżnieniem). Jego zespół zajmował się również problemami oddziaływania napędów przekształtnikowych na system energetyczny, a zwłaszcza kompensacją szybkozmiennych mocy biernych oraz problemom filtrów wyższych harmonicznych niezbędnych w systemach z prostownikami. Opracowane w Zakładzie i wdrożone układy kompensacji mocy biernej, symetryzacji obciążeń i filtracji wyższych harmonicznych, np. w Kopalni Ziemowit – układy współpracujące z maszyną wyciągową oraz w Hucie Zabrze – z piecem łukowym potwierdziły w pełni teoretycznie obliczone efekty.

W 1974 r. uzyskał tytuł profesora nadzwyczajnego, a w roku 1985 — profesora zwyczajnego. Był dwukrotnie stypendystą DAAD (1979 i 1986), pracował za granicą jako *visiting professor* (1983).



**Fot.2. Członkowie Komitetu Obchodów 60-lecia AGH (w 1979 r.)**

Od lewej: **siedzą:** prof. Julian Sulima-Samujłło, prof. Wacław Leskiewicz, prof. Zygmunt Drzymała, prof. Władysław Longa, **stoją:** mgr Tytus Mróz, **prof. Kazimierz Bisztyga**, dr Maciej Tondos, prof. Janusz Roszkowski, Marek Siwiec, prof. Zbigniew Engel, prof. Tadeusz Karwan, dr Zdzisław Śmietański, prof. Stanisław Pytko

Na AGH był prodziekanem (6 lat) i dziekanem (6 lat) Wydziału Elektrotechniki Automatyki i Elektroniki, przewodniczącym Zespołu Dydaktyczno-Wychowawczego Elektrotechniki Studiów dla Pracujących MEN (3 kadencje) oraz zastępcą przewodniczącego Zespołu dla Studiów Dziennych (3 kadencje), dyrektorem Instytutu Automatyki Napędu i Urządzeń Przemysłowych AGH (1981-92). Pracował w wielu komisjach senackich, w radach naukowych instytutów, komitetach honorowych, organizacjach związkowych oraz branżowych NOT. Szczególnie silnie związany był z SEP, gdzie przez trzy kadencje pełnił funkcję wiceprzewodniczącego Głównej Komisji Rewizyjnej w Warszawie. Był zastępcą przewodniczącego Konwentu Seniorów AGH i reprezentował go w Senacie AGH.

W ramach współpracy z przemysłem był konsultantem Huty Bobrek, Huty Batory. Huty im. T. Sendzimira i BIPROSTAL-u oraz Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Przemysłu Maszyn Elektrycznych w Katowicach. Ta w miarę ścisła współpraca z rozwijającym się przemysłem umożliwiła Mu wzbogacenie treści wykładów o aktualne problemy techniczne,

Był promotorem 11 doktoratów, do roku 1991 prowadził ponad 370 prac dyplomowych, wśród których wiele obroniono z wtróżnieniem. Opublikował 42 prace z teorii układów napędowych. Napisał monografię nt. sterowania i regulacji silników elektrycznych, jest współautorem 2 podręczników i 4 skryptów. Recenzował 50 rozpraw doktorskich, 13 habilitacyjnych oraz 11 wniosków do CK na tytuły naukowe.

Był laureatem dwóch zespołowych Nagród Państwowych II stopnia (1966 i 1976) za opracowanie i wdrożenie nowoczesnych napędów przekształtnikowych. Otrzymał 9 nagród ministra (2 indywidualne i 7 zespołowych) oraz kilkudziesiąt nagród rektora AGH za prace naukowe, szkolenie kadry naukowej i dydaktykę.

Prof. Kazimierz Bisztyga otrzymał odznaczenia: Srebrny i Złoty Krzyż Zasługi, Kawalerski i Oficerski Krzyż Odrodzenia Polski, Medal Komisji Edukacji Narodowej, Dyplom Zasłużony Nauczyciel oraz wiele odznaczeń regionalnych i branżowych. Za działalność naukową został wyróżniony przyznaniem członkostwa honorowego PTETiS w roku 1993. W roku 1998 został członkiem honorowym SEP.

W roku 1950 zawarł związek małżeński z Eugenią z d. Rusek i miał z nią dwie córki. Zmarł dnia 8 stycznia 2010 r. po długiej chorobie. Został pochowany na Cmentarzu Salwatorskim w Krakowie. W pamięci potomnych pozostaje jako serdeczny przyjaciel i kolega oraz wybitny uczony.

Opracował Paweł Mytnik na podstawie: "40-lat PTETiS" Biuletyn nr 5 (jubileuszowy). Pod red. A. J. Marusaka. Warszawa 2001, s.199.



## **Eliminacja CO<sub>2</sub> w krajowej produkcji energii elektrycznej i transporcie oraz ekonomiczne warunki tej transformacji.**

**dr inż. Jerzy Gryko \***

### ***Wprowadzenie***

Wpływ produkcji energii elektrycznej (EE) na bazie paliw niewątpliwie wpływa na czystość powietrza i zmiany klimatu. Produkcja EE oraz eliminacja paliw pozwala na częściową eliminację emisji CO<sub>2</sub> i innych szkodliwych składników spalin. Publikacja niniejsza stanowi próbę oszacowania nakładów inwestycyjnych w skali kraju oraz jednostkowych kosztów produkcji energii elektrycznej po wdrożeniu w elektroenergetyce i transporcie rozwiązań wykluczających emisję. Pozwoli to na przybliżenie problemu produkcji ekologicznej energii elektrycznej, w tym szacunkowych nakładów i jednostkowych kosztów produkcji, szczególnie dla osób niezwiązanych z elektroenergetyką.

Na wstępie należy podkreślić, że poniższe rozważania mają sens w stabilnych warunkach makroekonomicznych. Przy spirali inflacyjnej, której początek obserwujemy dzisiaj, poniższe symulacje mogą być obciążone dużym błędem.

Przyjęto poziom wyjściowy produkcji energii i zużycie paliw płynnych oraz nakładów jednostkowych z lat 2019÷2020 oraz antycypację nakładów w roku 2050 sygnalizowaną przez publikacje specjalistyczne. W obliczeniach przyjęto magazynowanie energii w postaci wodoru otrzymanego z elektrolizy.

Nie uwzględniano innych sposobów magazynowania energii (elektrownie przepompowe, amoniak jako paliwo, inne sposoby otrzymywania wodoru, itp.). Budowa elektrowni przepompowych może być realizowana w określonych warunkach terenowych. W kraju tych warunków nie mamy zbyt wiele. Nie ma więc dużego potencjału do rozwoju magazynowania energii tym sposobem. Stosowanie amoniaku (NH<sub>3</sub>) jako magazynu energii aktualnie jest również problematyczne. W stosowanych dotychczas metodach (Habera i Boscha) produkcja amoniaku generuje 2 kg CO<sub>2</sub> na każdy kilogram wyprodukowanego NH<sub>3</sub>. Są to parametry zbliżone do spalania węgla. Pewną możliwość mogą dać biologiczne instalacje beztlenowej mokrej fermentacji białkowych odpadów zwierzęcych. W procesie gnilnym powstaje amoniak, siarkowodór oraz bliżej nieokreślone niewiel-

kie ilości CO<sub>2</sub> i metanu. Z uwagi na ograniczone ilości odpadów białkowych, porównując wydajność z wytwarzaniem biogazu, można zabezpieczyć tą metodą moc elektrowni około 500 MW. Należy pamiętać, że amoniak i siarkowodór otrzymywane w procesach gnilnych są gazami silnie trującymi, co wymaga określonych zabezpieczeń. Duże nadzieje dają prace badawcze nad otrzymywaniem amoniaku bez emisji CO<sub>2</sub>. Prowadzone są badania nad tanią produkcją NH<sub>3</sub> bez emisji i już są wstępne efekty tych badań (metody plazmowe, Uniwersytet w Antwerpii).

Nie uwzględniono również otrzymywania H<sub>2</sub> oraz CO z gazu koksowniczego do zasilania ogniw paliwowych. Procesowi otrzymywania mieszaniny H<sub>2</sub> i CO towarzyszy emisja CO<sub>2</sub>. Ponadto utlenianie CO do CO<sub>2</sub> w ogniwach paliwowych powoduje dodatkową emisję. W przybliżeniu emisja wynosi około połowy emisji w stosunku do elektrowni węglowych. Wprawdzie można uzyskać ograniczenie emisji CO<sub>2</sub> o 50%, lecz nie spowodują jej pełnej eliminacji.

Transport pochłania znaczne ilości energii. Zużycie paliw płynnych w transporcie oraz emisję CO<sub>2</sub> podano w tabelach 1 i 5. Zawarto tam również emisję CO<sub>2</sub> po pełnym wdrożeniu napędów elektrycznych i emisję CO<sub>2</sub> z elektrowni ciepłych w przypadku, gdy nie nastąpi budowa elektrowni bez emisji dla potrzeb zasilania transportu. W tabeli 5 można zauważyć wzrost emisji CO<sub>2</sub> o 10,2 mln ton po 2050 r. przy zasilaniu transportu EE z elektrowni ciepłych (EC) przy rezygnacji z przebudowy źródeł wytwarzania EE. Natomiast detaliczna cena zużytych paliw płynnych i wytworzonej energii elektrycznej na potrzeby transportu będą zbliżone.

Gaz płynny używany w transporcie ma aktualnie niewielki udział i został w obliczeniach pominięty. Należy odnotować, że niektóre koncerny samochodowe (głównie niemieckie i japońskie) widzą przyszłość transportu w paliwie wodorowym. Wodór byłby wykorzystywany do zasilania ogniw paliwowych lub w tańszym wariantcie, lecz o mniejszej sprawności, spalany bezpośrednio w turbinach ciepłych.

Wreszcie elektrownie atomowe. W obliczeniach nie uwzględniono kosztów budowy wydzielonych zbiorników wody o odpowiedniej pojemności aby zapewnić generowanie pełnej mocy w dużych elektrowniach atomowych. Nie mogą to być zbiorniki budowane przez spiętrzanie wody w rzekach, z uwagi na podniesienie temperatury wody. Powinny to być sztuczne zbiorniki obok dużych rzek służących do uzupełniania wody w zbiornikach. Mogą one służyć jako zbiorniki awaryjne na wypadek powodzi i powinny być w znacznym stopniu finansowane z innych źródeł. Alternatywą jest budowa elektrowni atomowych mniejszych mocy rzędu 50÷100 MW (tzw. kompaktowych), nie wymagających dużych zbiorników wody do chłodzenia. Są one na świecie coraz powszechniej wdrażane.

W obliczeniach symulacyjnych przyjęto dane początkowe zawarte w tabeli 1.

**Tabela 1.** Przyjęte do analizy dane początkowe.

L.p.	Opis	Oznaczenie	Jednostka	Wartość
1	2	3	4	5
1	Sprawność ogniwa paliwowego (OP)	$\eta_{OP}$	[%]	60
2	Sprawność elektrolizy	$\eta_{EL}$	[%]	65
3	Sprawność procesu magazynowania wodoru	$\eta_{MH}$	[%]	95
4	Sprawność elektrowni cieplnej z uwzględnieniem potrzeb własnych	$\eta_{EC}$	[%]	35
5	Sprawność silnika spalinowego w transporcie przy spalaniu paliwa	$\eta_{SS}$	[%]	35
6	Sprawność akumulatora litowo-jonowego	$\eta_{AK}$	[%]	94
7	Sprawność silnika elektrycznego w samochodzie	$\eta_{SE}$	[%]	95
8	Sprawność przesyłu w KSE	$\eta_{KSE}$	[%]	88
9	Produkcja energii elektrycznej 2019 r.	$E_E$	[TWh]	164
10	Zużycie paliw płynnych w transporcie 2019 r	$P_P$	[mln ton]	24,33
11	Energia zużytych paliw płynnych w transporcie 2019 r	$E_P$	[TWh]	290,61

### ***Dane do obliczania jednostkowych kosztów produkcji EE.***

Koszty jednostkowe produkcji EE zostały oszacowane w oparciu o założone wskaźniki cenotwórcze podane w tabeli 2 opracowane na podstawie publikacji [1], [2], [4], [10]. W modelu obliczeniowym założono:

- Cena węgla energetycznego 270 zł/t (2019 r.) została podwyższona o 10 % do 300 zł/t i nie ulega zmianie w okresie transformacji. Wprowadzie aktualnie cena rośnie, lecz w miarę wzrostu udziału OZE i innych źródeł bez emisji w produkcji EE popyt musi spadać powodując spadek ceny.
- Ceny paliwa wodorowego w wyniku postępu technologicznego będą spadały szybko do roku 2030, natomiast do roku 2050 spadek będzie mniejszy.
- Ceny paliwa jądrowego będą rosły proporcjonalnie, w miarę wzrostu udziału elektrowni jądrowych w produkcji EE.
- Ceny urządzeń wytwórczych elektrowni EPV, EWLOP, EWMOP (poz. 6, 11, 12 Tabeli 2) w wyniku postępu technologicznego i wzrostu masowości produkcji będą spadały szybko do roku 2030, natomiast do roku 2050 spadek będzie mniejszy.

Przyjęto wzrost zapotrzebowania na EE oraz na paliwa płynne w transporcie w jednakowej wysokości 1,2 %/rok. Wartościami bazowymi są dane o zużyciu paliw i energii z roku 2019, obliczone na podstawie danych GUS [11]. Dane te zawarto w tabeli 3.

**Tabela 2.** Przyjęte wartości składników do obliczania kosztów produkcji EE w latach 2020 ÷ 2050 r.

L.p.	Opis	2020	2030	2050
1	Limit dopuszczalnej emisji CO <sub>2</sub> [mln ton]	105		60
2	Oплата za przekroczenie limitu dopuszczalnej emisji CO <sub>2</sub> [euro/t]	50	65,5	100
3	Prognozowany koszt produkcji H <sub>2</sub> (w tym magazynowania i eksploatacji) paliwa [zł/MWh]	1027	586	475
4	Prognozowany koszt paliwa jądrowego i wzrost 3%/rok [zł/MWh]	23,8	Zmiana liniowa	57,7
5	Koszt paliwa dla EC [zł/t]	300	300	300
6	Nakłady inwestycyjne na elektrownie fotowoltaiczne (EPV) [tys zł/MW]	4000	2000	1600
7	Nakłady inwestycyjne na elektrownie wiatrowe na lądzie EWL [tys zł/MW]	7 000	Zmiana liniowa	5600
8	Nakłady inwestycyjne na elektrownie wiatrowe na morzu (EWM) [tys zł/MW]	8 000	Zmiana liniowa	6400
9	Nakłady inwestycyjne na elektrownie atomowe (EA) [tys zł/MW]	18 000	Zmiana liniowa	16 400
10	Nakłady inwestycyjne na elektrownie ciepłne (EC) [tys zł/MW]	6 000	6000	6000
11	Nakłady inwestycyjne na elektrownie wiatrowe na morzu (EWMOP) skojarzone z magazynowaniem wodoru i oddawaniem EE przez ogniwa paliwowe [tys zł/MW]	16 000	8 300	8 300
12	Nakłady inwestycyjne na elektrownie fotowoltaiczne (EPVOP) skojarzone z magazynowaniem wodoru i oddawaniem EE przez ogniwa paliwowe [tys zł/MW]	12 000	3 900	3 500

## ***Zapotrzebowanie na EE w transporcie.***

Energia ze spalania paliw płynnych w transporcie została przeliczona na równoważną wartość produkcji EE, dla przypadku napędów pojazdów z akumulatorów ładowanych z sieci KSE, wg zależności (1). Uwzględniono sprawności: silnika elektrycznego pojazdu, akumulatorów, przesyłu energii w KSE, sprawność silnika spalinowego.

$$E_{KSE} = \frac{E_P \eta_{SS}}{\eta_{SE} \eta_{AK} \eta_{KSE}} \quad (1)$$

Dla przypadku zasilania transportu wodorem wytworzonym w procesie elektrolizy z energii pobieranej z sieci oraz napędu silnika pojazdu z energii ogniwa paliwowego, zależność na wartość wytwarzanej EE wynosi:

$$E_{KSE} = \frac{E_P \eta_{SS}}{\eta_{SE} \eta_{OP} \eta_{MH} \eta_{EL} \eta_{KSE}} \quad (2)$$

Magazynowanie energii w postaci wodoru, czyli wytwarzanie H<sub>2</sub> z elektrolizy, magazynowanie, a następnie ponowne wytwarzanie EE w ogniwach paliwowych ma niską sprawność (rzędu 35 %, zależność 3):

$$\begin{aligned} E_{EPVOP} &= P_n T_{EPV} \eta_{EL} \eta_{MH} \eta_{OP} \approx E_{EPV} * 0,6 * 0,9 * 0,65 \approx 0,35 E_{EPV} \\ E_{EWMOP} &= P_n T_{EWM} \eta_{EL} \eta_{MH} \eta_{OP} \approx P_n T_{EWM} 0,35 \approx 0,35 E_{EWM} \end{aligned} \quad (3)$$

$P_n$  – moc zainstalowana źródeł zasilających produkcję oraz magazynowania wodoru,  $T_{EPV}$ ,  $T_{EWM}$  – roczny czas wykorzystania mocy znamionowej źródeł odpowiednio dla źródeł PV oraz EWM o mocy znamionowej  $P_n$ .  $E_{EPVOP}$ ,  $E_{EWMOP}$  – energia przekazana do sieci z odpowiednich zespołów magazynowania. Oznaczenia pozostałe podano w tabeli 1. Zasilanie pojazdu przez akumulatory.

### ***Emisja całkowita ze spalania paliw.***

Należy zwrócić uwagę, że suma emisji z EC oraz ze spalania paliw w transporcie na początku transformacji energetyki i transportu na produkcję energii bez emisji CO<sub>2</sub> wynosi jedynie około 54% całej emisji ze spalania paliw (tabela 3). Po zakończeniu transformacji energetyki i transportu pozostała emisja wyniesie 156 ml ton CO<sub>2</sub>, przy niezmienionej wartości tej emisji w rozważanym czasie.

Pozostała emisja jest generowana w przemyśle (np. gazyfikacja węgla, produkcja nawozów sztucznych, itp.). Również inne obszary działalności gospodarczej (rolnictwo, wody śródlądowe, itp.) oraz ogrzewanie budynków będą generowały CO<sub>2</sub>. Całkowita neutralność w emisji CO<sub>2</sub> jest trudna do osiągnięcia. Teoretyczne pochłanianie CO<sub>2</sub> przez lasy wynosi około 5÷8 ton/ha rok. Aktualna powierzchnia lasów 9,2 mln ha w roku 2050 wzrośnie do 10,35 mln ha i maksymalnie może pochłoniąć rocznie około 82,8 mln ton CO<sub>2</sub>. Pomimo tego pozostanie nadmiarowa emisja 73 mln ton. Do wartości pochłanianego CO<sub>2</sub> przez la-

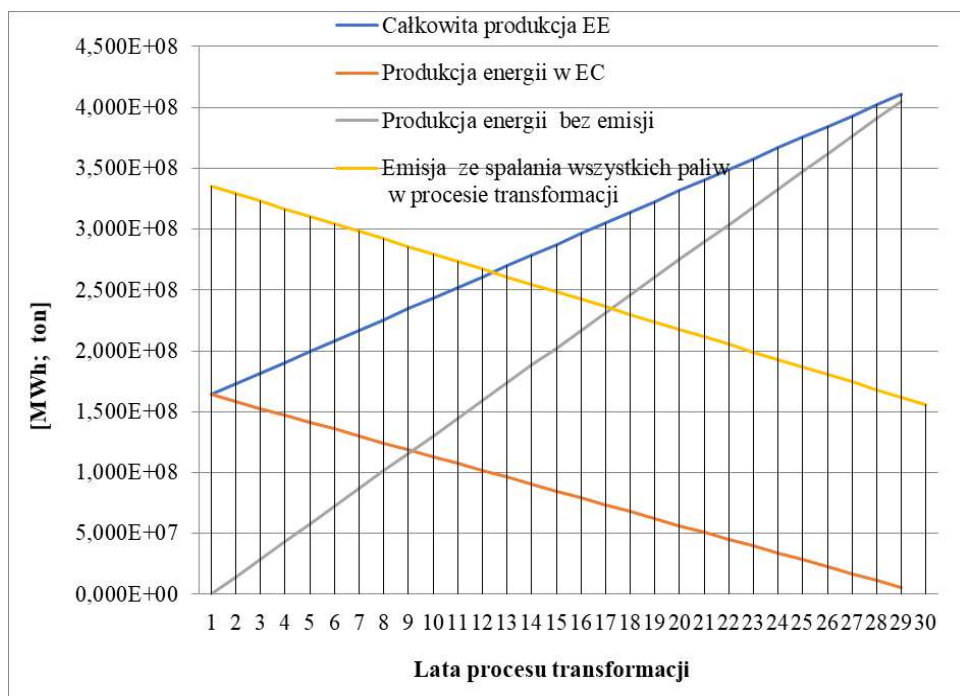
**Tabela 3.** Zużycie paliw, wartość opałow, emisja CO<sub>2</sub> w 2019 r. Obliczone na podstawie [11].

L.p.	Opis	Zużycie	Wartość opałow		Emisja jednostkowa	Emisja ogółem
			[mln ton]	[MJ]	[MWh]	[kg CO <sub>2</sub> /kg]
1	Węgiel	61,8	1,36E+12	3,78E+08	1,9	117,42
2	Węgiel brunatny	49,5	1,04E+12	2,89E+08	2,00	99,00
3	Gaz ziemny	12,61	6,20E+11	1,72E+08	3,1	39,08
4	Paliwa płynne (transport)	24,332	1,05E+12	2,91E+08	3,2	77,86
5	Lekki olej opałow	0,6	2,61E+10	7,25E+06	3,2	1,92
6	Ciężki olej opałow	0,8	3,48E+10	9,67E+06	3,3	2,64
7	Gaz płynny	0,9	4,14E+10	1,15E+07	2,79	2,51
8	Razem ze spalania paliw 2019r.	150,54	4,09E+12	1,14E+09		335,28
9	Emisja CO <sub>2</sub> z EC oraz transportu. Udział w emisji ze spalania paliw oraz wartość emisji	Udział w emisji ze spalania paliw [%]		53,53	[mln ton]	179,47

sy należy podchodzić z dużą rezerwą, gdyż prowadzi się intensywną wycinkę lasów w wieku dużej zdolności pochłaniania CO<sub>2</sub> i pomimo planowanego wzrostu zalesienia do 10,35 mln ha, zdolność ta będzie mniejsza z powodu dużego udziału młodych drzew z nasadzeń o słabym ulistnieniu. W celu zbliżenia się do neutralności w emisji CO<sub>2</sub> należy zredukować emisję ze spalania paliw u drobnych odbiorców (35 mln ton CO<sub>2</sub>) oraz w przemyśle. Realizowana aktualnie kosztowna operacja wymiany starych pieców na nowe u drobnych odbiorców, zdaniem autora, jest przedsięwzięciem bezsensownym ze względu na emisję. Po wymianie nie wystąpi istotne zmniejszenie emisji po zamianie gorszego węgla na

nowy droższy wymagany w nowych piecach. Wzrośnie jedynie cena ogrzewania wymagająca zakupów drogiego opału. Należy jednak odnotować że będą pewne korzyści, gdyż nastąpi zmniejszenie emisji pyłów i trujących benzo(α)pirenów w wyniku niezupełnego spalania w starych piecach. Sukcesywne wdrażanie bezemisyjnego ogrzewania (np. pompy ciepła, wodór lub amoniak w przyszłości) w trakcie remontów i budowy nowych budynków przyczyni się do ograniczenia emisji i wzrostu zużycia EE przez gospodarstwa domowe i drobny przemysł.

Wartości produkcji energii i emisji w okresie transformacji wskazano na wykresie (rys.1.). W przypadku wdrażania zmniejszania emisji w gospodarstwach domowych i innych źródłach, należałoby odpowiednio zwiększać produkcję bezemisyjnej EE.



Rys.1. Produkcja EE łącznie z przechodzeniem transportu na napęd elektryczny i emisja CO<sub>2</sub> ze spalania paliw w procesie transformacji.

### **Jednostkowe koszty produkcji EE z różnych źródeł.**

Wykorzystując powyższe dane i założenia obliczono jednostkowe koszty produkcji EE z różnych źródeł, rozkładając zwrot nakładów inwestycyjnych na cały graniczny okres eksploatacji. Sposób obliczania i wyniki przedstawiono w tabeli 4.

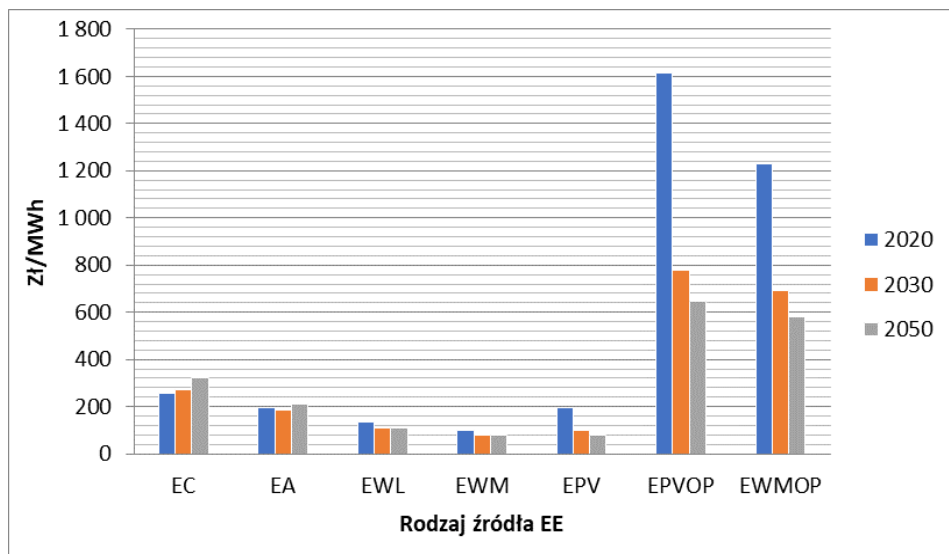
**Tabela 4.** Obliczone koszty jednostkowe produkcji EE [zł/MWh] z różnych źródeł.  
Poziom cen - 2020 r.

L.p.	Opis	Jednostka	Elektrownie ciepłone (EC)	Elektrownie atomowe (EA)	Elektrownie wiatrowe lądowe (EWL)	Elektrownie wiatrowe morskie (EWM)	Elektrownie fotowoltaiczne EPV	Elektrownie EPV z magazynow. EPVOP	Elektrownie EWM z magazynow. (EWMOP)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Nakład inwestycyjny	[tys zł/MW]	6 000	18 000	7000	8 000	4 000	12 000	16 000
2	Czas wykorzystania mocy znam.	[h/rok]	4 500	5 500	2300	3 500	900	900	3 500
3	Graniczny czas eksploatacji	[rok]	25	25	25	25	25	25	25
4	Zwrot nakładu inwestycyjnego na jednostkę wytw. energii	[zł/MWh]	53,33	130,9	122	91,43	177,8	533	183
5	Jednostkowy koszt paliwa	[zł/MWh]	89,1	23,8	0	0	0	1 027	1 027
6	Łączny koszt produkcji energii bez kosztów eksploatacji	[zł/MWh]	142,4	154,7	122	91	178	1 561	1 210
7	Koszt opłaty emisyjnej	[zł/MWh]	97,84	0	0	0	0	0	0
8	Koszt energii po doliczeniu ryczałtowego szacunkowego kosztu eksploatacji	[zł/MWh]	<b>255</b>	<b>194</b>	<b>134</b>	<b>101</b>	<b>196</b>	<b>1 614</b>	<b>1 228</b>

Na wykresie (rys.2.) podano obliczone jednostkowe koszty wytwarzania EE w roku 2020 oraz prognozowane w 2030 i 2050 r. obliczone według zasad podanych w tabeli 4. Z wykresu widać, że obniżanie całkowitych kosztów produkcji EE automatycznie kieruje ten problem do obniżania kosztów systemów magazynowania energii w zespołach wytwórczych (EPVOP, EWMOP). Jest to szczególnie istotne gdyż źródła OZE (EPV i EW) mają względnie niskie czasy wykorzystania mocy znamionowej i w celu zachowania zdolności produkcyjnych systemu wytwórczego jest konieczne uzupełnianie produkcji w pewnych okresach doby i sezonu, gdy występuje brak generacji przez źródła OZE. Rolę



tę powinny spełniać systemy magazynujące energię w okresie pracy OZE, a w okresie jej niedoboru oddające energię uzupełniając jej brak. W publikacji przyjęto magazynowanie wodoru i oddawanie energii wytwarzanej przez ogniwa paliwowe zasilane wodorem.



**Rys.2.** Prognozowane jednostkowe koszty produkcji EE w rozważanych źródłach w latach 2020÷2050.

### ***Symulacja kosztów wytwarzania energii elektrycznej bez emisji. Koszty transformacji energetycznej.***

Przyjęto roczny wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną z 164 TWh w 2020 r. (o 1,2 %/rok) do 419,7 TWh w roku 2050. Wartość ta uwzględnia straty przesyłowe. Wzrost zapotrzebowania na energię paliw w transporcie przyjęto analogicznie. Założenia polityki energetycznej UE przewidują stopniowe przechodzenie transportu na energię bez emisji. W przykładowych obliczeniach symulacyjnych nie uwzględniono magazynowania energii wykorzystującego źródła EPVOP, gdyż koszt produkcji na początku transformacji jest znacznie wyższy niż w EWMOP (rys.2.).

Warto zauważyć, że magazynowanie energii przy wykorzystaniu amoniaku może być szeroko rozpowszechnione, jeśli zostaną opracowane tanie i ekologiczne technologie wytwarzania  $\text{NH}_3$  bez emisji  $\text{CO}_2$  i innych szkodliwych substancji. Wówczas można byłoby spalać amoniak w klasycznych elektrowniach ciepłych przy niewielkiej ich modernizacji. Byłoby to znacznie mniej kapitało-

chłonne rozwiązanie w porównaniu z wytwarzaniem i magazynowaniem wodoru wykorzystując układy EWMOP lub EPVOP. Elektrownie ciepłe z paliwem NH<sub>3</sub> mogłyby pracować zarówno jako elektrownie uzupełniające, współpracując z tańszymi źródłami EE, jak również jako źródła pracy ciągłej. Zastąpiłyby droższe rozwiązania z magazynowaniem wodoru. Rozwój bezemisyjnej i taniej produkcji amoniaku pozwoli na częściowe lub całkowite zastąpienie nim wodoru.

Tabela 5 zawiera obliczenie zapotrzebowania na energię cieplną oraz emisję CO<sub>2</sub> w transporcie zasilanym paliwami płynnymi. Zawarto tam również obliczone zapotrzebowanie na produkcję EE po elektryfikacji transportu.

**Tabela 5.** Produkcja EE na potrzeby transportu. Emisja CO<sub>2</sub>.

L.p.	Opis	Jednostka	Wartość 2019 r	Wartość 2050 r
1	2	3	4	5
1	Zużycie paliw płynnych w transporcie), bez LPG	[mln t]	24,33	32,80
2	Energia cieplna paliw płynnych zużyta w transporcie bez LPG	[TWh]	290,63	391,73
3	Energia paliwa przeliczona na energię mechaniczną napędu z uwzględnieniem sprawności cieplnej silników spalinowych	[TWh]	101,72	137,10
4	Wymagana produkcja energii elektrycznej do zasilania transportu po przejściu na napęd elektryczny z uwzględnieniem sprawności: przesyłu, akumulatora, silnika elektrycznego pojazdu	[TWh]	129,44	174,47
5	Emisja CO <sub>2</sub> w transporcie zasilanym paliwami płynnymi bez LPG	[mln ton]	77,86	104,95
6	Emisja CO <sub>2</sub> w transporcie zasilanym energią elektryczną z EC	[mln ton]	85,43	115,15
7	Wzrost emisji CO <sub>2</sub> w transporcie zasilanym energią elektryczną z EC w porównaniu z zasilaniem paliwami płynnymi	[mln ton]	7,57	10,2

Wykonano obliczenia symulacyjne nakładów wymaganych na pokrycie całego zapotrzebowania na energię elektryczną, w tym na elektryfikację transportu w 30-letnim procesie transformacji. W wykonanych symulacjach udziału poszczególnych źródeł w całkowitej produkcji EE przyjęto arbitralnie, niemniej pozwalają uzmysłowić konieczne nakłady na transformację. Przyjęto 30% udziału źródeł z magazynowaniem energii oraz 30 % udziału elektrowni atomowych. Tabela 6 zawiera wyniki symulacji z uwzględnieniem produkcji EE wraz z zasilaniem transportu. Szczegółowe rozważania uwzględniające zmiany dobowe i sezonowe krajowego zapotrzebowania mogłyby wykazać potrzebę większego udziału układów z magazynowaniem energii. Wymagałoby to jednak głębszej

analizy. Po zakończeniu procesu transformacji emisja CO<sub>2</sub> w produkcji EE i w transporcie zostanie całkowicie wyeliminowana.

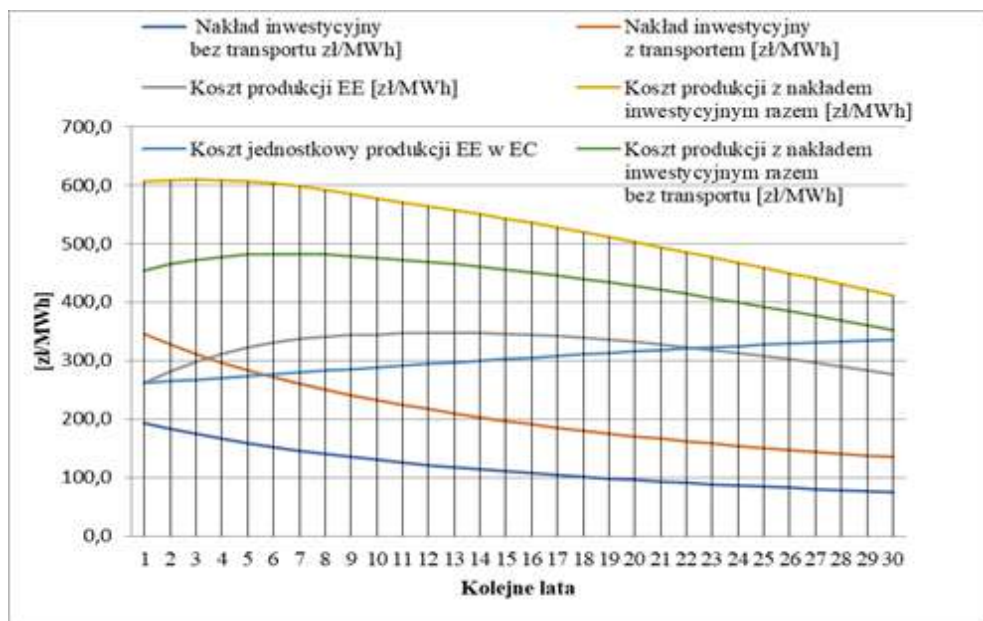
**Tabela 6.** Symulacja kosztów i nakładów na transformację produkcji EE bez emisji z uwzględnieniem zasilania transportu realizowaną w ciągu 30 lat. Przyjęto magazynowanie EE w pojazdach przy zastosowaniu akumulatorów ładowanych z KSE.

L.p	Opis	Udziały w produkcji EE		Energia brutto do wytwarzania H <sub>2</sub> i magazynowania [TWh]	Moc zainstalowana wymagana [MW]	Moc istniejąca źródeł bez emisji [MW]	Średnia cena jednost. prod. EE [zł/MWh]	Nakład inwestycyjny [mld zł]
		[%]	[TWh]					
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Przewidywana prod. energii elektrycznej w 2050 r. ogółem		<b>419,7</b>					
1	Udział elektrowni atomowych (EA)	33	138,5	0	25 182	0	195	416
2	Udział elektrowni EPV dostarczających energię do sieci	5	21,0	0	23 317	2 888	108	45
3	Udział elektrowni EPVOP magazynujących H <sub>2</sub> i wytwarzający EE w ogniwach paliwowych	0	0,0	0,0	0	0	873	0
4	Udział elektrowni wiatrowych na lądzie (EWL) dostarczających energię do sieci	15	63,0	0	27 372	7 000	112	119
5	Udział elektrowni wiatrowych na morzu (EWM) dostarczających energię do sieci	17	71,3	0	20 385	0	84	136
6	Udział elektrowni wiatrowych na morzu (EWMOP) wytw. i magazynujących H <sub>2</sub> i wytwarzający EE w ogniwach paliwowych	30	125,9	358,7	102 491	0	743	982
7	<b>Razem:</b>	<b>100</b>	<b>420</b>	<b>358,7</b>	<b>198 747</b>	<b>9 888</b>	<b>324</b>	<b>1 697</b>

Obliczone w symulacji nakłady inwestycyjne na transformację energetyczną dotyczącą wytwarzania bezemisyjnej EE (po przejściu w całości transportu na zasilenie EE), realizowaną w czasie 30 lat (Tabela 6) wyniesie 1.697 mld zł. Daje to średnio łączne nakłady 56,6 mld zł na rok.

Jeżeli do kosztów transformacji doliczy się koszty zmniejszenia wydobycia węgla, utylizacji kopalń węgla, drastyczne zmniejszenie produkcji i sprzedaży paliw płynnych oraz zabezpieczenie socjalne pracowników tych sektorów, to kwota taka będzie bardzo trudna do udźwignięcia nie tylko przez elektroenergetykę lecz również przez całą krajową gospodarkę.

Średni jednostkowy koszt produkcji ze źródeł bezemisyjnych w okresie transformacji wyniesie 324 zł/MWh. Na końcu okresu transformacji w 2050 roku osiągnie 277 zł/MWh, czyli będzie niższy od prognozowanego kosztu produkcji z EC wynoszącego 336 zł/MWh (Rys.3.). Należy zauważyć, że w czasie trwania przebudowy elektroenergetyki koszty produkcji będą wyższe. Wynika to z faktu, że wprawdzie będzie malała wartość produkcji w EC oraz koszty emisji lecz jednostkowe opłaty emisyjne będą rosły.



**Rys.3.** Jednostkowe koszty produkcji i nakłady inwestycyjne w procesie transformacji. Jednostkowy koszt produkcji w EC w okresie transformacji.

Koszt jednostkowy produkcji EE uwzględniający spadający udział EC i wzrastający udział źródeł bezemisyjnych przedstawiono na Rys 3. Nakłady inwestycyjne, przy założeniu jednakowej mocy źródeł instalowanych rocznie, czyli około 6.600 MW/rok, w pierwszych latach z powodu wysokich cen wyniosą około 70

mld zł/rok, aby po 10 latach zmniejszyć się do około 50 mld zł i utrzymywać się na zbliżonym poziomie przez kolejnych 20 lat do końca okresu transformacji.

Całkowite koszty transformacji to suma kosztów produkcji i nakładów inwestycyjnych. Łączne koszty jednostkowe (Rys. 3) na początku wyniosą 606 zł/MWh aby na końcu modernizacji w roku 2050 wynieść 400 zł/MWh. Jednostkowy koszt łączny w okresie pierwszych 10 lat utrzymuje się na wysokim, praktycznie stałym poziomie, aby po upływie tego okresu sukcesywnie spadać do końca okresu transformacji. Dodatkowo, na wykresie (Rys.3.), pokazano zmiany łącznego jednostkowego kosztu, gdyby transformacja dotyczyła tylko elektroenergetyki bez transportu.

Koszt opłat emisyjnych, wchodzący w skład kosztów produkcji w EC, w całym okresie transformacji jest efektem liniowego wzrostu jednostkowych opłat emisyjnych i malejącego udziału EC w całości produkcji. W obliczeniach założono, że w roku 2050 limit dopuszczalnej emisji CO<sub>2</sub> z 105 mln. ton w 2020 r. spadnie liniowo do poziomu 60 mln ton, a jednostkowy koszt przekroczenia limitu wzrośnie również liniowo z 50 euro/t do 100 euro/t. Wpływ opłat emisyjnych na koszty produkcji w EC przedstawiono na Rys.3., przy założeniu stałego średniego poziomu ceny paliwa zwiększonego o 10 % w stosunku do roku 2019. Na wykresie (Rys.3.) można zauważyć, że koszt produkcji (bez nakładów inwestycyjnych) w końcu okresu transformacji jest niższy od przewidywanego kosztu produkcji w EC, gdyby nie była realizowana transformacja.

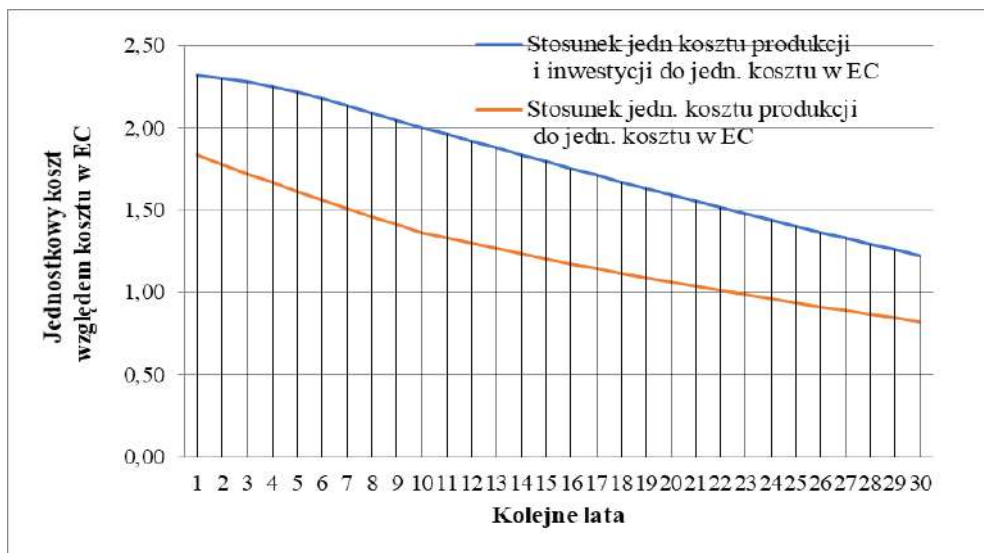
## ***Podsumowanie***

Obliczenia i prognozy zawarte w publikacji mają charakter przykładowy i wyniki są przybliżeniem procesu i jego kosztów. Mają na celu uzmysłowienie, szczególnie osobom nie związanym z energetyką, jak wysokie koszty należy ponieść na transformację elektroenergetyki i transportu w celu likwidacji emisji. Przeprowadzona symulacja powyżej pozwala na następujące wnioski natury ogólnej:

1. Wymagane roczne nakłady na transformację realizowaną w krótkim okresie 10 lat byłyby bardzo wysokie i aktualnie stanowiłyby około 1/3 wartości krajowego budżetu. Dlatego nie zajmowano się, żądanym przez organizacje ekologiczne, 10 letnim okresem transformacji. Wysokość kosztów wymusza realizację transformacji w dłuższym czasie. Rozważano więc 30 letni okres transformacji. Względne zmiany jednostkowych, sumarycznych kosztów odniesione do kosztów produkcji w EC przedstawiono na Rys.4. Przy założeniu instalacji jednakowych (6.600 MW) mocy rocznie, łączny koszt jednostkowy na początku transformacji jest wysoki. Koszt ten maleje, aby osiągnąć w końcu wartość zbliżoną do poziomu 1,2 kosztu produkcji EC (gdyby nie realizować

transformacji). Natomiast jednostkowy koszt produkcji EE maleje znacznie szybciej, aby z poziomu 1,8 na początku osiągnąć wartość 0,8 kosztu jednostkowego w EC. W wyniku transformacji można więc obniżyć koszty produkcji EE w porównaniu z kosztami w EC i wyeliminować jednocześnie emisję CO<sub>2</sub>.

Wysoki aktualnie poziom kosztów źródeł (ogniw PV, ogniw paliwowych, wodoru, itp.) oraz prognozowana silna obniżka do roku 2030, sugeruje, że należałoby rozważyć scenariusz, aby pierwsze 10 lat poświęcić na przygotowanie mocy wykonawczych, szkolenie i nabieranie doświadczenia oraz na zabezpieczenie kapitału przy instalacji niewielkich mocy, aby po 10 latach, po obniżeniu cen, intensywnie inwestować i osiągnąć po kolejnych 20 latach likwidację emisji w transporcie i produkcji EE.



**Rys.4.** Stosunek jednostkowych kosztów produkcji oraz sumarycznych jednostkowych kosztów produkcji i inwestycji do kosztu produkcji w EC w okresie transformacji.

Wstępne szacunki wskazują w takim przypadku na możliwość zmniejszenia nakładów o około 100 mld. zł. Oczywiście rozważania nie mają sensu przy dużej inflacji z oczywistych powodów natury ekonomicznej. Ponadto należy zauważyć, że finansowanie transformacji poprzez wzrost cen detalicznych EE spowoduje skokowy wzrost cen większości towarów i usług. Dlatego należałoby:

- nie włączać wysokich kosztów inwestycji do cen EE lub włączać je w niewielkim stopniu,
- wszystkie środki z opłat emisyjnych przeznaczać na transformację energetyczną (około 25 mld zł/rok na początku transformacji i 13 mld zł/rok średnio w okresie 30 lat)
- wykorzystać w dużej części fundusze z UE i proponowane tanie kredyty na transformację energetyki.

2. Podane obliczenia kosztów i nakładów należy traktować jako maksymalne. W przypadku uzyskania innych, tańszych, ekologicznych metod otrzymywania wodoru lub tańszych i ekologicznych metod otrzymywania amoniaku nakłady zostałyby obniżone. W przypadku zastosowania amoniaku można byłoby znacznie ograniczyć nakłady na zespoły wytwarzania i magazynowania wodoru, a wykorzystać istniejące elektrownie ciepłone do spalania zmagazynowanego amoniaku. Byłoby to bardzo istotne ograniczenie kosztów transformacji energetycznej. Trwają intensywne prace dotyczące zarówno produkcji jak i magazynowania EE. Należy oczekiwać że w niedługim czasie będzie możliwość produkcji energii z nowych rodzajów źródeł znacznie tańszych. Oczekiwanie na nowe rozwiązania nie powinno wstrzymywać procesu transformacji lecz w miarę dostępności nowych tańszych źródeł, czy sposobów magazynowania, należy dostosowywać elastycznie program transformacji wdrażając tańsze i lepsze rozwiązania. Należy oczekiwać z optymizmem, że nastąpi w końcu opracowanie i wdrożenie racjonalnej, elastycznej krajowej wieloletniej strategii transformacji z korzyścią dla konsumentów energii oraz środowiska.

Wdrażanie wykorzystania wodoru do produkcji i magazynowania EE sygnalizuje Japonia i Korea Południowa. Japonia przewiduje uruchomienie do 2030 r. mocy 1000 MW, natomiast Korea 15 000 MW do roku 2040. Koszty produkcji energii tym sposobem szacuje się w Japonii na 200÷250 \$/MWh. Jest to wartość zbliżona do obliczonego w symulacji (Rys.2.) kosztu produkcji w zespołach EWMOP w wysokości około 650 zł/MWh w roku 2030 i 600 zł/MWh w roku 2050. W zespołach EVPOP obliczone w symulacji ceny produkcji wynoszą odpowiednio około 780 i 650 zł/MWh. Nie można wykluczyć odkrycia nowych źródeł bezemisyjnego wytwarzania EE opartych na zupełnie innych zasadach. Na świecie trwają intensywne prace badawcze. Realizowane są badania nad biologicznym otrzymywaniem wodoru z glonów morskich. Zrealizowana jest elektrownia oparta na ciśnieniu osmotycznym w ujściach rzek między wodą morską i wodą słodką z rzeki (Norwegia). Prowadzone są badania nad źródłami na bazie nanowarstw i osmotycznego przenikania jonów. Jest szereg innych badań objętych tajemnicą. Należy w niedługim czasie oczekiwać przemysłowych wdrożeń produkcji EE z nowych, znacznie tańszych źródeł. Należy wyrazić ubolewanie, że Polska nie stoi w pierwszym szeregu prowadzenia intensywnych badań nad nowymi technologiami w tej dziedzinie.

3. Należy rozważyć sens dalszego rozwoju przydomowych źródeł PV. Źródła PV przyłączone do sieci nN z reguły nie mogą przekazywać pełnej nadwyżki produkowanej energii do sieci. Wynika to z oczywistych przyczyn. Przekształtniki napięcia nastawione na maksymalną produkcję mocy mają ograniczenia regulacji poziomem napięcia w sieci nN. Ograniczeniem tym jest poziom dopuszczalnego napięcia wynoszący  $1,15 U_n$ . Źródło zlokalizowane w pobliżu stacji SN/nN, gdzie napięcie oscyluje w zakresie  $(1,05 \div 1,1) U_n$  przekaże niewielką energię do sieci w porównaniu ze źródłem na końcu linii nN, gdzie napięcie sieci jest niższe.

Ponadto źródło na końcu linii spowoduje wzrost napięcia w tej linii i ograniczyć może do zera możliwość oddania energii do sieci ze źródła PV znajdującego się bliżej stacji. Prowadzi to do znacznego ograniczenia energii przekazywanej do sieci w stosunku do mocy znamionowej źródeł PV. Znacznie lepszym rozwiązaniem, pozwalającym wykorzystać w pełni możliwości źródeł PV są duże moce źródeł przyłączonych bezpośrednio do stacji SN lub WN. Umożliwi to nie tylko wprowadzanie pełnej mocy do sieci lecz również, przy stosowaniu przekształtników z regulacją podłużną i poprzeczną napięcia, generowanie wymaganej przez KSE mocy biernej. Takie rozwiązanie nie będzie również wymuszać modernizacji sieci nN w celu zwiększenia przepustowości. Będzie to konieczne przy intensywnym rozwoju przydomowych źródeł PV.

### **Literatura:**

- [1] *Przekład z j. japońskiego*; *Wodór do wytwarzania i magazynowania energii elektrycznej*; Centrum Informacji o Rynku Energii, sierpień; 2020.
- [2] *Forum Energii; raport*; *Transformacja Energetyczna w Polsce*; Dane o energetyce za rok 2020.
- [3] *Agnieszka Ubowska*; *Redukcja emisji gazów cieplarnianych ze statków. Amoniak jako paliwo przyszłości*; *Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni* 29.12.2018
- [4] *Ryszard Bartnik, Anna Hnydiuk*; *Analiza ekonomiczna jednostkowych kosztów produkcji elektryczności w różnych technologiach jej wytwarzania*; Politechnika Opolska, Katedra Zarządzania Energetyką.
- [5] *Józef Dubiński, Marian Turek, Henryk Aleksa*; *Węgiel kamienny dla energetyki zawodowej w aspekcie wymogów ekologicznych*; *Prace naukowe GIG*.
- [6] *Przemysław Grzywacz*; *Badanie kinetyki zgazowania krajowych węgla parą wodną w warunkach podwyższonego ciśnienia*, rozprawa doktorska; AGH; 2017.
- [7] *Agencja Rynku Energii*; *Informacja statystyczna o energii elektrycznej*; sierpień; 2020.
- [8] *Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami*; *Metodyka wraz z przykładowym obliczeniem „limitu” krajowej emisji gazów cieplarnianych dla Polski w latach 2013-2020*
- [9] *Zbigniew Figiel, Zbigniew Robak*; *Niezależność energetyczna zakładu koksowniczego*; Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla; Karpacz, 2015.
- [10] *Waldemar Dołęga*; *Ekologia w wytwarzaniu*; Politechnika Wrocławska, "Energia Gigawat"
- [11] *GUS*; *Zużycie nośników paliw i energii*; 2019

\* *dr inż. Jerzy Gryko, Firma: JG Consult Jerzy Gryko*  
*Adres: ul. Kamiennobrodzka 6, 16-050 Michałowo, tel. 609 729 000*



### Konkurs Oddziału Białostockiego SEP na wyróżniającą się pracę dyplomową z dziedziny elektryki w roku akademickim 2020/2021

**Jarosław Werdoni**

Podobnie do lat ubiegłych, Oddział Białostocki SEP we współpracy z Wydziałem Elektrycznym Politechniki Białostockiej, przeprowadził Konkurs na wyróżniającą się pracę dyplomową w roku akademickim 2020/2021. Zarząd Oddziału powołał Komisję Konkursową w składzie:

- **Przewodniczący Komisji** - dr hab. inż. Bogusław Butryło prof. PB - dziekan Wydziału Elektrycznego Politechniki Białostockiej,
- **Członkowie:** mgr inż. Jerzy Busłowski, mgr inż. Paweł Mytnik, mgr inż. Anna Niczyporuk, dr inż. Mirosław Popławski, dr hab. inż. Marian Dubowski prof. PB, dr inż. Jarosław Werdoni, dr inż. Krzysztof Woliński.



**Fot.1. Komisja podczas obrad** (od lewej: Krzysztof Woliński, Mirosław Popławski, Jerzy Busłowski, Bogusław Butryło, Jarosław Werdoni, Marian Roch Dubowski) – fot. Paweł Mytnik

Członkowie Komisji mieli możliwość wcześniejszego zapoznania się z opiniami promotorów i recenzentów, a przede wszystkim z pracami zgłoszonymi do konkursu. Komisja zebrała się na posiedzeniu w dniu 3 grudnia 2021 r. w siedzibie Wydziału Elektrycznego Politechniki Białostockiej. Jak widać na fotografii, z powodu stanu epidemicznego, spotkanie odbyło się z zachowaniem reżimu sanitarnego.

Do Konkursu zgłoszono 13 prac. Rozstrzygnięcie nastąpiło w jednym etapie głosowania. W wyniku postępowania konkursowego dwie prace otrzymały zdecydowanie najwyższe noty punktowe, którym przyznano równorzędne I miejsce.. Nieco mniej punktów otrzymały trzy inne prace, ale praktycznie po tyle

samo, więc Komisja postanowiła przyznać im trzy równorzędne II miejsca. Podczas dyskusji członkowie Komisji Konkursowej podkreślili bardzo wysoki i wyrównany poziom prac zgłoszonych do tegorocznego Konkursu. Oto jego laureaci:

### **Dwa równorzędne I Miejsca:**

- **mgr inż. Mateusz Wasilewski** - „Przekształtnik DC/AC z dodatkowym, wspomagającym przekształtnikiem DC/DC – realizacja praktyczna”, promotor dr inż. Marek Tomasz Korzeniewski,
- **inż. Piotr Wasilewski** - „A stand-alone brushless actuator for small-size dynamic legged robots” („Projekt i budowa modułowego napędu bezszczotkowego z przeznaczeniem do robotów kroczących”), promotor dr Maciej Ciężkowski,

### **Trzy równorzędne II Miejsca:**

- **inż. Paweł Muszyński** - „Opracowanie konstrukcji wyświetlacza przeziernego”, promotor dr hab. inż. Jacek Kuszniery,
- **mgr inż. Bartłomiej Naruk** - „Badania symulacyjne wybranych algorytmów sterowania mobilnego robota kołowego z uwzględnieniem jego dynamiki”, promotor dr hab. inż. Zbigniew Kulesza, prof. PB,
- **mgr inż. Alicja Barbara Siemieniako** - „Programowanie manipulatora robota do rozgrywania gry planszowej”, promotor prof. dr hab. inż. Zdzisław Gosiewski.



**Fot. 2. Moment ogłoszenia wyników konkursu 2020/2021** (od lewej: Paweł Mytnik, Zbigniew Kulesza, Alicja Barbara Siemieniako, Bartłomiej Naruk, Jacek Kuszniery, Paweł Muszyński, Mateusz Wasilewski, Bogusław Butryło) - fot. Mirosław Danowski

Uroczyste ogłoszenie wyników odbyło się podczas Oddziałowego Spotkania Noworocznego w dniu 17 stycznia 2022 r. Zdobywcy I i II miejsc otrzymali nagrody pieniężne. Autorzy wszystkich wyróżnionych prac i ich promotorzy otrzymali także okolicznościowe dyplomy gratulacyjne.

Streszczenia nagrodzonych prac dyplomowych, przygotowane przez ich autorów, będą drukowane w kolejnych wydaniach Biuletynu.

# Opracowanie algorytmu sterowania przekształtnika DC/AC z dodatkowym wspomagającym przekształtnikiem DC/DC

Mateusz Wasilewski \*

## Wstęp i zakres pracy

Zdecydowana większość energii elektrycznej produkowanej na świecie zostaje wykorzystana do zasilania wszelkiego rodzaju silników elektrycznych i urządzeń dużej mocy, gdzie szczególny udział stanowią maszyny napędzane trójfazowymi silnikami asynchronicznymi. Wyparcie silników prądu stałego przez silniki indukcyjne było możliwe również dzięki rozwojowi metod sterowania, techniki mikroprocesorowej oraz energoelektroniki. Szczególnie istotne było opracowanie wektorowych metod regulacji położenia i prędkości obrotowej opartych o transformację układu współrzędnych trójfazowych wielkości elektrycznych maszyny indukcyjnej do stacjonarnego oraz wirującego układu współrzędnych prostokątnych – transformaty Clarke'a i Parke'a. Opracowane na podstawie powyższego modelu matematycznego metody takie jak DCT (direct torque controll) lub FOC (field oriented controll) charakteryzują się dobrymi właściwościami w stanie statycznym i dynamicznym, lecz przede wszystkim, tak jak np. metoda DFOC – pozwalają na uproszczenie zależności opisujących zmienne stanu maszyny indukcyjnej co w efekcie powoduje, że regulacja prędkości obrotowej silnika prądu przemiennego staje się znacznie prostsza, w stopniu porównywalnym do sterowania obcowzbudnym silnikiem DC. Natomiast ocena samego przekształtnika wykorzystanego do zasilania maszyny indukcyjnej, pod względem jakościowym uzależniona jest od wielu czynników i parametrów. Pierwszym i najbardziej oczywistym jest koszt jego wykonania. Następnie są to koszty związane z eksploatacją, odnoszące się do niezawodności oraz sprawności układu. Sprawność z kolei związana jest głównie z częstotliwością łączeń tranzystorów i stratami przewodzenia na elementach aktywnych oraz pasywnych przekształtnika. Istotne okazują się też inne aspekty, takie jak np. generacja napięcia zaburzeń wspólnych [6], które prowadzić może do uszkodzenia łożysk silników i/lub niepotrzebnych wywoleń zabezpieczeń różnicowoprądowych.

W przedstawionej pracy inżynierskiej opracowany został model symulacyjny w środowisku Matlab/Simulink, trójfazowego przekształtnika DC/AC zasilającego silnik indukcyjny, gdzie w szynie prądu stałego w/w

falownika zastosowany został dodatkowy, pośredniczący przekształtnik DC/DC umożliwiający uzyskanie jak najbardziej optymalnej wartości napięcia DC w celu maksymalizacji sprawności i jakości pracy układu. Z wykorzystaniem wymienionego środowiska symulacyjnego przeprowadzone zostały badania statycznych oraz dynamicznych właściwości opracowanego układu silnik-falownik.

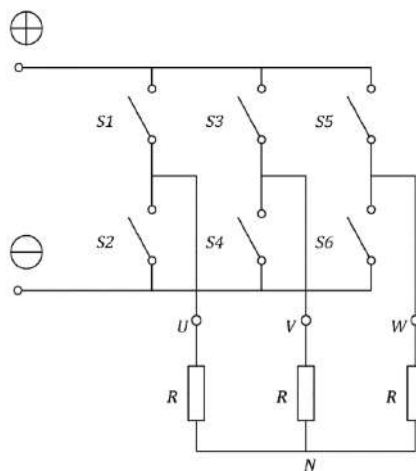
Zakres pracy obejmuje:

- przegląd literatury w kontekście sterowania przekształtników DC/AC z regulacją napięcia w szynie DC,
- opracowanie modelu symulacyjnego w środowisku Matlab/Simulink,
- opracowanie algorytmu sterowania dodatkowego przekształtnika DC/DC regulującego napięcie w szynie DC,
- implementację predykcyjnego algorytmu sterowania przekształtnika DC/AC wykorzystującego możliwość regulacji napięcia w szynie DC,
- badania symulacyjne opracowanych algorytmów sterowania przekształtników DC/AC i DC/DC,
- opis własnych osiągnięć i wnioski końcowe.

## Matematyczny model wektorowy przekształtnika DC/AC oraz silnika indukcyjnego

W celach lepszego zrozumienia oraz przeprowadzenia analizy działania trójfazowych przekształtników DC/AC najczęściej wykorzystuje się przekształcenie układu współrzędnych Clarke'a i Parke'a ( $\alpha\beta$  oraz  $dq$ ). Sprowadzenie wielkości trójfazowych zarówno przekształtnika jak i zasilanej przez niego maszyny indukcyjnej, do pojedynczych wektorów w znaczącym stopniu upraszcza i systematyzuje analizę pracy układu, jak również ogranicza ilość wielkości wejściowych jakie są przetwarzane przez część sterującą. Uproszczony model dwupoziomowego przekształtnika DC/AC został przedstawiony na rysunku 1.

W celu uproszczenia analizy modelu matematycznego, przyjęte zostały następujące założenia początkowe [5]:



Rys.1. Uproszczony schemat przekształtnika z przyłączonym odbiornikiem rezystancyjnym połączonym w gwiazdę [1]

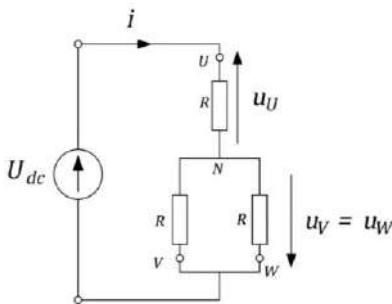
- tranzystory traktujemy jako łączniki idealne tj. ich rezystancja w stanie zamkniętym jest równa 0, zaś w stanie otwartym nieskończenie wielka,
- zakładamy zerowy czas załączenia i wyłączenia tranzystorów,
- pomijamy straty łączeniowe,
- nie uwzględniamy czasu martwego.

Jak widać na rysunku 1, każdy z zacisków obciążenia w postaci rezystorów można za pomocą łączników przyłączyć albo do bieguna dodatniego, albo do ujemnego szyny zasilającej, przy czym w każdej gałęzi zwarty może zostać tylko jeden łącznik. W przeciwnym wypadku dochodzi do zwarcia źródła zasilania. Przyjmuje się, że konfiguracja łączników opisana jest przez słowo bitowe gdzie każdy bit opisuje przyłączenie kolejnego zacisku obciążenia do bieguna szyny. Bit 1 oznacza przyłączenie do bieguna dodatniego zaś 0, do ujemnego.

<i>U</i>	<i>V</i>	<i>W</i>
1	0	0
+	-	-

W efekcie otrzymujemy 8 możliwych konfiguracji przyłączenia obciążenia.

**Tabela 1. Zestawienie napięć fazowych odbiornika dla każdej z konfiguracji łączników przekształtnika**



**Rys.2. Przykładowa konfiguracja przyłączenia obciążenia trójfazowego przez przekształtnik do szyny DC-100**

Konfiguracja łączników – zapis binarny	Liczba w systemie dziesiętnym	Napięcie $u_U$	Napięcie $u_V$	Napięcie $u_W$
001	1	$-\frac{1}{3}U_{dc}$	$-\frac{1}{3}U_{dc}$	$\frac{2}{3}U_{dc}$
010	2	$-\frac{1}{3}U_{dc}$	$\frac{2}{3}U_{dc}$	$-\frac{1}{3}U_{dc}$
011	3	$-\frac{2}{3}U_{dc}$	$\frac{1}{3}U_{dc}$	$\frac{1}{3}U_{dc}$
100	4	$\frac{2}{3}U_{dc}$	$-\frac{1}{3}U_{dc}$	$-\frac{1}{3}U_{dc}$
101	5	$\frac{1}{3}U_{dc}$	$-\frac{2}{3}U_{dc}$	$\frac{1}{3}U_{dc}$
110	6	$\frac{1}{3}U_{dc}$	$\frac{1}{3}U_{dc}$	$-\frac{2}{3}U_{dc}$
111	7	0	0	0
000	0	0	0	0

Dla danej konfiguracji łączników (np.: 100) możemy utworzyć macierz napięć fazowych odbiornika:

$$\mathbf{u}_{f(100)} = \begin{bmatrix} u_u \\ u_v \\ u_w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{2}{3}U_{dc} \\ -\frac{1}{3}U_{dc} \\ -\frac{1}{3}U_{dc} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Następnie na podstawie otrzymanej macierzy dokonuje się przekształcenia z wykorzystaniem poniższej [5]:

$$\mathbf{u}_{\alpha\beta} = \frac{2}{3} [\mathbf{1} \quad \mathbf{a} \quad \mathbf{a}^2] \begin{bmatrix} u_u \\ u_v \\ u_w \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\mathbf{a} = e^{j\frac{2}{3}\pi}$$

W przypadku ośmiu konfiguracji łączników przedstawionych w tabeli 1, wektor przestrzenny napięcia przekształtnika dwupoziomowego w układzie  $\alpha\beta$  opisany jest zależnością:

$$\mathbf{u}_{\alpha\beta} = \begin{cases} \frac{2}{3} U_{dc} e^{j(n-1)\frac{\pi}{3}}; & \text{dla } n \in \{1,2,3,4,5,6\} \\ "0" & \text{dla } n \in \{0,7\} \end{cases} \quad (3)$$

Dla  $n$  przyjmującego wartości z przedziału od 1 do 6 zależność (3) opisuje tzw. *wektory aktywne* przekształtnika. Występujący w równaniach współczynnik  $2/3$  pozwala na zachowanie wartości chwilowych przekształcanych wielkości po odwrotnej transformacji układu współrzędnych [2],

Natomiast w przypadku konfiguracji łączników opisanych słowami *000* oraz *111* (dla  $n$  równych 0 oraz 7) wektory opisane są zależnością:

$$\mathbf{u}_{\alpha\beta} = \mathbf{0}$$

Dwie powyższe konfiguracje łączników nazywane są z kolei *wektorami zerowymi* – ich moduł jest zerowy.

Przekształceniu temu poddane zostają wszystkie wielkości elektryczne zarówno przekształtnika jak i zasilanej przez niego maszyny indukcyjnej. Zastosowanie powyższej transformacji dla elektromechanicznych równań opisujących działanie silnika indukcyjnego powoduje uzyskanie szeregu pojedynczych wektorów odzwierciedlających trójfazowe wielkości elektryczne danej maszyny (prądy, strumienie i napięcia). Są to jednak w dalszym ciągu wektory wirujące, które w układzie jednowymiarowym opisywane są za pomocą dwóch składowych prostokątnych zmiennych sinusoidalnie lub cosinusoidalnie w dziedzinie czasu. Wektory napięcia przekształtnika z kolei są stacjonarne. W celu wyznaczenia nieokresowych składowych wektorów wielkości silnikowych, a w efekcie znacznego uproszczenia procesu regulacji, wykorzystuje się przekształcenie do układu wirującego z prędkością synchroniczną –  $dq$ . W przypadku wektorów sterujących (wektorów napięcia przekształtnika), transformacja opisana jest następującą zależnością [5]:

$$\mathbf{u}_{dq} = e^{-j\omega_0 t} \begin{cases} \frac{2}{3} U_{dc} e^{j(n-1)\frac{\pi}{3}} \\ "0" \end{cases} = \mathbf{u}_{\alpha\beta} \cdot e^{-j\omega_0 t} \quad (4)$$

gdzie:  $\omega_0$  – pulsacja synchroniczna.

W przypadku modelu matematycznego opisującego zachowanie maszyny indukcyjnej zasilanej przez falownik, otrzymuje się poniższy komplet równań [5][7]:

$$\mathbf{u}_{sdq} = R_s \mathbf{i}_{sdq} + \frac{d}{dt} \Psi_{sdq} + j\omega_0 \Psi_{sdq} \quad (5)$$

$$\mathbf{u}'_{rdq} = R_r \mathbf{i}'_{rdq} + \frac{d}{dt} \Psi'_{rdq} + j(\omega_0 - p_b \omega_m) \Psi'_{rdq} \quad (6)$$

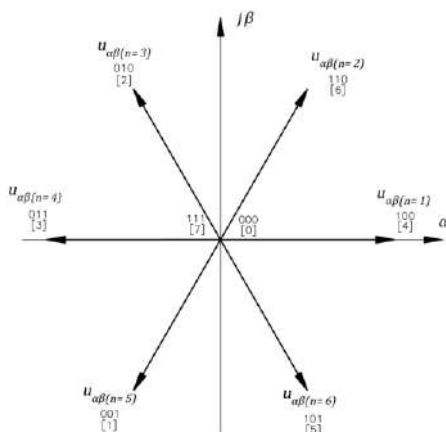
$$\Psi_{sdq} = L_s \mathbf{i}_{sdq} + L_m \mathbf{i}'_{rdq} \quad (7)$$

$$\Psi_{rdq} = L'_r \mathbf{i}'_{rdq} + L_m \mathbf{i}_{sdq} \quad (8)$$

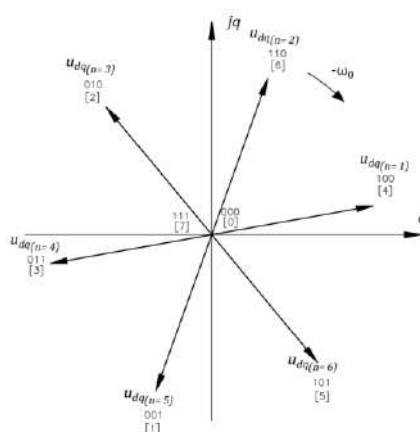
gdzie:  $L_s$  – indukcyjność stojana,  $L'_r$  – indukcyjność wirnika sprowadzona na stronę stojana,  $R_s$  – rezystancja stojana,  $R_r$  – rezystancja wirnika,  $\Psi_{sdq}$  – wektor strumienia stojana w układzie wirującym  $dq$ ,  $\Psi_{rdq}$  – wektor strumienia wirnika w układzie wirującym  $dq$ ,  $\mathbf{u}_{sdq}$  – wektor napięcia stojana w układzie wirującym  $dq$ ,  $\mathbf{u}'_{rdq}$  – wektor napięcia wirnika w układzie wirującym  $dq$  sprowadzony na stronę stojana,  $\mathbf{i}_{sdq}$  – wektor prądu stojana w układzie wirującym  $dq$ ,  $\mathbf{i}'_{rdq}$  – wektor prądu wirnika w układzie wirującym  $dq$ .

Interpretacja geometryczna przedstawionych równań oraz otrzymanych wektorów sterujących jest następująca:

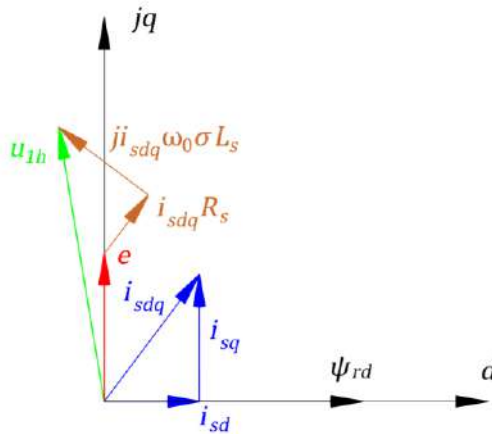
a)



b)



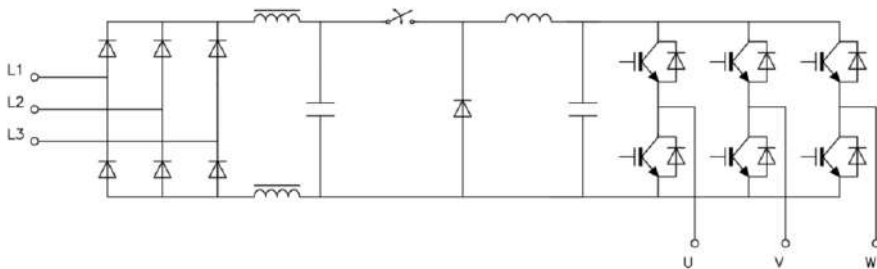
Rys.2. Wektory napięcia trójfazowego przekształtnika DC/AC: a) w układzie stacjonarnym  $\alpha\beta$ , b) w układzie wirującym  $dq$ ,



Rys. 4. Wykres wektorowy dla silnika indukcyjnego w układzie wirującym dq [1]

## Topologia przekształtnika DC/DC/AC oraz kryteria regulacji optymalnej wartości napięcia w szynie DC

W celu regulacji wartości napięcia w szynie DC falownika wykorzystany został pośredniczący przekształtnik obniżający napięcie typu buck converter (rysunek 5):



Rys.5. Topologia przekształtnika DC/AC z dodatkowym, wspomagającym przekształtnikiem DC/DC [1]

Układ sterowania przekształtnikiem DC/AC ma charakter prądowy w związku z czym istotne jest określenie zależności pozwalającej jednoznacznie przewidzieć charakter zmian wektora prądu stojana maszyny indukcyjnej w funkcji zmiennych sterujących jakimi w naszym przypadku są wektory napięcia przekształtnika. Na podstawie literatury oraz przedstawionego wcześniej zestawu równań maszyny indukcyjnej można wykazać, że pochodna prądu stojana silnika asynchronicznego jest proporcjonalna do wektorów różnicy napięcia sterującego i napięcia odzwierciedlającego podstawową harmoniczną napięcia stojana:



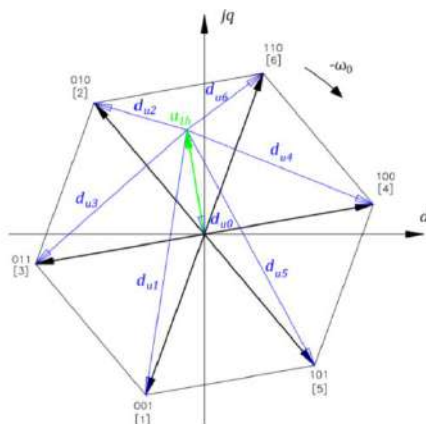
$$\mathbf{d}_{ux} = \frac{d}{dt} \mathbf{i}_{sdq} = \frac{1}{\sigma L_s} (\mathbf{u}_{dq} - \mathbf{u}_{1h}) \quad (9)$$

Podczas gdy wektor odzwierciedlający podstawową harmoniczną opisany jest zależnością:

$$\mathbf{u}_{1h}^* = R_s \mathbf{i}_{sdq}^* + j\omega_0 \sigma L_s \mathbf{i}_{sdq}^* + j\mathbf{e}_r \quad (10)$$

gdzie:  $\sigma$  - wsp. rozproszenia,  $\mathbf{e}_r$  – siła elektromotoryczna rotacji, \*- wartości zadane.

Inaczej mówiąc, jest to wektor napięcia jaki powinien być kształtowany przez przekształtnik aby uzyskać zadany przebieg prądu.

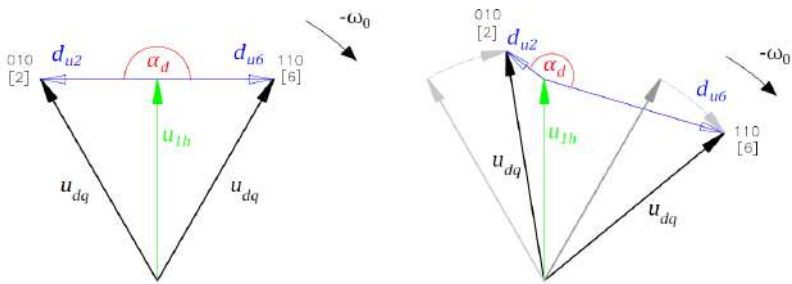


**Rys.6. Interpretacja geometryczna wektorów proporcjonalnych do pochodnych prądu stojana silnika indukcyjnego [1]**

Przedstawione zależności pokazują, że długość wektora  $u_{1h}$  jest proporcjonalna do wartości pulsacji synchronicznej silnika. Z równania (4) wynika natomiast, że długości wektorów sterujących, w klasycznych przekształtnikach DC/AC ze względu na sztywną wartość napięcia w szynie prądu stałego, pozostają niezmiennie. Wobec powyższego można zauważyć, że przy niskich prędkościach obrotowych napędu, moduły wektorów proporcjonalnych do pochodnej prądu stojana przyjmują duże wartości ze względu na wysoką różnicę pomiędzy aktywnymi wektorami sterującymi a wektorem podstawowej harmonicznego.

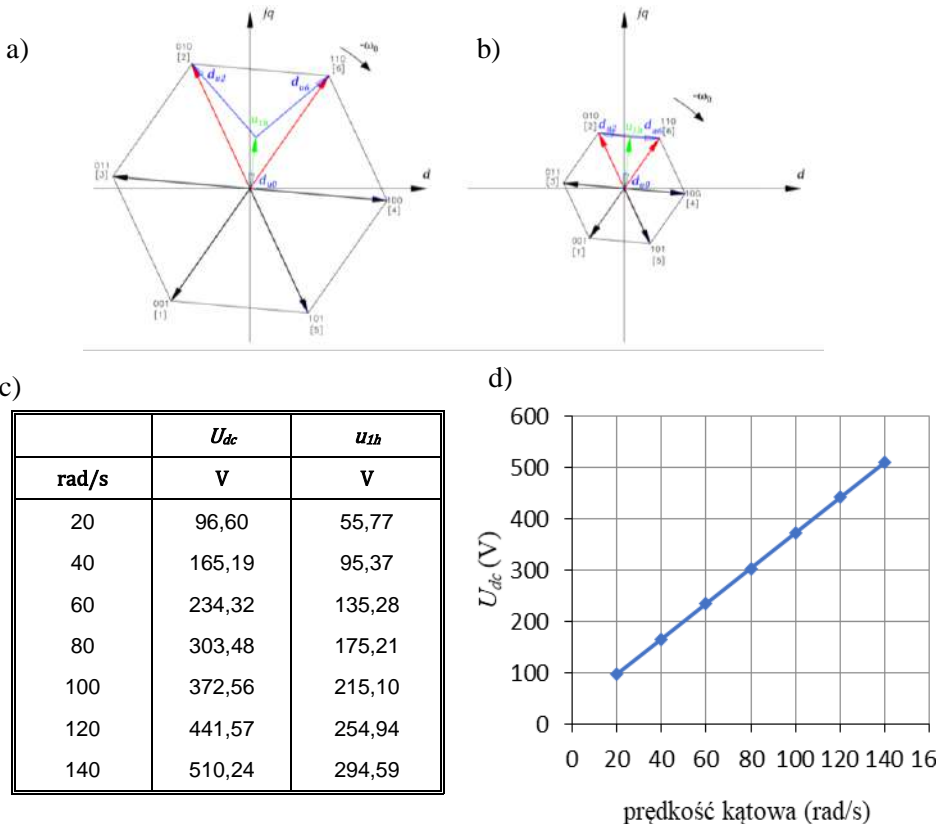
W efekcie prowadzi to do wzmoczonych tętnień prądu stojana przy załączeniu wektorów aktywnych, natomiast przekształtnik chcąc odtworzyć zadany wektor napięcia, przez większość czasu będzie wykorzystywał wektory zerowe.

W omawianej pracy inżynierskiej ze względu na obecność pośredniczącego przekształtnika DC/DC (buck converter'a), istnieje możliwość optymalizacji długości wektorów sterujących poprzez regulację wartości napięcia w zasilającej szynie DC falownika. Kryterium doboru optymalnej wartości napięcia stałego opiera się o proste zależności geometryczne. Zgodnie ze szczegółowo określoną w literaturze, zasadą regulacji prądu wyjściowego przekształtnika DC/AC [4], należy zapewnić możliwość przesunięcia końca wektora prądu stojana SI w każdym kierunku na płaszczyźnie zespolonej. Pomijając szczegółową analizę, należy sprawić aby kąt pomiędzy sąsiednimi wektorami proporcjonalnymi do pochodnych prądu  $\mathbf{d}_{ux}$  (rysunek 7) miał wartość mniejszą niż  $180^\circ$ .



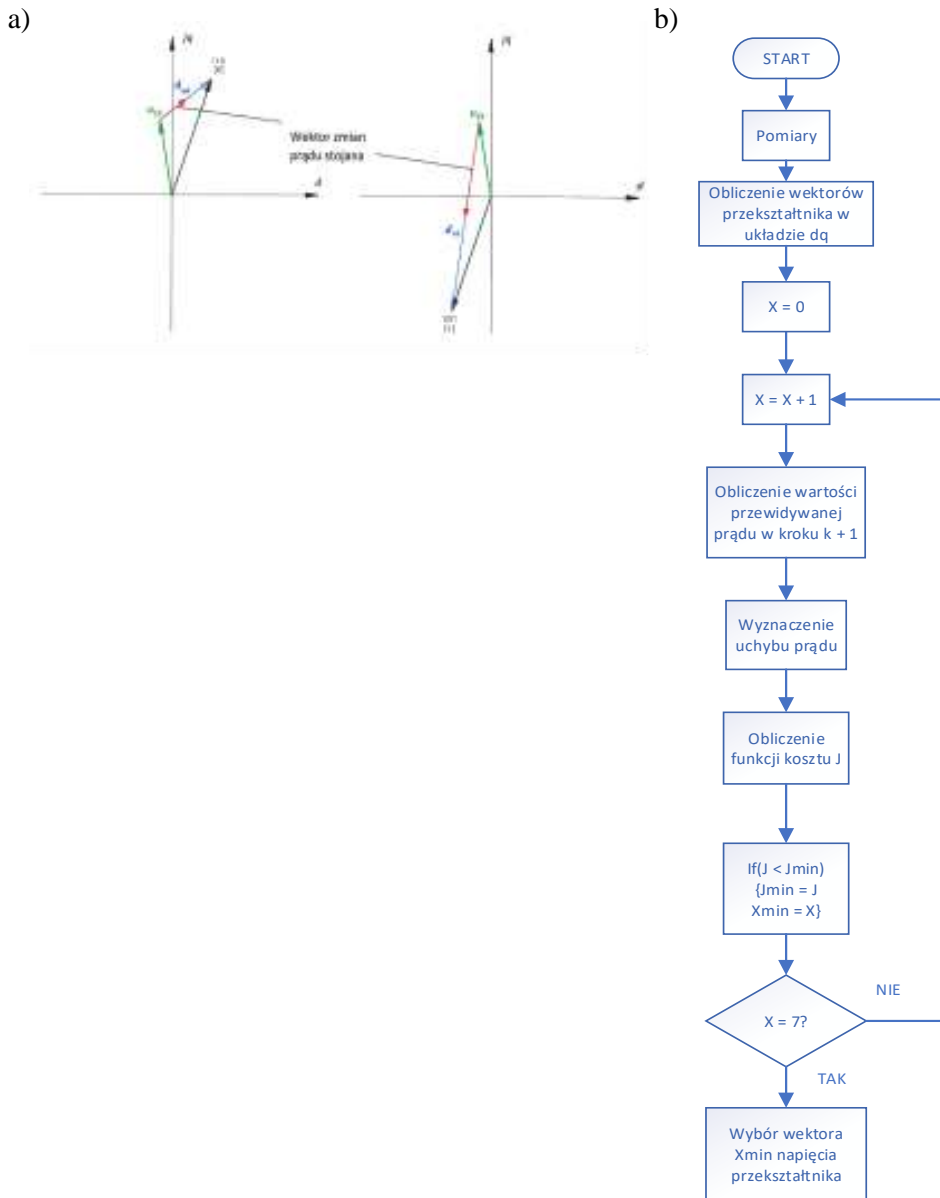
Rys.7. Warunek graniczny regulacji wektorowej prądu [1]

Jak można zauważyć na powyższym rysunku, w przypadku granicznym tj. kiedy kąt  $\alpha_d$  równy jest  $180^\circ$ , wektor odzwierciedlający podstawową harmoniczną napięcia stojana silnika indukcyjnego pokrywa się z wysokością trójkąta równobocznego utworzonego przez sąsiadujące wektory napięcia przekształtnika. Ze względu na obrót gwiazdy wektorów sterujących w układzie  $dq$  jest to jedyna



Rys.8. a) nieoptymalne dostosowanie długości wektorów sterujących, b) optymalne dostosowanie długości wektorów sterujących, c), d) optymalna wartość napięcia w szynie DC w funkcji prędkości kątowej napędu [1]





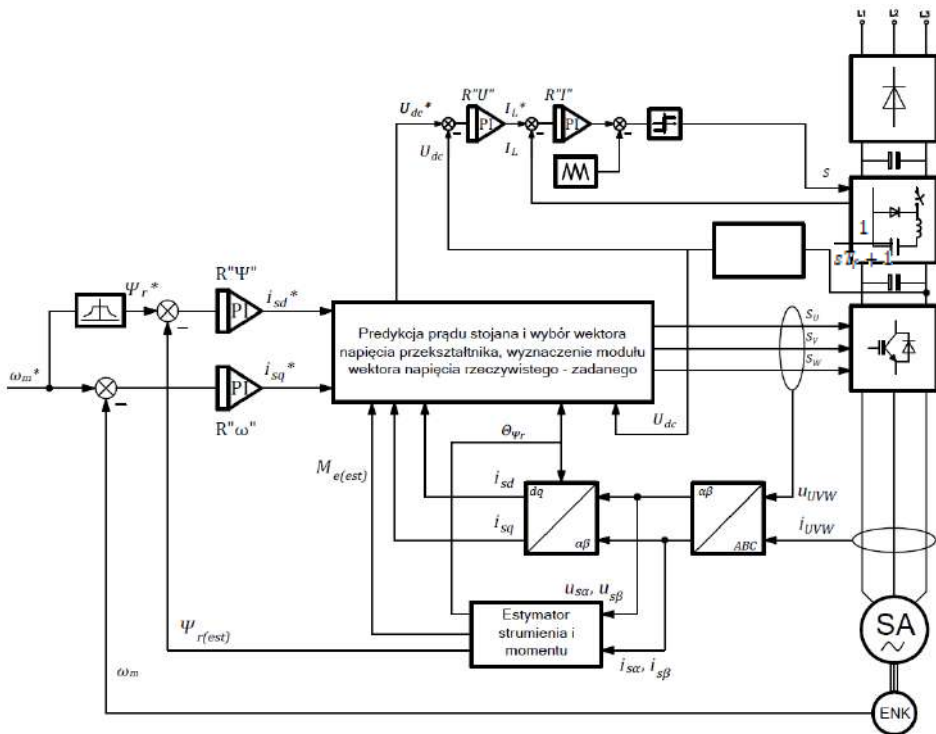
**Rys.10 a) ilustracja zmian wektora prądu stojana silnika przy załączeniu przykładowych wektorów sterujących, b) schemat blokowy algorytmu realizującego predykcyjny regulator prądu stojana silnika indukcyjnego [3]**

Procedura wyznaczania optymalnych zmiennych sterujących opiera się o pętlę programową, w której obliczany jest wektor uchybu jaki uzyskuje przy załączaniu poszczególnych wektorów napięcia przekształtnika. Inaczej mówiąc do równania (12) podstawiany jest każdy z wektorów sterujących w celu wyboru

tego, który spowoduje uzyskanie możliwie najmniejszej wartości funkcji kosztu zdefiniowanej następująco:

$$J = \varepsilon_{isd}^2(k+1) + \varepsilon_{isq}^2(k+1) \quad (14)$$

W celu sterowania prędkością obrotową silnika indukcyjnego zastosowana została metoda polowo zorientowana, bezpośrednia – DFOC, z orientacją układu współrzędnych  $dq$  względem strumienia wirnika maszyny indukcyjnej [2]. Schemat opracowanego układu sterowania przekształtnika DC/DC/AC przedstawiony został na poniższym rysunku.



Rys.11. Schemat układu sterowania przekształtnika DC/DC/AC [1]

## Wyniki badań symulacyjnych

W celu dokonania jakościowej oceny działania opracowanego algorytmu sterowania, w trakcie badań symulacyjnych wyznaczano wartości następujących wskaźników pomiarowych:

- współczynnik tętnień momentu:

$$\Delta M_e = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} (M_e - M_{e\_av})^2 dt} \quad (15)$$

- współczynnik tętnień prądu stojana:

$$\Delta i_{sd} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} (i_{sd} - I_{sd\_av})^2 dt} \quad (16)$$

$$\Delta i_{sq} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} (i_{sq} - I_{sq\_av})^2 dt} \quad (17)$$

$$\Delta i_s = \sqrt{\Delta i_{sd}^2 + \Delta i_{sq}^2} \quad (18)$$

gdzie:

-  $M_e$ ,  $i_{sd}$ ,  $i_{sq}$  – wartości chwilowe momentu i składowych prądu stojana,  $M_{e\_av}$ ,  $I_{sd\_av}$ ,  $I_{sq\_av}$  – wartości średnie momentu i składowych prądu stojana.

- współczynnik zawartości harmoniczných prądu stojana:

$$THD_{i_s} = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^n I_{sk}^2}}{I_{s1}} \quad (19)$$

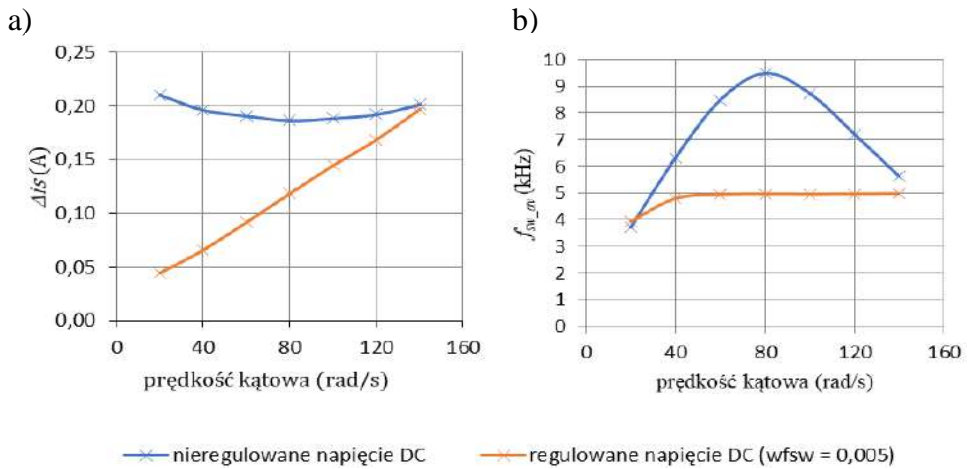
gdzie:

-  $I_{sk}$  – wartość skuteczna k-tej harmoniczných,  $I_{s1}$  – wartość skuteczna podstawowej harmoniczných.

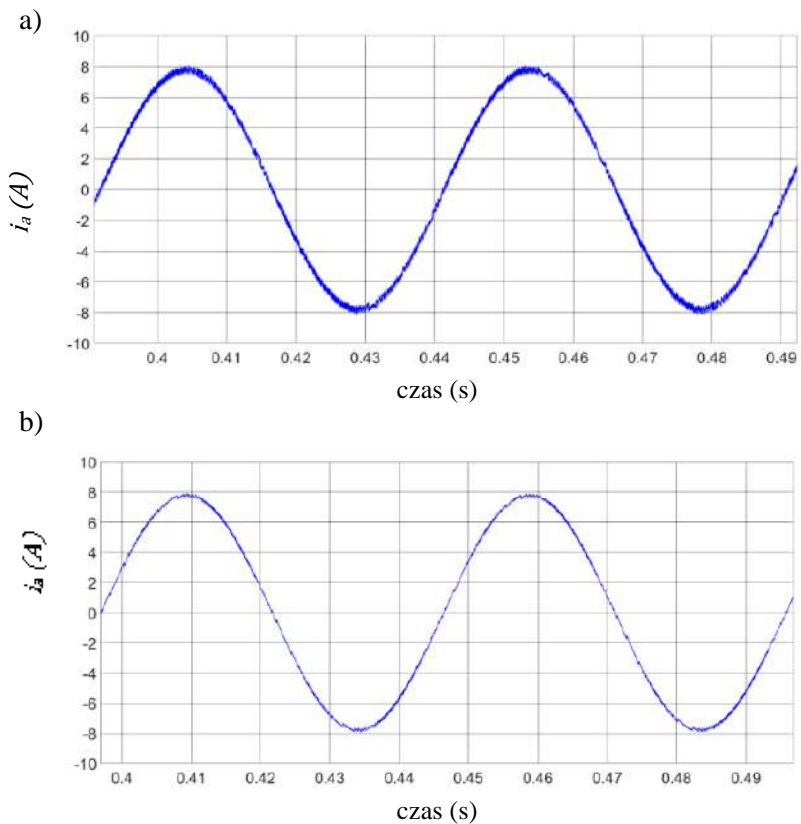
Mierzona była również średnia wartość częstotliwości łączy tranzystorów falownika –  $f_{sv\_av}$ .

**Tabela 2. Wyniki badań symulacyjnych**

$\omega_m$	Nieregulowane napięcie DC				Regulowane napięcie DC			
	$\Delta M_e$	$\Delta i_s$	$THD_{i_s}$	$f_{sw\_av}$	$\Delta M$	$\Delta i$	$THD_{i_s}$	$f_{sw\_av}$
rad/s	Nm	A	%	kHz	Nm	A	%	kHz
20	0,4050	0,2107	3,98	3,73	0,0806	0,0446	3,31	3,95
40	0,3664	0,1965	3,18	6,33	0,1317	0,0661	2,05	4,81
60	0,3553	0,1909	2,81	8,49	0,1859	0,0919	1,51	4,94
80	0,3539	0,1866	2,72	9,48	0,2410	0,1188	1,73	4,97
100	0,3555	0,1887	2,57	8,73	0,2956	0,1448	2,03	4,96
120	0,3791	0,1923	2,63	7,21	0,3510	0,1688	2,18	4,97
140	0,4127	0,2017	2,65	5,62	0,4084	0,1973	2,52	4,99



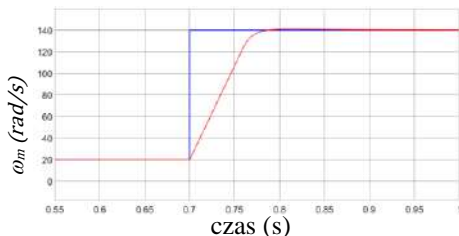
Rys.3. Charakterystyka a) tętnień prądu stojana, b) średniej częstotliwości łączeń tranzystorów w funkcji prędkości kątownej napędu



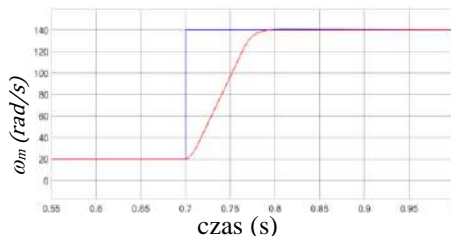
Rys.53. Przebieg prądu fazowego silnika a) nieregulowane napięcie DC, b) regulowane napięcie DC [1]

Stan dynamiczny – układ regulacji prędkości kątowej:

a)



b)



Rys.14. Przebieg odpowiedzi układu na skok wartości prędkości zadanej a) nieregulowane napięcie DC, b) regulowane napięcie DC [1]

Do najważniejszych wniosków wynikających z przedstawionych powyżej wyników badań należy fakt, iż zastosowanie pośredniczącego przekształtnika DC/DC w układzie falownika trójfazowego, pozwala na wyraźną redukcję częstotliwości łączeń tranzystorów, przy jednoczesnej poprawie jakości prądu stojana maszyny asynchronicznej, szczególnie przy niskich prędkościach obrotowych silnika. Zakładając, iż częstotliwość łączeń jest w przypadku niniejszej pracy symulacyjnej miarą sprawności układu falownik - silnik, zastosowanie regulacji napięcia DC prowadzi do ograniczenia łączeniowych strat mocy. Na poprawę sprawności wpływa również fakt, że tranzystory przełączane są przy niższym napięciu. Kolejnym wnioskiem jest to, że zastosowanie przekształtnika DC/DC ma niewielki wpływ na dynamikę układu. Wynika to z faktu, iż dominujące opóźnienie w układzie związane jest głównie z mechaniczną stałą czasową wirnika.

## Podsumowanie i wnioski końcowe

Przeprowadzone w ramach pracy inżynierskiej badania symulacyjne jednoznacznie wykazały szereg zalet i zysków jakie niesie ze sobą zastosowanie regulacji napięcia w szynie DC trójfazowego przekształtnika DC/AC. Wyniki pokazują, że optymalne dostosowanie długości wektorów sterujących falownika pozwala zredukować zarówno tętnienia prądu stojana jak i momentu elektromagnetycznego generowanego przez maszynę. Ponadto układ pozwala na uzyskanie wyraźnie lepszej jakości prądu przy jednoczesnym, wyraźnym obniżeniu wartości średniej częstotliwości łączeń tranzystorów przekształtnika DC/AC. Przyjmując, iż w metodologii symulacyjnej jest ona miarą sprawności układu, wnioskuje się, że z dużym prawdopodobieństwem, wprowadzona do układu modyfikacja pozwala na poprawę również i w/w wskaźnika jakości (sprawności energetycznej).



Dodatkowo w pracy wykazano również możliwość redukcji wpływu napięcia zaburzeń wspólnych (common mode) generowanego przez układ przekształtnika poprzez odpowiednią rozbudowę funkcji kosztu algorytmu predykcyjnego, jak również w wyniku w/w regulacji napięcia DC. W pracy przedstawiono wyniki badań dla dwóch wersji algorytmów minimalizacji common mode tj. algorytmu minimalizacji wartości napięcia common mode, oraz algorytmu minimalizacji pochodnych napięcia common mode przy przełączaniu wektorów sterujących. Skuteczniejsza okazała się druga z przedstawionych metod ze względu na przeważający pojemnościowy charakter przepływu prądu będącego skutaniem występowania napięcia zaburzeń wspólnych. Ograniczenie pochodnej napięcia zgodnie z równaniem prądowo-napięciowym kondensatora ogranicza przepływ prądu przez pojemności pasożytnicze.

Przeprowadzone badania wykazały ponadto wyższość metody predykcyjnej regulacji składowych prądu stojana SI nad układem sterowania, w którym zastosowano liniowe regulatory prądu oraz modulator SVM/PWM. Wykazano, że przy regulacji napięcia w szynie prądu stałego, układ z regulatorem predykcyjnym pozwala uzyskać lepszą jakość prądu wyjściowego falownika przy jednakowej częstotliwości łączeń tranzystorów.

Obecnie autor niniejszej pracy zajmuje się realizacją praktyczną przedstawionego układu w celu przeprowadzenia badań laboratoryjnych i uzyskaniu pełniejszego zbioru danych dotyczących sprawności energetycznej falownika i wskaźników jakościowych w stanie statycznym oraz dynamicznym. Praktyczna realizacja pozwoli również na określenie aspektów związanych z kosztami budowy oraz możliwościami przemysłowego wdrożenia przekształtnika DC/DC/AC. W ramach przyszłej pracy przewiduje się również rozwój algorytmów sterownia układu poprzez m.in. wprowadzenie wektorów wirtualnych (VVV) [8] oraz zastosowanie predykcji wielokrokowej [9].

**\* inż. Mateusz Wasilewski** - laureat II miejsca w Konkursie Oddziału Białostockiego SEP i Wydziału Elektrycznego Politechniki Białostockiej na wyróżniającą się pracę dyplomową z dziedziny elektryki w edycji 2019/2020. Wyniki Konkursu ogłoszono podczas uroczystego posiedzenia Zarządu Oddziału Białostockiego SEP, które odbyło się w dniu 18 stycznia 2021 r. w sali konferencyjnej NOT w Białymstoku.

## Literatura

- [1] Mateusz Wasilewski, *Opracowanie algorytmu sterowania przekształtnika DC/AC z dodatkowym wspomagającym przekształtnikiem DC/DC*, Praca inżynierska, Politechnika Białostocka, Białystok, 2020.
- [2] Teresa Orłowska – Kowalska, *Bezczujnikowe układy napędowe z silnikami indukcyjnymi*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2003.
- [3] Piotr Falkowski, *Predykcyjne algorytmy sterowania przekształtnikiem AC/DC/AC*, Rozprawa doktorska, Politechnika Białostocka, Białystok, 2016.
- [4] Andrzej Sikorski, *Problemy dotyczące minimalizacji strat łączeniowych w przekształtniku AC/DC/AC zasilającym maszynę indukcyjną*, Politechnika Białostocka – Dział Wydawnictw i Poligrafii, Białystok, 1998.
- [5] Andrzej Sikorski, *Bezpośrednia regulacja momentu i strumienia maszyny indukcyjnej*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej, Białystok, 2009.
- [6] Marta Gryguć, *Ograniczenie napięcia zaburzeń wspólnych występujących w przekształtniku zasilającym silnik prądu przemiennego*, Praca magisterska, Politechnika Białostocka, Białystok, 2018.
- [7] Henryk Tunia, Marian P. Kazimierkowski, *Podstawy automatyki napędu elektrycznego*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa – Poznań, 1983.
- [8] K. Tian, J. Wang, B. Wu, Z. Cheng and N. R. Zargari, "A Virtual Space Vector Modulation Technique for the Reduction of Common-Mode Voltages in Both Magnitude and Third-Order Component," in *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 31, no. 1, pp. 839-848, Jan. 2016, doi: 10.1109/TPEL.2015.2408812.
- [9] P. Falkowski and A. Sikorski, "Finite Control Set Model Predictive Control for Grid-Connected AC–DC Converters With LCL Filter," in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 65, no. 4, pp. 2844-2852, April 2018, doi: 10.1109/TIE.2017.2750627.

### XXII ODME 2021 we Wrocławiu

Wrocław, 19-21.11.2021 r.

#### Mariusz Drobiszewski

Zastępca Prezesa Studenckiego Koła SEP na Politechnice Białostockiej

W dniach 19-21.11.2021 r. odbyły się we Wrocławiu XXII Ogólnopolskie Dni Młodego Elektryka. Pomimo stanu epidemicznego i związanych z tym ograniczeń mieliśmy to szczęście, że mogliśmy uczestniczyć w tym wydarzeniu osobiście. Ogółem do Wrocławia przyjechało 13 delegacji reprezentujących swe Oddziały SEP. Oddział Białostocki SEP i Studenckie Koło SEP na Politechnice Białostockiej reprezentowali: Urszula Gabruś, Mariusz Drobiszewski, Łukasz Jawdosiuik, Jarosław Kempista, Adam Kunda, Artur Mentel i Łukasz Michniewicz.



**Fot.1.** Delegacja Oddziału Białostockiego SEP na XXII ODME 2021 we Wrocławiu (od lewej: Łukasz Jawdosiuik, Artur Mentel, Mariusz Drobiszewski, Łukasz Michniewicz, Jarosław Kempista, Adam Kunda, Urszula Gabruś) – foto: Jan Pytlarz

Dzień I imprezy rozpoczął się uroczystą inauguracją ODME 2021 dokonaną przez dziekana Wydziału Elektrycznego Politechniki Wrocławskiej prof. dr. hab. inż. Waldemara Rebizanta. Następnie udzielono głosu prezesowi SEP dr inż. Piotrowi Szymczakowi oraz prezesowi Oddziału Wrocławskiego SEP dr inż. Andrzejowi Hachołowi prof. PW.

Kolejnym punktem programu imprezy był panel dyskusyjny. Jego temat przewodni dotyczył oblicza energetyki XXI wieku, a w szczególności zmian klimatycznych, zielonego ładu i bezpieczeństwa polskiej energetyki. Podczas tej debaty wzięły udział następujące osoby: w rolę moderatora wcielił się Sekretarz

Generalny SEP dr inż. Jacek Nowicki, grono „panelistów” uświetnili: dr hab. inż. Halina Pawlak-Kruczek z Politechniki Wrocławskiej, Pan Remigiusz Nowakowski prezes zarządu fundacji – Dolnośląski Instytut Studiów Energetycznych, dr inż. Jerzy Łaskawiec prezes Zarządu firmy Południowo Zachodnia Grupa Energetyczna Sp. z o.o., dr inż. Przemysław Zaleski z Politechniki Wrocławskiej, Wydział Zarządzania. Dyskusja dotyczyła wyrzeczeń w imię obrony klimatu, transformacji energetyki. Poruszony został również temat energetyki jądrowej w Polsce, jak również energetyki węglowej i jej rentowności. Na koniec została podjęta kwestia dalszego rozwoju energetyki w Polsce, z określeniem kierunków najbardziej perspektywicznych. W dalszej części programu imprezy dokonano prezentacji firm, które sponsorowały tegoroczne ODME.

Następnie odbyła się debata uczestników ODME 2021 z prezesem SEP. Poruszone zostały problemy istniejące w studenckich kołach SEP, np. angażowa-



**Fot.2. Podczas debaty z udziałem prezesa SEP kol. Piotra Szymczaka - foto: Artur Mental**

nie członków w czynny udział w życiu koła, zachęcanie nowych uczestników do dołączenia do studenckich kół SEP. Prezes SEP zachęcał również do dalszego angażowania się w życie stowarzyszeniowe SEP po ukończeniu studiów.

Podczas ODME miało także miejsce spotkanie Studenckiej Rady Koordynacyjnej, gdzie reprezentanci poszczególnych Oddziałów SEP wymieniali się swoimi doświadczeniami, przykładami aktywności oraz został wybrany nowy zarząd SRK, na czele którego stanął Jakub Kaak.

Tego dnia odbyła się także część teoretyczna współzawodnictwa w ramach Ligi elektryków, w której wzięli udział wszyscy uczestnicy ODME. Każdy członek reprezentacji musiał wykazać się wiedzą z zakresu elektrotechniki. Następnie wszyscy udali się na kolację oraz na spotkanie integracyjne.

Dzień II imprezy rozpoczął się prelekcjami gości. Wykłady dotyczyły obecnej i przyszłej sytuacji energetycznej, z którą boryka się nie tylko Polska, ale

także Europa. Ostatni wykład dotyczył natomiast technik marketingu oraz umiejętności miękkich. Następnym punktem była część praktyczna Ligi elektryków.



**Fot. 3. Reprezentacja Oddziału Białostockiego SEP podczas części praktycznej Ligi elektryków (od lewej: Łukasz Jawdosiuł, Łukasz Michniewicz, Mariusz Drobiszewski, Jarosław Kempista, Artur Mentel) – foto: Adam Kunda**

Podczas tej konkurencji były dwa zadania, a mianowicie połączenie rozdzielnic domowej podtynkowej oraz rozdzielnic sterowania silnika trójfazowego. Po ukończeniu zadania wszyscy mieli czas wolny, a następnie udaliśmy się na kolację i uroczysty bankiet, podczas którego zostały ogłoszone wyniki współzawodnictwa w ramach Ligi Elektryków i wręczone statuetki zwycięzcom oraz specjalne wyróżnienia poszczególnym osobom, a także pamiątkowe prezenty dla wszystkich przybyłych reprezentantów Oddziałów SEP. Na koniec przy dobrej muzyce wszyscy bawili się do białego rana.



**Fot. 4. Pamiątkowa fotografia uczestników XXII ODM 2021 we Wrocławiu**

## Oddziałowe Spotkanie Noworoczne

Białystok, 17.01.2022 r.

**Paweł Mytnik**

W dniu 17 stycznia 2022 r. w sali konferencyjnej budynku NOT w Białymstoku odbyło się Oddziałowe Spotkanie Noworoczne. Głównym celem spotkania aktywu Oddziału Białostockiego SEP było podsumowanie kadencji 2018-2022. Na wstępie gospodarz imprezy prezes Oddziału Białostockiego SEP



**Fot.1. Uczestnicy Oddziałowego Spotkania Noworocznego**

kol. Paweł Mytnik powitał przybyłych uczestników, a następnie poprosił uczczeni chwilą ciszy pamięci kolegów, którzy odeszli w 2021 roku, a byli nimi: Cezary Dzieżyc, Zbigniew Jaszczuk, Mieczysław Klimaszewski, Bogusław Żochowski, Irena Werdoni-Kiss. Następnie prezes w swym wystąpieniu przypomniał najważniejsze wydarzenia w życiu stowarzyszeniowym w mijającej kadencji. Podziękował wszystkim aktywistom z Zarządu Oddziału, Oddziałowego Sądu Koleżeńskiego, Oddziałowej Komisji Rewizyjnej, prezesom Kół SEP za oddanie w pracy społecznej na rzecz Stowarzyszenia i dla



**Fot.2. Kol. Marek Powichrowski odbiera Szafirową OH SEP (od lewej: P. Mytnik, M. Powichrowski, K. Woliński)**

dobra ogółu. Z kolei przy współudziale wiceprezesa



**Fot.3. Wyróżnieni Srebrną OH SEP** (od lewej: Paweł Mytnik, Jacek Miłkowski, Jarosław Skorulski, Dariusz Tomczak, Leon Stankiewicz, Krzysztof Woliński)

SEP kol. Krzysztofa Wolińskiego zostały wręczone wyróżnienia SEP zasłużonym działaczom SEP. Szafirową Odznaką Honorową SEP odznaczono kol. Marka Powichrowskiego, znanego jako autor felietonów w naszym Biuletynie.



**Fot.4. Kol. Ewa Świercz odbiera Medal im. prof. R. Dzieślewskiego** (od lewej: K. Woliński, E. Świercz, P. Mytnik)

Z rąk prezesa Oddziału kol. Pawła Mytnik otrzymała okolicznościowy adres z podziękowaniem i pamiątkowe prezenty, a uczestnicy spotkania nagrodzili koleżankę gromkimi brawami za wiele lat wzorowej pracy dla SEP. Następnie ogłoszono wyniki dorocznego oddziałowego Konkursu na wyróżniającą się pracę dyplomową z dziedziny elektryki. Dokonał tego przewodniczący Komisji Kon-

Srebrne Odznaki Honorowe SEP otrzymali koledzy: Jacek Miłkowski, Jarosław Skorulski, Leon Stankiewicz i Dariusz Tomczak. Natomiast kol. Ewa Świercz otrzymała Medal im. prof. Romana Dzieślewskiego. Kolejnym punktem programu naszej noworocznej imprezy było pożegnanie długoletniej pracownicy Biura Zarządu Oddziału kol. Danuty Matejczyk, która po 15 latach pracy dla SEP postanowiła odejść na emeryturę.



**Fot.5. Prezes kol. Paweł Mytnik wręcza kol. Danucie Matejczyk okolicznościowe pamiątki.**

kursowej dziekan Wydziału Elektrycznego Politechniki Białostockiej dr hab. inż. Bogusław Butryło prof. PB, który następnie wspólnie z prezesem Oddziału kol. Pawłem Mytnikiem wręczył laureatom nagrody, a ich promotorom pamiątkowe dyplomy. W wystąpieniach podkreślano wysoki i wyrównany poziom prac zgłoszonych do konkursu. Ostatnim punktem programu imprezy był występ artystów



**Fot.6. Występ artystów muzyków podczas Oddziałowego Spotkania Noworocznego**

muzyków pracujących na co dzień w Operze i Filharmonii Podlaskiej. Uczestnicy spotkania wysłuchali kilku kolęd oraz wiązanki utworów karnawałowych. Podczas spotkania kolportowano najnowszy 61. numer oddziałowego Biuletynu.

**Foto:** Mirosław Danowski



## Ruletka carskich oficerów

**Marek Powichrowski**

Od ostatniego mojego felietonu minęło trochę czasu. Wtedy jeszcze tego nie widziałem. Wtedy jeszcze nie widziałem jak zareaguje mój organizm. Znamy się ze sobą tyle lat i w zdecydowanej większości mogę powiedzieć, że był przeważnie przewidywalny. Czasami aż do bólu. Wtedy nie widziałem co się stanie gdy mnie ten mikrobia dopadnie.

Wobec chińskiego *Wunderwaffe* nie było chojraków. To znaczy byli. Niektórzy nawet zatrzymali się na tym słowie „byli” dokładnie, a ich czas stał się czasem przeszłym, dokonany, zatrzymanym, martwym. Nawet mnie to nie dziwiło, bo jest to matematyczny proces błędzenia ludzkiego. Czytając opowieści o innych pandemiach, które nawiedzały tę naszą część cywilizacji ludzkiej, można znaleźć opisy rozrzutu zachowań ludzkich wobec tego czegoś Strasznie Niewiadomego. Od totalnej rozpusty, przez debilizm i tępotę po przypadki świętości. Te ostatnie szczególnie wśród medyków, którzy nie patrząc „na własne potrzeby” szli ludziom z pomocą, na ile tylko mogli. Musiało to wywoływać niesamowite uznanie, skoro kroniki sprzed kilkuset lat ich wspominają.

Wtedy jeszcze nie wiedziałem. Teraz wiem. Przeszedłem cały szlak bojowy mojej małej wojny z tym owiniętym w „smalec” kawałkiem kodu DNA czy RNA. Wcale nie udawałem chojraka, dostosowywałem się do ograniczeń. Ale to można było uznać jedynie za zmniejszenie ryzyka. Dopadło mnie w tak nieprawdopodobnym ciągu tak zupełnie nieprawdopodobnych zdarzeń, że teraz gdy oglądam się za siebie w chwilach refleksji to widzę, że przypominałem człowieka, który stanął na posmarowanej – właśnie smalcem - równi pochyłej i który wiedział, że nie ma najmniejszych szans aby pokonać przemożną siłę ciężenia.

Nie czas i miejsce na opis tego co się działo ze mną wtedy. Bardziej nadaje się to na zapis osobistego świadectwa złożonego w księgach kościelnych niż do felietonu. Wyszedłem z tego. Tak! Chciałem wykrzyknąć to zdanie, gdy skończyła się ta – powstrzymam się od nieparlamentarnych słów – choroba. Chciałem wykrzyknąć, choć stan moich płuc był wtedy opłakany. Jak również cały ja.

Z tego okresu pamiętam szczególnie jedno doświadczenie fizyczne. Miałem zalecone stosowanie inhalacji z solą fizjologiczną. To już była końcówka ostrego

przebiegu choroby. Był koniec lutego, robiło się już oraz cieplej. Słońce grzało w domu prawie jak kaloryfery. Usiadłem w fotelu i zacząłem robić inhalacje, zwykle trwało to około piętnastu minut. Pokój był jasno oświetlony przez słońce, inhalacja zostawiała ślad w powietrzu, słońce wzmacniało widok rozprzestrzeniania się wydychanego aerozolu. Po zakończeniu inhalacji cały pokój był wypełniony oparami. Nie ma szans. Żadna maseczka, żaden płyn do dezynfekcji rąk nie obroni nas na 100%. Każdy będzie musiał to przejść. Nie dziś to jutro. Jesteśmy skazani na oddychanie.

Ale ja wyszedłem z tego. I mój organizm w bardzo krótkim czasie wrócił w zdumiewający sposób do równowagi. Wyszedłem z tego i spojrzałem wokoło. I zadałem sobie pytanie. Co tu się dzieje? Co pokazała ta pandemia, a co widoczne było tylko nielicznym? Otóż pokazała ona lichotę – chyba adekwatne słowo – kondycji czegoś co kiedyś posiadało znamiona elity społecznej. W czasie tej pandemii kompletnie nie można było się zorientować kto jest kim. Kto jest mędrcom a kto gra tę rolę pod czyjeś dyktando. Czasami gra ją wręcz perfekcyjnie. W wyniku tego ludzie nie wierzyli i wierzą już sobie nawzajem. Nawet lekarze nie wierzą lekarzom. Zamiast społecznie wiarygodnej elity mamy durnowatych celebrytów, którzy są jak papuga kataryniarza, wrzucisz pieniążek to ci coś zaskrzeczy. Nasi rodzice, często z tylko podstawowym wykształceniem mieli więcej zdrowego rozsądku niż niejeden magister, który przez studia przecisnął się jak kot przez szczelinę w płocie.

Bo naiwnie sądziłem, że pandemia powinna mobilizować do walki z nią. Ale to tylko naiwność. Otóż to może być świetny biznes. Ryzykowny, ale świetny. Ten biznes wymaga odpowiedniego poziomu braku wiedzy u konsumentów. Wiem, to zdanie wydaje się bez sensu, bo trudno wyobrazić sobie ujemną wiedzę. Ale media są – jak mawiał chyba Sołżenicyn – „gawnojedami”. One wręcz żyją z głupoty. Internetowe media społecznościowe wręcz rozwijają głupotę i ją nobilitują do poziomu równouprawnienia z mądrością. Skutki? Nie trzeba długo czekać. Wraz z rozwojem komunikacji internetowej pojawił się zupełnie nowy model prowadzenia biznesu. Do odwiecznych „sprzedaż” oraz „usługa” doszedł nowy, który można ująć w słowie „pożądanie”. O ile można kupić coś lub otrzymać wykonaną usługę i to kończy proces transakcji o tyle z tym ostatnim nie ma lekko. On musi mnie mieć stale pod ręką, musi odwracać moją uwagę sygnaturkami z telefonu, musi mnie dręczyć brakami „lajków” pod moim wpisem w jakimś forum społecznościowym. Muszę się starać, aby się przypodobać, *All night long*. To też jest jakaś niepojęta grawitacja.

Sensacja!!! W RPA odkryto nową mutację wirusa, kapłani mediów nadali mu na pierwsze imię Omikron. Dramat, nowa odmiana wirusa. Jeszcze tragiczniejsza od

poprzednich. Powinienem zakończyć to zdanie ponownie trzema wykrzyknikami. Na braku elementarnej wiedzy z biologii, na tym nawozie wyrasta upragniona przez kogoś panika. „Halo Londyn, czy macie „go” już u siebie? Tak mamy to!”. „Halo Hong-Kong, a jak u was? Szukamy ale nie mamy „go” (smutny emotikon na koniec)”. Każde laboratorium, które nie potwierdzi tego z góry wskazane jest na krzywe spojrzenia, „jak to, nie potraficie „go” zidentyfikować?”. A przecież wirusy mutują i krzyżują się w coraz to nowe odmiany. Ten proces jest nie do powstrzymania. To nie jest jakiś nowy kompletnie wirus, to jest nadal ten sam, choć nieco inny. Tak jak wszyscy jesteśmy ludźmi, ale różnią nas płęć czy inne cechy. Ten medialny Omikron żyje wciąż w swojej niezmiennej genetycznej formie ignorując i mając sobie za nic wiedzę, że w krótkim czasie poddany procesom mutacji i krzyżowania stał się już kompletnie innym. Ale śledzimy drogę tego wirusa, po drodze klikamy w setki innych rzeczy prowadzeni jak małe dzieci za rączkę. Tam, dokąd byśmy nigdy nie poszli, gdyby to tylko od nas zależało. Przypominamy zagubionych w lesie Jasia i Małgosię, którzy pod wpływem jakiejś niepojętej grawitacji zmierzają wprost do chatki baby Jagi (kibiców Jagi proszę o wybaczenie). Z tą tylko różnicą, że Jaś jest już od kilkadziesiątu lat starym chłopem o imieniu Jan, a Małgosia jest panią Małgorzatą, która dawno już wyrosła z ze swojej metrykalnej 18-tki.

Ostatnio trafiłem na ciekawe zdanie wypowiedziane przez *H. M. McLuhan’a*, teoretyka mediów i komunikacji, twórcy idei „globalnej wioski”. Otóż powiedział on, że czuje się jak Pasteur, który miał problemy z przekonaniem współczesnych mu lekarzy, którzy nie widzieli tego czegoś „niewidzianego” co on był w stanie widzieć oczami wyobraźni. Właśnie *McLuhan* mówił o zagrożeniach płynących z eksplozji mediów i ich globalizacji. A były to wtedy głębokie lata 60-te ubiegłego wieku. Dziś jak na dłoni widzimy to, że media komunikacyjne stały się ważniejsze od wiadomości. Mało tego, wiadomość jest już towarem, który można kupić. A my nie jesteśmy w stanie dotrzeć do jej źródła i zweryfikować jej. Niestety, ale nie udało się *McLuhan’owi* wyprodukować szczepionki przeciwko tym złym tendencjom.

Odsuńmy na bok chińskie *Wunderwaffe*. Odsuńmy się na odległość obserwatora w laboratorium fizycznym badającym rozpad cząstek radioaktywnych. Słuchałem kiedyś wykładu wybitnego polskiego fizyka Krzysztofa Meissnera na temat cząstek elementarnych. I otóż on powiedział, że fizyka radzi sobie bardzo dobrze z procesem połowicznego rozpadu cząstek. Należałoby powiedzieć, że globalnie bardzo dobrze, ale gdy próbujemy pójść w głąb, do poziomu cząsteczek, to nie mamy pojęcia która cząstka w danym momencie „umrze”, a która będzie jeszcze „długo żyć”. Einstein buntował się przeciwko takiej fizyce niedeterministycznej. Zwykł mówić w takiej sytuacji, że „no przecież Pan Bóg nie gra w kości”. No chyba jednak gra....

Podobnie jest i z nami w tych osobistych „połowicznych czasach rozpadów”. Lekarze bezradnie rozkładają ręce. Nie mogą powiedzieć kto i dlaczego przeżyje, ani kto i dlaczego nie przeżyje. Znam z relacji bliskich osób – nie z mediów! – przypadki chłopów na schwał, służących w elitarnych jednostkach, wysportowanych, sprawnych, którzy wychodzi z tego jako cienie samych siebie. I znam takich, co to byli schorowani, a wyszli z tego jak z kataru wiosennego, bez większego szwanku. Gdy spojrzeć na statystyczne wykresy w skali państw czy świata, to mają one wręcz idealne matematyczne kształty krzywych rozkładu Gaussa. No tak, ale ja mam tylko jedno swoje życie i w tym wszystkim jestem nagi przez Panem Bogiem, który rzuci za chwilę swoją kostką...

Nie inaczej było pewnie z tradycją rosyjskich, carskich oficerów. Mocny alkohol w połączeniu z niewłaściwie pojętym honorem oficerskim stworzyły coś na kształt procesu społecznego rozpadu. Lubowali się oni w „zabawie” zwanej ruletką carskich oficerów. Zabawa była prawie z cyklu doświadczeń statystycznych w szkole (wtedy jeszcze nie było tego w programie nauczania). Mamy pistolet z bębniem na naboje. Do bębniaka wkładamy jeden nabój, obracamy szybko bębniak i nie patrząc w jakiej pozycji wylądował (honor oficerski! Ja się boję?! Absolutnie nie!) oraz mając wyłączony kompletnie zdrowy rozsądek (wódka jako płyn fizjologiczny przyspieszający podejmowanie jakichkolwiek decyzji), przykładł do głowy pistolet i pociągał za spust. Dziś można zadać takie zadanie - „przy stole siedzi „n” carskich oficerów, w bębniaku jest „m” otworów, do bębniaka wkładamy jeden nabój, każdy oficer robi jedną próbę, oblicz prawdopodobieństwo, że a) przeżyją wszyscy, przeżyje „k” oficerów, c) nie przeżyje „(n-1)”, bo ostatni dojdzie do wniosku, że nie ma już się z kim dalej bawić”. I patrząc z góry na liczebność korpusu oficerskiego armii carskiej można by zauważyć pewną prawidłowość matematyczną wynikającą z zależności, którą można ująć w jakiejś tajemnej funkcji  $F(n,m,k)$ . Cokolwiek mogłoby to znaczyć.

Niektórzy twierdzą, że Rosja carska upadła, no bo Lenin, bo ktoś mu „pomógł”, bo to czy tamto. Ja mam na ten temat inne zdanie. Otóż rewolucja wybuchła w twierdzy marynarki wojennej w Kronsztadzie. Podejrzewam, że w wyniku owej ruletki zginęli najlepsi oficerowie, a zostały jedynie popłuczyny oficerskie. No, ale zaraz, zaraz. Można by przecież oczekiwać, że ten proces był *stricte* losowy, że powinno zginąć po równo tych nijakich oraz tych najlepszych. Stało się jednak inaczej. Flota pozbawiona najlepszych dowódców dostała się w ręce pospolicich durniów z oficerskimi pagonami.

Hmm, dziwne. Widocznie Pan Bóg rzucił jakąś niesymetryczną kostką.

## **W najbliższych numerach:**

- Nauka i praktyka – Wykonać samemu czy kupić nowe?
- Nauka i praktyka – Komórka, smartfon i co dalej?
- Nauka i praktyka – Elektryczne samochody stają się postrachem dla strażaków
- Nauka i praktyka – Wynalazki z Polski, które mogą odmienić świat
- Nauka i praktyka – Życie po życiu baterii z aut elektrycznych
- Nauka i praktyka – Wynalazcy i konstruktorzy, którzy zginęli z powodu swych wynalazków
- Z historii elektryki – To i owo z historii telewizji
- Z historii elektryki – Jacek Karpiński – zmarnowany talent polskiego Gatesa
- Z historii elektryki – Radar – elektroniczny zwiadowca
- Z historii elektryki – Jak zmieniły się przedmioty i urządzenia
- Z historii elektryki – Kazimierz Prószyński – wynalazca znany i nieznan
- Z historii elektryki – Jan Czochralski – geniusz wyklęty
- Z historii elektryki – Wynalazki Polaków
- Z historii elektryki – To i owo z historii skrywania sekretów
- Z historii elektryki – Władcy elektryki – Tesla contra Edison
- Z historii elektryki – Niemieckie wynalazki z okresu III Rzeszy
- Z historii elektryki – Największe wynalazki Związku Sowieckiego
- Artykuły młodych inżynierów – laureatów Konkursu na wyróżniającą się pracę dyplomową
- Relacja z XL Walnego Zjazdu Delegatów SEP w Bydgoszczy
- Relacje z oddziałowych wydarzeń