



Elektrotechnologie w projektach studentów  
Wydziału Elektrotechniki i Informatyki  
Vol. 8

*redakcja:*  
*Paweł A. Mazurek*

M  
O  
N  
O  
G  
R  
A  
F  
I  
E

Elektrotechnologie w projektach studentów  
Wydziału Elektrotechniki i Informatyki  
Vol. 8

# Monografie – Politechnika Lubelska



POLITECHNIKA  
LUBELSKA  
WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI  
I INFORMATYKI

Elektrotechnologie w projektach studentów  
Wydziału Elektrotechniki i Informatyki  
Vol. 8

redakcja:  
Paweł A. Mazurek



POLITECHNIKA  
LUBELSKA  
WYDAWNICTWO

Lublin 2022

Recenzenci:

Dr inż. Artur Boguta

Dr inż. Michał Łanczont

Publikacja wydana za zgodą Rektora Politechniki Lubelskiej

© Copyright by Politechnika Lubelska 2022

ISBN: 978-83-7947-511-7

Wydawca: Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej  
[www.biblioteka.pollub.pl/wydawnictwa](http://www.biblioteka.pollub.pl/wydawnictwa)  
ul. Nadbystrzycka 36C, 20-618 Lublin  
tel. (81) 538-46-59

Druk: Soft Vision Mariusz Rajski  
[www.printone.pl](http://www.printone.pl)

---

Elektroniczna wersja książki dostępna w Bibliotece Cyfrowej PL [www.bc.pollub.pl](http://www.bc.pollub.pl)  
Książka udostępniona jest na licencji Creative Commons Uznanie autorstwa – na tych samych warunkach 4.0 Międzynarodowe (CC BY-SA 4.0)

Nakład: 50 egz.

|     |  |     |
|-----|--|-----|
|     | <i>Przedmowa</i>   | 7   |
| 1.  | <b>KAROL DYSPUT</b><br><i>Programowalna lampa do akwarium ze zmienną barwą światła</i>   | 9   |
| 2.  | <b>TOMASZ KRASKA</b><br><i>Model stacji meteorologicznej z wykorzystaniem modułów LoRa na platformę Arduino</i>  | 20  |
| 3.  | <b>WOJCIECH KOZIEL</b><br><i>Wykorzystanie testera zabezpieczeń Omicron CMC 356 do badania zabezpieczeń linii SN</i>   | 30  |
| 4.  | <b>ŚWIERAD DAWID</b><br><i>Podstawowe zagadnienia przy projektowaniu sieci trakcyjnych dla dużych prędkości</i>  | 43  |
| 5.  | <b>ŁUKASZ ŚMIECH</b><br><i>Lampy wyladowcze wysokoprężne metalohalogenkowe jako źródło zakłóceń elektromagnetycznych w sieci elektrycznej obiektu sportowego</i> | 51  |
| 6.  | <b>ARKADIUSZ WOJTIUK</b><br><i>Inteligentne sterowanie oświetleniem przy wykorzystaniu systemu WLMS</i>  | 63  |
| 7.  | <b>MACIEJ TLUCZEK</b><br><i>Badanie sprężyn wielodrutowych w warunkach statycznych</i>   | 71  |
| 8.  | <b>MARCIN SZCZYGIELSKI</b><br><i>Ekranowanie – ochrona przed oddziaływaniem pól elektromagnetycznych</i>   | 80  |
| 9.  | <b>KAROL STACHNIAK</b><br><i>Model inteligentnego budynku w oparciu o system ABB Free@home</i>   | 91  |
| 10. | <b>ROBERT ROZWADOWSKI</b><br><i>Systemy stosowane w inteligentnych budynkach</i>   | 105 |
| 11. | <b>ŁUKASZ PRZYCHODZIŃ</b><br><i>Farmy wiatrowe na Bałtyku – perspektywy rozwoju</i>  | 117 |
| 12. | <b>ADRIAN PLUTA</b><br><i>Kompensacja mocy biernej w budynkach użyteczności publicznej</i>   | 124 |
| 13. | <b>JAROSŁAW KWAPISZ</b><br><i>Nowoczesne instalacje poprawiające bezpieczeństwo w pojazdach</i>  | 131 |
| 14. | <b>DAWID KOSTRZANOWSKI</b><br><i>Modernizacja istniejących i budowa nowych stacji elektroenergetycznych</i>  | 141 |

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| 15. | <b>HUBERT KARGUL</b><br><i>Algorytmy unikania kolizji stosowane w robotach szeregowych</i>    | 149 |
| 16. | <b>MACIEJ DZIUBA</b><br><i>Ochrona przeciwporażeniowa w instalacjach niskiego napięcia</i>    | 159 |
| 17. | <b>KAROL DZIEWULSKI</b><br><i>Projektowanie instalacji elektrycznej w domu jednorodzinnym</i> | 168 |

Szanowni Czytelnicy,

Przed Wami kolejny, ósmy tom zebranych publikacji, których autorami są studenci studiów magisterskich kierunku Elektrotechnika prowadzonego przez Wydział Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej. Niniejszy tom to prace studentów studiów trybu niestacjonarnego. Zebrane referaty są wynikiem realizowanego modułu „Metodologia badań naukowych”.

Zebrane w ósmym tomie materiały, to ponownie efekt pracy własnej studentów, a działania zachęcające studentów do publikowania są wymiernym elementem działającego uczelnianego systemu jakości kształcenia, powiązanego z rynkiem pracy, gospodarką opartą na wiedzy, jak i profilem ogólnoakademickim.

Tak jak w poprzednich tak i w tym tomie zredagowane materiały mają szeroki zakres tematyczny ale mieszczący się w obszarze dyscypliny automatyka, elektronika i elektrotechnika. Znajdziemy tu prace o charakterze teoretycznym, przeglądowym, opracowane zadania projektowe i wyniki badań własnych na autorskich modelach i stanowiskach laboratoryjnych. Różnorodność tematyczna referatów jest dużą zaletą, a jednocześnie jest dowodem na szeroki obszar zastosowań elektrotechniki i elektrotechnologii. W aktualnym tomie zaobserwować można zainteresowanie studentów elektrotechnologiami z zakresu instalacji budynkowych, aplikacji sterowania układami i urządzeniami, aplikacyjności elektroniki, oddziaływań elektromagnetycznych i analizy systemu elektroenergetycznego.

Przedstawiony zbiór referatów to efekt wdrażania studentów do świata nauki i do świata wydawniczego. Dostarczone przez studentów materiały przechodzą pełny cykl wydawniczy. Studenci przeprowadzają badania i analizy, przygotowują tekst naukowy, który kolejno przechodzi fazy recenzji edycyjnej merytorycznej. Wiele dostarczonych materiałów nie spełniło wymagań aby zostać opublikowanymi. To również jest doświadczenie dla naszych studentów.

Artykuły zawarte w publikacji przeznaczone są dla studentów studiów kierunku Elektrotechnika jako wsparcie dla realizowanych modułów Elektrotechnologie, Metodologia badań naukowych oraz proseminariów. Mam jednak nadzieję – wraz z autorami referatów, że z zebranych materiałów będą również korzystać inni studenci, pokrewnych kierunków.

P. A. Mazurek





## **PROGRAMOWALNA LAMPA DO AKWARIUM ZE ZMIENNĄ BARWĄ ŚWIATŁA**

### **WSTĘP**

Światło w akwarystyce pełni ważną rolę, utrzymuje i reguluje życie tego małego zamkniętego ekosystemu. Rośliny wykorzystują światło do procesu fotosyntezy, wytwarzają tlen który jest niezbędny dla organizmów żywych. Światło emitowane przez sztuczne źródła reguluje cykl dobowy organizmów znajdujących się w akwarium. Dla każdego prawdziwego akwarysty najważniejszym jest piękny i zdrowy wygląd roślin oraz zwierząt do czego potrzebne jest dobrej jakości źródło światła. Do stworzenia własnej wersji lampy skłoniło mnie brak na rynku odpowiedniej jakości źródła światła. Dostępne gotowe zestawy mają bardzo niski współczynnik oddawania barwy Ra oraz niepełne charakterystyki widmowe. Lampa została zaprojektowana oraz wykonana w technologii LED, do sterowania został wykorzystany układ Arduino.

### **ŚWIATŁO W AKWARYSTYCE**

Światło słoneczne jest bardzo zróżnicowane, jego parametry zależą od wielu czynników: stopnia zachmurzenia, szerokości geograficznej, pory roku, pory dnia i wielu innych. W akwarystyce możemy to trochę uprościć. Większość akwarystycznych ryb jest z regionów międzyzwrotnikowych gdzie doba trwa średnio 10–12 godzin, większość dni jest słonecznych więc możemy skupić się na analizie światła pod kątem pory dnia.

Rośliny potrzebują światła dla dobrego i zdrowego wzrostu. Dla roślin najważniejsze jest światło w przedziale długości fal od 400 do 460 nm oraz 600 do 670 nm, te długości fal rośliny wykorzystują w procesie fotosyntezy, a co za tym idzie również do odżywiania się i przemiany substancji. Wiele spośród modeli

---

<sup>1</sup> Politechnika Lubelska, WEiI, karol2711@wp.pl

oświetlenia ledowego nie nadaje się do hodowli roślin, mają zbyt ubogie spektrum światła dla ich prawidłowego wzrostu [6].

Światło w przypadku zwierząt jest tak samo ważne jak w przypadku roślin, ponieważ reguluje cykl dobowy, może stymulować zwierzęta do pewnych zachowań np. słabe oświetlenie imitujące zmierzch stymuluje ryby aktywne nocą do wyjścia na żer. Dobór oświetlenia jest niezwykle ważny, intensywny strumień światła w połączeniu z jasnym dnem np. białym piaskiem u większości ryb będzie wywoływał lęk i dezorientację, ryby będą płochliwe i nie będą mogły zaprezentować opiekunowi swoich pięknych barw i naturalnych zachowań [1]. Równie ważne jest jak światło jest sposób załączenia źródła światła, jest to niezwykle ważne w przypadku akwariów typu otwartego, które są coraz bardziej modne, akwarium w takim przypadku nie posiada pokrywy.

W przypadku załączenia oświetlenia z pełną mocą, ryby mogą wystraszyć się i w ataku paniki nawet wyskoczyć z akwarium. Światło powinno być załączane stopniowo i najkorzystniej jeśli byłoby wyłączane również poprzez przygasanie. W lampach wykorzystujących źródła LED, istnieje możliwość realizacji takiego trybu pracy poprzez zastosowanie odpowiednich układów zasilających i jednocześnie imitowanie rozkładu spektralnego światła słonecznego w różnych porach dnia (o różnych temperaturach barwowych).

## **DIODY LED – KRÓTKA HISTORIA**

Dioda elektroluminescencyjna – LED (ang. *light emitting diode*) jest to element półprzewodnikowy emitujący promieniowanie w różnych zakresach spektralnych promieniowania optycznego – zależnie od zastosowanego do budowy diody materiału. Pierwszą diodą luminescencyjną była dioda podczerwona o długości fali 870–980 nm, szybko znalazła zastosowanie w czujnikach fotoelektrycznych. W roku 1965 dwaj pracownicy IBM Pilkuhn i Rupprecht zaprezentowali pierwszą diodę emitującą światło widzialne, była to dioda czerwona zbudowana na złączu GaAsP. Pierwsze diody były wykorzystywane jako lampki wskaźników, podświetlanie tarcz zegarków, wyświetlaczy kalkulatorów. Diody te miały bardzo małą wydajność świetlną wynoszącą około 1%, dopiero w połowie lat 90. uzyskano diody o wydajności 10%. Diody o świetle białym uzyskano pokrywając złącze diody niebieskiej luminoforem.

Szybki rozwój diod nastąpił na początku XXI wieku, opracowano wtedy o wiele wydajniejsze diody które emitowały nawet 120 lm z jednego wata mocy diody. Wtedy też otworzyły się nowe zastosowania dla diod. Zaczęto stosować je w reflektorach samochodów, jako oświetlenie przy narzędziach chirurgicz-

nych i medycznych, jako oświetlenie rowerowe oraz zwykłe energooszczędne oświetlenie pomieszczeń [7].

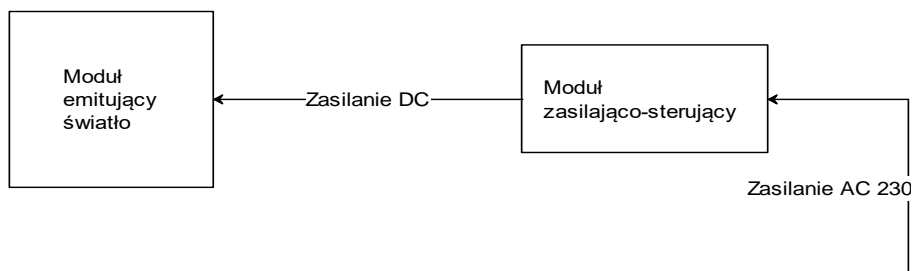
## **ZAŁOŻENIA PROJEKTOWE I KONCEPCJA BUDOWY**

Lampa powinna spełniać kilka założeń. Przede wszystkim powinna być uniwersalna pozwalająca na zmianę ustawień jej parametrów przez użytkownika. Dla ułatwienia powinien być dostępny tryb automatyczny, w którym wskaźnik oddawania barw emitowanego światła będzie możliwie jak najwyższy, założono że lampa powinna charakteryzować się wskaźnikiem Ra nie gorszym niż 90.

Zegar automatycznie powinien sterować czasem załączenia oraz wyłączenia światła. Minimalne natężenie oświetlenia w odległości 60 cm od dna akwarium nie powinno być mniejsze niż 650 lx. Wysokość zamocowania lampy nad akwarium powinna wynosić około 25 cm, co umożliwi codzienną obsługę zbiornika bez potrzeby jej demontowania. W akwarystyce przyjął się zwyczaj podawania wymogów ilości światła w jednostkach mocy pobieranej przez dane źródło na litr wody akwarium czyli W/litr. Jest to niezrozumiałe, a wręcz niedopuszczalne biorąc pod uwagę różną skuteczność świetlną źródeł światła, możliwe różne kształty zbiorników i zróżnicowane charakterystyki spektralne źródeł. Dla przykładu świetlówki uzyskują od 45 do 100 lm/W, natomiast biała LED od 70 do 140 lm/W [4].

Lampa będzie się składała z dwóch oddzielnych modułów połączonych przewodami zasilającymi: pierwszy to moduł wykonawczy emitujący światło czyli diody osadzone na radiatorze umieszczonym w obudowie, w drugiej części umieszczony będzie programator wraz z osprzętem. Podzielenie lampy na dwa oddzielne moduły uprości montaż lampy nad zbiornikiem ze względu na mniejszy rozmiar obudowy oraz dzięki zredukowaniu masy (najcięższy element to moduł zasilająco-sterujący – będzie znajdował się w drugim module, który można ukryć w wygodnym miejscu).

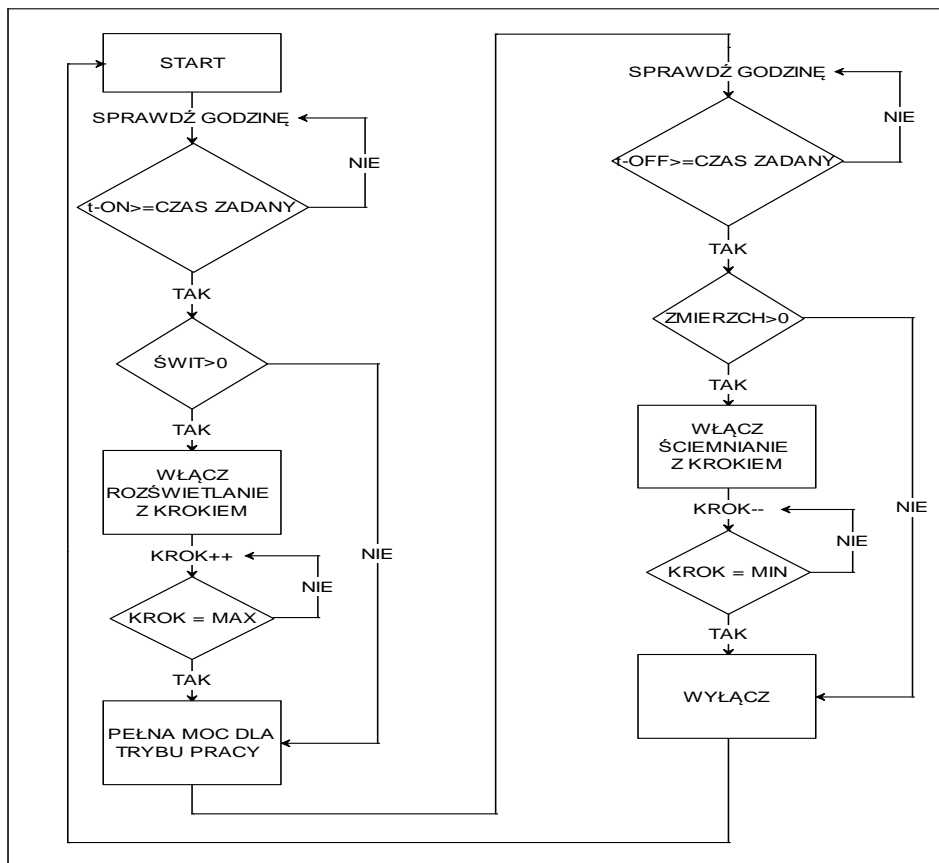
Drugim aspektem, którym kierowałem się przy wyborze takiego rozwiązania jest bezpieczeństwo użytkownika. Lampa przeznaczona jest do umieszczenia nad akwarium, a więc może być narażona na wilgoć. W celu zminimalizowania ryzyka porażenia prądem elektrycznym, moduł oświetleniowy zasilany będzie napięciem stałym o wartości maksymalnej 24 V, co skutecznie wyeliminuje ryzyko.



Rys. 1. Schemat blokowy lampy

Do sterowania lampy wykorzystano mikrokontroler Arduino UNO wraz z osprzętem typu wyświetlacz. Sterowanie odbywa się poprzez zmianę wartości i kształtu prądu zasilającego poszczególne diody LED połączone w łańcuchy. Program został napisany w taki sposób, aby menu było jak najprostsze, listę funkcji przewijamy przyciskami i wybieramy poszczególne parametry. Zaprogramowane są trzy tryby pracy automatycznej oraz tryb użytkownika, w którym możemy sami ręcznie dostosować parametry oświetlenia. W menu definiujemy również czas pracy lampy poprzez wpisanie godziny włączenia oraz wyłączenia, a także wybieramy czas rozjaśniania lampy, który imituje świt oraz łagodnego gaszenia czyli zmierzch.

Rysunek 2. (patrz rys. s. 13) obrazuje schemat działania programu odpowiedzialnego za automatyczne włączanie i wyłączenie lampy. Program z wybranymi parametrami początkowymi, tj. tryb pracy, czas włączenia, czas wyłączenia, długość trwania świtu oraz zmierzchu, przechodzi w tryb pracy automatycznej. Aktualny czas (CZAS ZADANY) przechowywany w zegarze lampy jest porównywany do czasu uruchomienia układu ( $t$ -ON). W chwili, gdy czasy zrównają się, następuje uruchomienie lampy z rozświetlaniem, jeśli zadana jest długość świtu. Gdy czas świtu zdefiniowany jest jako 0, lampa uruchomi się od razu z pełną mocą. W przypadku rozświetlania płynnego ( $\acute{S}$ WIT > 0) lampa stopniowo rozjaśnia się aż do uzyskania pełnej mocy dla danego trybu pracy (*high, medium, low*). Analogicznie do rozświetlania ( $\acute{S}$ WIT) realizowane jest stopniowe wygaszanie lampy (ZMIERZCH). Czas wyłączenia ( $t$ -OFF) porównywany jest z czasem aktualnym, gdy czas aktualny (ZADANY) zrówna się z czasem wyłączenia, następuje płynne wygaszenie lampy z odpowiednim krokiem lub w przypadku gdy zmierzch ustawiono na 0, nastąpi natychmiastowe wyłączenie lampy. Program wraca do stanu początkowego. W ciągu jednego dnia może być jeden świt i jeden zmierzch układu.



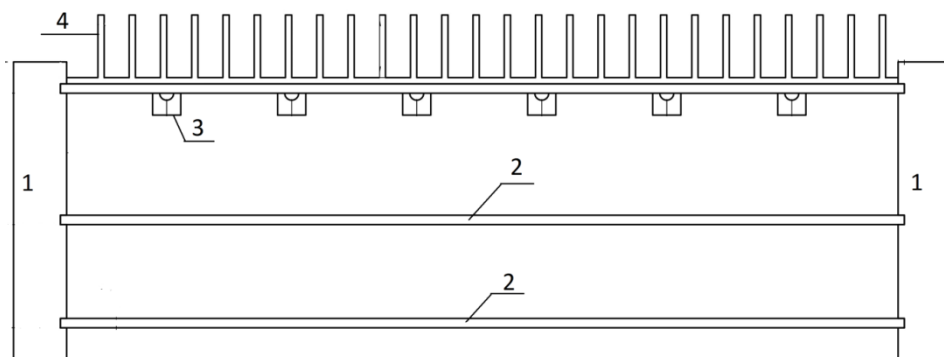
Rys. 2. Schemat blokowy automatycznego włączania i wyłączania lampy

## CHARAKTERYZACJA WYBRANYCH PARAMETRÓW LAMPY

Budowana lampa docelowo ma służyć do oświetlania akwarium typu „kostka” o wymiarach  $40 \times 40 \times 40$  cm, co daje około 64 l pojemności akwarium. Zakładana wysokość zawieszenia to około 20 cm nad górną krawędzią akwarium. Odsunięcie lampy na taką odległość poprawi parametry rozsyłu światła, wpłynie na jego większą równomierność jak również ograniczy wpływ wilgoci na konstrukcję. Dystans pozwoli też na łatwiejsze uzyskanie jednolitego strumienia światła eliminując monochromatyczne refleksy.

Aby zniwelować powstawanie plam świetlnych w akwarium zastosowano dwa dwustronnie matowane dyfuzory z plexi o grubości 3 mm. Są one umieszczone w odległości 3 cm od siebie, pierwszy dyfuzor znajduje się około 4 cm od soczewek diod. Diody przyklejone są za pomocą kleju termoprzewodzącego do

plyty aluminiowej o grubości 3 mm, na której znajduje się radiator wykonany z profilu aluminiowego  $10 \times 20$  mm o grubości 2 mm. Układ poszczególnych elementów konstrukcyjnych lampy przedstawiony jest na rysunku 3.



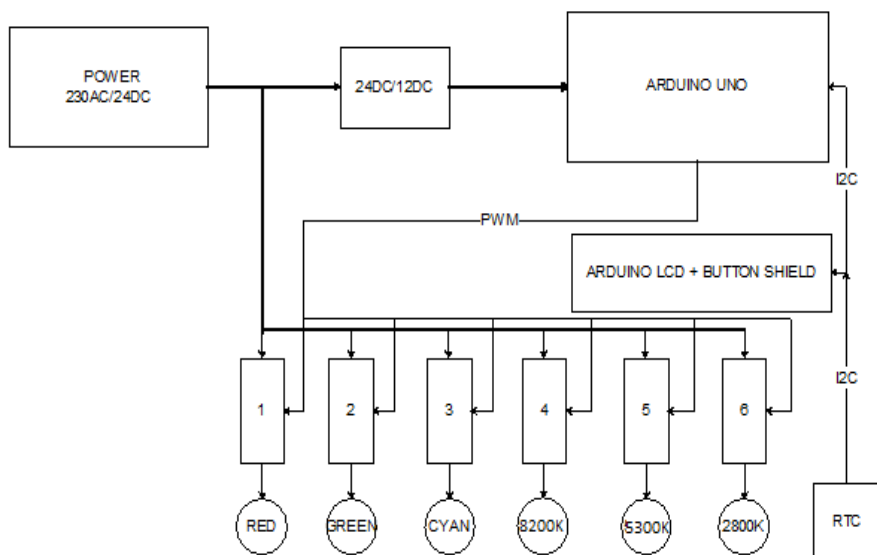
Rys. 3. Widok budowanej lampy LED: 1 – obudowa drewniana; 2 – dyfuzor; 3 – diody LED; 4 – radiator

W lampie zainstalowano 30 diod: 5 czerwonych, 5 zielonych, 5 cyan, 5 białych 2700K, 5 białych 5000 K oraz 5 białych 6500 K. Rozmieszczone są równomiernie na siatce  $5 \times 6$  diod. Obudowa wykonana jest z drewna, od zewnątrz polakierowana lakierem bezbarwnym, w środku natomiast białą matową farbą. Biała farba ma pomóc w rozpraszaniu światła, przez co poprawi się skuteczność mieszania światła emitowanego przez poszczególne diody [5].

Diody jednego typu zostały połączone w szereg. Na każdy szereg przypada osobna przetwornica ze stabilizacją prądową. Jako programator posłuży sterownik wraz z dodatkowymi modułami tj. zegar i wyświetlacz oraz potrzebne elementy do zasilania układu. Schemat blokowy układu sterowania i zasilania lampy przedstawiono na rysunku 4 (patrz rys. s.15) .

Układ zasilany jest z sieci napięciem 230 V. W zasilaczu (moduł POWER 230 AC / 24 DC na rysunku 4) napięcie sieciowe jest przetwarzane na napięcie stałe o wartości 24 V. Aby zasilić programator Arduino potrzeba przetwornicy obniżającej napięcie do maksymalnie 12 V. Zastosowałem przetwornicę z płynną regulacją napięcia wyjściowego (na schemacie jest to blok 24 DC / 12 DC), przy czym napięcie wyjściowe zostało ustawione na poziomie 10 V, ponieważ sterownik Arduino może być zasilany w przedziale od 7,5 V do 12 V. Ustawiona wartość napięcia pozwoli zabezpieczyć układ przed ewentualnym jego skokiem powyżej dopuszczalnej normy, który mógłby uszkodzić sterownik. Sterownik

(moduł Arduino UNO) poprzez magistralę I2C współpracuje z wyświetlaczem wraz z przyciskami (moduł ARDUINO LCD + BUTTON SHIELD) oraz zegarem czasu rzeczywistego (moduł RTC). Wykorzystując wyjścia PWM w sterowniku można sterować wypełnieniem impulsu prądowego, który zasila poszczególne łańcuchy diod. Każdy driver (na rysunku 4 są to elementy 1–6) sterowany jest osobnym sygnałem. Zostały wykorzystane wszystkie wyjścia PWM ze sterownika.

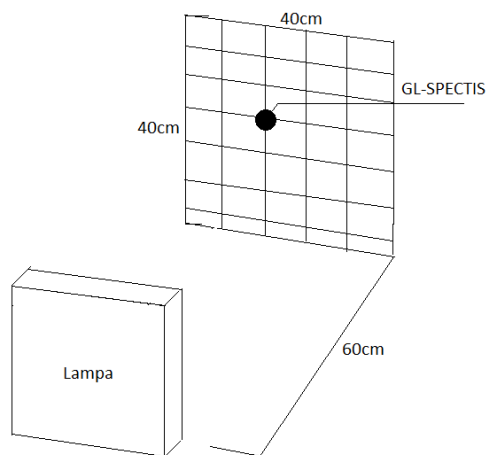


Rys. 4. Schemat blokowy układu sterowania i zasilania lampy

Na każdy łańcuch przypada 5 diod o mocy 3 W, które połączone są ze sobą szeregowo. Ponieważ przy zasilaniu diod bardzo ważna jest stabilna wartość prądu, diody zasilane są poprzez zasilacz ze stabilizacją prądu a nie napięcia, co wynika z charakterystyki prądowo napięciowej diody. Przy bardzo niewielkich zmianach wartości napięcia występuje bardzo duża zmiana wartości prądu i łatwo przekroczyć parametry znamionowe.

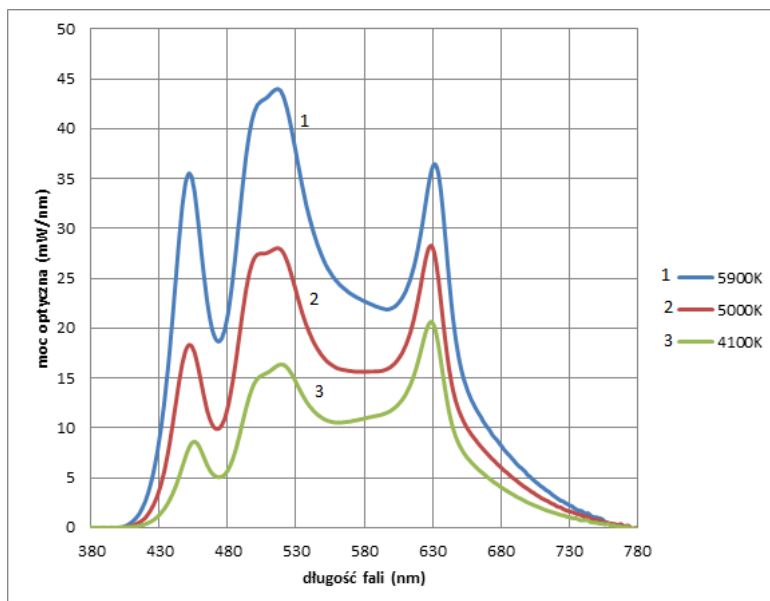
Dla gotowej lampy wykonano charakterystyki spektralne w odległości 60 cm od lampy na siatce  $40 \times 40$  cm w laboratorium fotometrycznym, aby wyeliminować wpływ zewnętrznych czynników na wyniki pomiarów jedynym źródłem światła w pomieszczeniu była badana lampa [8]. W pomiarach wykorzystano spektrometr GL-Spectis 1.0 Touch z nasadką dyfuzyjną. Punkty pomiarowe rozmieszczono co 5 cm, przez co uzyskano 81 lokalizacji miernika.





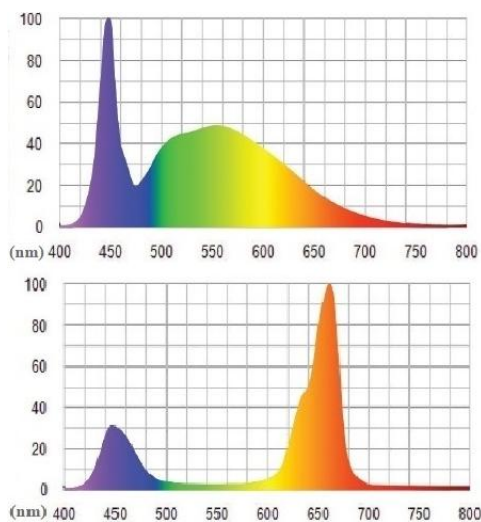
Rys. 5. Schemat stanowiska do charakteryzacji lampy LED

Lampę umocowano tak, aby wyeliminować możliwość przypadkowej zmiany jej położenia względem pola pomiarowego. Przetwarzając wyniki pomiarów uzyskałem charakterystyki spektralne dla trzech zadanych temperatur barwowych.



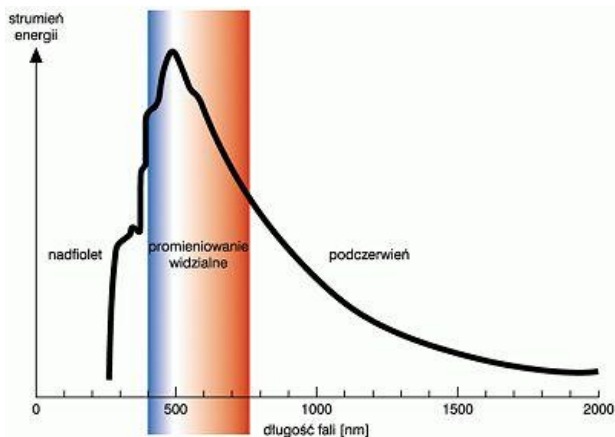
Rys. 6. Charakterystyki zbudowanej lampy dla trzech temperatur barwowych

Rysunek 6 (patrz rys. s. 16) przedstawia charakterystyki spektralne dla trzech różnych temperatur barwowych. Charakterystyki mają podobny przebieg względem siebie, wyraźnie różnią się poziomem linii spektralnych w zakresie 440–460 nm co odpowiada światłu niebieskiemu. Gdy temperatura barwowa ma niższą wartość (barwa cieplejsza) udział spektrum światła niebieskiego jest wyraźnie mniejszy. Aby uzyskać temperaturę barwową 4100 K zmniejszono do minimum poziom wypełnienia PWM dla diod białych zimnych, zwiększono za to udział diody o temperaturze barwowej 2800 K oraz diody monochromatycznej czerwonej. Uzyskane charakterystyki możemy porównać z tanim dostępnym na rynku oświetleniem akwarystycznym oraz z przykładowym rozkładem światła emitowanego przez najbliższą nam gwiazdę Słońce.



Rys. 7. Charakterystyki spektralne lamp AQUALUX, góra LED White, dół LED Premium Plant [2]

Porównując powyższe rysunki widzimy, że charakterystyki lamp przedstawionych na rysunku 7 odbiegają znacznie od charakterystyk widmowych promieniowania słonecznego rysunek 8 (patrz rys. s. 18). Możemy wywnioskować, że źródła emitują światło o bardzo niskim współczynniku oddawania barw, którego producent nie podaje [2]. Zaprojektowana lampa ma bardziej zbliżony rozkład widma do rozkładu słonecznego. Efekt ten uzyskałem stosując kilka rodzajów diod LED, które miały na celu wypełnienie „dziur” w rozkładzie widmowym diod białych. Lampa uzupełniona została o diody barwy zielonej, czerwonej i cyan.



Rys. 8. Widmo promieniowania słonecznego [3]

Uzyskane parametry lampy spełniły założenia projektowe. Parametry świetlne są na wysokim poziomie, we wszystkich trybach pracy lampa uzyskała współczynnik oddawania barw Ra powyżej 91. Sterownik umożliwia płynną regulację temperatury barwowej oraz mocy oświetleniowej co sprawia, że mamy możliwość indywidualnej regulacji tych parametrów w zależności od potrzeby. Jest to rozwiązanie innowacyjne, nie dostępne na rynku, producenci lamp akwariowych nie oferują lamp z możliwością regulowania temperatury barwowej.

Lampa ma trzy tryby pracy automatycznej:

- LOW TECH – średnie natężenie oświetlenia dla tego trybu pracy wynosi 720 lx, a wypadkowa temperatura barwowa to 4097 K;
- MEDIUM TECH – w tym trybie pracy natężenie oświetlenia wynosi 1100 lx, natomiast temperatura barwowa to 5000 K;
- HIGH TECH – dla tej konfiguracji natężenie oświetlenia to 1670 lx a średnia temperatura barwowa wynosi 5900 K.



Rys. 9. Porównanie 3 trybów pracy lampy od lewej: HIGH TECH, MEDIUM TECH, LOW TECH

## PODSUMOWANIE

Przedstawiony projekt dotyczył budowy lampy do oświetlenia akwarium słodkowodnego. Głównym zadaniem było uzyskanie wysokich parametrów współczynnika oddawania barw  $R_a$ , który jest pomijany i niedefiniowany w oprawach dostępnych na rynku. Dzięki płynnej regulacji temperatury barwowej użytkownik może indywidualnie dostrajać parametry światła do własnego zbiornika. Lampa cechuje się uniwersalnością zastosowania. Jako serce układu sterowania zastosowano popularny mikrokontroler Arduino UNO. Dzięki wielu dostępnym modułom w przyszłości sterownik lampy możemy rozbudować o dodatkowe funkcje np. automatyczny dozownik nawozów, pomiar temperatury wody, automatyczny karmik itp.

Głównym zadaniem akwarysty powinno być jak najwierniejsze odtworzenie środowiska naturalnego, w którym na wolności żyją danego rodzaju hodowane organizmy. Zbudowana lampa pozwala w dokładniejszy sposób imitować słońce, dzięki funkcji zmierzchu i świtu może zapobiec stresowi ryb związanemu z nagłym włączeniem światła z pełną mocą. Charakterystyki spektralne zbudowanej lampy w znacznym stopniu przypominają widmo słoneczne, co przekłada się na wysoki współczynnik oddawania barwy.

## LITERATURA

- [1] Schliewen U., *Akwarium, praktyczny poradnik*, Świat Książki, Warszawa, 2010
- [2] <https://www.zoolight.pl/product-pol-2442-Lampa-LED-PREMIUM-PLANT-GREEN-Akwarium-Roslinne.html>, zasoby z dnia 10.10.2018
- [3] <http://www.wiw.pl/astrologia/0705-slonce.asp>, zasoby z dnia 10.10.2018
- [4] Wiśniewski A., *Lampy LED nowej technologii – zamienniki żarówek tradycyjnych i halogenowych*, „Przegląd Elektrotechniczny”, R.93 NR 12/2017, 289–292
- [5] Żagan W., *Podstawy techniki świetlnej*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2005
- [6] <http://nano-reef.pl/forums/topic/44478-znaczenie-swiatla-w-akwarystyce/>, zasoby z dnia 10.10.2018
- [7] Erdmann S., F., *Light-Emitting Diodes*, Cambridge University Press, Cambridge, 2006
- [8] Mroczka J. (red.), Błaszczak U., Zajkowski M., Zajęc M., *Problemy Metrologii Elektronicznej i Fotonicznej 9*, Wybrane zagadnienia projektowania i oceny jakości urządzeń oświetleniowych ze źródłami półprzewodnikowymi, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2018

# MODEL STACJI METEOROLOGICZNEJ Z WYKORZYSTANIEM MODUŁÓW LORA NA PLATFORMĘ ARDUINO

## WSTĘP

Bezprzewodowe przesyłanie informacji staje się nieodłącznym elementem dnia codziennego. Istnieje wiele technologii bezprzewodowych, które za pośrednictwem fal radiowych pozwalają na przesyłanie danych między urządzeniami. Charakteryzują się parametrami takimi jak: pobór mocy, zasięg, przepustowość łącza, częstotliwość pracy czy łatwość obsługi.

Jednym z nich jest system LoRa (ang. *Long Range*), który został opatentowany przez firmę Semtech. Technologia LoRa znajduje swoje zastosowanie w Internecie Rzeczy (ang. *Internet of Things*). Pracuje na nielicencjonowanych częstotliwościach radiowych. Cechuje się niskim poborem mocy przy zachowaniu dalekiego zasięgu komunikacji.

Arduino jest powszechnie dostępną platformą elektroniczną typu *open source*, która oferuje sprzęt oraz dedykowane oprogramowanie. Za pomocą platformy Arduino można przysyłać dane między innymi modułami, a także gromadzić je i dowolnie przetwarzać.

## SYSTEM LORA

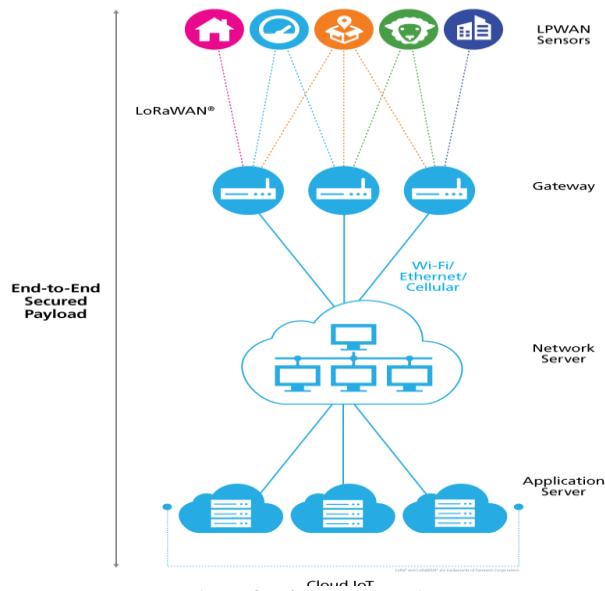
System Long Range oparty jest o technikę modulacji widma rozproszonego CSS (ang. *Chirp Spread Spectrum*). LoRa w połączeniu z otwartym protokołem LoRaWAN umożliwia tworzenie inteligentnych aplikacji IoT, które rozwiązują jedno z największych wyzwań współczesnego świata: kontrola zanieczyszczeń, wydajność infrastruktury, zarządzanie energią czy systemy alarmowe. Ponadto system ma zastosowanie w inteligentnych domach i miastach, w inteligentnym

---

<sup>1</sup> Politechnika Lubelska, WEiI, tomasz.kraska@pollub.edu.pl

rolnictwie, w inteligentnych systemach pomiarowych, a nawet w inteligentnym zarządzaniu dostawami i logistyką [1, 2, 3].

Technologię LoRa można podzielić na dwie części: warstwę fizyczną opatentowaną przez Semtech i architekturę systemu sieciowego LoRaWAN stworzoną przez LoRa Alliance. Warstwa fizyczna odpowiada za modulację widma rozproszonego, a także korekcję błędów. LoRaWAN jest protokołem definiującym górną warstwę sieci. Architekturę systemu przedstawia rysunek 1 [1, 2, 3].



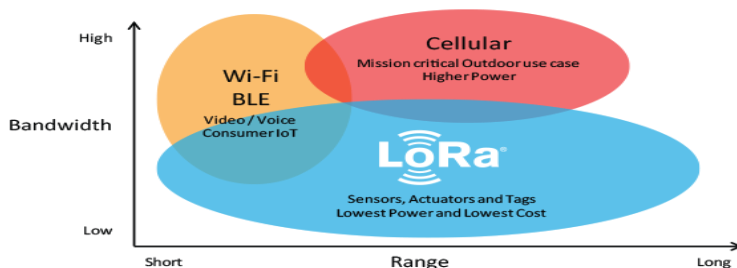
Rys. 1. Architektura LoRa [1]

Dostępne dziś nadajniki pracują na częstotliwościach zawartych w przedziale pasm nielicencjonowanych ISM (ang. *Industrial, Scientific, Medical*). W Polsce, a także Europie pasma ISM to 433 MHz oraz 868 MHz [1].

|                        |         |         |        |   |
|------------------------|---------|---------|--------|---|
| <b>Application</b>     |         |         |        |   |
| <b>LoRaWAN MAC</b>     |         |         |        |   |
| MAC options            |         |         |        |   |
| Class A                | Class B | Class C |        |   |
| <b>LoRa Modulation</b> |         |         |        |   |
| Regional ISM band      |         |         |        |   |
| EU 868                 | EU 433  | US 915  | AS 430 | — |

Rys. 2. Warstwa fizyczna i warstwa komunikacyjna LoRaWAN [1]

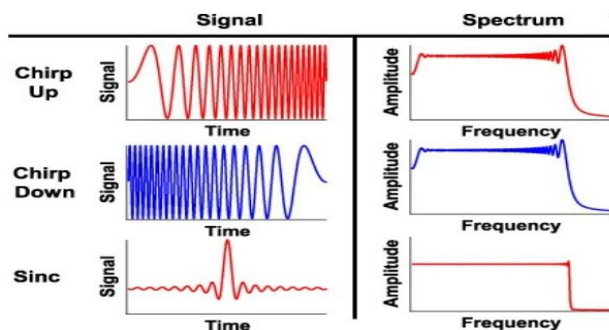
W systemie LoRa komunikacja odbywa się przez węzły pośredniczące do celu (bramki), co pozwala na znaczną rozbudowę i zwiększenie obszaru działania sieci. LoRa na tle najpopularniejszych systemów przesyłu danych takich jak Bluetooth czy Wi-Fi oferuje optymalne rozwiązanie. Dzięki swej elastyczności i możliwości manewrowania pomiędzy zasięgiem a przepustowością staje się lepszym wyborem do bezprzewodowego przesyłu ważnych informacji [1, 2].



Rys. 3. LoRa na tle innych systemów przesyłu danych [1]

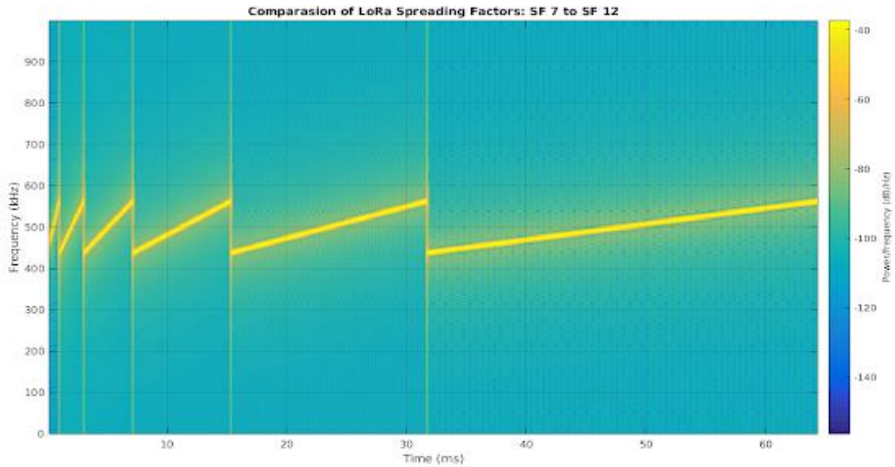
## CHIRP SPREAD SPECTRUM (CSS)

Jest to technika widma rozproszonego wykorzystująca szerokopasmowe sygnały podobne do szumu, które są trudne do wykrycia, przechwycenia czy demodulacji. Ponadto sygnały o widmie rozproszonym są bardziej odporne na zakłócenia względem widm wąskopasmowych. Impuls ćwierkający (ang. *chirp*) jest impulsem modulowanym częstotliwościowo. Rysunek 4 przedstawia spektrum tych impulsów. W czasie ich trwania częstotliwość zmienia się monotonicznie z wyższej wartości na niższą lub przeciwnie [3, 4].

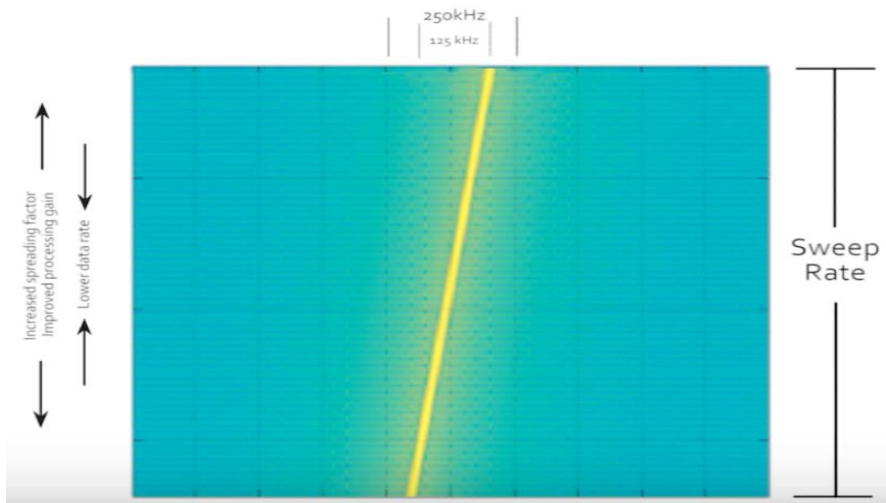


Rys. 4. Spektrum impulsów ćwierkających [4]

*Spreading Factor* jest wskaźnikiem zależności między szybkością przesyłanego symbolu a czasem trwania sygnału. Przy zwiększaniu współczynnika rozprzestrzeniania SF wzrasta stosunek sygnału do szumu (SNR), jednocześnie wzrasta też zasięg i czas transmisji pakietu. SF jest konfigurowalne od 7 do 12. Przykładowo zwiększając współczynnik SF o 1 uzyskamy dwa razy dłuższy czas transmisji pakietu [3, 5].



Rys. 5. Zestawienie współczynników rozproszenia [6]



Rys. 6. Szerokość pasma [6]



*Bandwidth* to szerokość częstotliwości w paśmie transmisji. Im wyższa szerokość pasma, tym szybsza jest transmisja danych lecz jednocześnie niższa czułość odbiornika ze względu na wprowadzenie większych szumów. *Bandwidth* jest konfigurowalne w przedziale od 7,8 kHz do 500 kHz [3, 5].

*Transmission Power* jest mocą transmisji modułu, która jest konfigurowalna w przedziale od  $-4$  dBm do 20 dBm. Ustawiona moc bezpośrednio wpływa na ilość zużywanej mocy potrzebnej do transmisji. Zwiększając moc nadawany sygnał ma większe szanse na przeniknięcie przez przeszkody w środowisku, w wyniku czego odbiornik zyskuje większą moc sygnału odbieranego [7].

*Carrier Frequency* jest częstotliwością środkową pracy modułu, jest programowalna w przedziale od 137 MHz do 1020 MHz [7]. *Coding Rate* jest wskaźnikiem kodowania odpowiadającym za ochronę przed zakłóceniami. Jeżeli w kanale transmisyjnym jest wiele zakłóceń, należy zwiększyć wartość CR, jednak wiąże się to z dłuższym czasem trwania transmisji [3, 5, 7].

## ARDUINO

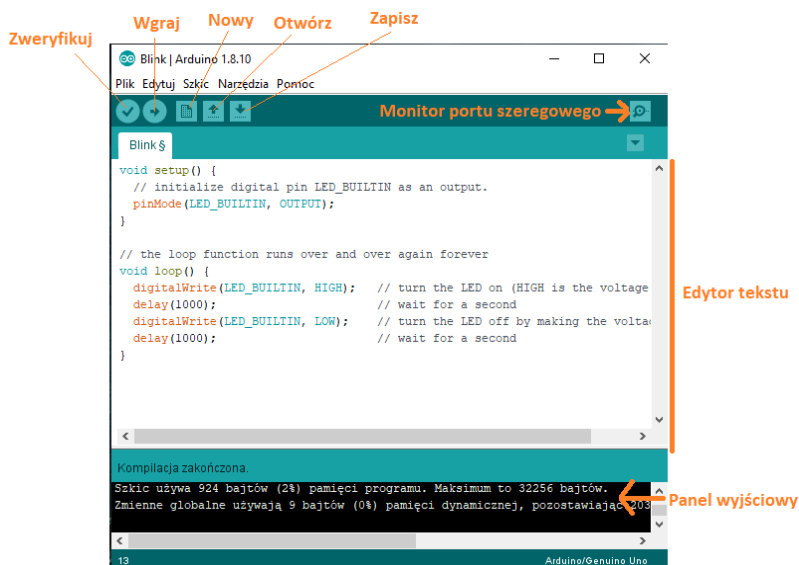
Arduino to programowalna płytka drukowana typu *open source*. Została stworzona jako narzędzie do szybkiego prototypowania z myślą o studentach bez doświadczenia w elektronice czy programowaniu. Dzięki swej prostocie użytkowania przez lata szybko się rozwijała. Zgromadziła wśród siebie wielu zainteresowanych studentów, programistów i hobbystów tworząc ogromną ilość bezpłatnie dostępnej wiedzy, projektów i oprogramowania. Arduino jest łatwe w obsłudze dla początkujących, a jednocześnie wystarczająco elastyczne dla zaawansowanych użytkowników. Działa na komputerach z Mac, Windows i Linux. Nauczyciele i uczniowie używają go do budowy tanich instrumentów, do udowodnienia zasad chemii i fizyki lub rozpoczęcia programowania i robotyki. Arduino to kluczowe narzędzie do uczenia się nowych rzeczy [20, 21].



Rys. 7. Płytko Arduino Uno [10]

Płytką Arduino to mały komputer, który można dowolnie zaprogramować tak, aby przetwarzał dane wejściowe oraz wyjściowe między urządzeniami do niego podłączonymi. Ponadto może być podłączony do komputera, sieci i Internetu w celu przetwarzania danych. Najpopularniejszą płytką jest Arduino Uno.

Istnieje wiele konstrukcji płytek Arduino, które różnią liczbą wejść/wyjść, mikroprocesorem lub kontrolerami. Większość z nich posiada już wbudowany programator na płycie, który służy do wgrywania kodu. Wystarczy podłączyć płytkę za pomocą przewodu miniUSB-USB do komputera i rozpocząć programowanie. Płytki posiadają wyprowadzenia goldpin, które w szybki i wygodny sposób pozwalają dokonywać połączeń elektrycznych bez potrzeby lutowania.



Rys. 8. Widok środowiska programistycznego Arduino IDE

Arduino posiada darmowe środowisko programistyczne Arduino IDE. Jest to aplikacja z wbudowanymi funkcjami i poleceniami debugowania, edycji i kompilacji napisanego kodu w środowisku. Obsługuje dwa języki programowania C oraz C++. Składa się z panelu edytora tekstu, czyli programu oraz kompilatora odpowiedzialnego za przetworzenie programu i wykrycie błędów [8, 9]. Do poprawnego działania kod wymaga dwóch podstawowych funkcji:

- *Setup()* – funkcja ta wywoływana jest tylko raz w pierwszej kolejności po włączeniu lub zresetowaniu płytki, służy do deklaracji zmiennych, dodawania bibliotek lub ustawienia trybów pracy pinów;

- *Loop()* – funkcja w której umieszczany jest główny kod odpowiedzialny za wykonywanie działań, wykonywana jest w pętli od początku do ostatniej linii jej kodu.

## MODEL STACJI METEOROLOGICZNEJ

Model stacji meteorologicznej składa się z dwóch podstawowych zespołów urządzeń. Pierwszym z nich jest nadajnik stacji, którego zadaniem jest gromadzenie danych oraz bezprzewodowe przesłanie ich do odbiornika. Odbiornik po przyjęciu danych odpowiada za ich przetworzenie oraz wyświetlenie.

Nadajnik składa się m.in. z głównego komputera przetwarzającego – Arduino Nano. Zasilany jest z ogniwa typu 18650 z możliwością ładowania przy pomocy modułu TP4056. Dane meteorologiczne (temperatura, ciśnienie, wilgotność) mierzone są za pomocą cyfrowego czujnika BME 280. Za pomocą interfejsu I2C Arduino odczytuje a następnie przetwarza dane z czujnika. Zapisane dane przy użyciu interfejsu SPI trafiają do modułu LoRa Ra-02, który nadaje sygnał radiowy w przestrzeń.



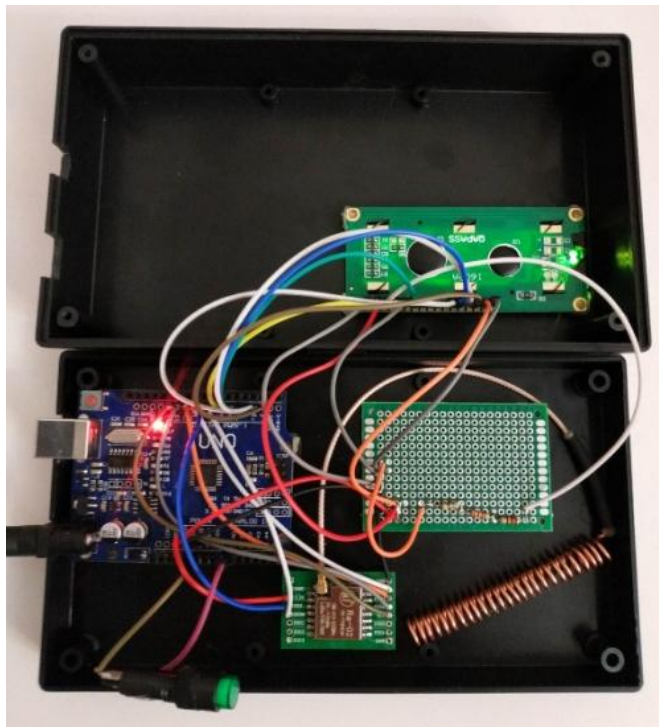
Rys. 9. Nadajnik – widok obudowy



Rys. 10. Nadajnik – widok wewnętrznych podzespołów



*Rys. 11. Odbiornik – widok obudowy i wyświetlacza*



*Rys. 12. Odbiornik – widok wewnętrznych podzespołów*

Odbiornik zasilany jest z zasilacza sieciowego 12 V DC. Sercem układu jest Arduino UNO. Moduł LoRa Ra-02 po wykryciu preambuły odbiera pakiet danych z nadajnika i wysyła go wykorzystując interfejs SPI do płytki Arduino. Uno przetwarza dane, a następnie wyświetla je kolejno temperaturę, ciśnienie i wilgotność z odstępem czasowym równym 5 sekund. Parametry meteorologiczne pokazywane są na wyświetlaczu LCD 2 x 16 znaków.

## WNIOSKI

Bezprzewodowe systemy przesyłu danych oferują szeroki zakres parametrów. Ich głównymi cechami jest prostota obsługi, mobilność i brak zastosowania kabli połączeniowych. Wybrany system LoRa ponadto charakteryzuje się przede wszystkim niskim zużyciem energii oraz dalekim zasięgiem. Do stworzenia stacji meteorologicznej, w której przesyłana jest niewielka ilość danych spisuje się idealnie ze względu na możliwość doboru parametrów transmisji.

Mikrokontrolery Arduino są platformą ogólnodostępną dla każdego. To małe komputery, które pozwalają na przetwarzanie danych i sterowanie urządzeniami podrzędnymi. Największą ich zaletą jest prostota obsługi oraz dostępność bibliotek i projektów opracowanych przez hobbystów.

Powyższy projekt udowadnia, że możliwe jest stworzenie stacji meteorologicznej z wykorzystaniem modułów do komunikacji radiowej LoRa oraz platformy do przetwarzania danych Arduino. Takie połączenie daje możliwość niskiego zużycia mocy, dzięki czemu nadajnik może pracować przed długi czas na zasilaniu bateryjnym. Niewielkie rozmiary modułów zapewniają mobilność i łatwość montażu stacji. Ponadto są one niezawodne, mogą bezproblemowo pracować w warunkach zróżnicowanej strefy klimatycznej. Dominującą zaletą takiej stacji jest zasięg, który może sięgać nawet kilkunastu kilometrów w otwartej przestrzeni.

## LITERATURA

- [1] <https://www.semtech.com/lora/what-is-lora>, zasoby z dnia 19.04.2021
- [2] <https://lora-alliance.org/about-lora-alliance>, zasoby z dnia 19.04.2021
- [3] Springer A., Gugler W., Huemer M., Reindl L., Ruppel C.C.W., Weigel R., *Spread Spectrum Communications Using Chirp Signals*, University of Linz, Institute for Communications and Information Engineering, Austria
- [4] <https://www.slideshare.net/ajal4u/chirps>, zasoby z dnia 19.04.2021

- [5] Petäjäjärvi J., Mikhaylov K., Hämäläinen M., Iinatti J., *Evaluation of LoRa LPWAN technology for remote health and wellbeing monitoring*. In 2016 10th International Symposium on Medical Information and Communication Technology (ISMICT), IEEE, Marzec 2016
- [6] <https://www.sghoslya.com/p/lora-is-chirp-spread-spectrum.html>, zasoby z dnia 19.04.2021
- [7] Nota katalogowa SX1276/77/78/79
- [8] McRoberts, M. *Beginning Arduino*, Apress, 2013
- [9] Badamasi, Y. A., *The working principle of an Arduino*. In 2014 11th International Conference on Electronics, Computer and Computation (ICECCO), IEEE, 2014
- [10] [https://en.wikipedia.org/wiki/Arduino#/media/File:Arduino\\_Uno\\_-\\_R3.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Arduino#/media/File:Arduino_Uno_-_R3.jpg), zasoby z dnia 19.04.2021

## **WYKORZYSTANIE TESTERA ZABEZPIECZEŃ OMICRON CMC 356 DO BADANIA ZABEZPIECZEŃ LINII SN**

### **WSTĘP**

Zapewnienie skutecznej ochrony sieci elektroenergetycznej przed skutkami zakłóceń jak również ich selektywna eliminacja w możliwie najkrótszym czasie są podstawowymi zadaniami elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej. W tym celu przeprowadza się badania zabezpieczeń zainstalowanych na stacjach energetycznych. Sprawdzenia wykonuje się przed oddaniem ich do użytku oraz w pewnych odstępach czasu już w trakcie ich eksploatacji. Pozwala to zapobiec ich błędnemu działaniu, ponieważ do momentu wystąpienia zakłócenia pracują one w stanie czuwania. Tylko wystąpienie niepożądanych stanów w sieci energetycznej, pozwala przekonać się o ich prawidłowym działaniu.

W artykule przedstawiono wykorzystanie testera zabezpieczeń Omicron CMC 356 do badania zabezpieczenia linii średniego napięcia Schneider MiCOM P139 w stacji GPZ Lubawa.

### **ZAKŁÓCENIA W SYSTEMIE ELEKTROENERGETYCZNYM**

Zakłócenia w systemie elektroenergetycznym można podzielić na zaburzenia, które uniemożliwiają pracę systemu elektroenergetycznego i zagrożenia, podczas których praca systemu jest możliwa przez pewien okres czasu, w którym powinny zostać usunięte ich przyczyny.

Najczęściej występującymi i najgroźniejszymi zakłóceniami występującymi w sieciach energetycznych są zwarcia. Można je podzielić według różnych kryteriów, na przykład: ilość zwartych punktów lub faz, wartość prądu zwarcio-

---

<sup>1</sup> Politechnika Lubelska, WEiI, wojciech.koziel@pollub.edu.pl

go lub wystąpienie połączenia z ziemią. Niezależnie od ich rodzaju mogą spowodować wystąpienie niepożądanych skutków:

- porażenie prądem przy pojawieniu się napięcia krokowego lub dotykowego;
- uszkodzenie elementów systemu energetycznego poprzez długotrwały przepływ prądu zwarciovego;
- pożar wywołany łukiem elektrycznym lub przegrzaniem urządzeń elektrycznymi.

W związku z wymienionymi skutkami zwarć należy w pierwszej kolejności dożyć do zminimalizowania czasu ich trwania poprzez wykrycie i eliminację. Wyłączenie elementów objętych zwarcie jest niestety związane z pozbawieniem zasilanie części odbiorców oraz zmianami konfiguracji sieci, co może wpłynąć na stabilność pracy całego systemu elektroenergetycznego. Dobrym tego przykładem jest, podana w książce profesora Kacejko, awaria systemowa w Szwecji z 27 grudnia 1983 roku, gdzie odciętych od zasilania zostało ponad 60% odbiorców, co skutkowało oczywiście bardzo dużymi stratami w gospodarce. Pierwszym zaburzeniem było błędnie wyeliminowane przez automatykę zabezpieczeniową zwarcie doziemne w linii 400 kV.

Kolejnym z często występujących zagrożeń dla systemu energetycznego jest przeciążenie cieplne, spowodowane nadmiernym przepływem prądu lub pogorszeniem warunków chłodzenia elementów przewodzących.

Przyczyną może być zwiększenie zapotrzebowania na pobieraną moc czynną i bierną niż maksymalna przepustowość linii zasilającej, zmiana struktury sieci energetycznej (np. poprzez wyłączenie elementów sieci w celu usunięcia awarii lub przeprowadzenia prac serwisowych) lub niewłaściwa praca poszczególnych urządzeń (np. baterii kondensatorów, regulatorów napięcia).

Przeciążenia wpływają na skrócenie trwałości elementów sieci energetycznych poprzez przyśpieszenie starzenia się izolacji, zniszczenie styków w miejscach połączeń oraz rozhartowaniem przewodów. Oprócz wyżej opisanych występuje szereg zakłóceń takich jak zjawisko ferreozonansu, wahania napięcia i częstotliwości, praca niepełnofazowa, kołysanie mocy, które nie zostaną opisane w artykule, ponieważ skupiono się na tych przed którymi zabezpieczona została linia zasilana z wyżej wymienionej stacji energetycznej.

## **OPIS BADANYCH ZABEZPIECZEŃ LINII ŚREDNIEGO NAPIĘCIA**

Zabezpieczenie nadprądowe zwłoczne pobudza się, gdy natężenie prądu wzrasta ponad wartość nastawioną. Po upływie dobranej zwłoki czasowej, pod-



czas której natężenie prądu nie spada poniżej nastawy, zabezpieczenie powinno zadziałać wysyłając impuls na wyłączenie wyłącznika. Jeżeli wartość prądu spadnie poniżej nastawionej w trakcie upływu zwłoki czasowej, zabezpieczenie powinno się odzbudzić.

Zabezpieczenie nadprądowe zwłoczne może być zrealizowane poprzez zastosowanie różnych charakterystyk:

- niezależnej – czas zadziałania zabezpieczenia nie jest zależny od natężenia prądu płynącego przez przełącznik;
- zależnej – czas zadziałania zabezpieczenia jest zależny od natężenia prądu płynącego przez przełącznik;
- częściowo zależnej – czas zadziałania zabezpieczenia jest zależny od natężenia prądu ale nie mniejszy niż nastawiona wartość zwłoki czasowej.

W badanym przypadku wykorzystano zabezpieczenie o charakterystyce niezależnej, natomiast pomiar prądu zrealizowany został poprzez połączenie przekładników prądowych w układ pełnej gwiazdy.

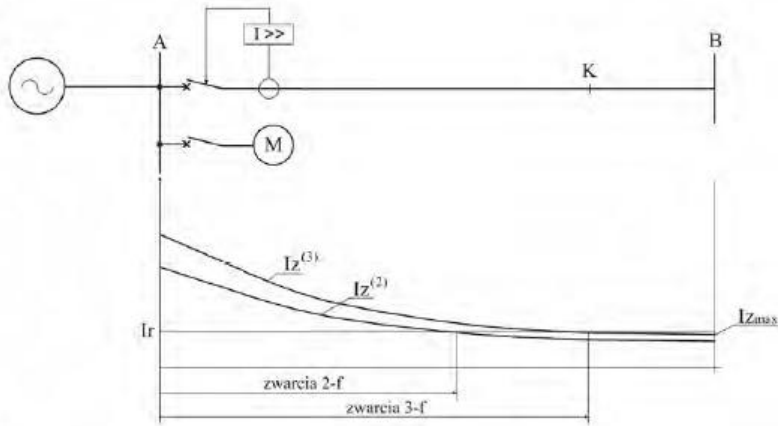
Zabezpieczenia nadprądowe zwłoczne wykorzystywane są do eliminacji przeciążeń oraz zwarcć małoprądowych. Stosowana zwłoka czasowa daje możliwość samoczynnego zaniku zwarcia lub przeciążenia.

Zastosowanie zabezpieczenia nadprądowego bezzwłocznego, znacznie ogranicza wadę zabezpieczeń ze zwłoką czasową, która polega na wyłączaniu zwarcć w pobliżu źródła zasilania (zwarcia takie charakteryzują się dużą wartością natężenia prądu) dopiero po upływie nastawionego czasu.

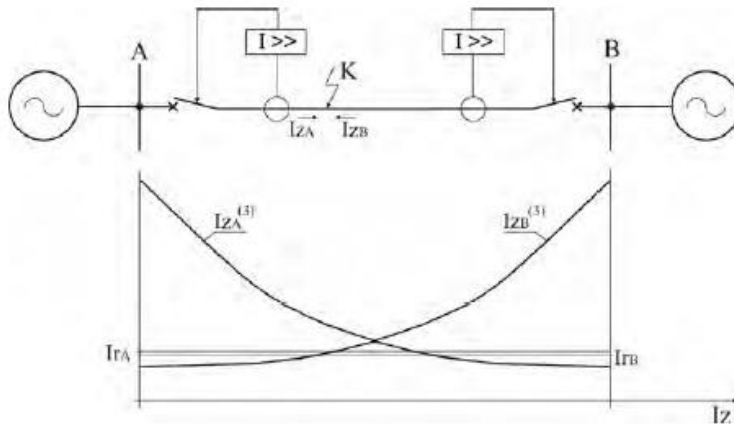
Zastosowanie obu zabezpieczeń zapewnia wybiórczość działania (która jest jednym z podstawowych wymagań stawianych automatyce zabezpieczeniowej) w przypadku zwarcć położonych dalej zabezpieczenie nie zadziała, ponieważ natężenie prądu w przypadku zwarcć dwufazowych i trójfazowych zmienia się wraz z położeniem miejsca zwarcia.

W związku z tym, że impedancja zabezpieczanej linii nie jest stała, zasięg działania zabezpieczenia może ulec zmianie. Przy zwiększeniu impedancji strefa działania zostanie skrócona. Podobny problem pojawia się przy zwarciach dwufazowych, w przypadku których wartość prądu zwarciovego jest mniejsza niż zwarcć trójfazowych występujących w tym samym miejscu. Zobrazowane zostało to na rysunku 1 (patrz rys. s. 33).

Zabezpieczenie nadprądowe bezzwłoczne najczęściej stosuje się w liniach zasilanych jednostronnie. Rzadziej w przypadkach zasilania dwustronnego. Wówczas strefy zadziałania powinny obejmować część odcinka linii tak jak przedstawiono to na rysunku 2 (patrz rys. s. 33).



Rys. 1. Zabezpieczenie nadprądowe bezzwłoczne – zasięg działania przy różnych zwarciach



Rys. 2. Zabezpieczenie nadprądowe bezzwłoczne – zasięg działania przy zasilaniu dwustronnym

Kolejnym rodzajem przebadanych zabezpieczeń są zabezpieczenia ziemnozwarciowe. Dobór tych zabezpieczeń zależy od rodzaju połączenia punktu neutralnego sieci z ziemią. W badanym przypadku sieć uziemiona była przez rezystor. W celu ochrony linii wykorzystano zabezpieczenie nadprądowe zerowe, admitancyjne oraz konduktancyjne.

Wykrycie zwarc doziemnych polega na pomiarze składowej symetrycznej zerowej prądu i napięcia. Do pomiaru składowej zerowej wykorzystano układ Holmgreena, natomiast do pomiaru składowej zerowej napięcia połączenie przedkładników napięciowych w układ otwartego trójkąta.

W przypadku zabezpieczenia nadprądowo zerowego ustalenie, w której linii wystąpiło zwarcie doziemne zachodzi na podstawie pojawienia się prądu  $3I_0$  ponad wartość tak zwanego prądu własnego linii, który pojawi się również w trakcie zwarcie w innej części sieci. W sieciach uziemionych przez rezystor wartość składowej zerowej jest dość duża, co pozwala na stosowanie jej jako kryterium wykrywania zwarć doziemnych.

Kryterium przyjętym do identyfikacji linii ze zwarciami w zabezpieczeniach admitancyjnych jest wartość admitancji zerowej lub jej składowych czynnej – konduktancji, biernej – susceptancji. Zabezpieczenia admitancyjne wykrywają linie ze zvarciami doziemnymi na podstawie wzrostu:

- modułu admitancji zerowej, wyznaczonej wzorem:

$$Y_0 = \frac{3I_0}{3U_0} \quad (1)$$

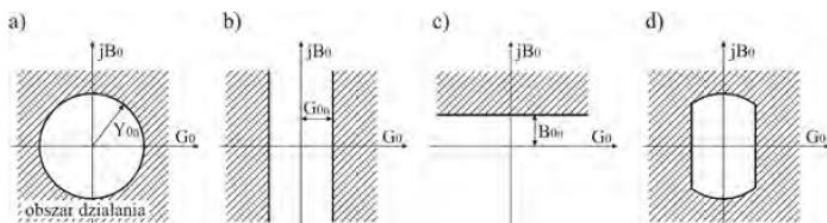
- składowej czynnej admitancji zerowej (konduktancji zerowej), wyznaczonej wzorem:

$$G_0 = Y_0 \cdot \cos\varphi_0 \quad (2)$$

- składowej biernej admitancji zerowej (susceptancji zerowej), wyznaczonej wzorem:

$$B_0 = Y_0 \cdot \sin\varphi_0 \quad (3)$$

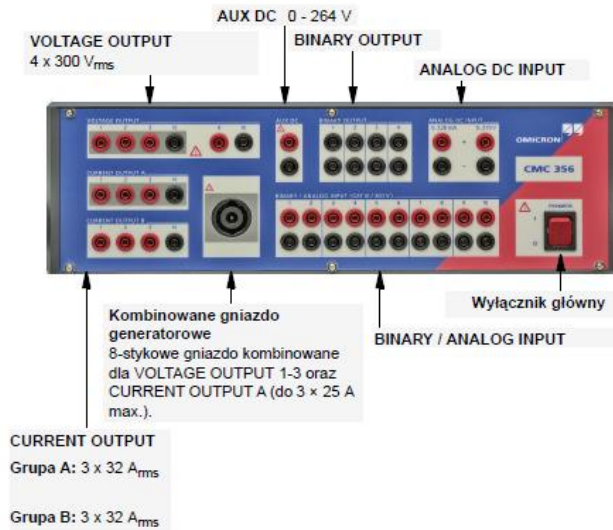
Do pomiaru admitancji wykorzystywane są komparatory amplitudy, które na podstawie sygnałów wejściowych w zależności od kryterium stwierdzają wzrost wartości admitancji, konduktancji lub susceptancji. Dzięki porównywaniu różnych sygnałów w komparatorach istnieje możliwość łączenia kryteriów, co pozwala na poprawną lokalizację doziemionej linii bez względu na sposób pracy punktu neutralnego sieci. Na rysunku 3 przedstawiono typowe charakterystyki rozruchowe zabezpieczeń ziemnozwarciowych admitancyjnych.



Rys. 3. Charakterystyki zabezpieczeń ziemnozwarciowych admitancyjnych: a) admitancyjne  $Y_0$ ; b) konduktancyjne  $G_0$ ; c) susceptancyjne kierunkowe  $B_{0k}$ ; d) admitancyjno-konduktancyjne

## TESTER ZABEZPIECZEŃ OMICRON CMC 353

Omicron CMC 356 jest urządzeniem przeznaczonym do testowania liczników energii, analizatorów jakości energii oraz zabezpieczeń cyfrowych. Sterowany jest on za pomocą komputera z oprogramowaniem *Test Universe*. Na rysunku 4 zaprezentowano wygląd urządzenia.



Rys. 4. Omicron CMC 356

System testowy łączy pracę oprogramowania zainstalowanego na komputerze oraz samego urządzenia. Oprogramowanie odpowiada za przetwarzanie danych wejściowych, sterowanie sygnałami wyjściowymi oraz generowanie raportów. Natomiast Omicron CMC 356 generuje sygnały testowe analogowe (prądy, napięcia) i sygnały binarne, mierzy odpowiedź badanego obiektu oraz podaje mu napięcie DC. Procesor testera odpowiada między innymi za komunikację z komputerem lub siecią poprzez gniazda USB i Ethernet, generuje sygnały cyfrowe dla wszystkich wyjść testera, steruje i kontroluje wszystkie układy łącznie z zewnętrznymi wzmacniaczami (jeżeli występują). Urządzenie zasilane jest poprzez konwerter AC/DC, który zapewnia odpowiednie napięcie DC z napięcia AC w granicach od 85 do 264 V. Urządzenie wyposażone jest w:

- cztery wyjścia napięciowe ze wspólnym przewodem neutralnym oraz dwa dodatkowe wyjścia z przewodem neutralnym, które pracują w zakresach

- $1 \times 0-600 \text{ V}$ ,  $2 \times 0-600 \text{ V}$  lub  $4 \times 0-300 \text{ V}$ ; wyjścia zabezpieczone są od zwarć L-N oraz przeciążeń;
- dwie grupy po trzy wyjścia prądowe każda z przewodem neutralnym, które pracują w zakresach  $1 \times 0-128 \text{ A}$ ,  $3 \times 0-64 \text{ A}$  lub  $3 \times 0-32 \text{ A}$ ; wyjścia zabezpieczone są od zwarć oraz przeciążeń;
  - dziesięć wejść binarnych;
  - cztery wyjścia binarne;
  - wyjście AUX DC, które może być wykorzystane jako zasilanie dla testowanych obiektów.

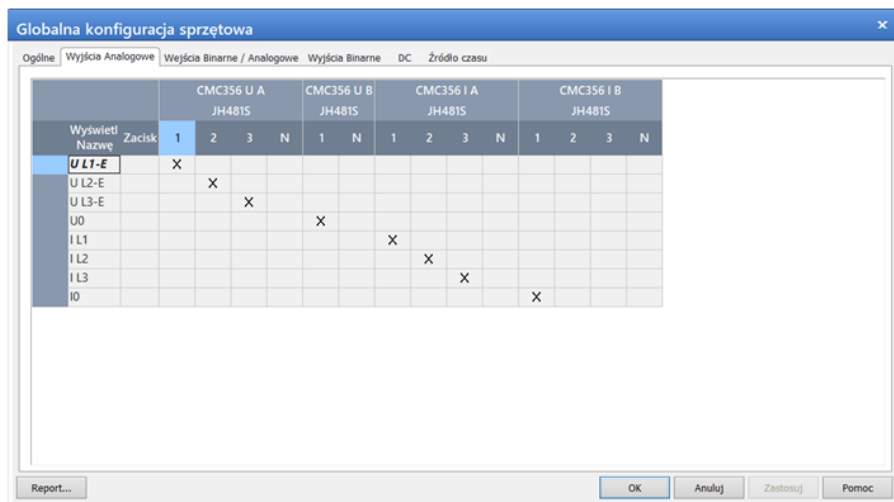
Program Test Universe może być wykorzystywany do sterowania wszystkimi testerami CMC firmy Omicron. Budowa programu składa się z kilkunastu modułów testowych, które pozwalają na przeprowadzenie badań wybranych zabezpieczeń. Istnieje możliwość przeprowadzania pojedynczych testów oraz skomplikowanych sekwencji testowych. Więcej informacji o wykorzystaniu programu w praktyce przedstawiono w następnym rozdziale.

## PRZEPROWADZENIE I WYNIKI BADAŃ

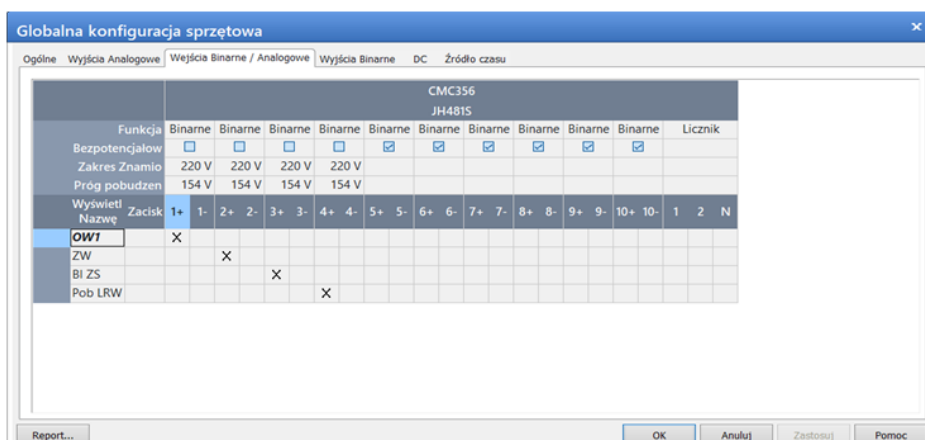
W celu dopasowania oprogramowania do sprzętu testowego dostępny jest moduł Konfiguracja sprzętu. Odzwierciedla on drogę sygnałów między oprogramowaniem i testowanym obiektem. Zawiera informację o powiązaniach między wejściami i wyjściami oprogramowania testowego i obiektu testowanego, wykorzystywanym testerze i jego konfiguracji oraz połączeniu między testerem a zaciskami obiektu testowanego.

Na rysunkach 5 i 6 (patrz rys. na str. 41) przedstawiono sposób konfiguracji wyjść prądowych i napięciowych oraz wejść binarnych testera. Ustalono wyjścia dla napięć i prądów fazowych, składowej symetrycznej  $3U_0$  oraz  $3I_0$ . Opisane zostały wejścia binarne odpowiedzialne za odbieranie sygnałów o wyłączeniu i załączeniu wyłącznika, pobudzeniu blokady zabezpieczenia szyn rozdzielni i lokalnej rezerwy wyłącznikowej.

Czas zadziałania zabezpieczeń został wyznaczony przy użyciu modułu testowego *State Sequencer*. Zdefiniowano w nim trzy stany normalny, stan zwarcia i pozwarciowy. W pierwszym odwzorowany jest normalny stan pracy linii, kończy się on po upływie określonego przez użytkownika czasu. W stanie drugim wartość natężenia prądu wzrasta ponad wartość nastawioną, co powinno spowodować podanie impulsu wyłączenia wyłącznika, lokalnej rezerwy wyłącznikowej oraz blokady zabezpieczenia szyn rozdzielni.



Rys. 5. Konfiguracja wyjść analogowych w programie Test Universe

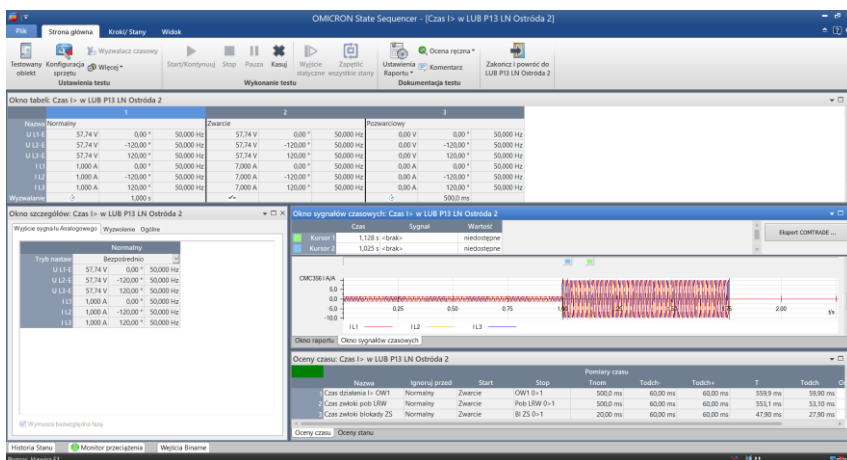


Rys. 6. Konfiguracja wejść binarnych w programie Test Universe

Tab. 1. Nastawy badanego zabezpieczenia

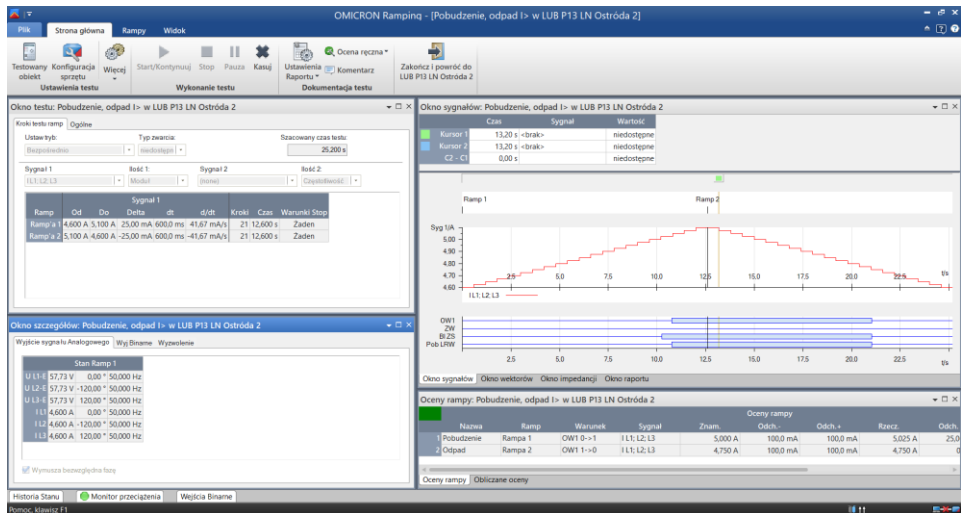
|  |  |
|--|--|
| Przekładnia prądowa                              | 200/5 A                                      |
| Zabezpieczenie nadprądowe zwłoczne               | $I_r = 1I_n \quad t = 0,5 \text{ s}$         |
| Zabezpieczenie nadprądowe bezzwłoczne            | $I_r = 3I_n \quad t = 0,05 \text{ s}$        |
| Zabezpieczenie ziemnozwarciowe nadprądowo zerowe | $I_r = 0,08I_n \quad t = 0,6 \text{ s}$      |
| Zabezpieczenie ziemnozwarciowe admitancyjne      | $Y_r = 1,5 \text{ mS} \quad t = 1 \text{ s}$ |
| Zabezpieczenie ziemnozwarciowe konduktancyjne    | $G_r = 1 \text{ mS} \quad t = 0,2 \text{ s}$ |

Krok drugi testu kończy się po odebraniu sygnału wyłączenia. Stan trzeci odwzorowuje pracę linii po wyłączeniu zwarcia, natężenie prądu wynosi zero amperów. W trakcie ostatniego stanu zabezpieczenie powinno przestać wysyłać wyżej wymienione sygnały. Wyjątkiem są zabezpieczenia ziemnozwarciowe, które zgodnie z wytycznymi nie powinny pobudzać sygnałów lokalnej rezerwy wyłącznikowej oraz blokady zabezpieczenia szyn rozdzielni. Na rysunku 7 przedstawiono gotowy moduł testowy dla zabezpieczenia nadprądowego zwłocznego.



Rys. 7. Moduł testowy State Sequencer

Próg zadziałania oraz wartość odpadu zabezpieczeń przebadano przy użyciu modułu testowego *Ramping*. Pozwala on na wysłanie rosnącego lub malejącego sygnału prądowego. Jest to postać sygnału w kształcie kroku, który określony jest przez użytkownika (wartość wzrostu natężenia prądu i czas trwania kroku). Czas trwania kroku ustawiono na większy niż nastawiony czas zadziałania zabezpieczenia. W momencie pobudzenia urządzenie testujące odbiera od zabezpieczenia sygnał wyłączenia wyłącznika, przy odpadzie zabezpieczenia sygnał przestaje być wysyłany. Na rysunku 8 przedstawiono gotowy moduł testowy dla zabezpieczenia nadprądowego zwłocznego.



Rys. 8. Moduł testowy Ramping

Badanie prądu pobudzenia zabezpieczenia nadprądowego bezzwłocznego wykonano modulem testowym *QuickCMC*. Wykorzystany moduł posiada funkcję rampy impulsowej, która w przeciwieństwie do rampy modułu *Ramping* zwiększa wartość prądu impulsowo, a nie ciągłym sygnałem. Przy odpowiednim dobraniu czasu trwania impulsu zabezpieczenie nadprądowe zwłoczne nie zdąży się pobudzić.

Moduł *QuickCMC* wykorzystano również do wyznaczenia charakterystyk kątowych zabezpieczeń admitancyjnego i konduktancyjnego. Moduł jak każdy z wyżej wymienionych pozwala na ustalenie kątów wektorów napięć i prądu. Badania przeprowadzono ustalając kąt pomiędzy składowymi zerowymi prądu i napięcia co 20°. W tabelach poniżej przedstawiono otrzymane wyniki badań.

Tab. 2. Wyniki badań zabezpieczeń nadprądowych

|  | <b>Czas zadziałania</b> | <b>Próg pobudzenia</b> | <b>Wartość odpadu</b> |
|--|-------------------------|------------------------|-----------------------|
| Zabezpieczenie nadprądowe zwłoczne               | 559 ms                  | 5,025 A                | 4,75 A                |
| Zabezpieczenie nadprądowe bezzwłoczne            | 78 ms                   | 15 A                   | —                     |
| Zabezpieczenie ziemnozwarciowe nadprądowo zerowe | 637 ms                  | 0,402 A                | 0,380 A               |



Tab. 3. Wyniki badań zabezpieczenia admitancyjnego

| $U_0$ | $I_0$ | $\varphi_0$ | $Y_0$   |
|-------|-------|-------------|---------|
| 20 V  | 31 mA | 0°          | 1,55 mS |
| 20 V  | 31 mA | 20°         | 1,55 mS |
| 20 V  | 31 mA | 40°         | 1,55 mS |
| 20 V  | 31 mA | 60°         | 1,55 mS |
| 20 V  | 32 mA | 80°         | 1,60 mS |
| 20 V  | 32 mA | 100°        | 1,60 mS |
| 20 V  | 32 mA | 120°        | 1,60 mS |
| 20 V  | 32 mA | 140°        | 1,60 mS |
| 20 V  | 32 mA | 160°        | 1,60 mS |
| 20 V  | 32 mA | 180°        | 1,60 mS |
| 20 V  | 32 mA | 200°        | 1,60 mS |
| 20 V  | 32 mA | 220°        | 1,60 mS |
| 20 V  | 32 mA | 240°        | 1,60 mS |
| 20 V  | 31 mA | 260°        | 1,55 mS |
| 20 V  | 32 mA | 280°        | 1,60 mS |
| 20 V  | 31 mA | 300°        | 1,55 mS |
| 20 V  | 31 mA | 320°        | 1,55 mS |
| 20 V  | 31 mA | 340°        | 1,55 mS |

Tab. 4. Wyniki badań zabezpieczenia konduktancyjnego

| $U_0$ | $I_0$  | $\varphi_0$ | $G_0$    |
|-------|--------|-------------|----------|
| 20 V  | 21 mA  | 0°          | 1,05 mS  |
| 20 V  | 23 mA  | 20°         | 1,08 mS  |
| 20 V  | 28 mA  | 40°         | 1,07 mS  |
| 20 V  | 42 mA  | 60°         | 1,05 mS  |
| 20 V  | 125 mA | 80°         | 1,08 mS  |
| 20 V  | –      | 90°         | –        |
| 20 V  | 106 mA | 100°        | –0,92 mS |
| 20 V  | 40 mA  | 120°        | –1,00 mS |
| 20 V  | 27 mA  | 140°        | –1,03 mS |
| 20 V  | 22 mA  | 160°        | –1,03 mS |
| 20 V  | 21 mA  | 180°        | –1,05 mS |
| 20 V  | 23 mA  | 200°        | –1,08 mS |
| 20 V  | 28 mA  | 220°        | –1,07 mS |
| 20 V  | 42 mA  | 240°        | –1,05 mS |
| 20 V  | 125 mA | 260°        | –1,08 mS |

| $U_0$ | $I_0$  | $\varphi_0$ | $G_0$   |
|-------|--------|-------------|---------|
| 20 V  | –      | 270°        | –       |
| 20 V  | 106 mA | 280°        | 0,92 mS |
| 20 V  | 39 mA  | 300°        | 0,98 mS |
| 20 V  | 27 mA  | 320°        | 1,03 mS |
| 20 V  | 22 mA  | 340°        | 1,03 mS |

## PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że zabezpieczenie działa poprawnie. Różnice pomiędzy wartościami nastawionymi a otrzymanymi w badaniach są minimalne. Opóźnienia w czasach zadziałań mogą wynikać z czasu potrzebnego na wykonanie operacji oraz zamknięcia styku w urządzeniu. Różnice w wartościach pobudzenia mogą wynikać z ustawień testu *Ramping* i ustalonej wartości wzrostu prądu w każdym kroku.

W tabelach 3 i 4, wartości admitancji i konduktancji zerowej obliczono odpowiednio ze wzorów 1 i 2. Rozbieżność pomiędzy wartością nastawioną a wartością otrzymaną w wynikach są nieznaczne. Może ona wynikać z dokładności, z jaką został przeprowadzony test oraz dokładności pomiaru prądu przez testowane urządzenie. Zgodnie z oczekiwaniami przy kątach 90° oraz 270° mimo dość dużej wartości prądu zgodnie z oczekiwaniem zabezpieczenie nie zadziałało. Można również zauważyć, że gdy kąty były zbliżone do tych wartości zabezpieczenie działało z najmniejszą czułością. Natomiast przy kątach 0° oraz 180°, można zaobserwować największą czułość przekaźnika na prąd  $I_0$ .

Wykorzystany tester zabezpieczeń znacząco ułatwia i przyspiesza wykonywanie badań. Pozwala na zastosowanie zaawansowanych metod testowania, charakteryzuje się dużą dokładnością pomiaru oraz automatycznie generuje raporty z każdego przeprowadzonego testu.

## LITERATURA

- [1] Borkiewicz K., *ZIAD Bielsko-Biała*, Bielsko-Biała 2005
- [2] Kacejko P., Machowski J., *Zwarcia w sieciach elektroenergetycznych*, WNT, Warszawa 2017
- [3] Korniluk W., Woliński K., *Elektroenergetyczna automatyka zabezpieczeniowa*, Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, Białystok 2012

- [4] Kozieł W., *Stanowisko do badania zabezpieczenia CZIP-Pro firmy Relpol*, praca inżynierska, Lublin 2020
- [5] OMICRON electronics: CMC 353 – Instrukcja Obsługi, 2014
- [6] OMICRON electronics: CMC 356 – Instrukcja Obsługi, 2014
- [7] OMICRON electronics: Concept – OMICRON Test Universe, 2013
- [8] OMICRON electronics: Początki z OMICRON Test Universe 3.0, 2013
- [9] OMICRON electronics: Testowanie modulem Ramping, 2011
- [10] OMICRON electronics: Testowanie modulem State Sequencer, 2011
- [11] Winkler W., Wiszniewski A., *Automatyka zabezpieczeniowa w systemach elektroenergetycznych*, Wydanie drugie, WNT, Warszawa 2004
- [12] Żydanowicz J., *Elektroenergetyczna automatyka zabezpieczeniowa, T1 – podstawy zabezpieczeń elektroenergetycznych*, WNT, Warszawa 1979
- [13] <http://www.sep.krakow.pl/nbiuletyn/nr58ar1.pdf>

# **PODSTAWOWE ZAGADNIENIA PRZY PROJEKTOWANIU SIECI TRAKCYJNYCH DLA DUŻYCH PRĘDKOŚCI**

## **WSTĘP**

Jednym z najbardziej dynamicznie rozwijających się segmentów transportu zbiorowego w Polsce są koleje dużych prędkości. Stanowią one ważną alternatywę dla indywidualnego transportu drogowego, który często graniczy ze swoją maksymalną zdolnością przewozową.

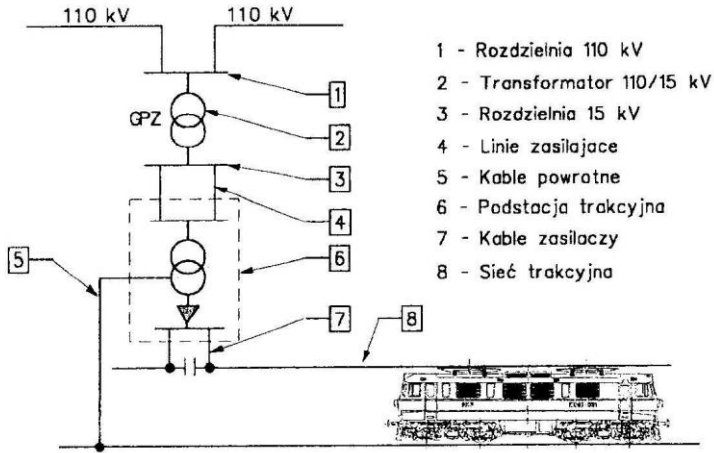
W Polsce nie jest możliwe stworzenie sprawnego systemu transportowego bez budowy kolei dużych prędkości. Średnia prędkość podróży nawet przy dobrym systemie dróg wynosi około 80–90 km/h, podczas gdy dla istniejących systemów kolei dużych prędkości jest możliwe uzyskanie średnich prędkości podróżowania zbliżonych do 200 km/h i wyższych. Polska, starając się zmniejszyć różnice w rozwoju gospodarczym w stosunku do rozwiniętych krajów Unii Europejskiej, nie może pozostawać w tyle w dziedzinie kolejnictwa – w szczególności, jeżeli chodzi o rozwój linii dużych prędkości.

## **SCHEMAT OBWODU TRAKCJI ELEKTRYCZNEJ**

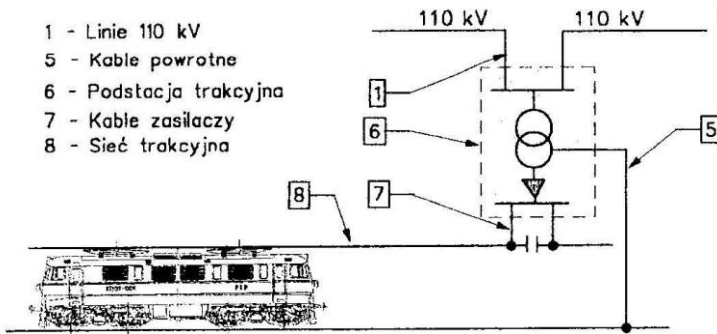
Sieć trakcyjna jest jednym z elementów obwodu trakcji elektrycznej. Przykładowy schemat tego obwodu przedstawiają rysunki 1 i 2. Są to schematy obwodów trakcji elektrycznej, zastosowanej w komunikacji szynowej. Dla komunikacji bezszynowej (trolejbus) schemat będzie nieco inny. Nie występuje tam sieć powrotna i kable powrotne, natomiast sieć jezdna i kable zasilające są dwubiegunowe.

---

<sup>1</sup> Politechnika Lubelska, WEiI, dawid.swierad@pollub.edu.pl



Rys. 1. Schemat obwodu tracji elektrycznej zasilanej z linii SN [2]



Rys. 2. Obwód tracji elektrycznej z jednostopniową transformacją zasilany z linii WN [2]

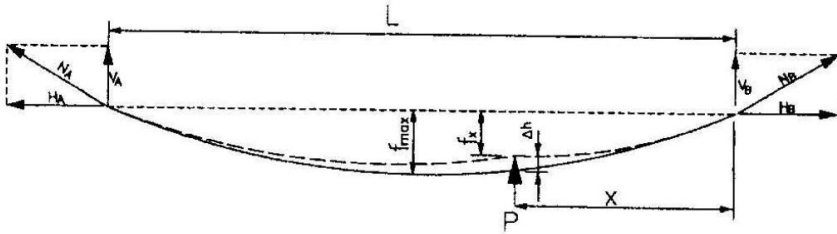
## WARUNKI WSPÓLPRACY SIECI TRAKCYJNEJ Z ODBIERAKIEM PRĄDU

Podstawowym kryterium współpracy odbieraka z siecią jezdną powinien być bezzakłócenowy przekaz energii z sieci do pojazdu w zakresie różnych prędkości. Na współpracę pantografu z siecią składa się szereg czynników, takich jak konstrukcja sieci i odbieraka prądu oraz czynniki zewnętrzne, takie jak podtorze (i wynikające z tego kołysanie się taboru), wiatr lub oblodzenie przewodów.

Dostarczenie energii do pojazdów trakcyjnych nie może się odbywać z przerwami. Krótkie przerwy (nawet milisekundowe), powodują zmianę rezystancji na styku przewod jezdny – ślizgacz, wywołując łuk elektryczny. Poza nadmier-

nym nagraniem punktowym ślizgacza (powodującym nadpalenia przewodów jezdnych i ślizgu), wywołują przepięcia w obwodach elektrycznych pojazdów które w nowoczesnych lokomotywach nie są wskazane.

Sieć jezdna na skutek działania siły dociskającej odbieraka do sieci oraz elastyczność sieci jezdnej. W pierwszej kolejności przeanalizowany będzie przypadek sieci płaskiej dla zobrazowania zagadnienia.



Rys. 3. Schemat przęsła płaskiego [2]

Równanie momentów względem podpory B:

$$\frac{q \cdot l^2}{2} - p(l - x) - R_A \cdot l = 0 \quad (1)$$

Stąd:

$$R_A = \frac{-P(l-x) + \frac{q \cdot l^2}{2}}{l} \quad (2)$$

Zwis w miejscu uniesienia przez odbierak:

$$f_x = \frac{x}{N} \left( \frac{q \cdot l}{2} - p \cdot \frac{l-x}{l} - \frac{q \cdot x}{2} \right) \quad (3)$$

Uniesienie sieci na skutek nacisku odbieraka wynosi:

$$\Delta h = f_{max} - f_x \quad (4)$$

Ogólne siły działające na przewody jezdne poprzez odbierak wynoszą

$$P = P_p \mp P_t \mp P_d \mp P_o \quad (5)$$

gdzie:

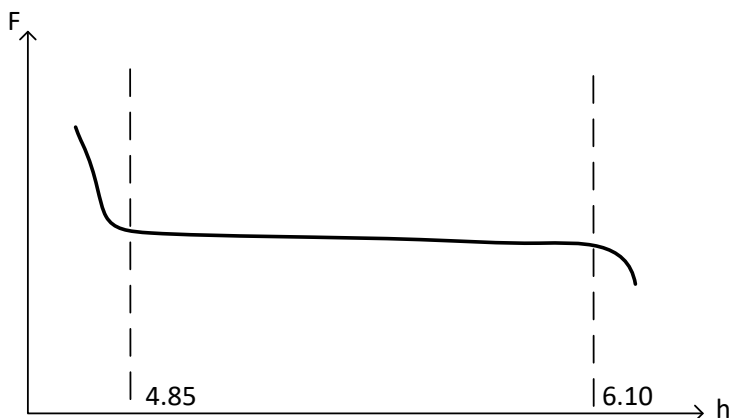
$P_p$  – siła podnosząca odbierak;

$P_t$  – siła tarcia w łożyskach pantografu;

$P_d$  – siła dynamiczna oddziaływania pantografu;

$P_o$  – siła aerodynamiczna wywołana powietrzem opływającym odbierak prądu.

Siła statyczna podnosząca odbierak wynosi od 80 do 120 N. Charakterystykę statyczną odbieraka przedstawiono na rysunku 4. Główną cechą dobrego odbieraka jest to, że siła nacisku statycznego na przewody jest możliwie stała w całym zakresie pracy pantografu od wysokości minimalnej do maksymalnej.



Rys. 4. Charakterystyka statyczna dobrego odbieraka prądu [2]

Kolejnym czynnikiem prawidłowej pracy odbieraka z siecią jezdnią jest elastyczność sieci. Sieć idealna, to sieć idealnie sztywna, zawieszona równolegle nad torem. Praktycznie rozwiązanie idealnej sieci występuje w zasilaniu z trzeciej szyny gdzie ugięcie  $\Delta h$  jest zerowe.

W sieciach jezdnych rozmieszczonych nad torem nie ma idealnych rozwiązań i za miernik jakości sieci przyjmuje się elastyczność wyrażoną wzorem:

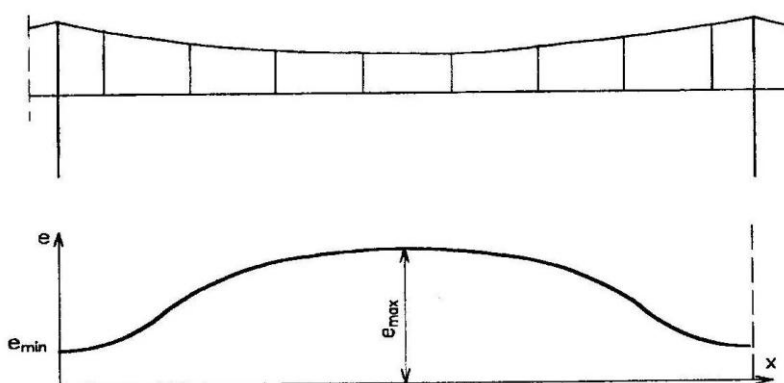
$$\Delta e = \frac{\Delta h}{P} \quad (6)$$

gdzie:

$\Delta h$  – ugięcie sieci, mm;

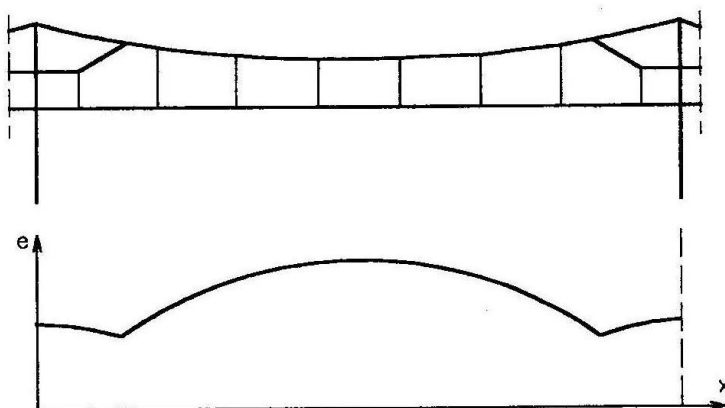
$P$  – siła docisku do sieci, N.

Dla sieci łańcuchowej (przy zastosowaniu uproszczeń), przyjmuje się elastyczność sieci podobnie jak dla sieci płaskiej z tym, że naciąg przewodu jezdniego jest powiększony o naciąg liny nośnej.



Rys. 5. Wykres elastyczności sieci łańcuchowej bez wieszaka w punkcie podwieszenia liny [2]

Przebieg elastyczności w przęśle z zastosowanymi igrekami przedstawia rysunek 6.



Rys. 6. Wykres elastyczności w przęśle sieci przy zastosowaniu uelastycznień typu „Y” [2]

W tym przypadku, punktem o najmniejszej elastyczności nie jest punkt podwieszenia liny nośnej, lecz miejsce, w którym linka uelastyczniająca jest mechanicznie połączona z liną nośną. Im mniejsza jest rozpiętość przęśla, tym mniejsza się współczynnik nierównomierności elastyczności, niejako w sposób naturalny.



Zwraca się uwagę na okoliczność, że stosowana na PKP (przy systemie 3000 V prądu stałego) sieć trakcyjna jest ciężka, ponieważ wymagane dla niej przekroje są znaczne. Na PKP, na szlakach, praktycznie nie stosuje się już sieci o przekroju mniejszym od 320 mm<sup>2</sup>Cu, a coraz częściej do obliczeń wynika potrzeba zastosowania sieci o przekroju 440 mm<sup>2</sup>Cu. W tej sytuacji nawet naprężona do maksimum lina nośna posiada duże zwisy, a więc naturalna nierównomierność elastyczności jest też duża.

## **DRGANIA SIECI TRAKCYJNEJ**

Drgania sieci są wywołane między innymi zakłóceniami równowagi przez przemieszczający się odbierak prądu. Dla mniejszych prędkości, ślizgacz naciskający na przewody jezdne wywołuje drgania sieci, które są mniejsze od jej drgań własnych i współpraca pantografu z siecią odbywa się prawidłowo. W miarę wzrostu prędkości poruszającego się ślizgacza, częstotliwość wywołana przez ślizgacz rośnie i w przypadku zrównania się tych częstotliwości występuje zjawisko rezonansu. Wówczas amplituda drgań sieci osiąga wartość maksymalną.

## **PRĘDKOŚĆ KRYTYCZNA**

Ujemny wpływ na współpracę pantografu z siecią jezdną posiada prędkość krytyczna, która powinna być różna o 15% od prędkości jazdy pociągów. Odbierak poruszający się po sieci podawany jest ruchom pionowym. Przy zrównaniu się drgań odbieraka prądu z drganiami własnymi sieci powstanie zjawisko rezonansu, które powoduje większe drgania sieci trakcyjnej, a tym samym pogarsza współpracę pantografu z siecią. Prędkość krytyczną oblicza się ze wzoru:

$$V_{kr} = 3,6 * i_k \sqrt{\frac{T}{m_i}} \left( \frac{\text{km}}{\text{godz.}} \right) \quad (7)$$

gdzie:

$i_k$  – współ. korygujący zależny od konstrukcji podpory dla zawieszenia  $Y = 0,46$ ;

$T$  – sumaryczny naciąg sieci jezdnej, N;

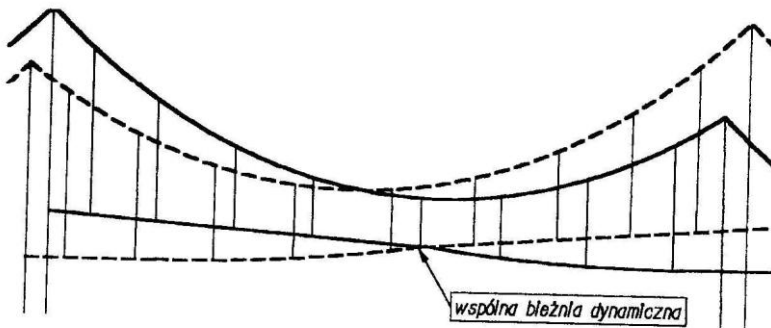
$m_i$  – masa sieci jezdnej, kg/mb.

## **PRZĘŚLA NAPRĘŻENIA**

W tradycyjnym rozwiązaniu przęsło czterostupowe umożliwia przejście ślizgacza z jednej sekcji na drugą przez wspólną jazdę (bieżnię), jaką stanowią przewody jezdne dwóch sieci biegnących równolegle na długość około 1 m.

W miejscu wspólnej bieżni pantograf posiada kontakt z czterema przewodami jezdnyymi w sieci dwudrutowej. Jest to niewątpliwie punkt różniący się elastycznością od pozostałej części przęsła.

Problem ten rozwiązuje się w różny sposób. Stosowana jest wspólna bieżnia dynamiczna polegająca na tym, że sieć unoszona przez wypierający pantograf tworzy wspólną bieżnię niejako podczas jazdy. W warunkach statycznych wspólna bieżnia nie występuje. Jest to rozwiązanie trudne do regulacji. Zmienia się położenie miejsca występowania wspólnej bieżni dynamicznej na skutek ruchów termicznych sieci. Różne wyparcie sieci przez pantograf dla różnych prędkości pociągów uniemożliwia uzyskanie płaskiej trajektorii ślizgacza.



Rys. 7. Schemat wspólnej bieżni dynamicznej w sieci niemieckiej [2]

## PARAMETRY SIECI TRAKCYJNYCH DLA DUŻYCH PRĘDKOŚCI

Przyjmuje się ogólne zasady projektowania sieci do dużych prędkości określające podstawowe parametry, które sieć dla prędkości od 160 do 200 km/h powinna spełniać:

- naciąg w przewodach jezdnych dla  $D_{jp}$   $100 \text{ mm}^2\text{Cu}$ , 950–980 daN dla każdego przewodu;
- naciąg w linii nośnej ( $120 \text{ mm}^2\text{Cu}$ , 1400–1600 daN);
- długość podwieszenia elastycznego typu „Y” 10 do 16 m;
- rozpiętość przęsła normalna 60–70 m;
- stosunek elastyczności minimalnej do maksymalnej  $> 0,75$ ;
- zaleca się stosowanie zwisu wstępnego  $1/1000$  rozpiętości przęsła.

Zalecany stosunek elastyczności minimalnej do maksymalnej w przęśle według tabeli poniżej.

Tab. 1. Stosunek elastyczności minimalnej do maksymalnej

| $\frac{e_{min}}{e_{max}}$ | Zwis wstępny przewodów jezdnych, m |
|---------------------------|------------------------------------|
| 0,90–1,00                 | 0                                  |
| 0,85–0,90                 | 0,02–0,03                          |
| 0,75–0,85                 | 1/100 długości przęsła             |

## PODSUMOWANIE

Elektryfikacja kolei głównych rozwija się i wszystko wskazuje na to, że będzie rozwiać się nadal. Jednakże trakcja elektryczna przy swych licznych zaletach jest nieopłacalna na liniach kolejowych o niewielkich przewozach. Trakcja elektryczna rozwija się w wielu systemach, różniących się wysokością napięcia w sieci trakcyjnej i rodzajem prądu.

Podsumowując, sieć trakcyjna ma za zadanie rozproszanie energii elektrycznej wzdłuż zelektryfikowanej trasy komunikacyjnej, tak aby ta energia mogła być odbierana przez tabor elektryczny znajdujący się w ruchu bądź na postoju.

## LITERATURA

- [1] *Program budowy i uruchomienia przewozów kolejami dużych prędkości w Polsce*. Ministerstwo Infrastruktury, październik 2008 r.
- [2] Głowacki K., Onderka E., *Sieci Trakcyjne*, Emtrak, Bibice, 2002
- [3] *Koleje dużych prędkości*. PKP PLK S.A. [www.plk-sa.pl](http://www.plk-sa.pl), zasoby z dnia 12.05.2021
- [4] Gawłowski K. *Realizacja programu budowy linii dużych prędkości w Polsce*. Konferencja „Nowoczesne technologie i systemy zarządzania w kolejnictwie”, Zakopane, grudzień 2010 r., materiały konferencyjne.

# **LAMPY WYŁADOWCZE WYSOKOPRĘŻNE METALOHALOGENKOWE JAKO ŹRÓDŁO ZAKŁÓCEŃ ELEKTROMAGNETYCZNYCH W SIECI ELEKTRYCZNEJ OBIEKTU SPORTOWEGO**

## **WSTĘP**

Jednym ze źródeł złej jakości energii elektrycznej są lampy wyładowcze wysokoprężne metalohalogenkowe, które często wykorzystywane są na obiektach sportowych, ponieważ umożliwiają uzyskanie optymalnych warunków oświetleniowych [11]. Wymagane jest, aby system oświetleniowy gwarantował zawodnikom odpowiednią widoczność oraz zapewniał komfort podczas oglądania zarówno kibicującym na żywo jak i widzom transmisji [12].

Na jednym z lubelskich obiektów sportowych napotkano problem utraty komunikacji z systemem sterującym części lamp awaryjnych podczas włączania lamp wyładowczych oświetlających płytę boiska. Zauważono także znacznie skrócony czas eksploatacji lamp awaryjnych. Przeprowadzono pomiary zakłóceń generowanych przez lampy wysokoprężne metalohalogenkowe w celu zbadania czy mogą one być przyczyną opisanych powyżej problemów [9].

## **PROBLEM JAKOŚCI ENERGII ELEKTRYCZNEJ**

Szybkie tempo rozwoju cywilizacyjnego prowadzi do zwiększenia zastosowań technologii bazujących na wykorzystaniu zjawisk elektromagnetycznych, co prowadzi do występowania w środowisku pól elektromagnetycznych o parametrach innych niż występujące w naturze. Do najpowszechniejszych źródeł pól elektromagnetycznych zalicza się przesyłowe linie elektroenergetyczne, trakeje kolejowe czy nadajniki radiowo-telewizyjne oraz nadajniki telefonii komórko-

---

<sup>1</sup> Politechnika Lubelska, WEiI, lukasz.smiech1@pollub.edu.pl

wej. Wraz z rozwojem technologii elektrotechnicznych utrzymywana jest tendencja wzrostowa emisji pól elektromagnetycznych, co prowadzi do coraz częstszych i coraz silniejszych oddziaływań instalacji i urządzeń między sobą i może prowadzić do braku kompatybilności elektromagnetycznej, rozumianego jako nieharmoniczne ich współistnienie wywołane przez emitowane przez nie pola [3–6]. Opisane zjawiska wymagają odpowiedniej normalizacji prawnej, zarówno ze względów dbałości o zdrowie ludzi i środowisko, jak i zapewnienie możliwie najlepszych warunków pracy urządzeń i instalacji elektrycznych [1, 10].

Jakość energii elektrycznej z definicji dotyczy danego punktu pomiarowego i cechuje się ciągłym sygnałem dokładnie sinusoidalnym, który ma stałą częstotliwość i wartość skuteczną [7]. W rozumieniu praktycznym dobrej jakości energia elektryczna to taka, która cechuje się wartościami wskaźników ilościowych zawierających się w zakresach dopuszczalnych w umowie o dostawy energii oraz nie powoduje odczuwalnych skutków w postaci nieprawidłowej pracy urządzeń nią zasilanych [2].

Do głównych źródeł złej jakości energii elektrycznej zaliczyć należy poza samym systemem elektroenergetycznym także lampy wyładowcze, piece łukowe i indukcyjne, napędy elektryczne czy układy energoelektroniczne. Elementy półprzewodnikowe tych układów o nieliniowej charakterystyce prądowo-napięciowej i powszechność ich stosowania wywierają znaczący wpływ na pogorszenie jakości energii. Właściwa praktyka uziemienia ma znaczny wpływ na ograniczenie przenikania stanów nieustalonych do czułych na zakłócenia urządzeń elektronicznych [2].

Ze względu na przyczynę można wyróżnić zaburzenia elektromagnetyczne losowe i zdeterminowane. Podział ze względu na charakter źródeł wyróżnia zaburzenia pochodzenia naturalnego (np. pioruny) i wywołane przez człowieka. Z punktu widzenia użytkowników sieci elektroenergetycznej najważniejszy jest podział zaburzeń ze względu na skutki: zaburzenia o skutkach natychmiastowych jak np. nieprawidłowe działanie zabezpieczeń czy układów regulacyjnych oraz zaburzenia rozpatrywane w dłuższym okresie czasu jak np. zużywanie izolacji przewodów czy przeciążenia [2].

Parametry wykorzystywane do jakościowej oceny systemu zasilania w warunkach normalnej pracy to: wartości napięć i częstotliwości utrzymane w zakresach tolerancji, odchylenia napięcia, wahania napięcia i częstotliwości oraz przerwy w zasilaniu dłuższe niż 1 minuta. Parametry w zaburzonych warunkach pracy to: wahania i szybkie zmiany napięcia, przepięcia, migotanie oraz asymetria napięcia. Do charakterystyki zaburzeń napięcia zasilania w czasie stosuje się

pojęcia zapadów, przebiegów, załamania komutacyjnych, obecności harmoniczných i interharmoniczných oraz krótkich przerw w napięciu [2].

W celu ograniczenia wpływu zaburzeń na funkcjonowanie urządzeń elektrycznych należy minimalizować ich emisję poprzez stosowanie odpowiednio dobranych filtrów pasywnych i aktywnych, przekształtników, przez stosowanie kompensacji mocy biernej, a także przez dbałość o właściwą praktykę uziemienia i odpowiednie ekranowanie. Należy także dążyć do zmniejszenia stopnia sprzężenia odbiornika ze źródłem zaburzeń m.in. poprzez wykonywanie osobnych linii zasilających dla urządzeń o bardzo słabej odporności na zaburzenia czy też dla urządzeń generujących znaczne zaburzenia. W ograniczaniu zaburzeń ważną rolę odgrywa także ograniczanie ryzyka wystąpienia zwarć, tworzenie linii kablowych zamiast napowietrznych oraz skuteczna ochrona przeciwprzebieciowa. Zaś z punktu widzenia producentów urządzeń, aby ograniczyć konieczność ponoszenia kosztów napraw gwarancyjnych, już na etapie projektowania uwzględnia się odpowiednie współczynniki bezpieczeństwa oraz wykorzystuje się filtry wejściowe, stabilizatory napięciowe lub zasilanie bezprzewodowe [2].

## **METODA BADAŃ**

W badaniach wykonanych w laboratorium Centrum Innowacji i Zaawansowanych Technologii Politechniki Lubelskiej zmierzono parametry lampy wysokoprężnej zasilanej z sieci sztucznej SMZ-6/50. Pomiarom poddano lampę wysokoprężną metalohalogenkową (Rys. 1) zasilaną dwufazowo, ze źródłem światła o mocy 2000 W wyprodukowanym przez firmę BLV. Do oświetlenia płyty boiska wykorzystuje się łącznie 180 takich lamp [9].



*Rys. 1. Badana lampa wyladowcza wysokoprężna metalohalogenkowa*

Wartość strumienia świetlnego uzyskiwanego przez takie źródło światła wynosi 200000 lm, a jego skuteczność świetlna 100 lm/W. Temperatura barwowa to 6300 K, a napięcie potrzebne do zapalenia łuku między elektrodami w jarzniku [14] to 4 kV. Deklarowana żywotność to około 3000 h [13]. Lampa wymaga użycia układu zapłonowego zbudowanego z zapłonnika umieszczonego w obudowie lampy oraz statecznika i kondensatora w aluminiowej obudowie znajdujących się na zewnątrz jako osobny element [9].

Badania wykonano analizatorem jakości zasilania Sonel PQM-700 z cęgami pomiarowymi Sonel C-5 (Rys. 2) oraz analizatorem widma HMS-X firmy Rohde&Schwarz (Rys. 3). Do konfiguracji i odczytu danych wykorzystano komputer z oprogramowaniem SONEL Analiza 4.4.1 i oprogramowaniem HMEexplorer 1.7 [9].

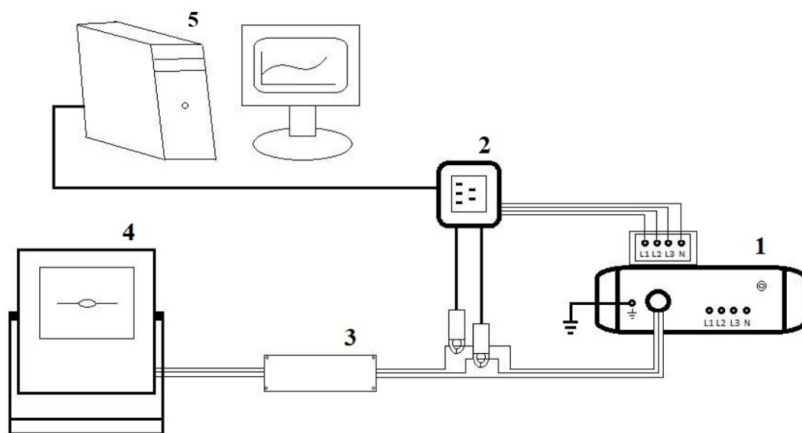


*Rys. 2. Wygląd stanowiska do badania jakości energii*

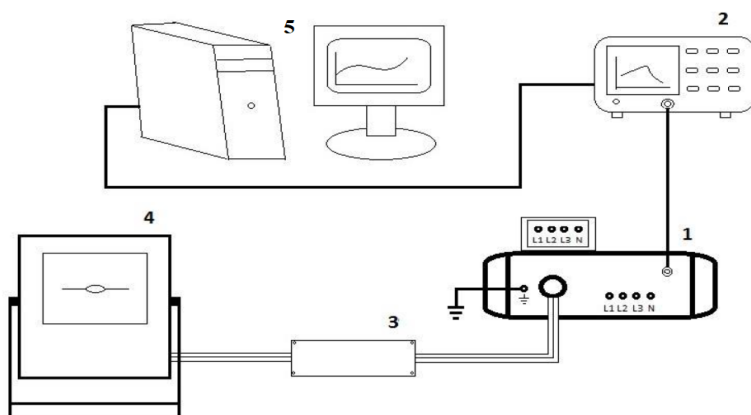


*Rys. 3. Wygląd stanowiska do badania kompatybilności elektromagnetycznej*

Po połączeniu układu zgodnie ze schematem na rysunku 4 i uruchomieniu komputera, analizatora i lampy, odczekano 15 minut do ustabilizowania się parametrów pracy lampy wysokoprężnej. Następnie zmierzono wartość chwilową napięcia, częstotliwość sieci, wartość chwilową prądu, moce czynną, bierną i pozorną, współczynnik mocy  $PF$  oraz wartość  $\cos \varphi$ . Wygenerowano także wykresy przebiegów napięcia i prądu w czasie oraz wykres słupkowy wartości prądu dla składowych harmonicznych do 50 rzędu [9].



Rys. 4. Schemat ideowy stanowiska do badania jakości energii: 1 – sieć sztuczna SMZ-6/50; 2 – analizator jakości zasilania Sonel PQM-700; 3 – układ zapłonowy (statecznik i kondensator lampy); 4 – lampa wyladowcza wysokoprężna metalohalogenkowa; 5 – zestaw komputerowy



Rys. 5. Schemat ideowy stanowiska do badania emc: 1 – sieć sztuczna SMZ-6/50; 2 – odbiornik HMS-X Rohde&Schwarz; 3 – statecznik i kondensator lampy; 4 – lampa wyladowcza wysokoprężna metalohalogenkowa; 5 – zestaw komputerowy

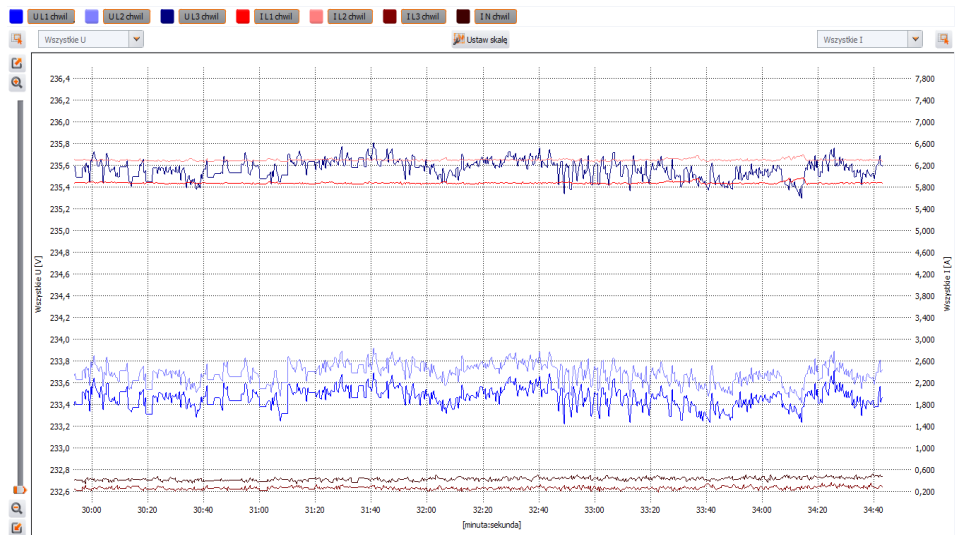


W drugiej części badania połączono układ zgodnie ze schematem na rysunku 5, dla pomiaru zakłóceń elektromagnetycznych od 150 kHz do MHz. Ustawiono także limit zgodny z normą branżową PN-EN 55022. Wykonano skanowanie szybkim detektorem maksymalnym, a następnie detektorem quasi-pikowym, który próbkuje w dłuższych okresach czasu (w badaniu ustawiono okres jedno-sekundowy) punkty podejrzane o przekroczenie normy i daje ostateczne wyniki dotyczące przekroczeń.

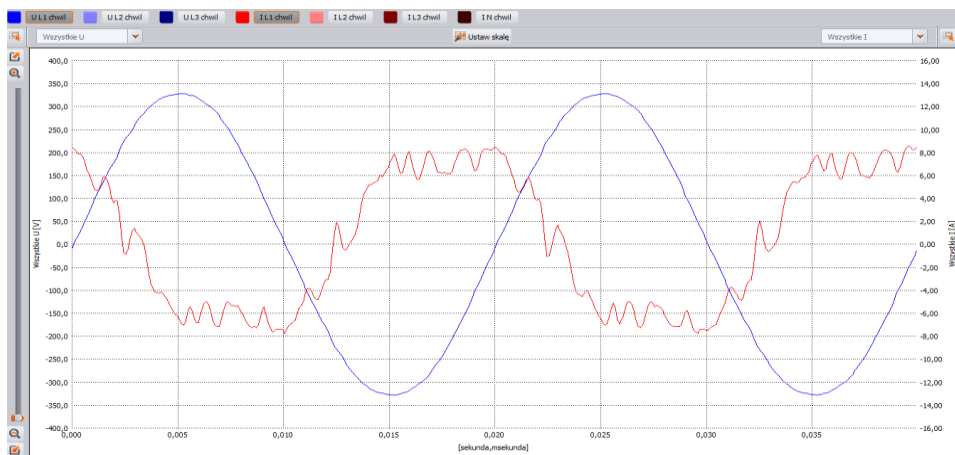
## WYNIKI

|                 | Jednostka | L1     | L2     | L3    | N-PE  | L1-2  | L2-3  | L3-1  | Całkowita |
|-----------------|-----------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| U               | [V]       | 233,3  | 233,6  | 235,4 | ---   | 404,0 | 405,9 | 406,7 | ---       |
| U <sub>bc</sub> | [mV]      | -0,081 | 42,15  | 86,05 | ---   | ---   | ---   | ---   | ---       |
| f               | [Hz]      | 50,00  | 50,00  | 50,00 | ---   | ---   | ---   | ---   | 50,00     |
| I               | [A]       | 5,880  | 6,313  | 0,227 | 0,433 | ---   | ---   | ---   | ---       |
| I <sub>bc</sub> | [A]       | 0,411  | 1,689  | 0,207 | 0,420 | ---   | ---   | ---   | ---       |
| P               | [kW]      | -0,846 | -1,370 | 0,002 | ---   | ---   | ---   | ---   | -2,214    |
| Q <sub>i</sub>  | [kvar]    | -1,024 | 0,161  | 0,002 | ---   | ---   | ---   | ---   | 0,001     |
| S               | [kVA]     | 1,372  | 1,475  | 0,054 | ---   | ---   | ---   | ---   | 3,504     |
| S <sub>N</sub>  | [kVA]     | 0,343  | 0,520  | 0,053 | ---   | ---   | ---   | ---   | 1,100     |
| PF              | [---]     | -0,617 | -0,929 | 0,041 | ---   | ---   | ---   | ---   | -0,632    |
| cos(φ)          | [---]     | -0,637 | -0,993 | 0,868 | ---   | ---   | ---   | ---   | -0,254    |
| tg(φ) L+        | [---]     | 0,000  | 0,000  | 0,886 | ---   | ---   | ---   | ---   | 0,000     |
| tg(φ) C-        | [---]     | 0,000  | -0,118 | 0,000 | ---   | ---   | ---   | ---   | -0,001    |
| tg(φ) L-        | [---]     | 1,210  | 0,000  | 0,000 | ---   | ---   | ---   | ---   | 0,000     |
| tg(φ) C+        | [---]     | 0,000  | 0,000  | 0,000 | ---   | ---   | ---   | ---   | 0,000     |

Rys. 6. Wyniki badania uzyskane z analizatora jakości zasilania Sonel PQM-700



Rys. 7. Przebieg napięcia i prądu w czasie uzyskany z analizatora Sonel PQM-700 [9]



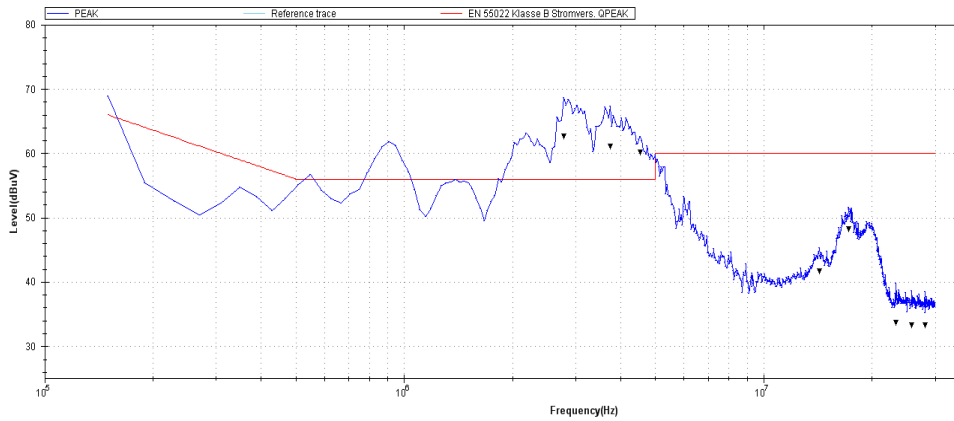
Rys. 8. Przebieg sygnału napięcia i prądu w czasie uzyskany z analizatora Sonel PQM-700 [9]

Tabela 1. Wartości harmonicznych prądu i limity normy IEC 61000-3-2 [9]

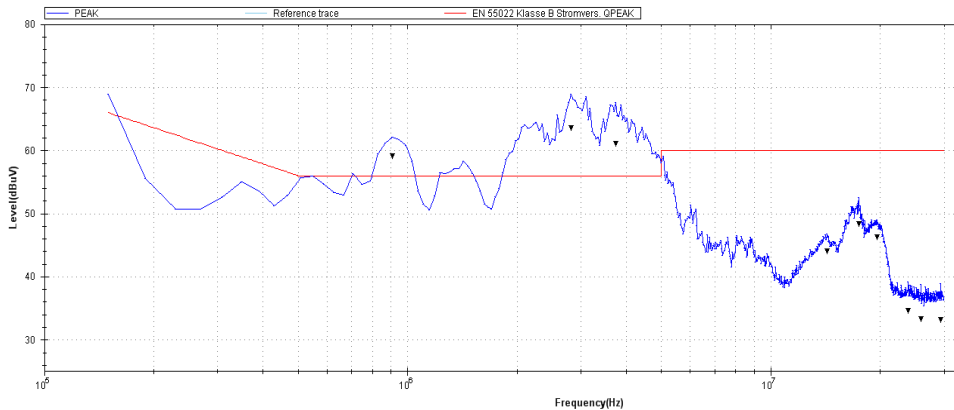
| Rząd harmonicznej | Pomiar 1 | Pomiar 2 | Pomiar 3 | Pomiar 4 | Średnia | Limit |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|---------|-------|
|                   | I [A]    | I [A]    | I [A]    | I [A]    | I [A]   | I [A] |
| 0                 | 0,396    | 0,444    | 0,409    | 0,402    | 0,413   |       |
| 1                 | 5,702    | 5,709    | 5,714    | 5,702    | 5,707   |       |
| 2                 | 0,023    | 0,016    | 0,013    | 0,015    | 0,017   | 0,114 |

| Rząd<br>harmonicznej | Pomiar 1 | Pomiar 2 | Pomiar 3 | Pomiar 4 | Średnia | Limit |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|---------|-------|
|                      | I [A]    | I [A]    | I [A]    | I [A]    | I [A]   | I [A] |
| 3                    | 1,045    | 1,042    | 1,042    | 1,045    | 1,044   | 1,055 |
| 4                    | 0,009    | 0,012    | 0,015    | 0,009    | 0,011   |       |
| 5                    | 0,267    | 0,282    | 0,268    | 0,264    | 0,270   | 0,57  |
| 6                    | 0,010    | 0,007    | 0,010    | 0,004    | 0,008   |       |
| 7                    | 0,174    | 0,177    | 0,170    | 0,144    | 0,166   | 0,4   |
| 8                    | 0,003    | 0,006    | 0,008    | 0,003    | 0,005   |       |
| 9                    | 0,100    | 0,107    | 0,098    | 0,097    | 0,101   | 0,285 |
| 10                   | 0,007    | 0,015    | 0,019    | 0,017    | 0,015   |       |
| 11                   | 0,400    | 0,580    | 0,420    | 0,440    | 0,460   | 0,171 |
| 12                   | 0,020    | 0,020    | 0,010    | 0,015    | 0,016   |       |
| 13                   | 0,640    | 0,690    | 0,360    | 0,320    | 0,503   | 0,171 |
| 14                   | 0,030    | 0,025    | 0,030    | 0,030    | 0,029   |       |
| 15                   | 0,210    | 0,250    | 0,230    | 0,220    | 0,228   | 0,171 |
| 16                   | 0,025    | 0,025    | 0,025    | 0,030    | 0,026   |       |
| 17                   | 0,310    | 0,350    | 0,330    | 0,290    | 0,320   | 0,171 |
| 18                   | 0,010    | 0,020    | 0,015    | 0,040    | 0,021   |       |
| 19                   | 0,160    | 0,140    | 0,120    | 0,120    | 0,135   | 0,171 |
| 20                   | 0,020    | 0,020    | 0,020    | 0,020    | 0,020   |       |
| 21                   | 0,110    | 0,100    | 0,110    | 0,100    | 0,105   | 0,171 |
| 22                   | 0,020    | 0,020    | 0,020    | 0,015    | 0,019   |       |
| 23                   | 0,260    | 0,540    | 0,200    | 0,220    | 0,305   | 0,171 |
| 24                   | 0,005    | 0,060    | 0,010    | 0,010    | 0,021   |       |
| 25                   | 0,055    | 0,250    | 0,105    | 0,070    | 0,120   | 0,171 |
| 26                   | 0,030    | 0,025    | 0,020    | 0,020    | 0,024   |       |
| 27                   | 0,050    | 0,070    | 0,060    | 0,060    | 0,060   | 0,171 |
| 28                   | 0,025    | 0,010    | 0,020    | 0,020    | 0,019   |       |
| 29                   | 0,240    | 0,270    | 0,230    | 0,230    | 0,243   | 0,171 |
| 30                   | 0,010    | 0,010    | 0,010    | 0,010    | 0,010   |       |
| 31                   | 0,090    | 0,150    | 0,110    | 0,120    | 0,118   | 0,171 |
| 32                   | 0,015    | 0,010    | 0,010    | 0,005    | 0,010   |       |
| 33                   | 0,020    | 0,025    | 0,005    | 0,010    | 0,015   | 0,171 |
| 34                   | 0,015    | 0,020    | 0,010    | 0,010    | 0,014   |       |
| 35                   | 0,130    | 0,110    | 0,040    | 0,300    | 0,145   | 0,171 |

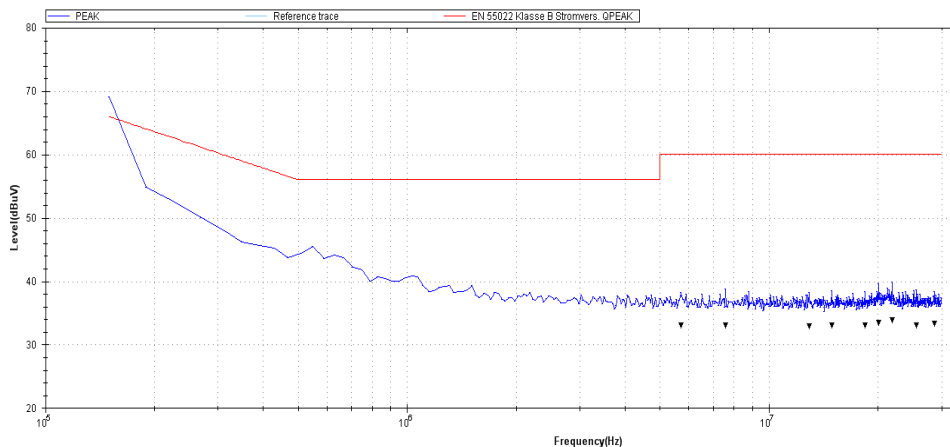
| Rząd harmonicznej | Pomiar 1 | Pomiar 2 | Pomiar 3 | Pomiar 4 | Średnia | Limit |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|---------|-------|
|                   | I [A]    | I [A]    | I [A]    | I [A]    | I [A]   | I [A] |
| 36                | 0,010    | 0,010    | 0,005    | 0,005    | 0,008   |       |
| 37                | 0,060    | 0,060    | 0,040    | 0,025    | 0,046   | 0,171 |
| 38                | 0,010    | 0,010    | 0,005    | 0,010    | 0,009   |       |
| 39                | 0,020    | 0,020    | 0,010    | 0,020    | 0,018   | 0,171 |
| 40                | 0,010    | 0,010    | 0,005    | 0,010    | 0,009   |       |
| THD [%]           | 25,120   | 28,400   | 23,370   | 23,110   | 25,000  |       |



Rys. 9. Wykres zakłóceń elektromagnetycznych dla fazy 1 z odbiornika HMS-X [9]



Rys. 10. Wykres zakłóceń elektromagnetycznych dla fazy 2 z odbiornika HMS-X [9]



Rys. 11. Wykres zakłóceń elektromagnetycznych dla fazy 3 z odbiornika HMS-X [9]

## ANALIZA WYNIKÓW

Podczas analizy wyników otrzymanych z analizatora jakości sieci Sonel PQM-700 stwierdzono spadek napięcia o 2 V dla fazy pierwszej i drugiej w porównaniu do fazy trzeciej, która pozostała nieobciążona. Pracująca faza L1 i L2 ma podobne obciążenie, wartość prądu roboczego jest w obu przypadkach zbliżona do 6 A. Podczas analizy przebiegów czasowych prądu i napięcia zauważono, że prąd niewykorzystywanej fazy L3 oraz przewodu neutralnego nie jest liniowy. Wynikać to może z faktu, że cęgi pomiarowe dla tak niskich wartości prądu mogą wykazywać dość duże błędy pomiaru. Po rozgrzaniu lampy moc czynna wynosiła blisko 2,2 kW. Dla fazy pierwszej zmierzona moc bierna miała wartość 1,024 kvar, co jest konsekwencją podłączenia statecznika o charakterze indukcyjnym. Moc bierna dla fazy drugiej miała wartość 0,161 kvar, co jest konsekwencją podpięcia kondensatora. Widoczne na wykresie opóźnienie prądu względem napięcia jest uwarunkowane przez współczynnik  $\cos\phi$ , którego wartość wyniosła 0,64 [9].

Wyładowanie zachodzące w jarzniku lampy wyładowczej można opisać rezystancją nieliniową, podobnie w przypadku zastosowanego statecznika, którego charakterystyka prądowo-napięciowa jest również nieliniowa. W wyniku tego lampy wyładowcze pobierają silnie odkształcony prąd. Zjawisko to jest dodatkowo pogłębiane przez zastosowanie kondensatora montowanego w oprawie dla poprawy współczynnika mocy [8]. Na podstawie wykresu przebiegu sygnału zauważono znaczne odkształcenie przebiegu sygnału prądu od sygnału sinusoidalnego. Zjawisko to znalazło uzasadnienie podczas pomiarów wartości prądu

dla składowych harmoniczných. W badaniu wykryto wyższe harmoniczne do 40 rzędu, zaś szczególnie wysokie wartości prądu wykazały harmoniczne rzędów nieparzystych. W przypadku harmonicznej 11, 13, 15, 17, 23 i 29 przekroczone zostały limit wynikający z normy IEC 61000-3-2. Wartość harmonicznej rzędu trzeciego, która jest konsekwencją obecności dławika szeregowego z rdzeniem zastosowanego w badanej lampie, była bardzo blisko przekroczenia limitu. Wartość współczynnika THD, który określa stopień odkształcenia przebiegów [7] wyniosła średnio aż 25%, czyli znacznie przekracza normę PN-EN 50160, gdzie dopuszczalną wartość THD ustalono na 8%.

Wyniki uzyskane z analizatora widma HMS-X Rohde&Schwarz wskazują na niespełnienie przez badany obiekt wymogów dotyczących kompatybilności elektromagnetycznej nałożonych przez normę PN-EN 55022.

## PODSUMOWANIE

Jednym z głównych problemów współczesnej elektroenergetyki jest obniżanie jakości energii elektrycznej, co skutkuje zaburzeniem działania urządzeń, a niekiedy nawet ich uszkodzeniem. Badana lampa wyładowcza wysokoprężna metalohalogenkowa wykazała znaczne odkształcanie przebiegu sygnału prądu, co jest wynikiem obecności wyższych harmoniczných. Testy kompatybilności elektromagnetycznej wykazały przekroczenie limitów dopuszczalnych przez normę PN-EN 55022. Z przeprowadzonych analiz wynika, że problem utraty komunikacji lamp oświetlenia awaryjnego podczas włączania lamp wyładowczych oświetlających płytę boiska jednego z lubelskich obiektów sportowych jak i problem skróconej żywotności lamp awaryjnych, mogą być wywołane właśnie przez skumulowany efekt emisji zakłóceń przez lampy wyładowcze. Aby zaradzić tym problemom należałoby zastosować techniki ograniczania zakłóceń takie jak dobór odpowiednich filtrów czy kompensacja mocy biernej.

## LITERATURA

- [1] Dyrektywa unijna 2004/108/EC
- [2] Hanzelka Z., *Jakość energii elektrycznej: część 1: wczoraj, dziś, jutro* <http://www.twelvee.com.pl/846399547.php>, zasoby z dnia: 16.04.2021
- [3] Mazurek P. A., *Laboratorium podstaw kompatybilności elektromagnetycznej*, ISBN 978-83-62596-02-7, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2010

- [4] Mazurek P. A., Bernacki K., Noga A., *Poziomy emisji elektromagnetycznej wysokich częstotliwości w środowisku zurbanizowanym*, „Przegląd Elektrotechniczny”, 1/2016, 9–12
- [5] Mazurek P.A., Kisiel K., Tomczyk P., Wiak M., *Analiza emisji elektromagnetycznej w środowisku przemysłowym na przykładzie Zakładów Azotowych Puławy S.A.*, „Przegląd elektrotechniczny”, 12/2014, 240–243
- [6] Mazurek P.A., Wac-Włodarczyk A. i in., *Wybrane zagadnienia analizy pola elektromagnetycznego miasta Lublin i Uzdrowiska Nałęczów*, „Inżynieria Ekologiczna”, 30/2012, s. 194–205
- [7] Musiał E., *Ocena jakości energii elektrycznej w sieciach przemysłowych* W: [Materiały] Konferencja „Automatyka, Pomiary, Zakłócenia” Jurata, 20–22 maja 2004 r. Gdańsk, INFOTECH 2004, s. 103–122
- [8] Musiał E., *Przegląd elektrycznych źródeł światła. Główne właściwości i tendencje rozwojowe*, Biul. SEP INPE „Informacje o normach i przepisach elektrycznych”, 2006, nr 79, 3–66
- [9] Śmiech Ł., *Dobór filtrów zasilania do lamp wyladowczych wysokoprężnych metalohalogenkowych stosowanych na terenie obiektów sportowych*, praca inżynierska, Politechnika Lubelska, 2020
- [10] Ustawa z dnia 13 kwietnia 2007 r. o kompatybilności elektromagnetycznej (Dz. U. 2019. 2388 t.j.)
- [11] <https://greenie-world.com/artukul/oswietlenie-obiektow-sportowych-i-boisk/>, zasoby z dnia 16.04.2021
- [12] <https://www.lighting.philips.pl/edukacja/nowoczesne-oswietlenie/swiatlo-w-biznesie/oswietlenie-sportowe>, zasoby z dnia: 16.04.2021
- [13] <https://lampa.lv/metal-halide-bulb-blv-eurostar-staturion-hit-de-2000-dw-2000w-4-0kv-200-000lm.html>, zasoby z dnia 16.04.2021
- [14] <https://www.ledvance.pl/produkty/informacje-o-produktach/wysokoprezne-lampy-wyladowcze/fachowa-wiedza/zasada-dzialania-wysokopreznych-lamp-wyladowczych/index.jsp>, zasoby z dnia 16.04.2021

## **INTELIGENTNE STEROWANIE OŚWIETLENIEM PRZY WYKORZYSTANIU SYSTEMU WLMS**

### **WSTĘP**

Systemy inteligentnego sterowania towarzyszą nam w każdej dziedzinie życia, zapewniając wygodę oraz przynosząc korzyści ekonomiczne, a rozwój elektroniki i informatyki pozwala na coraz powszechniejsze ich wykorzystanie. Jednak pomimo upływu lat sterowniki PLC dzięki ich modernizacji technicznej oraz stosowaniu coraz to nowocześniejszego oprogramowania nadal są jednym z podstawowych urządzeń sterujących.

Celem artykułu jest przedstawienie zasady działania oraz korzyści uzyskanych poprzez użycie oprogramowania WLMS (ang. *Wago Lighting Menagment System*) działającego w oparciu o sterowniki PLC wraz z osprzętem służącego do zarządzania oświetleniem.

### **KONCEPCJA ORAZ MOŻLIWOŚCI**

System zarządzania oświetleniem Wago jest inteligentnym systemem sterowania i zarządzania oświetleniem, który składa się z kompletnej gotowej aplikacji i sterownika z właściwymi kartami I/O. Jego algorytmy są oparte na analizie czujników światła dziennego, czujników ruchu oraz rozwiniętych scenariuszy oświetleniowych [1]. Dzięki temu instalacja zaprojektowana w oparciu o system zarządzania oświetleniem Wago jest efektywna energetycznie bez obniżenia efektywności oświetlenia w pomieszczeniu [2], czym spełnia normę PN-EN 12464-1:2012.

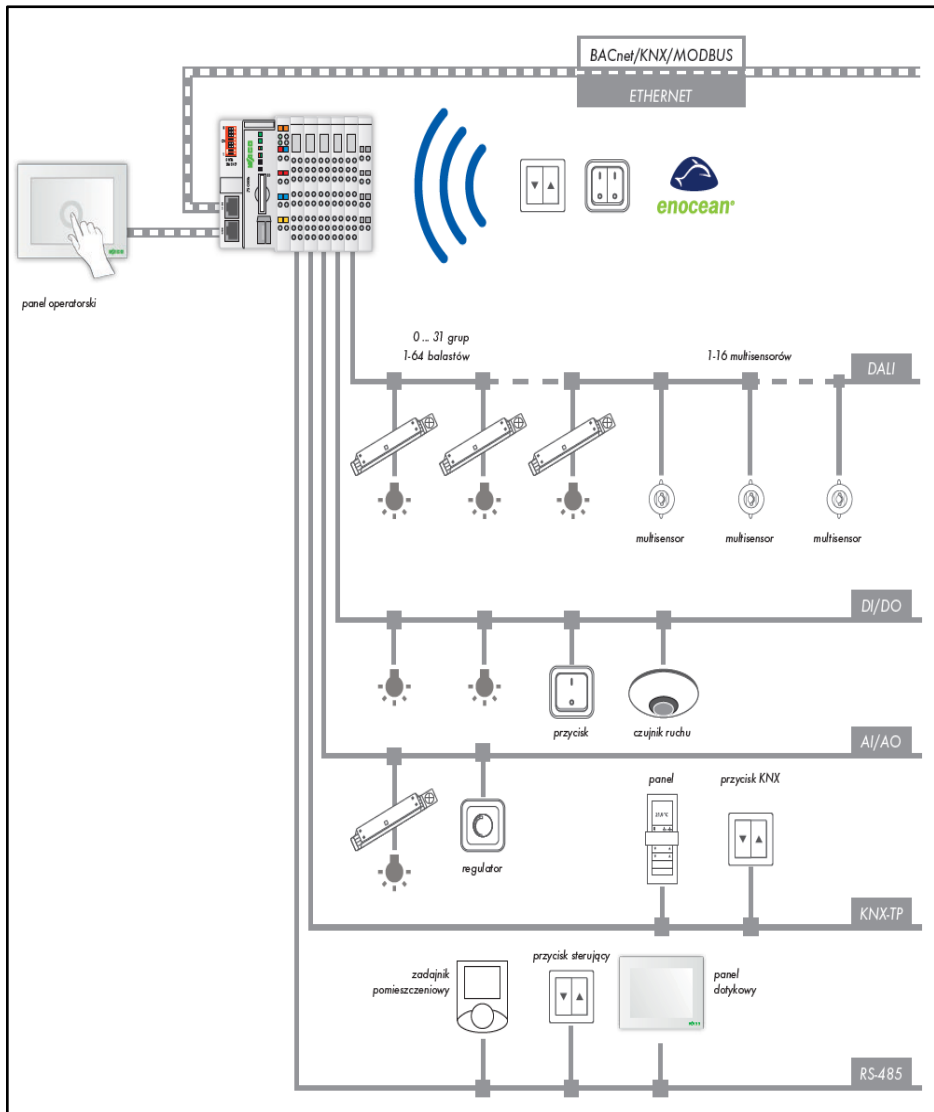
Przygotowany w ten sposób system daje możliwość konfiguracji wymaganych funkcjonalności dla systemu sterowania oświetleniem, a także jego diagnostykę i konserwację podczas pracy. Konfiguracja oraz sterowanie oświetleniem realizowane jest poprzez przeglądarkę internetową (protokół HTTPS). Nie ma

---

<sup>1</sup> Politechnika Lubelska, WEiI, Arkadiusz.wojtiuk@pollub.edu.pl



potrzeby używania dodatkowego oprogramowanie [1]. WLMS daje możliwość integracji z nadrzędnym systemem zarządzania budynkiem (BMS) poprzez użycie protokołu Modbus TCP/UDP [3]. Dzięki zastosowaniu odpowiednich modułów mamy możliwość komunikacji z większością systemów nadzoru z wykorzystaniem protokołów automatyki budynkowej (Rys. 1, patrz rys. na s. 64) [1].



Rys. 1. Możliwości komunikacyjne systemów Wago dla aplikacji WLMS [5]

Podstawowymi funkcjami, które dostajemy od WLMS są [1,4]:

- przełączanie oświetlenia:
  - załączanie i wyłączanie (z funkcją watchdog lub bez niej);
  - przekaźnik impulsowy;
  - łącznik schodowy;
  - oświetlenie automatyczne (czujnik ruchu);
  - wyłącznik zmierzchowy;
- sterowanie natężeniem oświetlenia:
  - w oparciu o czujniki obecności;
  - manualne;
- ciągle sterowanie oświetleniem i kontrola natężenia:
  - ciągła kontrola oświetlenia;
  - czujniki oświetlenia z przyciskiem;
  - czujniki oświetlenia z przyciskiem schodowym;
  - sterowanie oświetleniem dziennym;
- funkcje czasowe:
  - programy tygodniowe;
  - wakacje;
  - specjalne;
  - dla dni świątecznych;
- funkcje zarządzania:
  - zewnętrzne strefy wirtualne;
  - zewnętrzne strefy wirtualne;
- konfiguracja master/slave:
  - dla układu wielu sterowników WLMS;
- oświetlenie awaryjne:
  - zasilane własnym źródłem;
  - baterią centralną;
- precyzyjny pomiar zużycia energii elektrycznej;
- prosta dokumentacja projektu.

Oprogramowanie WLMS daje możliwość obsługi ilości elementów:

- 10 x 64 stateczników elektronicznych DALI EVG;
- 10 x 16 multisensorów DALI typu 1;
- 10 x 16 czujników DALI typu 2;
- 64 x EnOcean;
- 64 x Wejścia cyfrowe;

- 32 x Wyjścia cyfrowe;
- 3 fazowy pomiar zużycia energii;
- 64 x Wejścia Modbus;
- 16 x Połączenia z innym WLMS;
- 20 x Kalendarze;
- 60 x Wirtualne pokoje.

## ZASADA DZIAŁANIA

Aplikacja WLMS przy wykorzystaniu panelu sterującego poprzez połączenie internetowe komunikuje się ze sterownikiem PLC, dzięki zastosowaniu odpowiednich modułów obsługujących różne protokoły komunikuje się z aktorami i sensorami, dając możliwość sterowania oświetleniem. Pozwala na sterowanie oświetleniem w oparciu o większość dostępnych na rynku systemów zarządzania inteligentnym budynkiem takich jak KNX, DALI, EnOcean i innych.

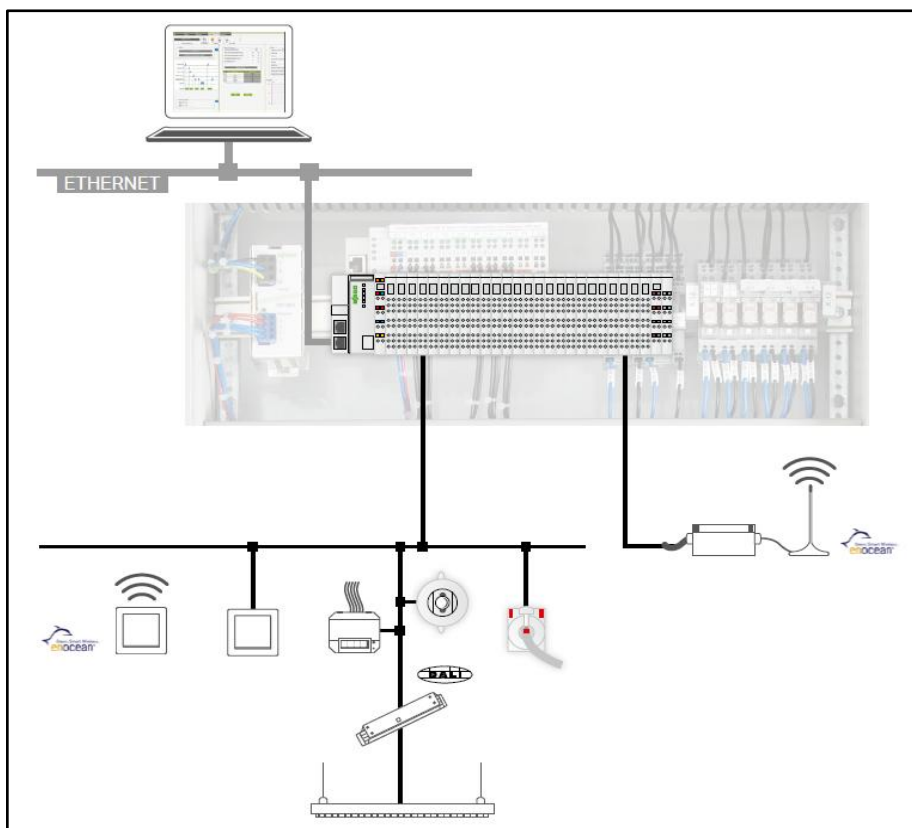
Po zalogowaniu przy użyciu indywidualnego loginu i hasła przechodzimy do panelu operatora, który składa się z 6 zakładek:

- plik, umożliwia zarządzanie zapisanymi planami, edycję projektów, edycję powiadomień, edycję etykiet do tworzenia wirtualnych pomieszczeń oraz wczytania modułów DALI, ogólne informacje oraz możliwość wydruku ustawień i informacji ustawionych w aplikacji;
- funkcje, zakładka ta daje nam możliwości pełnego sterowania powiązаныmi urządzeniami, jeden łącznik może służyć do włączania wyłączania lub jako ściemniacz dla ustawionej przez operatora grupy lub wszystkich urządzeń;
- wejścia, daje możliwość automatycznego adresowania urządzeń m.in. DALI oraz EnOcean, nie ma potrzeby wprowadzania ręcznie adresów urządzeń;
- wyjścia, również tak jak w zakładce wejścia, adresowanie urządzeń takich jak oprawy w systemie DALI odbywa się automatycznie po wybraniu opcji przez operatora;
- diagnostyka, daje możliwość sprawdzenia poszczególnych elementów systemu, pozwala na odczytanie parametrów sieci oraz zużycia energii;
- oświetlenie awaryjne, pozwala na diagnostykę oświetlenia awaryjnego bez potrzeby fizycznego sprawdzenia poszczególnych opraw.

Przełączając pomiędzy poszczególnymi zakładkami jest możliwość [1]:

- adresowania urządzeń DALI;
- personalizację EKG DALI (np. sceny);
- lokalizowania oraz sortowanie komponentów DALI;

- personalizowania bezprzewodowych urządzeń i czujników EnOcean;
- nazwę wejść i wyjść zgodnie z systemem oznaczenia instalacji;
- przydział wejść oraz wyjść do wirtualnych pomieszczeń;
- przydzielania niezależnych funkcji do wirtualnych pomieszczeń;
- wykonania testu oraz sprawdzenie przygotowanej konfiguracji;
- wykonania diagnostyki oraz zarządzania systemem w trakcie pracy;
- natychmiastową konfigurację funkcji pracującego systemu;
- rekonfigurację parametrów;
- archiwizację czasu pracy;
- archiwizację zużycia energii;
- synchronizacja zegara poprzez wykorzystanie SNTP.

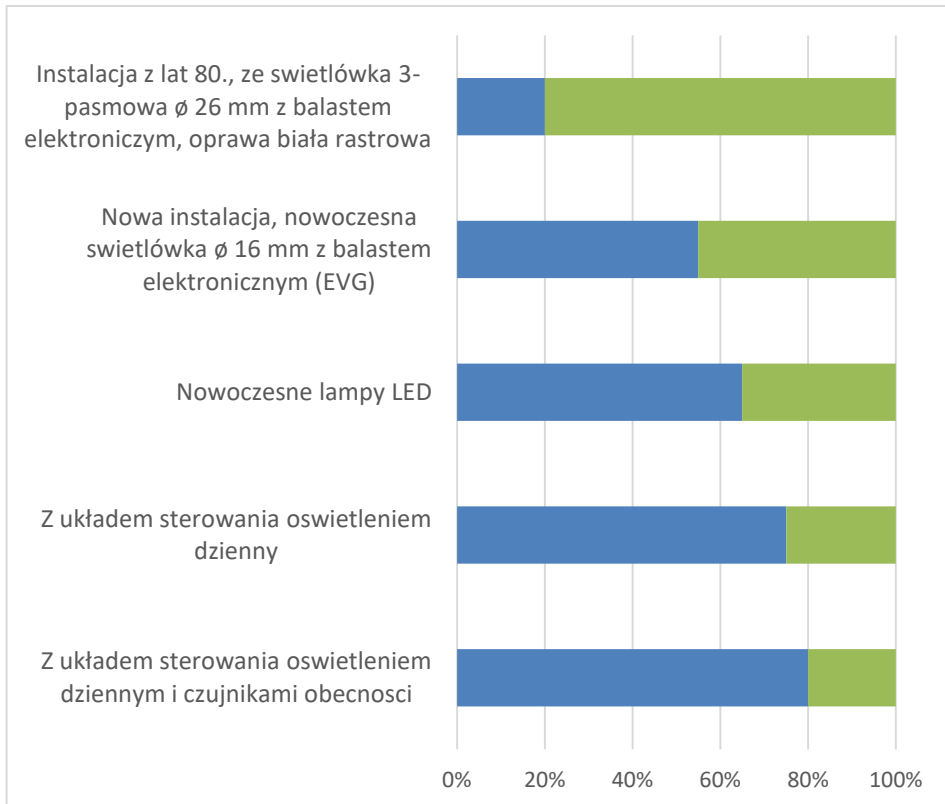


Rys. 2. Przykład połączenia WLMS przez protokoły DALI i EnOcean [5]

Najczęściej wykorzystywanym protokołem do sterowania oświetleniem z użyciem WMLS jest DALI oraz EnOcean. Poprzez zastosowanie odpowiednich modułów do sterownika PLC możliwa jest komunikacja z tymi systemami. Dzięki wbudowanym w systemie opcjom no minimum ułatwiona jest współpraca pomiędzy DALI oraz EnOcean, ale również urządzeniami pracującymi w standardzie KNX.

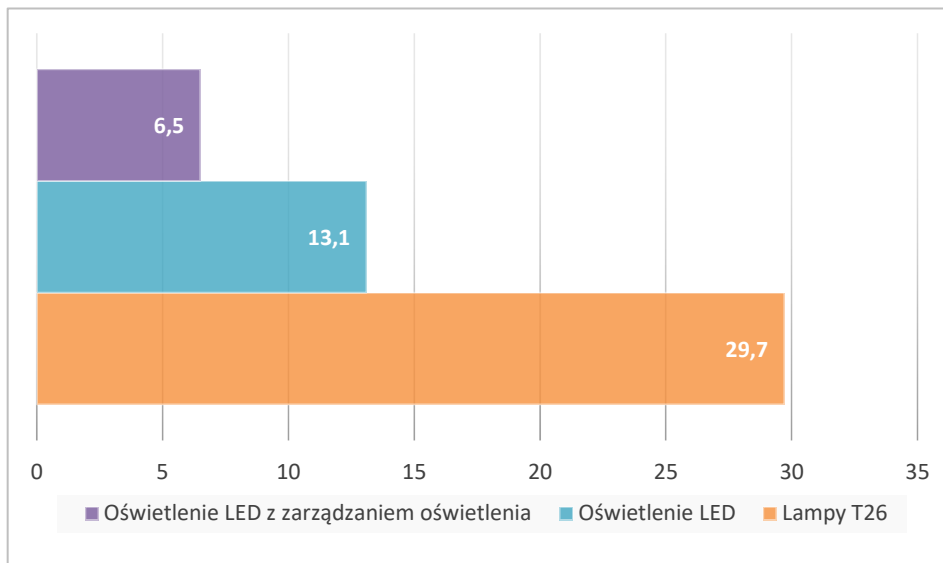
## EKONOMIA

Głównym celem inteligentnego sterowania budynkiem jest obniżenie kosztów, dzięki WMLS użytkownik jest w stanie zaoszczędzić do 80% energii w porównaniu z instalacją z lat 70. wykorzystującej do oświetlenia świetlówkę o średnicy 38 mm i statecznikiem (Rys. 3).

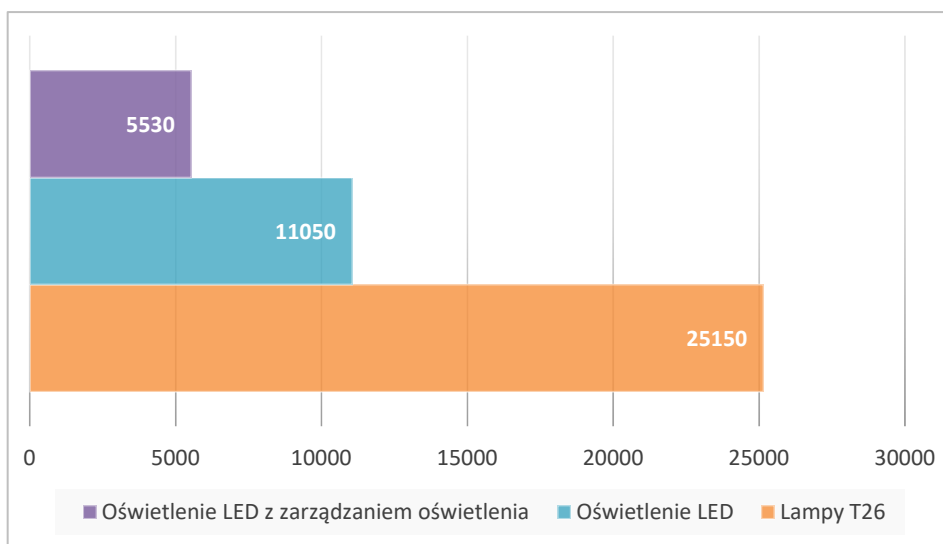


Rys. 3. Potencjał oszczędności energii [3]

Dzięki wykorzystaniu instalacji inteligentnej z zarządzaniem oświetleniem wago w hali magazynowej, która pracuje 24 h/d zmniejszamy zużycie energii (Rys. 4) oraz zmniejszamy emitowanie dwutlenku węgla do otoczenia (Rys. 5).



Rys. 4. Średnie zużycie dla m<sup>2</sup> w ciągu roku w kWh [3]



Rys. 5. Ilość produkowanego CO<sub>2</sub> w ciągu życia w kg [3]

## PODSUMOWANIE

Dzięki zastosowaniu systemów inteligentnego sterowania oświetleniem, między innymi takich jak *Wago Lighting Management System*, operator systemu ma możliwość efektywnego oraz ekonomicznego wykorzystania instalacji oświetleniowej. Dodatkowo WLMS daje możliwość diagnostyki zarządzanych przez niego opraw oświetleniowych, co w przypadku oświetlenia awaryjnego znacząco wpływa na bezpieczeństwo osób przebywających w budynku. Dzięki zastosowaniu czujników ruchu oraz natężenia światła zewnętrznego przynosi wymierne korzyści ekonomiczne.

## LITERATURA

- [1] <https://wagodirect.pl/nie-taki-system-dali-straszny-jak-go-maluja>, zasoby z dnia 12.04.2021
- [2] Norma PN-EN 12464-1:2012. Światło i oświetlenie - Oświetlenie miejsc pracy, Część 1: Miejsca pracy we wnętrzach
- [3] Broszura *WAGO Lighting Management System*, zasoby z dnia 28.02.2018
- [4] <https://www.wago.com/pl/technika-budynkowa/oswietlenie/zarzadzanie-oswietleniem>, Kwiecień 2021
- [5] Broszura Wago, *Automatyka budynkowa*, zasoby z dnia 06.10.2017

## **BADANIE SPRĘŻYN WIELODRUTOWYCH W WARUNKACH STATYCZNYCH**

### **WSTĘP**

Artykuł prezentuje badania dotyczące właściwości sprężyn wielodrutowych. Celem badań było wyznaczenie w sposób graficzny wartości sztywności badanych sprężyn z działka lotniczego NR-30.

Rezultatem pracy była budowa stanowiska pomiarowego, a dokładnie projekt i wykonanie konstrukcji mechanicznej, układu elektrycznego zawierający zasilanie i sterowanie silnikiem, części pomiarowej, która synchronizuje pomiary z enkodera i tensometrycznego czujnika siły. Natomiast efektem pracy samego stanowiska był wykres przedstawiający zależność  $F(x)$  i 33000 par punktów pomiarowych zapisanych do formatu tekstowego.

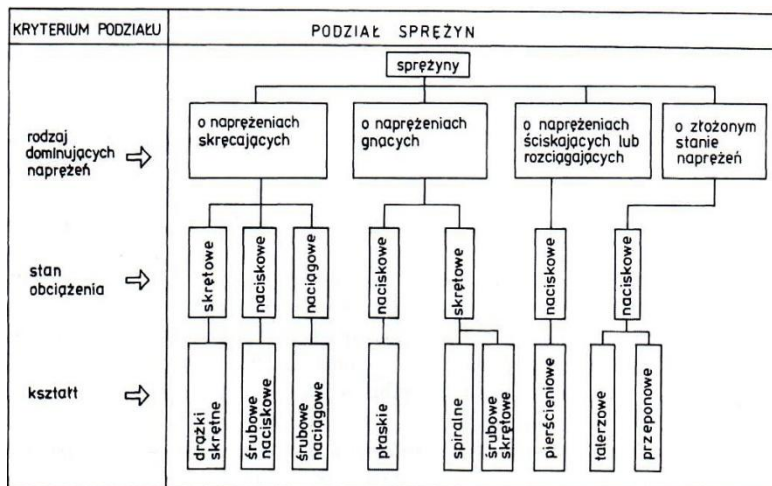
### **SPRĘŻYNY WIELODRUTOWE**

Sprężyny naciskowe śrubowe towarzyszą nam od około XVI w. Sprężyną śrubową jest pręt lub ich wiązka zgięta w kształt helisy, której skręcenie i krzywizna są stałe. Sprężyny można klasyfikować ze względu na wiele kryteriów np. kształt, stan naprężeń, rodzaj dominujących naprężeń. Dobrze to widać na (Rys. 1, patrz rys. na s. 72). Sprężyny wielodrutowe zaliczają się do grupy sprężyn naciskowych o złożonym stanie naprężeń. Jedną z ważniejszych cech sprężyny jest określona zależność między obciążeniem (siła, moment siły), a przemieszczeniem (odległość, kąt). Kiedy te dwie wartości są proporcjonalne to charakterystykę  $F(x)$  taką nazywamy liniową (proporcjonalną), jeżeli obciążenie narasta szybciej od przemieszczenia to charakterystykę tą nazywamy progresywną, zaś kiedy wolniej degresywną.

---

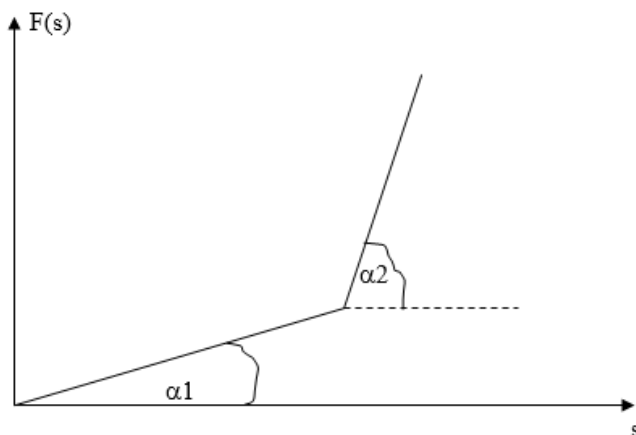
<sup>1</sup> Politechnika Lubelska, WEiI, maciejtluczek@gmail.com





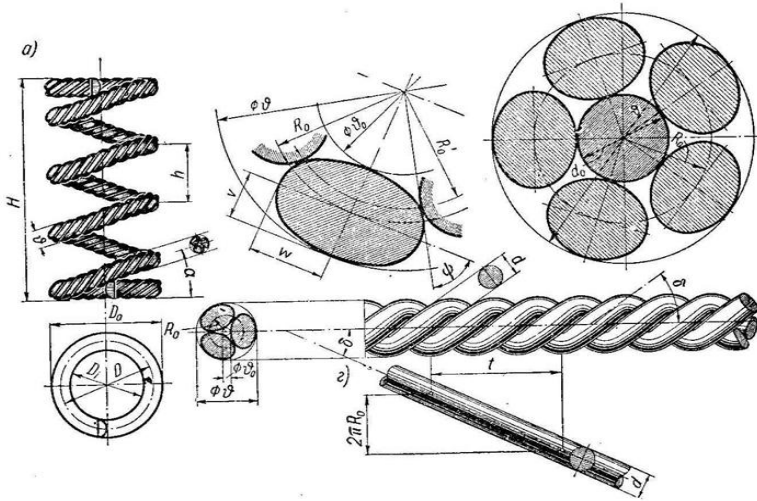
Rys. 1. Podział sprężyn metalowych [1]

Charakterystyka liniowa cechuje się sztywnością, dzięki której można określić większość własności sprężyny. Złożenie dwóch lub kilku charakterystyk liniowych, daje nam charakterystykę łamaną co widać na (Rys. 2).



Rys. 2. Przykład charakterystyki łamanej [4]

Aby otrzymać charakterystykę łamaną należy zbudować układ kombinowany czyli szeregowo-równoległy lub układ wielodrutowy. Sprężyna wielodrutowa charakteryzuje się znacznie wyższą sztywnością niż sprężyna o podobnych rozmiarach tyle, że jednodrutowa.



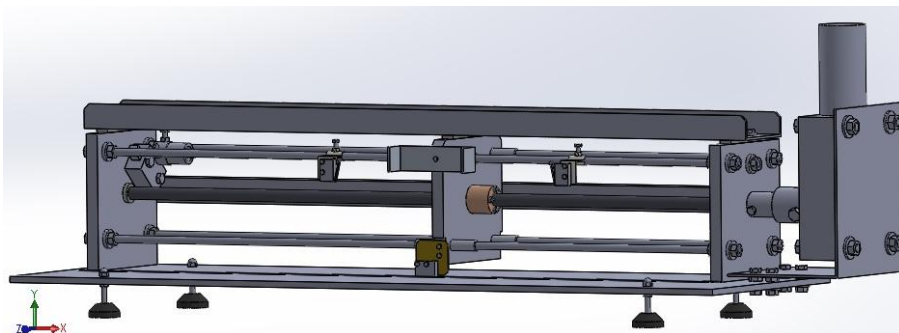
Rys. 3. Budowa sprężyny wielodrutowej [3]

Większa jest również trwałość sprężyny wielodrutowej od sprężyn tradycyjnych dlatego często z uwagi na niezawodność używana w lotnictwie.

Sama budowa sprężyny wielodrutowej przedstawiona jest na (Rys. 3). Przedstawione są między innymi dwa przekroje poprzeczne, które przedstawiają układ wielodrutowy z „duszą” i bez „duszy”. Znaczy to, że drut prowadzący wewnątrz układu jest lub go nie ma.

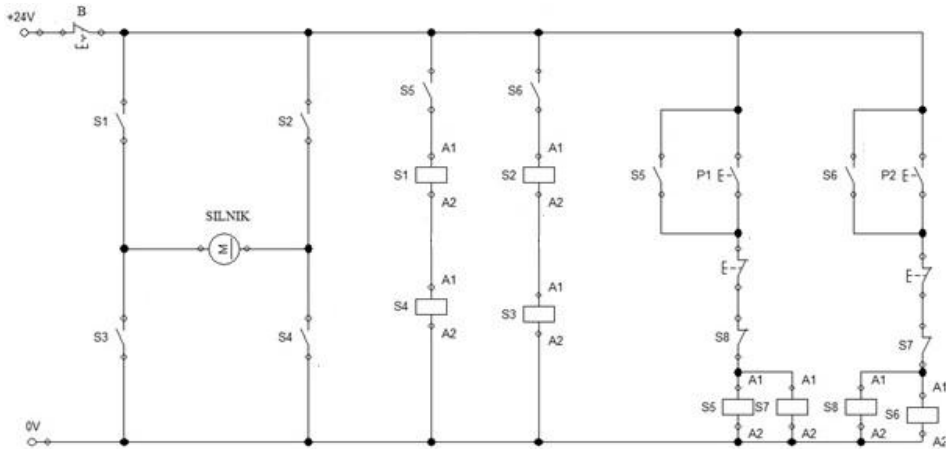
## PROJEKT STANOWISKA

Budowę rozpoczęto od wykonania modelu 3D w programie *Solidworks*, który widać na rysunku 4.



Rys. 4. Model z programu *Solidworks*, widok w izometrii z prawej strony [2]

Kolejnym etapem było opracowanie układu elektrycznego, który przedstawiony jest na rysunku 5.



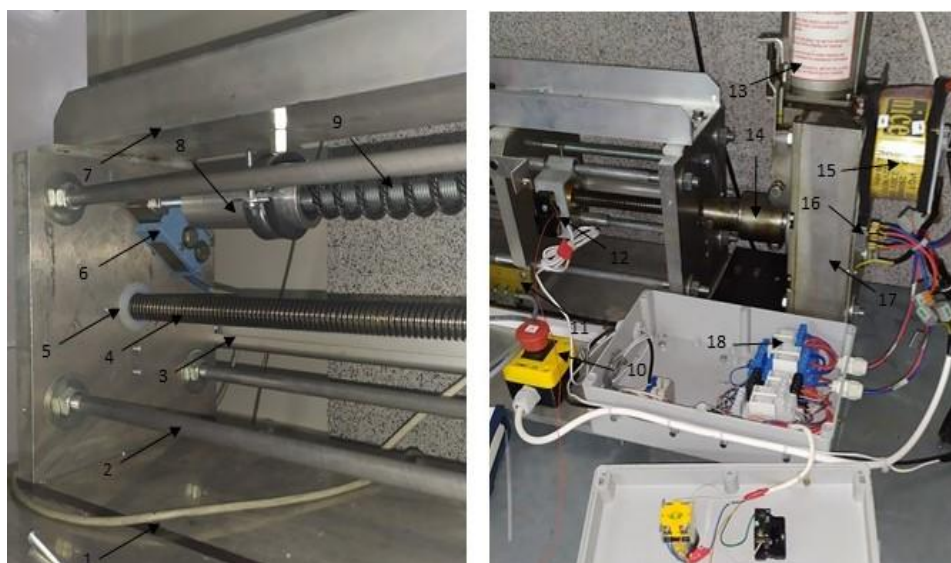
Rys. 5. Schemat elektryczny zastosowany w stanowisku pomiarowym [2]

Schemat przedstawia układ o zasilaniu napięciem 24 V, przy czym napięcie to wyprostowane jest połówkowo. Silnik zasilany jest przez mostek H, który pozwala zmieniać kierunki obrotu silnika. Styki przekaźników S5 i S6 załączają odpowiednio obroty w prawą i lewą stronę. Styki S7 i S8 zapobiegają zwarceniu. Na początku schematy szeregowo połączony wyłącznik bezpieczeństwa.

Kolejny fragment pracy to budowa stanowiska pomiarowego widocznego na rysunku 6 (patrz rys. n as. 75). Konstrukcja mechaniczna to rama utworzona z aluminiowej płyty, składająca się z podstawy i dwóch mniejszych pionowych elementów przytwierdzonych od dołu śrubami M8. Tak stworzona rama została połączona prętami w duraluminium i skręcona śrubami. Z takim szkieletie po czterech prętach pchana lub ciągnięta jest ruchoma płyta, która przemieszcza się za pośrednictwem śruby TR20 oraz nakrętki z brązu. Miejsce, w którym opiera się sprężyna jest ponad śrubą. Przez co w pierwszej wersji stanowiska pojawił się problem, mianowicie enkoder magnetyczny przesuwa się wzdłuż odpowiednio namagnesowanej taśmy, a sam czujnik to w rzeczywistości kontaktron. Dlatego podczas ściskania siła działająca na ruchomą płytą unosiła ją do góry. W ten sposób dopuszczalna maksymalna przerwa powietrzna, która wynosi 2 mm, została przekroczona i mierzona odległość była sfalszowana. Dlatego od góry przykręcono na śruby M8 ceownik 120 x 40 x 3 mm. Zamontowana belka pozwoliła dodatkowo zamocować uchwytem do rur dn25, uchwyt ustalający

pozycję końca sprężyny. Pomiędzy ruchomą płytą a ceownikiem umieszczono polimerową płytę o grubości 5 mm, aby zredukować zjawisko tarcia.

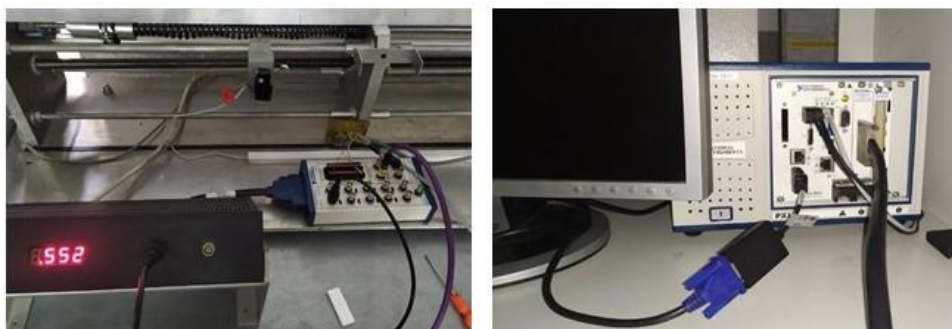
Motoreduktor składający się z silnika prądu stałego zasilanego 24 V oraz przekładni ślimakowej obracającą się z prędkością 24 obr/min, która poprzez sprzęgło przekazuje moment obrotowy śrubie pociągowej. Zasilanie silnika zrealizowano transformatorem toroidalnym oraz mostkiem prostowniczym. Natomiast sterowanie to dwa przełączniki, wyłącznik bezpieczeństwa, osiem przekaźników oraz wyłączniki krańcowe. Spełnia trzy podstawowe funkcje, a są nimi zmiana kierunku realizowana czterema przekaźnikami, ruch pomiędzy wyłącznikami krańcowymi wykonany przy użyciu układu z podtrzymaniem składającym się również z czterech przekaźników dwutorowych oraz przełącznika do wyboru kierunku oraz do zatrzymania ruchu. Trzecią funkcją, za którą odpowiadają wyłączniki krańcowe to nastawiane pozycje pomiędzy, którymi powinna poruszać się ruchoma płyta.



Rys. 6. Stanowisko do statycznego badania sprężyn widok z lewej i prawej strony;  
1 – Taśma magnetyczna; 2 – Pręt konstrukcyjny; 3 – Profil teowy; 4 – Śruba pociągowa;  
5 – Tulejka; 6 – Tensometryczny czujnik siły ruchomy; 7 – Ceownik podpierający płytę ruchomą;  
8 – Mocowanie sprężyny; 9 – Sprężyna z prętem przewodzącym; 10 – Wyłącznik bezpieczeństwa;  
11 – Enkoder; 12 – Wyłącznik krańcowy; 13 – Silnik; 14 – Sprzęgło; 15 – Transformator toroidalny;  
16 – Mostek prostowniczy; 17 – Przekładnia ślimakowa; 18 – Układ sterujący [2]

W pierwszej wersji stanowiska, w części elektrycznej również była zmiana, gdyż sterowaniu z podtrzymaniem przejazd trwa raz do wyłączenia. Daje to większą kontrolę prowadzącemu ćwiczenia. Natomiast w skrzynce sterowniczej w widocznym pustym miejscu było umieszczone Arduino. Mikrokontroler pozwalał na ruch pomiędzy wyłącznikami krańcowymi przez określony czas czyli wiele razy. Co dawało możliwość badań zmęczeniowych. Dlatego ze względu na jego użycie przewody prądowe zostały poprowadzone na zewnątrz, aby zmniejszyć wpływ zakłóceń elektromagnetycznych.

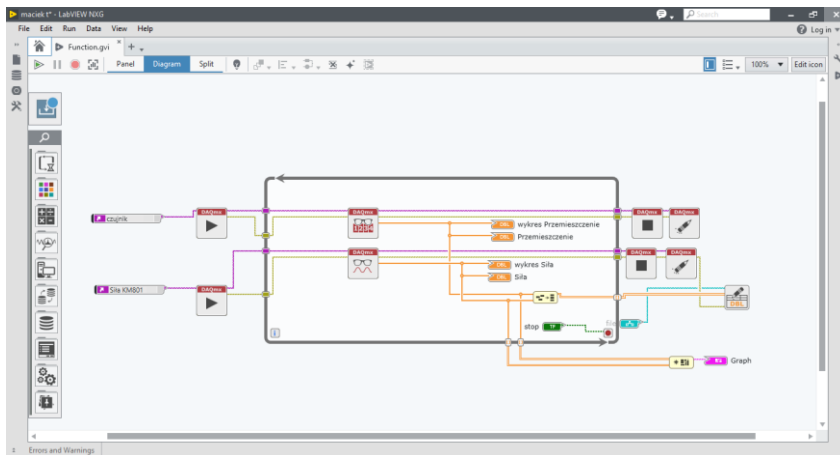
Następną częścią było połączenie z układem peryferyjnym *National Instrument PXI* (Rys. 7). Enkoder ma swój wewnętrzny wzmacniacz i można go podłączyć bezpośrednio. Tymczasem tensometryczny czujnik siły potrzebuje obróbki sygnału i do tego służy skrzynka z wyświetlaczem. Wskazanie jest w niutonach, a sygnał przekazywany przewodem BNC z lewej strony. Przewód BNC z prawej strony przychodzi od generatora fali prostokątnej potrzebnej do synchronizacji sygnałów, konkretnie jest to częstotliwość 50 Hz.



Rys. 7. Układ pomiarowy wykorzystujący NI PXI [2]

Tak przygotowany układ można podłączyć do jednostki centralnej na której zainstalowano system operacyjny.

Pozostaje kwestia sterowania procesem pomiaru, która można rozwiązać stosując Labview. Aby dokonać synchronizacji analogowego sygnału siły i cyfrowego iteracyjnego sygnału odległości trzeba utworzyć wirtualne urządzenie pomiarowe nazwane w programie TASK. Te wirtualne urządzenia potrzebują deklaracji wejść pomiarowych, sygnału próbkującego sygnały oraz miejsca do akwizycji danych. Przedstawione jest to na rysunku 8 (patrz rys. na s. 77). Rozwiązanie to zapewnia wiarygodną synchronizację odczytywanych danych oraz pary wartości liczbowych zapisane w formacie tekstowym.



Rys. 8. Aplikacja Labview sterująca pomiarem za pośrednictwem NI PXI [2]

Tak utworzona aplikacja nie wymaga wyzwolenia tylko po uruchomieniu procedury pomiaru, włączamy silnik i sprężyna zaczyna być ściśniana, a następnie rozprężana.

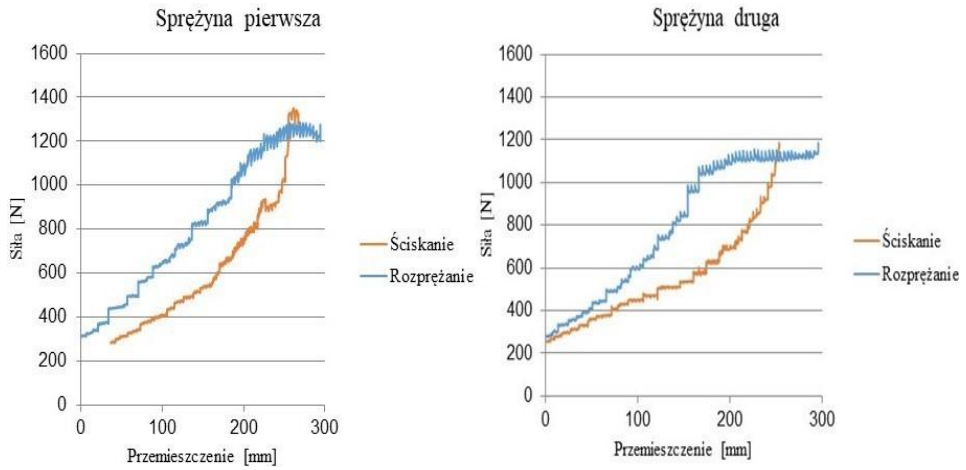
## WYNIKI

Próba objęła dwie sprężyny, co przedstawia Tabela 1. Jedna z nich jest nieco dłuższa, co przełoży się na zmierzoną siłę.

Tab. 1. Wybrane parametry badanych sprężyn

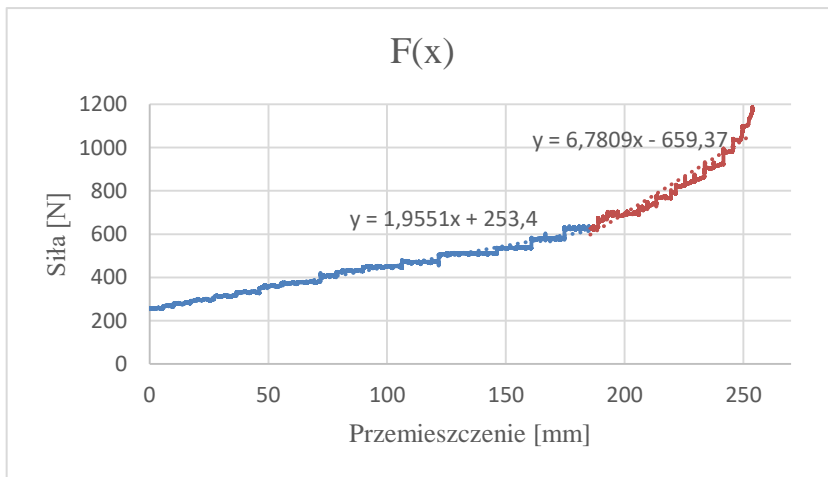
|            | <b>Długość, cm</b> | <b>Liczba zwoi</b> |
|------------|--------------------|--------------------|
| Sprężyna 1 | 73.9               | 45                 |
| Sprężyna 2 | 72.8               | 46                 |

Widoczne na rysunku 9 (patrz rys. na s. 78) wykresy pokazane jednocześnie uwidaczniają, jaką pracę wykonuje konstrukcja sprężyny. Dokładniej jest to tarcie między zwojowe oraz zjawiska falowe temu towarzyszące. Po połowie odległości pojawia się przełamanie charakterystyki. Po tym punkcie znacząco wraść sztywność sprężyny wielodrutowej. Kolejnym aspektem, na który można zwrócić uwagę to gwintowany pręt prowadzący sprężynę. Szczegół tkwi w wielokrotnym wyboczeniu i dodatkowym ocieraniu o pręt prowadzący. Co wprowadza drgania i skokowy charakter pomiaru siły w układzie.



Rys. 9. Wykresy ściskania i rozprężania badanych sprężyn [2]

Złożenie dwóch funkcji liniowych odwzorowuje charakter łamany widoczny na rysunku 10.



Rys. 10. Charakterystyka ściskania drugiej sprężyny podzielona na dwie funkcje liniowe

Pomiar rozpoczyna się od większej wartości niż zero, a mianowicie od około 200[N]. Jest to spowodowane chęcią odwzorowania prawdziwych warunków pracy. A właśnie z takim wstępnym napięciem pracuje sprężyna wielodrutowa w działku lotniczym NR-30.

## PODSUMOWANIE

Chęć badania sprężyn wielodrutowych doprowadziła do budowy stanowiska pomiarowego. konstrukcji mechanicznej, systemu napędowego oraz układu pomiarowego dzięki czemu otrzymano unikalne charakterystyki statyczne. Po przeprowadzeniu analizy otrzymanych wyników można stwierdzić, że sztywność po przekroczeniu punktu przełamania wzrasta około 3 razy. Oraz jest to zjawisko powtarzalne.

Punkt przełamania charakterystyki występuje za połową ściskanej odległości, a 30 cm ściskanej sprężyna przekłada się na siłę około 1000 N wytworzonej siły.

## LITERATURA

- [1] Branowski B., *Sprężyny metalowe*, Wydawnictwo naukowe PWN Warszawa, 2013
- [2] Tłuczek M., *Projekt stanowiska do badania sprężyn w warunkach statycznych*, praca inżynierska, Warszawa, WAT 2020
- [3] Żukowski S., *Sprężyny*. PWN Warszawa, 1955
- [4] <https://www.researchgate.net/projekt/NR-30-multi-wire-spring>, zasoby z dnia 22.04.2021



# **EKRANOWANIE – OCHRONA PRZED ODDZIAŁYWANIEM PÓL ELEKTROMAGNETYCZNYCH**

## **WSTĘP**

Kompatybilność elektromagnetyczna to dział nauki zajmujący się zagadnieniami oraz zjawiskami odnoszonymi do oddziaływań elektromagnetycznych. W obecnych czasach kompatybilność wykorzystywana jest w każdej dziedzinie życia, począwszy od przemysłu militarnego, a kończąc na urządzeniach codziennego użytku. Przestrzeganie przepisów dotyczących kompatybilności ma duże znaczenie z powodów technicznych (prawidłowa eksploatacja urządzenia) oraz ekonomicznych (dopuszczenie urządzenia do sprzedaży). Ważną rolę w urządzeniach technicznych odgrywają parametry metrologiczne (np. urządzenia pomiarowe), które wynikają z ich konstrukcji, dlatego istotne jest przestrzeganie oraz stosowanie postulatów EMC, co umożliwi skonstruowanie urządzenia będącego kompatybilnym elektromagnetycznie.

## **EKRANOWANIE**

Ekranowanie – stosowanie odpowiednio wykonanych osłon (ekranów), zwykle metalowych, w celu ochrony urządzeń (elementów, układów) przed niepożądanym wpływem zewnętrznych pól elektrycznych, magnetycznych i elektromagnetycznych, a także w celu ochrony otoczenia przed zakłóceniami powodowanymi przez te urządzenia. Ekranowanie elektryczne uzyskuje się przez otoczenie zespołu zabezpieczanego lub zakłócającego osłoną z materiału przewodzącego, najczęściej połączonego z ziemią lub z elementem o stałym potencjale elektrycznym. Ekranowanie magnetyczne uzyskuje się stosując osłonę z materiału ferromagnetycznego, skupiającą linie sił zakłócającego pola ma-

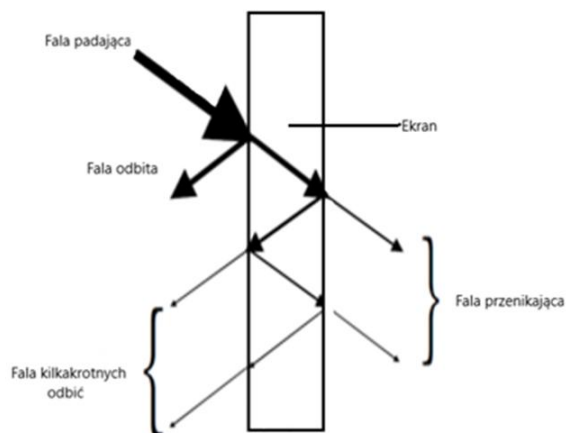
---

<sup>1</sup> Politechnika Lubelska, WEiI, marcin.szczynski@pollub.edu.pl

gnetycznego i przeciwdziałającą ich przenikaniu. Ochrona przed polami elektromagnetycznymi (występującymi razem z polami elektrycznymi i magnetycznymi o częstotliwościach akustycznych i większych) wymaga stosowania ekranów z materiałów niemagnetycznych o dużej konduktywności elektrycznej (zwykle z miedzi lub aluminium).

Przy wyborze materiałów do konstrukcji ekranów, elementów maskujących, ubiorów kamuflażowych czy też ubiorów ochronnych istotnym elementem jest znajomość, własności tych materiałów w wymaganym paśmie częstotliwości:

- współczynnika odbicia – odbicie fali elektromagnetycznej od granicy ośrodków, będący skutkiem niedopasowania impedancji falowej ośrodków. Należy uwzględnić również tę część pola, która wynika z wewnętrznych odbić w materiale (ekranie);
- współczynnika absorpcji – pochłanianie energii pola przez materiał (wliczając zjawisko wewnętrznych odbić);
- współczynnika transmisji – przenikanie pola do ośrodka za przegrodą (ekranem, ubiorem). Odwrotność współczynnika to efektywność ekranowania.



Rys. 1. Rozkład fal w materiale ekranującym

Parametrem charakteryzującym dowolny ekran jest jego skuteczność ekranowania opisana zależnością:

$$S = 20 \log (A1/A2) \text{ dB} \quad (1)$$

gdzie:  $A1$ ,  $A2$  odpowiednio natężenie pola elektrycznego (magnetycznego) przed i za ekranem [1].

Biorąc pod uwagę zjawiska zachodzące na granicy dwóch ośrodków, własności absorpcyjne wewnątrz ekranu (lub innego materiału) oraz efekt wewnętrzne odbicia to zależność określająca efektywność ekranowania można zapisać w postaci logarytmicznej;

$$S \text{ [dB]} = K_{\text{odb}} \text{ [dB]} + K_{\text{abs}} \text{ [dB]} + K_{\text{wodb}} \text{ [dB]} + K_{\text{korekcji}} \text{ [dB]} \quad (2)$$

natomiast w postaci liniowej wygląda następująco:

$$S = k_{\text{odb}} \cdot k_{\text{abs}} \cdot k_{\text{wodb}} \cdot k_{\text{korekcji}} \quad (3)$$

gdzie:

$k_{\text{odb}}$  – współczynnik zjawiska odbicia na granicy dwóch ośrodków;

$k_{\text{abs}}$  – współczynnik charakteryzujący absorpcję wewnętrzną ekranu (materiału);

$k_{\text{wodb}}$  – współczynnik charakteryzujący wpływ wewnętrznych odbić w ekranie;

$k_{\text{korekcji}}$  – współczynnik charakteryzujący wielokrotne odbicie wewnątrz ekranu.

Poszczególne współczynniki można obliczyć z podanych poniżej przybliżonych zależności 6, 7:

$$k_{\text{odb}} \approx \frac{\sigma \delta}{4\sqrt{2} \cdot 2\pi f_0 \epsilon_o R} \quad (4)$$

$$k_{\text{abs}} \approx e^{-\frac{d}{\delta}} \quad (5)$$

$$k_{\text{korekcji}} \approx \frac{2d}{\delta} \quad (6)$$

$$\delta \approx (2n - 1) \frac{\lambda_o}{4\sqrt{\epsilon_w \mu_w}} \quad (7)$$

gdzie:

$\sigma$  – konduktywność materiału, z którego wykonano ekran (materiał);

$\delta$  – głębokość wnikania pola elektromagnetycznego w ekran (materiał), przy którym jego moc spada o 50%;

$d$  – grubość ekranu;

$n$  – zależy od wartości tangensa stratności materiału dla  $\epsilon$  i  $\mu$ ;

$\epsilon_w$  – względna przenikalność dielektryczna materiału, np. ekran;

$\epsilon_o$  – przenikalność dielektryczna powietrza;

$\mu_w$  – względna przenikalność magnetyczna materiału, np. ekran;

$\lambda_o$  – długość fali promieniowania elektromagnetycznego w powietrzu;

$R$  – odległość ekranu od źródła pola.

Z analizy przytoczonych powyżej zależności wynika:

- zjawisko odbicia jest tym większe im większa jest różnica impedancji „stykających” się ośrodków, np. powietrze – ekran. W polu dalekim impedancja wolnej przestrzeni (powietrza) wynosi  $377 \Omega$ ;
- najmniejszą głębokość wnikania pola w materiał ekranu można osiągnąć przy dużych  $\epsilon_w$  i  $\mu_w$  oraz tangensach stratności. Im mniejsza głębokość wnikania, przy założonej grubości ekranu, to większy współczynnik absorpcji;
- jeżeli chce się skonstruować ekran o bardzo małej grubości, to należy zastosować materiał o bardzo dużych  $\epsilon_w$  i  $\mu_w$  oraz tangensach stratności, co wywoła wzrost impedancji ekranu a tym samym wzrost współczynnika odbicia. Zmniejszając grubość materiału zmniejszamy również wartość współczynnika charakteryzującego wielokrotne odbicie wewnątrz ekranu;
- jeżeli należy zaprojektować bez odbiciowy materiał (dopuszcza się odbicia 1% mocy padającej prostopadle na powierzchnię materiału) to impedancja materiału  $Z_{mat}$  musi być równa impedancji ośrodka, z którym będzie się „stykał”  $Z_0$ . W radykalnym przypadku oznacza to równość przenikalności  $\epsilon_w$  i  $\mu_w$  materiału i ośrodka. Praktyczne spełnienie tego warunku jest trudne w realizacji ze względu na to, że  $\mu_w$  zmienia się w funkcji częstotliwości podczas gdy  $\epsilon_w$  pozostaje niezależne. Rozwiązaniem jest zaprojektowanie niejednorodnego materiału o zmiennej wartości  $\epsilon_w$ , który na powierzchni czołowej ma impedancję falową równą impedancji ośrodka (np. powietrza). Stworzenie takiego materiału jest trudne, dlatego projektuje się materiały wielowarstwowe, w którym poszczególne warstwy są jednorodne ze względu na swoją wartość  $\epsilon_w$ . Należy zaznaczyć, że projektując jednorodny materiał jednowarstwowy o określonej przenikalności zawsze będzie występowało zjawisko odbicia [2].

W zależności od przeznaczenia, można wyróżnić trzy rodzaje ekranowania:

- lokalizacyjne – zamknięcie pola wewnątrz określonego obszaru, które zapobiega jego rozprzestrzenianiu się, np. obudowy podzespołów mikrofalowych;
- osłaniające – osłonięcie przed polem elektromagnetycznym tylko tej przestrzeni, w której przebywa człowiek;
- maskujące – zapobieganie wykryciu obiektu – aspekty techniki wojskowej.

Na skuteczność ekranowania, będą się składały takie zjawiska, jak: bezpośrednie odbicie od ekranu padającej fali, absorpcja wewnątrz ekranu, jak i efekty wewnętrznych odbić. Łatwo zauważyć iż ekran o takiej samej wartości parametru  $S$  może mieć różne własności, może większość pola odbijać, albo mało odbijać, a charakteryzować się dużym współczynnikiem absorpcji. Jakimi wła-

snościami ma się charakteryzować materiał na ekran będzie zależało od jego przeznaczenia. Innymi parametrami będzie się charakteryzował materiał na odzież ochronną, a innymi materiał przeznaczony na ekran wykorzystywany w szpitalu.

W pierwszym przypadku zależy nam na tym, aby w maksymalny sposób odizolować człowieka od wpływu pola elektromagnetycznego. Inną sytuację mamy w szpitalu, kiedy ekran ma odizolować chorego na sąsiednim łóżku od promieniowania elektromagnetycznego prowadzonego zabiegu innego pacjenta, jak i również jednocześnie ekran nie może zwiększać zagrożenia dla niego samego i lekarza. W tej sytuacji będziemy konstruowali materiał o maksymalnie dużym współczynniku absorpcji i jak najmniejszym współczynniku odbicia.

Oczywiste jest to, że wymienione do tej pory parametry nie są jedynymi, jakie należy brać pod uwagę w procesie projektowania materiałów na ekrany. W normach określających podstawowe parametry (własności), jakim ma odpowiadać materiał, np. na odzież ochronną przyjmuje się, że dla:

- odzieży ochronnej w zakresie częstotliwości od 0,1 MHz do 1000 MHz skuteczność ekranowania nie powinna być nie gorsza niż 20 dB;
- w fizykoterapii i przemyśle w zakresie częstotliwości od 0,3 MHz do 27,12 MHz i 2,45 GHz skuteczność ekranowania powinna się zawierać w przedziale 10–40 dB.

Wymagania na materiały wykorzystywane przy konstrukcji powłok ekranujących i absorpcyjnych:

- maskowanie w zakresie od 0,1 do 3 GHz;
- przyczepność powleczenia;
- maksymalne siły zrywające;
- wydłużenie względne;
- siła rozdierania;
- wytrzymałość na rozdieranie;
- wytrzymałość na wypychanie;
- przepuszczalność powietrza;
- odporność na zginanie;
- odporność na sklejanie;
- zmiana wymiarów po praniu;
- odporność wybarwień na światło;
- odporność wybarwień na pranie;
- odporność na pot;

- odporność na prasowanie;
- odporność na tarcie;
- odporność na działanie światła dziennego;
- odporność na ścieranie;
- współczynnik połysku;
- oporność pomiędzy wszystkimi odległymi punktami [3].

W sytuacji, kiedy mamy do czynienia z polami o bardzo dużych koncentracjach (np. w transformatorach energetycznych dużych mocy) stosuje się też pewne zestawienia obu rodzajów ekranów, nazywane ekranowaniem mieszanym. W zależności od układu pola rozproszenia, ekrany różnych strukturach układane są na różnych fragmentach powierzchni chronionych. Biorąc pod uwagę przeciwstawne działanie ekranów magnetycznych i elektromagnetycznych może się wydawać, że ich warstwowe układanie mija się z celem. Badania symulacyjne takich układów wskazują, że ich wykorzystanie może dawać w pewnych przypadkach zasadniczą poprawę właściwości ekranujących w stosunku do ekranów jednorodnych oraz polepsza właściwości takich układów.

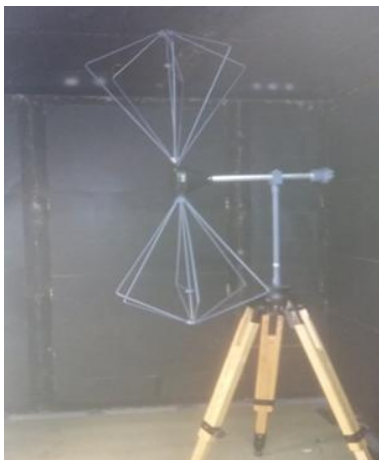
Ekranry mieszane składają się z dwóch warstw – zewnętrznej, wykonanej z dobrego, niemagnetycznego przewodnika (np. miedź lub aluminium) oraz z wewnętrznej, wykonanej z przewodzącego ferromagnetyka. Wybranie jednakowych parametrów dla obszaru chronionego jak dla warstwy zewnętrznej ma na celu zwiększenie przejrzystości analizy [4].

## **KOMORA EKРАНUJĄCA**

Badania przeprowadzono w komorze akustycznej o łącznej kubaturze 16 m<sup>3</sup>, która ze względu na swoją budowę oraz właściwości materiałów, z jakich się składa, wykazuje również właściwości ekranujące. Wysokość konstrukcji wynosi 2,38 m.

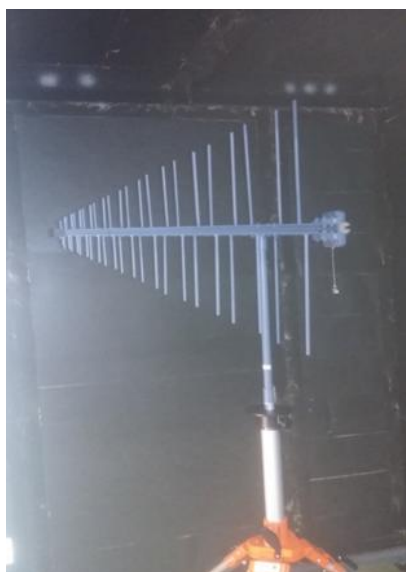
Przeprowadzono badania mające na celu ukazanie różnicy oddziaływania natężenia pola elektromagnetycznego ( $E$ ) w dwóch środowiskach: w obszarze ekranowanym (w komorze) oraz w środowisku naturalnym (poza komorą). Do badań zostały zastosowane dwa rodzaje anten:

- antena dipolowa, która wykorzystana została do badania pasm częstotliwości w zakresie od 20 MHz do 300 MHz (Rys. 2);



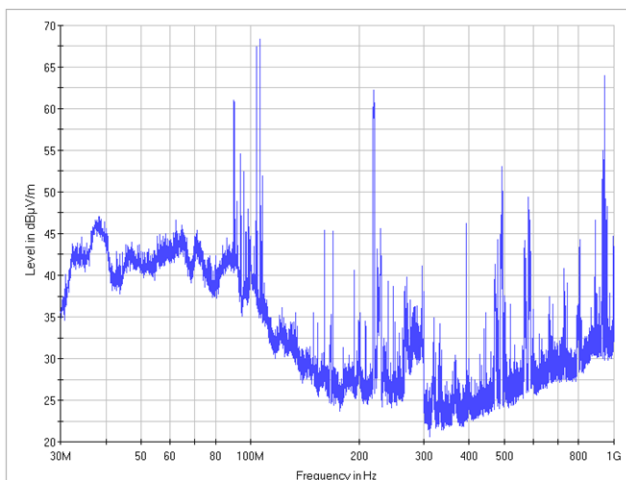
*Rys. 2. Antena dipolowa wykorzystana do przeprowadzenia badań*

- antena logarytmiczną periodyczną, która wykorzystana została do badania zakresu od 300 MHz do 1 GHz (Rys. 3).



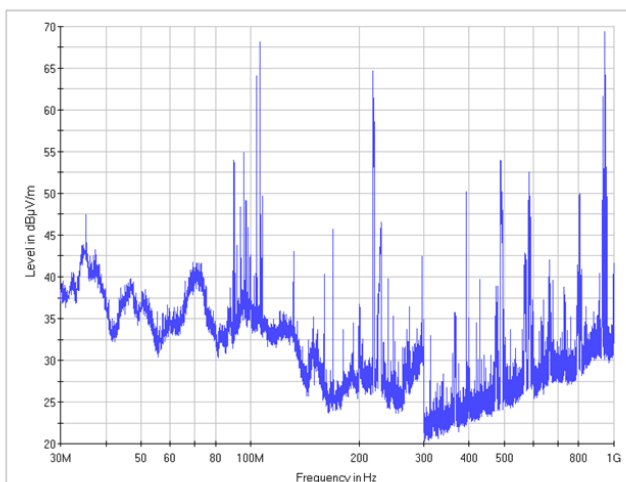
*Rys. 3. Antena logarytmiczno periodyczna wykorzystana w badaniach*

Po przeprowadzeniu pierwszej serii badań za pomocą wyżej wymienionych anten w pełnym paśmie częstotliwości 30–1000 MHz uzyskano przebieg zaprezentowany na rysunku 4 (patrz rys. na str. 87).



*Rys. 4. Przebieg widma częstotliwościowego uzyskany poza obszarem ekranowanym w położeniu poziomym anten*

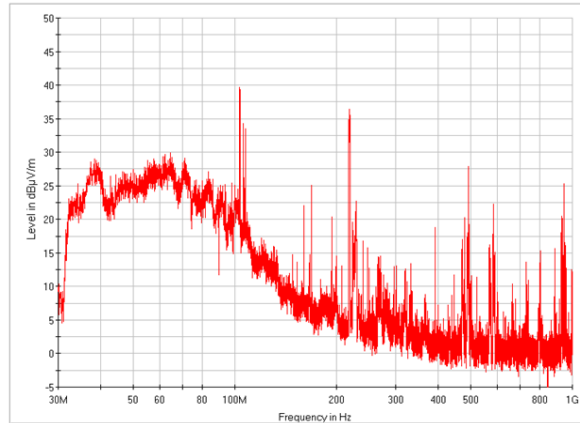
Kolejnym elementem przeprowadzonych badań było zbadanie jak w poprzednim etapie oddziaływania pól poza obszarem ekranowanym, lecz za pomocą anten usytuowanych w położeniu pionowym. Po przeprowadzeniu kolejnej serii pomiarów uzyskano następujący przebieg (Rys. 5).



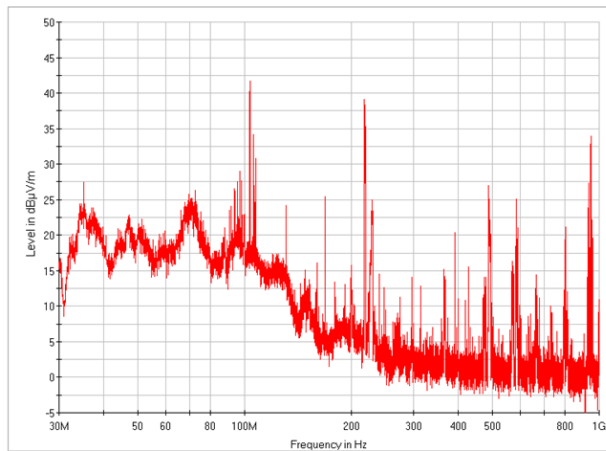
*Rys. 5. Przebieg widma częstotliwościowego uzyskany poza obszarem ekranowanym w położeniu pionowym anten*



Po zakończeniu serii badań została określona skuteczność tłumienia komory podczas ustawienia anten w położeniu poziomym (Rys. 6) oraz w położeniu pionowym (Rys. 7).



*Rys. 6. Przebieg tłumienia komory wynikający z charakterystyk natężenia pola na zewnątrz i wewnątrz komory w położeniu poziomym anten*



*Rys. 7. Przebieg tłumienia komory wynikający z charakterystyk natężenia pola na zewnątrz i wewnątrz komory w położeniu pionowym anten*

Na podstawie powyższych przebiegów można zauważyć, że w otaczającym nas świecie występuje wiele różnego rodzaju oddziaływań elektromagnetycznych. W skład tych zakłóceń mogą wchodzić różnego rodzaju czynniki:

- w paśmie 100 MHz można zauważyć zakłócenia wywołane radiofonią analogową;
- w paśmie 200 MHz zauważyć można zakłócenia wywołane poprzez transmisje cyfrowe (telewizja);
- w paśmie od 880 MHz do 960 MHz zauważyć można zakłócenia wywołane poprzez sieć GSM;
- pozostałe zakłócenia występujące na uzyskanych przebiegach widm częstotliwości wywołane mogą być poprzez otaczające nas urządzenia elektroniczne. Jednakże poprzez zastosowanie podczas badań komory ekranującej, można zauważyć że w dużym stopniu zmniejszyła intensywność oddziaływania zakłóceń niż to miało miejsce w obszarze poza komorą.

## **PODSUMOWANIE**

Posiadamy wiele różnego rodzaju materiałów oraz technik ekranowania w zależności od indywidualnych potrzeb użytkownika pod względem technicznym, aż do kosztów wykonania oraz użytkowania danego rozwiązania wykorzystanego w danym obiekcie. Materiały ekranujące umożliwiają wykonanie obiektów zapewniających odpowiednie warunki pomiarowe, które pozwalają osiągnąć prawdziwe pomiary mające na celu tworzenie urządzeń kompatybilnych elektromagnetycznie, zgodnie z postulatami EMC. Wraz z biegiem czasu oraz z postępem cywilizacji omawiane technologie zyskują na popularności oraz wykorzystywane są w coraz szerszym zastosowaniu, np. zapewnienie ochrony organizmów żywych przed szkodliwymi promieniowaniami (kombinezony), konstruowanie osłon chroniących przed danych przed szpiegostwem (tłumienie sygnałów wydzielanych przez nadajniki).

Najlepsze właściwości ekranujące posiadają srebro i miedź. Materiały te popularność swą zyskują nie tylko dzięki świetnej zdolności ekranowania, ale również dzięki łatwej dostępności oraz niskich kosztów zakupu. Na obecnym rynku dostępne są różnego rodzaju materiały ekranujące, które różnią się od siebie wzajemnie konstrukcją, sposobem montażu oraz skutecznością ekranowania. Montaż materiałów oraz konstrukcji ekranujących jest prosty w wykonaniu, a także umożliwia dokonywanie w razie potrzeby różnych modyfikacji konstrukcyjnych. W celu uzyskania poprawy zjawiska ekranowania możliwe jest

stosowanie domieszkowanie materiałów (materiały wielowarstwowe). Wykorzystując materiały te zauważyć można, że w znacznym stopniu ograniczają wpływ pola elektroenergetycznego, tym samym chroniąc obiekty przed szkodliwym oddziaływaniem.

## LITERATURA

- [1] Zradziński P., *Profilaktyka zagrożeń elektromagnetycznych – symulacje komputerowe i badania osłon ekranujących*. CIOP, 2019
- [2] Cheng K. B., *Electromagnetic shielding effectiveness of cooper/glass fiber*, zasoby z dnia 25.05.2019
- [3] Mamrot P., Aniołczyk H., *Metoda pomiaru tłumienia małych próbek włókienniczych materiałów elektroprzewodzących*, IMP Łódź, 2018
- [4] Pawłowski S., Plewako J., *Macierzowa metoda obliczania parametrów wielowarstwowych ekranów pola elektromagnetycznego*, „Przegląd Elektrotechniczny”, R. 91 Nr 12/2015.

## **MODEL INTELIGENTNEGO BUDYNKU W OPARCIU O SYSTEM ABB FREE@HOME**

### **WSTĘP**

Inteligentne instalacje elektryczne to coraz częściej stosowane rozwiązania w budynkach, zarówno mieszkalnych jak i przemysłowych. Dzięki nim mamy duże możliwości konfigurowania oraz zarządzania urządzeniami oraz systemami powiązаныmi ze sobą. Pozwalają one na pełną automatyzację oświetlenia, ogrzewania, klimatyzacji oraz wielu innych udogodnień, które chcemy zastosować w inteligentnym domu. Możliwości, jakie daje nam inteligentna instalacja w porównaniu z klasyczną, to możliwość sterowania nią zdalnie, nawet gdy znajdujemy się poza domem za pośrednictwem smartfona czy też tabletu poprzez łączność bezprzewodową lub sieć internetową. Możliwości są różne i zależą od systemów bezprzewodowego przesyłu danych.

### **BUDOWA I ZASADA DZIAŁANIA AUTOMATYKI BUDYNKOWEJ**

W ogólny skład automatyki budynkowej wchodzi szereg urządzeń, z których każde odpowiedzialne jest za dane czynności. Automatykę budynkową możemy podzielić na dwa główne systemy sterowania i komunikacji:

- bezprzewodowy (WiFi, bluetooth, radio);
- przewodowy np. za pomocą skrętki KNX.

Do wyboru mamy mnóstwo technologii automatyki budynkowej od mniej do bardziej skomplikowanych. W zależności od tego czy wykonujemy nową inteligentną instalację czy też modyfikujemy dotychczasową dobieramy technologię, która sprawdzi się najlepiej, a zarazem będzie jak najbardziej funkcjonalna.

Podczas wyboru inteligentnej instalacji najważniejszymi cechami są koszt wykonania instalacji, funkcje, zasięg i mobilność.

---

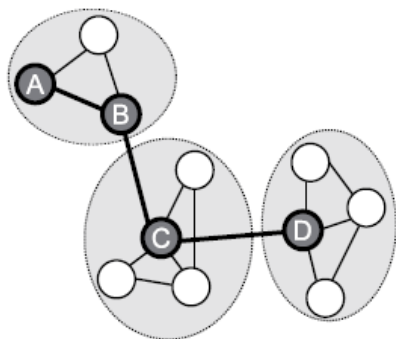
<sup>1</sup> Politechnika Lubelska, WEiI, karol.stachniak@pollub.edu.pl

## SIECI BEZPRZEWODOWE STOSOWANE W AUTOMATYCE BUDYNKOWEJ

Automatyka budynkowa podąża za najnowszymi rozwiązaniami ówczesnej techniki. Jednym z nich jest możliwość obsługi urządzeń za pomocą sieci bezprzewodowej. Daje nam to bardzo dużą mobilność obsługi i kontroli urządzeń zainstalowanych w naszym budynku. Na rynku dostępne są różne technologie, mniej lub bardziej znane i cenione przez użytkowników.

### Z-WAVE

Ogólna zasada budowy sieci *Z-Wave* polega na zastosowaniu urządzeń z modułem radiowym RF (ang. *radio frequency*). Wszystkie urządzenia systemu posiadają wbudowany moduł RF, dzięki któremu mogą komunikować się między sobą. *Z-wave* to system bezprzewodowej łączności do zastosowań w urządzeniach automatyki budynkowej, wyprodukowany przez ZenSys. Jest to dość popularny system i bardzo często stosowany w inteligentnych instalacjach budynków. Wszystkie zakłady produkujące moduły w technologii *Z-wave* podlegają pod jeden główny pion, a jest nim *Z-wave Alliance*. Urządzenia automatyki budynkowej systemu *Z-wave* mogą pracować jedynie w połączeniu sieci typu MESH. Zastosowanie takiej sieci pozwala na automatyczne tworzenie połączenia pomiędzy urządzeniami. Urządzenia na początku same nawiązują połączenia między sobą co daje nam wstępnie skonfigurowaną instalację. Użytkownik nie musi ingerować w system, co pozwala zaoszczędzić czas. Poniżej została pokazana przykładowa struktura systemu sieci MESH (Rys. 1.).



Rys. 1. Struktura MESH sieci Z-wave [2]

## **EXTA FREE**

*Exta Free* jest bezprzewodowym, łatwym w konfiguracji systemem zarządzającym funkcjonowaniem ogrzewania i klimatyzacji, roletami, oświetleniem oraz możliwością komunikacji z czujnikami (Rys. 2.).



Rys. 2. Przykładowe możliwości systemu *Exta Free* [3]

*Exta Free* to system oparty na bezprzewodowej komunikacji radiowej. System tworzy grupę urządzeń, które komunikują się ze sobą częstotliwością 868 MHz. Komunikacja pomiędzy centralnym urządzeniem zarządzającym a odbiornikami jest jednokierunkowa. Informacje może wysyłać tylko kontroler do odbiorników sygnału radiowego, bez możliwości otrzymania informacji o aktualnym stanie urządzenia. Kontroler po wcześniejszym podłączeniu do routera WiFi za pośrednictwem urządzeń mobilnych pozwala na zdalne zarządzanie odbiornikami *Exta Free*. Programowanie systemu realizujemy za pomocą darmowego oprogramowania z wykorzystaniem smartphona lub tabletu. Dostęp do sterowania systemem mają tylko ci użytkownicy, których urządzenie mobilne posiada niezmienny, zewnętrzny adres IP. Aby uzyskać ten adres należy odpowiednio skonfigurować router do którego został podłączony kontroler.

## **COMODIS**

System bezprzewodowego zarządzania budynkiem dający wiele możliwości na jego zastosowanie. Pozwala na współpracę z dotychczasową instalacją zamontowaną w budynku. Jest kompatybilny z dowolnymi innymi systemami

różnych producentów. Dzięki elastyczności systemu Comodis możemy zmodernizować całą instalację elektryczną. Pozwala on także na sterowanie wybranymi urządzeniami w budynku bez konieczności dodatkowego okablowania. Tak szerokie zastosowanie urządzeń systemu Comodis jest możliwe dzięki protokołowi Modbus. Pozwala on na utworzenie bardzo przyjaznej użytkownikowi obsługi budynku. Do zrealizowania tych funkcji należy zastosować moduł komunikacyjny Modbus oraz sterownik. Sterownik programujemy w dowolnie przewidziany dla nas sposób za pomocą oprogramowania komputerowego.

W połączeniu z zaprogramowanym sterownikiem PLC lub komputerem PC mogących komunikować się za pomocą protokołu Modbus możemy automatycznie i bezprzewodowo załączać i wyłączać oświetlenie, automatycznie sterować ogrzewaniem i tworzyć sceny świetlne.

Miejscowe sterowanie oświetleniem poprzez zastąpienie tradycyjnych włączników realizowane jest dzięki bezprzewodowym włącznikom, które możemy przykleić w dowolnym miejscu na ścianie. W dowolnym momencie mamy możliwość zmiany ich lokalizacji. W każdym pomieszczeniu budynku możemy zastosować panel dotykowy w którym zamieszczone są wszystkie zaprogramowane sceny. Dzięki temu szybko i wygodnie załączymy interesującą nas grupę oświetlenia.

Specyfikacja systemu Comodis:

- brak ingerencji w okablowanie;
- zasięg komunikacji: 200–300 m;
- transmisja komunikacji: 868,32 MHz;
- zasilanie wyjść cyfrowych 230V AC;
- zasilanie bateryjne nadajników;
- komunikacja bezprzewodowa;
- załączanie oraz wyłączanie dowolnej liczby urządzeń w tym samym czasie;
- sygnalizacja optyczna o poziomie rozładowania baterii.

## **ZIG BEE**

W dzisiejszych czasach ery automatyzacji i komputeryzacji systemy zarządzania budynkiem nie są dla nas nowością. Aby uzyskać niskie zapotrzebowanie na energię nie wystarczy energooszczędna konstrukcja domu. Budynki te oprócz spełnienia podstawowych kryteriów takich jak: zwarta bryła domu, odpowiednie usytuowanie względem nasłonecznienia, muszą wykorzystywać nowinki techniczne [11].

Coraz częściej normalnym wydaje się być aby poprzez komputer centralnie i z łatwością zarządzać naszym inteligentnym budynkiem. Przykładem takiego rozwiązania jest sieć *Zig Bee*. Wyróżnia się ona niskimi kosztami eksploatacji dzięki niskiemu poborowi energii elektrycznej. Jest tanią technologią co jeszcze bardziej przemawia za wyborem jej do naszej instalacji. Posiada niezbyt skomplikowaną i bardzo prostą budowę. Do działania całego systemu zastosowano częstotliwości, na które nie trzeba specjalnych pozwoleń. Sieć *Zig Bee* pozwala na kontrolowanie różnego rodzaju urządzeniami w domu, a także monitorowaniu ich stanu. Są to m.in. liczniki zużycia energii elektrycznej, liczniki zużycia ciepła, czujniki czy stacje pogodowe. Wszystkie te procesy odbywają się bezprzewodowo.

Cechy charakterystyczne sieci *Zig Bee*:

- przesyłanie danych z prędkością 250 kb/s;
- praca na częstotliwości 2,4 GHz;
- bezprzewodowe zasilanie urządzeń z baterii;
- zasięg komunikacji 10–15 m;
- szyfrowanie danych sieci 128 bitowe poprzez algorytm AES-CCM;
- co najmniej 1 koordynator sieci;
- liczba wszystkich możliwych urządzeń 65 536.

Tab. 1. Porównanie zużycia energii

| Technologia     | Zużycie energii na godzinę | Urządzenie          | Porównanie                                |
|-----------------|----------------------------|---------------------|---|
| Wi-Fi           | 2 kJ                       | Laptop              |   |
| <i>Zig Bee</i>  | 20 mJ                      | Dekoder             | 1/100 000 J<br>w porównaniu do Wi-Fi      |
| Zielona Energia | 20 μJ                      | Przełącznik światła | 1/100 J<br>w porównaniu do <i>Zig Bee</i> |

### **TAP-RADIO**

Jest to przykład systemu komunikacji stosowanego w urządzeniach automatyki budynkowej. Wykorzystuje on ujednoliconą, bezprzewodową komunikację *EnOcean*. System pracuje w paśmie częstotliwości 868 MHz. *Tap-Radio* to produkt firmy Eltako pracujący całkowicie bezprzewodowo. Do komunikowania się z aktorami wykorzystuje fale radiowe.

W sieci *Tap-Radio* mamy możliwość zaprogramowania do 24 bezprzewodowych przycisków: kierunkowych, uniwersalnych, sterowania ręcznego, sterowania centralnego, czujników ruchu.



Tab. 2. Możliwości systemu

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| <b>Instalacja</b>                     | montaż w puszcze podtynkowej  |
| <b>Straty</b>                         | straty w trybie czuwania 0,7 do 0,8 W                                       |
| <b>Bez zbędnego zużywania energii</b> | brak konieczności stosowania obciążenia minimalnego                         |
| <b>Samowystarczalny</b>               | urządzenia bez stosowania zasilania z baterii i sieci (technologia EnOcean) |
| <b>Bezprzewodowy</b>                  | bezprzewodowa komunikacja   |
| <b>Energooszczędność</b>              | pobór prądu 0,4 mA  |
| <b>Technologia</b>                    | sterowanie aplikacją Wibus lub GFA4   |
| <b>Łatwe programowanie</b>            | programowanie poprzez odpowiednie naciśnięcia na klawisz sterujący          |

Potrzebną energię do zainicjowania wysłania sygnału przez sensor do aktora dostarczamy w momencie przyciskania samego przycisku. W tym momencie energia mechaniczna podczas wciskania przycisku jest wykorzystana do wytworzenia i wysłania impulsu sterującego aktorem. Inne urządzenia, do których nie dostarczamy energii mechanicznej także mają eko-zasilanie. Energia do tych urządzeń dostarczana jest dzięki zastosowaniu na nich paneli fotowoltaicznych. Tak zgromadzona energia może być wykorzystana do sterowania klimatyzacją, sterowania termostatem grzejników czy też systemem alarmowym budynku. W tym momencie energia pozyskiwana jest tylko z dwóch technologii: ruchu liniowego podczas przesuwania dłoni po przycisku i energii słonecznej.

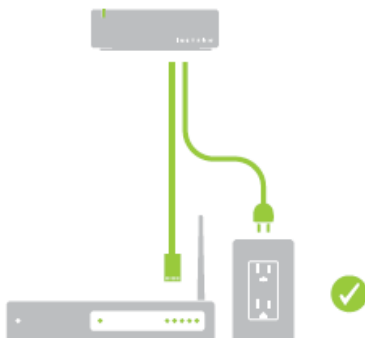
### **INSTEON**

Insteon jest kolejnym inteligentnym systemem sterowania budynku. Jeżeli posiadamy smartfona można powiedzieć, że już wiemy jak korzystać z tego systemu. Insteon nie jest systemem zamkniętym tylko na urządzenia swojej marki. Współpracuje z usługami takich firm jak np.: Google Assistant, Amazon Alexa, Logitech Harmony. Wszystko po to by system był jak najbardziej przyjazny i bezpieczny dla użytkownika. Za pomocą systemu Insteon możemy wykonywać przykładowo następujące czynności:

- sterowanie temperaturą w domu;
- zdalne lub miejscowe monitorowanie domu;
- kontrola otwarcia drzwi, okien i innych;

- sterowanie oświetleniem;
- tworzenie scen.

Aby rozpocząć sterowanie domem za pomocą *Insteon* wystarczy kupić koncentrator. Koncentrator (Rys. 3.) podłączamy za pomocą kabla ethernetowego do naszej domowej sieci Wi-Fi, oraz do źródła zasilania.



Rys. 3. Podłączenie koncentratora Insteon [15]

Kolejnym krokiem jest zainstalowanie aplikacji *Insteon Hub*, która dostępna jest na wszystkie używane obecnie systemy operacyjne. Po połączeniu się z siecią *Insteon* możemy cieszyć się nieograniczoną możliwością sterowania. Bardzo dużą zaletą tego systemu jest brak miesięcznych opłat za korzystanie z aplikacji *Insteon Hub*, co pozwala na oszczędność pieniędzy dla użytkownika. Wszystkie urządzenia bezprzewodowe *Insteon* zasilane są za pomocą baterii. Mały pobór mocy przez urządzenia zapewnia nieprzerwane działanie nawet przez 10 lat bez wymiany baterii.

Specyfikacja systemu *Insteon*:

- rodzaj pamięci systemu: EEPROM;
- częstotliwość zasilania systemu: 131,65 kHz;
- maksymalna liczba połączeń: 992;
- maksymalna liczba kontrolowanych scen: 256;
- maksymalna liczba scen: 992;
- minimalny poziom odbioru: 40 mV;
- częstotliwość: 915 MHz;
- zasięg systemu: 250 stóp;

- napięcie sterowania urządzeniami: 24 VAC;
- pobór mocy modemu: 2 W;
- zasilanie: 125 VAC, 50/60 Hz.

### **MYRIANED**

Komunikacja w systemie *MyriaNed* oparta jest na węzłach. System nie posiada jednego głównego kontrolera ani routera. Urządzenia powiązane są w węzły. Węzły przekazują informację pomiędzy sobą, aby końcowo trafiła do odpowiedniego adresata. Do komunikacji wykorzystuje standardową transmisję radiową. Informacje wysyłane są w odpowiednich odstępach czasowych do wszystkich sąsiadujących urządzeń. Taka informacja przesyłana jest kilkakrotnie do wszystkich węzłów w sieci.

Wszystkie węzły możemy w każdej chwili konfigurować i przemieszczać. Sieć będzie konfigurowała się sama dzięki protokołowi GOSSIP. Aby zmniejszyć zapotrzebowanie energii zastosowane są odpowiednie cykle pracy. Informacja pomiędzy nimi wysyłana jest w cyklach. Kiedy informacja jest wysyłana wszystkie urządzenia są aktywne, później przechodzą w tryb gotowości. Aby w trakcie wysyłania informacji wszystkie urządzenia były aktywne i otrzymały informację są z sobą zsynchronizowane. Pozwala to na jednoczesne wybudzenie wszystkich węzłów.

Specyfikacja systemu:

- częstotliwość komunikacji: 2,4 GHz, 868 MHz;
- topologia sieci: siatka;
- brak koordynatora systemu;
- zasilanie poprzez baterię AAA 15 V;
- programowalne moduły przez USB;
- 17 wyjść pinowych umożliwiających połączenia;
- pamięć flash 128 kB.

### **LO-RA**

LoRa inaczej (ang. *Long Range*). Jest to bardzo szeroko rozwinięta bezprzewodowa technologia. Jest rozwiązaniem firmy Semtech opierająca się na bezprzewodowej platformie radiowej.

Komunikacja odbywa się poprzez sieć radiową zgodnie z technologią LoRa. Jest to komunikacja wąskopasmowa typu LPWAN (ang. *Low Power Wide Area Network*). LoRaWAN oparta jest na nielicencjonowanym widmie radiowym

oraz wykorzystywana jest do zastosowań w paśmie medycznym, przemysłowym i naukowym.

Technologia LoRa zapewnia połączenie pomiędzy urządzeniami IoT umożliwiając przesyłanie danych, komunikację pomiędzy urządzeniami kontroli i zarządzanie. Urządzenia pracujące w tej technologii są fabrycznie skonfigurowane i posiadają wbudowany moduł LoRa. Informacje zbierane z urządzeń przesyłane są do serwerów, gdzie zostają analizowane. Na podstawie tych informacji systemy zarządzania sterują urządzeniami wykonawczymi jak też uczą się i dostosowują do nowych problemów.

Specyfikacja sieci LoRa:

- mały pobór mocy: 4,2 mA;
- bezprzewodowa komunikacja;
- duży zasięg do 15 km;
- łatwość zastosowania i późniejszej rozbudowy;
- bezpłatna sieć;
- prędkość przesyłu danych: 300 bit/s;
- niskie koszty eksploatacji;
- możliwa liczba urządzeń: do 20 tys.;
- łączy ze sobą wszystkie obecnie dostępne technologie komunikacji bezprzewodowej.

## **SYSTEM STEROWANIA BUDYNKIEM ABB FREE@HOME**

W skład systemu *ABB free@home* wchodzi następujące urządzenia, które możemy podzielić na trzy zasadnicze grupy:

Urządzenia odpowiedzialne za prawidłową pracę systemu

- system Access Point;
- zasilacz systemowy.

Sensory:

- urządzenia sterujące;
- panele dotykowe;
- czujniki temperatury;
- regulator temperatury.

Aktory:

- przełączniki;
- aktory przełączające obciążenia;
- sterowniki rolet;

- ściemniacze oświetlenia.  
Podstawowe cechy systemu:
- maksymalna długość przewodów w całej instalacji jaką możemy ułożyć wynosi 1000 m;
- maksymalna odległość pomiędzy ostatnim elementem systemu a zasilaczem jest ograniczona do 350 m;
- maksymalna odległość pomiędzy dwoma elementami systemu 700 m.

W całej instalacji, jaką chcemy wykonać mamy możliwość zamontowania do 64 urządzeń (bez zasilacza), system Access Point jest również traktowany jako element całego systemu! Do połączenia magistralnego całego systemu należy zastosować dedykowaną skrętkę dwuparową firmy KNX J-Y(ST)Y 2 x 2 x 0,8.

Jak każde urządzenie elektryczne system Access Point i komunikujące się z nim urządzenia wymagają do prawidłowego działania odpowiedniego zasilania. W tym celu należy zastosować dedykowany do tego zasilacz, dzięki któremu na magistrali uzyskujemy prawidłowe napięcie pracy. Zasilacz montujemy w rozdzielnicie elektrycznej na szynie TH35 razem z zabezpieczeniami nadprądowymi i tym podobnymi urządzeniami elektrycznymi.



Rys. 4. Ogólny schemat połączenia systemu: 01 – System Access Point; 02 – Zasilacz systemowy; 03 – Sensor oświetlenia; 04 – Sensor sterowania temperaturą; 05 – Sensor sterowania żaluzjami; 06 – Urządzenia sterowania mobilnego [20]

Ogólnie ujmując wszystkie urządzenia instalacji połączone do magistrali połączone są ze sobą równolegle.

Wyróżniamy dwa sposoby doprowadzenia magistrali:

- połączenie centralne;
- połączenie zdecentralizowane.

Zalety połączenia centralnego:

- wiele aktorów zainstalowanych w jednym module umieszczonym w rozdzielnicy elektrycznej;
- łatwość podłączenia sensorów w puszcze podtynkowej, tylko do kabla magistralnego;
- łatwa możliwość rozbudowania instalacji.

Zalety połączenia zdecentralizowanego:

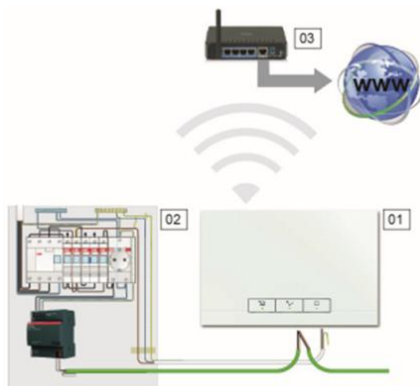
- sensory i aktory są wstępnie skonfigurowane;
- zasilanie 230 V doprowadzamy w tradycyjny sposób;
- awaria jednego sensora/aktora nie powoduje awarii całej instalacji;
- lokalizacja urządzeń w obiekcie.

Wszystkie urządzenia instalacji ABB Free@home możemy odnaleźć w bardzo łatwy sposób. Wystarczy tylko, że podczas ich montażu będziemy pamiętać o oderwaniu z nich identyfikatora. Do każdego urządzenia firmy ABB free@home został fabrycznie naklejony czarny pasek z numerem identyfikacyjnym.

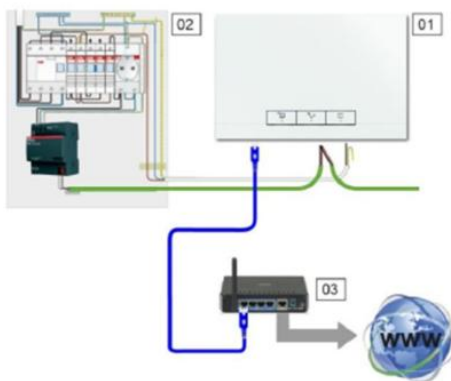
Ostatnim warunkiem jakim musimy spełnić aby w pełni korzystać z funkcji systemu oraz jednocześnie z sieci internetowej (np. przeglądanie facebook'a) jest ich połączenie. Powinniśmy wykonać to po końcowym zaprogramowaniu i uruchomieniu systemu przez użytkownika. Do tego potrzebny będzie nam router obsługujący interfejs Ethernet bądź WLAN oraz kabel Ethernetowy.

Poniżej wymieniono możliwe konfiguracje połączeń systemu Access Point z domową siecią internetową:

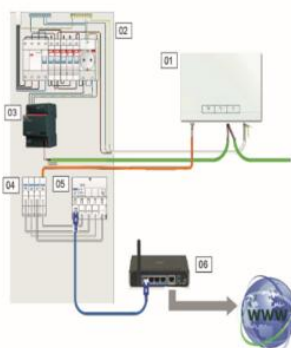
- połączenie bezprzewodowe;
- połączenie przewodowe;
- połączenie strukturalne.



Rys. 5. Połączenie bezprzewodowe systemu do sieci Internetowej [20]



Rys. 6. Połączenie za pomocą kabla ethernetowego [20]



Rys. 7. Połączenie strukturalne do głównej rozdzielnicy [20]

## PODSUMOWANIE

Celem pracy *Model inteligentnego budynku w oparciu o system ABB Fre-e@home* było przybliżenie budowy i zasady działania bezprzewodowych inteligentnych instalacji elektrycznych. Do wyboru mamy kilkanaście różnych systemów w zależności o tego, czego potrzebuje indywidualny użytkownik, od mniej do bardziej skomplikowanych. Inteligentne systemy sterowania pozwalają wbrew dużym kosztom ich zakupu, zaoszczędzić nasz własny czas poświęcony na wykonywanie i pamiętanie o niektórych czynnościach, które automatyka wykonałaby za nas oraz jakże ważne pieniądze wydawane na rachunki za energię elektryczną. Są to technologie, które dopiero rozwijają skrzydła i nie wszyscy wiedzą o ich dostępności. Z biegiem czasu będą stawać się coraz bardziej popularne w zastosowaniu i tańsze w zakupie.

## LITERATURA

- [1] Fouladi B. i Ghanoun S., *Ocena bezpieczeństwa protokołu bezprzewodowego Z-Wave*. Czarny kapelusz USA, 2013, 24, 1–2
- [2] Długosz M., Chronowski J., Baranowski J., Piątek, P., Mitkowski, W., & Skruch, P., *Bezprzewodowy system automatyki domowej pracujący w standardzie sieci Z-Wave*. „Pomiary Automatyka Robotyka” 2013, 17
- [3] Ożadowicz A. & Grela J., *Interaktywne sterowanie i spersonalizowana obsługa użytkowników budynków – mikrolokalizacja w systemach automatyki*, „Napędy i Sterowanie”, 2016, 18
- [4] Wang C., Sohraby K., Jana R., Ji L. i Daneshmand M. *Komunikacja głosowa przez sieci zigbee*, „Magazyn komunikacyjny IEEE”, 2008, 46, 1, 121–127
- [5] Ploennigs J., Ryssel U. i Kabitzsch K. *Analiza wydajności protokołu sieci czujników bezprzewodowych EnOcean*. 15. konferencja IEEE na temat nowych technologii i automatyzacji fabryk, ETFA 2010, IEEE, 1–9
- [6] Martin G. i EnOcean, *VPSA Bezprzewodowe czujniki do automatyki domowej i budynkowej – sprawdzony standard wykorzystuje zbieranie energii*. EnOcean white paper, 2007
- [7] Brewer DC, *Automatyzacja domu jest prosta: zrób to sam, wiedz jak używać UPB, Insteon, X10 i Z-Wave*, Que Publishing, 2013
- [8] Gomez C. i Paradells J. *Bezprzewodowe sieci automatyki domowej: przegląd architektur i technologii*. „IEEE Communications Magazine”, 2010, 48 (6), 92–101
- [9] Robles RJ i Kim TH (2010). *Zastosowania, systemy i metody w technologii inteligentnego domu*: A. Int. Journal of Advanced Science And Technology



- [10] Augustin A., Yi J., Clausen T. i Townsley W., *Badanie LoRa: sieci dalekiego zasięgu i niskiej mocy do Internetu przedmiotów*. „Sensors”, 2016, 16 (9), 1466
- [11] Majcher J., *Automatyka budynkowa: Modny gadżet czy podstawowy element budynku*. Poznan University of Technology Academic Journals, No 87 Electrical Engineering 2016
- [12] [www.nis.com.pl](http://www.nis.com.pl), zasoby z dnia 21.11.2020
- [13] [www.comodis.pl](http://www.comodis.pl), zasoby z dnia 21.11.2020
- [14] [www.tap-radio.com](http://www.tap-radio.com), zasoby z dnia 21.11.2020
- [15] [www.insteon.com](http://www.insteon.com), zasoby z dnia 21.11.2020
- [16] [www.devlab.nl](http://www.devlab.nl), zasoby z dnia 21.11.2020
- [17] [www.myriamodem.vanmierlo.com](http://www.myriamodem.vanmierlo.com), zasoby z dnia 21.11.2020
- [18] [www.semtech.com](http://www.semtech.com), zasoby z dnia 21.11.2020
- [19] [www.sabur.com.pl](http://www.sabur.com.pl), zasoby z dnia 21.11.2020
- [20] [www.new.abb.com](http://www.new.abb.com), zasoby z dnia 21.11.2020

## **SYSTEMY STOSOWANE W INTELIGENTNYCH BUDYNKACH**

### **WSTĘP**

Inteligentne budynki znacząco poprawiają komfort i bezpieczeństwo, a przede wszystkim pozwalają na znaczne ograniczenie kosztów eksploatacyjnych, co prowadzi do zwrotu inwestycji w dłuższym okresie czasowym. Z tych względów, jak i ogólnego spadku cen systemów dokonanego za sprawą rozwoju technologicznego, coraz większa liczba konsumentów indywidualnych jest skłonna wprowadzić inteligentne technologie do swojego mieszkania. Dostępnych na rynku systemów jest naprawdę wiele, przez co wybór konkretnego nie jest prostą decyzją, i wciąż wiąże się ze sporym kosztem na tle instalacji tradycyjnej. W niniejszym artykule skupiono się na przedstawieniu i porównaniu wybranych standardów inteligentnej automatyki budynkowej, ze względu na ich cechy charakterystyczne. Omówione zostaną systemy typu: KNX, LCN, Fibaro, LonWorks, WAGO, xComfort, Teletask, Vision BMS, F&Home Radio.

### **PODZIAŁ SYSTEMÓW**

Systemy można podzielić na trzy zasadnicze kategorie odnoszące się do: medium komunikacji urządzeń automatyki budynkowej, struktury (otwartości na wielu producentów), oraz sposobu sterowania (Rys. 2, patrz rys. na 108). Poszczególne rozwiązania posiadają swoje cechy charakterystyczne, które zostaną przybliżone. Rozwiązania zawarte w podziałach są również stosowane dla określonych systemów w konfiguracjach pośrednich, np. łączących oba media komunikacji (przewodowe i bezprzewodowe), lub sposoby sterowania (centralne i rozproszone). Schemat systemu Vision BMS widoczny na rysunku 1, bardzo dobrze ilustruje przykładowe możliwości oferowane przez inteligentne budynki,

---

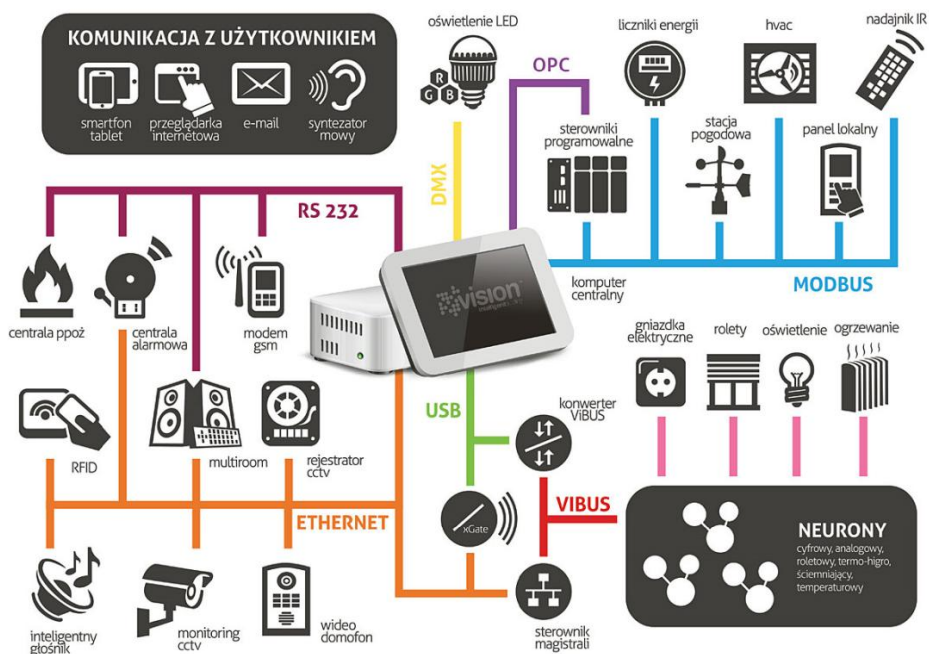
<sup>1</sup> Politechnika Lubelska, WEiI, robert.rozwadowski@pollub.edu.pl

oraz dowolność integracji różnych protokołów komunikacyjnych w jednym systemie, pod warunkiem, że dana firma zdecyduje się na takie możliwości.

Podział systemów ze względu na medium komunikacyjne [2, 8, 9]:

- systemy przewodowe;
- systemy bezprzewodowe.

Komunikacja pomiędzy urządzeniami w systemach bazujących na komunikacji przewodowej, odbywa się za pomocą przeznaczonych do tego celu przewodów sterujących lub istniejącej już instalacji elektrycznej obiektu. Cechuje się dużą odpornością na zakłócenia oraz niskimi opóźnieniami i wysoką przepustowością przesyłanych danych, a także większym zasięgiem od systemów bezprzewodowych. Konieczność fizycznego połączenia pomiędzy urządzeniami (np. za pomocą magistrali), wiąże się z koniecznością ingerencji w strukturę obiektu, przez co utrudniona jest instalacja i późniejsza możliwość rozbudowy systemu w budynkach ukończonych. W zależności od wielkości budynku, rosną również koszty wymagane na zakup przewodów sterujących o odpowiedniej długości, w porównaniu z rozwiązaniami bezprzewodowymi [2, 8, 9].



Rys. 1. Poglądowy schemat systemu Vision BMS [17]

Bezprzewodową komunikację realizuje się poprzez zastosowanie fali radiowych o ściśle przeznaczonym do tego celu paśmie o częstotliwości 868 MHz, lub fali elektromagnetycznych w zakresie podczerwieni. Brak konieczności prowadzenia przewodów sprawia, że systemy takie mogą być z łatwością stosowane w każdym budynku. Umożliwiają prostą rozbudowę, co pozwala na wprowadzanie stopniowe, z kolei mogą być wrażliwe na zakłócenia (niestabilność pracy), a także posiadają dużo mniejsze przepustowości i dużo większe opóźnienia w przesyłaniu informacji, uzależnione od odległości pomiędzy odbiornikami [2, 8–9]. Z racji komunikacji bezprzewodowej, część urządzeń (np. przyciski) może wymagać zasilania bateryjnego, które trzeba będzie wymieniać lub ładować (przeważnie co kilka lat), co może sprawiać pewne niedogodności.

Podział systemów ze względu na strukturę [2, 7–9]:

- struktura otwarta;
- struktura zamknięta.

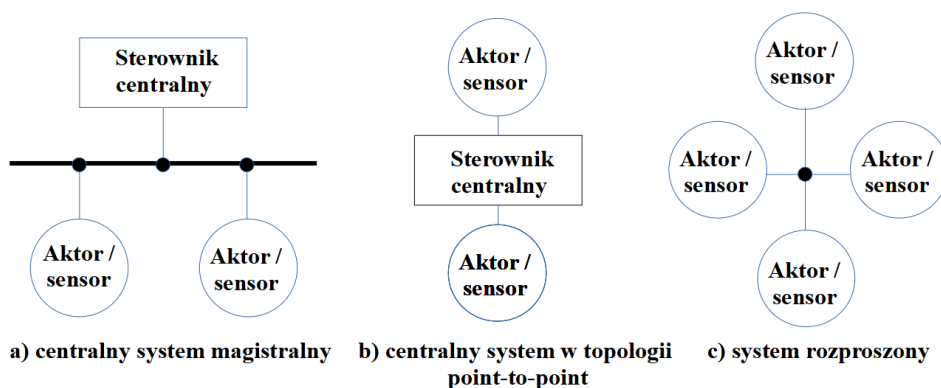
Struktura otwarta charakteryzuje się jawnym i otwartym protokołem komunikacyjnym o ogólnie dostępnym i upowszechnionym standardzie, jak i formacie danych wraz z całą jego dokumentacją umożliwiającą: tworzenie urządzeń, programowanie, jak i rozwój oprogramowania przez osoby trzecie lub inne firmy. Umożliwia to produkcję urządzeń o określonym standardzie przez wiele organizacji jednocześnie. Powyższe fakty wpływają na dynamiczny rozwój danego standardu i zwiększenie różnorodności oferowanych produktów i ich niższe ceny, ale może skutkować to niższą niezawodnością urządzeń i potencjalne problemy z kompatybilnością poszczególnych modułów, pochodzących od różnych producentów [2, 7–9]. Niższa niezawodność może wynikać z braku konieczności przestrzegania ścisłych wytycznych przy projektowaniu, jak i przeprowadzania dogłębnych testów pomiędzy produktami pochodzącymi od różnych firm.

Struktura zamknięta oznacza niejawną komunikację (firmową), wykorzystywaną tylko i wyłącznie w urządzeniach produkowanych przez jedną firmę na potrzeby danego systemu. W tego typu systemach, nie ma możliwości podłączania urządzeń innych producentów, co przekłada się na większą niezawodność oraz pełną kompatybilność wypuszczanego na rynek sprzętu, zapewnianą przez określone wymagania oraz dokładne testy urządzeń, ułatwione poprzez mniejszą ilość oferowanych produktów, niż ma to miejsce w systemach o strukturze otwartej. Powyższe fakty oraz brak konkurencji ze strony innych producentów tworzących urządzenia w obrębie danego standardu, objawia się również bardzo często wyższymi cenami od rozwiązań otwartych. Programowa-

nie i naprawy systemu realizowane są przeważnie przez serwis producenta, wykorzystujący specjalistyczne oprogramowanie (nieupublicznione) [2, 7–9].

Podział systemów ze względu na sposób sterowania [9, 18]:

- systemy centralne (scentralizowane);
- systemy rozproszone.



Rys. 2. Sposoby sterowania w inteligentnych budynkach, opracowanie własne na podstawie [9]

W systemach centralnych sterowanie i kontrola wszystkich elementów wykonawczych (aktorów), odbywa się przez główne urządzenie sterujące (sterownik centralny) na podstawie odczytów danych z czujników lub detektorów, szeroko rozumianych jako sensory. Jako zalety przypisuje się ich łatwiejsze wykonanie i programowanie, a jako główną wadę, brak możliwości automatycznego zarządzania budynkiem w przypadku awarii głównego sterownika. W takiej sytuacji pozostaje opcja ręcznego sterowania poszczególnymi urządzeniami osobno, bezpośrednio na miejscu. Magistrala stanowi linię centralną, do której podłączane są inne urządzenia, wymaga mniejszej liczby przewodów do podłączenia poszczególnych elementów, co umożliwia redukcję kosztów i przekłada się na większą przejrzystość instalacji w przypadku konfiguracji lub rozbudowy, niż rozwiązanie typu *point-to-point*. Przerwanie przewodu magistralnego, może spowodować utratę możliwości sterowania nawet większością podłączonych elementów, w zależności od miejsca wystąpienia nieciągłości. W topologii *point-to-point* wszystkie urządzenia są podłączone bezpośrednio do głównego sterownika oddzielnymi przewodami. Uzyskuje się w ten sposób wzrost niezawodności w przypadku przerwania połączenia, podczas takiego zdarzenia, utraczona zostanie możliwość komunikacji tylko jednego elementu [9, 18].

Systemy rozproszone w odróżnieniu od scentralizowanych, nie posiadają głównego sterownika odpowiedzialnego za zarządzanie całą instalacją. Rozproszenie systemu polega na zastosowaniu niezależnych czujników i aktorów, wyposażonych we własne mikrokontrolery z odpowiednią aplikacją, umożliwiającą wymianę danych z dowolnymi innymi urządzeniami wchodzącymi w skład systemu. Indywidualne sterowniki interpretując otrzymywane informacje, dostosowują swoje działanie zgodnie z otrzymanym poleceniem. Komunikacja odbywa się w sposób bezpośredni, pomiędzy nadajnikiem i odbiornikiem. Awaria poszczególnych urządzeń nie zakłóca pracy reszty systemu, co stanowi istotną zaletę. Konieczność stosowania mikroprocesorów w każdym urządzeniu, odpowiednio zwiększa ceny poszczególnych urządzeń. Wymusza także konieczność programowania poszczególnych urządzeń osobno, przez co proces ten może być bardziej skomplikowany i czasochłonny, niż w rozwiązaniach scentralizowanych [9, 18].

## PRZEDSTAWIENIE WYBRANYCH SYSTEMÓW

Istnieje wiele różnego rodzaju systemów (standardów) inteligentnej automatyki budynkowej, pochodzących od wielu firm, przez co wybór tego jedyne, nie do końca jest prostą decyzją. Zastosowanie konkretnego standardu musi być więc przemyślane, by optymalnie dobrać i wykorzystać oferowane przez niego możliwości i funkcje. Na wybór systemu na pewno będzie miało wpływ wiele czynników, takich jak: typ lub wielkość budynku (np. dom jednorodzinny), rodzaj budynku (istniejący lub nowopowstający), oferowane funkcje, a w głównej mierze cena systemu na tle konkurencji.

KNX/EIB (ang. *European Installation Bus*) jest obecnie jednym z najbardziej znanych otwartych standardów stosowanych w inteligentnych budynkach, rozwijany od ponad 30 lat z bardzo silną pozycją na rynku. Umożliwia współpracę urządzeń pochodzących od ponad kilkuset producentów takich jak, np. ABB, Philips, Siemens. Oferuje pełną gamę możliwości i ogromny wybór produktów spośród 8 tysięcy różnych urządzeń. Do komunikacji wykorzystywana jest magistrala lub sieć bezprzewodowa o architekturze rozproszonej. Programowanie odbywa się za pomocą ogólnie dostępnego programu ETS (ang. *Engineering Tool Software*). System znajduje zastosowanie we wszystkich rozmiarach budynków, ze względu na możliwość integracji ponad 50 tysięcy urządzeń jednocześnie. Przykładem zastosowania systemu, może być obiekt biurowy w Poznaniu o powierzchni 32 tys. m<sup>2</sup> (Poznańskie Centrum Finansowe) [6, 11].

LCN (ang. *Local Control Network*) powstał 1992 roku, do komunikacji wykorzystuje instalację elektryczną obiektu poprzez dodatkową żyłę i przewód neutralny, co pozwala zredukować koszty przy rozległych budynkach. Za sprawą możliwości podłączenia ogromnej liczby modułów, system steruje torem wyścigowym w Niemczech (Motorsport Arena Oschersleben) lub wieżowcem Main Tower we Frankfurcie [12, 16].

Fibaro jest systemem wynalezionym i produkowanym w Polsce, opiera się o komunikację bezprzewodową na technologii Z-Wave. Cechuje go struktura otwarta, więc zainteresowani producenci mogą nawiązać współpracę. Centrala *Home Center* (Rys. 3), zarządza i komunikuje się ze wszystkimi urządzeniami oraz przetwarza otrzymywane informacje. W ofercie dostępne jest około 2000 produktów różnych marek. Z racji faktu, iż centrala obsługuje maksymalnie do 230 urządzeń jednocześnie, system znajdzie zastosowanie jedynie w mniejszych obiektach, takich jak domy jednorodzinne. Produkty cechuje elegancki i nowoczesny wygląd, który może chwycić za serce niejednego konsumenta [13].



Rys. 3. Centrala Fibaro Home Center 3 [13]

LonWorks w skrócie LON (ang. *Local Operating Network*), charakteryzuje się elastyczną topologią i licznymi funkcjami komunikacyjnymi realizowanymi za pomocą otwartego, znormalizowanego protokołu LonTalk. Elastyczna topologia jest osiągnięta za sprawą wielu mediów komunikacyjnych, takich jak magistrala przewodowa, przewody energetyczne, fale radiowe, podczerwień, światłowód. Węzeł stanowi podstawowy element sieci, zawierający mikroprocesorowy kontroler (*Neuron Chip*) nadzorujący wymianę danych. Poszczególne urządzenia komunikują się w sposób rozproszony. Znajduje szerokie zastosowanie również w wielu dziedzinach, np. w przemyśle do odczytu i zbierania danych z ogromnej liczby mierników jednocześnie [6, 10].

System WAGO oparty o sterowniki PLC, cechuje wiele możliwości w zakresie integracji różnych protokołów komunikacyjnych i systemów jednocześnie. Za sprawą różnych modułów komunikacyjnych, dających możliwość integracji

wielu znanych standardów (KNX, LonWorks, BACnet), elastyczność w wyborze produktów, jak i zastosowaniach jest praktycznie nieograniczona. System sprawdzi się zarówno w przemyśle, jak i budynkach mieszkalnych. Pomorski Park Naukowo-Technologiczny o powierzchni bliskiej 80 tys. m<sup>2</sup>, zawiera rozwiązania firmy WAGO, w celu sterowania oświetleniem, a także monitorowania zużycia energii [10].

System xComfort powstał z myślą o inteligentnych domach. Do komunikacji wykorzystuje transmisję bezprzewodową. Umożliwia programowanie w dwóch trybach. W trybie BASIC następuje to automatycznie, za pomocą aktywowania przycisku w odbiorniku i nadajniku, a w trybie COMFORT za pomocą programatora i aplikacji komputerowej, pozwalającej na dostosowywanie szczegółowych i zaawansowanych ustawień. Każdy odbiornik posiada możliwość wzmacnia sygnału, co skutecznie poprawia zasięg systemu. Oprogramowanie xVISION służy do sterowania i wizualizacji domu za pomocą komputera. Panel sterujący *Room* lub *Home Manager*, stanowi jednostkę centralną pomagającą przy sterowaniu urządzeniami i pozwala na zarządzanie całym systemem [14].

System Teletask składa się z jednostki centralnej lub wielu jednostek współpracujących ze sobą, połączonych w klaster. Produkty cechuje nowoczesny wygląd, zachowany dla wszystkich urządzeń poprzez producenta (struktura zamknięta). Tak jak w wielu systemach i tutaj zastosowano budowę modułową, pozwalającą na dostosowanie instalacji do potrzeb użytkownika. Sterowanie może być przeprowadzane poprzez np. panele dotykowe z serii Aurus [15].

Vision BMS to system wprowadzony przez Polską firmę APA Group. Należy do grupy przedstawicieli rozwiązań otwartych, o sterowaniu scentralizowanym. Obsługuje znaczą część protokołów, przez co współpracuje ze wszystkimi podsystemami dostępnymi na rynku. Jednostkę centralną stanowi komputer PC, wyposażony w system Windows Embedded, zapewniający wysoką wydajność, stabilność i bezpieczeństwo. W odróżnieniu od innych systemów, stanowi zaawansowane oprogramowanie zarządzające budynkiem, a nie dedykowane urządzenia sterujące, choć również takie posiada w swojej ofercie. Programowanie odbywa się za pomocą przejrzystego graficznego interfejsu, które może być przeprowadzane także zdalnie. W celu zapewnienia stabilności pracy, zdecydowano się na komunikację głównie przewodową, ale nie tylko [17].

F&Home Radio to kolejny Polski przedstawiciel. System powstał w roku 2012, zbudowany w oparciu o serwer centralny wykorzystujący system operacyjny Linux. Cechuje się wysoką wydajnością oraz niskim poborem energii. Serwer steruje wszystkimi elementami za pomocą dwukierunkowej komunikacji



bezprzewodowej i to w nim znajduje się cała logika. Zastosowanie dwóch niezależnych kanałów pracujących równocześnie, skutecznie zwiększa odporność na zakłócenia zewnętrzne. Oferuje możliwość swobodnego programowania za pomocą aplikacji graficznej (Konfigurator). W celu rozszerzenia zasięgu, stosuje się wzmacniacze sygnału. Firma produkuje również system przewodowy F&Home (bez dopisku radio). Należy do jednych z tańszych rozwiązań dostępnych na rynku [3, 4].

## PORÓWNANIE SYSTEMÓW

W tabeli 1 dokonano porównania ze względu na: medium transmisji wykorzystywanej do komunikacji pomiędzy urządzeniami, sposób sterowania (centralny lub rozproszony), maksymalną liczbę urządzeń obsługiwanych przez system jednocześnie (wielkość systemu) oraz potencjalną cenę w odniesieniu do innych systemów. Cena pełni funkcję czysto poglądową, ponieważ w zależności od wielkości budynku lub wybranych funkcji, może się znacząco różnić.

*Tabela 1. Porównanie systemów cz.1, opracowanie własne na podstawie [1, 4, 5, 9–15, 17]*

| System       | Transmisja  | Struktura | Sterowanie             | Liczba urządzeń  | Potencjalna cena         |
|--------------|---|-----------|------------------------|------------------|--------------------------|
| KNX          | przewodowa, bezprzewodowa   | otwarta   | rozproszone            | >50 000          | wysoka                   |
| LCN          | instalacja elektryczna  | zamknięta | rozproszone            | < 30 000 modułów | wysoka/<br>bardzo wysoka |
| Fibaro       | bezprzewodowa   | otwarta   | centralne              | do 230           | niska/średnia            |
| LonWorks     | przewodowa, instalacja elektrycznej, światłowodowa, bezprzewodowa | otwarta   | rozproszone            | >32 000          | średnia/wysoka           |
| WAGO         | przewodowa, bezprzewodowa   | otwarta   | centralne, rozproszone | >12 000          | średnia/wysoka           |
| xComfort     | bezprzewodowa   | zamknięta | centralne, rozproszone | ~ 3 000          | średnia                  |
| Teletask     | przewodowa  | zamknięta | centralne              | >4 000           | średnia/wysoka           |
| Vision BMS   | przewodowa, bezprzewodowa   | otwarta   | centralne              | brak danych      | niska/średnia            |
| F&Home Radio | bezprzewodowa   | zamknięta | centralne              | brak danych      | niska/średnia            |

Tabela 2 zawiera porównania do innych inteligentnych systemów, przez wzgląd na: możliwości oferowane przez system (mnogość funkcjonalności oraz opcji), kontrolę zdalną realizowaną poszczególnymi metodami, liczbę oferowanych produktów dostępnych na rynku, a także kompatybilność z innymi systemami (standardami) lub protokołami transmisyjnymi. Puste pola w kolumnie z kompatybilnością, oznaczają brak szczegółowych informacji dla danego systemu, co nie świadczy o całkowitym braku takich możliwości.

Tabela 2. Porównanie systemów cz.2, opracowanie własne na podstawie [1, 4, 5, 9–15, 17]

| <b>System</b> | <b>Możliwości</b> | <b>Kontrola zdalna</b>                                  | <b>Oferta produktów</b> | <b>Kompatybilność</b>   |
|---------------|-------------------|---|-------------------------|---|
| KNX           | bardzo duże       | Internet, GSM, piloty, panele sterujące                 | bardzo duża             | –   |
| LCN           | duże              | Internet, GSM, piloty, panele sterujące                 | mała/średnia            | –   |
| Fibaro        | duże              | Internet, GSM, głosowa, piloty radiowe                  | średnia                 | Z-Wave, ZigBee, Nice, Apple HomeKit   |
| LonWorks      | bardzo duże       | Internet, GSM, piloty                                   | bardzo duża             | -   |
| WAGO          | bardzo duże       | Internet, GSM, piloty, panele sterujące                 | bardzo duża             | BACnet, KNX, LonWorks, SMI, Modbus, DMX MP-Bus, DALI, EnOcean                 |
| XComfort      | duże              | Internet, GSM, piloty radiowe, panele sterujące         | mała/średnia            | –   |
| Teletask      | duże              | Internet, GSM, panele sterujące, TV                     | mała/średnia            | DoIP  |
| Vision BMS    | bardzo duże       | Internet, GSM, LAN, panele sterujące, piloty            | bardzo duża             | Modbus, OPC, DMX512, VoIP, LonWorks, KNX BACnet, M-Bus, DALI, 1-wire, Wiegand |
| F&Home Radio  | duże              | Internet, GSM, LAN, Bluetooth, piloty, panele sterujące | mała/średnia            | –   |

## ZALETY INTELIGENTNYCH SYSTEMÓW

Inteligentne instalacje zapewniają nie tylko komfort i bezpieczeństwo, ale przede wszystkim znacząco ograniczają zużycie energii, które ma znaczący wpływ na środowisko, szczególnie w Polsce, gdzie dominują elektrownie konwencjonalne. Ograniczenie zużycia energii uzyskuje się głównie poprzez automatyczną regulację na podstawie informacji z sensorów, poprzez ograniczenie czasu pracy lub mocy urządzeń w sytuacjach, gdy ich działanie nie jest wymagane, lub jest wymagane w konkretnym stopniu. Automatyczna regulacja wpływa korzystnie na zużycie poszczególnych elementów (np. źródeł światła), w efekcie czego czas eksploatacji się wydłuża. Ograniczenie kosztów eksploatacji w dłuższej perspektywie czasowej, pozwala na zwrot zainwestowanych funduszy, przez co inteligentne systemy są chętnie wprowadzane do dużych inwestycji, takich jak budynki użyteczności publicznej, wieżowce, obiekty sportowe.

Programowanie również stanowi istotną zaletę, daje możliwość łatwej konfiguracji dowolnych elementów w każdej chwili tak, by dostosować obiekt lub określone pomieszczenie do specyficznych preferencji użytkowników. W instalacji tradycyjnej, każda zmiana sposobu działania instalacji lub urządzenia, oznaczała by konieczność fizycznej zmiany połączeń oraz byłaby bardzo trudna do przeprowadzenia. Bardzo ważną funkcją jest sterowanie zdalne i wizualizacja, dlatego każdy z przedstawionych systemów posiada bogate możliwości w tym zakresie. Sterowanie zdalne w zależności od sposobu jego realizacji umożliwia, np. zarządzanie i wizualny pogląd budynku z dowolnego miejsca.



Rys. 4. Aeotec LED Bulb 6, czyli oświetlenie zgodne ze standardem Z-Wave [19]

Możliwości wprowadzenia systemu inteligentnego lub urządzenia, nie ograniczają się tylko i wyłącznie do rozwiązań dedykowanych. Majsterkowicze w tym zakresie także posiadają szerokie możliwości. Do tego celu może posłu-

żyć platforma Arduino, składająca się z dedykowanej aplikacji do programowania oraz samych modułów sterujących (płytek). Określone moduły są zgodne ze standardem *Z-Wave*, który jest wykorzystywany również w dedykowanych systemach inteligentnej automatyki budynkowej. W sklepach dostępna jest cała gama produktów zgodna z tym standardem, np. sensory, przyciski, oświetlenie LED (Rys. 4, patrz rys. na s. 114), więc nic nie stoi na przeszkodzie, by stworzyć taki system od podstaw i połączyć go zarówno z własnoręcznie wykonanymi urządzeniami, jak i gotowymi. Inną możliwością jest podpięcie skonstruowanego elementu do systemu dedykowanego, zgodnego z takim standardem.

## **PODSUMOWANIE**

Wszystkie wykorzystywane systemy w inteligentnych budynkach posiadają bardzo zbliżone funkcje i możliwość integracji elementów typu: rolety, ogrzewanie, wentylacja, klimatyzacja, alarmy przeciwwłamaniowe i przeciwpożarowe, monitoring itp. Elementy różnią się przeważnie stopniem zaawansowania, wpływającym na ilość dostępnych funkcji dla poszczególnych urządzeń. Główne różnice są zauważalne w budowie samych systemów (medium danych, struktura, sposób sterowania), co wpływa na wykorzystywane protokoły i maksymalną liczbę elementów możliwych do zintegrowania w obrębie jednego systemu. Liczba elementów może ograniczać zastosowania określonych systemów w rozległych budynkach lub kompleksach. Ważną kwestię stanowi również cena poszczególnych rozwiązań, i odnosi się ona do wielu czynników m. in. do ilości oferowanych funkcji (opcji, bajerów) oraz samej budowy i struktury, wpływającej na możliwość (system otwarty) lub brak możliwości (system zamknięty) współpracy różnych producentów w celu szybszego rozwoju i bogatszej oferty urządzeń. Kompatybilność systemów z innymi systemami lub protokołami komunikacyjnymi, jeszcze bardziej poszerza możliwości danego systemu, przez co staje się on bardziej uniwersalny.

Systemy bezprzewodowe stosuje się głównie w istniejących już budynkach, ponieważ jest to opcja znacznie bardziej przystępna, niewymagająca modyfikacji struktury obiektu. Inną możliwością bez zbytnej ingerencji, są systemy wykorzystujące do komunikacji instalację elektryczną, ale niekiedy wymagają do działania dodatkowej żyły (LCN), dlatego nie w każdym przypadku znajdują zastosowanie. Systemy przewodowe z racji konieczności poprowadzenia instalacji, która jest kłopotliwa do zrealizowania po zakończeniu budowy, stosowane są znacznie częściej dla obiektów nowych, jeszcze na etapie projektowania.

## LITERATURA

- [1] *Technika i rynek systemów automatyki*, Czasopismo APA, Automatyka Podzespoły Aplikacje, 06/2010 (44)
- [2] Dechnik M., Moskwa S., *Smart Hause – inteligentny budynek – idea przyszłości*, „Przegląd Elektrotechniczny”, Nr 9/2017, ISSN 0033-2097
- [3] Horyński M., Majcher J., *Automatyka budynkowa jako element układu bezpieczeństwa*, „Technika Transportu Szynowego”, 12/2016, 425–428
- [4] Katalog F&Home Radio
- [5] Kurz D., *Porównanie systemów automatyki budynkowej dla domu jednorodzinnego*, „Poznan University of Technology Academic Journal, Electrical Engineering”, No 92, 2017
- [6] Klajn A., *Automatyka budynkowa – wybrane systemy inteligentnych instalacji elektrycznych (2)*, „Elektroinstalator”, 78/2007
- [7] Romańska-Zapała A., *Zintegrowane systemy sterowania procesami w obiektach budowlanych*, „Materiały Budowlane”, 5, 2014 (nr 501), ISSN 0137–2971
- [8] Rozwadowski R., *Projekt i budowa modelu inteligentnego budynku w oparciu o platformę Arduino*, praca inżynierska, Politechnika Lubelska, Lublin 2020
- [9] Szepietowski M., *Porównanie systemów inteligentnego domu, Inteligentny dom – mieszkaj z klasą*, Poradnik SMARTech, Część XXII
- [10] Automatyka WAGO, [www.wago.com/pl/rozwiązania/technika-budynkowa](http://www.wago.com/pl/rozwiązania/technika-budynkowa), zasoby z dnia 12.04.2021
- [11] Oficjalna Polska strona KNX, <https://knxstandard.pl>, zasoby z dnia 12.04.2021
- [12] Oficjalna Polska strona LCN, <https://lcnpolska.pl>, zasoby z dnia 12.04.2021
- [13] Oficjalna strona Fibaro, <https://www.fibaro.com/pl>, zasoby z dnia 12.04.2021
- [14] Oficjalna strona xComfort, <http://www.xcomfort.pl>, zasoby z dnia 12.04.2021
- [15] Polski dystrybutor systemu Teletask, [www.emiter.net.pl/inteligentny-dom.html](http://www.emiter.net.pl/inteligentny-dom.html), zasoby z dnia 12.04.2021
- [16] Portal AutomatykaB2B, *Inteligentny budynek – technologie od podszewki*, <https://automatykab2b.pl/technika/40393-inteligentny-budynek-technologie-od-podszewki-czesc-2>, zasoby z dnia 12.04.2021
- [17] *Vision BMS – system inteligentnego budynku otwarty na pomysły*, <https://www.fachowelektryk.pl/katalog-produktow/inteligentny-budynek/1581-vision-bms-system-inteligentnego-budynku-otwarty-na-pomysly.html>, zasoby z dnia 12.04.2021
- [18] *Budujemy dom. Jakie możliwości daje system inteligentny?* <https://budujemydom.pl/instalacje/dom-bezpieczny-i-inteligentny/a/12061-jakie-mozliwosci-daje-system-inteligentny>, zasoby z dnia 12.04.2021
- [19] *LED Bulb 6 (Aeotec)*, <https://aeotec.com/z-wave-led-lightbulb>, zasoby z dnia 12.04.2021

## **FARMY WIATROWE NA BAŁTYKU – PERSPEKTYWY ROZWOJU**

### **WSTĘP**

Morze Bałtyckie, kluczowe w gospodarczym rozwoju regionu, dzisiaj staje się dodatkowo miejscem, które ma być bazą dla energetycznej transformacji Polski i Europy z wykorzystaniem morskich farm wiatrowych. Unia Europejska, jako lider w walce z globalnym ociepleniem, zobowiązała się do redukcji emisji CO<sub>2</sub> i zwiększenia produkcji energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych.

Według danych przedstawionych w raporcie *Our Energy our future*, który został opracowany przez *BVG Associate* wraz z *WindEurope* szacuje się, że morskie farmy wiatrowe na Bałtyku mają zapewnić 83 GW mocy [1]. Eksperci podają, że największa moc przewidywana jest w Polsce (28 GW), Szwecji (19,8 GW) i Finlandii (15,5 GW). Aby te plany zostały zrealizowane konieczne jest zaangażowanie inwestorów, dostawców, sektora rządowego oraz międzynarodowa współpraca wszystkich państw basenu Morza Bałtyckiego.

### **OGÓLNE INFORMACJE NA TEMAT MORZA BAŁTYCKIEGO**

Dane przedstawione w raporcie Polskiego Stowarzyszenia Energetyki Wiatrowej, pokazują że na Bałtyku łącznie istnieje możliwość zainstalowania aż 83 GW mocy [2].

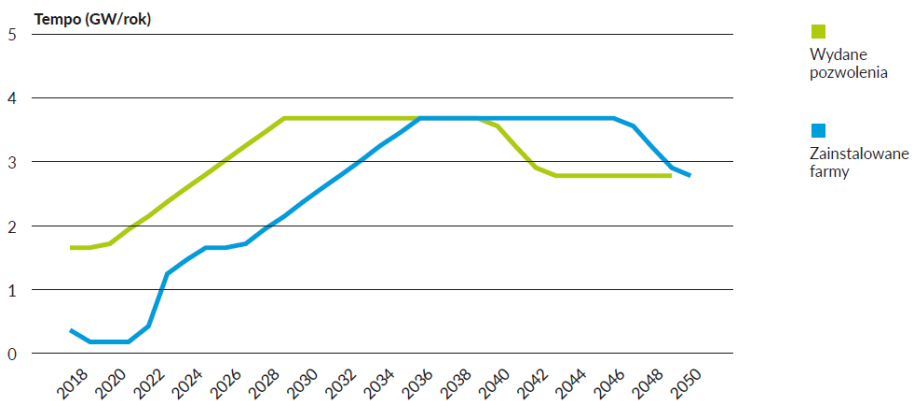
Największy udział przypadł Polsce – mamy potencjał stworzyć elektrownie wiatrowe o łącznej mocy 27,9 GW. Kolejno, Szwecja – 19,8 GW, Finlandia – 15,5 GW, Dania – 7,3 GW, Niemcy – 4,5 GW, Litwa – 3,6 GW, Łotwa – 2,9 GW oraz Estonia – 1,5 GW.

Dzisiaj w całej Europie instalowanych jest około 3 GW morskich mocy wiatrowych rocznie [1]. Aby osiągnąć założoną neutralność klimatyczną, Europa musi znacznie przyspieszyć i zwiększyć prędkość instalacji w dłuższym okresie. Ry-

---

<sup>1</sup> Politechnika Lubelska, WEiI, S96766@pollub.edu.pl

sunek 1 przedstawia tempo wydawania pozwoleń i instalacji wymagane na Morzu Bałtyckim do wybudowania 83 GW potrzebnych do osiągnięcia celu 450 GW w całej Europie w 2050 r. Roczne tempo wydawania pozwoleń musi wzrosnąć z 2,2 GW (430 km<sup>2</sup>) do 3,4 GW (670 km<sup>2</sup>) w drugiej połowie lat 20. W latach 30. tempo to musi wzrosnąć jeszcze bardziej: potrzebujemy 3,6 GW (720 km<sup>2</sup>) rocznie w latach 2030–2040.



Rys. 1. Tempo wydawania pozwoleń i instalacji wymagane do osiągnięcia wymaganych 83 GW na Bałtyku do 2050 roku [2]

## POLSKIE PROJEKTY MORSKICH FARM WIATROWYCH

Obecnie w polskim subregionie Morza Bałtyckiego prowadzone jest 12 projektów morskiej energetyki wiatrowej o łącznej mocy 10 693 MW.

Tab. 1 Projekty morskiej energetyki wiatrowej na Bałtyku [2]

| Nr | Projekt                         | Moc      |
|----|---------------------------------|----------|
| 1  | Equinor/Polenergia – Bałtyk I   | 1 560 MW |
| 2  | Equinor/Polenergia – Bałtyk II  | 240 MW   |
| 3  | Equinor/Polenergia – Bałtyk III | 1 200 MW |
| 4  | PGE – Baltica I                 | 900 MW   |
| 5  | PGE – Baltica II                | 1 498 MW |
| 6  | PGE – Baltica III               | 1 045 MW |
| 7  | RWE – FEW Baltic-2              | 350 MW   |
| 8  | PKN Orlen – Baltic Power        | 1 200 MW |

| Nr | Projekt       | Moc      |
|----|---------------|----------|
| 9  | EDPR – B-Wind | 200 MW   |
| 10 | EDPR – C-Wind | 200 MW   |
| 11 | Baltex 2      | 800 MW   |
| 12 | Baltex 5      | 1 500 MW |



Rys. 2. Lokalizacja planowanych farm wiatrowych w polskiej części Morza Bałtyckiego [2]

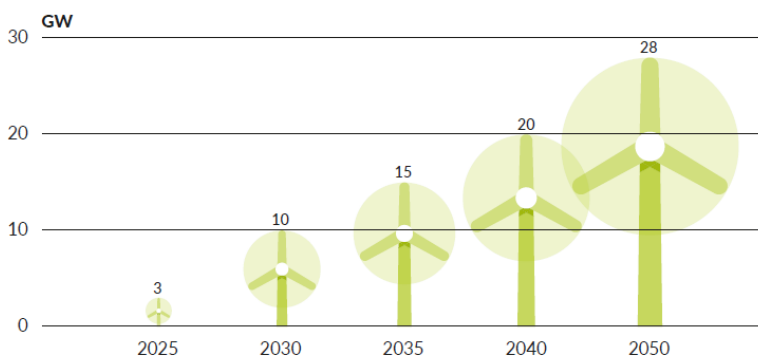
W tabeli 1 zestawiono 12 obecnie prowadzonych projektów farm wiatrowych na polskiej części Morza Bałtyckiego. Siedem z nich podpisało już umowy przyłączeniowe z operatorem krajowego systemu, Polskimi Sieciami Elektroenergetycznymi. Zostały one zestawione w tabeli numer 2.

Tab. 2 Projekty morskiej energetyki wiatrowej na Bałtyku z podpisanymi umowami przyłączeniowymi z operatorem systemu elektroenergetycznego[4]

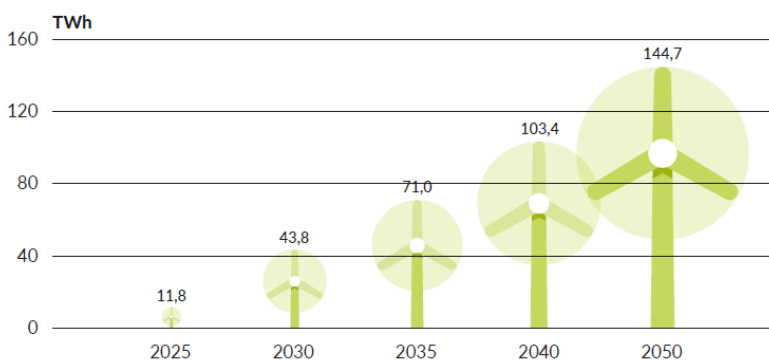
| Nr | Projekt                         | Moc      |
|----|---------------------------------|----------|
| 1  | Equinor/Polenergia – Bałtyk I   | 1 560 MW |
| 2  | Equinor/Polenergia – Bałtyk II  | 240 MW   |
| 3  | Equinor/Polenergia – Bałtyk III | 1 200 MW |
| 4  | PGE – Baltica I                 | 900 MW   |
| 5  | PGE – Baltica II                | 1 498 MW |
| 6  | PGE – Baltica III               | 1 045 MW |
| 7  | PKN Orlen – Baltic Power        | 1 200 MW |
| 8  | Suma                            | 7 643 MW |



Według raportu przygotowanego przez Polskie Stowarzyszenie Energetyki Wiatrowej energetyka wiatrowa na Morzu Bałtyckim będzie rozwijała się etapami. Pierwsze farmy wiatrowe mają zostać ukończone już w 2025 r. Docelowy potencjał 28 GW mocy zainstalowanej na Bałtyku możemy osiągnąć do 2050 r. W 2030 r. szacowana moc powinna wynosić 10 GW, w 2040 roku – 20 GW [2].



Rys. 3. Prognoza rozwoju mocy zainstalowanej w morskiej energetyce wiatrowej w Polsce [2]



Rys. 4. Prognoza produkcji energii w morskich farm wiatrowych w Polsce [2]

Na rysunku numer 4 przedstawiono prognozę produkcji energii elektrycznej w morskich farmach wiatrowych w Polsce. Do obliczeń przyjęto, że wykorzystanie całej zainstalowanej mocy będzie oscylować od 45% do 60%.

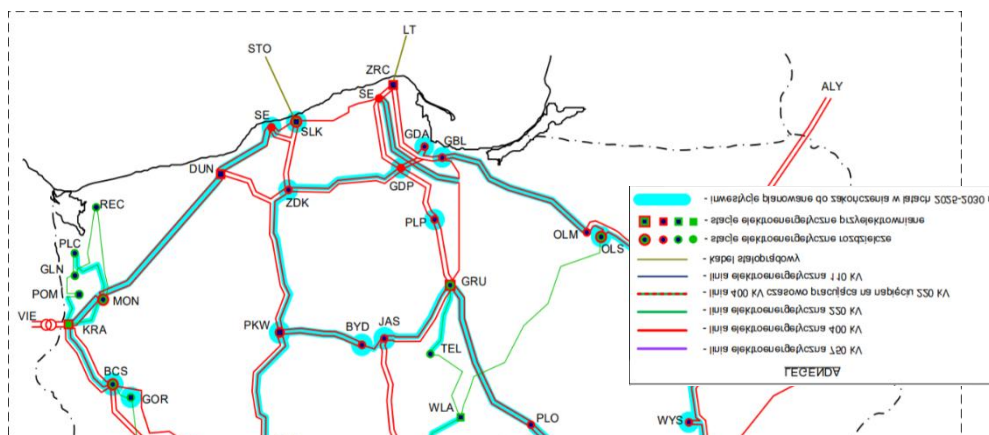
Powyższe rezultaty pokazują, że energia elektryczna płynąca z morskich farm wiatrowych będzie stabilnym i najbardziej wydajnym źródłem energii elektrycznej pochodzącej z OZE.

## ROZWÓJ INFRASTRUKTURY ENERGETYCZNEJ NA POTRZEBY MORSKICH FARM WIATROWYCH

W obecnym czasie większość jednostek wytwórczych energii elektrycznej znajduje się w centralnej i w południowej części naszego kraju. Wynika to z decyzji historycznych i logistycznych. Pokłady węgla na Śląsku i Lubelszczyźnie dawały większą możliwość rozwoju energetyce konwencjonalnej na wymienionych wcześniej obszarach.

Budowa morskich farm wiatrowych na Bałtyku znacznie ma zmienić układ jednostek wytwórczych w naszym kraju. Potencjalne 28 GW mocy w 2050 roku z morskich farm wiatrowych i planowana elektrownia atomowa, która również zostanie ulokowana w północnej części naszego kraju wymusza na operatorze systemu szereg inwestycji, które mają zapewnić wyprowadzenie mocy z miejsca jej wytwarzania oraz bezpieczne przesłanie jej z jak najmniejszymi stratami.

Polskie Sieci Elektroenergetyczne, jako operator polskiego systemu elektroenergetycznego, w 2020 roku przyjęły „Plan rozwoju w zakresie zaspokojenia obecnego i przyszłego zapotrzebowania na energię elektryczną na lata 2021–2030” [4]. Plan ten zakłada szereg działań mających na celu sprostanie wymaganiom stawiane operatorowi.



Rys. 5. Częściowy schemat sieci przesyłowej 220 kV i 400 kV – inwestycje planowane do zakończenia do końca roku 2030 [4]

Na potrzeby wyprowadzenia mocy z morskich farm wiatrowych, w PSE powstał Program Inwestycyjny „Wyprowadzenie mocy z OZE wraz z poprawą warunków zasilania północnej Polski”. Projekt ten zakłada [5]:

- prąd z morskich farm wiatrowych popłynie pod koniec 2026 roku;
  - do tego czasu do użytku zostanie oddana nowa stacja 400 kV SE Choczewo z wyjściem liniowym w kierunku Słupska oraz linia 400 kV relacji SE Choczewo – SE Żarnowiec;
  - do 2028 roku ma powstać nowa linia 400 kV relacji SE Choczewo – SE Gdańsk Przyjaźń oraz SE Choczewo do istniejącej już linii 400 kV SE Gdańsk Błonia – SE Grudziądz Węgrowo;
  - ostatnim etapem programu inwestycyjnego będzie budowa nowej stacji elektroenergetycznej 400 kV w okolicy Słupska.
- Łącznie w północnej części kraju w najbliższych latach zostaną przeprowadzone inwestycje na kwotę ponad 4,5 mld złotych.

## PODSUMOWANIE

Morska energetyka wiatrowa to szansa dla Polski, Europy i Świata na lepsze jutro. O konieczności odejścia od energetyki konwencjonalnej na rzecz odnawialnych źródeł energii nie trzeba nikogo przekonywać.

Stabilność wytwarzanej energii elektrycznej pochodzącej z morskich farm wiatrowych daje możliwość perspektywicznego zastąpienia wysłużonych jednostek węglowych, nowymi morskimi elektrowniami wiatrowymi, które mogą być kołem zamachowym kraju w dążeniach do uzyskania neutralności klimatycznej w 2050 roku. Aby wspomnianą neutralność klimatyczną osiągnąć potrzeba szeregu inwestycji, woli współpracy na różnych szczeblach i chęci działania.

Potencjał morskich farm wiatrowych jest ogromny. To możliwość stworzenia tysięcy miejsc pracy, zmodernizowania infrastruktury energetycznej, stworzenia sieci dostawców, rozwój polskich firm w zakresie budowy wiatraków na morzu.

To również ogromna szansa dla nas, jako społeczeństwa. Energia pochodząca z morskich farm wiatrowych, to czysta energia. Dzięki niej zredukujemy ilość CO<sub>2</sub> i innych szkodliwych gazów wypuszczanych do atmosfery, ale również ograniczymy smog, który powoduje rocznie śmierć wielu tysięcy Polaków. Czysta energia będzie mogła zasilać nasze elektryczne, zeroemisyjne samochody. Ta sama energia będzie mogła zasilać pompy ciepła w domkach jednorodzinnych, które zastąpią nieekologicznie i szkodzące nam kotły węglowe.

Jako społeczeństwo, mamy obowiązki wobec przyszłych pokoleń. Naszym obowiązkiem jest nie pozwolić na zmarnowanie tak ogromnej szansy.

## LITERATURA

- [1] Freeman K., Frost C., Hundleby G., Roberts A., Valpy B., Holttinen H., Ramírez L., Pineda I., *Our Energy, our future*, <https://windeurope.org/about-wind/reports/our-energy-our-future/>, zasoby z dnia 17.12.2020
- [2] [http://psew.pl/biblioteka\\_post/wizja-dla-baltyku-wizja-dla-polski-rozwoj-morskiej-energetyki-wiatrowej-w-basenie-morza-baltyckiego/](http://psew.pl/biblioteka_post/wizja-dla-baltyku-wizja-dla-polski-rozwoj-morskiej-energetyki-wiatrowej-w-basenie-morza-baltyckiego/), zasoby z dnia 17.12.2020
- [3] <http://psew.pl/pse-podpisaly-kolejne-umowy-o-przylaczenie-do-sieci-morskich-farm-wiatrowych/>, zasoby z dnia 17.12.2020 <https://www.pse.pl/documents/20182/8c629859-1420-432f-8437-6b3a714dda9c?safeargs=646f776e6c6f61643d74727565>, zasoby z dnia 17.12.2020
- [4] Przesył, „Magazyn pracowników Grupy Kapitałowej PSE”, 02/2021, 6–7

# KOMPENSACJA MOCY BIERNEJ W BUDYNKACH UŻYTECZNOŚCI PUBLICZNEJ

## WSTĘP

Od SEE wymaga się dostarczania w niezawodny sposób energii o odpowiednich parametrach jakościowych. Aby było to możliwe, wszystkie podmioty przyłączone do sieci muszą pracować zgodnie z określonymi warunkami. Jednym z nich jest utrzymanie na odpowiednim poziomie wartości przepływających mocy biernych – szczególnie w obiektach kluczowych – generujących ich duże ilości. Jednymi z takich obiektów są budynki użyteczności publicznej.

## MOC BIERNA

Każde urządzenie zasilane prądem sinusoidalnym w trakcie swojej pracy pobiera lub oddaje do sieci moc czynną oraz bierną. Moc czynna jest mocą podlegającą przemianie w energię cieplną lub mechaniczną. Moc bierna okresowo przepływa pomiędzy źródłem a odbiornikiem ale nie może zostać wykorzystana w sensie fizycznym. Jej obecność wynika z występowania reaktancji elementów czynnych i wywołuje przesunięcie fazy prądu w relacji do napięcia. Wartość mocy biernej wyznacza iloczyn wartości skutecznych napięcia i prądu oraz sinusa kąta przesunięcia fazowego pomiędzy wektorami tych wielkości a ilość mocy biernej opisuje się jako tangens kąta przesunięcia fazowego:

$$Q = UI \sin \varphi \quad (1)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q}{P} \quad (2)$$

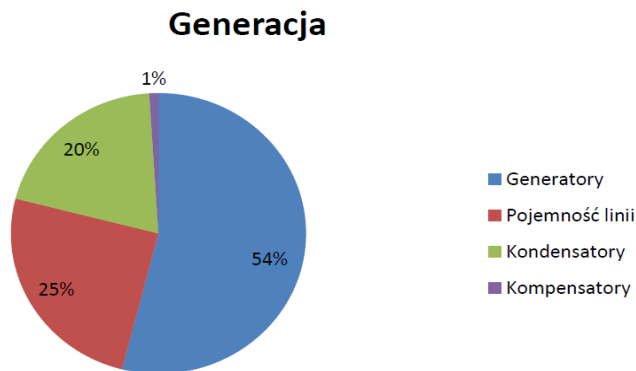
gdzie:  $Q$  – moc bierna,  $U$  – napięcie skuteczne,  $I$  – prąd skuteczny,  $\sin \varphi$  – sinus kąta przesunięcia fazowego,  $\operatorname{tg} \varphi$  – tangens kąta przesunięcia fazowego.

---

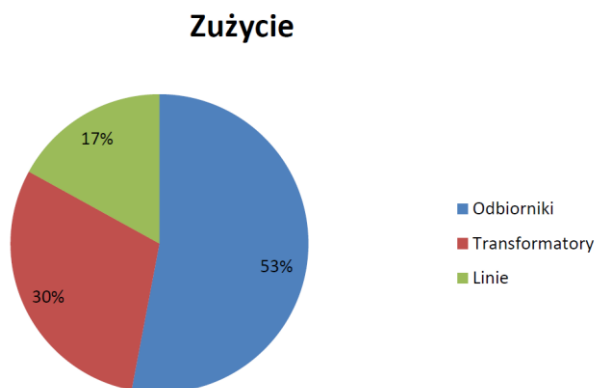
<sup>1</sup> Politechnika Lubelska, WEiI, adrianpluta@gmail.com

## ODBIORNIKI I ŹRÓDŁA MOCY BIERNEJ

Można dokonać podziału urządzeń elektrycznych ze względu na charakter mocy biernej jaki reprezentują. Dla kąta przesunięcia fazowego  $\varphi > 0$  moc bierna przyjmuje wartości dodatnie i jest określana jako moc bierna indukcyjna, z kolei dla  $\varphi < 0$  przybiera ona wartości ujemne i jest opisywana jako moc o charakterze pojemnościowym. Przyjmuje się, że urządzenia, które pobierają energię bierną indukcyjną nazywane są odbiornikami mocy biernej, a urządzenia pobierające energię bierną pojemnościową, źródłami mocy biernej [2]. Przybliżony bilans mocy biernej w SEE przedstawiają wykresy [5]:



Rys. 1. Bilans mocy biernej generowanej w SEE [5]



Rys. 2. Bilans mocy biernej zużywanej w SEE [5]

Do odbiorników mocy biernej należą głównie silniki indukcyjne i transformatory oraz w mniejszym stopniu inne urządzenia (m.in. indukcyjność linii, lampy wyładowcze) [3].

Źródłami mocy biernej są głównie urządzenia zawierające duże ilości filtrów (komputery, serwerownie, sieci UPS), linie przesyłowe pracujące bez obciążenia oraz niektóre źródła światła (głównie lampy CFL oraz LED) [7].

## REGULACJE PRAWNE

Przepływ mocy biernej w sieci generuje szereg negatywnych skutków do których należą m.in.:

- spadki napięć;
- straty mocy;
- zmniejszenie przepustowości sieci.

Wyżej wymienione zjawiska zaburzają prawidłową pracę SEE. Wymuszają m.in. stosowanie aparatury o wyższych prądach znamionowych oraz przewodów o większych przekrojach. W związku z tym przepływ energii biernej reguluje Rozporządzenie Ministra Energii [1].

Wprowadza ono pojęcie ponad umownego poboru energii biernej przed odbiorcą. Dla współczynnika mocy o charakterze indukcyjnym jest on definiowany jako pobór energii przy wartości  $\text{tg}\varphi$  powyżej dopuszczalnej wartości określanej jako  $\text{tg}\varphi_0$ , lub dla każdej ilości energii biernej indukcyjnej przy braku poboru energii czynnej. Przy pojemnościowym współczynniku mocy za ponad umowny pobór energii biernej uznaje się każdą ilość energii biernej niezależnie od  $\text{tg}\varphi$ .

Wysokość opłaty za energię bierną o charakterze indukcyjnym przedstawia zależność [1]:

$$O_b = k \cdot C_{rk} \cdot \left( \sqrt{\frac{1 + \text{tg}^2 \varphi}{1 + \text{tg}^2 \varphi_0}} - 1 \right) \cdot A \quad (3)$$

gdzie:

$O_b$  – opłata za nadwyżkę energii biernej w zł;

$k$  – ustalona w taryfie krotność ceny  $C_{rk}$ ;

$C_{rk}$  – cena energii elektrycznej o której mowa w art. 23 ust. 2 pkt 18 lit. b ustawy w zł/MWh lub zł/kWh;

$\text{tg}\varphi$  – współczynnik mocy wynikający z pobranej energii biernej;

$\text{tg}\varphi_0$  – współczynnik mocy określony zgodnie z ust. 4;

$A$  – energia czynna pobrana w okresie rozliczeniowym w MWh lub kWh.

Z kolei koszt energii biernej pojemnościowej oraz indukcyjnej przy braku energii czynnej wyznacza zależność [11]:

$$O_b = k \cdot C_{rk} \cdot A \quad (4)$$

gdzie:

$O_b$  – opłata za nadwyżkę energii biernej w zł;

$k$  – ustalona w taryfie krotność ceny  $C_{rk}$ ;

$C_{rk}$  – cenę energii elektrycznej o której mowa w art. 23 ust. 2 pkt 18 lit.b ustawy w zł/MWh lub zł/kWh;

$A$  – energia bierna pobrana w okresie rozliczeniowym w Mvarh lub kvarh.

Wartość współczynnika  $k$  ulega zmianie na przestrzeni lat, według taryfy [12] wynosi:

- $k_{WN} = 0,50$  – dla odbiorców przyłączonych do sieci WN;
- $k_{SN} = 1,00$  – dla odbiorców przyłączonych do sieci SN;
- $k_{nN} = 3,00$  – dla odbiorców przyłączonych do sieci nN.

Karami za przepływ energii biernej są obciążani odbiorcy zasilani z sieci wysokiego napięcia – taryfa A2x oraz średniego napięcia – taryfa Bxx. Klienci indywidualni rozliczani według taryfy Gxx są obciążani jedynie w uzasadnionych przypadkach [1].

## PODSTAWY KOMPENSACJI MOCY BIERNEJ

Charakter zjawiska mocy biernej – wynikający z faktu przesunięcia fazowego dodatniego lub ujemnego – sprawia, że moc pojemnościowa oraz indukcyjna mogą się wzajemnie kompensować. Stwarza to możliwości poprawy współczynnika mocy z poziomu użytkownika oraz zminimalizowania negatywnych skutków przepływu prądów biernych w sieci. Metody poprawy współczynnika mocy dzieli się na naturalne oraz sztuczne.

Naturalne sposoby polegają na odpowiednim doborze oraz eksploatacji urządzeń tak, aby unikać pracy przy niewielkim obciążeniu lub w stanie jałowym.

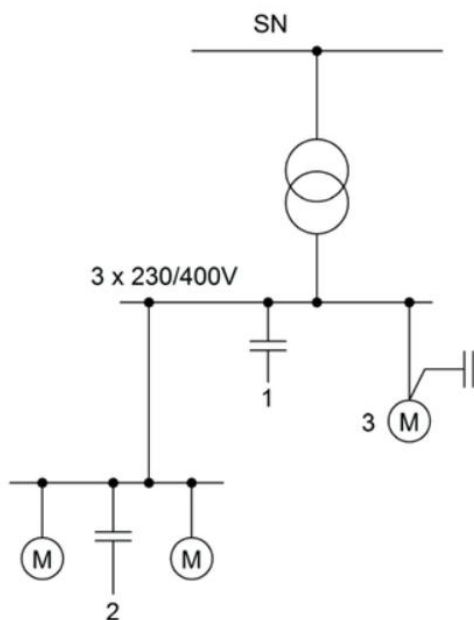
Poprawa współczynnika mocy w sposób sztuczny polega na zastosowaniu zewnętrznego urządzenia, które włączone do sieci doprowadzi do kompensacji układu mocą bierną o przeciwnym charakterze. Urządzenia kompensacyjne można podzielić na:

- kompensatory synchroniczne;
- kondensatory i dławiki kompensacyjne;
- energoelektroniczne układy kompensacyjne.



Najczęściej stosowanym rozwiązaniem jest montaż baterii dławików lub kondensatorów o parametrach dopasowanych do danego układu. W jej skład wchodzi układ pomiarowy, układ sterujący oraz poszczególne sekcje dławików lub kondensatorów.

Dokonuje się również podziału urządzeń kompensujących ze względu na miejsce ich montażu. Na tej podstawie można wyróżnić kompensację indywidualną, grupową, centralną [5].

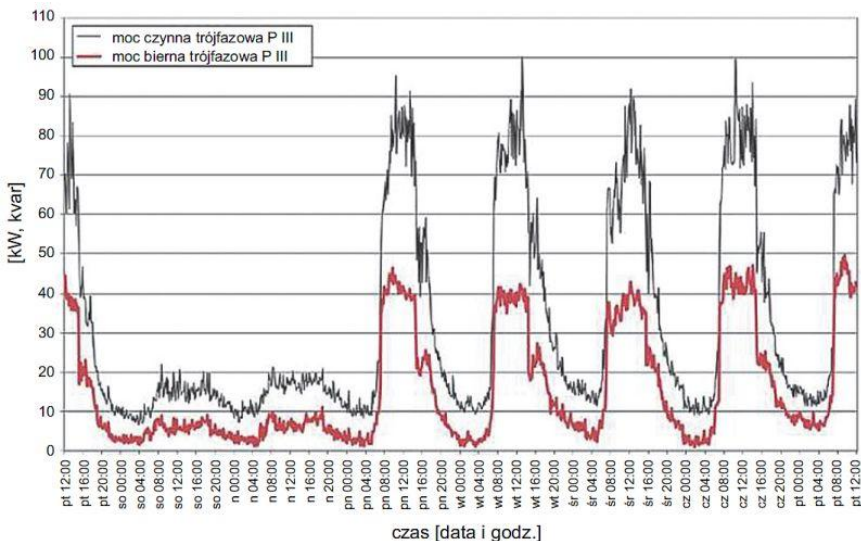


Rys. 3. Sposoby rozmieszczenia urządzeń kompensujących [8]

Na wybór optymalnej metody kompensacji ma wpływ wiele czynników: rodzaj oraz liczba przyłączonych odbiorników, złożoność całej sieci, wymagana wartość współczynnika mocy, występowanie zakłóceń sieci np. wyższych harmonicznych, a także fizyczna możliwość montażu baterii kompensującej [6]. Należy przy tym zaznaczyć, że nieprawidłowo dobrany układ kompensacyjny może wywołać efekt odwrotny od zamierzonego. Istnieje ryzyko wystąpienia zjawiska przekompensowania lub wystąpienia niepożądanych prądów harmonicznych. W związku z tym dobór układu należy poprzedzić odpowiednią analizą danego fragmentu sieci.

## KOMPENSACJA W BUDYNKU UŻYTECZNOŚCI PUBLICZNEJ

Charakterystycznymi obiektami punktu widzenia gospodarki energią bierną są budynki użyteczności publicznej. Głównymi odbiornikami są tutaj systemy wentylacji oraz klimatyzacji. Następnie serwerownie, oświetlenie oraz gniazda sieciowe zasilające urządzenia biurowe [10]. Warto zwrócić uwagę na występujące duże ilości urządzeń teleinformatycznych, jednostki UPS oraz rozległe trasy kablowe. Wszystkie te obciążenia mają charakter pojemnościowy oraz pracują nieustannie lub pozostają w trybie uśpienia – również w nocy kiedy większość pozostałych urządzeń nie pracuje. Powoduje to że obiekt staje się źródłem dużych ilości mocy biernej [4]. Na rysunku 4 przedstawiono przykład przebiegów mocy dla budynku biurowego [8].



Rys. 4. Tygodniowy przebieg zmian poboru mocy czynnej i biernej [8]

Problematyka rozpatrywanego przypadku wynika z cykli pracy danego obiektu. Można wyróżnić cykl dobowy oraz tygodniowy. W trakcie cyklu dobowego największe obciążenie mocą czynną występuje w godzinach dziennych – w trakcie, gdy obiekt jest użytkowany. W godzinach nocnych moc czynna wyraźnie spada, jej wartości zbliżają się do wartości mocy biernej, co powoduje pogorszenie współczynnika mocy. To samo zjawisko powtarza się w cyklu tygodniowym w trakcie okresów weekendowych, kiedy biurowce czy urzędy nie funkcjonują. Taki przebieg charakterystyk obciążenia wymaga zastosowania

odpowiedniego układu kompensującego tak, aby zachować elastyczność działania i w czasie rzeczywistym reagować na zmiany obciążenia sieci.

## PODSUMOWANIE

Zapewnienie odpowiednich warunków do prawidłowej pracy SEE jest sprawą kluczową. Nie pozostaje ono jedynie w gestii podmiotów zarządzających całym systemem ale również poszczególnych użytkowników sieci. Jednym z parametrów, który powinien być w taki sposób kontrolowany jest przepływ mocy biernej. Szczególnie, jeśli mowa o użytkownikach o nietypowej charakterystyce pracy, takich jak budynki użytkowane publicznie. Powinny być one monitorowane oraz w przypadku odchylenia od normy należy przeciwdziałać negatywnym skutkom przepływu mocy biernej.

## LITERATURA

- [1] Rozporządzenie Ministra Energii dnia 6 marca 2019 r. w sprawie szczegółowych zasad kształtowania i kalkulacji taryf oraz rozliczeń w obrocie energią elektryczną. Dz. U. z 2019 r. poz. 503
- [2] Strzelecki R., Supronowicz H., *Współczynnik mocy w systemach zasilania prądu przemiennego i metody jego poprawy*, OWPW, Warszawa 2000
- [3] Poradnik Inżyniera Elektryka Tom 1-3, WNT, Warszawa 1997
- [4] Bielecki S., *Aspekty użytkowania i zarządzania mocą bierną w energetyce*, OWPW, Warszawa 2019
- [5] Wasiak I., *Elektroenergetyka w zarysie*, Politechnika Łódzka, Łódź 2010
- [6] Pluta A., *Dobór układu kompensacji mocy biernej odbiorcy na podstawie profilu obciążenia*, praca Inżynierska, Politechnika Lubelska, 2020
- [7] Bielecki S., *Oplaty za pobór mocy biernej – czy są słuszne?*, Elektroinfo 12/2013
- [8] Iwanicki M., *Kompensacja mocy biernej. Jak wyeliminować opłaty za pobór energii biernej?*, „Sektor Elektroenergetyczny” 08/2015
- [9] Strzałka – Gołuszka K., Gołuszka M., Strzałka J., *Aspekty techniczne i ekonomiczne kompensacji mocy biernej w obiektach użyteczności publicznej*, „Elektroinfo” 12/2018
- [10] Dąbrowski K., *System kompensacji mocy biernej dla biurowca – wyzwanie czy rutyna?*, elektroonline.pl, 2013
- [11] Bielecki S., *Specyfika formuły naliczania opłat za użytkowanie energii biernej w Polsce*, „Rynek Energii” 05/2018
- [12] Taryfa dla usług dystrybucji energii elektrycznej PGE Dystrybucja S.A., Lublin 2019

## **NOWOCZESNE INSTALACJE POPRAWIAJĄCE BEZPIECZEŃSTWO W POJAZDACH**

### **WSTĘP**

Wypadki drogowe stanowią jeden z najważniejszych problemów polityki zdrowotnej i społecznej współczesnego świata. Problem ten pojawił się w momencie, w którym na drogi wyjechały pierwsze samochody i narasta wraz z rozwojem motoryzacji [1].

XXI wiek przyniósł ze sobą niezwykle rozwiązania zarówno w kwestii wyglądu aut jak i zaawansowanych technologii, których nadrzędnym celem jest poprawa bezpieczeństwa użytkowników samochodów.

Poszukiwania rozwiązania konfliktu między mobilnością i bezpieczeństwem pobudziło wiele innowacji i zwiększenie nakładów na rozwój bezpiecznego systemu transportu drogowego [6].

Od aut produkowanych w latach 90. dzisiejsze samochody różnią się przede wszystkim wyglądem, ale też zastosowaną technologią. Systemy samochodowe montowane w obecnie produkowanych modelach mają dbać nie tylko o komfort jazdy, ale przede wszystkim o bezpieczeństwo kierowcy i pasażerów [4].

### **INNOWACYJNE SYSTEMY I ICH ROZWÓJ**

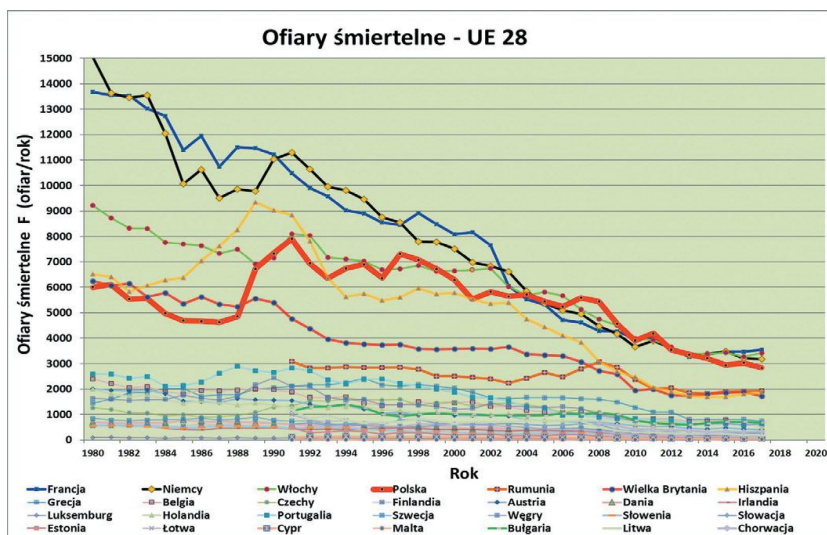
W początkowym okresie transformacji ustrojowej (1989–1991) w Polsce, kiedy wiele mechanizmów prawnych i organizacyjnych było rozregulowanych, nastąpił swobodny dostęp do samochodu co miało wpływ na wzrost liczby wypadków drogowych i ofiar śmiertelnych. Rok 1991 był punktem przełomowym gdzie liczba ofiar śmiertelnych wypadków drogowych wyniosła aż 7901. Od 1992 roku do chwili obecnej obserwujemy tendencję spadkową liczby ofiar śmiertelnych [6].

---

<sup>1</sup> Politechnika Lubelska, WEiI, jaroslaw.kwapisz@pollub.edu.pl

Problemy w obszarze bezpieczeństwa na drogach dotyczą wszystkich państw należących do Unii Europejskiej. Wiąże się one z działalnością transportową, która jest fundamentem rozwoju współczesnej gospodarki i społeczeństwa. Mobilność jest niezwykle ważna dla kształtowania się rynku wewnętrznego oraz dla jakości życia mieszkańców, którzy mogą swobodnie i bezpiecznie przemieszczać się po drogach Europy. Mobilność kształtowana jest przez infrastrukturę. Inwestycje w infrastrukturę drogową mają dodatkowo pozytywny wpływ na wzrost gospodarczy, pozwalają na stworzenie dobrobytu i miejsc pracy, zwiększenie handlu, dostępność geograficzną i oczywiście poprawę bezpieczeństwa w ruchu drogowym. W Białej Księdze Transportu umieszczono zapis dotyczący bezpieczeństwa transportu, który wskazuje na dążenie do wyeliminowania ofiar śmiertelnych na drogach Europy [2].

W ciągu ostatnich 17 lat Polska kilkakrotnie zajmowała pierwszą pozycję w rankingu najbardziej niebezpiecznych państw UE. W 2017 roku Polska znajdowała się na 4 miejscu najbardziej niebezpiecznych państw UE, biorąc pod uwagę liczbę ofiar śmiertelnych (Rys. 1).



Rys. 1. Rozkład zmian liczby ofiar śmiertelnych wypadków drogowych w poszczególnych krajach UE w latach 1980–2017 [2]

W tym celu zaproponowano harmonizację i wprowadzenie nowych technologii w zakresie bezpieczeństwa na drogach takich, jak systemy wspomagające kierowców.

Obecnie eksperci równolegle testują kilka inteligentnych systemów kontroli i ograniczania prędkości samochodów – badają je zarówno pod kątem działania, jak i efektów ich stosowania. Już dziś kierowcy wielu nowszych samochodów mają do czynienia z pierwotną formą układów podpowiadających, z jaką prędkością jechać. Pojazdy te są wyposażone w kamery odczytujące treść podstawowych znaków drogowych, w tym ograniczeń prędkości. W wielu wypadkach systemy te współpracują z nawigacją GPS, zawierającą dane o limitach na poszczególnych odcinkach dróg. Takie rozwiązania mają realny wpływ na wzrost poziomu bezpieczeństwa jazdy i przestrzegania przepisów drogowych, np. podczas jazdy w nieznanym terenie kierowcy często uświadamiają sobie, że przeoczyli jakiś znak, i pilnie potrzebują podpowiedzi na temat tego, jakie ograniczenie prędkości obowiązuje w danym miejscu. Rzut oka na deskę rozdzielczą wyjaśnia wszystko – wyświetla się znak „50”, my jedziemy 90 km/h, czyli wiemy, że trzeba zwolnić [3].

Bardzo powszechnym stało się montowanie kamer w zderzakach, lusterkach bocznych czy na przedniej szybie auta. Zadaniem zamontowanych kamer jest ułatwienie kierowcy możliwości płynnego monitorowania przestrzeni wokół samochodu. Kamera zamontowana na przedniej szybie może obsługiwać różne systemy, np. wykrywania niezamierzonego zjazdu z pasa ruchu, czy też być elementem układu informującego o zbliżaniu się auta do przeszkody. Kamera monitorująca sytuację przed autem może współpracować z głowicą radarową, umieszczoną w zderzaku albo pod maskownicą. Umożliwia to wyposażenie samochodu w aktywny tempomat, który automatycznie zwalnia, gdy zbliżamy się do auta przed nami, dzięki temu, że ma w pamięci maksymalną zadaną prędkość, którą rozwija jedynie wtedy, gdy nie ma ku temu przeszkód. Zasada współpracy kamer i radaru jest następująca: jeden system „widzi”, a drugi „czuje” to, czego nie da się zobaczyć co umożliwia monitorowanie drogi w odległości nawet ponad 200 m przed samochodem [5].

## **INTELLIGENT SPEED ASSISTANCE (ISA)**

ISA (*Intelligent Speed Assistance* – inteligentny ogranicznik prędkości) to jednak coś więcej. Podstawowy typ ogranicznika – otwarty – ostrzega kierowcę sygnałem wizualnym lub akustycznym o przekroczeniu prędkości. To jednak kierowca decyduje, czy zwolnić, czy też nie. System półotwarty nie tylko ostrzega kierowcę o przekroczeniu dozwolonej prędkości, lecz także sprawia, że pedał gazu zaczyna stawiać nieprzyjemny opór. Można go łatwo przełamać, jednak komfort szybkiej jazdy spada – kierowca ma cały czas świadomość, że

jedzie za szybko. System zamknięty automatycznie ogranicza prędkość i w praktyce uniemożliwia przekroczenie dozwolonej szybkości – żeby nie powodować niebezpiecznych sytuacji, np. ograniczania prędkości podczas wyprzedzania ciężarówki, pozostaje opcja przełamania oporu na pedale gazu i uzyskania maksymalnej mocy niezbędnej do wyprzedzania, jednak po zakończeniu manewru system uaktywnia się automatycznie. Układ taki może być dobrowolny (w aucie znajduje się wówczas jego wyłącznik) albo obowiązkowy – wtedy wyłącznika nie ma. Ostatecznie zdecydowano, że elektroniczny asystent prędkości montowany w nowych autach obowiązkowo od 2022 roku będzie systemem otwartym, który ma jedynie wyraźnie informować kierowcę o fakcie przekroczenia dozwolonej prędkości. Zastosowane rozwiązanie należy do decyzji producenta – czy będzie to symbol na desce rozdzielczej czy np. pojawiający się, ale przełamany opór na pedale gazu. I dodatkowo, system ten (i wiele innych, które będą montowane obowiązkowo) będzie można wyłączyć [5].

Należy zaznaczyć, że z czasem mają być dostępne systemy bazujące nie tylko na stałych, lecz także na zmiennych limitach prędkości – zmienne limity prędkości dostosowują ograniczenie na danym odcinku do panujących warunków i natężenia ruchu [5].



*Rys. 2. Znaki drogowe na drodze ekspresowej [5]*

Do dziś przeprowadzono liczne testy inteligentnych systemów kontroli prędkości, m.in. w Szwecji (systemy otwarty i półotwarty), Danii i Holandii. W Tilburgu (Dania) testowano system zamknięty. Przeprowadzono też wiele testów

na symulatorach, w tym kombinacji systemów półotwartych oraz zamkniętych z możliwością wyłączenia. Ponadto eksperymentowano ze zmiennymi limitami prędkości. Na podstawie prędkości uzyskiwanych przez samochody próbowano oszacować wpływ systemów na bezpieczeństwo jazdy. Z badań tych wynika, że każdy rodzaj inteligentnych ograniczników prędkości ma pozytywny wpływ na bezpieczeństwo, a największy – system zamknięty bez możliwości wyłączenia, ale (uwaga!) współpracujący z systemem zmiennych limitów prędkości (dostosowanych do natężenia ruchu i warunków jazdy). Dodatkowe pozytywne efekty takich rozwiązań, które zaobserwowano, to zmniejszenie zużycia paliwa przy zachowaniu pierwotnego czasu podróży. Inaczej mówiąc – jedziesz wolniej, ale rzadziej niezbędne jest hamowanie i zwalnianie znacznie poniżej obowiązującego ograniczenia; w rezultacie do celu dojeżdżasz w tym samym czasie, w którym jechałbyś bez systemów aktywnego ograniczania prędkości, ale taniej [5].

Korzystanie z inteligentnych ograniczników prędkości niesie ze sobą również skutki uboczne. Zaobserwowano, że po wyjeździe ze strefy kontrolowanej prędkości kierowcy przyspieszają, często znacznie powyżej obowiązujących limitów. Obserwuje się także upośledzenie uwagi w strefach, w których system nie działa lub nadmiernie poleganie na inteligentnym ograniczniku prędkości co skutkuje nie dostosowaniem jazdy do obowiązujących znaków drogowych oraz aktualnie panujących warunków atmosferycznych. Na podstawie dostępnych danych i wyników badań nie można uzyskać odpowiedzi na pytanie: Czy korzystanie z ograniczników prędkości w dłuższej perspektywie może mieć poważniejsze negatywne skutki? [5].



Rys. 3. Znak drogowy [2]



Osoby, które testowały już różne formy ISA, mają znacznie bardziej otwarty stosunek do obowiązkowego montażu tych systemów. Opór w odniesieniu do takich rozwiązań jest znacznie większy u tych, którzy nie mieli możliwości zapoznania się z nimi na co dzień. Jednego można być pewnym – nawet po wprowadzeniu obowiązkowych ograniczników prędkości w 2022 roku to kierowca będzie odpowiedzialny za dostosowanie szybkości do obowiązujących przepisów i warunków na drodze. Systemów, których nie można wyłączyć i które przejmą na siebie odpowiedzialność za pilnowanie szybkości jazdy, w tak krótkiej perspektywie czasowej nie będzie [5].

## **EMERGENCY BRAKE ASSIST (EBA)**

Współczesne samochody coraz częściej wyposażane są przez producentów w automatyczne systemy bezpieczeństwa, których celem jest uniknięcie wypadku lub zminimalizowanie jego skutków [8]. Zadanie tych systemów może polegać zarówno na ostrzeganiu kierowcy o ryzyku wystąpienia niebezpiecznej sytuacji, jak też na podejmowaniu działań prewencyjnych, zazwyczaj w postaci hamowania. Wiele rozwiązań technicznych stosowanych w samochodach łączy te dwie cechy. Wedle założeń takie rozwiązanie ma wpłynąć na poprawę bezpieczeństwa pojazdów, i ma ograniczyć koszty wypadków drogowych [7].

Scenariusze działania takiego systemu są bardzo różne i zależą od założeń jego pomysłodawców. Najpopularniejszym z rozwiązań jest aktywowanie systemu awaryjnego hamowania sytuacji, w której występuje prawdopodobieństwo uderzenia w inny pojazd. Dotyczy to zarówno sytuacji, gdy pojazd z którym może nastąpić zderzenie jest pojazdem stojącym lub porusza się wolniej tym samym pasem. Rozpowszechnienie tego systemu ma ograniczyć wypadki spowodowanych właśnie najeżaniem na inne pojazdy znajdujące się na pasie, które czasem ze względu na pogodę lub nieuwagę kierowcy są zauważane za późno [7].

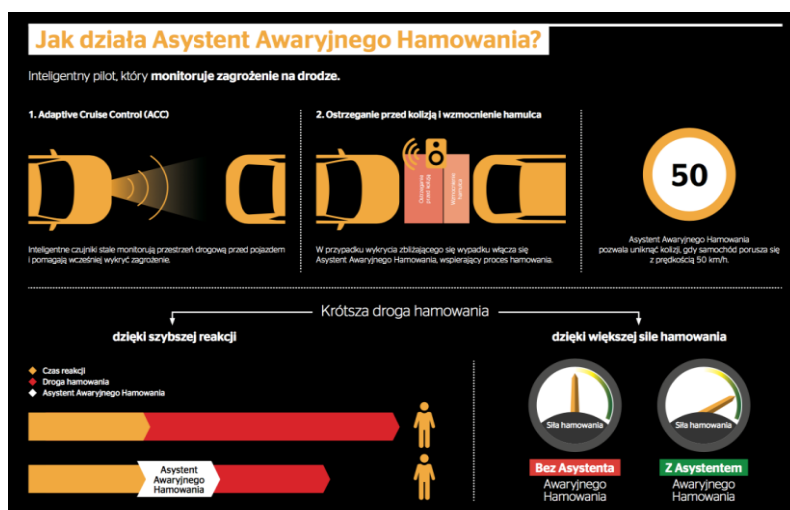
Kolejnym z założeń działania systemów AEB jest możliwość wykrywania tzw. niechronionych uczestników ruchu drogowego tj. pieszych i rowerzystów oraz podejmowanie działań prewencyjnych w przypadku zagrożenia zderzeniem z nimi. Nie należy zapominać jednak o tym, iż zadaniem omawianego systemu jest tylko wspomaganie kierowcy w działaniach prewencyjnych. Dlatego też po zidentyfikowaniu zagrożenia w pierwszej kolejności aktywują się dźwiękowe i wizualne ostrzeżenia. Brak reakcji ze strony kierowcy i niepodjęcie odpowiednich działań aktywuje dopiero uruchomienie automatycznego hamowania. Równocześnie aktywowane są i inne systemy bezpieczeństwa biernego jak np. napię-

cie pasów i odpowiednie ustawienie foteli których celem jest zminimalizować obrażeń kierowcy i pasażerów w momencie zderzenia [7].

Niestety w praktyce nie jest to takie proste gdyż system automatyczny nie jest w stanie przewidzieć jak może zmienić się sytuacji na jezdni. System nie potrafi odczytać zamiarów kierowcy, który na przykład uzna, że lepszym manewrem obronnym będzie ominięcie przeszkody niż wykonanie manewru hamowania. Wykonanie w takiej sytuacji bezpodstawnego awaryjnego hamowania może doprowadzić także do możliwości wystąpienia kolizji lub wypadku np. w sytuacji gdy kierowca jadący za nami nie zachowa należytej odległości.

Aktywacja systemu powinna więc nastąpić w takim momencie, żeby system miał pewność, że kierujący nie wykona już innego manewru. Z drugiej zaś strony nie może system zacząć działać zbyt wcześnie [7].

Poszczególne czujniki, elementy wykonawcze i sterownik w praktyce są połączone w jeden rozbudowany układ, którego działanie okazuje się tym lepsze oraz skuteczne, im mniej jest ono zauważalne dla kierowcy. Systemy bezpieczeństwa wymagają jednak specjalistycznej obsługi. Przykładowo w wielu nowych samochodach do wymiany przedniej szyby niezbędne są specjalistyczne urządzenia diagnostyczne. To samo dotyczy czujników montowanych w zderzakach oraz radaru umieszczonego w przedniej części auta [3].



Rys. 4. Działanie systemu hamowania awaryjnego [3]

Czujniki układów asystujących są umieszczone także wewnątrz auta. Należą do nich m.in. elementy asystenta awaryjnego hamowania (czujnik pedału ha-

mulca albo ciśnienia w układzie hamulcowym – o tym, że układ zadziała, decyduje szybkość, z jaką naciskamy hamulec), elementy systemu wykrywającego zmęczenie (m.in. czujnik obrotu koła kierownicy) itp. [3].

## PODSUMOWANIE

Żeby samochód mógł obyć się bez kierowcy, musi mieć na pokładzie wiele urządzeń, które po pierwsze, umożliwiają autu orientację w przestrzeni i wykrywanie ruchomych obiektów wokół, a po drugie, pozwalają wykonywać manewry – przyspieszać, zwalniać, skręcać. Dziś możemy to jasno powiedzieć: takie urządzenia zostały już skonstruowane i są produkowane, choć oczywiście wymagają dopracowania. Wiadomo też, co będzie w przyszłości potrzebne, żeby samochody masowo jeździły bez kierowcy. Skoro wiadomo, czego nam trzeba, to znaczy, że tylko kwestią czasu pozostaje stworzenie brakujących komponentów systemu [4].

Tymczasem rośnie liczba jeżdżących już aut, które mogą, choćby na krótką chwilę, przejąć obowiązki kierowcy. W przypadku coraz większej liczby marek jest to tylko kwestia zamówienia odpowiednich pakietów wyposażenia przez kupującego [4].

Jednym z takich systemów jest tempomat adaptacyjny, który kierowca może uruchomić po wjechaniu na autostradę lub drogę ekspresową. Urządzenie działa jak zwykły tempomat z dodatkową istotną funkcjonalnością – oprócz utrzymywania preferowanej prędkości jazdy korzysta także z radaru – dzięki czemu ma zdolność do automatycznego redukcji prędkości, jeśli przed autem pojawi się wolniej jadący obiekt. Gdy obiekt przyspieszy albo zniknie z pola widzenia, samochód znów przyspieszy – oczywiście, tylko do prędkości granicznej, określonej przez kierowcę [4].

Istnieje też możliwość włączenia aktywnego układu kierowniczego, którego działanie jest powiązane z funkcją śledzenia pasa ruchu. Kamery za szybą i pod lusterkami monitorują, czy samochód nie najeżdża na linię oddzielającą pasy ruchu. Dodatkowo zestaw kamer i czujników śledzi ruch samochodów poruszających się w pobliżu. Silnik elektryczny, zintegrowany z układem kierowniczym, pozwala autu korygować tor jazdy. Takie rozwiązanie sprawia, że możemy zdjąć dłonie z kierownicy a samochód sam pilnuje prędkości i trzyma się na wybranym pasie ruchu. Siedząc na miejscu kierowcy, szybko zauważamy, że auto wykazuje cechy „stadne” – jeśli pojazd jadący przed nami porusza się bliżej prawej krawędzi jezdni, nasze auto również zbliża się do prawej; jeśli tamten

jedzie przy osi jezdni, nasz samochód również trzyma się osi jezdni, choć nigdy jej nie przekroczy [4].

Takie marki, jak BMW, Mercedes czy Tesla, mówią mniej lub bardziej wprost: „dopracowaliśmy już systemy autonomiczne na tyle, że wystarczy je odblokować, żeby udostępnić naszym klientom pełną funkcjonalność pojazdu” [4]. Nie można jednak tego zrobić ze względów formalnych albo też możliwości zależą od prawodawstwa kraju (a w USA – także stanu). Tesla już dziś twierdzi, że samochody tej marki potrafią podjechać pod dom i zaparkować, a także wybrać właściwy zjazd na autostradzie, dostosować prędkość do panujących warunków i przepisów (nawigacja z naniesionymi dopuszczalnymi prędkościami na drogach oraz kamery odczytujące znaki drogowe to już nic zadziwiającego, prawda?) itp. Samochody autonomiczne są potencjalnie o wiele bardziej bezpieczne niż te prowadzone przez ludzi – widzą dalej i w każdych warunkach, mają podzielną uwagę, ich reakcja jest przewidywalna. Tego, ilu kierowców uratował od stłuczki system uruchamiania automatycznego hamowania w sytuacji, gdy kierowca w ogóle nie zauważył zbliżania się do przeszkody, nie sposób zliczyć [4].

Problemy, które nie pozwalają odblokować systemów autonomicznego kierowania, można zilustrować przykładem: jeśli wypadek jest nieuchronny i przez ułamek sekundy istnieje możliwość wyboru „zabić grupę pieszych lub jedną osobę”, który wariant komputer powinien wybrać? Albo jeszcze trudniej: poświęcić dwoje dorosłych czy jedno dziecko? W przypadku systemów autonomicznych takie dylematy nie należą do potencjalnych problemów, które może wystąpią, a może nie. Trzeba je rozstrzygnąć na wiele miesięcy przed zaistnieniem tej sytuacji – w chwili, gdy do niej dojdzie, nie będzie już możliwości zmiany decyzji. Kłóci się to z aktualnym prawodawstwem wielu krajów, np. Niemiec, gdzie osoba niezaangażowana w sytuację, a mająca możliwość skutecznej reakcji, nie ma prawa podjąć decyzji dotyczącej poświęcenia życia jednej osoby kosztem życia innego człowieka lub grupy osób. Bodaj w żadnym kraju nie istnieje obowiązek poświęcenia swojego życia kosztem życia innych – choćby i dużej grupy ludzi [4].

Z drugiej strony w dyskusji, która właśnie toczy się w Europie, pojawia się coraz więcej opinii mówiących, że autonomiczne systemy kierujące mają potencjał redukcji liczby ofiar na drogach, a skoro tak, to poświęcenie życia jednego człowieka, żeby uratować życie większej liczby osób, jest w porządku. Zakłada się, że ten dylemat zostanie rozstrzygnięty do 2025 roku. Są i inne problemy: skoro systemy autonomiczne są potencjalnie bardziej niezawodne niż człowiek-

kierowca, skoro kierowca to potencjalny czynnik ryzyka, to czy mając do dyspozycji autopilota, mam prawo go wyłączyć i prowadzić samochód samodzielnie tylko dlatego, że sprawia mi to przyjemność?

Te pytania wymagają rozstrzygnięcia, a wyniki tych rozstrzygnięć muszą uzyskać powszechną aprobatę. Dopóki to nie nastąpi, systemy autonomiczne będą rozwijane „w tle”, będziemy mieć w autach coraz lepsze i pomagające ludziom, bardzo kosztowne lecz częściowo wyłączone urządzenia wspomagające prowadzenie samochodów. One już są, tylko niektórzy nie zdają sobie sprawy z ich możliwości i że wystarczy je włączyć. Rozstrzygnięcia jednak nastąpią, gdyż Wizja Zero staje się faktem [4].

Na razie obowiązuje zasada: to kierowca w 100 proc. odpowiada za potencjalne kolizje czy wypadki, do których może dojść w czasie, gdy korzystamy z autopilota. Po włączeniu go nie zasypiaj – w każdej chwili możesz być potrzebny!

## LITERATURA

- [1] Goniewicz K., Goniewicz M., *Europejskie inicjatywy na rzecz poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego*, „Bezpieczeństwo pracy” 9/2014, 24–29
- [2] *Biała Księga Transportu: plan utworzenia jednolitego europejskiego obszaru transportu – dążenie do osiągnięcia konkurencyjnego i zasobooszczędnego systemu transportu*, Komisja Europejska, Bruksela 2011, <http://eurlex.europa.eu>
- [3] <https://pokoleniezero.pl/a/auto-zwolni-za-kierowce-czy-to-koniec-mandatow-za-szybka-jazde>, zasoby z dnia 9.12.2020
- [4] <https://beesafe.pl/porady/systemy-bezpieczenstwa-w-samochodzie/>, zasoby z dnia 9.12.2020
- [5] <https://pokoleniezero.pl/a/samochodowe-systemy-asystujace-jak-to-dziala>, zasoby z dnia 9.12.2020
- [6] Jamroz K., Żukowska J., Michalski L., *Wyzwania i kierunki działań na rzecz bezpieczeństwa ruchu drogowego w nadchodzącej dekadzie w Polsce*, „Transport miejski i regionalny”, 01/2019, 5–14
- [7] Budziszewski P., *Autonomiczny system awaryjnego hamowania – działanie*, „Bezpieczeństwo pracy” 5/2015, 22–24
- [8] Liu L., Cuib J., Lic J., *Obstacle Detection and Classification in Dynamical Background*. „AASRI Procedia” 2012, 1, 435–440

## **MODERNIZACJA ISTNIEJĄCYCH I BUDOWA NOWYCH STACJI ELEKTROENERGETYCZNYCH**

### **WSTĘP**

Jedną z ważniejszych części systemu elektroenergetycznego jest stacja elektroenergetyczna transformująca napięcie. Obecnie ceny nieruchomości rosną z każdym rokiem więc nowobudowane urządzenia nie mogą mieć tak dużych gabarytów jak te budowane do lat 90. ubiegłego wieku. Z drugiej jednak strony coraz większe zużycie energii wymusza budowę nowych urządzeń rozdzielających energię. Dodatkowo coraz ważniejsze staje się budowanie urządzeń magazynujących energię elektryczną, by wspomagać system energetyczny w okresie zwiększonego zapotrzebowania na energię.

Celem niniejszego artykułu jest przybliżenie niektórych rozwiązań konstrukcyjnych obecnie stosowanych stacji transformatorowych oraz przykłady możliwych modernizacji istniejących obiektów. Ważnym czynnikiem ułatwiającym lokalizację urządzeń jest zmniejszenie ich gabarytów i miniaturyzacja.

### **PODZIAŁ STACJI ELEKTROENERGETYCZNYCH**

Stacje elektroenergetyczne to bardzo złożone obiekty budowlane działające w systemie elektroenergetycznym. Najważniejszym zadaniem stacji jest przetwarzanie i rozdział energii elektrycznej umożliwiający jej dostarczenie odbiorcom końcowym.

Stacja transformatorowa, w której następuje rozdział energii elektrycznej na jednym poziomie napięcia jest nazywana stacją rozdzielczą. Jeśli w stacji odbywa się rozdział i transformacja energii elektrycznej jest ona nazywana stacją transformatorowo-rozdzielczą. Jednym z najczęściej występujących typów stacji jest stacja, w której następuje transformacja energii i jest ona nazywana stacją transformatorową [1, 2, 3].

---

<sup>1</sup> Politechnika Lubelska, WEiI, dawid.kostrzanowski@pollub.edu.pl

Podział stacji elektroenergetycznych jest dokonywany ze względu na:

- napięcie znamionowe linii zasilającej;
- budowę stacji;
- podmiot użytkujący stację;
- rolę w systemie elektroenergetycznym jaką pełni stacja;
- sposób izolowania części czynnych będących pod napięciem;
- transformację napięcia;
- liczbę zastosowanych transformatorów;
- sposób obsługi stacji;
- pełnioną rolę w systemie elektroenergetycznym.

Najbardziej istotne kryteria to napięcia znamionowe linii zasilającej, budowa stacji oraz sposób obsługi stacji. Podziału pod względem napięcia znamionowego linii zasilającej:

- stacje najwyższych napięć (NN), gdzie napięcie osiąga wartość wyższą lub równą 220 kV (220 kV, 400 kV);
- stacje wysokich napięć (WN), gdzie napięcie mieści się w przedziale od 60 kV do 110 kV (110 kV);
- stacje średnich napięć (SN), gdzie napięcie mieści się w przedziale od 6 kV do 40 kV (6 kV, 10 kV, 15 kV, 20 kV, 30 kV).

Podziału pod względem budowy stacji:

- wewnątrzowe (wszystkie zasadnicze elementy będące wyposażeniem stacji są umieszczone w budynku usytuowanym naziemnie lub podziemnie);
- napowietrzne (wszystkie zasadnicze elementy będące wyposażeniem stacji są umieszczane na zewnątrz, rozwiązanie stosowane np. w sieci wiejskiej);
- mieszane (część elementów wyposażenia stacji jest montowana w budynku, a część na zewnątrz, rozwiązanie stosowane np. w głównych punktach zasilania GPZ).

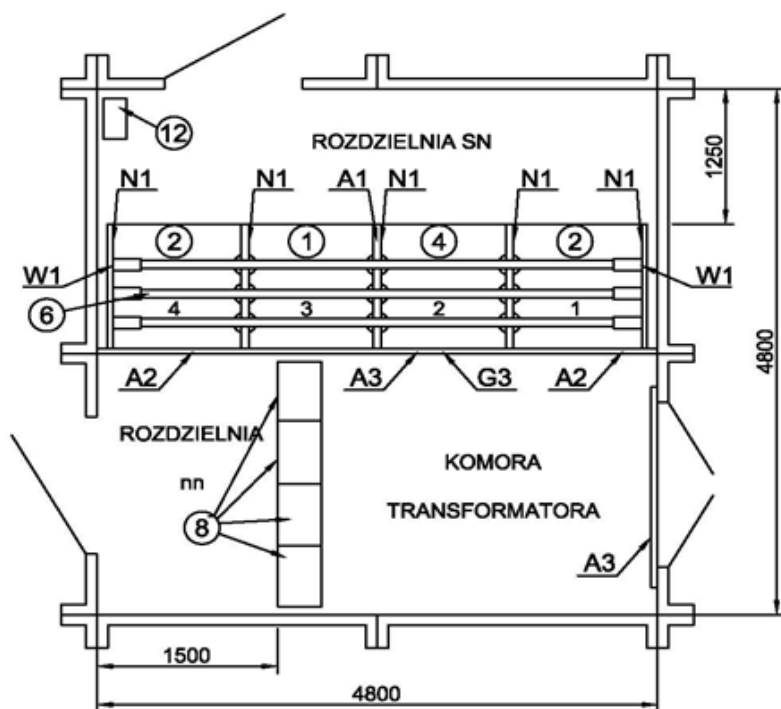
Podział pod względem sposobu obsługi stacji:

- stacje bez obsługi stałej;
- stacje z obsługą stałą;
- stacje z obsługą jednozmianową;
- stacje z dyżurem domowym;
- stacje nazywane centralnymi punktami objazdowymi do których zaliczają się ważne stacje bez stałej obsługi [1, 2, 3].

## MODERNIZACJA ISTNIEJĄCYCH STACJI

Charakterystyczną cechą stacji wewnątrzowych jest rozmieszczenie wszystkich zasadniczych elementów ich wyposażenia wewnątrz budynku stacji. Najczęściej są stosowane w aglomeracjach miejskich do zasilania odbiorców komunalnych lub przemysłowych.

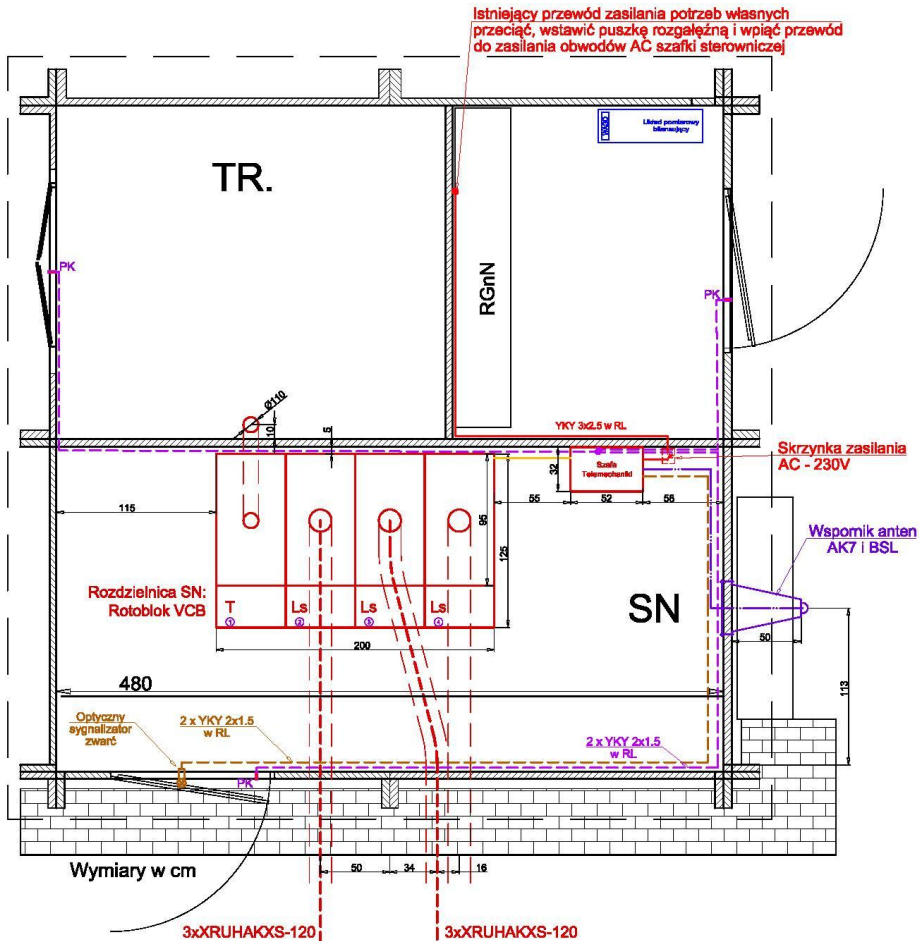
Poniżej została przedstawiona stacja typu MSTw 20/630 wykonana z komponentów prefabrykowanych tj. elementów wielkoformatowych żelbetonowych przewidzianą dla transformatorów o mocy do 630 kVA i zasilanych napięciem 15 kV. Obecnie stosowane są nawet transformatory o mocach powyżej 1 MVA dzięki zmniejszeniu gabarytów jednostek transformatorowych.



Rys. 1. Schemat rozplanowania pomieszczeń w stacji MSTw 20/630 [4]

Stacja była wyposażona w czteropolową rozdzielnicę średniego napięcia o izolacji powietrznej i zawierające ręczne łączniki i rozdzielnicę niskiego napięcia wyposażoną w podstawy bezpiecznikowe. Ówczesna aparatura zajmowała dużo miejsca dlatego ilość pól rozdzielnic była mocno ograniczona.



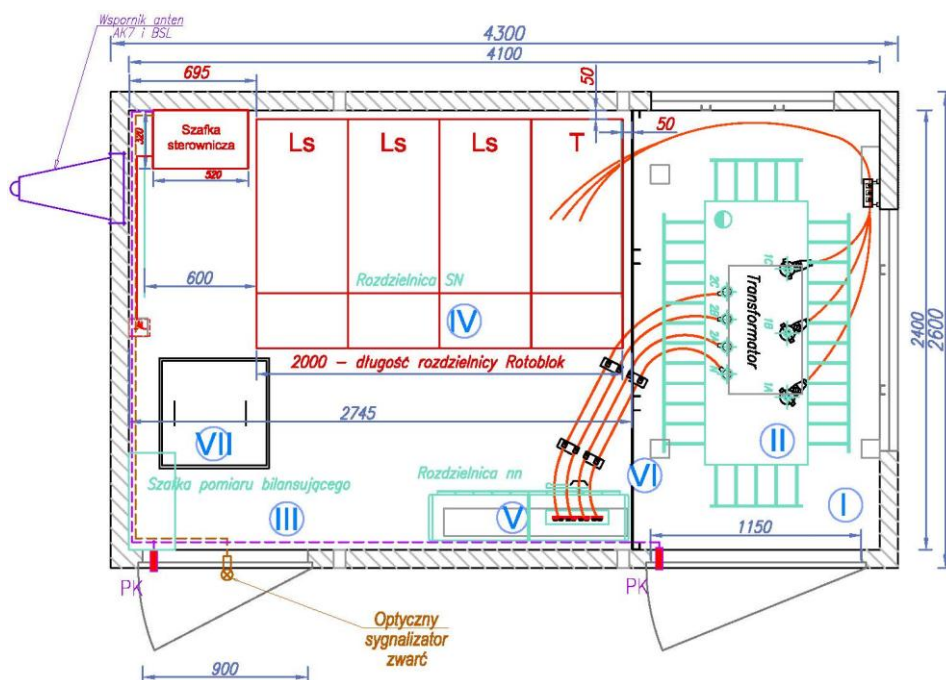


Rys. 2. Przykład modernizacji stacji MSTw 20/630

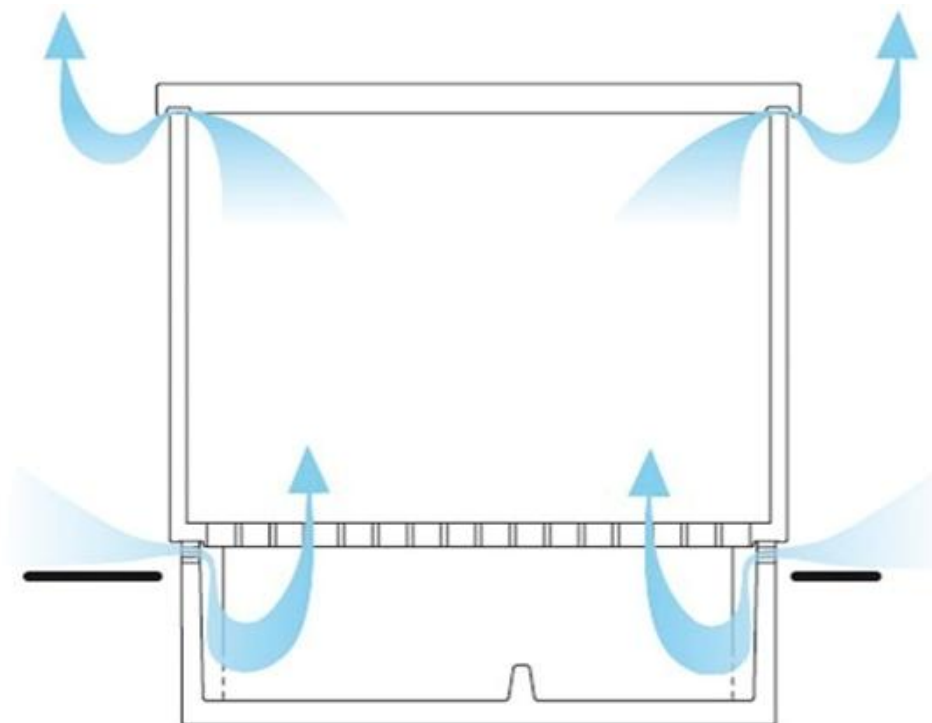
Na rysunku 2. przedstawiono modernizację rozdzielni stacji MSTw 20/630 po przeprowadzonej modernizacji obejmującej wymianę istniejącej rozdzielni średniego napięcia o izolacji powietrznej na rozdzielnicę typu VCB o izolacji SF<sup>6</sup> (sześćfluorek siarki). Pole rozdzielni VCB ma szerokość 50 cm natomiast pole starej rozdzielni miało szerokość 115 cm. Jak widać dzięki przeprowadzonej modernizacji jest wolne miejsce pod dalszą rozbudowę rozdzielni średniego napięcia, sterowanie łącznikami i odczyt parametrów sieci odbywa się zdalnie poprzez urządzenia telemechaniki. Funkcjonalność całej stacji znacząco wzrosła, czas przebudowy był krótszy niż rozbiórka i budowa nowego budynku stacji w tym samym miejscu oraz ekonomicznie bardziej opłacalna.

## BUDOWA NOWYCH STACJI ELEKTROENERGETYCZNYCH

Dla porównania poniżej na rysunku 3. zostało pokazane jedno z obecnie stosowanych rozwiązań stacji wewnętrznej typu STLmb 20/630. Stacja wyposażona jest w czteropolową rozdzielnicę średniego napięcia, rozdzielnicę niskiego napięcia, szafę pomiaru bilansującego oraz szafę sterowniczą telemechaniki. Szafa sterownicza telemechaniki umożliwia zdalne sterowanie łącznikami rozdzielnic średniego napięcia oraz przesył parametrów sieci średniego napięcia w czasie rzeczywistym. Sterownik telemechaniki umożliwia zastosowanie wyłączników krańcowych oznaczonych PK, które sygnalizują dyspozytorowi Okręgowego Centrum Dyspozytorskiego (OCD) otwarcie drzwi stacji i wykrycie włamania do stacji. Informacje o zwarcjach zostają wysłane do OCD kanałami łączności oraz sygnalizowane optycznym sygnalizatorem zwarć umieszczonym na zewnątrz nad drzwiami do rozdzielni. Sygnalizacja optyczna będzie bardzo przydatna w przypadku awarii systemu łączności, gdy zespół pogotowia energetycznego szuka miejsca wystąpienia zwarcia.



Rys. 3. Przykład rozmieszczenia urządzeń w stacji STLmb 20 630

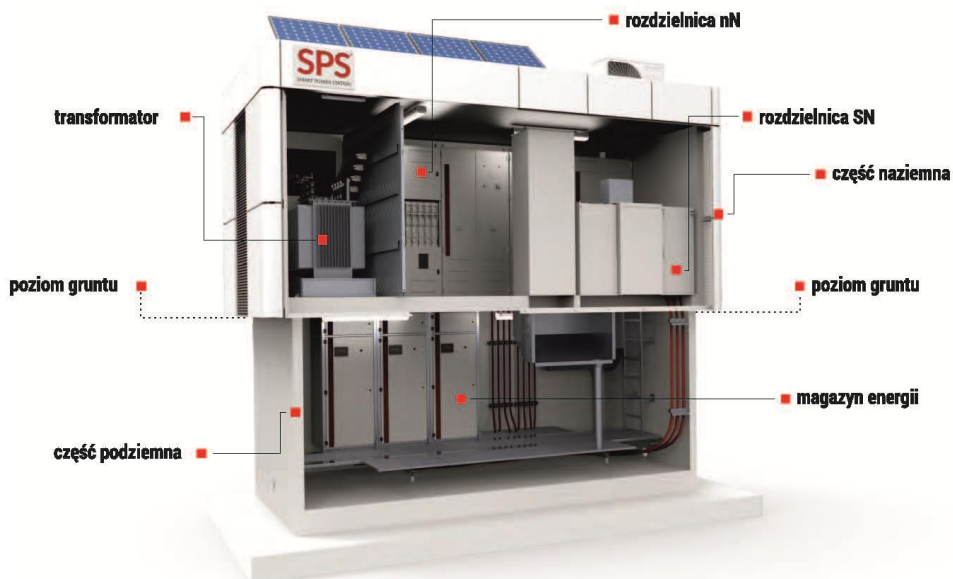


Rys. 4. Dodatkowy system wentylacji w obudowach KS..z i KS..w [5]

Na tle konkurencji obudowy typu KS..z i KS..w wyróżnia zastosowanie perforowanych podłóg i otworów wentylacyjnych wewnątrz komory transformatorowej i rozdzielni średniego i niskiego napięcia. W ten sposób wymuszony został przepływ powietrza przez prefabrykowany fundament i wylot przez otwory w dachu tak jak pokazano na rysunku 4. Badania przeprowadzone przez producenta wykazują, że obniżenie temperatury w komorze transformatora i rozdzielni SN i nN powoduje możliwość zmniejszenia strat zainstalowanych urządzeń w przedziale od 2,4% do 7,2% [5].

Biorąc pod uwagę ciągły wzrost temperatur powietrza wentylacja stacji transformatorowych będzie miała coraz większe znaczenie dla poprawnego działania systemu elektroenergetycznego.

Bardzo ciekawym rozwiązaniem mogącym wspomagać system energetyczny w gromadzeniu nadprodukcji energii w ciągu dnia jest stacja typu SPS (*Smart Power Stations*) przedstawiona na kolejnym rysunku (patrz rys. 5. str. 147).



Rys. 5. Widok stacji typu SPS wyposażonej w magazyn energii [6]

Stacja SPS składa się z dwóch części: nadziemnej i podziemnej. W części podziemnej zlokalizowany jest magazyn energii zapewniający optymalną temperaturę pracy ogniw akumulatorów oraz zwiększa bezpieczeństwo przeciwpożarowe dzięki stworzeniu naturalnych barier przez grunt otaczający bryłę budowlę. W części nadziemnej instalowane są urządzenia rozdzielni średniego i niskiego napięcia, transformator oraz urządzenia telemechaniki.

Stacja może być stosowana przez operatorów systemów elektroenergetycznych, producentów energii z odnawialnych źródeł energii lub do zasilania obiektów użytku publicznego np. szpitale, obiekty łączności wymagających stosowania rezerwowego zasilania.

Ekonomiczne uzasadnienie zastosowania tego rozwiązania to możliwość magazynowania energii z sieci dystrybucyjnej w tańszej taryfie nocnej lub energii wyprodukowanej z odnawialnych źródeł energii i korzystanie z tej energii w innym czasie. Ważnym aspektem jest również minimalizacja powierzchni zabudowy przez zastosowanie piętrowej podziemnej zabudowy.

Stację SPS można również wyposażyć w szybką ładowarkę do pojazdów samochodowych umożliwiającą ładowanie samochodów nawet w przypadku przerw w dostawie energii z sieci elektroenergetycznej [6].

## PODSUMOWANIE

Podsumowując opracowanie wytrzymałych materiałów i postęp w dziedzinie miniaturyzacji umożliwia znaczne zmniejszenie gabarytów obecnie stosowanych konstrukcji. Dzięki zmniejszonym gabarytom zewnętrznym znacznie łatwiej jest zlokalizować w zwartej zabudowie aglomeracji miejskich.

Zastosowanie najnowszych systemów automatyki zabezpieczeniowej oraz telemechaniki umożliwia bardzo szybkie i sprawne zarządzanie siecią elektroenergetyczną oraz usuwanie awarii. Dodatkowo zastosowanie magazynów energii elektrycznej już w niedalekiej przyszłości będzie nie tylko przydatne, ale w konsekwencji zmian czekających Polski system elektroenergetyczny wręcz wymagane dla utrzymania sprawności całego systemu. Każda inwestycja w obniżenie strat warta jest rozważenia by finalnie spowodować zmniejszenie emisji zanieczyszczeń środowiska. Przedstawione w niniejszym opracowaniu konstrukcje i rozwiązania stacji transformatorowych zwiększają bezpieczeństwo dostaw energii elektrycznej do odbiorców.

## LITERATURA

- [1] Kujaszczyk S. i inni, *Elektroenergetyczne sieci rozdzielcze*, WN PWN, 1994
- [2] Strojny J., Strzałka J., *Bezpieczeństwo eksploatacji urządzeń, instalacji i sieci elektroenergetycznych*, Wydanie I, 2010
- [3] Dołęga W., *Stacje elektroenergetyczne*, OWPW, 2007
- [4] *Album miejska stacja transformatorowa prefabrykowana wielkopłytkowa o napięciu 10 kV do 20 kV i mocy do 630 kVA*, Biuro studiów i projektów energetycznych Energoprojekt, Poznań, 1976
- [5] Wilk T., i inni, *Efektywność energetyczna stacji transformatorowych, Stacje KS..z, KS..w*, „Urządzenia dla energetyki”, nr 8/2013 (75)
- [6] Broszura produktu, <https://sps.zpue.pl/#>, zasoby z dnia 15.04.2021

## **ALGORYTMY UNIKANIA KOLIZJI STOSOWANE W ROBOTACH SZEREGOWYCH**

### **WSTĘP**

W 1920 r. pierwszy raz użyto słowa „robot” w sztuce R.U.R. (*Rossum's Universal Robots*), które zostało wprowadzone do czeskiego słownika przez Karela Čapek i oznaczało ono niewolniczą pracę. W dzisiejszych czasach słowo to jest używane w każdej dziedzinie życia, a stosunek do niego bywa bardzo różny.

Przemysł robotów miał bardzo duży wpływ na ekonomię państw. Każdy kraj walczył o jak najszybszy rozwój technologii, zachowując przy tym jak najwyższy stopień bezpieczeństwa. W dzisiejszych czasach roboty mogą pełnić nawet funkcje przewodników, co za tym idzie muszą być one bezpieczne dla otaczającego je środowiska. Elementem, dzięki któremu współpraca człowieka i robota może być realna są algorytmy unikania kolizji. Dają one możliwość zaplanowania ruchu robota jak i wykrycia zagrożenia kolizji. Na przestrzeni lat opracowywano coraz to nowsze, a przy tym bardziej skuteczne algorytmy, wprowadzając coraz więcej parametrów.

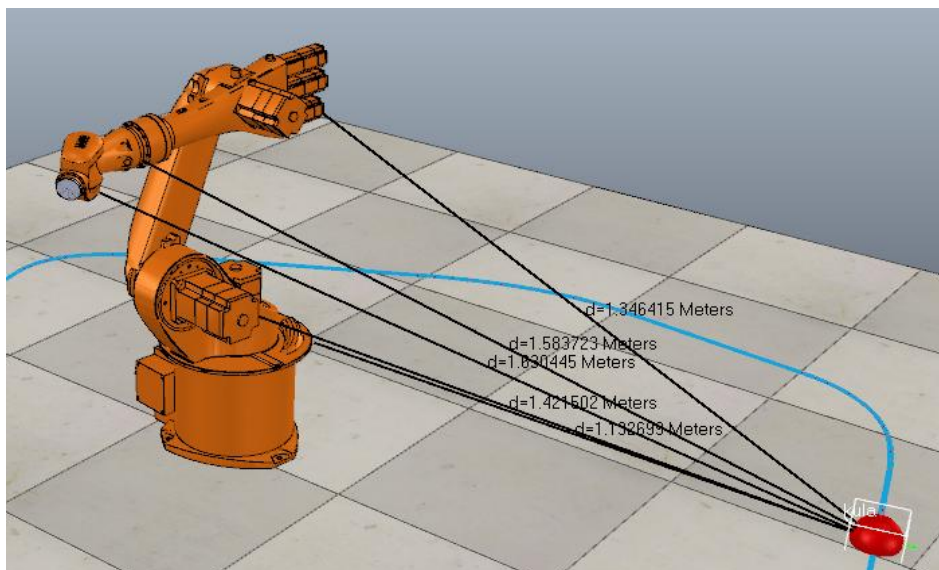
W celu stworzenia algorytmu wykorzystuje się: dane pomiarowe z czujników, aktualną i docelową pozycję robota oraz zmiany zachodzące w środowisku wokół robota.

### **DETEKCJA KOLIZJI**

Stworzono wiele algorytmów detekcji kolizji, które wykorzystuje się m.in. w robotyce, symulacjach komputerowych czy grafice komputerowej. Celem każdego z nich jest znalezienie czy w danym otoczeniu nie występuje obszar ograniczający ruch. Może być on ograniczony poprzez występujące na drodze obiekty statyczne bądź ruchome (Rys 1.).

---

<sup>1</sup> Politechnika Lubelska, WEiI, hubert.kargul@pollub.edu.pl



*Rys. 1. Robot i oznaczona czerwonym kolorem przeszkoda*

Większość algorytmów wymaga wiedzy na temat otoczenia wokół robota, wykorzystuje się te informacje podczas symulacji komputerowej w dyskretnych chwilach czasu. Oznacza to, że algorytm pozwala na dokładne wyznaczenie momentu kolizji. Informacje uzyskujemy dzięki danym pomiarowym uzyskanym z czujników, znajomości pozycji aktualnej oraz docelowej robota. Od algorytmów wymaga się, aby były efektywne obliczeniowo i wygenerowały możliwie najprostszy ruch.

## **UNIKANIE KOLIZJI**

Podstawową umiejętnością, jaką muszą mieć roboty to unikanie kolizji. W porównaniu do wykrywania kolizji, odbywa się ono po wykryciu możliwej kolizji. Ruch manipulatora będzie zależeć od dostępnych ścieżek, ścieżki te mogą być określane w momencie ruchu robota lub przed jego wykonaniem jeżeli wszystkie pozycje przeszkód są znane i niezmiennie.

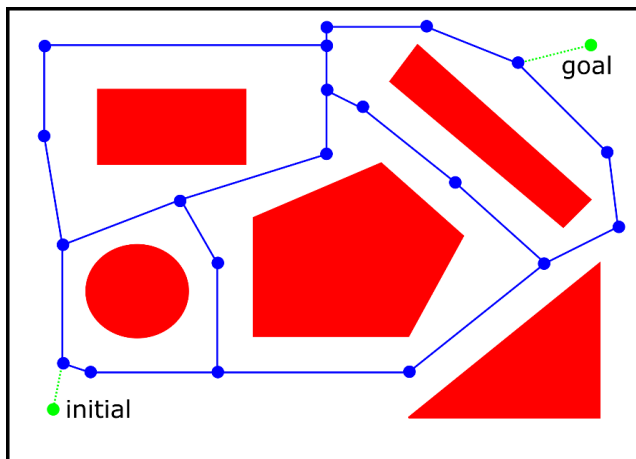
Znalezienie bezkolizyjnej ścieżki może być kłopotliwe w zależności od używanego algorytmu i związanej z nim dokładności [1]. Oznacza to, że robot powinien mieć zdolność do pozyskiwania danych ze środowiska, planowania ruchu oraz omijania przeszkód. Ma to na celu zapewnienie bezpieczeństwa dla osób będących w pobliżu jak i pozwala na kontrolowanie prawidłowej pracy manipulatora.

Metody unikania kolizji możemy podzielić na dwie podstawowe kategorie:

- metoda planowania ruchu (metoda *off-line*) [2], w której brane są pod uwagę znane przeszkody. Nie stosujemy tej metody do ruchów interaktywnych, ze względu na złożoność i czas obliczeń, który wydłuża się wraz ze wzrostem stopni swobody;
- metoda unikania kolizji reaktywna (metoda *on-line*) [3]. Reaktywne unikanie kolizji modyfikuje trajektorie, znając pozycje bieżąca i docelową manipulatora. Aby zastosować tę metodę, należy określić kierunek unikania oraz sposób przełączania priorytetu między ruchami osiągnięcia celu a ruchami unikania kolizji. Na przykład, jeśli odległość między segmentami jest wystarczająco duża, ruchy osiągające cel powinny mieć wyższy priorytet niż ruchy unikania kolizji.

## PLANOWANIE TRAJEKTORII – METODA OFF-LINE

Algorytmy „map drogowych” opierają swoje działanie na łączeniu wolnego obszaru za pomocą prostych bądź krzywych, które nazywamy drogami. Dzięki połączeniu tych prostych otoczenie zostaje opisane za pomocą grafu. Po jego stworzeniu manipulator wykorzystuje go jako sieć dróg pomiędzy obszarami, w których ruch jest możliwy do wykonania. Planowanie trajektorii odbywa się w momencie gdy dołączymy punkt początkowy i końcowy do istniejącej sieci dróg. Ostatnim krokiem jest wyznaczenie ścieżki pomiędzy dołączonymi punktami w istniejącej sieci dróg.



Rys. 2. Idea działania algorytmów z grupy map drogowych [4]



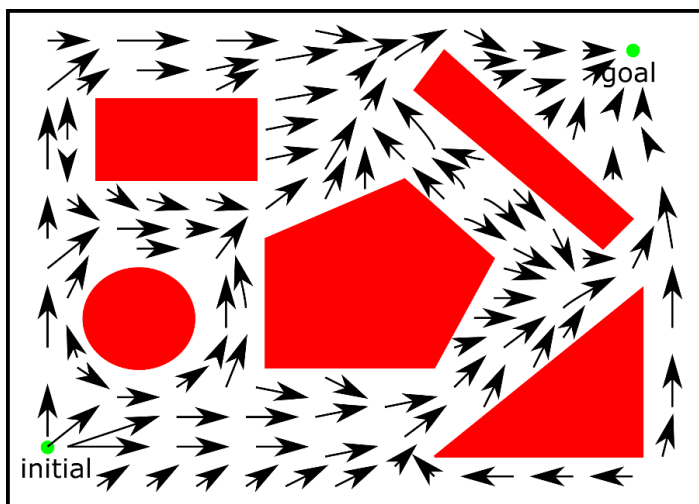
Punkt początkowy (*initial*) i końcowy (*goal*) należą do istniejącej sieci dróg. Znanymi algorytmami zaliczanymi do grupy map drogowych są m.in.: diagramy widoczności, diagramy Voronoia oraz algorytm Canne-go.

Algorytmy bazujące na sztucznych polach potencjałowych [5, 6], polegają na stworzeniu pola, które przyciąga do celu a odpycha od przeszkód. Manipulator jest rozpatrywany jako poruszający się punkt w przestrzeni konfiguracyjnej po liniach o najmniejszej wartości sztucznego potencjału.

Na rysunku 3 przedstawiono dwuwymiarową przestrzeń konfiguracyjną z wyznaczonym wypadkowym sztucznym polem potencjałowym, które jest sumą potencjału przyciągającego (cel) i odpychającego (przeszkoda). Funkcja potencjału określona jako  $U: R^m \rightarrow R$  jest ona różniczkowalna w całej dziedzinie. Algorytm zaczyna działanie w punkcie  $q(0) = q_{start}$ . Wyznaczenie drogi sprowadza się do iteracyjnego obliczenia globalnego minimum funkcji, wykorzystując metodę gradientu prostego, zapisując każdy krok. Poniżej zaprezentowano równanie dla  $i$ -tej iteracji.

$$q(i+1) = q(i) - a \nabla U(q(i)) \quad (1)$$

Istotną kwestią jest zdefiniowanie funkcji potencjałowych.



Rys. 3. Pole sztucznego potencjału. Strzałki pokazują kierunek największego gradientu [5]

W przypadku potencjału przyciągającego ważne jest aby jego wartość malała wraz z zbliżaniem się do celu. Od potencjału odpychającego wymaga się by jego

wartość była duża w pobliżu przeszkody i szybko malała, gdy manipulator oddala się od niej, tak aby niepotrzebnie nie wpływać na ruch.

Przykładowym potencjałem przyciągającym do celu może być następująca funkcja:

$$U_p(q(i)) = \frac{1}{2} k_p (\|q(i) - q_{cel}\|)^2 \quad (2)$$

gdzie  $k_p$  jest skalą,  $q_{cel}$  jest wektorem współrzędnych celu w przestrzeni konfiguracyjnej.

Natomiast dobrą funkcją określającą potencjał odpychający od przeszkody jest następująca funkcja:

$$U_o(q(i)) = \frac{1}{2} k_o \left( \frac{1}{\|q(i) - q_{prze}\|} - \frac{1}{d_o} \right) dla \|q(i) - q_{prze}\| \leq d_o$$

$$U_o(q(i)) = 0 dla \|q(i) - q_{prze}\| > d_o \quad (3)$$

gdzie:  $k_o$  jest współczynnikiem skali,  $q_{prze}$  jest wektorem współrzędnych celu w przestrzeni konfiguracyjnej, a  $d_o$  jest odległością, powyżej której potencjał przeszkody nie ma wpływu na manipulator.

Do określania funkcji potencjałowych warto odnieść się do istniejących wzorów na pola potencjalne występujące w fizyce jak: pole grawitacyjne, pole elektryczne, pole określające sprężystość.

Oprócz wymienionych grup algorytmów istnieją również metody planowania bezkolizyjnej trajektorii wykorzystując podejście probabilistyczne. Szeroko stosowanym algorytmem do planowania trajektorii manipulatorów jest algorytm szybko-eksplorujących drzew losowych (ang. *Rapidly-Exploring Random Tree* (RRT)) [8].

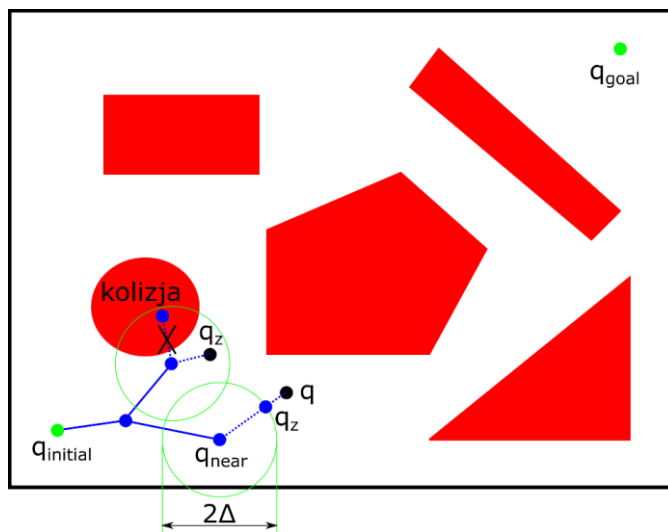
Algorytm RRT generuje losowo położone punkty w przestrzeni konfiguracyjnej i łączy je ze sobą w formie specjalnego grafu zwanego drzewem, gdzie każdy wierzchołek jest połączony do jednego wierzchołka nadrzędnego. Drzewo jest zakorzenione w punkcie startu.

Wejściami do algorytmu są:

- $q_{initial}$  – współrzędne punktu początkowego;
- $q_{goal}$  – współrzędne punktu docelowego;
- $\Delta$  – maksymalna odległość nowego wierzchołka.

Algorytm działa dopóki nie zostanie połączony punkt początkowy z docelowym. W trakcie działania drzewo generowane jest w następujący sposób:

- wygeneruj nowy wierzchołek w losowym położeniu  $q$  w przestrzeni konfiguracyjnej;
  - sprawdź czy nie nastąpiła kolizja z przeszkodą w punkcie  $q$ . Jeśli wykryto kolizję, wróć do punktu 1 algorytmu;
  - jeśli nie wykryto kolizji, znajdź współrzędne  $q_{near}$  najbliższego wierzchołka należącego do drzewa;
  - sprawdź czy punkt  $d(q, q_{near}) \leq \Delta$ . Jeśli nie wyznacz współrzędne wierzchołka  $q_z$ , który leży na prostej łączącej wierzchołki  $q$  i  $q_{near}$  w odległości  $\Delta$  od  $q_{near}$ . Jeśli tak to  $q_z = q$ ;
  - sprawdź czy można połączyć wierzchołek  $q_z$  do drzewa w wierzchołku  $q_{near}$ . Jeśli tak to połącz krawędzią wierzchołki  $q_z$  i  $q_{near}$ . Jeśli nie wróć do punktu 1.
- Rysunek 4 przedstawia sposób dodawania nowego wierzchołka do grafu w dwuwymiarowej przestrzeni konfiguracyjnej.

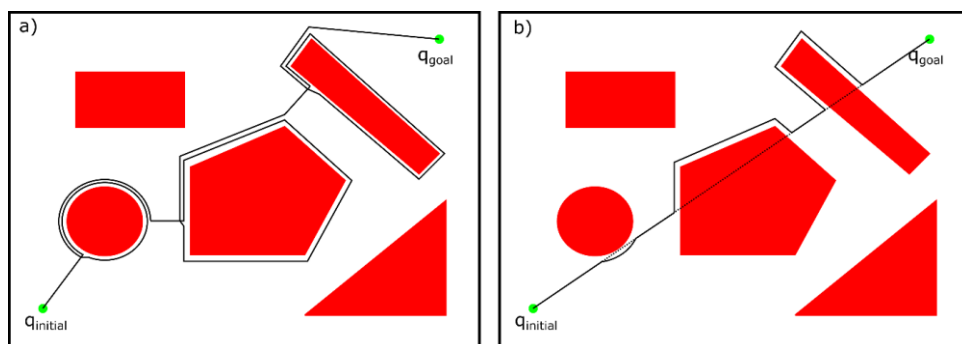


Rys. 4. Schemat działania algorytmu RRT [8]

## MODYFIKOWANIE ZADANEJ TRAJEKTORII – METODA ON-LINE

Algorytmy opierające się o metody online pozwalają na reaktywne ominięcie przeszkody w najbliższym otoczeniu, gdy robot porusza się po zadanej trajektorii. Algorytm z grupy *BUG* [7] inspirowane były zachowanie owadów. Manipulator podąża do celu aż do napotkania przeszkody. Gdy zostanie wykryta, podąża wzdłuż jej brzegu. Istnieje wiele odmian tego algorytmu. W przedstawionej

wersji manipulator okrąży przeszkodę (jeśli jest to możliwe), a potem wyznacza, w którą stronę ma się poruszyć by dotrzeć do celu. W ulepszonej wersji tego algorytmu zakłada się, że manipulator porusza się po wyznaczonej trajektorii. Jeżeli wykryje przeszkodę to stara się ją ominąć, podążając wzdłuż jej brzegu, aż do powrotu na wyznaczoną ścieżkę. Działanie tego algorytmu zostało przedstawione na rysunku 5.



Rys. 5. Działanie algorytmów z rodziny BUG: a) najprostsza wersja algorytmu BUG; b) wersja algorytmu BUG, który zakłada poruszanie po wyznaczonej trajektorii i omijanie napotkanych przeszkód [7]

## ALGORYTM A\*

Algorytm zaczyna działanie w węźle o etykiecie Punkt początkowy, z określonym węzłem docelowym oraz zdefiniowanym grafem. Algorytm opiera swoje działanie na minimalizacji funkcji  $f(X)$ , która jest definiowana jako funkcja kosztu  $g(X)$  oraz funkcji heurystycznej  $h(X)$ , gdzie  $X$  określa wektor współrzędnych węzła grafu. Funkcja  $f(X)$  określona jest następującą zależnością:

$$f(X) = g(X) + h(X) \quad (4)$$

Funkcja  $g(X)$  określa rzeczywisty koszt dojścia do danego węzła  $X$  grafu (suma wag krawędzi które należą już do ścieżki oraz wagi krawędzi łączącej aktualny węzeł). Funkcja  $h(X)$  zwana funkcją heurystyczną. Oszacowuje ona koszt dotarcia od węzła  $X$  do węzła docelowego. Typowe funkcje heurystyczne dla algorytmu A\* można znaleźć w literaturze [8]. W omawianym systemie zastosowano metrykę euklidesową.

Do poprawnego działania algorytmu każdemu z węzłów o etykiecie: Osiągalny nadawane są trzy cechy:

- otwarty/zamknięty – czy dany węzeł sąsiaduje z węzłem, który został odwiedzony;
- odwiedzony/nieodwiedzony – czy dany węzeł był odwiedzany czy też nie – węzły nieodwiedzone muszą należeć do węzłów otwartych;
- węzeł nadrzędny – węzeł z którego prowadzi najkrótsza droga od węzła docelowego. Informacja o węzłach nadrzędnych służy do określenia ścieżki.

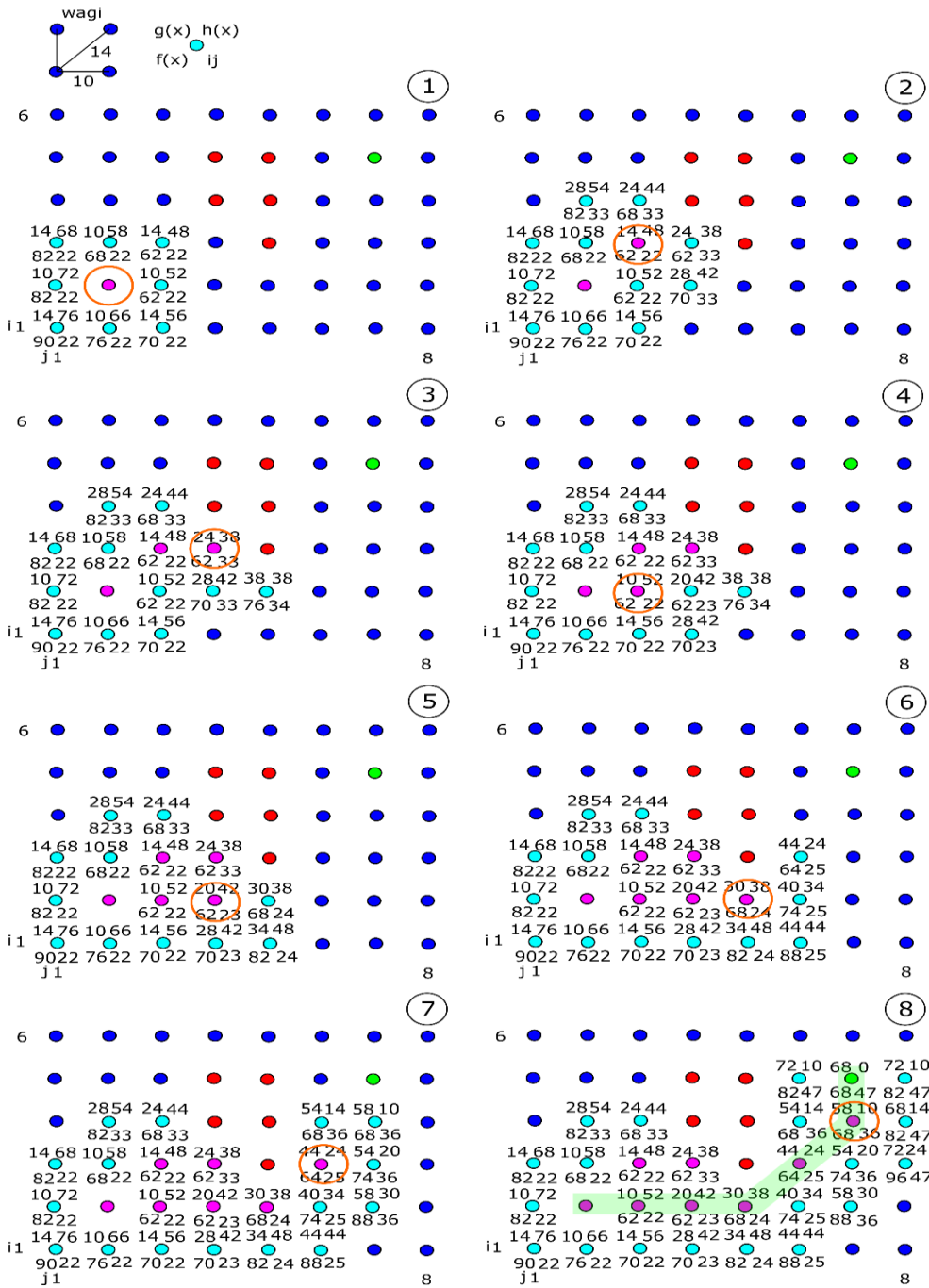
Na rysunku 6 przedstawiono działanie algorytmu  $A^*$  na grafie, odwzorowującym dwuwymiarową przestrzeń konfiguracyjną. Kolorem niebieskim oznaczono węzły o etykiecie: Osiągalny, kolorem czerwonym – przeszkoda. Zielonym kolorem oznaczono węzeł docelowy.

Algorytm zaczyna swoje działanie w węźle początkowym, który jako pierwszy zostaje węzłem odwiedzonym (kolor jasny purpurowy). W pamięci przechowywane są informacje o wartościach funkcji  $f(X)$ ,  $g(X)$  i  $h(X)$  oraz czy węzeł był *odwiedzony* i *numer węzła nadrzędnego* (liczby na rys. 6). Początkowo wartości funkcji  $f(X)$ ,  $g(X)$  i  $h(X)$  dla wszystkich węzłów osiągalnych przyjmuje się jako wartość nieokreśloną.

Działanie algorytmu  $A^*$  można opisać następującymi krokami:

- oblicz wartości funkcji  $f(X)$ ,  $g(X)$  i  $h(X)$  dla wszystkich sąsiadujących węzłów z obecnym węzłem (otoczony pomarańczowym okręgiem), które są osiągalne i nieodwiedzone oraz zapamiętaj te wartości. Jeśli dla obecnego węzła, obliczone wartości funkcji  $f(X)$ ,  $g(X)$  i  $h(X)$  dla węzła sąsiadującego są mniejsze od obliczonych wcześniej lub ich wartość jest nieokreślona, zapisz je i uznaj obecny węzeł za węzeł nadrzędny do sąsiadującego;
- wybierz z grupy węzłów niedowiedzionych, ten dla którego wartość funkcji  $f(X)$  ma najmniejszą wartość. Jeżeli więcej niż jeden węzeł ma tą samą wartość funkcji  $f(X)$ , wybierany jest węzeł o najmniejszej wartości funkcji  $h(X)$ . Jeśli i tych jest kilka, wybierany jest węzeł losowo z wymienionego zbioru;
- jeżeli wybrany węzeł jest docelowy (kolor zielony) zakończ działanie algorytmu.

Ścieżka wybierana jest po numerach węzłów nadrzędnych zaczynając od węzła docelowego.



Rys. 6 Działanie algorytmu A\*[9]

## PODSUMOWANIE

Opisane algorytmy dotyczyły unikania kolizji w otoczeniu manipulatora. Są one niezbędne do prawidłowego funkcjonowania robota. Podzielono je na dwa typy: planowania trajektorii działającej w trybie offline oraz modyfikujące zadaną trajektorię, działającej w trybie online. Częściej w życiu codziennym spotkamy się z algorytmami planowania trajektorii, gdzie robot wykonuje powtórnie te same zadania. Celem na przyszłość jest usprawnienie działania kolejnych algorytmów, tak by były one jak najskuteczniejsze i równocześnie najprostsze w obsłudze.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Gasparetto A., Boscariol P., Lanzutti A., Vidoni R., *Path Planning and Trajectory Planning Algorithms*, Springer International Publishing 2015
- [2] Majchrowski M., *Algorytm unikania kolizji przez robota mobilnego bazujący na przeszukiwaniu przestrzeni prędkości*, „Pomiary Automatyka Robotyka”, 2007, 2
- [3] Gasparetto A., Boscariol P., Lanzutti A., Vidoni R., *Path Planning and Trajectory Planning*, DOI:10.1007/978-3-319-14705-5\_1
- [4] Eberly D., *Dynamic Collision Detection using Oriented Bounding Boxes*, Geometric Tools, 2008
- [5] Khatib O., *Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots*. In: Proceedings of the 1985 IEEE international conference on robotics and automation, 500–505, 1985
- [6] Volpe RA., *Real and artificial forces in the control of manipulators: theory and experiments*, The Robotics Institute, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, 1990
- [7] LaValle SM. *Planning algorithms*, Cambridge University Press, 2006
- [8] [http://msl.cs.uiuc.edu/~lvalle/cs497\\_2001/book/uncertain/node3.html](http://msl.cs.uiuc.edu/~lvalle/cs497_2001/book/uncertain/node3.html), zasoby z dnia 12.01.2020
- [9] <http://theory.stanford.edu/~amitp/GameProgramming/Heuristics.html>, zasoby z dnia 12.01.2020

## **OCHRONA PRZECIWPORAŻENIOWA W INSTALACJACH NISKIEGO NAPIĘCIA**

### **WSTĘP**

Ochrona przeciwporażeniowa w instalacjach niskiego napięcia jest najważniejszym punktem, który należy spełnić w trakcie projektowania instalacji. Dobrze zaprojektowana i wykonana ochrona zapewni bezpieczne i długotrwałe użytkowanie instalacji. Odpowiednia ochrona jest wymagana ze względu na szkody wywołane przepływem prądu elektrycznego przez ciało ludzkie, który może nawet spowodować śmierć. Skutki zależą od wielu czynników, między innymi od wartości płynącego prądu, czasu i drogi przepływu czy też od rodzaju prądu. Także stan ciała ma znaczny wpływ na skutki porażenia. Uszkodzony czy wilgotny naskórek znacznie lepiej przewodzi prąd elektryczny. Jak widać prąd elektryczny to naprawdę niebezpieczna rzecz. Jednak są sposoby zapewniające bezpieczne użytkowanie tego cudu ludzkiej inteligencji. W artykule tym przedstawiono sposoby ochrony przeciwporażeniowej, a w szczególności poprzez samoczynne wyłączenie zasilania.

### **OCHRONA PODSTAWOWA**

Ochrona podstawowa inaczej nazywana jest ochroną przed dotykiem bezpośrednim. Jak sama nazwa mówi celem tej ochrony jest uniemożliwienie bezpośredniego dotknięcia części przewodzących urządzenia. Do ochron podstawowych należy między innymi:

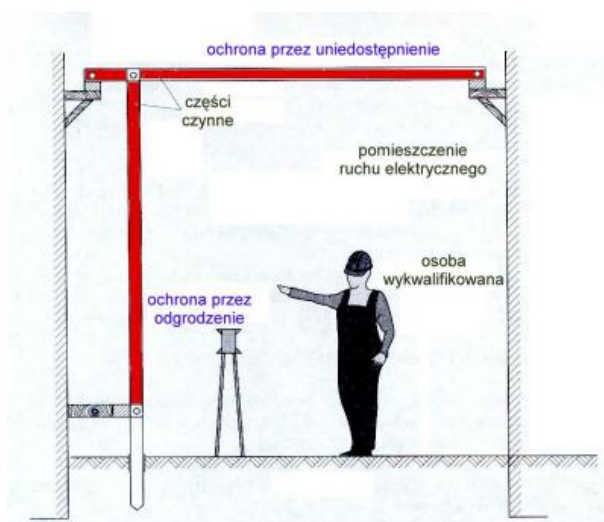
- izolacja podstawowa – trwałe pokrycie elementów przewodzących materiałem izolacyjnym. Usunięcie tej izolacji może nastąpić jedynie poprzez uszkodzenie mechaniczne;

---

<sup>1</sup> Politechnika Lubelska, WEiI, maciej.dziuba@pollub.edu.pl



- obudowy – mają na celu nie dopuszczenie do dotknięcia części czynnych znajdujących się w niej. Usunięcie tego zabezpieczenia może być dokonane jedynie poprzez wykorzystanie odpowiednich narzędzi czy też klucza;
- zagrody – specjalne przeszkody uniemożliwiające zbliżenie się, czy też dotknięcie do elementów czynnych;
- umieszczanie elementów czynnych poza zasięgiem ręki – dotknięcie elementów przewodzących może nastąpić jedynie poprzez wykorzystanie specjalnych narzędzi, np. drabiny.



*Rys. 1. Przykładowe środki ochrony podstawowej, zagroda oraz elementy czynne poza zasięgiem ręki [3]*

Ochrona podstawowa chroni tylko przed nieumyślnym dotknięciem, a nie spełnia żadnego zadania jeśli ktoś umyślnie chce dotknąć element przewodzący.

## **OCHRONA PRZY USZKODZENIU**

Ochrona przy uszkodzeniu ma na celu zapewnienie bezpieczeństwa w przypadku, gdy ochrona podstawowa zostanie uszkodzona. Do tej grupy zabezpieczeń należy między innymi:

- izolacja podwójna lub wzmocniona – izolacja tego typu składa się z izolacji podstawowej oraz dodatkowej zapewniającej zmniejszenie ryzyka uszkodzenia się powłoki chroniącej;



Rys. 2. Izolacja podwójna [7]

- izolowanie stanowiska – na takim zabezpieczeniu stanowiska pracy, aby niemożliwe było dotknięcie element przewodzącego;
- nie uziemione połączenie wyrównawcze – polega na połączeniu ze sobą wszystkich części przewodzących, dzięki czemu nawet w razie uszkodzenia izolacji na tych elementach nie powstaną różnice potencjałów;
- samoczynne wyłączenie zasilania.

Najczęściej stosowaną ochroną przy uszkodzeniu jest samoczynne wyłączenie zasilania. Ten rodzaj zabezpieczeń jest stosowany gdy wartość, jak i czas trwania napięcia dotykowego powstałego w przypadku uszkodzenia zabezpieczenia podstawowego, mogą powodować skutki patofizjologiczne. Zabezpieczenia tego typu w chwili zadziałania odłączają jeden lub dwa przewody w celu stworzenia przerwy w obwodzie. W celu prawidłowego ich działania należy odpowiednio dobrać charakterystykę czasowo-prądową. Należy pamiętać, że taka ochrona nie może być wykorzystywana w każdym typie sieci. Do poprawnego jej działania niezbędny jest przewód ochronny (PE, PEN). Projektując zabezpieczenie dla danej sieci należy sprawdzić czy obwód zostanie rozłączony w wymaganym czasie (tabela na Rys. 3.) oraz czy nie zostanie przekroczone napięcie dotykowe dopuszczalne długotrwałe.

Największy dopuszczalny czas wyłączenia zasilania w sekundach wg PN-HD 60364-4-41:2017-09

| Układ sieci | 50 V < U <sub>o</sub> ≤ 120 V |               | 120 V < U <sub>o</sub> ≤ 230 V |       | 230 V < U <sub>o</sub> ≤ 400 V |     | U <sub>o</sub> > 400 V |     |
|-------------|-------------------------------|---------------|--------------------------------|-------|--------------------------------|-----|------------------------|-----|
|             | AC                            | DC            | AC                             | DC    | AC                             | DC  | AC                     | DC  |
| TN          | 0,8                           | <sup>1)</sup> | 0,4                            | 1 (5) | 0,2                            | 0,4 | 0,1                    | 0,1 |
| TT          | 0,3                           | <sup>1)</sup> | 0,2                            | 0,4   | 0,07                           | 0,2 | 0,04                   | 0,1 |

<sup>1)</sup> Wyłączenie może być wymagane z innych powodów niż zagrożenie porażeniem.  
U<sub>o</sub> – napięcie instalacji względem ziemi  
W nawiasie podano czas wymagany przez normę PN-HD 60364-4-41:2009

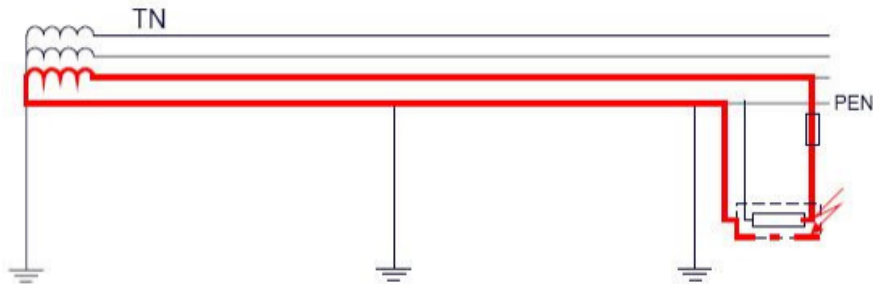
Rys. 3. Zrzut tabeli z największym dopuszczalnym czasem wyłączenia zasilania w sekundach według PN-HD 60364-4-41:2017-09 [9]



Rys. 4. Przykładowy wyłącznik nadprądowy Etimat 11 3p firmy ETI Polam [8]

## SAMOCZYNNNE WYŁĄCZENIE ZASILANIA W UKŁADZIE SIECI TN

W układzie TN do prawidłowej pracy samoczynnych wyłączników zasilania niezbędne jest połączenie wszystkich elementów przewodzących do wspólnego, uziemionego punktu sieci. Następuje to poprzez przewody ochronne (PE, PEN). W tego typie sieci w przypadku uszkodzenia przewodu PEN na elementach metalowych odbiorników pojawia się pełne napięcie fazowe. Z tego powodu zaleca się aby punkt neutralny lub środkowy sieci był dodatkowo uziemiony. Dodatkowo polecane jest uziemianie przewodu ochronnego wszędzie tam, gdzie jest to możliwe do wykonania.



Rys. 5. Pętla zwarcia w układzie sieci TN [10]

Aby było zapewnione bezpieczeństwo w układach TN musi być spełniony następujący warunek:

$$Z_S \leq \frac{U_S}{I_A} \quad (1)$$

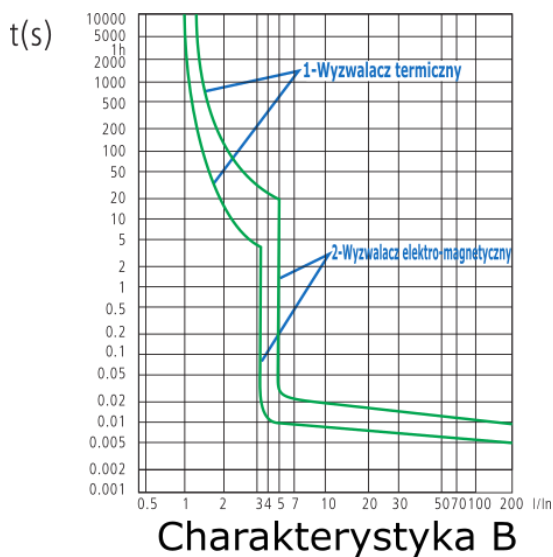
gdzie:

$Z_S$  – impedancja pętli zwarcia;

$I_A$  – jest to prąd wyłączający zabezpieczenie w wymaganym czasie;

$U_0$  – wartość skuteczna napięcia.

W celu uzyskania skuteczności działania zabezpieczenia samoczynnego wyłączenia prądu należy odczytać z charakterystyki czasowo-prądowej wartości prądu wyłączającego, a także impedancję pętli zwarcia.



Rys. 6. Przykładowa charakterystyka czasowo-prądowa dla wyłącznika nadprądowego typu B [11]

## SAMOCZYNNNE WYŁĄCZENIE ZASILANIA W UKŁADZIE SIECI TT

W układach sieci TT elementem charakterystycznym jest zjawisko zamykania się pętli zwarcia doziemnego przez ziemię w razie uszkodzenia izolacji. Z tego powodu wszystkie elementy przewodzące muszą być połączone do uzziemienia ochronnego  $R_a$ . W chwili zwarcia pętla zamyka się poprzez uzziemienie ochronne  $R_a$ , a następnie przez uzziemienie robocze  $R_b$  oraz linię. Uzziemienie robocze występuje przy stacji zasilającej. W tym układzie sieci prąd zwarciový jak zazwyczaj mniejszy niż 50A. Wynika to ze znacznej wielkości rezystancji pętli zwarcia. Ze względu na nie duży prąd zwarciový zwykłe wyłączniki nadprądowe mogą okazać się niewystarczające. Z tego też powodu w układach sieci TT powinny być stosowane dodatkowo wyłączniki różnicowoprądowe. Powinny

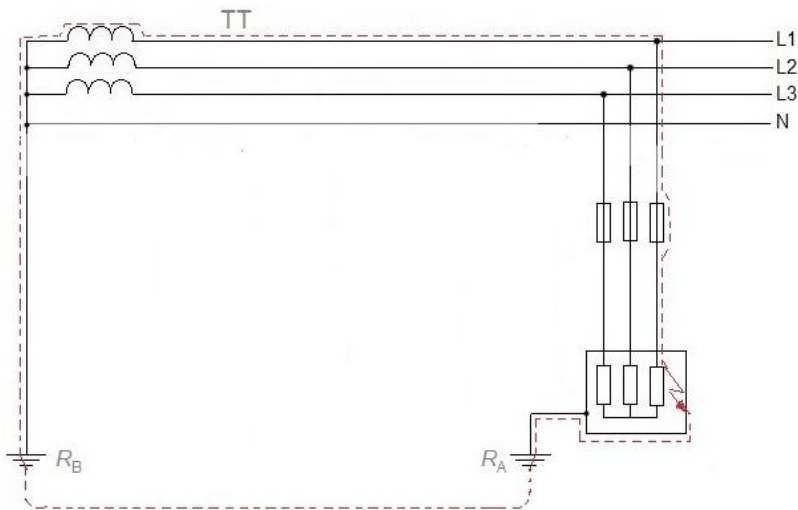
one spełniać wymagania – aby czas wyłączenia był mniejszy niż największy dopuszczalny czas wyłączenia zgodnie z rys. 6.

$$I_{\Delta n} \times R_a \leq 50V \quad (2)$$

gdzie:

$I_{\Delta n}$  – prąd znamionowy różnicowy wyłącznika;

$R_a$  – suma rezystancji uziemień i przewodu ochronnego.



Rys. 7. Pętla zwarcia w układzie sieci TT [12]

## SAMOCZYNNE WYŁĄCZENIE ZASILANIA W UKŁADZIE SIECI IT

Sieci tego typu charakteryzują się tym, iż są odizolowane od sieci lub są połączone poprzez dużą impedancję. Połączenie to dokonuje się w punkcie neutralnym, w punkcie środkowym lub w punkcie neutralnym sztucznym. Należy pamiętać iż wszystkie części przewodzące powinny być połączone z uziemieniem ochronnym.

W przypadku gdy w tego typu sieci dojdzie do zwarcia doziemnego z elementem przewodzącym, prądy rażeniowe są niewielkie (nawet poniżej 1 A). Jest to tak zwane pierwsze zwarcie doziemne. W takich sytuacjach samoczynne wyłączenie zasilania nie zadziała. Napięcie dotykowe nie przekracza wartości dopuszczalnego długotrwałego napięcia dotykowego  $U_L$ , jest zatem spełniony następujący warunek:

$$R_A \leq \frac{U_L}{I_d} \quad (3)$$

gdzie:

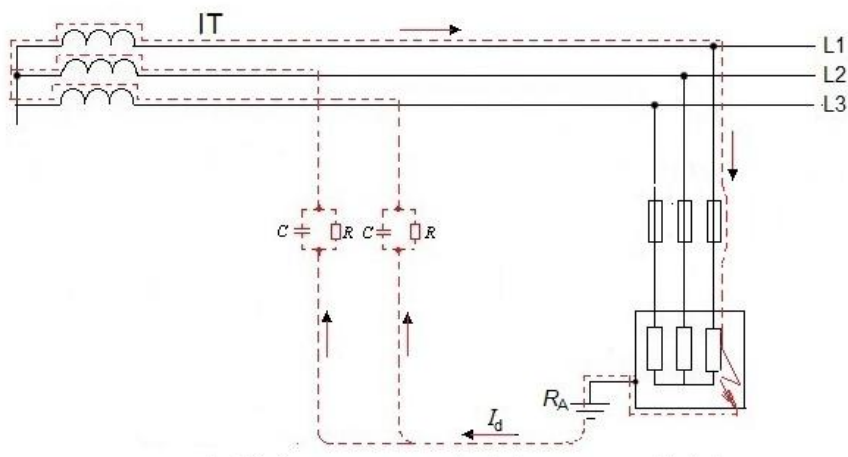
$R_A$  – suma rezystancji uziemień i przewodu ochronnego;

$U_L$  – dopuszczalne długotrwałe napięcie dotykowego;

$I_d$  – prąd uszkodzeniowy zwarcia doziemnego o niewielkiej impedancji między linią, a przewodem dostępnym.

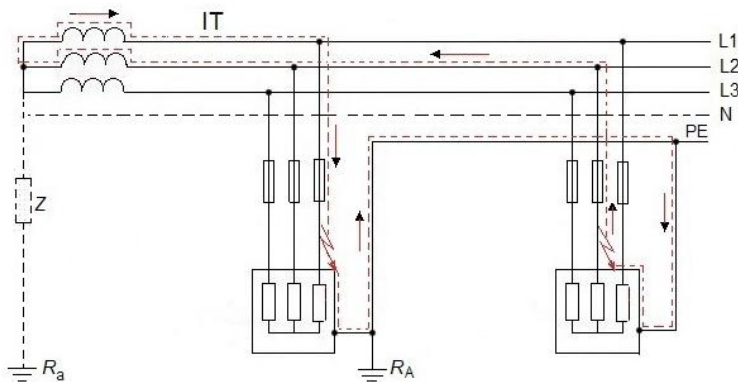
Wielkość prądu uszkodzeniowego jest zależna od prądów upływowych i całkowitej impedancji uziemienia danej instalacji.

Wykrycie pierwszego zwarcia doziemnego w sieciach IT jest bardzo trudne ze względu na niewielkie prądy. W tym celu stosuje się specjalne urządzenia służące do ciągłej kontroli stanu izolacji i wskazujące jego wystąpienie. W przypadkach wykorzystania wyłączników różnicowoprądowych może dochodzić do błędnego zadziałania aparatury ze względu na występujące prądy upływowe.



Rys. 7. Pierwsze zwarcie doziemne w sieciach IT [12]

Ważne jest, aby zwarcia te były możliwie szybko usuwane, ponieważ mogą one powodować powstawanie uszkodzeń na innych urządzeniach. Następuje wtedy tak zwane drugie zwarcie, zwarcie dwumiejscowe. W tym przypadku prąd zwarciowy osiąga znaczące wielkości. Prąd ten jest niebezpieczny ze względu na znaczne oddziaływanie cieplne, oraz napięcie dotykowe przekraczające wartości bezpieczne. W tym przypadku powinno zadziałać samoczynne wyłączenie zasilania.



Rys. 8. Drugie zwarcie doziemne w sieciach IT [12]

Warunki zadziałania samoczynnego wyłączenia zasilania są zależne od sposobu wykonania uziemień i czy występuje przewód ochronny. W przypadku gdy części przewodzące zostały uzziemione indywidualnie to zwarcie zamyka się tak samo jak w sieciach TT poprzez ziemię i musi być też spełniony taki sam warunek wzór nr (3).

W instalacjach gdzie połączenia elementów przewodzących zostały wykonane zbiorowo, to pętla zwarcia zamyka się poprzez przewody podobnie jak w sieciach TN przy pojedynczym uszkodzeniu. Przy zwarciu dwumiejscowym muszą zostać spełnione następujące warunki:

- układy bez przewodu neutralnego

$$Z \leq \frac{\sqrt{3} \cdot U_0}{2I_A} \quad (4)$$

- układy z przewodem neutralnym

$$Z' \leq \frac{U_0}{2I_A} \quad (5)$$

gdzie:

$Z$  – jest to impedancja pętli zwarcia;

$I_A$  – jest to prąd wyłączający zabezpieczenie w wymaganym czasie;

$U_0$  – wartość skuteczna napięcia.

## PODSUMOWANIE

Przedstawione środki ochrony przeciwporażeniowej ukazują, że instalacje elektryczne nie są rzeczą niebezpieczną o ile podchodzi się do niej z pewnym szacunkiem. Zarówno ochrona podstawowa jako izolacja, przegrody czy też

umieszczanie elementów czynnych poza zasięgiem ręki są skutecznym środkiem ochrony jeśli chodzi o nieumyślne dotknięcie elementów czynnych. Środki te jednak nie chronią przed „głupotą”. Jeśli ktoś umyślnie chce ingerować w sieć musi się liczyć ze skutkami. Należy pamiętać że i na takie okoliczności jest przewidziane zabezpieczenie. Chodzi tutaj oczywiście o samoczynne wyłączniki zasilania. Zapewniają one znacząco nasze bezpieczeństwo. Ważne jest, aby nie zapominać iż w sieć powinny ingerować tylko osoby przeszkolone z odpowiednią wiedzą. Projektując sieć należy pamiętać o odpowiednim dobraniu zabezpieczeń pod względem charakterystyki czasowo-prądowej, tak aby w momencie awarii sieci, nawet jeśli dojdzie do dotknięcia elementów czynnych nie doszło do złych skutków patofizjologicznych.

## LITERATURA

- [1] Wiatr J., *Ochrona przeciwporażeniowa oraz dobór przewodów i ich zabezpieczeń w instalacjach elektrycznych niskiego napięcia*, Grupa Medium, 2017
- [2] Lenartowicz R., Fangrat J., *Instalacje zasilające urządzenia bezpieczeństwa pożarowego. TOM 1: Układy połączeń i urządzenia zasilające*, Wrocław 2010
- [3] Musiał E., *Ochrona przeciwporażeniowa w urządzeniach niskiego napięcia. Konsekwencje ustanowienia normy PN-HD 60364-4-41:2009*, <http://www.edwardmusial.info>, zasoby z dnia 17.04.2021
- [4] Musiał E., *Zwarcie faza-ziemia w układzie TN*, [www.edwardmusial.info](http://www.edwardmusial.info), zasoby z dnia 17.04.2021
- [5] Tadeusiewicz R., Korohoda R., *Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów*, Wydawnictwo Fundacji Postępu Telekomunikacji, 1997
- [6] Jasiński W., *Przyczyny porażen prądem elektrycznym*, „Elektroinfo”, nr 9/2013
- [7] Strzyżewski J., *Niezbędnik instalatora, układanie instalacji i jej elementy*, 2020
- [8] <https://art-med-sklep.com/przewod-w-podwojnej-izolacji-silikonowej-linka-c,3,8274,5145>, zasoby z dnia 17.04.2021
- [9] <https://elektrosystemy.pl/?p=11783>, zasoby z dnia 17.04.2021
- [10] [https://sep.gda.pl/wp-content/uploads/2017/12/Wybrane\\_problemy\\_nn\\_SEP\\_Gdansk\\_2017\\_pdf.pdf](https://sep.gda.pl/wp-content/uploads/2017/12/Wybrane_problemy_nn_SEP_Gdansk_2017_pdf.pdf), zasoby z dnia 17.04.2021
- [11] [http://pracownia.zsel.edu.pl/pliki/ochrona\\_pporaz\\_2.pdf](http://pracownia.zsel.edu.pl/pliki/ochrona_pporaz_2.pdf), zasoby z dnia 17.04.2021
- [12] <https://budujemydom.pl/instalacje/instalacje-elektryczne/a/23926-wylacznik-instalacyjny-nadmiarowo-pradowy-zasada-dzialania-i-cel-stosowania>, zasoby z dnia 17.04.2021
- [13] <https://bezel.com.pl/2018/08/01/srodki-ochrony-przed-porazeniem/#separacja>, zasoby z dnia 17.04.2021



## **PROJEKTOWANIE INSTALACJI ELEKTRYCZNEJ W DOMU JEDNORODZINNYM**

### **WSTĘP**

Budowa domu jest poważną i kosztowną inwestycją, dlatego też już na etapie jego projektowania należy przemyśleć wiele istotnych spraw. Jedną z nich jest projekt instalacji elektrycznej. Prawidłowe rozplanowanie przebiegu instalacji elektrycznej może uchronić inwestora przed kosztami związanymi z koniecznością jej modernizacji.

Schemat instalacji elektrycznej zawiera w sobie podział na poszczególne obwody. Każdy z tych obwodów składa się z gniazd elektrycznych, punktów oświetleniowych oraz zabezpieczeń.

Dobry projekt powinien uwzględniać, z jakich konkretnie urządzeń elektrycznych i elektronicznych będą korzystał mieszkańcy w poszczególnych pomieszczeniach oraz, jakie będzie w nich oświetlenie.

### **PROJEKT INSTALACJI ELEKTRYCZNEJ**

Projekt instalacji elektrycznej zawiera: opis techniczny, spis treści, obliczenia elektryczne, schematy ideowe i montażowe, rysunki zabudowy rozdzielnic, plany instalacji elektrycznych i teletechnicznych oraz zestawienie materiałów.

W obliczeniach należy uwzględnić:

- przewidywany bilans mocy z sieci elektroenergetycznej;
- obciążenia wewnętrznych linii zasilających oraz poszczególnych obwodów;
- dobór poszczególnych przekrojów przewodów i zabezpieczeń;
- spadki napięć w obwodach;
- skuteczność działania środków ochrony przeciwporażeniowej.

---

<sup>1</sup> Politechnika Lubelska, WEiI, karol.dziewulski@pollub.edu.pl

Gdy zajdzie potrzeba, projektant jest zobowiązany do uzgodnienia projektu ze specjalistami oraz dostawcą energii elektrycznej. Natomiast, jeśli linie zasilające znajdują się poza budynkiem, potrzebne jest również uzgodnienie w terenowym zespole uzgadniania dokumentacji (ZUD) lub akceptacja geodety powiatowego [1].

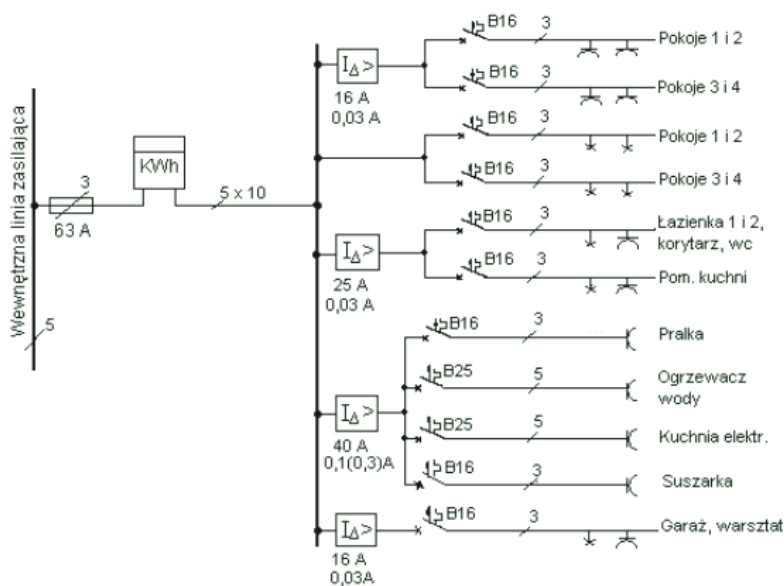
## **OBWODY ELEKTRYCZNE W INSTALACJI**

Właściwy podział instalacji elektrycznej na obwody zapewnia w późniejszym czasie bezpieczną eksploatację wszystkich podłączonych do nich urządzeń. Niektóre odbiorniki potrzebują większej mocy (grzejniki elektryczne lub pompy), dlatego też należy dla nich przewidzieć oddzielne obwody, gdyż podpięte do wspólnego obwodu mogą zagrażać stabilności instalacji elektrycznej np. poprzez przeciążenie. Oddzielne gniazda należy również przewidzieć dla takich odbiorników, jak: pralka, lodówka, zmywarka i piekarnik. Taka sama sytuacja dotyczy gniazd, do których podłączony będzie komputer. Na zasilanie bramy wjazdowej, garażowej i instalacji alarmowej również powinny być wydzielone oddzielne obwody. Gniazda, do których będą podłączane urządzenia o mniejszych mocach można pogrupować i przypisać do wspólnego obwodu. Identycznie należy postąpić z punktami oświetleniowymi. Trzeba je pogrupować tak, aby na jeden obwód przypadły oświetlenia z kilku pomieszczeń. Wykonanie instalacji z podziałem na obwody jest kosztowne, ale bardziej bezpieczne i komfortowe.

Wszystkie obwody elektryczne są doprowadzane do tablicy rozdzielczej (rozdzielnicy). Znajdują się w niej zabezpieczenia np. wyłączniki nadprądowe, wyłączniki różnicowo-prądowe, ograniczniki przepięć. Tablicę rozdzielczą najlepiej umieścić w łatwo dostępnym miejscu na wysokości oczu dorosłego człowieka (w garażu lub w wiatrołapie).

Projektując instalację elektryczną domu jednorodzinnego należy przewidzieć, czy w przyszłości nie będziemy używać jakichś dodatkowych urządzeń, takich jak np. płyta indukcyjna, która zastąpi standardową kuchenkę gazową. Lepiej od razu doprowadzić do nich oddzielne zasilanie lub zaprojektować i zamontować większą ilość gniazd odbiorczych, by nie doprowadzić do przeciążenia instalacji podłączając zbyt wiele odbiorników do jednego obwodu. Najlepszym rozwiązaniem jest zaprojektowanie na jednym obwodzie od 3 do 5 gniazd w pokojach i od 7 do 9 w kuchni. Należy jednak pamiętać, że jeden obwód może zasiląć odbiorniki o łącznej mocy do 3,5 kW oraz nie więcej niż 20 punktów oświetleniowych.

Rozkład obwodów powinien być przede wszystkim funkcjonalny. Nie należy punktów oświetleniowych jednej kondygnacji zasilać z jednego obwodu, ponieważ w razie awarii jesteśmy pozbawieni oświetlenia na danej kondygnacji. Dobrym rozwiązaniem jest podłączenie gniazd odbiorczych w sąsiednich pomieszczeniach do dwóch różnych obwodów, dzięki czemu w przypadku nieprawidłowości, mamy ułatwiony dostęp do działających gniazd.



Rys. 1. Podział instalacji elektrycznej na obwody [5]

## PRZEWODY ELEKTRYCZNE I MIEJSCA KRYTYCZNE W INSTALACJI

W projekcie powinny być określone przekroje przewodów, jakimi należy wykonać instalację elektryczną, gdyż są one uzależnione od obciążenia obwodów. Najczęściej w domach jednorodzinnych wykorzystuje się przewody o przekroju 1,5 i 2,5 mm<sup>2</sup>. Przewody o większych przekrojach stosowane są w przypadku wykorzystywania odbiorników o zwiększonych mocach.

W pomieszczeniach o dużej wilgotności takich, jak kuchnia, łazienka lub pralnia ryzyko porażenia prądem elektrycznym jest dużo większe. W takich przypadkach, aby instalacja elektryczna była bezpieczna, stosuje się niestandardowe rozwiązania takie, jak użycie gniazd wtyczkowych bryzgoszczelnych o stopniu ochrony np. IP44. Można je montować w odległości 60 cm od krawędzi wanny lub drzwi kabiny prysznicowej [2].

## **PROGRAMY WSPOMAGAJĄCE PROJEKTOWANIE INSTALACJI ELEKTRYCZNEJ**

Obecnie, wykonawcy projektów instalacji elektrycznej posługują się oprogramowaniem, które umożliwia szybkie i dokładne jego wykonanie.

Opisy techniczne można wykonać przy pomocy ogólnodostępnych edytorów tekstowych. Natomiast do obliczeń elektrycznych wykorzystuje się licencjonowane programy obliczeniowe podobnie jak dla kosztorysów.

Do tworzenia rysunków elektrycznych powinno się stosować wyłącznie wyspecjalizowane programy określane mianem CAD elektryczny. Stopień przetwarzania programów typu CAD elektryczny może być różny, natomiast ich wspólnymi cechami są oznaczenia symboli, poprawność łączenia końcówek symboli itp.

W Polsce oferowane są programy wspomagające projektowanie instalacji elektrycznych. Jednym z nich jest ArCADia – Instalacje Elektryczne. Program ten jest częścią systemu ArCADia oraz rozszerzeniem produktu ArCADia BIM 11, który składa się ze współpracujących ze sobą modułów branżowych. Moduł ten przeznaczony jest dla projektantów branży elektrycznej i elektroenergetycznej w budynkach. Pozwala na wykonanie profesjonalnej dokumentacji z zakresu projektowania wewnętrznych instalacji elektrycznych i elektroenergetycznych niskiego napięcia.

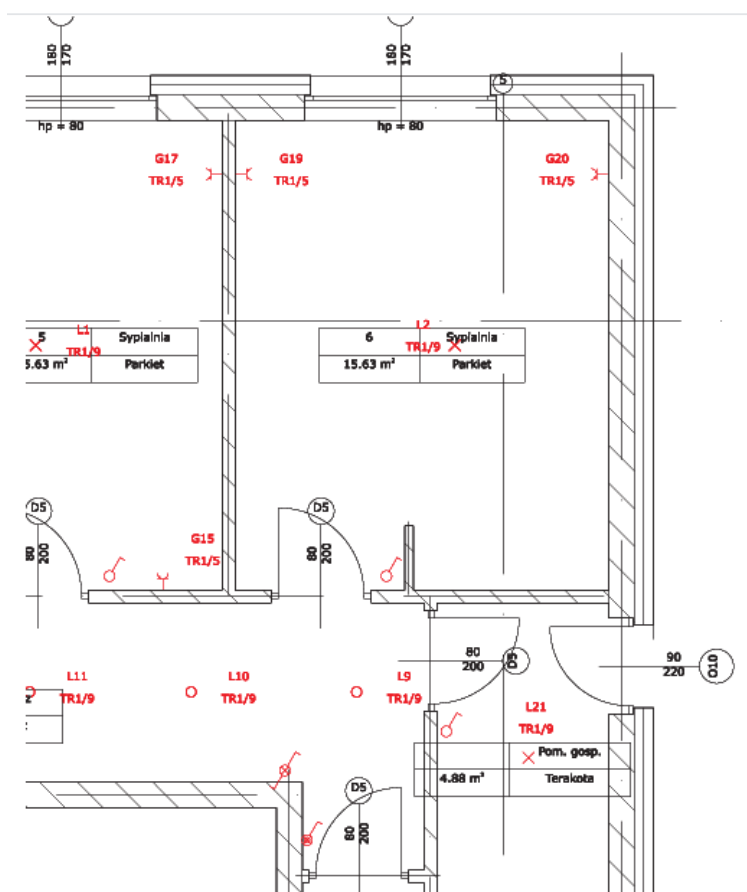
Gdy do sprzedaży został wprowadzony produkt ArCADia BIM 11, zmianie uległa struktura systemu ArCADia. Część funkcjonalności modułów branżowych przeniesiono do ArCADia BIM 11. W związku z tym funkcjonalność modułu INSTALACJE ELEKTRYCZNE od wersji ArCADia 11 podzielono na dwie części: funkcjonalność podstawową i funkcjonalność rozszerzoną. Podstawowa jest dostępna dla wszystkich posiadaczy licencji ArCADia BIM 11, natomiast rozszerzona, jest zawarta w licencji ArCADia – Instalacje Elektryczne 2.0. Podstawowe funkcjonalności w zakresie projektowania instalacji elektrycznych w programie ArCADia BIM 11:

- wykonywanie rysunku instalacji elektrycznych wewnątrz budynków poprzez rozmieszczenie tablic rozdzielczych, gniazd, łączników, puszek, punktów oświetleniowych;
- nadawanie niezbędnych oznaczeń elementom instalacji elektrycznych;
- możliwość modyfikowania symboli elektrycznych (definiowanie własnych);
- możliwość przypisywania odbiorników do konkretnych tablic rozdzielczych;
- możliwość wyznaczania tras kablowych;

- bogata biblioteka katalogów producentów elementów instalacji elektrycznej;
- możliwość generowania zestawienia materiałów wykorzystywanych w projekcie, co umożliwi tworzenie kosztorysów przy wycenie inwestycji.

Funkcjonalności modułu Ar-CADia – Instalacje Elektryczne 2.0:

- możliwość obliczenia na poszczególnych odcinkach zaprojektowanych obwodów prądów zwarciovych oraz mocy zwarciowej;
- możliwość obliczenia jedno- i trójfazowych prądów obciążeniowych oraz obliczania spadków napięć;
- możliwość generowania raportu obliczeniowego i bilansu mocy w RTF;
- możliwość generowania schematów strukturalnych linii zasilających dla projektów instalacji elektrycznych [3].

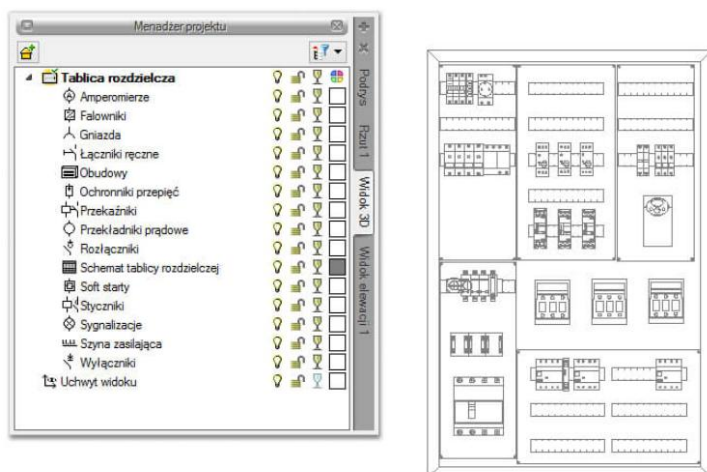


Rys. 2. Rozmieszczenie gniazd, łączników i punktów oświetleniowych w projekcie [3]

Program Ar-CADia – Tablice Rozdzielcze jest częścią systemu ArCADia oraz rozszerzeniem Ar-CADia BIM 11. Program pozwala na stworzenie profesjonalnej dokumentacji technicznej potrzebnej do wykonania jednokreskowych schematów elektrycznych. Przeznaczony jest zarówno do projektantów sieci, instalacji urządzeń elektrycznych i elektroenergetycznych, jak również dla wszystkich osób związanych z branżą elektrotechniczną. Osoba korzystająca z tego programu ma możliwość szybkiego stworzenia schematu projektowanej rozdzielni lub dowolnego schematu elektrycznego mając do dyspozycji bazę symboli aparatów elektrycznych wykorzystywanych przy projektowaniu.

Podstawowe funkcje programu Ar-CADia – Tablice Rozdzielcze:

- szybkie i sprawne projektowanie jednokreskowych schematów ideowych rozdzielnic elektrycznych;
- możliwość tworzenia układów sterowania;
- przeprowadzanie podstawowych obliczeń technicznych (prąd obciążenia, spadek napięcia);
- automatyczne generowanie schematu tablicy zaprojektowanej za pomocą nakładki Ar-CADia-Instalacje elektryczne;
- rozbudowana biblioteka aparatury elektrycznej. Program posiada bibliotekę gotowych aparatów elektrycznych do użycia w projekcie, podzielonych według typów i producentów. Elementy firm: Legrand, Moeller, Schneider, Hager, ABB, Jean Mueller;
- generowanie zestawień ilościowych aparatów wykorzystanych w projekcie.



Rys. 3. Przykład rozplanowanej tablicy rozdzielczej z programu Ar-CADia [4]

## PODSUMOWANIE

Istnieje wiele programów, które pozwalają w szybki sposób zaprojektować instalacje elektryczne ułatwiając pracę projektantom. Powyżej został przedstawiony jeden z nich, lecz w zależności od upodobań i przyzwyczajęń, każdy projektant może wybrać program, który bardziej mu odpowiada. Połączenie programu Ar-CADia BIM 11 z modułami elektrycznymi takimi jak Ar-CADia – Instalacje Elektryczne i Ar-CADia – Tablice Rozdzielcze tworzy narzędzie CAD do projektowania, rysowania, obliczania i edytowania dokumentacji związanej z instalacją elektryczną. Program umożliwia szybkie i sprawne wykonanie rysunku instalacji elektrycznej. Jest również kompatybilny z innymi programami CAD, co pozwala na wymianę danych z projektami innych branż. Dzięki temu można sprawdzić czy elementy różnych instalacji nie kolidują ze sobą np. czy gniazda elektryczne nie będą umieszczone za grzejnikami instalacji centralnego ogrzewania.

## LITERATURA

- [1] <https://pomiarywelektryce.pl/instalacje-elektryczne/co-powinien-zawierac-projekt-instalacji-289.html> , zasoby z dnia 08.04.2021
- [2] <https://www.domnowoczesny.com/artukul/projekt-instalacji-elektrycznej.html>, zasoby z dnia 12.04.2021
- [3] <https://www.arcadiasoft.pl/index.php?program=arcadia-instalacje-elektryczne>, zasoby z dnia 13.04.2021
- [4] <https://www.intersoft.pl/cad/index.php?kup-program-cad=upgrade-arcadia-tablice-rozdzielcze> , zasoby z dnia 13.04.2021
- [5] <http://www.ckp.debica.pl/ckp/wp-content/uploads/2018/02/SEP-MATERIA%C5%81Y.pdf> , zasoby z dnia 14.04.2021
- [6] J. Strzyżewski, *Instalacje elektryczne we współczesnych domach jednorodzinnych*, Wydawnictwo Wiedza i Praktyka 2018
- [7] S. Niestępski, M. Parol, J. Pasternakiewicz, T. Wiśniewski, *Instalacje elektryczne. Budowa, projektowanie i eksploatacja*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2011.