

PLiVI – system monitoringu poziomu
ciśnienia w próżniowych komorach
gaszeniowych średniego napięcia

KABEL 2025 ▲

XXX KONFERENCJA SZKOLENIOWO-TECHNICZNA
ELEKTROENERGETYCZNE SIECI KABLOWE I NAPOWIETRZNE

18 – 21 marca 2025 r.

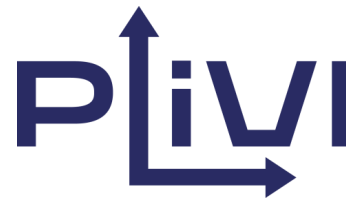
Stare Jabłonki

Hotel ANDERS****

Michał Lech, Paweł Węgierek, Damian Kostyła
Katedra Urządzeń Elektrycznych i Techniki Wysokich Napięć
Wydział Elektrotechniki i Informatyki
Politechnika Lubelska

PLiVI

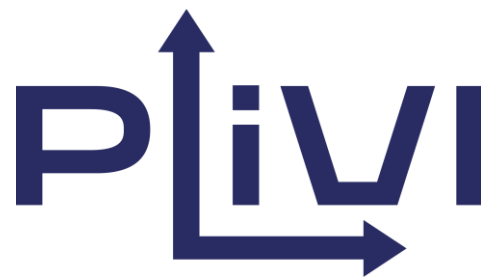
PLIVI – system monitoringu poziomu ciśnienia w próżniowych komorach gaszeniowych



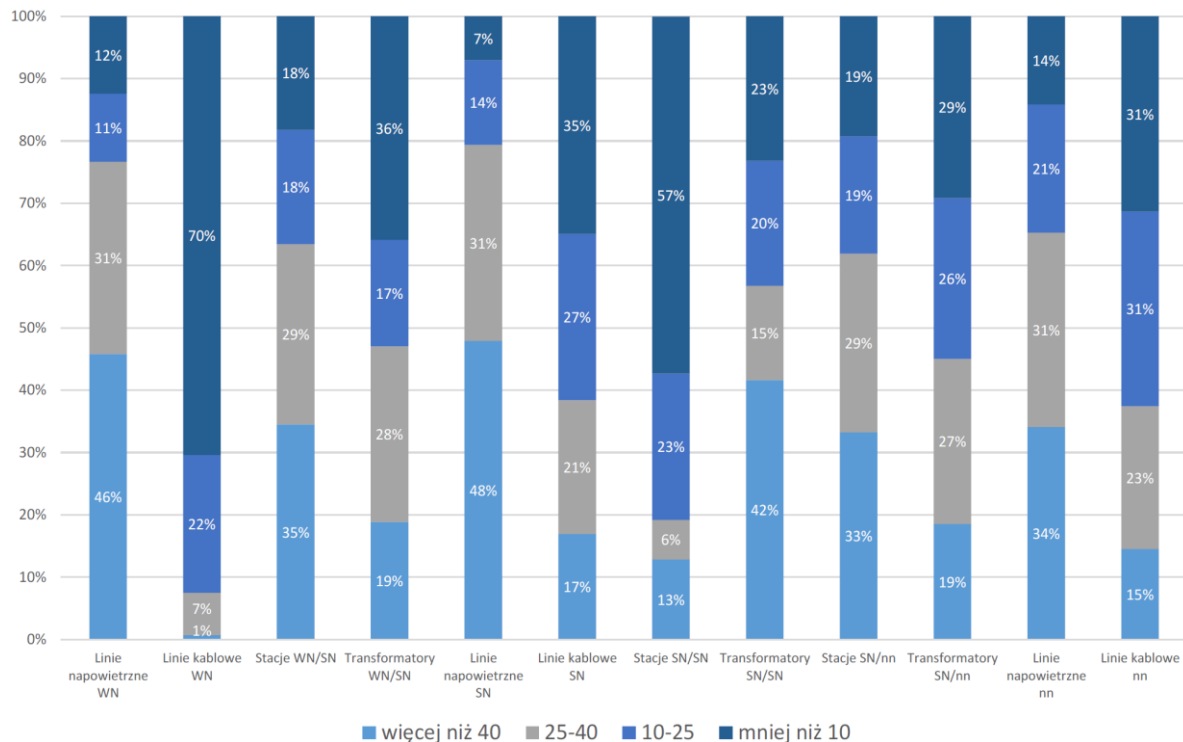
- **Numer projektu:** LIDER14/0129/2023
- **Nazwa programu:** LIDER XIV
- **Instytucja finansująca:** Narodowe Centrum Badań i Rozwoju
- **Miejsce realizacji:** Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Politechnika Lubelska
- **Okres realizacji:** 01.01.2024 - 01.01.2027
- **Wartość projektu:** 1.739.170,00 PLN
- **Kierownik projektu:** dr inż. Michał LECH

Agenda wystąpienia

- ❖ Statystyka wiekowa wybranych elementów sieci
- ❖ Problematyka przerw w dostawach energii elektrycznej
- ❖ Dystrybucja energii elektrycznej vs ekologia
- ❖ Rozwój próżniowej aparatury łączeniowej
- ❖ System PLiVI
 - Problematyka projektu
 - Opis i cel projektu
 - Realizowane prace B+R
- ❖ Podsumowanie



Statystyka wiekowa wybranych elementów sieci



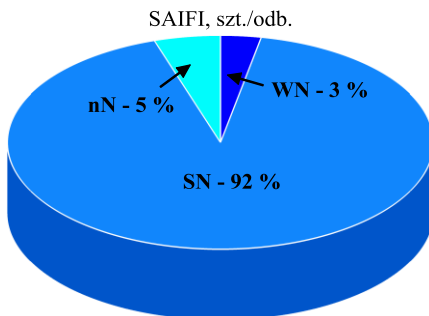
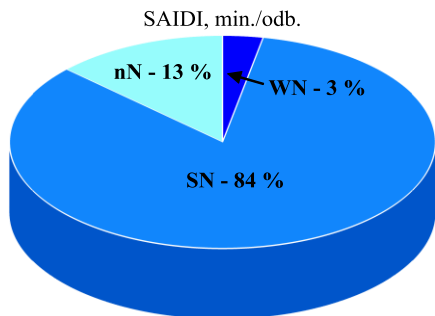
Statystyka wiekowa wybranych elementów sieci w 2020 r.
Źródło: Energia Elektryczna, 9/2021



Problematyka przerw w dostawach energii elektrycznej

SAIDI – wskaźnik przeciętnego systemowego czasu trwania przerwy długiej i bardzo długiej, wyrażony w minutach na odbiorcę na rok, stanowiący sumę iloczynów czasu jej trwania i liczby odbiorców narażonych na skutki tej przerwy w ciągu roku podzieloną przez łączną liczbę obsługiwanych odbiorców.

SAIFI – wskaźnik przeciętnej systemowej częstości przerw długich i bardzo długich, stanowiący liczbę odbiorców narażonych na skutki wszystkich tych przerw w ciągu roku podzieloną przez łączną liczbę obsługiwanych odbiorców.

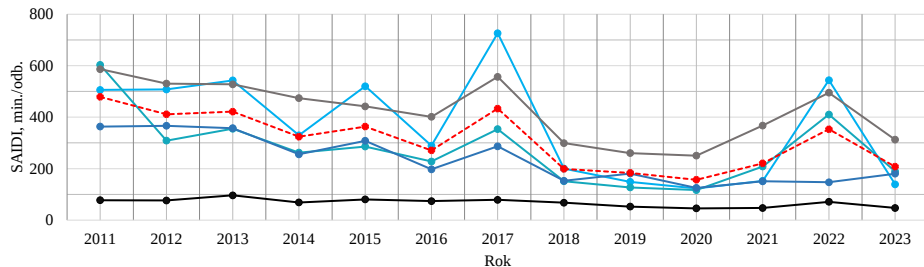


Kluczowe inwestycje finansowe, których efektem będzie zwiększenie niezawodności zasilania w energię elektryczną, powinny dotyczyć sieci dystrybucyjnych SN.

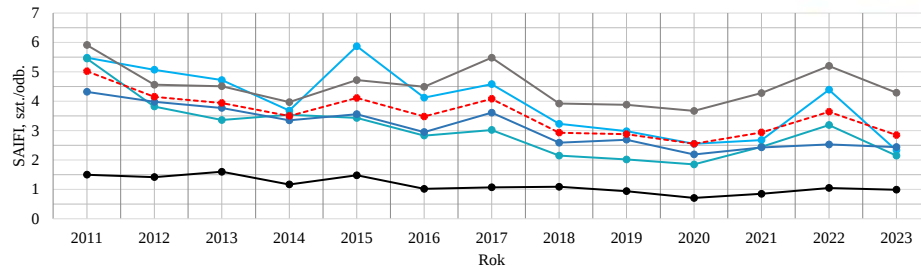
Procentowy udział sieci elektroenergetycznych w tworzeniu wskaźników

SAIDI i SAIFI w roku 2017, z podziałem na poziomy napięcie, opracowanie własne na podstawie:

Tomczykowski J., Wpływ niezawodności linii SN na poziom wskaźników SAIDI/SAIFI, Poznań, PTPIREE. 2018



Wartości wskaźnika SAIDI dla pięciu największych OSD oraz średnia na terenie Polski na koniec 2023 r.
Opracowanie własne na podstawie: Raporty PTPIREE



Wartości wskaźnika SAIFI dla pięciu największych OSD oraz średnia na terenie Polski na koniec 2023 r.
Opracowanie własne na podstawie: Raporty PTPIREE

Wskaźnik SAIDI (dla przerw nieplanowanych z uwzględnieniem przerw katastrofalnych i planowanych), dla pięciu największych OSD wyniósł **w 2022 roku 353,21 min/odb.** i wzrósł w stosunku do roku poprzedniego o **132,50 min/odb.**

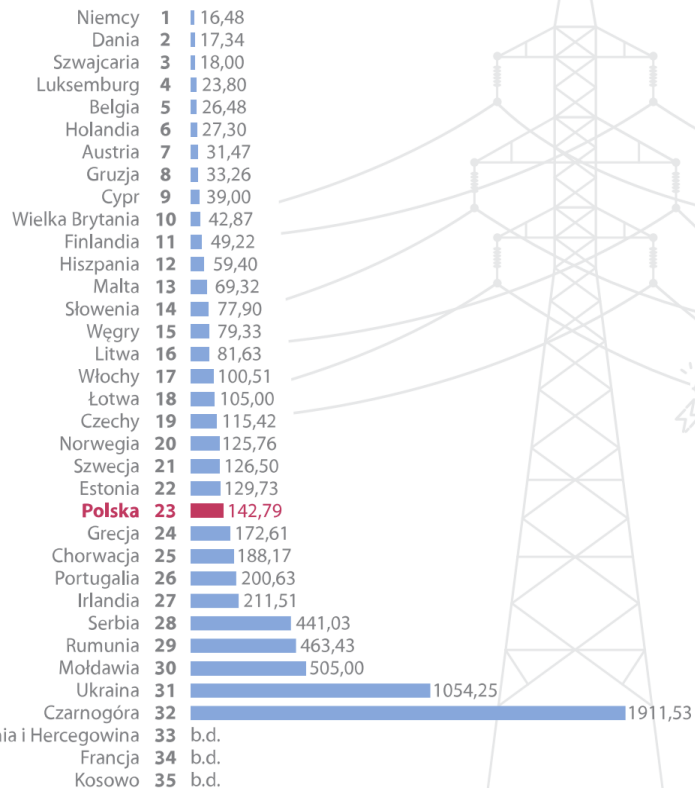
Wskaźnik SAIDI łącznego (dla przerw nieplanowanych z uwzględnieniem przerw katastrofalnych i planowanych) dla pięciu największych OSD wyniósł **w 2023 roku 207,75 min/odb.** i był mniejszy o **145,46 min/odb.** w stosunku do roku poprzedniego.

Z kolei wskaźnik SAIFI (dla przerw nieplanowanych z uwzględnieniem przerw katastrofalnych i planowanych), dla pięciu największych OSD wyniósł **w 2022 roku 3,64 szt./odb.** i wzrósł w stosunku do roku poprzedniego o **0,70 szt./odb.**

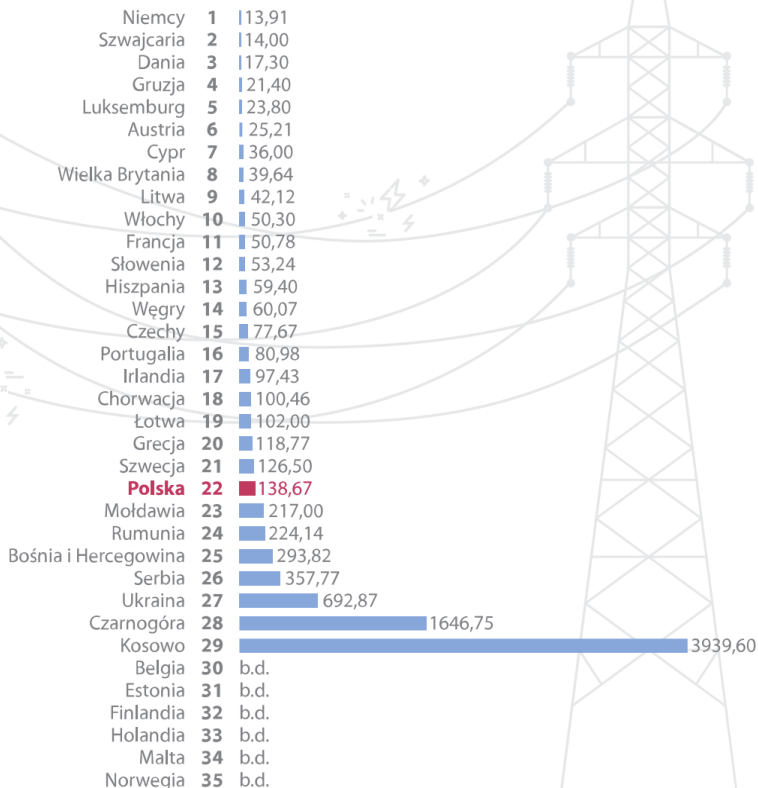
Wskaźnik SAIFI łącznego (dla przerw nieplanowanych z uwzględnieniem przerw katastrofalnych i planowanych) dla pięciu największych OSD wyniósł **w 2023 roku 2,85 szt./odb.** i był mniejszy w stosunku do roku 2022 o **0,80 szt./odb.**



Przerwy nieplanowane z uwzględnieniem przerw katastrofalnych, SAIDI (min/odbiorca/rok)



Przerwy nieplanowane bez przerw katastrofalnych, SAIDI (min/odbiorca/rok)



Źródło: Opracowanie NIK na podstawie danych z „7th CEER-ECRB benchmarking report of the quality of electricity and gas supply” opublikowanego przez CEER w dniu 22 grudnia 2022 r.

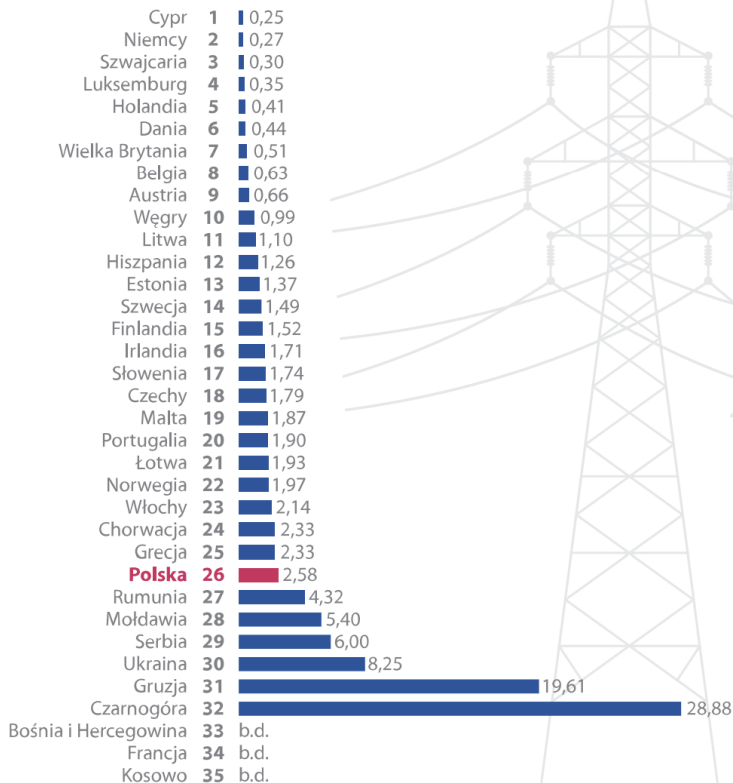
18 – 21 marca 2025 r.

Stare Jabłonki

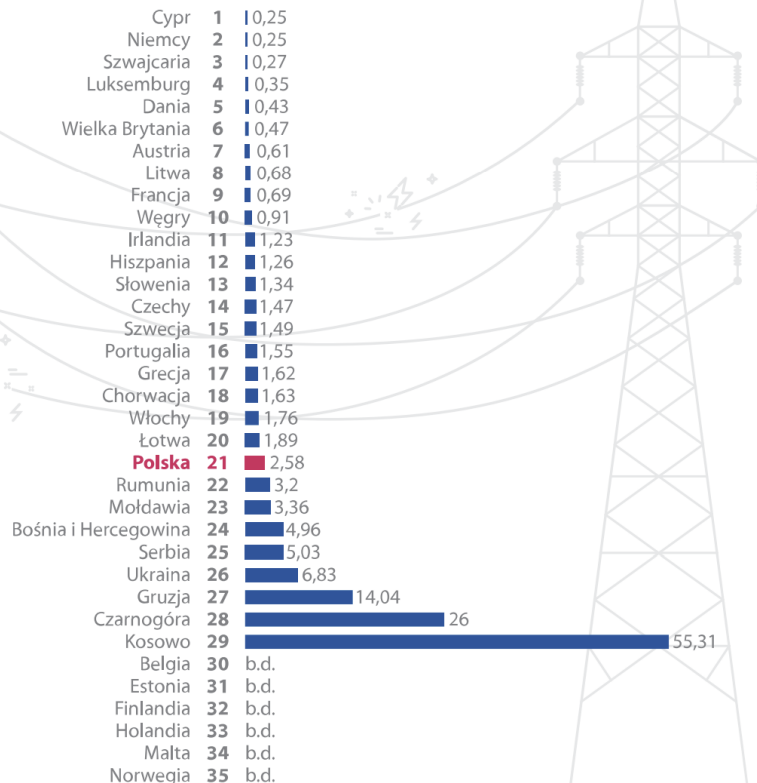
Hotel ANDERS****



Przerwy nieplanowane z uwzględnieniem przerw katastrofalnych, SAIFI (liczba przerw/odbiorca/rok)

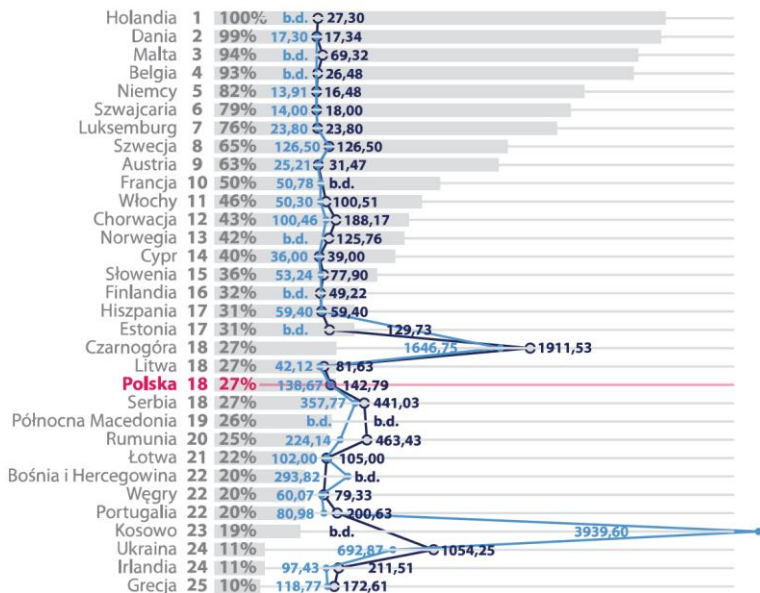


Przerwy nieplanowane bez przerw katastrofalnych, SAIFI (liczba przerw/odbiorca/rok)

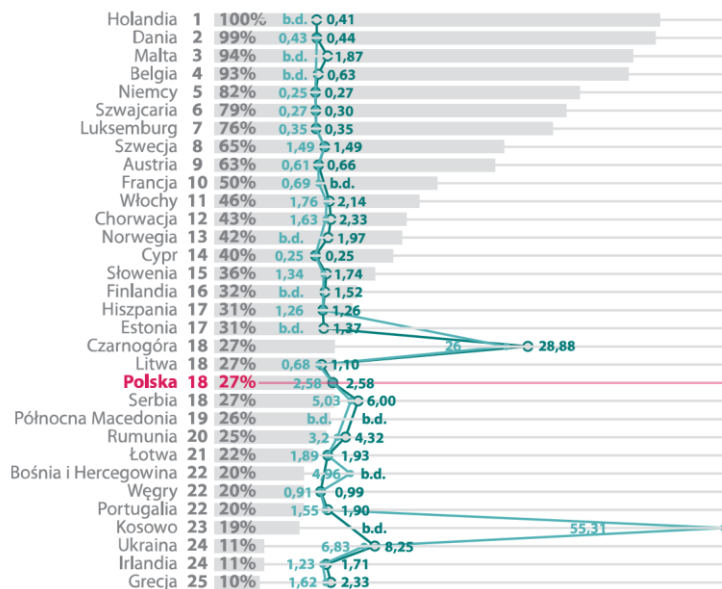


Źródło: Opracowanie NIK na podstawie danych z „7th CEER-ECRB benchmarking report of the quality of electricity and gas supply” opublikowanego przez CEER w dniu 22 grudnia 2022 r.

SAIDI ○ z uwzględnieniem przerw katastrofalnych • bez przerw katastrofalnych ■ % linii skablowanych



SAIFI ○ z uwzględnieniem przerw katastrofalnych • bez przerw katastrofalnych ■ % linii skablowanych



Zgodnie z przedstawionymi powyżej danymi **Polska posiada jeden z najniższych w Europie wskaźnik skablowania sieci średniego oraz niskiego napięcia.**

Analizując doświadczenia krajów europejskich, można stwierdzić, iż występuje **bardzo silna korelacja pomiędzy stopniem skablowania sieci a wskaźnikami charakteryzującymi ciągłość zasilania odbiorców (SAIDI, SAIFI).**

Źródło: Opracowanie NIK na podstawie danych z „7th CEER-ECRB benchmarking report of the quality of electricity and gas supply” opublikowanego przez CEER w dniu 22 grudnia 2022 r.



Rozwój elektroenergetycznej sieci dystrybucyjnej

Kontrola NIK

Nr ewidencyjny: P/22/015

Data publikacji: 2024-03-20 09:30

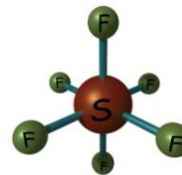


Działania podejmowane przez organy państwa oraz spółki energetyczne **nie przyczyniły się w istotny sposób do rozwoju sieci dystrybucyjnej**. Mimo realizacji planów rozwoju i ponoszonych nakładów przez spółki, **jakość oraz dotychczasowy rozwój sieci dystrybucyjnej nie zapewniły możliwości przyłączenia wszystkich odnawialnych źródeł energii**. Zaawansowany wiek infrastruktury sieciowej, niski poziom skablowania sieci energetycznej oraz pogarszające się wskaźniki jakości dostaw energii elektrycznej wpływały na konieczność wypłaty bonifikat przez operatorów systemów dystrybucyjnych. W 2021 r. wzrost ilości niedostarczonej energii **wzrósł o 50%** w stosunku do roku poprzedniego co skutkowało wzrostem liczby wniosków o udzielenie bonifikat. W porównaniu z rokiem 2020 liczba wniosków w 2021 r. wzrosła prawie sześciokrotnie, a w 2022 r. prawie dwudziestopięciokrotnie.

Dystrybucja energii elektrycznej vs ekologia

Heksafluorek siarki, fluorek siarki(VI), SF_6

- ❖ nieorganiczny związek chemiczny
- ❖ bezzapachowy, niepalny
- ❖ nie występuje naturalnie
- ❖ elektroujemny
- ❖ F-gaz (GWP ponad 22 000)
- ❖ bardzo dobre właściwości dielektryczne
- ❖ 10-krotnie wyższa zdolność gaszenia łuku elektrycznego niż powietrze
- ❖ większa masa w porównaniu do powietrza



Model cząsteczki
gazu SF_6



Sectos NXB
prod. ABB



THO/I
prod. ZPUE

Dystrybucja energii elektrycznej vs ekologia

2024/573

ROZPORZĄDZENIE PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY (UE) 2024/573

z dnia 7 lutego 2024 r.

w sprawie fluorowanych gazów cieplarnianych, zmieniające dyrektywę (UE) 2019/1937 i
uchylające rozporządzenie (UE) nr 517/2014

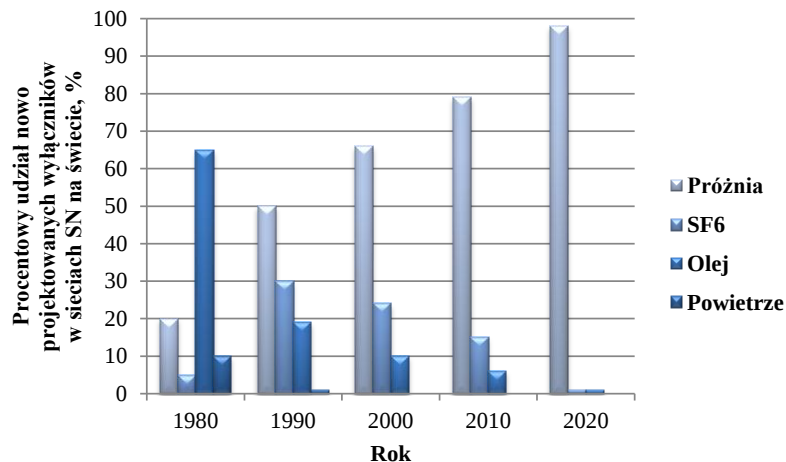


Dystrybucja energii elektrycznej vs ekologia



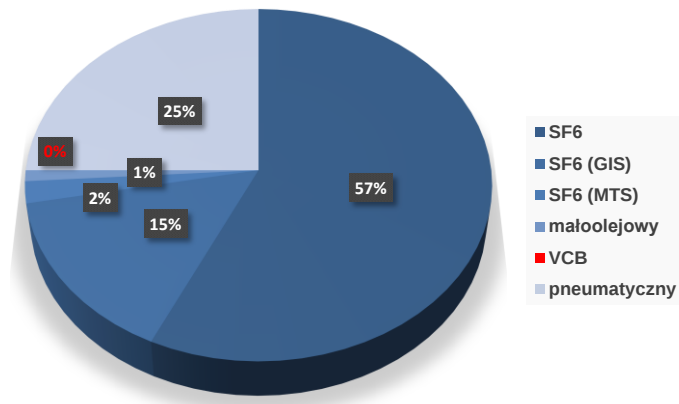
URZĄDZENIA	DATA ZAKAZU WPROWADZANIA DO UŻYTKU
Rozdzielnice elektryczne średniego napięcia w dystrybucji pierwotnej i wtórnej do 24 kV włącznie	1 stycznia 2026 r.
Rozdzielnice elektryczne średniego napięcia w dystrybucji pierwotnej i wtórnej powyżej 24 kV do 52 kV włącznie	1 stycznia 2030 r.
Rozdzielnice elektryczne napięcia od 52 kV do 145 kV włącznie i o prądzie zwarcia do 50 kA, włącznie wykorzystujące fluorowane gazy cieplarniane o współczynniku globalnego ocieplenia równym 1 lub większym	1 stycznia 2028 r.
Rozdzielnice elektryczne wysokiego napięcia powyżej 145 kV lub o prądzie zwarcia powyżej 50 kA i wykorzystujące fluorowane gazy cieplarniane o współczynniku globalnego ocieplenia równym 1 lub większym	1 stycznia 2032 r.

Rozwój próżniowej aparatury łączeniowej



Wyłączniki w sieciach SN w latach 1980–2020
z podziałem na zastosowane medium izolacyjne

Opracowanie własne na podstawie: Slade, P.G. The vacuum Interrupter: Theory, Design, and Application; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2020



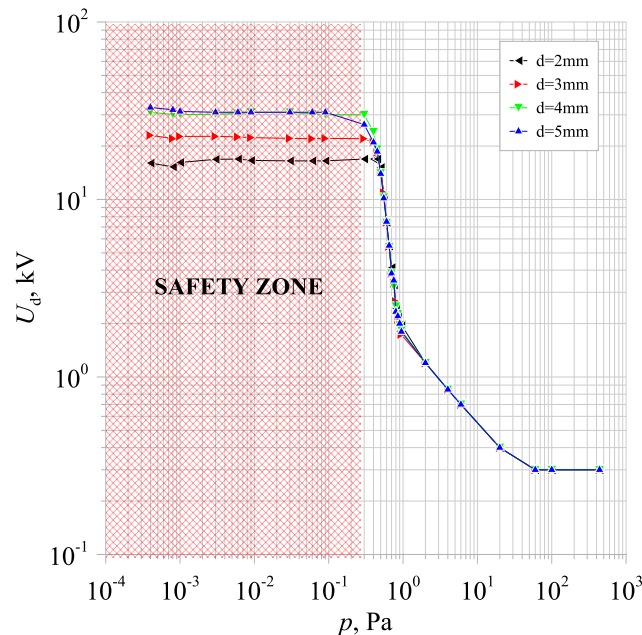
Udział poszczególnych grup w populacji wyłączników
z podziałem na medium izolacyjne

Źródło: Lechman M., Mański P.: „Doświadczenia z uruchomienia i eksploatacji wyłącznika próżniowego na napięcie 110 kV”, Urządzenia dla Energetyki, nr 2/2018, s. 49–55

Projekt PLiVI - problematyka

Istotnym problemem użytkowania próżniowych komór gaszeniowych jest ich rozszczelnienie do momentu, w którym ciśnienie wewnątrz komory osiąga wartość pośrednią pomiędzy ciśnieniem sprawnej komory, a ciśnieniem atmosferycznym. Ciśnienie to na poziomie pojedynczych paskali nazywane jest „dołkiem” tzw. krzywej Paschena. Wytrzymałość dielektryczna przerwy międzystykowej w takim przypadku jest na tyle mała, że w łączniku elektroenergetycznym znajdującym się w pozycji otwartej może nastąpić przeniesienie wysokiego potencjału elektrycznego z jednej elektrody na drugą. Wystąpienie takiej sytuacji może spowodować porażenie elektryczne pracującej ekipy monterskiej, które w najgorszym przypadku może zakończyć się śmiercią. Opisany problem jest szczególnie ważny dla aktualnie produkowanych rozłączników średniego napięcia o konstrukcji zamkniętej, gdzie styki są niewidoczne.

W takim przypadku zapewnienie bezpiecznej przerwy izolacyjnej przez otwarte styki łącznika próżniowego nie jest możliwe.



Zależność wytrzymałości elektrycznej próżniowej komory gaszeniowej w funkcji ciśnienia w jej wnętrzu, dla różnych odległości międzystykowych

Źródło: Opracowanie własne

Projekt PLiVI – cel projektu

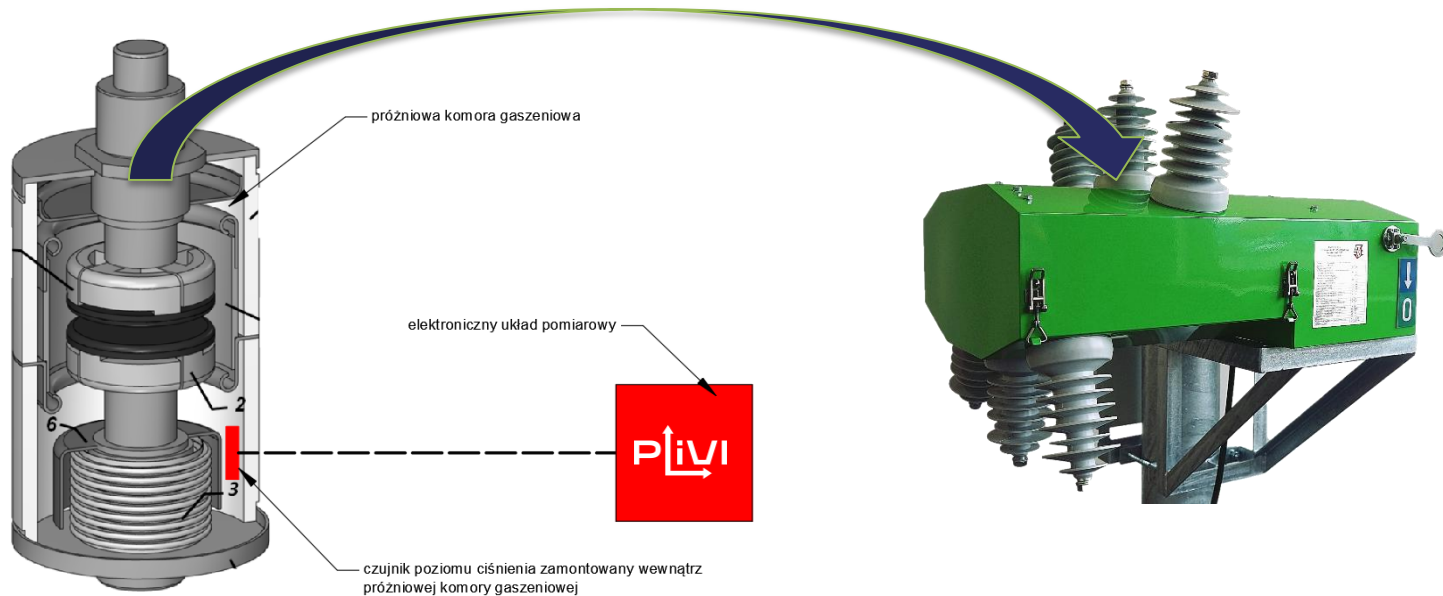
Głównym celem projektu jest przeprowadzenie prac aplikacyjnych i rozwojowych, których rezultatem będzie **opracowanie inteligentnego systemu monitoringu poziomu ciśnienia w komorach próżniowych przeznaczonych do nowoczesnej aparatury łączeniowej średniego napięcia (SN)**. Docelową grupą odbiorców rezultatu projektu będą producenci komór próżniowych oraz aparatury łączeniowej SN, którzy będą chcieli podnieść jakość oraz innowacyjność swoich produktów. System monitoringu poziomu ciśnienia będzie nowym, unikalnym rozwiązaniem, które dotychczas nie zostało wdrożone w światowej energetyce. Przedmiotowy system wyróżniał się będzie **beziprzewodową komunikacją** pomiędzy elementami składowymi oraz współpracą z **dedykowaną aplikacją komputerową oraz mobilną**, co w sposób znaczący wpłynie na poprawę niezawodności zasilania, a tym samym spadek wartości wskaźników niezawodnościowych, za których zbyt duże wartości Operatorzy Systemu Dystrybucyjnego (OSD) płacą kary finansowe.



*Próżniowa komora
gaszeniowa SN
Autor zdjęcia: Michał Lech*



Projekt PLiVI – cel projektu



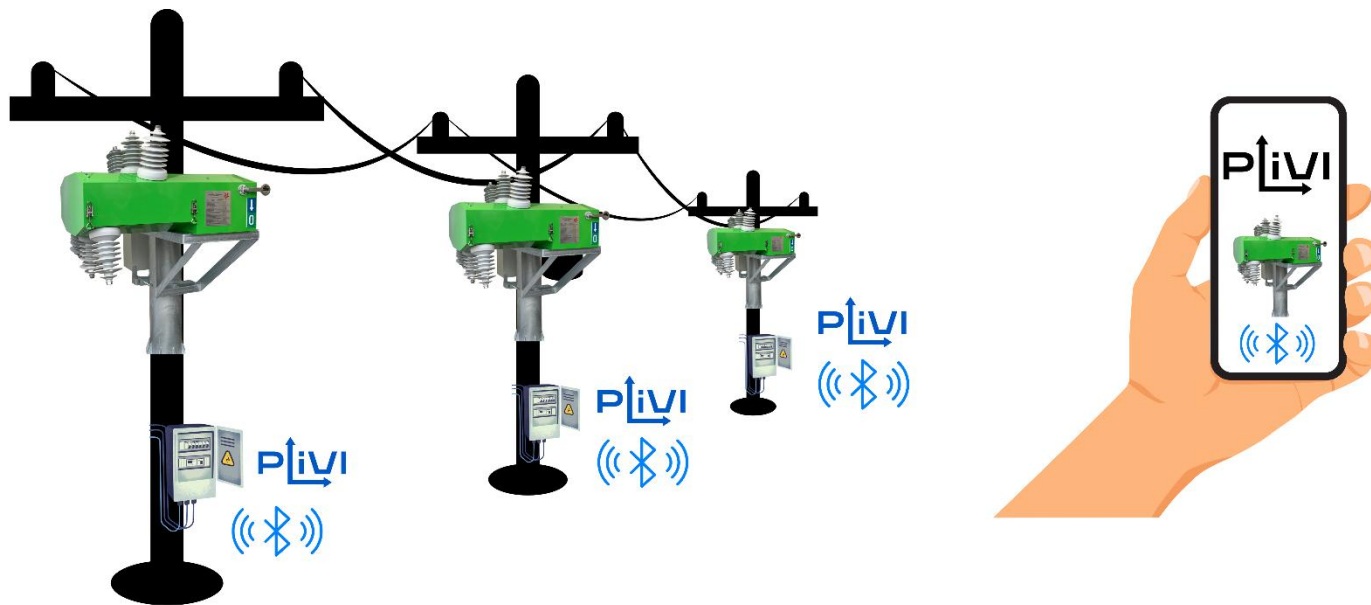
Próżniowa komora gaszeniowa wyposażona w układ monitoringu poziomu ciśnienia w jej wnętrzu

Źródło: Opracowanie własne

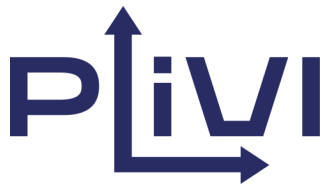
Rozłącznik próżniowy EKTOS – docelowe miejsce zaimplementowania przedmiotowego układu

Autor zdjęcia: Michał Lech

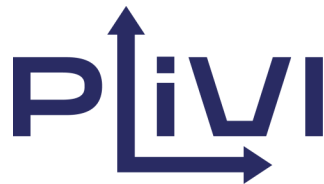
Projekt PLiVi – cel projektu



*Koncepcja systemu PLiVi
Źródło: Opracowanie własne*



Projekt PLiVI - zadania



Zadanie 1:

Określenie parametrów pracy czujnika poziomu próżni na podstawie badań symulacyjnych oraz pomiarów laboratoryjnych



Zadanie 2

Wykonanie miniaturowego czujnika poziomu ciśnienia przeznaczonego do próżniowych komór gaszeniowych SN wraz z dedykowanym układem pomiarowym



Zadanie 3

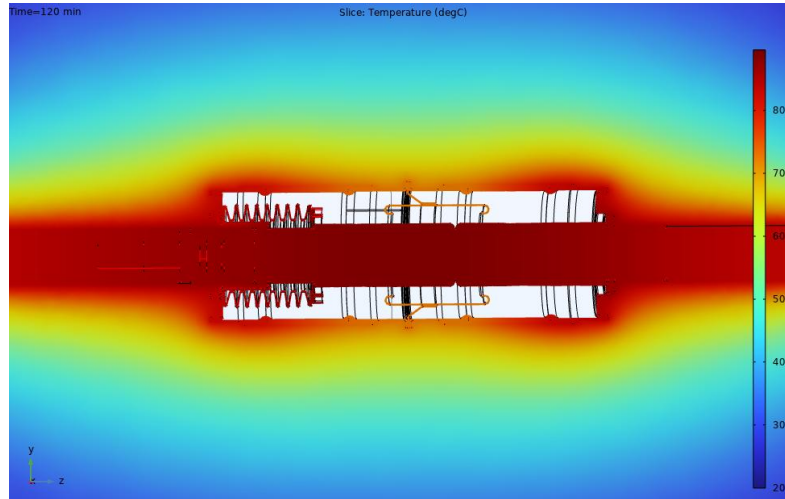
Określenie poprawności monitorowania poziomu ciśnienia w różnych warunkach pracy komory próżniowej SN



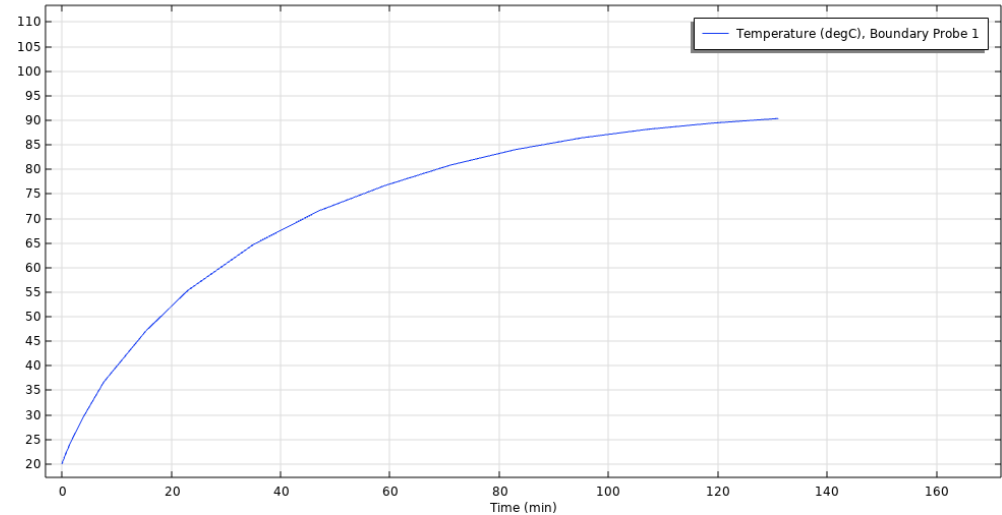
Zadanie 4

Opracowanie elektronicznego układu komunikacyjnego wraz z aplikacją komputerową i mobilną przeznaczoną do podglądu parametrów pracy w komorze próżniowej

Projekt PLiVI – prace B+R



*Temperatura w próżniowej komorze gaszeniowej, przy przepływie prądu o wartości 1000 A przez 2 h
Źródło: Opracowanie własne*



*Zmiana temperatury styków komory próżniowej przy przepływie prądu o wartości 1000 A, w funkcji czasu
Źródło: Opracowanie własne*

Projekt PLiVI – prace B+R

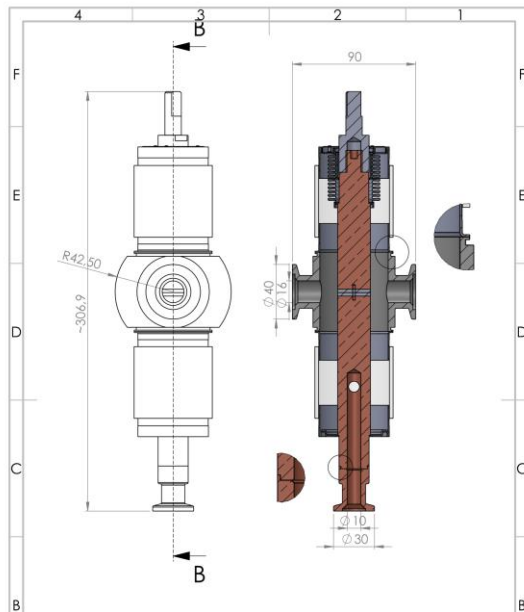


Stanowisko badawcze przeznaczone do nagrzewania próżniowej komory gaszeniowej i monitoringu temperatury

Projekt PLiVI – prace B+R



*Projekt 3D komory próżniowej
w wykonaniu specjalnym
Źródło: Opracowanie własne*

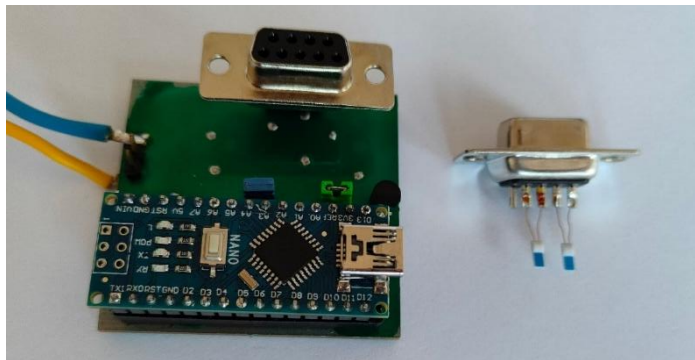


*Projekt komory próżniowej w wykonaniu
specjalnym wraz z wymiarami
Źródło: Opracowanie własne*

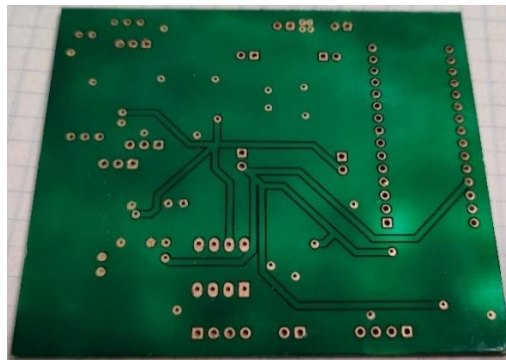


*Finalna wersja komory próżniowej
w wykonaniu specjalnym
Autor zdjęcia: Michał Lech*

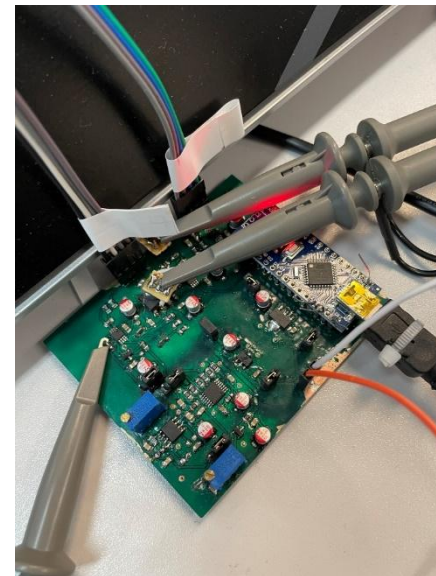
Projekt PLiVI – prace B+R



Element z czujnikami temperatury przeznaczonego do zamontowania w komorze próżniowej wraz z pierwotną wersją układu elektronicznego

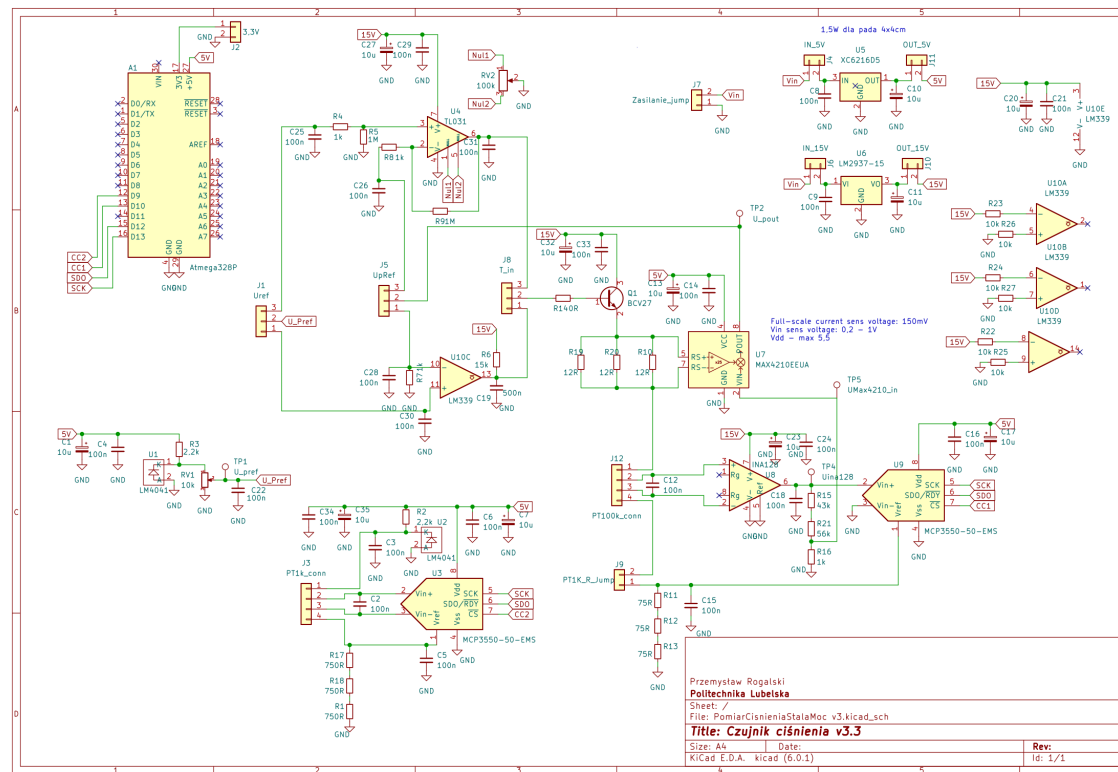


Widok płytki stykowej zaprojektowanej oraz wykonanej do współpracy z czujnikiem poziomego ciśnienia



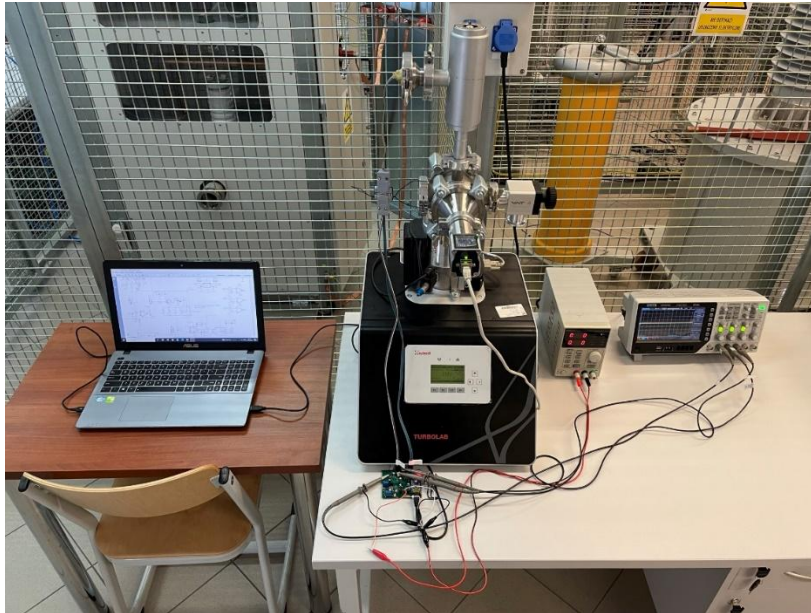
Widok kompletnego układu elektronicznego zaprojektowanego oraz wykonanego do współpracy z czujnikiem poziomego ciśnienia

Projekt PLiVI – prace B+R



Schemat układu elektronicznego zaprojektowanego oraz wykonanego do współpracy z czujnikiem poziomu ciśnienia

Projekt PLiVI – prace B+R

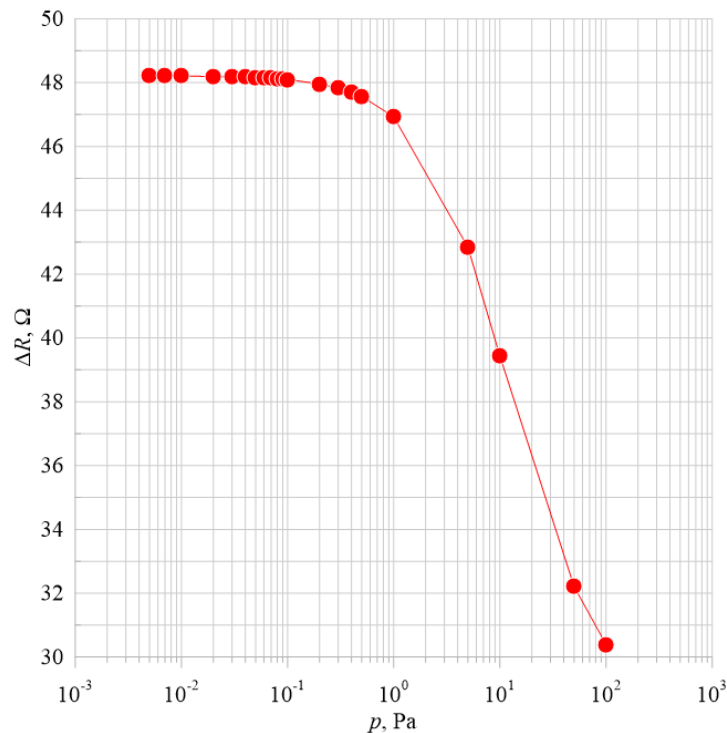


Stanowisko laboratoryjne z zamontowanym prototypem systemu monitoringu poziomu ciśnienia



Komora próżniowa z zamontowanym układem monitoringu poziomu ciśnienia

Projekt PLiVI – prace B+R



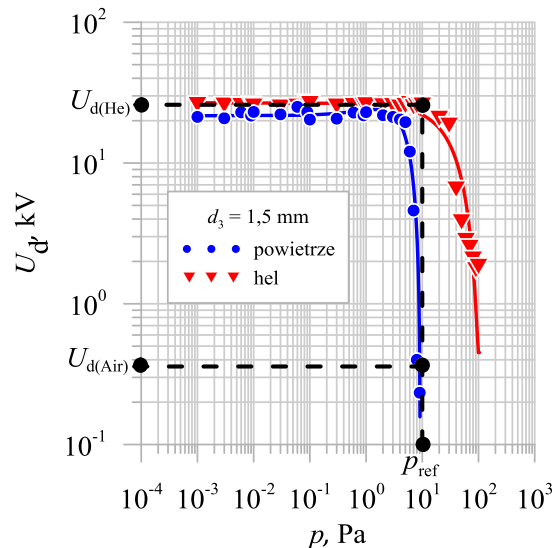
ΔR - różnica pomiędzy rezystancją czujnika PT100,
a rezystancją czujnika odniesienia PT1000
podzieloną przez 10

Zależność różnicy rezystancji czujników
temperatury w funkcji mierzonego ciśnienia

Źródło: Opracowanie własne



Projekt PLiVI – prace B+R



Porównanie charakterystyk $U_d = f(p)$ dla komory próżniowej z próżnią wytworzoną na bazie powietrza oraz helu

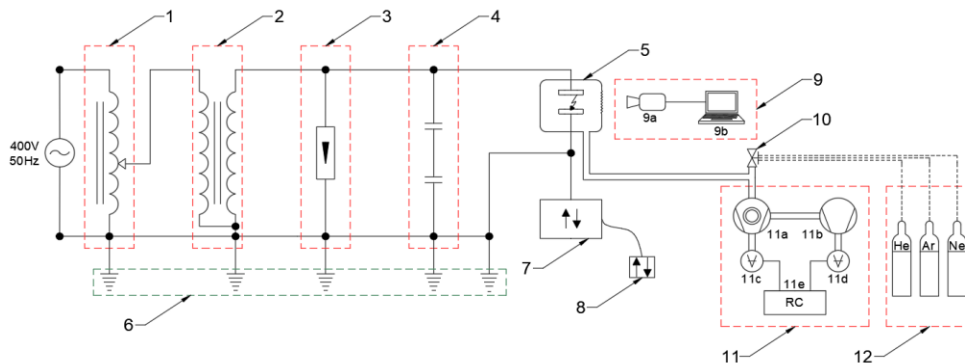
Porównanie zmierzonych wartości napięć przeskoku U_d powietrza oraz helu dla ciśnienia referencyjnego $p_{ref} = 1,00 \cdot 10^1$ Pa

Odległość międzystykowa	Rodzaj gazu resztkowego	
	Powietrze	Hel
	$p_{ref} = 1,00 \cdot 10^1$ Pa	
0,5 mm	$U_{d(Air)} = 1,57$ kV	$U_{d(He)} = 12,47$ kV
1,0 mm	$U_{d(Air)} = 0,70$ kV	$U_{d(He)} = 20,37$ kV
1,5 mm	$U_{d(Air)} = 0,37$ kV	$U_{d(He)} = 25,67$ kV

Projekt PLiVI – prace B+R



Widok stanowiska laboratoryjnego do badań próżniowych komór gaszeniowych
(autor zdjęć: Michał Lech)



Schemat stanowiska laboratoryjnego do badań próżniowych komór gaszeniowych:

- 1 – układ regulacyjny, 2 – transformator probierczy, 3 – ogranicznik napięć,
- 4 – dzielnik pojemnościowy, 5 – badana komora próżniowa, 6 – dedykowane uziemienie, 7, 8 – regulacja odległości międzystykowej, 9 – układ do rejestracji fotograficznej procesów łukowych (a – ultraszybka kamera, b – jednostka komputerowa z dedykowanym oprogramowaniem), 10 – próżniowy zawór ręczny,
- 11 – zestaw próżniowy (a – turbomolekularna pompa próżniowa, b – pompa wstępna, c, d – próżniomierze, e – regulator ciśnienia), 12 – zestaw gazów technicznych (opracowanie własne)

Podsumowanie

- ❖ Bezpośrednie odpowiedzi na potrzeby i wyzwania rynku energetycznego
- ❖ Komerccjalizacja wyników badań naukowych
- ❖ Objęcie ochroną patentową opracowanych rozwiązań
- ❖ Wykorzystanie doświadczenia i know-how zespołu projektowego w opracowywaniu kolejnych rozwiązań przeznaczonych do inteligentnych sieci SN
- ❖ Współpraca z otoczeniem społeczno - gospodarczym
- ❖ Przyspieszenie rozwoju sieci inteligentnych przy jednoczesnym zmniejszeniu kosztów eksploatacji i poprawie współczynników niezawodnościowych dostaw energii

Dziękuję za uwagę

Zapraszam do kontaktu i współpracy

dr inż. Michał Lech
Kierownik Projektu

m.lech@pollub.pl



**POLITECHNIKA
LUBELSKA
WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI
I INFORMATYKI**

