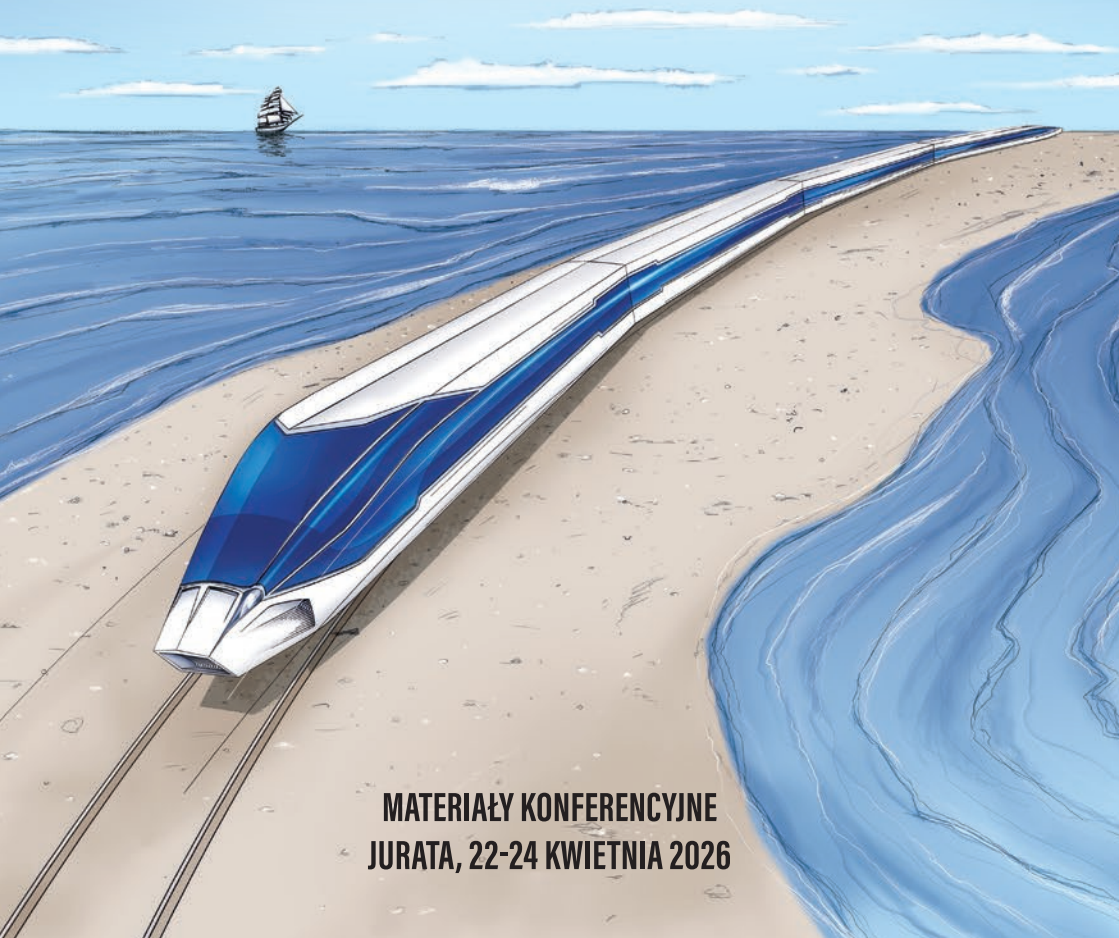


# NOWOCZESNE TECHNOLOGIE W REALIZACJI PROJEKTÓW INWESTYCYJNYCH TRANSPORTU KOLEJOWEGO



**MATERIAŁY KONFERENCYJNE  
JURATA, 22-24 KWIETNIA 2026**



## ORGANIZATORZY KONFERENCJI



## PATRONATY



Instytut Nauk  
Leśnych



## PATRONAT MEDIALNY



Raport Kolejowy





## GLÓWNY PARTNER



## PARTNERZY





## PROGRAM KONFERENCJI

### XIII Konferencja naukowo-techniczna

### „Nowoczesne technologie w realizacji projektów inwestycyjnych transportu kolejowego”

OW Rewita, Jurata, 22-24 kwietnia 2026 r.

#### Dzień I – 22 kwietnia 2026 r.

---

- 16.00 – 18.00 Zakwaterowanie w Rewita Domy Wczasowe WAM Sp. z o.o. (84-150 Hel, ul. Helska 1)
- 19.50 – 20.00 Przywitanie gości przez organizatorów oraz przedstawienie programu konferencji
- 20.00 – 23.00 **Spotkanie koleżeńskie przy grillu**

#### Dzień II – 23 kwietnia 2026 r.

---

##### 8.00 – 8.45 ŚNIADANIE

---

- 9.00 – 9.15 Uroczyste przywitanie gości  
**Stowarzyszenie Elektryków Polskich**  
dr hab. inż. Sławomir Cieślik, Prezes Zarządu Głównego SEP
- Zakład Automatyki i Urządzeń Pomiarowych AREX Sp. z o.o.**  
Krzysztof Bielawski, Prezes Zarządu, Tomasz Buda, Członek Zarządu
- NEEL Sp. z o.o.**  
Marek Stolarski, Prezes Zarządu

SESJA I Panel ogólny – wystąpienia zaproszonych gości, sponsorów i przedstawicieli patronujących

- 9.15 – 9.30 Współczesne oblicze AREX. Rola i znaczenie spółki w globalnym ekosystemie technologicznym Grupy WB.  
**Krzysztof Bielawski, Prezes Zarządu, ZAiUP AREX Sp. z o.o.**
- 9.30 – 9.45 Nowe spojrzenie na proces transformacji energetycznej w Polsce.  
**dr hab. inż. Sławomir Cieślik, Prezes SEP, Stowarzyszenie Elektryków Polskich**
- 9.45 – 10.00 Innowacje dla poprawy bezpieczeństwa kolei.  
**Grzegorz Bijok, Dyrektor Oddziału Terenowego w Gdańsku, Urząd Transportu Kolejowego**
- 10.00 – 10.15 Analiza zdarzeń kolejowych w latach 2023-2025, na podstawie Raportów PKBWK.  
**Karol Trzoński, były Przewodniczący PKBWK, Pełnomocnik Zarządu SITK Katowice**

10.15 – 10.30 Projekt BRIK2/036/2022 "Energoozczędny System Elektrycznego Ogrzewania Rozjazdów z adaptacyjną dystrybucją mocy grzewczej".  
**dr inż. hab. Andrzej Toruń, Kierownik Zakładu Sterowania Ruchem i Teleinformatyki, Instytut Kolejnictwa**

---

**10.30 – 11.00 PRZERWA NA KAWĘ**

---

11.00 – 11.15 ELTOM – Polski dostawca zaawansowanych rozwiązań dla energetyki.  
**Tomasz Cisak, Właściciel, ELTOM**

11.15 – 11.35 Nowoczesna technologia automatycznego nanoszenia środków przeciw obladzaniu sieci trakcyjnej.  
**Arkadiusz Błoch, Prezes Zarządu, ART In Energy Sp. z o.o.**

11.35 – 11.55 Przydatność metody udarowej w ocenie uziemień obiektów z ochroną odgromową.  
**dr inż. Stanisław Wojtas, Politechnika Gdańska**  
**dr hab. inż. Marek Olesz, Politechnika Gdańska**

11.55 – 12.15 DEHN - Projektowanie i wykonywanie ochrony odgromowej na infrastrukturze kolejowej według najnowszych standardów.  
**Zbigniew Gwarek, Regionalny Inżynier Sprzedaży, DEHN POLSKA sp. z o.o.**

12.15 – 12.35 Magazyny energii dla kolejnictwa – zastosowania i wymagania.  
**dr hab. inż. Piotr Biczal, Daniil Holoshchapov, Patryk Klemczak, Piotr Obrycki, Michał Reguła, Alicja Taczalska, PGE Energetyka Kolejowa Operator**

12.35 – 12.55 Jak koleje świata rozwiązują problem kolizji z dzikimi zwierzętami.  
**dr hab. Karolina Jasińska, Adiunkt Samodzielnego Zakładu Zoologii Leśnej i Łowiectwa, Instytut Nauk Leśnych SGGW**

12.55 – 13.15 Analiza symulacyjna akumulatorowego zespołu trakcyjnego.  
**dr inż. Aleksander Jakubowski, Adiunkt Wydziału Elektrotechniki i Automatyki, Politechnika Gdańska**

13.15 – 13.35 Zintegrowane podejście do bezpieczeństwa magazynów energii elektrycznej. Wybrane aspekty magazynowania energii.  
**Tadeusz Boruciński, WB Electronics S.A. WB GROUP**

---

**13.35 – 14.30 OBIAD**

SESJA IIA – sesja prowadzona przez Instytut Kolejnictwa i/lub SEP Automatyka, Sterowania Ruchem Kolejowym.

14.30 – 14.50 Opracowanie i wdrożenie produkcji innowacyjnego odłącznika prądu stałego dla magazynów energii, na podstawie doświadczeń zdobytych w energetyce kolejowej.  
**Tomasz Cisak, Właściciel, ELTOM**

- 14.50 – 15.10 SEMS Rail – alternatywne źródło zasilania dla urządzeń automatyki kolejowej SRK.  
**Oskar Kreft, Dyrektor Pionu e-Konwersji, ZAiUP AREX Sp. z o.o.**
- 15.10 – 15.30 Prototyp sieci neuronowej do sterowania ogrzewaniem rozjazdów kolejowych.  
**Artur Wachtarczyk, Właściciel, ART-ENERGY**
- 15.30 – 15.50 DeltaX 3.0PV czyli OZE z magazynem energii w zasilaniu gwarantowanym urządzeń SRK.  
**Rafał Wyka, Prezes Zarządu, Piotr Szrot, Kierownik Produktu, Olikol Rail Energy Sp. z o.o.**
- 

**15.50 – 16.10 PRZERWA NA KAWĘ**

---

- 16.10 – 16.35 Dedykowana infrastruktura ładowania pojazdów elektrycznych.  
**Tomasz Bładowski, Specjalista ds. Zarządzania Projektami, ZAiUP AREX Sp. z o.o.**
- 16.35 – 17.05 Analiza porównawcza wytapiania śniegu w rozjazdach ogrzewanych metodą standardową i bezstykową w ramach badań programu BRIK 2/036/2022.  
**Dariusz Brodowski, Zakład Sterowania Ruchem i Teleinformatyki, Instytut Kolejnictwa  
Krzysztof Ortel, Zakład Sterowania Ruchem i Teleinformatyki, Instytut Kolejnictwa**
- 17.05 – 17.30 Cybersecurity w sektorze kolejowym.  
**Paweł Buczak, Dyrektor Projektu ds. Bezpieczeństwa teleinformatycznego,  
Biuro Cyberbezpieczeństwa PKP PLK S.A.**

SESJA IIB – sesja prowadzona przez ZAiUP AREX Sp. z o.o.  
Energetyka i systemy zasilania w infrastrukturze kolejowej.

- 14.30 – 14.55 Innowacyjne podejście do diagnostyki prewencyjnej w obszarze urządzeń sieci trakcyjnej.  
**Radosław Burak-Romanowski, Dyrektor Biura Energetyki, Michał Majka, Z-ca Dyrektora  
Biura Energetyki, PKP PLK S.A.**
- 14.55 – 15.20 Projekt zewnętrznej instalacji odgromowej i systemu uziemienia dla bateryjnego magazynu energii o mocy 60 MW (240 MWh) – studium przypadku.  
**Jerzy Ustarbowski, Członek Centralnego Kolegium Sekcji Trakcji, SEP Oddział Gdańsk**
- 15.20 – 15.45 Ewolucja konstrukcji Oprawy Oświetleniowej ze źródłami LED – jako element wspierający odnawialne źródła energii.  
**Tomasz Matkowski, Dyrektor Biura Techniczno-Handlowego, BTH Technolight**
- 

**15.45 – 16.10 PRZERWA NA KAWĘ**

---

- 16.10 – 16.35 Nowe wymagania projektowania systemów Elektrycznego Ogrzewania Rozjazdów oraz oświetlenia zewnętrznego w PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.  
**Radosław Burak-Romanowski, Dyrektor Biura Energetyki, Jarosław Kurek, Naczelnik Wydziału  
Gospodarki Energetycznej, Biuro Energetyki PKP PLK S.A.**

- 16.35 – 17.00 Rozproszony system automatyki i sterowania z możliwością zastosowania gwarancji zasilania na przykładzie wdrożenia realizowanego przez AREX.  
**Zbigniew Chyliński, Dyrektor Oddziału Kolejowego, Piotr Martynelis, Kierownik robót, Paweł Linda, Kierownik projektu, Vasył Smirnov, Inżynier produktu, ZAiUP AREX Sp. z o.o.**
- 17.00 – 17.25 Transformacja energetyczna w zakładzie przemysłowym – mikrosieć w WAGO ELWAG.  
**Robert Malczewski, Menadżer ds. projektów infrastrukturalnych w transporcie szynowym, WAGO**

SESJA IIC – sesja prowadzona przez NEEL Sp. z o.o.

Ochrona środowiska, diagnostyka, bezpieczeństwo i ochrona infrastruktury kolejowej.

- 14.30 – 14.55 Monitorowanie zdarzeń ze zwierzętami na liniach kolejowych.  
**Marian Rabczak, Główny specjalista ds. nadzoru nad ochroną środowiska w procesie inwestycyjnym, Biuro Ochrony Środowiska PKP PLK S.A.**
- 14.55 – 15.20 System SENSONIC – wykorzystanie technologii DAS właściwego kierunku w rozwoju współczesnych systemów monitorowania kolejowej infrastruktury krytycznej.  
**Marek Stolarski, Prezes Zarządu, NEEL Sp. z o.o.**
- 15.20 – 15.45 Innowacyjne rozwiązania wspierające strategię elektromobilności, zero emisyjności oraz bezpieczeństwa zasilania w systemach zarządzania infrastrukturą transportu kolejowego.  
**Zbigniew Chyliński, Dyrektor Oddziału Kolejowego, Tomasz Myzja, Kierownik Biura Nadzoru Projektów, Vasył Smirnov, Inżynier produktu, ZAiUP AREX Sp. z o.o.**

---

**15.45 – 16.10 PRZERWA NA KAWĘ**

---

- 16.10 – 16.35 Aktualne kierunki badań nad metodami manipulowania zachowaniem dzikich zwierząt w aspekcie optymalizacji metod zapobiegania kolizjom na torach.  
**dr hab. Joanna babińska-Werka, Instytut Nauk Leśnych SGGW  
dr inż. Piotr Kowal, Instytut Nauk Leśnych SGGW**
- 16.35 – 17.00 Najnowsza generacja urządzeń systemu ochrony zwierząt UOZ-1 przeznaczonych do zainstalowania na liniach CMK oraz Rail Baltica odcinek Białystok – Elk.  
**Marek Stolarski, Prezes Zarządu, NEEL Sp. z o.o.**
- 17.00 – 17.25 AntyX – system monitorowania kolejowej sieci trakcyjnej w czasie rzeczywistym.  
**Marek Stolarski, Prezes Zarządu, NEEL Sp. z o.o.  
Damian Kuca, Prezes Zarządu, KUCA GROUP**

---

**18.00 – 19.00 NIESPODZIANKA**

**20.00 UROCZYSTA KOLACJA**

---

## Dzień III – 24 kwietnia 2026 r.

---

**9.00 – 10.00**    **ŚNIADANIE**

---

10.00 – 12.00    Warsztaty tematyczne

**Temat 1** – Samoczynne załączanie rezerwy DeltaX / SEMSRail  
Olikol Rail Energy Sp. z o.o. / ZAiUP AREX Sp. z o.o.

**Temat 2** – Aparaty i urządzenia produkcji ELTOM dla kolejnictwa

**Temat 3** – Prezentacja urządzeń BTH Technolight

Organizator zastrzega sobie prawo do zmian w programie.

## SPIS TREŚCI

<b>Współczesne oblicze AREX. Rola i znaczenie spółki w globalnym ekosystemie technologicznym Grupy WB.</b> Krzysztof Bielawski, ZAiUP AREX Sp. z o.o. ....	13
<b>Nowe spojrzenie na proces transformacji energetycznej w Polsce.</b> dr hab. inż. Sławomir Cieślak, Stowarzyszenie Elektryków Polskich .....	29
<b>Analiza zdarzeń kolejowych w latach 2023-2025, na podstawie Raportów PKBWK.</b> Karol Trzoński, PKBWK, SITK Katowice .....	41
<b>Projekt BRIK2/036/2022 "Energoozczędny System Elektrycznego Ogrzewania Rozjazdów z adaptacyjną dystrybucją mocy grzewczej".</b> dr inż. hab. Andrzej Toruń, Instytut Kolejnictwa .....	65
<b>Nowoczesna technologia automatycznego nanoszenia środków przeciw obladzaniu sieci trakcyjnej.</b> Arkadiusz Błoch, ART In Energy Sp. z o.o. ....	79
<b>Przydatność metody udarowej w ocenie uziemień obiektów z ochroną odgromową.</b> dr inż. Stanisław Wojtas, dr hab. inż. Marek Olesz, Politechnika Gdańska .....	89
<b>DEHN – Projektowanie i wykonywanie ochrony odgromowej na infrastrukturze kolejowej według najnowszych standardów.</b> Zbigniew Gwarek, DEHN POLSKA sp. z o.o. ....	99
<b>Jak koleje świata rozwiązują problem kolizji z dzikimi zwierzętami.</b> dr hab. Karolina Jasińska, Instytut Nauk Leśnych SGGW .....	107
<b>Zintegrowane podejście do bezpieczeństwa magazynów energii elektrycznej. Wybrane aspekty magazynowania energii.</b> Tadeusz Boruciński, WB Electronics S.A. WB GROUP .....	117
<b>Opracowanie i wdrożenie produkcji innowacyjnego odłącznika prądu stałego dla magazynów energii, na podstawie doświadczeń zdobytych w energetyce kolejowej.</b> Tomasz Cisak, ELTOM .....	141
<b>SEMS Rail – alternatywne źródło zasilania dla urządzeń automatyki kolejowej SRK.</b> Oskar Kreft, ZAiUP AREX Sp. z o.o. ....	147
<b>Prototyp sieci neuronowej do sterowania ogrzewaniem rozjazdów kolejowych.</b> Artur Wachtarczyk, ART-ENERGY .....	155
<b>DeltaX 3.0PV czyli OZE z magazynem energii w zasilaniu gwarantowanym urządzeń SRK.</b> Rafał Wyka, Piotr Szrot, Olkol Rail Energy Sp. z o.o. ....	165

<b>Analiza porównawcza wytapiania śniegu w rozjazdach ogrzewanych metodą standardową i bezstykową w ramach badań programu BRIK 2/036/2022.</b>	
Dariusz Brodowski, Instytut Kolejnictwa .....	171
<b>Porównanie symulacji komputerowej z badaniami laboratoryjnymi i pomiarami eksploatacyjnymi – metoda standardowa i bezstykowa elektrycznego ogrzewania rozjazdów.</b>	
Krzysztof Ortel, Instytut Kolejnictwa .....	207
<b>Innowacyjne podejście do diagnostyki prewencyjnej w obszarze urządzeń sieci trakcyjnej.</b>	
Radosław Burak-Romanowski, Michał Majka, PKP PLK S.A. ....	233
<b>Ewolucja konstrukcji Oprawy Oświetleniowej ze źródłami LED – jako element wspierający odnawialne źródła energii.</b>	
Tomasz Matkowski, BTH Technolight .....	247
<b>Nowe wymagania projektowania systemów Elektrycznego Ogrzewania Rozjazdów oraz oświetlenia zewnętrznego w PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.</b>	
Radosław Burak-Romanowski, Jarosław Kurek, PKP PLK S.A. ....	257
<b>Transformacja energetyczna w zakładzie przemysłowym – mikrosieć w WAGO ELWAG.</b>	
Robert Malczewski, WAGO .....	265
<b>Monitorowanie zdarzeń ze zwierzętami na liniach kolejowych.</b>	
Marian Rabczak, PKP PLK S.A. ....	275
<b>System SENSONIC – wykorzystanie technologii DAS właściwego kierunku w rozwoju współczesnych systemów monitorowania kolejowej infrastruktury krytycznej.</b>	
Marek Stolarski, NEEL Sp. z o.o. ....	291
<b>Innowacyjne rozwiązania wspierające strategię elektromobilności, zero emisyjności oraz bezpieczeństwa zasilania w systemach zarządzania infrastrukturą transportu kolejowego.</b>	
Zbigniew Chyliński, Tomasz Myzia, Vasył Smirnov, ZAIUP AREX Sp. z o.o. ....	303
<b>Aktualne kierunki badań nad metodami manipulowania zachowaniem dzikich zwierząt w aspekcie optymalizacji metod zapobiegania kolizjom na torach.</b>	
dr hab. Joanna Babińska-Werka, dr inż. Piotr Kowal, Instytut Nauk Leśnych SGGW .....	327
<b>Najnowsza generacja urządzeń systemu ochrony zwierząt UOZ-1 przeznaczonych do zainstalowania na liniach CMK oraz Rail Baltica odcinek Białystok – Ełk.</b>	
Marek Stolarski, NEEL Sp. z o.o. ....	335
<b>AntyX – system monitorowania kolejowej sieci trakcyjnej w czasie rzeczywistym.</b>	
Marek Stolarski, NEEL Sp. z o.o., Damian Kuca, KUCA GROUP .....	345





**Współczesne oblicze AREX. Rola i znaczenie spółki  
w globalnym ekosystemie technologicznym Grupy WB.**

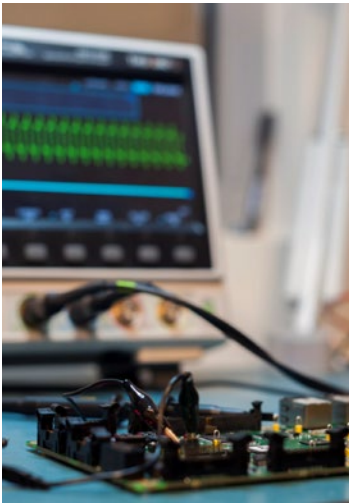
Krzysztof Bielawski  
Prezes Zarządu ZAiUP AREX Sp. z o.o.





Współczesne oblicze AREX. Rola i znaczenie spółki w globalnym ekosystemie technologicznym Grupy WB.

Krzysztof Bielawski, Prezes Zarządu AREX Sp. z o.o.



## Historia AREX

Rozpoczęcie działalności  
1989 r.

Założyciele  
Andrzej i Regina Darscy

Początkowa działalność  
Produkcja przetworników i mierników  
podstawowych wielkości fizycznych

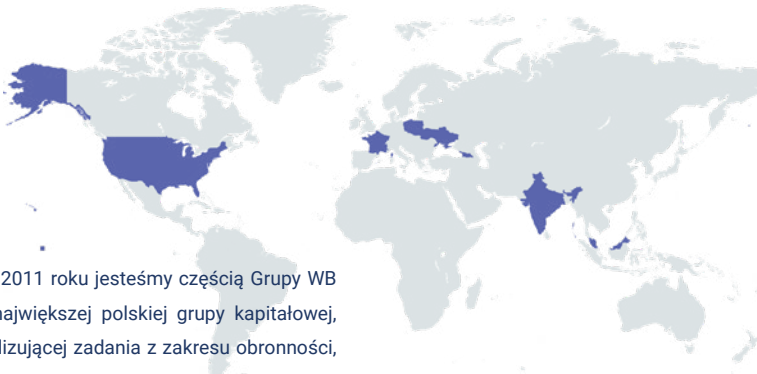


## Kroki milowe



[www.wbgroup.pl](http://www.wbgroup.pl)

## Grupa WB



Od 2011 roku jesteśmy częścią Grupy WB – największej polskiej grupy kapitałowej, realizującej zadania z zakresu obronności, na czele której stoi WB Electronics S.A.

[www.wbgroup.pl](http://www.wbgroup.pl)

## Kompleksowa oferta produktów Grupy WB



OBRONNOŚĆ		BEZPIECZEŃSTWO WEWNĘTRZNE	ROZWIĄZANIA CYWILNE
<b>C4ISR</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Cyfrowa platforma komunikacyjna FONET</li> <li>Zintegrowany system zarządzania walką (TOPAZ)Systemy kierowania ogniem</li> <li>Radiostacje taktyczne</li> <li>Osobisty system dowodzenia i nadzoru U-GATE z radiostacjami PERAD.</li> </ul>	<b>Bezzałogowe środki rozpoznawcze i amunicja krążąca</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Bezzałogowy system rozpoznawczy (Flyeye, FT-5)</li> <li>Amunicja krążąca (Warmate 3, Warmate5)</li> <li>Systemy kierowania ogniem</li> <li>Bezzałogowy system rozpoznawczo-uderzeniowy (Gladius)</li> </ul>	<b>Systemy uzbrojenia</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Wyposażenie elektromechaniczne (część rozwiązań wieży ZSSW 30)</li> <li>Zdalnie sterowana broń (ZMU)</li> <li>Pakiety modernizacyjne</li> </ul>	<b>Systemy SI</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>EYEQ Land</li> <li>EYEQ Air</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>System łączności (PIK)</li> <li>Cyfrowy system ochrony granic i infrastruktury krytycznej (AMSTA)</li> <li>Zintegrowany system ochrony granic (Aigis)</li> <li>Kryptografia i cyberbezpieczeństwo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Technologie kolejowe</li> <li>Monitorowanie ruchu</li> <li>Cywilne zastosowania dronów</li> <li>Cywilne komponenty elektroniczne</li> <li>Rozwiązania w zakresie zarządzania energią</li> </ul>

www.wbgroup.pl

## Zakres działalności AREX



### RYNEK SPECJALNY



- systemy sterowania napędami
- autonomiczne systemy wieżowe
- modernizacja sprzętu wojskowego, w tym polonizacja rozwiązań stosowanych w wyrobach wojskowych
- trenażery

### RYNEK E-KONWERSJI



- stacje ładowania pojazdów elektrycznych
- systemy zarządzania energią elektryczną (magazyny energii)
- konwersja energii

### RYNEK KOLEJOWY



- systemy elektrycznego ogrzewania rozjazdów
- systemy sterowania oświetleniem
- systemy stabilizacji sieci trakcyjnych

www.wbgroup.pl

## Potencjał AREX



### BADANIA I ROZWÓJ

- kadra inżynierska
- własne laboratoria i pracownie
- modułowość i skalowalność rozwiązań
- szybka adaptacja do potrzeb klienta
- pełna własność wszystkich praw intelektualnych (IP)



### PRODUKCJA

- szeroki zakres dostępnych usług produkcyjnych
- elastyczna infrastruktura produkcyjna zlokalizowana w Polsce
- możliwość skokowego zwiększenia produkcji własnej lub poprzez outsourcing



### DZIAŁALNOŚĆ HANDLOWA

- globalna sieć sprzedaży
- spółki handlowe GRUPY WB na świecie, działające na bazie lokalnego prawa
- szkolenia i pełna obsługa posprzedażowa

[www.wbgroup.pl](http://www.wbgroup.pl)

## AREX obecnie



**Lider automatyki przemysłowej oraz systemów mechatronicznych** dla infrastruktury specjalnej.



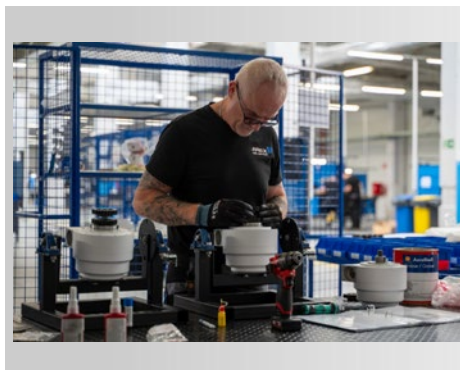
**Zatrudniamy ponad 300 pracowników** – w tym zespół inżynierów specjalizujących się w elektronice, mechanice, elektryce i informatyce.



Okolo **20 000 m<sup>2</sup> powierzchni** produkcyjnej i biurowej.



[www.wbgroup.pl](http://www.wbgroup.pl)



Rodzina Zdalnych Modułów Uzbrojenia  
ZSSW-30 & ZMU-05



Zdalny moduł uzbrojenia ZMU-05  
na platformach HMMWV i OSHKOSH



[www.wbgroup.pl](http://www.wbgroup.pl)

Zdalny moduł uzbrojenia ZMU-05  
na ciężkich pojazdach



[www.wbgroup.pl](http://www.wbgroup.pl)

Zdalny moduł uzbrojenia ZMU-03  
na platformie UGV HUNTER-BOHUN



[www.wbtgroup.pl](http://www.wbtgroup.pl)

Samobieżny moździerz RAK 120 mm  
Samobieżna haubica KRAB 155 mm



[www.wbtgroup.pl](http://www.wbtgroup.pl)

## Rynek kolejowy



[www.wbgroup.pl](http://www.wbgroup.pl)

## Rynek kolejowy – produkcja



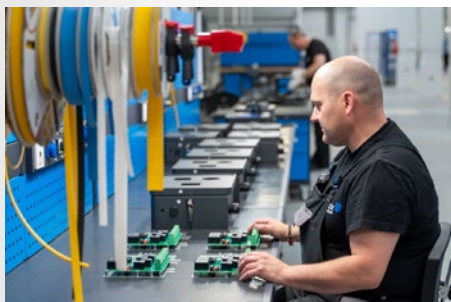
[www.wbgroup.pl](http://www.wbgroup.pl)

## Rynek elektromobilny



[www.wbgroup.pl](http://www.wbgroup.pl)

## Rynek elektromobilny – produkcja



[www.wbgroup.pl](http://www.wbgroup.pl)



## Działalność rozwojowa rynku cywilnego



- Energooszczędny System Elektrycznego Ogrzewania Rozjazdów z adaptacyjnym układem dystrybucji ciepła na rozjazdach kolejowych
- System zarządzania energią elektryczną dla obiektów – SEMS
- Przekształtniki energoelektroniczne – aplikacje
- Przekształtniki / magazyny energii
- Integracja odnawialnych źródeł energii

www.wbgroup.pl

## Nagrody dla AREX



### 2025

**Gazete Biznesu** dla najdynamiczniej rozwijającego się przedsiębiorstwa. AREX jest wielokrotnym laureatem rankingu w edycjach 2022 i 2023.

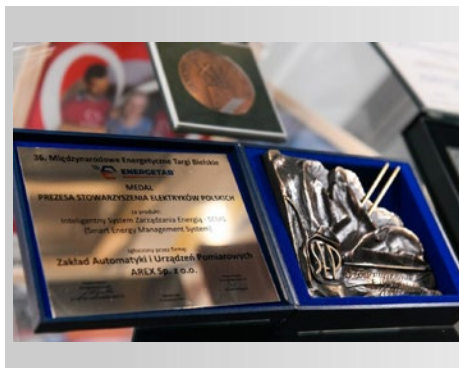
### 2024

**Diamenty Forbesa** dla firmy o przychodach ze sprzedaży od 50 mln do 250 mln PLN.



www.wbgroup.pl

## Wyróżnienia dla AREX



[www.wbtgroup.pl](http://www.wbtgroup.pl)

## Nagroda DEFENDER



[www.wbtgroup.pl](http://www.wbtgroup.pl)

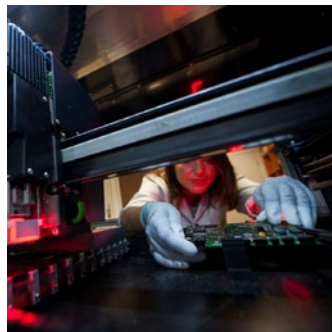
## Działalność badawczo-rozwojowa



**Firma technologiczna** – ponad 100 inżynierów specjalizujących się w elektronice, mechanice, elektryce i informatyce.

### Współpraca z uczelniami i instytutami:

- Politechnika Gdańska,
- Akademia Morska w Gdyni,
- Akademia Marynarki Wojennej,
- Uniwersytet Gdański,
- Politechnika Kielecka,
- Wojskowa Akademia Techniczna (WAT),
- Wojskowy Instytut Techniki Uzbrojenia (WITU).



[www.wbgroup.pl](http://www.wbgroup.pl)



## Inkubator



Prowadzimy inicjatywy badawczo-rozwojowe nastawione na współpracę z wydziałami PG. Na potrzeby tworzenia nowatorskich projektów powstał Inkubator Działalności Naukowo-Rozwojowej. Umożliwiamy młodym inżynierom dostęp do wsparcia i zasobów, niezbędnych do rozwoju badań naukowych oraz realizacji innowacyjnych rozwiązań na każdym etapie ich rozwoju.

[www.wbgroup.pl](http://www.wbgroup.pl)

## Publikacje w czasopismach branżowych



[www.wbtgroup.pl](http://www.wbtgroup.pl)



Publikacje naukowe AREX – WB GROUP  
w czasopiśmie branżowym  
w latach 2011-2024





**Nowe spojrzenie na proces transformacji  
energetycznej w Polsce.**

dr hab. inż. Sławomir Cieślik  
Prezes Stowarzyszenia Elektryków Polskich



## **Nowe spojrzenie na proces transformacji energetycznej w Polsce**

Sławomir Cieślak

Politechnika Bydgoska, Stowarzyszenie Elektryków Polskich

Brak aktualnych i z odpowiednią perspektywą czasową strategicznych dokumentów dotyczących przyszłości polskiego systemu energetycznego jest główną przyczyną narażenia m.in. obecnych Operatorów Systemów Dystrybucyjnych na działania nie mające wyraźnego uzasadnienia w odpowiednim horyzoncie czasowym i katalogu rzeczowym. Autor niniejszego referatu pisał o tym wielokrotnie, np. [1,2,3] i rozdział w [4]. Modne jest ostatnio epatowanie bezwzględny liczbami, szczególnie podawanie opinii publicznej wielomilionowych lub nawet wielomiliardowych kwot na realizację zadań, których realnych skutków nie widać w krajowych dokumentach strategicznych. Nawet jak te zadania wpisują się w ogólne trendy polityk Unii Europejskiej, to i tak jako państwo członkowskie musimy mieć przekonanie, że są to inwestycje, a nie chaotyczne i nie posiadające uzasadnienia wydawanie pieniędzy (koszty i aktywa osierocone).

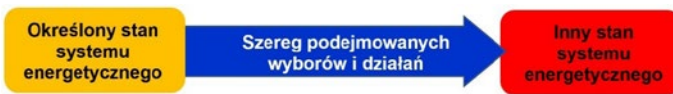
W ogólności potwierdza to również publicysta Jacek Żakowski [5] wskazując, że problem polega na tym, że polityka w coraz większym stopniu wyraża wiarę, wrażenia, emocje i wolę polityków (częściowo też wyborców), a w coraz mniejszym stopniu wiedzę o świecie i racjonalnych sposobach wpływania na rzeczywistość. Im bardziej złożony jest świat, tym mniej chętnie polityczna władza sięga po naukową wiedzę, a bardziej chętnie po PR-owskie sztuczki, które dają chwilową popularność.

Stwierdzony brak strategicznych dokumentów dotyczących przyszłości polskiego systemu energetycznego oraz niejasne i o krótkoterminowym horyzoncie działania na rzecz przygotowania warunków funkcjonowania przyszłych pokoleń skłania do zastosowania rozwiązania proponowanego np. przez profesora Michała Wojciechowskiego [6], że wobec indolencji państwa polskiego w zasadniczych dla gospodarki narodowej obszarach należy wcielić w życie konstytucyjną zasadę pomocniczości (subsydiarności), redukując zasięg władzy centralnej i oddając uprawnienia i zadania samorządom, przedsiębiorstwom, stowarzyszeniom i obywatelom.

Niezmiernie ważne jest zrozumienie idei transformacji energetycznej. W monografii [7] pojęcie transformacji nawiązuje do sposobów aktywnego kształtowania zmian w procesach. Przywoływana jest koncepcja Anthonego Giddensa, w której wyróżnia cztery obszary transformacji: infrastruktura i technologie, kapitał, instytucje oraz wartości kulturowe. Istotną

kwestią jest to, że wszystkie wymienione obszary są ze sobą powiązane i wzajemnie na siebie oddziałują. To jest optymistyczne. Stwierdzenie Autorki, że przyjęta w tej monografii formuła analizy transformacji odnosi się przede wszystkim do obszaru prawno-instytucjonalnego z uwzględnieniem aspektów gospodarczych i społecznych zaprzecza wcześniej zidentyfikowanemu aspektowi ujęcia systemowego. Zastosowanie badań w oparciu o metodykę nauk politycznych i stosunków międzynarodowych jest błahym uzasadnieniem, zwłaszcza uwzględniając to, że aspekty technologiczne zostały potraktowane tylko jako narzędzie transformacji. Takie podejście wprost wpisuje się w problemy rozumienia ujęcia systemowego zagadnień, o których autor tego referatu pisał m.in. w [2].

Definicja transformacji energetycznej jest następująca: **transformacja energetyczna jest to proces, na który składa się szereg podejmowanych wyborów i działań mających na celu zamianę jednego, określonego stanu na inny stan systemu energetycznego**. Graficznie transformację energetyczną można przedstawić jak na rysunku 1. Kluczową kwestią jest to, że między określonym stanem systemu energetycznego (obecnego) i innym stanem systemu energetycznego (przyszłym, postulowanym) jest na osi czasu kilkadziesiąt lat.



Rys. 1. Graficzna idea transformacji energetycznej [4]

Takie rozumienie transformacji energetycznej wymaga ustalenia w pierwszej kolejności czy inny, nowy stan systemu energetycznego jest też określony, czy jest nieznan. W drugim przypadku mamy do czynienia z transformacją energetyczną do nieznanego. Jest to niestety przypadek, który aktualnie próbuje się z różnym skutkiem realizować (najczęściej sprowadza się to do opowieści jaki był postulowany stan polskiego systemu energetycznego ok. 30 lat temu i czego nie udało się do tej pory zrobić w tym zakresie). W pierwszym przypadku (postulowany stan systemu energetycznego wynikający z określonej koncepcji) można z większą precyzją (mniejszym ryzykiem) dokonywać wyboru lub korekty wybranej trajektorii transformacji energetycznej [1]. Dziś, w roku 2026, ciągle aktualny jest katalog niezbędnych działań w różnych obszarach nauki oraz zaawansowanej techniki i inżynierii, których celem jest [2]:

XIII Konferencja naukowo-techniczna  
„Nowoczesne technologie w realizacji projektów inwestycyjnych transportu kolejowego”

1. opracowanie koncepcji nowego polskiego systemu elektroenergetycznego,
2. wyznaczenie trajektorii, drogi transformacji polskiej energetyki ze stanu teraźniejszego do stanu postulowanego,
3. stworzenie warunków do przygotowania się przedsiębiorstw i społeczeństwa do funkcjonowania w nowych realiach.

Dopiero po tym można przejść do obszarów transformacji energetycznej, np. tych proponowanych we wspomnianej koncepcji Anthony'ego Giddensa: infrastruktura i technologie, kapitał, instytucje oraz wartości kulturowe, ale uzupełnionych o jasne wskazanie, że dotyczy to wszystkich sektorów obecnego i przyszłego systemu energetycznego: pozyskiwanie, przesył i użytkowanie energii. Magazynowanie energii jest traktowane w kategoriach jej użytkowania. Graficzna interpretacja podstawowych obszarów transformacji energetycznej jest przedstawiona na rysunku 2.



Rys. 2. Graficzna interpretacja podstawowych obszarów transformacji energetycznej [4]

Wpływ działalności człowieka na zmiany klimatu, szczególnie CO<sub>2</sub> ze spalania paliw kopalnych, dla wielu nie jest przekonujący. Chociaż wszystkie znaczące organizacje naukowe nie mają wątpliwości, że emisja gazów cieplarnianych w działalności człowieka w ostatnich ok. 100 latach była główną przyczyną ocieplenia klimatu Ziemi, to są osoby, które często występują we wszelkiego rodzaju publikacjach populistycznie podważając tę udowodnioną naukowo zależność. Wydarzenia ostatnich kilkunastu lat w szeroko rozumianej światowej geopolityce stają się dominujące w uzasadnieniu konieczności procesu transformacji energetycznej europejskich systemów energetycznych, o zakresie znacznie szerszym niż dekarbonizacja.

W roku 2015 opublikowano projekt mający na celu stabilną unię energetyczną [8], której podstawą jest ambitna polityka w dziedzinie klimatu, a efektem zapewnienie konsumentom w Unii Europejskiej – gospodarstw domowym i przedsiębiorstwom – bezpiecznej, zrównoważonej, konkurencyjnej energii po przystępnych cenach. Strategia unii energetycznej opiera się na pięciu wzajemnie się wzmacniających i ściśle powiązanych obszarach mających

na celu doprowadzenie do większego bezpieczeństwa energetycznego, stabilności i konkurencyjności: bezpieczeństwo energetyczne, solidarność i zaufanie; w pełni zintegrowany europejski rynek energii; efektywność energetyczna przyczyniająca się do ograniczenia popytu; dekarbonizacja gospodarki oraz badania naukowe, innowacje i konkurencyjność.

Autor niniejszego referatu w swych publicznych wystąpieniach, po powtórnym wyborze Donalda Trumpa na prezydenta USA i jego publicznych wystąpieniach, prezentował wyniki procesu myślowego z zastosowaniem inżynierii odwróconej. Rozważmy tylko fragment tego procesu. W Morzu Czarnym znajdują się znaczne złoża metanu w postaci hydratów metanu, czyli zamrożonych związków metanu i wody, szacowane na około 30 bln metrów sześciennych. Dno morskie Arktyki kryje co najmniej 90 miliardów baryłek ropy naftowej i ok. 1,67 biliona metrów sześciennych gazu ziemnego. Obficie występują również złoża klatratu metanu. Arktyka obejmuje części Rosji, **Kanady**, Norwegii, Szwecji, Finlandii, Alaskę (Stany Zjednoczone), **Grenlandię** (terytorium duńskie), Islandię oraz Ocean Arktyczny. Z dużym prawdopodobieństwem można przyjąć, że na bezpośrednim spotkaniu Donalda Trumpa z Władimirem Putinem w Helsinkach (16 lipca 2018 roku) dokonano podziału przyszłych wpływów m.in. w światowej sferze paliw kopalnych. Wówczas Władimir Putin już „zaopiekował” się Krymem (2014), półwyspem pomiędzy częścią północną Morza Czarnego a częścią zachodnią Morza Azowskiego, a Donald Trump miał „zaopiekować” się Kanadą i Grenlandią (nie zdążył w pierwszej kadencji w latach 2017-2021, ponieważ wówczas liczył się jeszcze ze zdaniem swoich doradców). Potwierdzają to wypowiedzi i próba działań prezydenta USA w roku 2025 (początek drugiej kadencji), w tym wypowiedzenie praktycznie wszystkich umów związanych z dekarbonizacją oraz tych dążących do ograniczenia, a następnie eliminacji energetycznego wykorzystania paliw kopalnych. Niezbędna jest przestrzeń do dominacji w światowej energetyce (ciągle z udziałem paliw kopalnych) w uzgodnionym podziale wpływów między USA i Rosją (może z udziałem trzeciego wielkiego gracza – Chin, które jednak dynamicznie rozwijają technologie energetyczne z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii). Dokładając do tego doktrynę USA („America First”), gdzie priorytetem jest interes narodowy USA, redukcja zaangażowania militarnego za granicą oraz rewizja sojuszy na zasadach wymiany korzyści, można powiedzieć, że szok wywołany przez Donalda Trumpa może być zbawienny dla krajów europejskich, również w kwestii energetyki. Unia Europejska musi uniezależnić swą energetykę od importu paliw kopalnych!

XIII Konferencja naukowo-techniczna  
„Nowoczesne technologie w realizacji projektów inwestycyjnych transportu kolejowego”

Z uwagi na to, że łatwe do eksploatacji europejskie złoża paliw kopalnych są już wyczerpane konieczne jest odejście całkowite od wykorzystywania paliw kopalnych na cele energetyczne. Propozycje pozostania polskiej energetyki przy węglu prowadzą do wchłonięcia Polski w strefę wpływu Rosji, oczywiście wyjście ze struktur Unii Europejskiej, z zachowaniem często populistycznie powtarzanej suwerenności, ale w rosyjskim rozumieniu. Niemądre są również propozycje, aby bezpieczeństwo energetyczne Polski oprzeć na USA, szczególnie znając fakty z tego roku. Europa, w tym Polska, po odcięciu się od rosyjskich surowców, stała się silnie zależna od USA. Donald Trump już pokazał, że zmiana kierunku dostaw z Rosji na USA nie eliminuje ryzyka geopolitycznego w zakresie energetyki opartej na paliwach kopalnych. Na początku 2026 roku administracja Donalda Trumpa wywierała presję na Unię Europejską, grożąc ograniczeniem dostaw surowców energetycznych, w tym gazu, jako narzędzie nacisku politycznego i gospodarczego.

**Konkluzja: europejskie systemy energetyczne muszą wyeliminować paliwa kopalne (węgiel kamienny i brunatny, ropa i gaz ziemny) z procesów pozyskiwania energii.** Zatem aktualne jest pięć filarów unii energetycznej [8]: bezpieczeństwo dostaw, zintegrowany rynek energii, efektywność energetyczna, dekarbonizacja, badania i innowacje. Uzasadnione i aktualne są również cele Europejskiego Zielonego Ładu [9], przyjętego w 2019 roku pakietu inicjatyw politycznych kierujących Unię Europejską na drogę transformacji ekologicznej, a ostatecznie – ku neutralności klimatycznej, którą ma ona osiągnąć do 2050 r. W pakiecie zakłada się: dekarbonizację energetyki, rozwój OZE, efektywność energetyczną, zrównoważony transport, gospodarkę o obiegu zamkniętym. Kwestią dyskusyjną może być jedynie sposób dojścia do celu końcowego. W tym zakresie wskazane jest bieżące korygowanie planów z uwzględnieniem zmieniającego się otoczenia i możliwości krajów europejskich. Ważnym dla Europy wydarzeniem jest pełnoskalowa agresja militarna Rosji na niepodległą Ukrainę. Od 24 lutego 2022 roku obserwujemy m.in. niszczenie ukraińskiej infrastruktury energetycznej. Na uwagę zasługuje fakt, że kinetycznie można zniszczyć obiekty elektrowni (poza elektrowniami jądrowymi), ale dla krajów europejskich dobrą lekcją powinno być niszczenie elementów infrastruktury sieciowej w ramach aktów dywersyjnych. Działania dywersyjne są już faktem w wielu krajach europejskich, w tym w Polsce (np. podpalenia, uszkodzenia infrastruktury). W przyszłości należy spodziewać się nasilania tego typu działań ukierunkowanych na destrukcję i wyłączenie z działania krytycznych fragmentów infrastruktury sieciowej. Zagadnienia te były przedmiotem analizy i dyskusji eksperckich

w ramach IV Kongresu Elektryki Polskiej w Poznaniu [4,10]. Wnioski z analiz są jednoznaczne, odbudowa ukraińskiego systemu energetycznego odbędzie się z decentralizacją w sektorze wytwarzania energii elektrycznej. Będzie wyraźny odwrót od XX-wiecznego trendu budowy bardzo dużych jednostek wytwórczych z rozbudowaną siecią przesyłową (mania Związku Radzieckiego do ogromnych elektrowni i rozległych sieci).

Reakcją na kryzys energetyczny po inwazji Rosji na Ukrainę było przyjęcie w roku 2022 Planu REPowerEU [11]. W planie wyszczególniono następujące cele: uniezależnienie się od rosyjskich paliw kopalnych, przyspieszenie rozwoju odnawialnych źródeł energii, poprawa efektywności energetycznej oraz dywersyfikacja dostaw.

Kolejnym impulsem do rozwojowego myślenia o przyszłym polskim systemie energetycznym powinny być m.in. wydarzenia z 28 kwietnia 2025 roku obejmujące Hiszpanię, Portugalię i część Francji. Faktem jest, że przez kilkanaście godzin na skutek działań bezpośrednich, a przez kilkadziesiąt godzin na skutek działań pośrednich ok. 60 mln ludzi doświadczyło największego od dekad blackoutu. Raport ENTSO-E [12] wskazuje, że przyczyną awarii były błędy w zarządzaniu pracą systemu elektroenergetycznego i w wyniku tego kaskadowe wyłączenia konwencjonalnych elektrowni. Jak zwykle, pojawiają się opinie (na szczęście osób nie znających się na elektroenergetyce) sceptyczne do przedstawionych w raporcie wniosków. Natomiast wniosek generalny jest oczywisty. Obecnie funkcjonujące w Europie krajowe systemy elektroenergetyczne zostały zaprojektowane i wykonane na miarę potrzeb i możliwości energetyki XX wieku. Są to systemy, które były z sukcesami eksploatowane (zarządzane) w warunkach XX wieku. Obecnie mamy ćwierć wieku XXI i diametralnie inne warunki niż te, na które obecnie eksploatowane systemy zostały zaprojektowane i wykonane. Z technicznego punktu widzenia jest oczywiste, że jeżeli nie dostosuje się systemów energetycznych do nowych warunków (bo zmiana warunków jest walką z wiatrakami, i to w sensie dosłownym i w przenośni), coraz częściej będą występowały blackouty i to w coraz większym zakresie obszarowym. Potrzebna jest zmiana wyobrażenia o funkcjonowaniu przyszłego systemu energetycznego w krajach europejskich. Trzeba pracować nad zwiększeniem odporności systemów energetycznych na awarie, w tym rozważyć ryzyko częstszych, ale lokalnych (nieduży zakres obszarowy) blackoutów, z szybkim blackstartem (krótkim czasem przywrócenia systemu do pełnej gotowości do działania).

Konstrukcja przyszłego polskiego systemu energetycznego musi być odwrócona względem tego co było w XX wieku. Zaczynamy od zagospodarowania sieci niskiego napięcia (tam już

są systemy energetyczne), następnie przechodzimy do zagospodarowania sieci średniego napięcia i to będzie w gestii nowych OSD z obowiązkiem lokalnego bilansowania (LOB – Lokalne Obszary Bilansowania). To, co pozostanie do zagospodarowania oraz zabezpieczenie potrzeb przemysłu (odbiorów energochłonnych) będzie realizowane z wykorzystaniem sieci przesyłowych zarządzanych przez OSP.

**Konkluzja: decentralizacja pozyskiwania energii i systemy energetyczne z lokalną generacją (Lokalne Obszary Bilansowania), których główną zaletą było pozyskiwanie energii niedaleko jej konsumpcji (zwiększenie efektywności przesyłu), wzmocnione zostają aspektami zwiększenia odporności na działania dywersyjne ukierunkowane na destrukcję infrastruktury krytycznej.**

Dwa ostatnie wątki nowego spojrzenia na proces transformacji energetycznej w Polsce wynikają z wydarzeń z ostatnich kilku miesięcy. Pierwszy, to stosunkowo mroźna zima na przełomie 2025 i 2026 roku, co skutkowało wzrostem kosztów ogrzewania. Z jednej strony akcentuje się właśnie wzrost kosztów ogrzewania, z drugiej podkreśla się, że w Polsce dzięki spalaniu węgla i gazu możliwe było sprostanie wyzwaniom energetycznym wynikającym z warunków atmosferycznych. W fizycznym ujęciu zagadnienie jest proste, niskie temperatury powietrza na zewnątrz budynków wymagają większej ilości ciepła dostarczonego do pomieszczeń wewnątrz tego budynku. W sposób oczywisty dostarczenie większej ilości ciepła wiąże się z większymi kosztami (niezależnie od źródła ciepła). Zauważyć należy fakt, że budynki dobrze izolowane (przy tym również dobrze wentylowane), charakteryzujące się większą efektywnością energetyczną, potrzebują mniej ciepła dla uzyskania określonego komfortu termicznego, a za tym stosunkowo mniejszych kosztów na ogrzewanie. Ci, którzy mieli wątpliwości odnośnie podstawowych celów transformacji energetycznej mogli się przekonać bezpośrednio lub zaznajamiając się z przypadkami innych, że filary przyszłego polskiego systemu energetycznego nie są abstrakcyjne. Niestety, są również w tej kwestii niemądre wnioski, że jednak polski system energetyczny powinien być oparty dalej na paliwach kopalnych. Właściwym wnioskiem, w ujęciu całościowym przyszłych systemów energetycznych, jest przyspieszenie poszukiwań źródeł ciepła opartych najlepiej na odnawialnych źródłach energii, może z udziałem innych, ale bezemisyjnych źródeł, które będą akceptowalne ekonomicznie.

Ostatni wątek to skutki ataku, tym razem Izraela i USA na Iran. Cele ataku nie są jasne w ogóle, ale dla Polski są na pewno niezwykle odległe (w przeciwieństwie do wojny w Ukrainie). Jednak

skutki wojny na Bliskim Wschodzie dla Polski są niezwykle dotkliwie, choćby z powodu wzrostu cen paliw (benzyna, olej napędowy). Dla polskiego społeczeństwa są to realne problemy powodujące wzrost cen innych towarów i usług. Jest to kolejny, jaskrawy i odczuwalny przykład uzależnienia się od importowanych paliw kopalnych, tym razem w zakresie paliw na potrzeby transportu. Jest to przykład zdecydowanie wzmacniający uzasadnienie trafności podstawowych celów transformacji energetycznej.

**Konkluzja: należy przyspieszyć działania mające na celu opracowanie nowych, akceptowalnych ekonomicznie rozwiązań technicznych (przełomowy charakter transformacji energetycznej) dla wszystkich sektorów energetyki, w tym dla ciepłownictwa i transportu bez konieczności wykorzystywania paliw kopalnych (węgiel kamienny i brunatny, ropa i gaz ziemny).**

Od kilku lat wiadomo co trzeba robić w Polsce, aby proces transformacji polskiego systemu energetycznego mógł zakończyć się sukcesem, ale problemem jest to, że nie ma kto się tym zająć na poważnie z długoterminowym horyzontem postulowanego rozwiązania. Polska nadal nie ma przemyślanej strategii procesu transformacji polskiego systemu energetycznego w ujęciu kompleksowym (ciągłe prace nad Krajowym Planem w dziedzinie Energii i Klimatu, nieaktualna Polityka Energetyczna Polski do roku 2040).

## Literatura

- [1] Cieślak S., Funkcjonalność stacji elektroenergetycznych w dystrybucji energii elektrycznej w nowym polskim systemie elektroenergetycznym przy braku paliw kopalnych. Wiadomości Elektrotechniczne, nr 4, s. 3-10, 2020
- [2] Cieślak S., Rola operatora systemu dystrybucyjnego na nowej scenie polskiej elektroenergetyki. Informacje o Normach i Przepisach Elektrycznych, Nr 264 (Rok XXVII), s. 35-58, wrzesień 2021
- [3] Cieślak S., System inteligentnego opomiarowania a liczniki zdalnego odczytu w świetle uregulowań europejskich. Materiały XXIV Sympozjum „Współczesne urządzenia oraz usługi elektroenergetyczne, telekomunikacyjne i informatyczne”, Poznań, s. 29-35, 24-25 listopada 2021
- [4] Cieślak S. (red. nauk.), Raport otwarcia IV Kongresu Elektryki Polskiej, Energetyka Jutra – Bezpieczeństwo Pokoleń. Centralny Ośrodek Szkolenia I Wydawnictwo Stowarzyszenia Elektryków Polskich, Warszawa, 2024
- [5] Żakowski J., Władza i wiedza. Dlaczego rządzący nie słuchają ekspertów. Gazeta Wyborcza, 23 sierpnia 2024
- [6] Wojciechowski M., Drogi do sprawnego państwa. Rzeczpospolita, 25 lipca 2024 roku
- [7] Kucharska A., Transformacja energetyczna. Wyzwania dla Polski wobec doświadczeń krajów Europy Zachodniej. Wydawnictwo Naukowe PWN SA, Warszawa, 2021
- [8] Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego, Komitetu Regionów i Europejskiego Banku Inwestycyjnego: Strategia ramowa na rzecz stabilnej unii energetycznej opartej na przyszłościowej polityce w dziedzinie klimatu. Bruksela, 25 lutego 2015 roku, COM(2015) 80
- [9] Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiej, Rady, Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów: Europejski Zielony Ład. Bruksela, 11 grudnia 2019 roku, COM(2019) 640
- [10] Cieślak S. (red. nauk.), Raport końcowy IV Kongresu Elektryki Polskiej, Energetyka Jutra – Bezpieczeństwo Pokoleń. Centralny Ośrodek Szkolenia I Wydawnictwo Stowarzyszenia Elektryków Polskich, Warszawa, 2024
- [11] Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiej, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów: Plan REPowerEU. Bruksela, 18 maja 2022 roku, COM(2022) 230
- [12] ENSO-E, Grid Incident in Spain and Portugal on 28 April 2025, ICS Investigation Expert Panel Final Report, 20 March 2026





## **Analiza zdarzeń kolejowych w latach 2023-2025 na podstawie Raportów PKBWK.**

Karol Trzoński  
były Przewodniczący PKBWK  
Pełnomocnik Zarządu SITK Katowice





**Karol Trzoński – były Zastępca Przewodniczącego PKBWK  
Pełnomocnik Zarządu SITK Katowice**

**Konferencja Naukowo-Techniczna  
Nowoczesne Technologie w Realizacji Projektów Inwestycyjnych  
w Transporcie Kolejowym**

**Jurata 22 – 24 kwietnia 2026 r.**

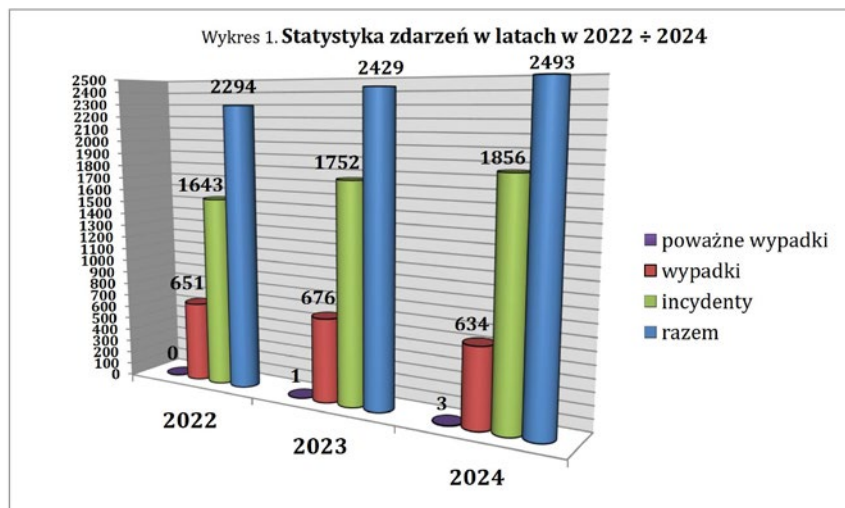
**Analiza zdarzeń Wypadków Kolejowych w Polsce**

**Lata 2024/2025**

Rodzaj zdarzenia (PW - poważny wypadek, W - wypadek, I - incydent)	2023	2024	Zmiana 2024/2023
PW (kat. A)	1*)	3	+200%
W (kat. B)	676*)	634	-6,2%
I (kat. C)	1752	1856	+5,9%
Łączna liczba zdarzeń kolejowych	2429	2493	+2,6%

Zdarzenia zgłoszone PKBWK w 2024 r. w stosunku do roku 2023.

3



Źródło: Raport Roczny PKBWK za rok 2024

4

Poszkodowani*)	2023	2024	Zmiana 2024/2023
Zabici	160**)	167**)	+4,4%
Ciężko ranni	64**)	51**)	-20,3%
Ranni	106**)	111**)	+4,7%

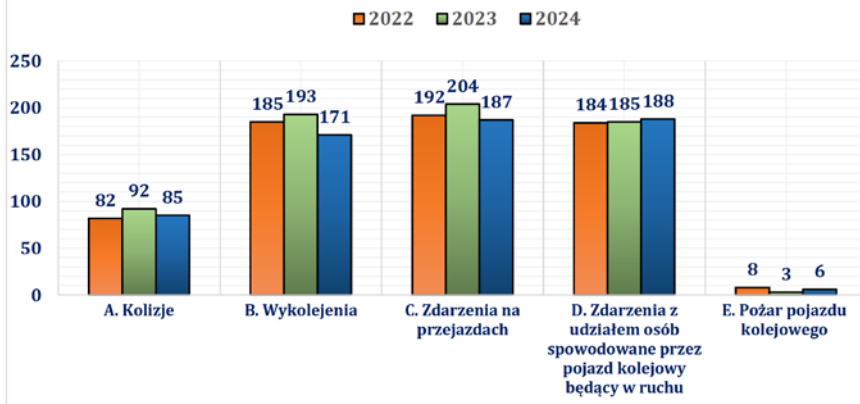
Poszkodowani w zdarzeniach w 2024 r. w stosunku do roku 2023.

5



6

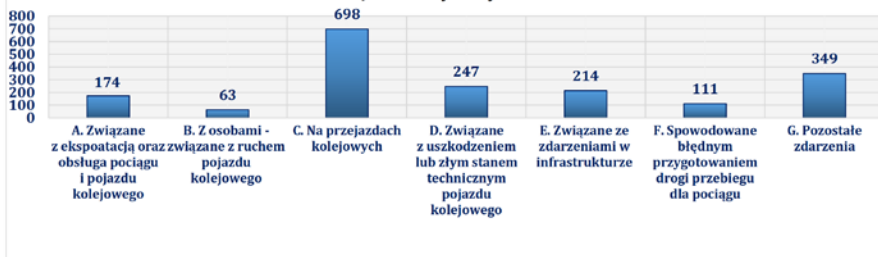
Wykres 4. Poważne wypadki i wypadki zaistniałe w latach 2022 ÷ 2024



Źródło: Raport Roczny PKBWK za rok 2024

7

Wykres 5. Incydenty w 2024



Wykres 6. Wykres porównawczy incydentów zaistniałych w latach 2022 ÷ 2024



Źródło: Raport Roczny PKBWK za rok 2024

8

**Poważny wypadek kolejowy  
zaistniały 05 maja 2025 r. o godz. 08:40  
w stacji Aleksandrów Kujawski,  
w torze 101, przejazd kolejowy kategorii A w km 90,472  
linii kolejowej nr 18 Kutno – Piła Główna**

**RAPORT Nr PKBWK 08/2025**

9

**Czynniki przyczynowe:**

1. Podniesienie drągów rogatekowych przez pracownika, który je obsługiwał, w czasie, gdy do stacji Aleksandrów Kujawski odbywał się wjazd pociągu pasażerskiego ROJ 55575.
2. Wjazd samochodu dostawczego na przejazd kolejowy kat. A, przy załączonej sygnalizacji świetlnej zabraniającej wjazdu za sygnalizator drogowy S2.

**Czynniki przyczyniające się:**

1. Po zakończonych manewrach w rejonie przejazdu kolejowego, pracownik obsługi tego przejazdu, przystąpił do otwierania drągów rogatekowych, pomimo wcześniejszego przyjęcia powiadomienia i dokonaniu zapisów w książce przebiegów (R-142) o wjeździe pociągu ROJ 55575.
2. Włączenie się kierującego samochodem dostawczym do ruchu w lewo w kierunku przejazdu kolejowego przejeżdżając przez linię P4, zakazującej takiej jazdy.
3. Niezachowanie szczególnej ostrożności przez kierującego samochodem dostawczym przy wjeździe i w czasie jazdy przez przejazd kolejowy.
4. Niewłaściwa organizacja stanowiska pracy dla osób obsługujących przejazd kolejowy, uniemożliwiająca prawidłową obserwację pociągów i jazd manewrowych prowadzonych z kierunku stacji Nieszawa Waganiec.
5. Na drodze dojazdowej do drogi publicznej brak oznakowania skrzyżowania i zakazu wjazdu w kierunku przejazdu kolejowego.

10

**Czynnik systemowy:**

Nie podjęcie przez zarządcę infrastruktury, tj. spółkę PKP PLK S.A. właściwych działań wskazanych w zaleceniu pkt 3a Raportu Nr PKBWK/01/2017, pomimo zidentyfikowania zagrożenia wystąpienia wypadku na przejeździe w związku z brakiem powiązania pól samoczynnego systemu zabezpieczenia ruchu na przejeździe kolejowym z systemem stacyjnym oraz ujęcia tego zagrożenia w Rejestrze zagrożeń (pkt 5.11.31).

11

**Aleksandrów Kujawski**



12

## Aleksandrów Kujawski



13

## Aleksandrów Kujawski



14



15

**Poważny wypadek kolejowy  
zaistniały 10 stycznia 2024 r. o godz. 07:58  
na szlaku Rogoźno Wielkopolskie - Budzyń,  
w torze nr 1, km 56,055 linii kolejowej nr 354 Poznań Główny  
POD – Piła Główna,  
przejazd kolejowo-drogowy kategorii D**

**RAPORT Nr PKBWK 01/2025**

16

## Budzyń

### **Czynnik przyczynowy:**

Wjazd samochodu ciężarowego na przejazd kolejowy bezpośrednio przed nadjeżdżającym pociągiem.

### **Czynniki przyczyniające się:**

- 1) Wjazd na przejazd kolejowy pojazdu drogowego bez zatrzymania do czego zobowiązuje znak B-20 „STOP”.
- 2) Ostry kąt skrzyżowania drogi z linią kolejową utrudniający kierującemu pojazdem drogowym obserwację czoła zbliżającego się pociągu.
- 3) Niezachowanie szczególnej ostrożności przez kierującego pojazdem drogowym w czasie zbliżania się, wjazdu i przejazdu przez przejazd kolejowy, z równoczesnym prowadzeniem przez niego rozmowy telefonicznej.

17

## Budzyń

### **Czynnik systemowy:**

Niewystarczający opis sposobu przeprowadzania pomiarów widoczności czoła pociągów zawarty w Punkcie 4, część B Załącznika nr 3, rozporządzenia Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 20 października 2015 roku w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać skrzyżowania linii kolejowych oraz bocznic kolejowych z drogami i ich usytuowanie (Dz.U. 2015 poz.1744 z późn. zm.). Określenie tylko parametru wysokości punktu obserwacyjnego nie opisuje kompleksowo warunków, w jakich znajdują się użytkownicy drogi, w tym nie uwzględnia ograniczeń widoczności dla kierujących pojazdami drogowymi przez szyby przednie i boczne.

18

## Budzyń



19

## Budzyń



20



21

**Poważny wypadek kolejowy  
zaistniały 01 lipca 2024 r. o godz. 09:19 na szlaku Ożarów  
Mazowiecki - Błonie,  
w torze nr 2, przejazd kolejowy kategorii B w km 17,211  
linii kolejowej nr 3 Warszawa Zachodnia – Kunowice**

**RAPORT Nr PKBWK 05/2025**

22

## Ołtarzew

### **Czynniki przyczynowe:**

1. Wjazd na przejazd kolejowy kat. B i pozostanie samochodu ciężarowego w strefie przejazdu na torze nr 1 i 2, w wyniku nieprzewidzianego zatrzymania się pojazdów jadących przed nim, co skutkowało brakiem możliwości zjazdu z przejazdu i doprowadziło do najechania pociągu osobowego jadącego torem nr 2 na nacpepę tego samochodu.
2. Wjazd samochodu ciężarowego na przejazd mimo, że po drugiej stronie przejazdu nie było miejsca do kontynuowania jazdy (art. 28 ust. 3 pkt 2 ustawy prawo o ruchu drogowym).

### **Czynniki przyczyniające się:**

1. Niezachowanie przez kierowcę samochodu ciężarowego szczególnej ostrożności przy zbliżaniu się i przekraczaniu przejazdu.
2. Zatrzymanie i zator pojazdów drogowych przed samochodem ciężarowym na drodze wojewódzkiej nr DW718, uniemożliwiające opuszczenie strefy przejazdu przez samochód ciężarowy w momencie zdarzenia.

23

## Ołtarzew

### **Czynniki przyczyniające się:**

3. Niewłaściwa organizacja ruchu pojazdów w rejonie przejazdu powodująca powstawanie zatorów pojazdów drogowych na przejeździe i w jego rejonie, a w szczególności zbyt krótki cykl świateł na skrzyżowaniu drogi wojewódzkiej nr DW718 i drogi krajowej nr DK92 zlokalizowanym w odległości ok. 330 m od przejazdu.
4. Nieskuteczne działania kontrolne na przejeździe, nie ujawniające cyklicznie występujących zatorów ruchu na przejeździe i zagrożeń spowodowanych niewłaściwą organizacją ruchu.
5. Bardzo duże natężenie ruchu pojazdów drogowych na drodze wojewódzkiej DW718 stanowiącej skrzyżowanie w jednym poziomie z linią kolejową, generowane przez pobliski zjazd z autostrady A2.

24

## Ołtarzew

### Czynniki systemowe:

1. Mimo podjętych środków zapobiegawczych przez zarządcę infrastruktury kolejowej i zarządcę drogi wojewódzkiej w związku z zaistniałymi wcześniejszymi zdarzeniami kolejowymi na tym przejeździe (wypadki, incydenty), nie uzyskano zapewnienia bezpieczeństwa na przejeździe.
2. Nie zrealizowanie postanowień Porozumienia nr 25/MZDW/2018 zawartego w dniu 22.05.2018 r. pomiędzy Gminą Ożarów Mazowiecki a Województwem Mazowieckim i PKP PLK S.A. w sprawie budowy bezkolizyjnych skrzyżowań, w tym skrzyżowania wielopoziomowego zastępującego przejazd kolejowy w km 17,211 linii kolejowej nr 3.

25

## Ołtarzew



26

## Ołtarzew



27

## Ołtarzew



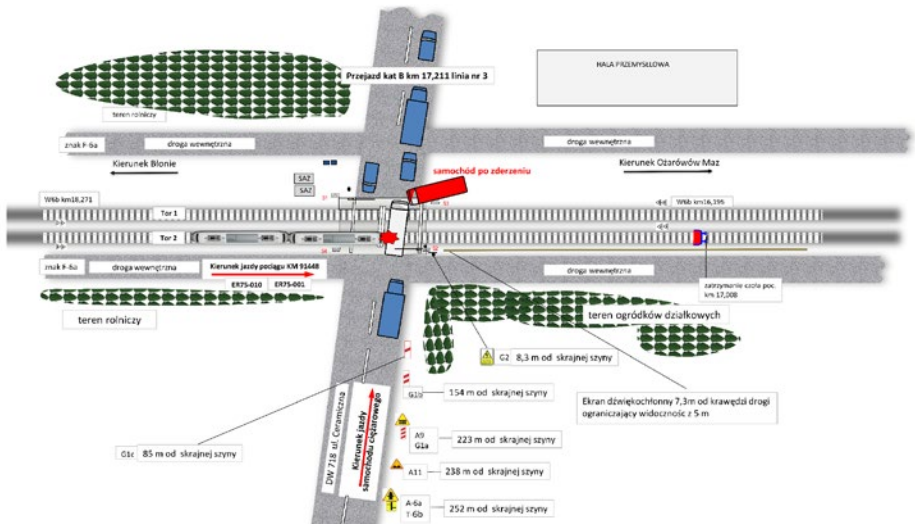
28

## Oftarzew



29

## Oftarzew



30



31

**Wypadek kolejowy  
zaistniały 03 listopada 2024 r. o godz. 16:30  
na szlaku Spychowo - Pisz,  
w torze nr 1, przejazd kolejowy kategorii D w km 76,274  
linii kolejowej nr 219 Olsztyn Główny – Ełk  
obszar zarządcy infrastruktury kolejowej PKP PLK S.A.  
Zakład Linii Kolejowych w Olsztynie**

**RAPORT Nr PKBWK 06/2025**

32

## Karwica Mazurska

### **Czynnik przyczynowy:**

Wjazd samochodu osobowego na przejazd kolejowy kat. D, bezpośrednio przed nadjeżdżającym pociągiem pasażerskim MPS 15102

### **Czynniki przyczyniające się:**

1. Niezatrzymanie pojazdu drogowego przed przejazdem kolejowym w związku ze znakiem B-20 „stop”.
2. Niezachowanie szczególnej ostrożności przez kierującego pojazdem drogowym przy zbliżaniu się do przejazdu kolejowego i przejeżdżaniu przez ten przejazd.

33

## Karwica Mazurska



## Karwica Mazurska



35

**Poważny wypadek kolejowy zaistniały 26 listopada 2024 r. o godz. 12:30 na szlaku Sochaczew – Bednary, w torze nr 1, km 61,941 linii kolejowej nr 3 Warszawa Zachodnia - Kunowice, przejazd kolejowo-drogowy kategorii B obszar zarządcy infrastruktury PKP PLK S.A. Zakład Linii Kolejowych w Warszawie**

**RAPORT Nr PKBWK 07/2025**

36

## Sochaczew - Bednary

### **Czynnik przyczynowy:**

Wjazd pojazdu drogowego na przejazd kolejowy w trakcie zamykania półrogatek i nadawania przez sygnalizatory drogowe sygnału zabraniającego wjazdu za ten sygnalizator i zaprzestanie zjazdu z tego przejazdu.

### **Czynniki przyczyniające się:**

- 1) Zatrzymanie i pozostawienie pojazdu drogowego na przejeździe w skrajni toru nr 1. 2) Niezachowanie szczególnej ostrożności kierującego pojazdem drogowym przy przekraczaniu przejazdu.
- 2) Wystąpienie nagłej reakcji stresowej kierowcy w wyniku zaistnienia nieoczekiwanej sytuacji krytycznej polegającej na zamknięciu samochodu ciężarowego w strefie przejazdu pomiędzy zamkniętymi rogatkami.
- 4) Niezrealizowanie w 100% Zalecenia nr 2 z Raportu Roczno PKBWK za rok 2018 o treści „Zarządcy infrastruktury wyeliminują rogatki wyjazdowe dla samoczynnych systemów przejazdowych na przejazdach kategorii B, w odniesieniu do rozwiązań z czterema półrogatekami, a w przypadku uzasadnionymi warunkami miejscowymi powiadomią zarządcę drogi o konieczności zabezpieczenia dojazdu do przejazdu kolejowo-drogowego kategorii B przed możliwością wjazdu pojazdu drogowego pasem umożliwiającym objazd zamkniętej rogatki, w szczególności przez zastosowanie pasów separujących lub separatorów. (...)”.

37

## Sochaczew - Bednary

### **Czynnik systemowy:**

Stosowany system tarcz ostrzegawczych przejazdowych (TOP) ustawionych przy torze przed przejazdami kolejowymi, nie informuje prowadzących pojazdy kolejowe o zajętości strefy przejazdu (długość przejazdu). Tak skonstruowany system nie zapewnia wymagań bezpieczeństwa.

38

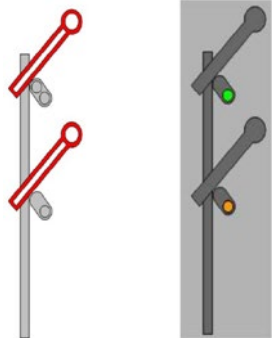


39



40

**Dziękuję za uwagę!**







**Projekt BRIK2/036/2022 "Energooszczędny System Elektrycznego Ogrzewania Rozjazdów z adaptacyjną dystrybucją mocy grzewczej".**

dr inż. hab. Andrzej Toruń  
Kierownik Zakładu Sterowania Ruchem i Teleinformatyki  
Instytut Kolejnictwa





Projekt BRIK2/036/2022

## Energooszczędny System Elektrycznego Ogrzewania Rozjazdów z adaptacyjną dystrybucją mocy grzewczej

**Andrzej Toruń, Lucyna Sokołowska**

Instytut Kolejnictwa  
04-275 Warszawa, ul Chłopickiego 50  
www.ikolej.pl ikolej@ikolej.pl

*XIII Konferencja naukowo-techniczna*

*„Nowoczesne Technologie W Realizacji Projektów Inwestycyjnych Transportu Kolejowego”*

*Jurata 22-24 kwietnia 2026.*



### **Nazwa projektu:**

Energooszczędny System Elektrycznego Ogrzewania Rozjazdów z adaptacyjną dystrybucją mocy grzewczej.

Projekt nr BRIK 2/036/2022 w ramach działania 4.1.1 Programu operacyjnego Inteligentny Rozwój pn. „Badania i Rozwój w Infrastrukturze Kolejowej” – konkurs II (projekt współfinansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju oraz PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.)

Projekt realizowany w okresie 01.12.2022 ÷ 31.03.2026



2

Projekt BRIK2/036/2022

### Cel projektu:

Celem projektu było opracowanie innowacyjnego, wysokosprawnego systemu elektrycznego ogrzewania rozjazdów kolejowych o zmniejszonym zapotrzebowaniu na moc zainstalowaną w miejscu przyłączenia do sieci dystrybucyjnej AC 0,4 kV i zmniejszonym zużyciu energii elektrycznej.

Celem głównym projektu jest osiągnięcie zadeklarowanych rezultatów, a w szczególności:

- zmniejszenie zużycia energii elektrycznej o min. 25% w stosunku do obecnie stosowanych rozwiązań.
- zmniejszenie mocy zainstalowanej o min 25%.

Potwierdzenie osiągnięcia celów badaniami na instalacji demonstracyjnej systemu ESAR, pracującej w warunkach rzeczywistych (stacja Międzyzlesie i Gdańsk Osowa).

### Fazy realizacji projektu:

W ramach projektu zrealizowano 11 zadań badawczych:

- (1) Analiza zapotrzebowania na moc cieplną elementów grzejnych rozjazdu kolejowego dla potrzeb jego eksploatacji w warunkach zimowych. (IK)
- (2) Opracowanie architektury systemu i modeli symulacyjnych podstawowych modułów systemu ESAR.(AREX)
- (3) Badanie termograficzne dystrybucji ciepła na rozjazdach kolejowych w obecnych systemach EOR. (PW)
- (4) Wykonanie modeli eksperymentalnych urządzeń systemu ESAR.(AREX)
- (5) Badanie laboratoryjne i terenowe zapotrzebowania na moc cieplną elementów grzejnych rozjazdu kolejowego dla potrzeb jego eksploatacji w warunkach zimowych.(IK)
- (6) Integracja elementów systemu ESAR. (AREX)





### Fazy realizacji projektu:

W ramach projektu zrealizowano 11 zadań badawczych:

- (7) Projekt systemu ESAR na reprezentatywnym obiekcie PKP PLK S.A. (AREX)
- (8) Badania wstępne elementów systemu ESAR i ocena bezpieczeństwa przed rozpoczęciem badań polygonowych, w tym zgodności z zasadniczymi wymaganiami PKP PLK S.A. (IK)
- (9) Zabudowa, uruchomienie i demonstrowanie Systemu ESAR (w warunkach operacyjnych).(AREX)
- (10) Badania terenowe dystrybucji mocy grzewczej elementów nowego systemu EOR na podstawie obrazu termowizyjnego rozjazdu kolejowego. (PW)
- (11) Badania polygonowe systemu ESAR i ocena efektywności energetycznej oraz proces uzyskania dopuszczenia. (IK)

### Efekty wybranych faz projektu

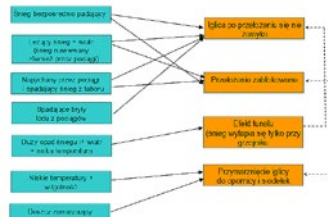
[Faza 1]

Analiza zapotrzebowania na moc ciepłą elementów grzejnych rozjazdu kolejowego dla potrzeb jego eksploatacji w warunkach zimowych.

Wykonano kalkulacje zapotrzebowania na moc ciepłą elementów grzejnych rozjazdu.



Fot. 1. Zawrotnica rozjazdu zwichrzynego. [opracowanie własne]

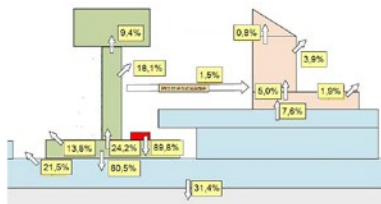


Rys. 1. Czynniki mogące zakłócić pracę rozjazdu w warunkach zimowych [w oparciu o Übersichtsstudie Energieeffiziente Weichenheizung, Federalny Urząd Transportu, Szwajcaria 2014r.]

[Faza 1]

Analiza zapotrzebowania na moc cieplną elementów grzejnych rozjazdu kolejowego dla potrzeb jego eksploatacji w warunkach zimowych.

Wykonano kalkulacje zapotrzebowania na moc cieplną elementów grzejnych rozjazdu.

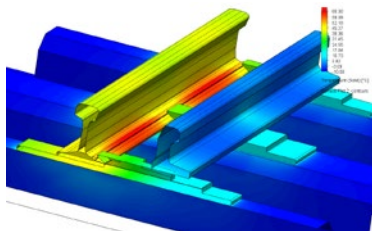


Rys.2. Przepływy ciepła od grzejnika o mocy 300 W/m, w temperaturze otoczenia  $-10^{\circ}\text{C}$ , bez wiatru i bez opadów. Strzałki proste oznaczają wymianę ciepła między elementami, strzałki ukośne oznaczają rozpraszanie ciepła. Źródło: Abschlussbericht HH 01/15 Europoint - Untersuchungen zur Erwärmung einer behetzten Weichenanlage - Technische Universität Dresden

[Faza 1]

Analiza zapotrzebowania na moc cieplną elementów grzejnych rozjazdu kolejowego dla potrzeb jego eksploatacji w warunkach zimowych.

Wykonano kalkulacje zapotrzebowania na moc cieplną elementów grzejnych rozjazdu.



Rys.3. Przedstawienie wykresu temperatury na powierzchni obiektów dla metody stykowej [opracowanie własne]



[Faza 3]

Badanie termograficzne dystrybucji ciepła na rozjazdach kolejowych w obecnych systemach EOR.



Bys. 6. Termogramy przedstawiające fragmenty układu torowego, na których widoczne grzałki torowe systemu elektrycznego ogrzewania rozjazdów, (prawy) stan zimny, (lewy) stan wygrzany dla rozjazdu Rz-60E1-190-1-9) [WTPW]

[Faza 5]

Badanie laboratoryjne i terenowe zapotrzebowania na moc cieplną elementów grzejnych rozjazdu kolejowego dla potrzeb jego eksploatacji w warunkach zimowych.

Wykonano badania terenowe elektrycznego ogrzewania rozjazdów wyposażonych w nakładki radiacyjne opracowane w ramach projektu a także badania laboratoryjne w komorze klimatycznej fragmentów rozjazdu wyposażonego w elektryczne ogrzewanie z nakładkami radiacyjnymi.

Wyniki terenowych badań wykazały, że dzięki zastosowaniu nakładek radiacyjnych możliwa jest redukcja mocy grzejników o 30% - 40%, w zależności od strefy rozjazdu.

Wyniki badań w komorze klimatycznej grzejników z nakładkami radiacyjnymi zabudowanymi na szynach ciężkich 60E1 wykazały, że zarówno w temperaturze -10°C jak i -20°C efektywność wytapiania jest znacznie wyższa przy zastosowaniu bezstykowych nakładek radiacyjnych w porównaniu do standardowych grzejników stykowych i przy jednoczesnym zmniejszeniu mocy o 30 ÷ 40%.

Wyniki stanowią podstawę do optymalizacji mocy zainstalowanej grzejników eor w systemie ESAR.

Optymalizację tę wykonano dla trzech podstawowych typów rozjazdów: 60E1 (UIC60)-300-1, 60E1 (UIC60)-500-1:12, 60E1 (UIC60)-1200-1:18,5.

[Faza 5]

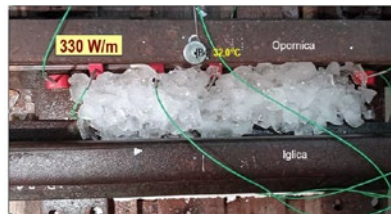
Badanie laboratoryjne i terenowe zapotrzebowania na moc cieplną elementów grzewczych rozjazdu kolejowego dla potrzeb jego eksploatacji w warunkach zimowych.



Fot.2. Stanowisko badawcze LA IK (komora klimatyczna typu Climats 6000 H60/10+4) [opracowanie własne].

[Faza 5]

Badanie laboratoryjne i terenowe zapotrzebowania na moc cieplną elementów grzewczych rozjazdu kolejowego dla potrzeb jego eksploatacji w warunkach zimowych.

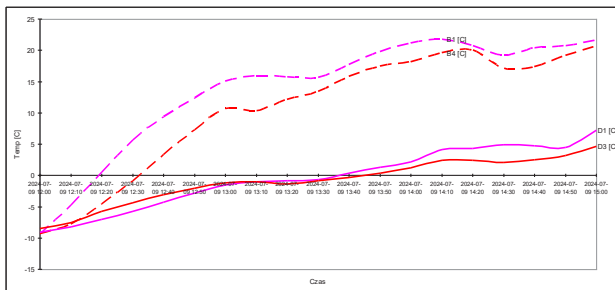


Fot.3. Stanowisko badawcze LA IK . Grzejnik 230 W/m z radiatorami bezstykowymi – stan po 240 minutach grzania [opracowanie własne].

Fot.4. Stanowisko badawcze LA IK . Grzejnik 330 W/m z radiatorami bezstykowymi – stan po 240 minutach grzania [opracowanie własne].

[Faza 5]

Badanie laboratoryjne i terenowe zapotrzebowania na moc ciepłą elementów grzejnych rozjazdu kolejowego dla potrzeb jego eksploatacji w warunkach zimowych.



Rys.7. Wykres nr 48. Krzywe nagrzewania opornicy, układ z grzejnikiem standardowym 330 W/m: B4 – główka opornicy, B1 – spód stopki opornicy, układ z grzejnikami z radiatorami, o mocy 165 W/m: D1 – główka opornicy, D3 stopka opornicy. Temperatura narażania -10°C. [opracowanie własne]

[Faza 8]

Badania wstępne elementów systemu ESAR i ocena bezpieczeństwa przed rozpoczęciem badań poligonowych, w tym zgodności z zasadniczymi wymaganiami PKP PLK S.A..



Fot.5. Stanowisko badawcze LA IK. Urządzenia ESAR w komorze bezodbiwojowej testy EMC [opracowanie własne].

[Faza 11]

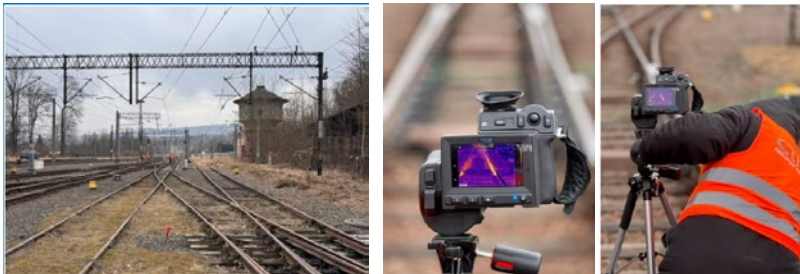
Badania poligonowe systemu ESAR i ocena efektywności energetycznej oraz proces uzyskania dopuszczenia.



Fot. 6. Poligon Gdańsk Osowa [opracowanie własne].

[Faza 11]

Badania poligonowe systemu ESAR i ocena efektywności energetycznej oraz proces uzyskania dopuszczenia.



Fot. 7. Poligon Międzyzlesie [opracowanie własne].

[Faza 11]

Badania polygonowe systemu ESAR i ocena efektywności energetycznej oraz proces uzyskania dopuszczenia.



Fot. 8. Polygon Gdańsk Osowa – Porównanie wytapiania śniegu przez rozjazd nr 11-ESAR z nakładkami radiacyjnymi, z mocą grzejników zredukowaną do 70% (230W/m) i rozjazd 12 (referencyjny) z pełną mocą grzejników (330W/m). Stan po 120 minutach grzania, Gdańsk Osowa, 15-01-2025r. [opracowanie własne].

[Faza 11]

Badania polygonowe systemu ESAR i ocena efektywności energetycznej oraz proces uzyskania dopuszczenia.

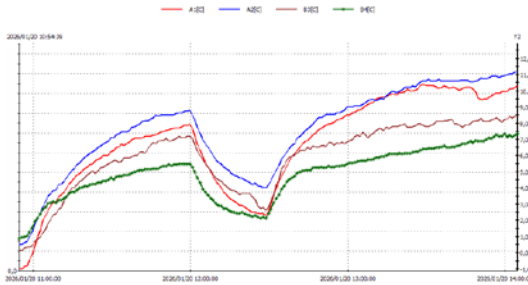


Fot. 9. Polygon Międzyzlesie – Rozjazd nr 38 z radiatorami, strefa B, stan po 15 minutach grzania [opracowanie własne].

Fot. 10. Polygon Międzyzlesie – Rozjazd nr 39 referencyjny, strefa B, stan po 15 minutach grzania [opracowanie własne].

[Faza 11]

Badania polygonowe systemu ESAR i ocena efektywności energetycznej oraz proces uzyskania dopuszczenia.



Rys.8. WYKRES 31.

Stodółka strefy A (moc -20%): A1, A2 (bez śniegu), B3  
 Stodółka strefy B (moc -40%): B4 Rozjazd zaśnieżony  
 ok. 7 cm nad stodółkami, [opracowanie własne]

1. Badania eksploatacyjne systemu ESAR w konfiguracji ZT1 z blokiem regulacji mocy BR-01 na stacji Gdańsk Osowa, wykonane w ramach Zadania 11 projektu BRIK2/036/2022, potwierdziły prawidłowość i niezawodność jego działania w warunkach eksploatacyjnych.
2. System ESAR-ZT prawidłowo realizował założone w projekcie funkcje, w szczególności indywidualne sterowanie mocą grzejników w poszczególnych strefach rozjazdu z uwzględnieniem położenia rozjazdu w pozycji +/-.
3. Badania eksploatacyjne i uzupełniające wykonane w sezonach zimowych 2024/25 i 2025/26 potwierdziły, że system ESAR-ZT z rozjazdami wyposażonymi w nakładki radiacyjne umożliwia zwiększenie efektywności wytapiania śniegu i lodu w porównaniu z obecnie stosowanymi systemami eor.
4. Badania potwierdziły, że system ESAR-ZT z rozjazdami wyposażonymi w nakładki radiacyjne umożliwia redukcję mocy przyłączeniowej oraz mocy zużytej o minimum 25%.

**Kamień milowy projektu BRIK2/036/2022 został osiągnięty.**



Projekt BRIK2/036/2022

## Energooszczędny System Elektrycznego Ogrzewania Rozjazdów z adaptacyjną dystrybucją mocy grzewczej

# Dziękuję za uwagę

dr hab. inż. Andrzej Toruń – profesor IK  
dr hab. inż. Lucyna Sokolowska  
Instytut Kolejnictwa, Zakład Sterowania Ruchem  
i Teleinformatyki

*XIII Konferencja naukowo-techniczna*

*„Nowoczesne Technologie W Realizacji Projektów Inwestycyjnych Transportu Kolejowego”*

*Jurata 22-24 kwietnia 2026.*



**Nowoczesna technologia automatycznego nanoszenia  
środków przeciw obładzaniu sieci trakcyjnej.**

Arkadiusz Błoch  
Prezes Zarządu  
ART In Energy Sp. z o.o.



# Nowoczesne podejście do walki z oblodzeniem

- ▶ Automatykacja zabezpieczenia przed oblodzeniem – system MZS w działaniu



## Obladzanie - Wyzwanie współczesnej kolei

Obladzanie sieci trakcyjnej stanowi jedno z kluczowych wyzwań w utrzymaniu infrastruktury kolejowej. Osadzanie się lodu i szronu na przewodach jezdnych powoduje szereg negatywnych konsekwencji, w tym pogorszenia jakości styku z pantografem, co skutkuje powstawaniem łuku elektrycznego, przyspieszone zużycie elementów infrastruktury, a także ryzyko uszkodzeń pantografu, jak i przewodów jezdnych. W efekcie dochodzi do zakłóceń i opóźnień w ruchu kolejowym, co wpływa na niezawodność transportu oraz bezpieczeństwo eksploatacji. Zjawisko to występuje szczególnie w warunkach marznącego deszczu, wysokiej wilgotności oraz gwałtownych zmian temperatur. W praktyce oznacza to konieczność podejmowania szybkich i skutecznych działań prewencyjnych.



## Ograniczenia tradycyjnych metod zabezpieczania

Tradycyjne metody zabezpieczania sieci trakcyjnej opierają się głównie na ręcznym nanoszeniu preparatów ochronnych. Proces ten jest istotnie czasochłonny, przede wszystkim ze względu na konieczność uprzedniego wyłączenia napięcia w sieci trakcyjnej oraz odpowiedniego przygotowania miejsca pracy, zgodnie z wymaganiami bezpieczeństwa. Każdorazowo wiąże się to z organizacją zamknięć torowych lub ograniczeń w ruchu.

Realizacja takich prac wymaga zaangażowania pociągu sieciowego wraz z pełną obsługą, co przekłada się na konieczność wykorzystania znacznych zasobów ludzkich i sprzętowych. Dodatkowo, ze względu na ograniczoną precyzję aplikacji, metody te charakteryzują się relatywnie wysokim zużyciem środków chemicznych, co bezpośrednio wpływa na wzrost kosztów operacyjnych.

W efekcie tradycyjne podejście cechuje się ograniczoną efektywnością, zarówno pod względem skali możliwych do wykonania prac, jak i ich ekonomiki, co w warunkach rosnących wymagań eksploatacyjnych stanowi istotne ograniczenie.

## Nowoczesne rozwiązanie – Kluczowe zalety technologii MZS-01

W odpowiedzi na rosnące wymagania rynku opracowano system MZS-01 – nowoczesne, wysoko zaawansowane urządzenie do automatycznego nanoszenia środków zabezpieczających przed oblodzeniem sieci trakcyjnej. Kluczowym elementem rozwiązania jest technologia precyzyjnej detekcji położenia przewodu jezdneho, która umożliwia dynamiczne i optymalne sterowanie procesem aplikacji preparatu w czasie rzeczywistym. Dzięki temu środek nanoszony jest wyłącznie w wymaganym obszarze, z wysoką dokładnością i powtarzalnością, co przekłada się na maksymalizację skuteczności przy jednoczesnym ograniczeniu zużycia do poziomu 2-2,5 litra na torokilometr.



Istotną przewagą technologii MZS-01 jest możliwość prowadzenia prac przy załączonym napięciu w sieci trakcyjnej. Eliminuje to konieczność wyłączeń oraz ograniczeń w ruchu kolejowym, co stanowi przełom w organizacji tego typu prac utrzymaniowych. Dodatkowo system umożliwia realizację zabezpieczeń z prędkością do 40 km/h, co w praktyce pozwala na wielokrotne zwiększenie liczby kilometrów sieci trakcyjnej zabezpieczanej w jednostce czasu.

Pełna automatyzacja procesu sprawia, że obsługa urządzenia ogranicza się do jednego operatora, co znacząco redukuje zapotrzebowanie na zasoby ludzkie i obniża koszty operacyjne. W rezultacie MZS-01 stanowi rozwiązanie nie tylko technologicznie zaawansowane, ale przede wszystkim wysoce efektywne, skalowalne i ekonomicznie uzasadnione w nowoczesnym utrzymaniu infrastruktury kolejowej.

### **Mobilność i autonomia**

Urządzenie posiada konstrukcję kontenerową, co umożliwia jego łatwy transport pomiędzy lokalizacjami oraz instalację na różnych typach pojazdów kolejowych i dwudrogowych. System jest w pełni autonomiczny – wyposażony we własne źródło zasilania, co eliminuje konieczność korzystania z infrastruktury zewnętrznej.

### **Dane techniczne**

Zbiorniki: 2 × 300 L

Masa: ok. 4500 kg

Zakres temperatur pracy: -25°C do +40°C

Wysokość przewodu jezdnego: 4900–6200 mm

Prędkość robocza: do 40 km/h

### **Podsumowanie**

Zastosowanie technologii MZS-01 pozwala na znaczące zwiększenie niezawodności infrastruktury kolejowej, ograniczenie kosztów utrzymania oraz poprawę bezpieczeństwa eksploatacji. Kluczową przewagą rozwiązania jest jego wysoka wydajność – możliwość zabezpieczenia nawet do kilkuset kilometrów sieci trakcyjnej w krótkim czasie, przy zachowaniu niskiego zużycia środka roboczego.

Przełomowym etapem rozwoju technologii było uzyskanie dopuszczenia od PKP PLK do prowadzenia prac na sieci trakcyjnej pozostającej pod napięciem. Umożliwiło to całkowitą eliminację konieczności wyłączania infrastruktury z eksploatacji, co w praktyce oznacza brak wpływu na ciągłość ruchu. Nastąpił skokowy wzrost efektywności operacyjnej – zarówno w ujęciu dobowym, jak i sezonowym. Pozwoliło to na znaczące zwiększenie liczby kilometrów zabezpieczanej sieci, przy jednoczesnym ograniczeniu zasobów ludzkich i czasu realizacji prac.

W rezultacie MZS-01 wpisuje się w kluczowe kierunki automatyzacji i modernizacji sektora kolejowego, stanowiąc rozwiązanie nie tylko efektywne technologicznie, ale również realnie zwiększające skalę i tempo zabezpieczania infrastruktury w warunkach operacyjnych.

# Nowoczesne podejście do walki z oblodzeniem

- ▶ system MZS w działaniu



**CENTRUM B+R**

## Zjawisko obladzania

- ▶ Marznący deszcz
- ▶ Wysoka wilgotność
- ▶ Zmiany temperatur



## Skutki oblodzenia

- ▶ Brak styku pantografu z przewodem
- ▶ Łuk elektryczny
- ▶ Uszkodzenia pantografu i sieci
- ▶ Obciążenie służb utrzymania
- ▶ Ryzyko zakłóceń ruchu



## Tradycyjne metody zabezpieczania

- ▶ Ręczne nanoszenie
- ▶ Niska wydajność (~5 km/h)
- ▶ Duże zużycie środka
- ▶ Konieczność wyłączeń napięcia

## Potrzeba zmian

- ▶ Automatyzacja
- ▶ Większa efektywność
- ▶ Redukcja kosztów
- ▶ Poprawa bezpieczeństwa pasażerów



## MZS-01 - rozwiązanie

- ▶ Automatyzacja procesu
- ▶ Precyzyjny natrysk
- ▶ Optymalizacja zużycia
- ▶ Nanoszenie pod napięciem

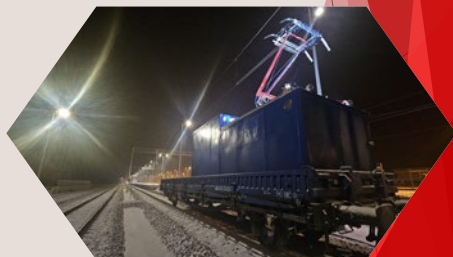


## Przewagi technologii MZS

- ▶ Prędkość do 40 km/h
- ▶ Ilość zabezpieczonej sieci na 1 tankowanie 300 tkm
- ▶ Zużycie preparatu 2-2,5 l/tkm
- ▶ Obsługa przez 1 operatora

## Mobilność i autonomia

- ▶ Konstrukcja kontenerowa
- ▶ Własne zasilanie
- ▶ Elastyczny montaż



# Podsumowanie

## Główne przewagi technologii MZS

- ▶ Dopuszczenie urządzenia PKP PLK do pracy pod napięciem
- ▶ Pełna automatyzacja
- ▶ Znaczny wzrost liczby zabezpieczonej sieci

Infrastruktura	Sezon zimowy 2025/2026		Sezon zimowy 2024/2025	
	Ilość zabezpieczonych tkm	Czas operacji [godz.]	Ilość zabezpieczonych tkm	Czas operacji [godz.]
Kolejowa	5 158	173	264	12
Tramwajowa	943			





## **Przydatność metody udarowej w ocenie uziemień obiektów z ochroną odgromową.**

dr inż. Stanisław Wojtas  
Politechnika Gdańska

dr hab. inż. Marek Olesz  
Politechnika Gdańska



# ***Przydatność metody udarowej w ocenie uziemień obiektów z ochroną odgromową***

Stanisław Wojtas, Marek Olesz



**POLITECHNIKA  
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI  
I AUTOMATYKI

## **Główne zagadnienia omawiane w prezentacji**

1. Parametry uziemienia: rezystancja oraz umowna impedancja uziemienia,
2. Udarowe mierniki uziemień – idea pomysłu
3. Pojęcie długości efektywnej uziomu,
4. Długość efektywna uziomu dla gruntów o różnych wartościach rezystywności,
5. Wpływ długości efektywnej uziomu na skuteczność ochrony odgromowej,
6. Możliwość testu przydatności systemu uziemień do odprowadzania prądu piorunowego,
7. Przydatność metody w ocenie rozległego systemu uziemień zwłaszcza o skomplikowanym układzie połączeń z utrudnionym zabiegiem rozłączenia poszczególnych jego elementów.



**POLITECHNIKA  
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI  
I AUTOMATYKI

## Definicje:

PN-EN 62305 dotycząca ochrony odgromowej wprowadza pojęcie „**umownej impedancji uziemienia**” jako „*stosunek wartości szczytowej napięcia na uziemiu do wartości przepływającego w nim prądu, które na ogół nie występują jednocześnie*”

PN-89/E-05003/03 - **rezystancja udarowa**: „*rezystancja między uziomem a ziemią odniesienia mierzona przy prądzie udarowym o kształcie odwzorowującym prąd pioruna*”

„*urządzenie pomiarowe umożliwiające pomiar rezystancji tylko tej części uziemienia, która bierze udział w odprowadzaniu prądu pioruna*”

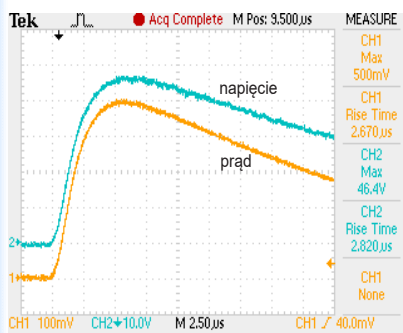


**POLITECHNIKA  
GDAŃSKA**

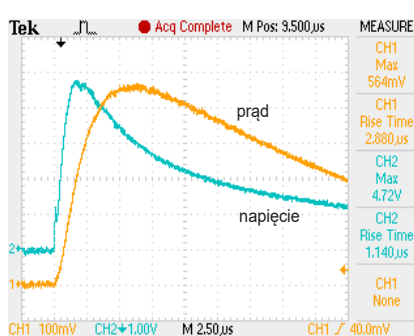
WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI  
I AUTOMATYKI

## Przebiegi prądu i napięcia dla udarów prądowych:

uziom skupiony



uziom rozległy



Definicja impedancji w dziedzinie czasu:

$$Z_u = \frac{U_{\max}}{I_{\max}}$$

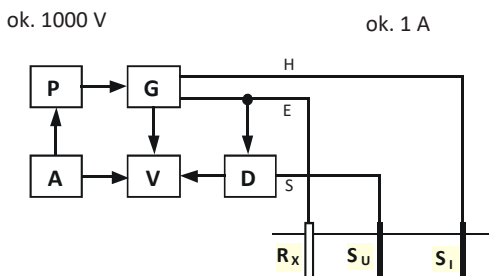


**POLITECHNIKA  
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI  
I AUTOMATYKI

## Metoda udarowa

Metoda udarowa przeznaczona jest do wyznaczania rezystancji udarowej charakteryzującej uziemienia odgromowe i nie nadaje się do kontroli uziemień ochronnych i roboczych (czyli uziemień pracujących przy częstotliwości sieciowej).



$$Z_m = \frac{U_{\max}}{I_{\max}}$$



**POLITECHNIKA  
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI  
I AUTOMATYKI

## Historia pomiarów udarowych uziemień

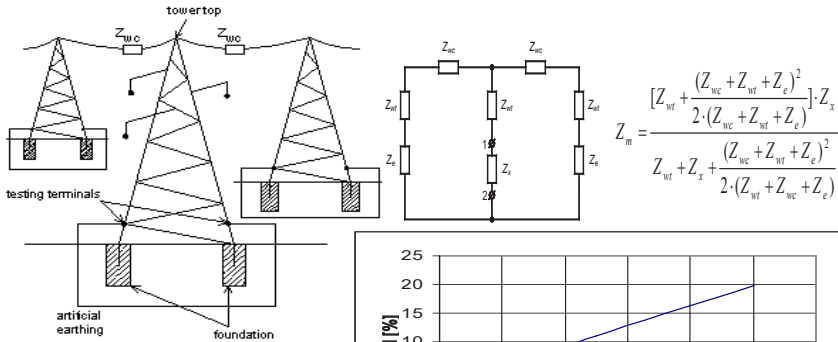
- pomysł włoski z połowy XX wieku inspirowany perspektywą pomiarów uziemień słupów linii WN bez wyłączenia napięcia
- jednak w ówczesnym stanie techniki trudny do realizacji w warunkach terenowych: generator w układzie lampowym, konieczność rejestracji z użyciem oscyloskopu,
- postęp w momencie pojawienia się tranzystorów WN oraz mikroprocesorów do rejestracji napięcia i prądu udarowego oraz procesu dzielenia,
- w ostatniej dekadzie XX wieku udarowe mierniki uziemień opracowane według nowej technologii pojawiły się na rynku



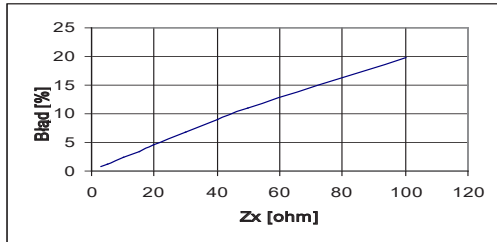
**POLITECHNIKA  
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI  
I AUTOMATYKI

## Pomiary uziemień słupów linii WN metodą uderową



Dla przebiegów uderowych impedancja falowa  $Z_{wc}$  w układzie przewód – ziemia wynosi 500  $\Omega$

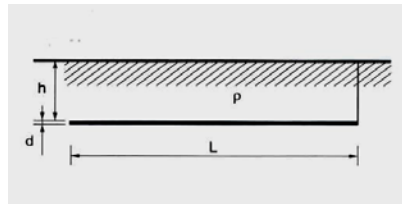
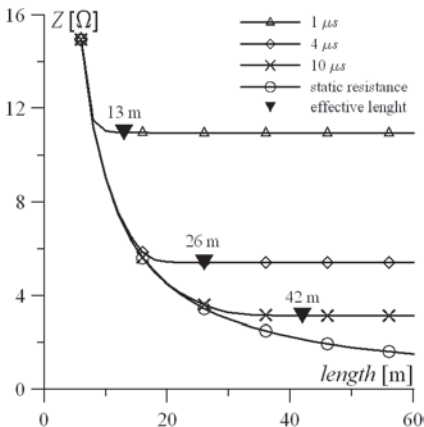


Bład względny obliczeń  $Z_m$  w funkcji  $Z_x \Rightarrow (Z_x - Z_m)/Z_x \Rightarrow$  poniżej 5%



**POLITECHNIKA  
GDAŃSKA**  
WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI  
I AUTOMATYKI

## Długość efektywna uziomu



$$L \leq \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{T_1}{GL}}$$

G – przewodność jednostkowa do gruntu

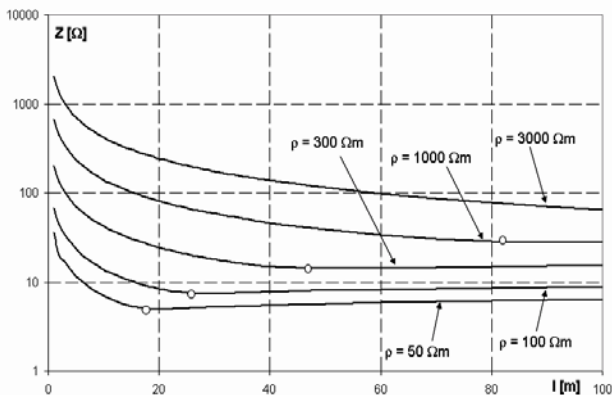
L – indukcyjność jednostkowa uziomu

T – czas czoła uderu pomiarowego



**POLITECHNIKA  
GDAŃSKA**  
WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI  
I AUTOMATYKI

Długość efektywna uziomu dla uderu o czasie czoła  
 $T_1 = 4 \mu\text{s}$  w gruntach o różnej rezystywności



$$l \leq \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{T_1}{GL}}$$

G – przewodność jednostkowa do gruntu  
 L – indukcyjność jednostkowa uziomu

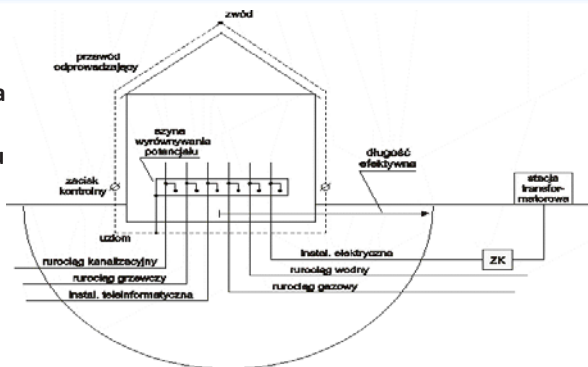
Wartości długości efektywnej obliczonej według wzoru zaznaczono kółkami



**POLITECHNIKA  
 GDAŃSKA**

WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI  
 I AUTOMATYKI

Obiekt z rozległym systemem uziemień tworzonym przez media dołączonym do szyny wyrównania potencjału



1. Mała rezystancja statyczna uziemienia  $< 1 \Omega$  – wpływ odległych uziomów
2. Impedancja uderowa – uwzględnia elementy uziemiające bliżej niż długość efektywna



w takiej konfiguracji pomiary statyczne uziemień nie mogą służyć do oceny ich przydatności do celów ochrony odgromowej



**POLITECHNIKA  
 GDAŃSKA**

WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI  
 I AUTOMATYKI

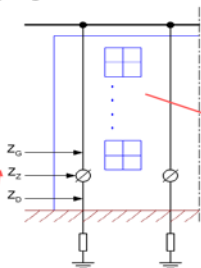
## Pomiary impedancji udarowej w obiektach kubaturowych

- możliwość weryfikacji ciągłości połączeń przewodów uziemiających z uziemem

Budynek 1-klatkowy, 8 kondygnacji:

$Z_z$  – zacisk kontrolny zwarty,

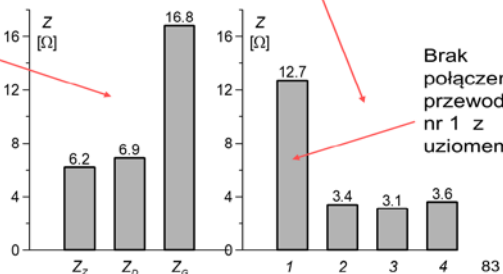
$Z_D$ ,  $Z_G$  – zacisk kontrolny rozarty



Miejsca podłączenia miernika

Obiekt budowlany:  
20X13X10 m, 4 przewody odprowadzające

=> pomiary metodą udarową bez rozłączania zacisków kontrolnych

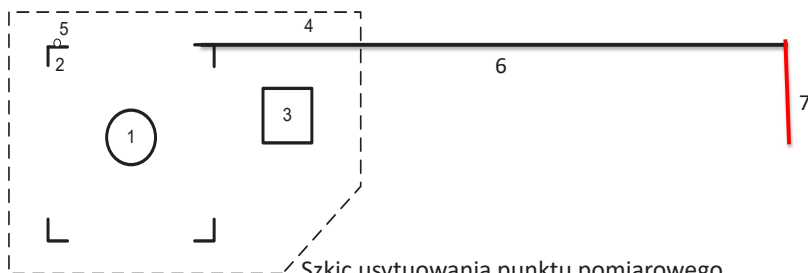


Brak połączenia przewodu nr 1 z uziemem



**POLITECHNIKA  
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI  
I AUTOMATYKI



Szkic usytuowania punktu pomiarowego rezystancji uziemienia wieży:

- 1 – wieża o wysokości ok. 35 m,
- 2 – stopy wieży,
- 3 – kontener,
- 4 – ogrodzenie,
- 5 – zacisk kontrolny uziemienia wykorzystany w pomiarach,
- 6 – uziom poziomy o długości 170 m,
- 7 – uziom pionowe umieszczone w morskiej

Brzeg morza



**POLITECHNIKA  
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI  
I AUTOMATYKI

## Wyniki pomiarów parametrów uziemienia po awarii systemu elektronicznego wieży wskutek wyładowania atmosferycznego

1. Rezystancja mierzona metodą wolnozmienną:  $R_S = 9,1 \Omega$ ,
2. Rezystancja udarowa o czasie czoła udaru  $1 \mu$ :  $R_{U1} = 87 \Omega$
3. Rezystancja udarowa o czasie czoła udaru pomiarowego  $4 \mu$ :  $R_{U4} = 53,5 \Omega$

**Wniosek:** wymiary uziomu przekraczały jego długość efektywną, a więc uziomy pionowe umieszczone w wodzie nie miały wpływu na odprowadzanie prądu piorunowego.

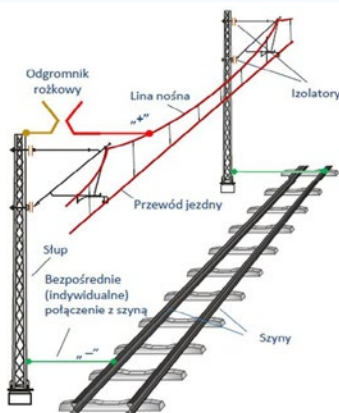
**Po rozbudowie uziemienia w pobliżu chronionego obiektu uzyskano następujące wyniki:**

1. Rezystancja mierzona metodą wolnozmienną:  $R_S = 2,0 \Omega$ ,
2. Rezystancja udarowa o czasie czoła udaru  $1 \mu$ :  $R_{U1} = 11,5 \Omega$
3. Rezystancja udarowa o czasie czoła udaru pomiarowego  $4 \mu$ :  $R_{U4} = 6,5 \Omega$

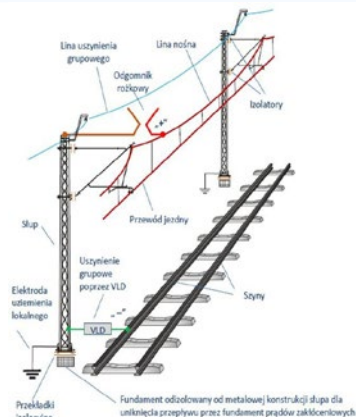


**POLITECHNIKA  
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI  
I AUTOMATYKI



**Uszynienie indywidualne**



**Uszynienie grupowe**

➔ Skomplikowany układ połączeń uziemień – pomiary udarowe mogą okazać się przydatne w określeniu roli ich poszczególnych elementów



**POLITECHNIKA  
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI  
I AUTOMATYKI

## **Wnioski:**

Pomiary uziemień metodą udarową odbywają się najczęściej przy czasach narastania impulsów o wartości  $4 \mu\text{s}$  oraz amplitudzie na poziomie 1 A.

Zjawisko ograniczonej długości efektywnej uziomu ogranicza rozmiary jego części, która bierze udział w odprowadzaniu prądu piorunowego do gruntu.

Długość efektywna uziomów rośnie w gruntach o dużej rezystywności i to umożliwia rozbudowę oraz zwiększanie wymiarów uziemienia w celu osiągnięcia wymaganej rezystancji, ale tę możliwość należy wykorzystywać z ograniczeniami wynikającymi z obliczeń.

W obiektach wyposażonych w ochronę odgromową pomiary uziemień metodą udarową pozwalają na lepszą ocenę przydatności systemu uziemień do skutecznej ochrony podczas wyładowań atmosferycznych, zwłaszcza w przypadkach ograniczonej możliwości rozłączania zacisków kontrolnych.



**POLITECHNIKA  
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI  
I AUTOMATYKI

***Dziękujemy za uwagę***



**POLITECHNIKA  
GDAŃSKA**

WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI  
I AUTOMATYKI



**DEHN – Projektowanie i wykonywanie ochrony  
odgromowej na infrastrukturze kolejowej  
według najnowszych standardów.**

Zbigniew Gwarek  
Regionalny Inżynier Sprzedaży  
DEHN POLSKA sp. z o.o.



## **DEHN - Projektowanie i wykonywanie ochrony odgromowej na infrastrukturze kolejowej według najnowszych standardów**

### Wprowadzenie

Infrastruktura kolejowa w Polsce, zarządzana głównie przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., obejmuje rozległą i zróżnicowaną grupę obiektów technicznych oraz budowlanych. Są to zarówno obiekty liniowe, jak i punktowe, w tym dworce kolejowe, budynki techniczne, nastawnie, centra sterowania ruchem, obiekty komunikacyjne oraz zaplecze energetyczne. Ze względu na swoje znaczenie funkcjonalne oraz bezpieczeństwo użytkowników, obiekty te zaliczane są do infrastruktury o podwyższonym poziomie istotności.

Jednocześnie infrastruktura kolejowa jest szczególnie narażona na oddziaływanie wyładowań atmosferycznych, zarówno bezpośrednich, jak i pośrednich. Skutki uderzeń piorunowych mogą prowadzić do uszkodzeń konstrukcji budowlanych, pożarów, zakłóceń pracy urządzeń elektroenergetycznych i sterowania ruchem, a w skrajnych przypadkach do zagrożenia życia ludzi. Odpowiednio zaprojektowana i wykonana ochrona odgromowa stanowi zatem kluczowy element bezpieczeństwa technicznego kolei.

Aktualnie najnowszą, dostępną wiedzą techniczną, w zakresie ochrony odgromowej jest zestaw arkuszy 3 edycji normy:

- PN-EN IEC 62305-1:2025-09,
- PN-EN IEC 62305-2: 2025-09,
- PN-EN IEC 62305-3: 2025-09,
- PN-EN IEC 62305-4: 2025-09,

które wprowadzają istotne zmiany, w szczególności w zakresie systemów izolowanych i elektrycznie izolowanych LPS.

### 2. Charakterystyka infrastruktury kolejowej i jej modernizacja

Współczesna infrastruktura kolejowa w Polsce znajduje się w intensywnym procesie modernizacji. Szczególną rolę odgrywają dworce kolejowe oraz inne budynki infrastrukturalne,

które są dostosowywane do aktualnych wymagań funkcjonalnych, energetycznych i środowiskowych. Modernizacje obejmują m.in.:

- poprawę efektywności energetycznej budynków,
- montaż nowoczesnych instalacji elektrycznych i teletechnicznych,
- instalację systemów automatyki budynkowej,
- montaż instalacji fotowoltaicznych (PV) na dachach.

W rezultacie dachy dworców i obiektów technicznych stają się miejscem koncentracji wielu instalacji: paneli PV, konstrukcji wsporczych, kanałów kablowych, anten, urządzeń HVAC oraz elementów ochrony odgromowej. Taki stan rzeczy znacząco komplikuje spełnienie klasycznych wymagań normowych dotyczących ochrony odgromowej.

### 3. Wymagania PN-EN IEC 62305-3:2024 w zakresie odstępu separacyjnego „s”

Jednym z kluczowych pojęć normy PN-EN IEC 62305-3:2024 jest odstęp separacyjny „s”, czyli minimalna odległość pomiędzy elementami zewnętrznego systemu LPS (zwody, przewody odprowadzające) a innymi przewodzącymi elementami instalacji lub konstrukcji budynku.

Odstęp ten ma na celu zapobieganie niekontrolowanym przeskokom iskrowym w trakcie przepływu prądu piorunowego. Jego wartość zależy od m.in.:

- klasy LPS,
- spodziewanego rozptyłu prądu piorunowego,
- długości przewodów,
- rodzaju izolacji i środowiska (powietrze, materiały budowlane).

W praktyce, zwłaszcza w obiektach modernizowanych, zachowanie wymaganego odstępu „s” staje się coraz częściej niemożliwe.

### 4. Dworce kolejowe i instalacje PV – konflikt projektowy

Instalacje fotowoltaiczne montowane na dachach dworców i innych budynków infrastruktury kolejowej wprowadzają nowe wyzwania projektowe. Panele PV wraz z konstrukcjami

wsporczyymi i trasami kablowymi stanowią rozległe, metalowe i elektrycznie czynne układy, które:

- znajdują się bardzo blisko zwodów poziomych,
- często krzyżują się z trasami przewodów odgromowych,
- nie pozwalają na zachowanie wymaganych odstępów separacyjnych.

W takich warunkach klasyczny, nieizolowany LPS może prowadzić do:

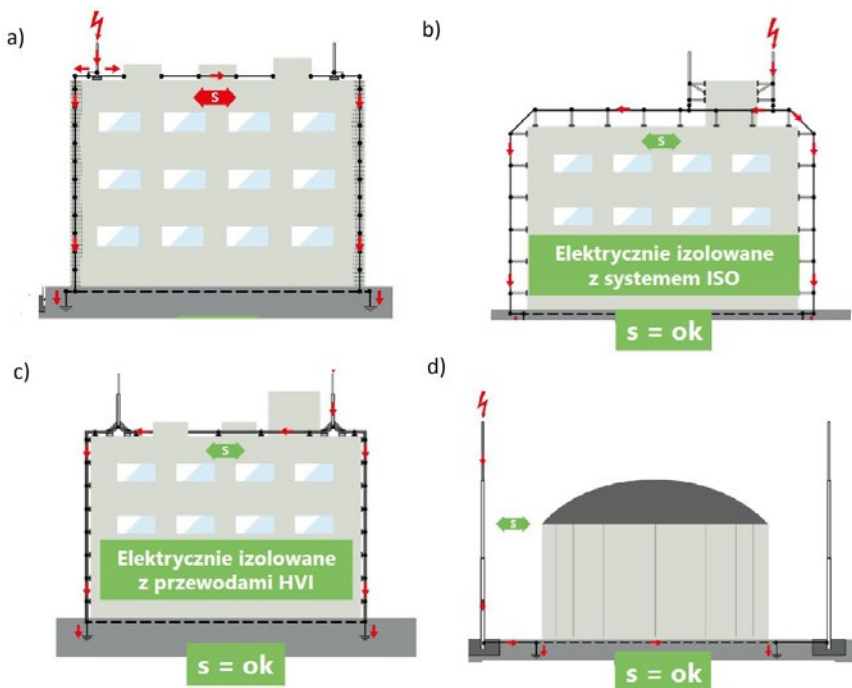
- przeskoków iskrowych pomiędzy LPS a konstrukcją PV,
- uszkodzeń falowników i przewodów DC,
- pożaru dachu,
- niezgodności instalacji z najnowszą dostępną wiedzą techniczną w zakresie projektowania ochrony odgromowej.

Seria wskazanych norm jednoznacznie wskazuje, że w sytuacji braku możliwości zachowania odstępu „s” należy zastosować rozwiązania alternatywne, w tym izolowane lub elektrycznie izolowane systemy LPS.

## 5. Izolowany i elektrycznie izolowany LPS według PN-EN IEC 62305-3: 2025-09

Nowa edycja normy rozróżnia:

- LPS nieodseparowany (a),
- LPS elektrycznie izolowany np. z systemem ISO (b),
- LPS elektrycznie izolowany np. z przewodami HVI (c),
- LPS odseparowany (d).



To rozróżnienie ma kluczowe znaczenie dla obiektów kolejowych, gdzie przestrzeń dachowa jest ograniczona, a instalacje są gęsto rozmieszczone. Nieodseparowanym LPS to najczęściej klasyczne maszty oraz drut odgromowy, bez zachowanego, minimalnego odstępu „s” a). Odseparowany LPS to najczęściej wolnostojące, wysokie maszty, niestety z wielu powodów często też niepraktyczne ekonomiczne, bez dostępności wymaganego miejsca na terenie okalającego rozpatrywany budynek d)

6. System DEHN-iso jako jedno z możliwych rozwiązań dla dachów obiektów kolejowych b)

DEHN-iso to system izolowanych zwodów i elementów wsporczych wykonanych z materiałów izolacyjnych (GRP). Umożliwia on budowę zewnętrznego systemu LPS, który:

- nie jest fizycznie odseparowany od budynku, dachu, instalacji (jak w przypadku przewodów HVI), ale może zachować odstęp separujący „s”

- jest tańszy od systemu bazującego na rozwiązaniu przewodów wysokonapięciowych c) ale wymaga większej dostępności miejsca

Rozwiązanie to znajduje szczególne zastosowanie na płaskich dachach dworców oraz budynków technicznych, gdzie zwykłymi masztami oraz drutem nie zapewnimy odstępu separującego 's', ale nadal dach nie jest ciasny biorąc pod uwagę dostępne inne instalacje na dachu.

7. Przewody wysokonapięciowo izolowane HVI DEHN jako jedno z możliwych rozwiązań dla dachów obiektów kolejowych c)

Alternatywą, a często rozwiązaniem bardziej elastycznym, są przewody wysokonapięciowo izolowane HVI firmy DEHN. Stanowią one element elektrycznie izolowanego LPS, w którym rdzeń przewodu odprowadzającego jest otoczony warstwą izolacyjną i półprzewodzącą, w wersji dodatkowo wzmocnionej - wierzchnią warstwą PVC.

Rozwiązanie to znajduje szczególne zastosowanie, gdy:

- ilość instalacji na dachu obiektu jest już znaczna,
- ilość instalacji na dachu obiektu ma być znaczna,
- planowane są zmiany, modernizacje instalacji dostępnych na dachu, ale brak jest konkretnych danych o lokalizacji, ilości.

Zastosowanie przewodów HVI umożliwia:

- prowadzenie przewodów odprowadzających bezpośrednio obok instalacji PV,
- eliminację ryzyka przeskoków iskrowych,
- uproszczenie tras kablowych,
- modernizację istniejącej ochrony odgromowej bez jej całkowitej przebudowy.

W kontekście dworców kolejowych, gdzie często nie ma możliwości czasowego wyłączenia obiektu z eksploatacji, przewody HVI stanowią rozwiązanie szczególnie praktyczne.

8. Znaczenie izolowanych systemów LPS dla procesów modernizacyjnych PKP PLK

Zastosowanie systemów DEHN-iso i HVI pozwala pogodzić:

- wymagania normowe PN-EN IEC 62305-3:2024,
- potrzeby inwestycyjne związane np. z instalacjami PV,
- ograniczenia przestrzenne dachów,
- wymogi bezpieczeństwa użytkowników dworców.

W praktyce oznacza to, że izolowane systemy LPS przestają być rozwiązaniami niszowymi, a stają się standardem projektowym w nowoczesnych inwestycjach kolejowych.

## 9. Wnioski końcowe

Seria norm PN-EN IEC 62305 edycji 3 z września 2025 w sposób jednoznaczny odpowiada na wyzwania, jakie stawia współczesna infrastruktura kolejowa, w szczególności dworce kolejowe i inne modernizowane budynki m.in. z instalacjami fotowoltaicznymi. Brak możliwości zachowania klasycznego odstępu separacyjnego „s” nie zwalnia projektanta z odpowiedzialności – przeciwnie, wymusza zastosowanie nowoczesnych, izolowanych rozwiązań LPS.

Systemy DEHN-iso oraz wysokonapięciowe przewody HVI stanowią skuteczną i normatywnie uzasadnioną odpowiedź na te problemy, umożliwiając bezpieczne, trwałe i elastyczne projektowanie ochrony odgromowej infrastruktury kolejowej.

## Bibliografia

- PN-EN IEC 62305-1:2025-09,
- PN-EN IEC 62305-2: 2025-09,
- PN-EN IEC 62305-3: 2025-09,
- PN-EN IEC 62305-4: 2025-09,
- Materiały techniczne DEHN
- <https://kolejowyportal.pl/pkp-plk-stawiaja-na-oze-juz-87-instalacji-fotowoltaicznych/>



Instytut Nauk  
Leśnych

## **Jak koleje świata rozwiązują problem kolizji z dzikimi zwierzętami.**

dr hab. Karolina Jasińska  
Adiunkt Samodzielnego Zakładu Zoologii Leśnej i Łowiectwa  
Instytut Nauk Leśnych SGGW



# Jak koleje świata rozwiązują problem kolizji z dzikimi zwierzętami

**Karolina Jasińska**

Instytut Nauk Leśnych

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego



## Wpływ infrastruktury kolejowej na środowisko

### Plusy

- ✓ Zmniejszenie zanieczyszczenia
- ✓ Mniejsza emisja gazów cieplarnianych
- ✓ Niższe koszty

### Minusy

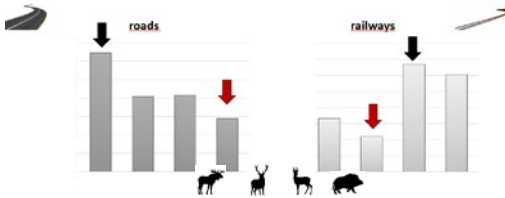
- ✓ Fragmentacja  
Utrata siedlisk i ciągłości środowiska
- ✓ Hałas i wibracje
- ✓ Kolizje



# Przyczyny kolizji

efekt jaki linia kolejowa wywiera na środowisko najczęściej był opisywany bazując wyłącznie na danych dotyczących dróg

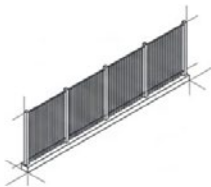
- czynniki środowiskowe
- zagęszczenie populacji zwierząt
- cechy ruchu pojazdów (ich prędkość, natężenie)



# Metody zapobiegania kolizjom

## 1. Zapewnienie bezpiecznego przejścia

## 2. Brak ograniczenia dostępu



100% Bezpieczeństwa,  
0% Przepuszczalności



Wysokie Bezpieczeństwo,  
Wysoka Przepuszczalność

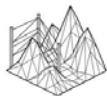


0% Bezpieczeństwa,  
100% Przepuszczalności

Blokowanie wejścia na torowisko – np. grodzienia.

Przeciwdziałanie efektowi bariery ekologicznej – np. przepusty.

## Grodzenia



Koszt i topografia



Izolacja genetyczna

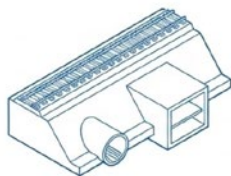


Efekt pułapki

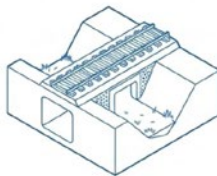


Możliwe do stosowania w „hotspotach”

## Przejścia dla zwierząt



Przepusty  
dla małych zwierząt



Przejścia  
dla średnich zwierząt



Przejścia górne

## Przejścia dla zwierząt



<https://www.plk-sa.pl/>

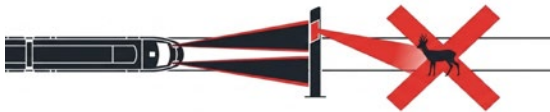
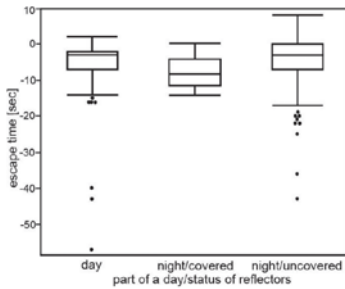
## Inne metody zapobiegania kolizjom

### Wykorzystujące zmysły zwierząt

- Węch → Repelenty imitujące zapach drapieżników
- Wzrok → Odblaski, wykaszanie poboczy
- Słuch → Urządzenia akustyczne (dźwięki sztuczne i naturalne)

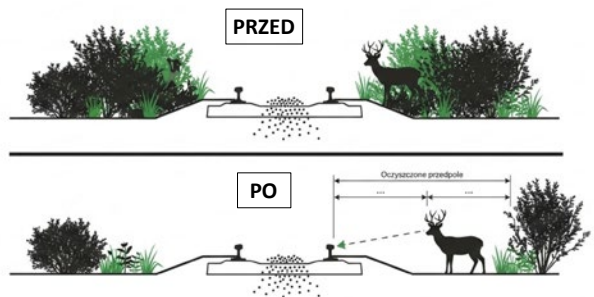


## Odblaski

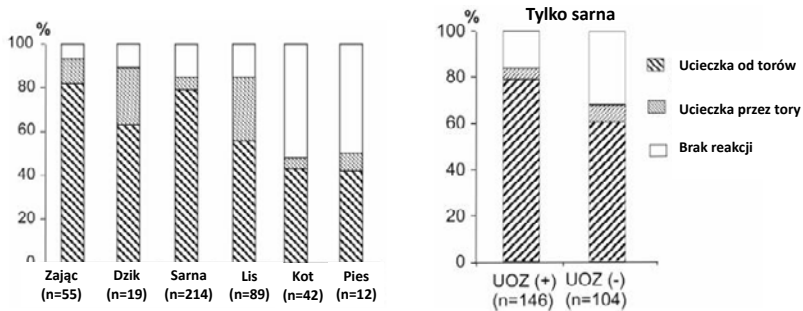



## Wykazanie roślinności na poboczach

- Ułatwia widoczność i usuwa atrakcyjną roślinność
- Odrost młodych pędów (przywabianie roślinożerców)
- Powtarzane kilka razy w ciągu roku
- Badania?



# Skuteczność UOZ-1



Effectiveness of an acoustic wildlife warning device using natural calls to reduce the risk of train collisions with animals   
 Joanna Babińska-Werka, Dagny Kratze-Gryz\*, Michał Wasilewski, Karolina Jasińska  
Warsaw University of Life Sciences - SGGW, Department of Animal Ecology and Wildlife Management, Niewyczerpnego 138, 02-119 Warsaw, Poland

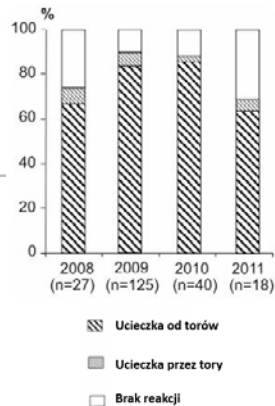


# Skuteczność UOZ-1

Standardowe systemy

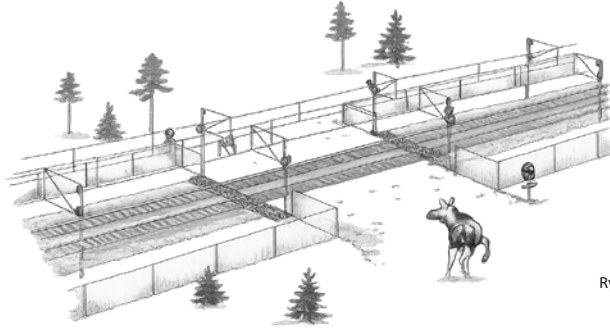


System UOZ-1



Effectiveness of an acoustic wildlife warning device using natural calls to reduce the risk of train collisions with animals   
 Joanna Babińska-Werka, Dagny Kratze-Gryz\*, Michał Wasilewski, Karolina Jasińska  
Warsaw University of Life Sciences - SGGW, Department of Animal Ecology and Wildlife Management, Niewyczerpnego 138, 02-119 Warsaw, Poland

## Łączenie metod?



Rys. Lars Jäderberg

Seiler, Olsson 2017. *Wildlife Deterrent Methods for Railways—An Experimental Study*



## Współpraca międzynarodowa



DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ!



**Zintegrowane podejście do bezpieczeństwa  
magazynów energii elektrycznej.  
Wybrane aspekty magazynowania energii.**

Tadeusz Boruciński  
WB Electronics S.A. WB GROUP

kmdr por. rez. dr inż. Mirosław Chmieliński  
MILA Centrum Badań i Ekspertyz



**Tadeusz Boruciński**

WB Electronics S.A.

**Mirosław Chmieliński**

MILA Centrum Badań i Ekspertyz Mirosław Chmieliński

## **ZINTEGROWANE PODEJŚCIE DO BEZPIECZEŃSTWA MAGAZYNÓW ENERGII ELEKTRYCZNEJ – UWARUNKOWANIA TECHNOLOGICZNE I EKSPLOATACYJNE**

### **Streszczenie**

Dynamiczny rozwój magazynów energii elektrycznej sprawia, że stają się one jednym z kluczowych elementów współczesnych systemów elektroenergetycznych, przemysłu oraz infrastruktury krytycznej. Wraz ze wzrostem ich mocy i skali zastosowań rośnie znaczenie zagadnień bezpieczeństwa – zarówno w wymiarze technologicznym, jak i użytkowym. Celem artykułu jest przedstawienie zintegrowanego modelu bezpieczeństwa magazynów energii, obejmującego analizę zagrożeń technologicznych (pożar, wybuch, porażenie prądem, emisja substancji toksycznych) oraz czynników operacyjnych związanych z eksploatacją, organizacją pracy i kulturą bezpieczeństwa. Wskazano kluczowe rozwiązania techniczne (BMS, systemy detekcji gazów, instalacje gaśnicze, technologie pasywne i cyfrowe) oraz znaczenie procedur, szkoleń i nadzoru eksploatacyjnego. Bezpieczeństwo magazynów energii nie wynika wyłącznie z zastosowanej technologii, lecz z właściwej integracji rozwiązań konstrukcyjnych, systemów monitoringu, regulacji prawnych oraz świadomego użytkowania. W praktyce najskuteczniejsze okazuje się podejście warstwowe (layered safety approach), uzupełnione regularnymi audytami oraz aktualizacją procedur w miarę rozwoju technologii.

**Słowa kluczowe:** magazyny energii, bezpieczeństwo EES, systemy BMS, kultura bezpieczeństwa, infrastruktura krytyczna

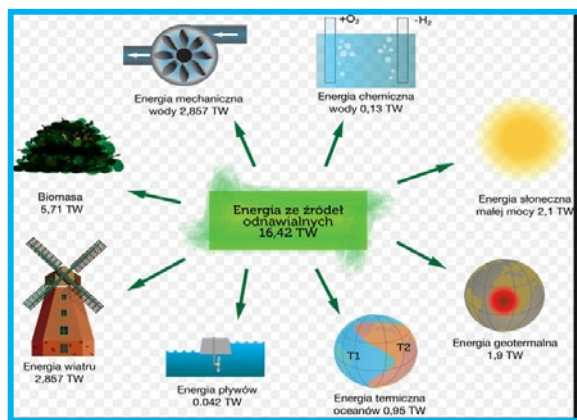
### **WPROWADZENIE**

Rozwój odnawialnych źródeł energii oraz rosnące zapotrzebowanie na elastyczne systemy elektroenergetyczne stawiają nowe wyzwania przed sektorem energetycznym. Magazyny energii elektrycznej (MEE) odgrywają kluczową rolę w stabilizacji sieci, umożliwiającą bilansowanie zmiennej generacji energii z wiatru i słońca, a także wspierającą efektywne zarządzanie popytem. Dynamiczny rozwój technologii magazynowania, w tym baterii litowo-jonowych, przepływowo- czy systemów hybrydowych, wprowadza jednak złożone wyzwania w zakresie bezpieczeństwa i eksploatacji.

Bezpieczeństwo MEE nie ogranicza się jedynie do aspektów technicznych, takich jak niezawodność ogniwi, systemów zarządzania baterią (BMS) czy mechanizmów chłodzenia. Kluczowe jest również spojrzenie systemowe, uwzględniające zarówno integrację z siecią energetyczną, procedury operacyjne, jak i uwarunkowania regulacyjne i środowiskowe. Zintegrowane podejście do bezpieczeństwa obejmuje zatem nie tylko prewencję awarii i ochronę przed zagrożeniami fizycznymi, ale również analizę ryzyka w całym cyklu życia magazynu energii.

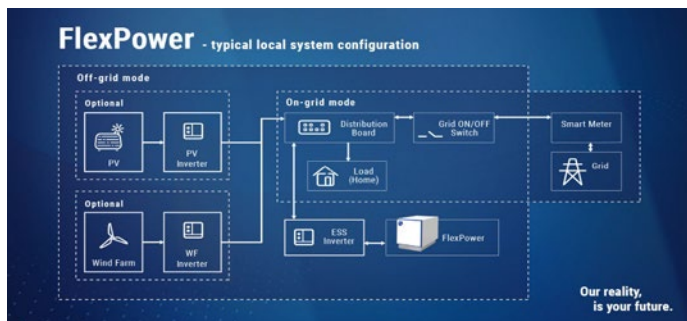
Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie wyzwań i uwarunkowań technologicznych oraz eksploatacyjnych w kontekście zintegrowanego bezpieczeństwa magazynów energii elektrycznej. Omówione zostaną zarówno aspekty konstrukcyjne i technologiczne systemów magazynowania, jak i praktyki operacyjne, które pozwalają na minimalizację ryzyka, zwiększenie niezawodności oraz zapewnienie bezpieczeństwa zarówno operatorów, jak i środowiska.

Magazyny energii elektrycznej stały się nieodzownym elementem transformacji energetycznej, szczególnie w kontekście rosnącego udziału odnawialnych źródeł energii (OZE), takich jak fotowoltaika i energetyka wiatrowa. Ich podstawową funkcją jest buforowanie energii w czasie – umożliwienie jej gromadzenia w okresach nadwyżek oraz oddawania w momentach zwiększonego zapotrzebowania. Magazyn energii jest technologią charakteryzującą się zdolnością do wykonania pracy i występuje w różnych postaciach, takich jak energia kinetyczna, potencjalna, cieplna, elektryczna, chemiczna czy jądrowa (Rys. 1).



Rys. 1. Schemat wybranych naturalnych źródeł OZE (źródło: archiwum autora)

Magazyn energii nie może zatem funkcjonować samodzielnie w oderwaniu od profilu zużycia, generacji OZE i sieci energetycznej (Rys. 2) i stanowi on niezbędny łącznik pomiędzy generacją i konsumpcją energii w nowoczesnej gospodarce energetycznej opartej o odnawialne źródła energii.



Rys. 2. Schemat konfiguracji systemu energetycznego FlexPower (źródło: archiwum autora)

Nowelizacja polskiego prawa energetycznego wprowadziła formalną definicję magazynu energii, jednak jego status regulacyjny nadal wymaga doprecyzowania – szczególnie w kontekście prawa budowlanego oraz zasad przyłączania do sieci. W praktyce magazyn energii bywa traktowany jak źródło wytwórcze, co nie oddaje jego rzeczywistej roli jako elementu stabilizującego system elektroenergetyczny.

Współczesny magazyn energii jest urządzeniem usługowym – wspiera operatorów OZE, operatorów systemów dystrybucyjnych (OSD) oraz odbiorców końcowych, umożliwiając m.in.:

- arbitraż cenowy,
- zwiększenie autokonsumpcji energii,
- stabilizację napięcia i częstotliwości,
- poprawę jakości energii,
- zapewnienie ciągłości zasilania.

Ze względu na dużą koncentrację energii w ograniczonej objętości, szczególnie w systemach bateryjnych litowo-jonowych, zagadnienia bezpieczeństwa nabierają charakteru strategicznego.

## 1. TECHNOLOGICZNY WYMIAR BEZPIECZEŃSTWA

Bezpieczeństwo magazynów energii elektrycznej w dużej mierze zależy od zastosowanych technologii magazynowania oraz od sposobu ich integracji z systemami energetycznymi. Wymiar technologiczny obejmuje zarówno właściwości samych ogniw i modułów, jak i systemów wspierających ich pracę, takich jak systemy zarządzania baterią (BMS), układy chłodzenia, ochrony przeciwpożarowej czy monitorowania stanu zdrowia ogniw.

Obecnie opracowana jest instalacja, która pilotażowo wesprze instalację OZE w dużym zakładzie przemysłowym. Wśród klientów, z którymi prowadzone są projekty, znajdują się operatorzy reprezentujący profesjonalną branżę energetyki zawodowej, a także wiele przedsiębiorstw z sektora MŚP oraz samorządów tworzących spółdzielnie energetyczne. W tym ostatnim obszarze konkretne realizacje są także udziałem jednej ze spółek należących do Grupy WB (Rys. 3).



Rys. 3. Grupa WB - moduł magazynu energii elektrycznej FlexPower.  
(źródło: archiwum autora)

Efektywne zarządzanie tymi elementami jest kluczowe dla minimalizacji ryzyka awarii i zapewnienia niezawodności pracy magazynu energii.

### 1.1. Technologie magazynowania a poziom ryzyka

Wybór technologii magazynowania bezpośrednio wpływa na charakter i poziom ryzyka związanego z eksploatacją magazynu energii. Najpowszechniej stosowane rozwiązania to:

- Baterie litowo-jonowe – oferują wysoką gęstość energii i sprawność cyklu ładowania, ale są wrażliwe na przegrzewanie, zwarcia oraz głębokie rozładowanie, co zwiększa ryzyko termicznego wymyknięcia się reakcji.

- Baterie przepływowo – charakteryzują się oddzielnym magazynowaniem energii chemicznej i elektrod, co redukuje ryzyko pożaru i wybuchu, jednak ich złożona konstrukcja wymaga precyzyjnej kontroli przepływu elektrolitu i może generować ryzyko wycieków chemicznych.
- Superkondensatory i baterie hybrydowe – umożliwiają szybkie ładowanie i rozładowanie, są odporne na wiele cykli pracy, ale ich gęstość energii jest ograniczona, co wymaga większej powierzchni magazynowej i może zwiększać ryzyko mechaniczne (uszkodzenia konstrukcji).

Każda z tych technologii wiąże się z odmiennymi zagrożeniami, co wymaga dostosowania systemów bezpieczeństwa i procedur eksploatacyjnych.

### 1.2. Kluczowe zagrożenia technologiczne

W kontekście bezpieczeństwa technologicznego MEE wyróżnia się kilka głównych grup zagrożeń:

- Zagrożenia termiczne i pożarowe – wynikają z niewłaściwej pracy ogniw, przegrzewania lub zwarc. Thermal runaway w bateriach Li-ion może prowadzić do pożaru i wydzielania toksycznych gazów.
- Zagrożenia elektryczne – dotyczą przede wszystkim przeciążeń, przepięć, zwarc i niewłaściwego zarządzania energią, które mogą powodować uszkodzenia modułów i ryzyko porażenia.
- Zagrożenia chemiczne i środowiskowe – wycieki elektrolitów, toksycznych substancji lub reaktywne produkty uboczne mogą wpływać nie tylko na bezpieczeństwo personelu, ale także na środowisko naturalne.
- Zagrożenia mechaniczne – uszkodzenia fizyczne modułów, wadliwa konstrukcja obudowy czy niewłaściwe mocowanie ogniw mogą prowadzić do awarii całego systemu lub wypadków przy obsłudze.

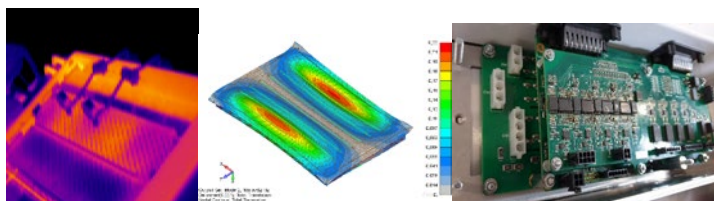
Analiza tych zagrożeń wymaga holistycznego podejścia, uwzględniającego zarówno aspekty konstrukcyjne, jak i eksploatacyjne, a także scenariusze awaryjne w cyklu życia magazynu energii.

### 1.3. Rozwiązania zwiększające bezpieczeństwo

Aby ograniczyć ryzyko awarii i zapewnić niezawodność MEE, stosuje się szereg rozwiązań technologicznych i inżynierskich:

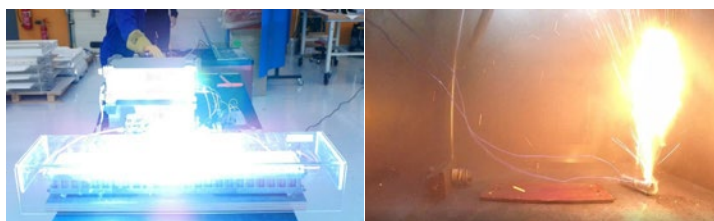
- Systemy zarządzania baterią (BMS) – monitorują stan ogniw, temperaturę, napięcie i prąd, pozwalając na wczesną detekcję anomalii i automatyczne reagowanie w sytuacjach krytycznych.
- Układy chłodzenia i termoregulacji – aktywne i pasywne systemy chłodzenia zapobiegają przegrzewaniu się ogniw, ograniczając ryzyko thermal runaway.
- Redundancja i segmentacja modułów – dzielenie magazynu na niezależne segmenty minimalizuje ryzyko rozprzestrzenienia się awarii z pojedynczego modułu na cały system.
- Systemy detekcji pożaru i gazów – czujniki termiczne, optyczne i chemiczne pozwalają na szybką reakcję, uruchomienie systemów gaśniczych i ewakuację personelu.
- Projektowanie odporne na awarie mechaniczne i chemiczne – obudowy ogniw, szczelne kontenery i systemy neutralizacji elektrolitów zwiększają bezpieczeństwo pracy i ograniczają wpływ awarii na środowisko.

Technologie bezpieczeństwa (Rys.4) stosowane w magazynach energii obejmują zarówno rozwiązania pasywne (konstrukcja, separacja, izolacja), jak i aktywne (czujniki, systemy gaśnicze, BMS), a także narzędzia cyfrowe i środki ochrony użytkowników. Ich skuteczność zależy od odpowiedniej integracji i eksploatacji zgodnej z normami.



Rys. 4. Technologie mające wpływ na bezpieczeństwo magazynu energii elektrycznej (źródło: archiwum autora)

Przykład warstwowego modelu bezpieczeństwa technologicznego przedstawiono na Rys. 5.



Rys. 5. Wymuszone zwarcie zestawu ogniw stosowanych w magazynach energii elektrycznej. (źródło: archiwum autora)

Wdrażanie tych rozwiązań w sposób zintegrowany, z uwzględnieniem specyfiki zastosowanej technologii magazynowania, stanowi podstawę nowoczesnego podejścia do bezpieczeństwa technologicznego.

## 2. UŻYTKOWY WYMIAR BEZPIECZEŃSTWA

Bezpieczeństwo magazynów energii elektrycznej nie ogranicza się wyłącznie do aspektów technologicznych. Równie istotny jest wymiar użytkowy, który obejmuje organizację pracy, procedury operacyjne, kompetencje personelu oraz przygotowanie na sytuacje awaryjne. Skuteczne zarządzanie tymi elementami pozwala zminimalizować ryzyko błędów ludzkich, przyspieszyć reakcję w krytycznych momentach i zapewnić bezpieczne użytkowanie przez cały okres eksploatacji.

### 2.1. Organizacja i procedury

Bezpieczna eksploatacja magazynów energii wymaga wyraźnie określonej struktury organizacyjnej oraz zestawu procedur operacyjnych:

- Procedury obsługi codziennej – obejmują monitorowanie stanu magazynu, regularne kontrole wizualne, pomiary parametrów elektrycznych i termicznych oraz kalibrację systemów monitoringu.
- Procedury konserwacyjne i przeglądowe – zaplanowane przeglądy modułów, systemów chłodzenia i BMS zmniejszają ryzyko awarii wynikających ze zużycia lub defektów materiałowych.

- Procedury eksploatacyjne w różnych trybach pracy – magazyny energii mogą funkcjonować w trybie ładowania, rozładowania, buforowania czy pracy szczytowej; każda z tych sytuacji wymaga precyzyjnie opracowanych instrukcji bezpieczeństwa.
- Dokumentacja i rejestracja działań – systematyczne zapisy dotyczące parametrów pracy, incydentów i działań serwisowych pozwalają na analizę ryzyka, identyfikację trendów awaryjnych i optymalizację procedur.

Efektywna organizacja pracy i przestrzeganie procedur minimalizują możliwość wystąpienia błędów oraz zapewniają spójność działań personelu w sytuacjach standardowych i krytycznych.

## 2.2. Rola czynnika ludzkiego

Czynnik ludzki pozostaje jednym z kluczowych elementów bezpieczeństwa. Nawet najbardziej zaawansowane technologie wymagają odpowiednio przeszkolonego personelu, zdolnego do właściwej interpretacji danych, diagnozowania problemów i szybkiego reagowania w sytuacjach awaryjnych:

- Szkolenia i certyfikacje – regularne szkolenia z zakresu obsługi, procedur bezpieczeństwa, reagowania na awarie i gaszenia pożarów zwiększają świadomość ryzyka i poprawiają skuteczność działań personelu.
- Podział odpowiedzialności – jasno określone role i obowiązki minimalizują ryzyko konfliktów decyzyjnych i błędów operacyjnych.
- Symulacje sytuacji awaryjnych – ćwiczenia praktyczne pozwalają personelowi wypracować automatyczne reakcje w krytycznych scenariuszach, co znacząco skraca czas reakcji i redukuje ryzyko eskalacji zagrożenia.

Czynnik ludzki działa więc zarówno jako pierwsza linia obrony przed zagrożeniami, jak i istotny element systemu reagowania na incydenty.

## 2.3. Plany awaryjne i współpraca z służbami

Przygotowanie na awarie wymaga opracowania kompleksowych planów awaryjnych oraz ścisłej współpracy z lokalnymi służbami ratowniczymi:

- Plany awaryjne i scenariusze kryzysowe – obejmują procedury ewakuacji, izolacji modułów awaryjnych, uruchamiania systemów gaśniczych i minimalizacji skutków chemicznych czy termicznych awarii.
- Integracja z systemami monitoringu i alarmowania – automatyczne powiadamianie odpowiednich służb i personelu pozwala na natychmiastowe podjęcie działań prewencyjnych.
- Współpraca z lokalnymi służbami ratowniczymi – straż pożarna, ratownictwo chemiczne i służby medyczne muszą znać specyfikę, potencjalne zagrożenia oraz procedury reagowania. Regularne szkolenia wspólne i ćwiczenia symulacyjne zwiększają skuteczność reakcji w rzeczywistych sytuacjach kryzysowych.

Efektywne wdrożenie planów awaryjnych w połączeniu z odpowiednim przygotowaniem personelu i współpracą z zewnętrznymi służbami znacząco redukuje ryzyko poważnych incydentów i ich konsekwencji dla ludzi, infrastruktury oraz środowiska.

### 3. KULTURA BEZPIECZEŃSTWA JAKO ELEMENT STRATEGICZNY

Bezpieczeństwo magazynów energii elektrycznej nie zależy wyłącznie od technologii czy procedur operacyjnych. Kluczową rolę odgrywa kultura bezpieczeństwa, rozumiana jako zbiór wartości, postaw i praktyk w organizacji, które kształtują zachowania pracowników i wpływają na skuteczność systemów bezpieczeństwa. Proces kształtowania kultury bezpieczeństwa zaprezentowany został na Rys. 6. a można go przedstawić w formie piramidy (od podstawowych działań do dojrzałego systemu).



Rys. 6. Proces kształtowania kultury bezpieczeństwa, gdzie:

1. Świadomość zagrożeń – identyfikacja ryzyka i edukacja pracowników.
2. Przestrzeganie wdrożonych procedur – konsekwentne stosowanie instrukcji i zasad.
3. Odpowiedzialność indywidualna – każdy pracownik musi rozumieć wpływ swojego działania na bezpieczeństwo.
4. Komunikacja i otwartość – zgłaszanie problemów i nieprawidłowości bez obawy o karę.
5. Uczenie się na błędach – analiza incydentów, wdrażanie poprawek.
6. Proaktywne podejście – przewidywanie zagrożeń i zapobieganie im, zanim wystąpią.

Budowanie kultury bezpieczeństwa jest procesem strategicznym – zwiększa odporność organizacji na awarie, minimalizuje ryzyko błędów ludzkich i sprzyja ciągłemu doskonaleniu procesów operacyjnych.

#### 3.1. Świadomość zagrożeń

Podstawą kultury bezpieczeństwa jest świadomość zagrożeń wynikających z eksploatacji magazynów energii. Personel powinien znać zarówno specyfikę technologii, z którą pracuje, jak i potencjalne konsekwencje awarii:

- zrozumienie mechanizmów termicznych, elektrycznych i chemicznych w magazynach energii;
- identyfikacja sytuacji krytycznych, które mogą prowadzić do pożaru, wycieku elektrolitu czy uszkodzenia systemu;
- ocenianie ryzyka w codziennych czynnościach, co pozwala na podejmowanie świadomych decyzji operacyjnych.

#### 3.2. Przestrzeganie procedur

Świadomość zagrożeń musi iść w parze z bezwarunkowym przestrzeganiem procedur operacyjnych. Nawet najlepsze systemy technologiczne nie zniwelują ryzyka, jeśli pracownicy ignorują ustalone zasady:

- stosowanie standardów bezpieczeństwa w obsłudze i konserwacji;
- regularne przeglądy zgodnie z harmonogramem;
- dokładna dokumentacja działań, pozwalająca na analizę incydentów i identyfikację obszarów do poprawy.

### 3.3. Odpowiedzialność indywidualna

Każdy pracownik musi mieć świadomość indywidualnej odpowiedzialności za bezpieczeństwo własne i innych:

- podejmowanie działań zgodnych z procedurami, nawet w sytuacjach presji czasu;
- zgłaszanie zauważonych nieprawidłowości lub potencjalnych zagrożeń;
- uczestnictwo w szkoleniach i ćwiczeniach przygotowujących do sytuacji awaryjnych.

### 3.4. Otwartą komunikację

Efektywna kultura bezpieczeństwa opiera się na otwartej komunikacji i dzieleniu się wiedzą:

- informowanie zespołu o zaobserwowanych problemach i incydentach;
- tworzenie mechanizmów raportowania bez obawy przed konsekwencjami;
- wymiana doświadczeń między działami, co pozwala na szybsze wykrywanie potencjalnych zagrożeń.

### 3.5. Uczenie się na błędach

Każda awaria lub incydent powinien być traktowany jako źródło nauki:

- analiza przyczyn źródłowych (root cause analysis) w celu eliminacji powtarzalnych błędów;
- wdrażanie usprawnień w procedurach i systemach technologicznych;
- dzielenie się wnioskami z całym zespołem, co wzmacnia ogólną odporność organizacji na ryzyko.

### 3.6. Podejście proaktywne

Kultura bezpieczeństwa opiera się również na podejściu proaktywnym, polegającym na identyfikacji i neutralizacji zagrożeń zanim dojdzie do incydentu:

- regularne audyty i inspekcje magazynów energii;
- monitorowanie parametrów pracy systemów w czasie rzeczywistym;
- wdrażanie innowacyjnych rozwiązań poprawiających bezpieczeństwo i niezawodność systemu.

Budowanie kultury bezpieczeństwa w MEE wymaga konsekwencji i zaangażowania wszystkich poziomów organizacji – od kierownictwa po personel operacyjny. Organizacja, w której bezpieczeństwo traktowane jest strategicznie, zwiększa odporność systemu na awarie, zmniejsza ryzyko wypadków i zapewnia trwałe bezpieczeństwo ludzi, infrastruktury i środowiska. Brak kultury bezpieczeństwa może prowadzić do lekceważenia alarmów BMS, błędów serwisowych oraz katastrof technologicznych.

## PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Bezpieczeństwo magazynów energii elektrycznej jest zagadnieniem wielowymiarowym, w którym elementy technologiczne, eksploatacyjne i kulturowe tworzą integralny system ochrony przed zagrożeniami. Analiza poszczególnych wymiarów wskazuje, że skuteczna strategia bezpieczeństwa nie może ograniczać się wyłącznie do jednego z tych aspektów – wymaga zintegrowanego podejścia, obejmującego zarówno konstrukcję i technologię magazynów, jak i organizację pracy oraz postawy personelu.

W wymiarze technologicznym kluczowe znaczenie ma dobór odpowiednich rozwiązań magazynowania energii, ich właściwa eksploatacja oraz wdrożenie systemów monitoringu i ochrony. Technologie takie jak baterie litowo-jonowe, przepływowo czy hybrydowe różnią się charakterystyką ryzyka, a skuteczna prewencja awarii wymaga stosowania nowoczesnych systemów zarządzania bateriami (BMS), termoregulacji, redundancji modułów oraz systemów wykrywania pożaru i gazów. Integracja tych rozwiązań zwiększa odporność technologiczną magazynów i redukuje prawdopodobieństwo poważnych awarii.

W wymiarze użytkowym istotną rolę odgrywa organizacja pracy i procedury operacyjne, które systematyzują codzienną obsługę, konserwację i monitorowanie. Rola czynnika ludzkiego w bezpieczeństwie magazynów energii jest nie do przecenienia – kompetentny, świadomy personel minimalizuje ryzyko błędów, a jednocześnie może skutecznie reagować w sytuacjach awaryjnych. Plany awaryjne, scenariusze kryzysowe oraz współpraca z lokalnymi służbami ratowniczymi pozwalają na szybką izolację zagrożenia, ograniczenie skutków awarii i zapewnienie bezpieczeństwa ludzi oraz środowiska.

Kultura bezpieczeństwa uzupełnia aspekty technologiczne i użytkowe, tworząc środowisko sprzyjające świadomej, odpowiedzialnej i proaktywnej postawie wszystkich uczestników procesu eksploatacji. Świadomość zagrożeń, przestrzeganie procedur, indywidualna odpowiedzialność, otwarta komunikacja, uczenie się na błędach oraz proaktywne podejście do identyfikacji ryzyka stają się fundamentem strategii bezpieczeństwa, który zapewnia nie tylko prewencję awarii, ale także ciągłe doskonalenie procesów operacyjnych.

Zintegrowane podejście do bezpieczeństwa magazynów energii elektrycznej wymaga harmonizacji trzech wymiarów: technologicznego, użytkowego i kultury bezpieczeństwa. Tylko poprzez połączenie nowoczesnych technologii, efektywnej organizacji pracy oraz świadomej i odpowiedzialnej postawy personelu można osiągnąć wysoki poziom bezpieczeństwa, zapewniając niezawodność, minimalizację ryzyka i trwałą ochronę ludzi, infrastruktury i środowiska.

Magazyn energii nie jest jedynie urządzeniem technicznym – jest elementem infrastruktury krytycznej, łączącym generację z konsumpcją energii w nowoczesnym, zdecentralizowanym systemie elektroenergetycznym. Jego bezpieczna eksploatacja stanowi warunek stabilności i odporności całego systemu energetycznego.

## **BIBLIOGRAFIA**

- [1] Lisbona, D., Snee, T., A review of hazards associated with primary lithium and lithium-ion batteries, *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 89, 2011.
- [2] Sandia National Laboratories, *Energy Storage System Safety Roadmap 2020*.
- [3] Reason, J., *Human Error*, Cambridge University Press, 1990.
- [4] PN-EN 62485-2:2018, *Bezpieczeństwo akumulatorów i instalacji bateryjnych – Część 2: Wymagania dotyczące akumulatorów stacjonarnych*.
- [5] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2019/941 z dnia 5 czerwca 2019 r. w sprawie gotowości na wypadek zagrożeń w sektorze energii elektrycznej.
- [6] Dyrektywa 2006/66/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 6 września 2006 r. w sprawie baterii i akumulatorów oraz zużytych baterii i akumulatorów. International Nuclear Safety Advisory Group (INSAG), *Summary Report on the Post-Accident Review Meeting on the Chernobyl Accident*, IAEA, Vienna, 1986.
- [7] Hudson, P., *Safety Culture – Theory and Practice*, Safety Science, vol. 45, 2007.



# 4en S.A. polska technologia magazynowania energii elektrycznej



Data: 04-2026

## Grupa WB - technologia, nowoczesność, bezpieczeństwo



- PNS** WB GROUP
- AREX** WB GROUP
- POLCAM** WB GROUP
- RADMOR** WB GROUP
- WB INDIA** WB GROUP
- FLYTRONIC** WB GROUP
- MINDMADE** WB GROUP
- WB AMERICA** WB GROUP
- WB UKRAINE** WB GROUP
- WB MIDDLE EAST** WB GROUP
- WB ELECTRONICS** WB GROUP
- WBE TECHNOLOGIES** WB GROUP
- MECHANIKA RADMOR** WB GROUP
- GALWANIZERNA RADMOR** WB GROUP
- DELTA-WB** WB GROUP



Bezpieczeństwo państwa

Bezpieczeństwo publiczne



Bezpieczeństwo energetyczne

Bezpieczeństwo infrastrukturalne



4en S.A.  
ul. Komunyści 3  
00-647 Warszawa  
NIP: PL 701 108 60 49

Źródło: Ministerstwo Klimatu i Środowiska – portal gov.pl

### Rodzaje magazynów

- [Elektrownie Szczytowo-Pompowe](#)
- [Magazyny bateryjne – akumulatory](#)
- [Magazyny wodoru](#)

Magazyny energii różniamy ze względu na ich wielkość (prywatne i przemysłowe) oraz wykorzystywane technologie, wśród których główne to: baterie elektrochemiczne, elektrownie szczytowo-pompowe, superkondensatory, ogniwa paliwowe, nadprzewodnikowe zasobniki energii, kinetyczne i pneumatyczne zasobniki energii, zasobniki skroplonego powietrza, zasobniki wykorzystujące pompy ciepła oraz magazyny wodoru.



Ministerstwo  
Klimatu i Środowiska



**4en.**  
www.4-en.com

4en S.A.  
ul. Konstytucji 3  
00-647 Warszawa  
NIP: PL 703 108 60 49

Źródło: Ministerstwo Klimatu i Środowiska – portal gov.pl

Obecnie największą zainstalowaną moc w magazynach energii elektrycznej na terytorium Polski przypada na elektrownie szczytowo-pompowe (1767,6 MW).

Jednak, zdaniem MKiŚ, potencjał rozwoju tkwi przede wszystkim w powstających bateryjnych magazynach energii elektrycznej (BME).

W ramach polsko-japońskiego projektu wspieranego przez MKiŚ powstał największy hybrydowy magazyn energii elektrycznej o mocy 6 MW zlokalizowany na farmie wiatrowej Bystra.

#### Uruchomiono następujące BME:

Puck 750 kW (Energia Operator), Rzepedź 2,1 MW (PGE); Garbce 5.5 MW (PKP Energetyka); Lubachów 500 kW (Tauron); Wielka Wieś 50 kW (Tauron), Góra Żar 500 kW (PGE).

Ponadto ok. 16 MW jest zainstalowanych w tzw. magazynach przemysłowych (zastępujących agregaty Diesla).

**Łączna moc zainstalowana w stacjonarnych bateryjnych magazynach energii wynosi obecnie ok. 32 MW.**

#### Planuje się następujące BME:

Cieszanowicach 3,16 MW (Tauron Dystrybucja), w Czernikowie 1 MW (Energia Operator), Żarnowcu 205 MW (PGE).

Ponadto PGE deklaruje osiągnięcie do 2030 r. 800 MW mocy magazynów a PKP Energetyka do 2027 r. planuje uruchomić magazyny energii o mocy 600 MW.

Według szacunków PIME obecnie w Polsce działa około 7 tys. przydomowych magazynów o łącznej mocy 27,5 MW i pojemności ok. 55 MWh.



Ministerstwo  
Klimatu i Środowiska



**4en.**  
www.4-en.com

4en S.A.  
ul. Konstytucji 3  
00-647 Warszawa  
NIP: PL 703 108 60 49

Źródło: Ministerstwo Klimatu i Środowiska – portal gov.pl, Grafika: Gemini



## MAPA KSE

Mapa prezentuje planowe i chwilowe przepływy mocy na przekrojach handlowych

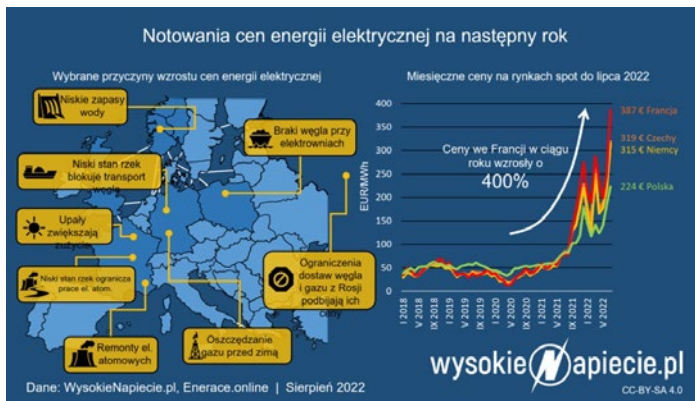


Dzień		Noc	
ZAPOTRZEBOWANIE (MW)	19 306	ZAPOTRZEBOWANIE (MW)	14 665
GENERACJA (MW)	23 805	GENERACJA (MW)	19 434
z ciepła	13 814	z ciepła	12 635
z wiatru	52	z wiatru	131
z węgla	1 254	z węgla	2 787
z fotowoltaiki	8 739	z fotowoltaiki	9
z innych odnawialnych	0	z innych odnawialnych	0
SALDO WYMIANY CALOKWARTU (MW)	4 502	SALDO WYMIANY CALOKWARTU (MW)	1 726
EXPORT	85 008	IMPORT	83 282
EXPORTOWALCÓW (MW)	85 008	IMPORTOWALCÓW (MW)	83 282

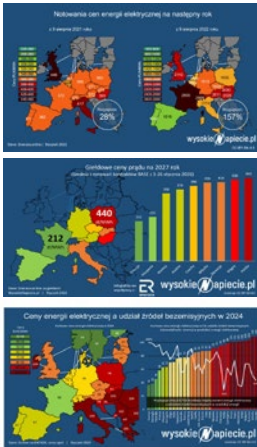
→	Export
←	Import
WR	Wymiana równoległa - plan i wykonanie
WNR	Wymiana nierównoległa - plan i wykonanie
CZ	Przekrój handlowy polsko-czeski
SK	Przekrój handlowy polsko-słowacki
DE	Przekrój handlowy polsko-niemiecki
LT	Przekrój handlowy polsko-łotewski
UA	Przekrój handlowy polsko-ukraiński
SE HVDC	Przekrój handlowy polsko-szwedzki (połączenie prądu stałego Polska-Szwecja)



Źródło: PSE – www.pse.pl

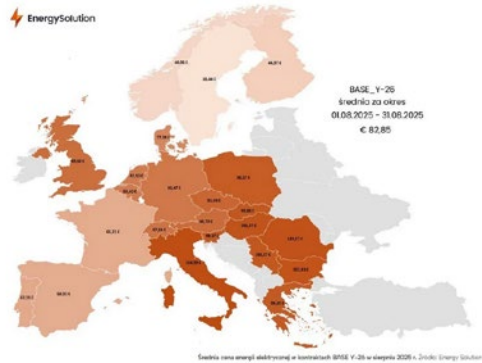


Źródło: wysokie napięcie.pl



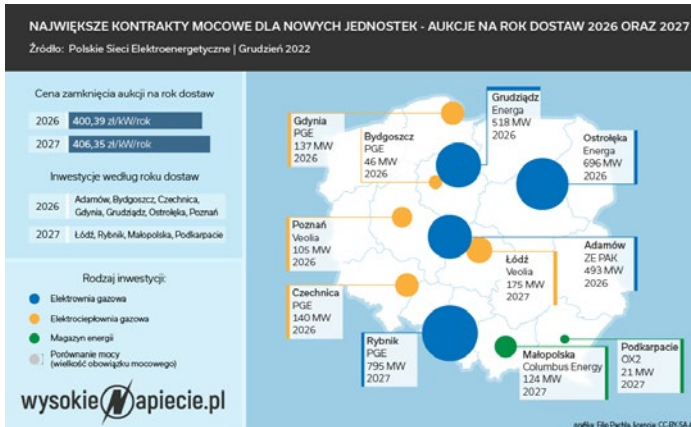
Źródło: wysokie napiecie.pl

EnergySolution



www.4-en.com

4en S.A.  
pl. Konstytucji 3  
00-647 Warszawa  
NIP: PL 701 108 60 49



Źródło: wysokie napiecie.pl

www.4-en.com

4en S.A.  
pl. Konstytucji 3  
00-647 Warszawa  
NIP: PL 701 108 60 49



## Spółka 4en S.A. :

- powstała na bazie dotychczasowych doświadczeń i osiągnięć polskich firm Grupy WB w obszarze bezpiecznej energetyki,

- prowadzi rozwój w strategicznych kierunkach:

- Magazyny energii z wykorzystaniem źródeł OZE
- E- Mobility
- Sprzedaż i zarządzanie energią zmagazynowaną,

- działa na rynku zdefiniowanym jako: energetyka zawodowa, farmy fotowoltaiczne, farmy wiatrowe, biogazownie, podmioty wymagające: stabilizacji zużywanej energii elektrycznej, bezprzerwowej dostawy energii elektrycznej, system ładowania pojazdów elektrycznych,

- koncentruje swoje działania na obszarze Polski, krajów EU, Ukrainy,

- realizuje założoną strategię magazynowania energii elektrycznej poprzez: skoordynowane działania z kluczowymi podmiotami umiejscowionymi na rynku energetycznym, współpracę z branżowymi biurami projektowymi, opracowywanie systemów technologicznych w ramach Grupy WB oraz wielokierunkowe działania marketingowe.

Źródło: 4en S.A.



4en S.A.  
pl. Konstytucji 3  
00-647 Warszawa  
NIP: PL 701 108 60 49

- (TSO) Operatorzy Systemów Przesyłowych
  - Usługi sieciowe takie jak rezerwa interwencyjna, usługi regulacyjne
- (DSO) Operatorzy Systemów Dystrybucji
  - bilansowanie systemu w tym regulacja pracy sieci (zarządzanie przepływami energii elektrycznej 110kV), ciągłość i niezawodność dostarczania energii
- Producenci energii
  - praca szczytowa stabilizacja OZE i usługi regulacyjne, jednostka rynku mocy
- Przedsiębiorstwa obrotu energią elektryczną
  - Arbitraż cenowy, rynek bilansujący
- Agregatorzy
  - Usługi systemowe dla OSP, usługi regulacyjne dla OSP
- Odbiorcy
  - Gwarantowane zasilanie, gwarantowane parametry energii, jednostka rynku mocy DSR
- Klastry energii
  - Bilansowanie lokalne, Usługi regulacyjne
- Operatorzy stacji ładowania pojazdów
  - Alternatywa dla rozbudowy sieci, usługi regulacyjne i systemowe

Źródło: 4en S.A.



4en S.A.  
pl. Konstytucji 3  
00-647 Warszawa  
NIP: PL 701 108 60 49

### 4en. Produkty FlexPower

Moc: 50kW AC  
Pojemność: 130kWh  
Podłączenie: 3x400AC  
Wymiary: 1.5 x 1.5 x 2.2m



Moc: 50kW AC  
Pojemność: 100kWh  
Podłączenie: 3x400AC  
Wymiary: 1.2 x 1.7 x 2.1m

Moc: 50kW DC  
Pojemność: 130kWh  
Podłączenie: 300 + 480DC  
Wymiary: 0.7 x 1.0 x 1.2m



Moc: 50kW DC  
Pojemność: 130kWh  
Podłączenie: 300 + 960DC  
Wymiary: 1.5 x 1.5 x 2.2m

Moc: 125kW DC  
Pojemność: 320kWh  
Podłączenie: 600 + 1200DC  
Wymiary: 1.5 x 2.4 x 2.8m



Moc: 250kW DC  
Pojemność: 500kWh  
Podłączenie: 600 + 1000DC  
Wymiary: 2.8 x 2.4 x 2.8m

Confidential

### FlexBattery moduły bateryjne



4en S.A.  
ul. Konstytucji 3  
00-647 Warszawa  
NIP: PL 703 108 60 49

Źródło: 4en S.A.



Moc: 50kW AC  
Pojemność: 130kWh  
Podłączenie: 3x400AC  
Wymiary: 1.5 x 1.5 x 2.2m

Praca w układzie kondycjonowania termicznego (freecooling)



Źródło: 4en S.A.



4en S.A.  
ul. Konstytucji 3  
00-647 Warszawa  
NIP: PL 703 108 60 49

## 4en S.A. - system magazynowy energii elektrycznej FlexPower - technologia ogniw pryzmatycznych w zabudowie zewnętrznej



Źródło: 4en S.A.

## 4en S.A. - magazyn przemysłowy FlexPower D (FPD)



Moc: 660kW DC

Pojemność: do 1543kWh

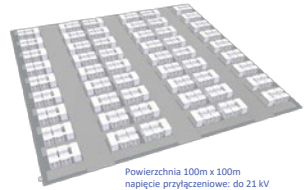
Podłączenie: 640 + 930DC

Wymiary: 2.9 x 2.4 x 2.9m

- Zabudowany układ kondycjonowania termicznego (pompa ciepła + freecooling). Przekształtniki 4en lub zewnętrzne np. SMA.

Źródło: 4en S.A.

## 4en S.A. - magazyn przemysłowy FlexPower D (FPD)



Powierzchnia 100m x 100m  
 napięcie przyłączeniowe: do 21 kV  
 pojemność: do 333 MWh  
 moc: do 135 MW  
 54 jednostki FEM 6-2.5-21



Źródło: 4en S.A., Gemini

## 4en S.A. - kompleksowe zarządzanie systemowe FPSM\*



\* FlexPower System Management

Źródło: 4en S.A.

Elementy systemu objęte zakresem dostaw Grupy WB



Wizualizacja zarządzania lokalnym obszarem energetycznym

Źródło: 4en S.A.

**4en.**  
www.4-en.com

4en S.A.  
pl. Konstytucji 3  
00-647 Warszawa  
NIP: PL 701 108 60 49

# www.4-en.com



Źródło: 4en S.A.

**4en.**  
www.4-en.com

4en S.A.  
pl. Konstytucji 3  
00-647 Warszawa  
NIP: PL 701 108 60 49



Efektywne magazynowanie energii elektrycznej to konieczna rzeczywistość

## 4en S.A. – zapraszamy do współpracy

Źródło: 4en S.A., Źródło zdjęć: © Unsplash

  
www.4-en.com

4en S.A.  
ul. Konstytucji 3  
00-647 Warszawa  
NIP: PL 703 108 60 49



Dziękuję za uwagę: Tadeusz Borucini  +48 785 003 61  t.borucinski@wb.com.pl, konferencja AREX - Jurata 2026.04.22-24

  
www.4-en.com

4en S.A.  
ul. Konstytucji 3  
00-647 Warszawa  
NIP: PL 703 108 60 49





**Opracowanie i wdrożenie produkcji innowacyjnego  
odłącznika prądu stałego dla magazynów energii,  
na podstawie doświadczeń zdobytych  
w energetyce kolejowej.**

Tomasz Cisak  
Właściciel ELTOM



## **Opracowanie i wdrożenie do produkcji w firmie ELTOM innowacyjnego odłącznika prądu stałego dla magazynów energii na podstawie doświadczeń zdobytych w energetyce kolejowej**

Dynamiczny rozwój systemów magazynowania energii (BESS – Battery Energy Storage Systems) oraz ich rosnące znaczenie w stabilizacji pracy sieci elektroenergetycznych wymuszają opracowanie aparatury łączeniowej o podwyższonych parametrach znamionowych i zwarciovych. Szczególnym wyzwaniem jest projektowanie odłączników prądu stałego, które – w odróżnieniu od aparatów prądu przemiennego – nie korzystają z naturalnych przejść prądu przez zero, co istotnie utrudnia proces wyłączania oraz zwiększa wymagania w zakresie konstrukcji torów prądowych i układów stykowych.

### **1. Uzasadnienie potrzeby opracowania nowego rozwiązania**

Na potrzeby jednego z liderów rynku magazynów energii zdefiniowano wymagania techniczne dla odłącznika prądu stałego o następujących parametrach:

- prąd znamionowy: 4000 A,
- napięcie znamionowe: 1800 V DC,
- prąd zwarciovych: 280 kA,
- czas trwania zwarcia: 30 ms,
- klasa trwałości mechanicznej: M2.

Tak wysokie wartości prądów zwarciovych generują ekstremalne oddziaływania elektrodynamiczne oraz znaczne obciążenia cieplne, co wymaga zastosowania odpowiednio zwymiarowanych torów prądowych, wysokiej jakości materiałów przewodzących oraz wzmocnionej konstrukcji mechanicznej. Dodatkowo, wymagana klasa M2 implikuje dużą liczbę cykli łączeniowych przy zachowaniu stabilnych parametrów eksploatacyjnych.

### **2. Analiza istniejących rozwiązań konstrukcyjnych**

W ramach prac koncepcyjnych przeprowadzono analizę istniejących aparatów produkowanych przez firmę ELTOM, w tym konstrukcji typu OWPS, ODEL, OWI oraz NRT. Analizie poddano w szczególności:

- przekroje i konfiguracje torów prądowych,
- materiały stykowe i ich odporność na erozję łukową,
- sztywność mechaniczną konstrukcji,
- zdolność do przenoszenia sił elektrodynamicznych,
- możliwości skalowania parametrów znamionowych.

Konstrukcje typu ODEL i OWI, mimo poprawnych właściwości eksploatacyjnych, nie spełniały wymagań w zakresie zdolności zwarciovych bez istotnej ingerencji w geometrię torów prądowych. Aparaty typu NRT charakteryzowały się wysokim stopniem zaawansowania, jednak ich złożoność konstrukcyjna oraz wysoki koszt wytwarzania ograniczały ich przydatność w projektowanym zastosowaniu.

Najbardziej optymalnym rozwiązaniem okazał się odłącznik typu OWPS, który dzięki swojej modułowej budowie, dużym przekrojom torów prądowych oraz sprawdzonej eksploatacyjnie konstrukcji w energetyce kolejowej stanowił dobrą bazę do dalszej adaptacji.

### 3. Prace projektowe i adaptacja konstrukcji OWPS

Proces projektowy obejmował dostosowanie konstrukcji OWPS do pracy w warunkach wysokich prądów stałych oraz zwiększonych obciążeń zwarciovych. Kluczowe obszary optymalizacji obejmowały:

- **Tor prądowy** – zwiększenie efektywnego przekroju przewodzącego poprzez zastosowanie materiałów o wysokiej przewodności (Cu-ETP) oraz optymalizację geometrii w celu minimalizacji rezystancji przejścia i strat ciepłych.
- **Układ stykowy** – zastosowanie materiałów stykowych o podwyższonej odporności na erozję elektryczną i zgrzewanie (np. stopy srebra), a także optymalizacja docisku styków.
- **Wytrzymałość mechaniczna** – analiza MES (Metoda Elementów Skończonych) w zakresie oddziaływań elektrodynamicznych oraz wzmocnienie konstrukcji nośnej w celu ograniczenia odkształceń.
- **Układ izolacyjny** – zwiększenie odstępów izolacyjnych oraz dobór materiałów o wysokiej wytrzymałości dielektrycznej, dostosowanych do napięcia 1800 V DC.
- **Odprowadzanie ciepła** – poprawa warunków chłodzenia poprzez zwiększenie powierzchni wymiany ciepła oraz optymalizację układu przewodzenia.

W procesie projektowym wykorzystano zarówno symulacje numeryczne, jak i doświadczenie eksploatacyjne z sektora trakcyjnego, gdzie aparaty pracują w warunkach wysokich przeciążeń dynamicznych.

### 4. Budowa i weryfikacja prototypu

Na podstawie opracowanej dokumentacji konstrukcyjnej wykonano prototyp urządzenia. Proces wytwarzania obejmował precyzyjną obróbkę skrawaniem elementów torów prądowych oraz produkcję elementów izolacyjnych.

Prototyp poddano badaniom wstępnym obejmującym:

- pomiary rezystancji toru prądowego,
- testy nagrzewania,
- weryfikację poprawności działania mechanizmu łączeniowego.

### 5. Badania typu w IPH GmbH w Berlinie

W celu potwierdzenia parametrów znamionowych przeprowadzono badania typu w akredytowanym laboratorium Institute Pruffeld für elektrische Hochleistungstechnik GmbH w Berlinie należącego do Kema Labs. Zakres badań obejmował próby zwarciove przy prądzie 280 kA oraz testy wytrzymałości mechanicznej.

Pierwsza seria badań zakończyła się wynikiem negatywnym, co wskazało na niedostateczną odporność konstrukcji na siły elektrodynamiczne generowane podczas zwarcia.

Zidentyfikowano lokalne odkształcenia elementów toru prądowego oraz niewystarczającą sztywność układu mocowania.

## **6. Modyfikacje konstrukcyjne**

Na podstawie analizy wyników badań przeprowadzono optymalizację konstrukcji obejmującą:

- zwiększenie przekrojów wybranych elementów przewodzących,
- wzmocnienie punktów mocowania,
- zmianę geometrii torów prądowych w celu redukcji sił elektrodynamicznych,
- zastosowanie materiałów o wyższej wytrzymałości mechanicznej,
- poprawę układu docisku styków.

Wprowadzono również zmiany w układzie izolacyjnym oraz zoptymalizowano rozkład pól elektrycznych.

## **7. Powtórne badania – walidacja rozwiązania**

Zmodyfikowany prototyp poddano ponownym badaniom w instytucie KEMA. W drugiej serii testów urządzenie spełniło wszystkie wymagania normatywne i kontraktowe, w tym:

- wytrzymałość zwarciovą na poziomie 280 kA / 30 ms,
- stabilność mechaniczną,
- spełnienie wymagań klasy M2.

Uzyskane wyniki potwierdziły poprawność przyjętych założeń projektowych oraz skuteczność wprowadzonych modyfikacji.

## **8. Wdrożenie do produkcji seryjnej**

Po zakończeniu etapu walidacji przystąpiono do industrializacji rozwiązania. Proces wdrożenia obejmował:

- rozbudowę parku maszynowego,
- wdrożenie nowych technologii obróbki,
- optymalizację procesów produkcyjnych.

Istotnym aspektem była wysoka integracja pionowa produkcji – ponad 90% komponentów wytwarzanych jest w kraju, a większość bezpośrednio w zakładach ELTOM. Obejmuje to produkcję izolatorów, obróbkę CNC. Taki model produkcji zapewnia wysoką kontrolę jakości oraz odporność na zakłócenia w globalnych łańcuchach dostaw.

## **9. Skalowanie produkcji i wzrost zamówień**

Po wdrożeniu do produkcji seryjnej odnotowano dynamiczny wzrost zapotrzebowania na urządzenie. Wolumen produkcji wzrósł z poziomu kilkunastu sztuk miesięcznie do kilkuset sztuk miesięcznie, co potwierdza trafność przyjętych założeń projektowych oraz dopasowanie produktu do potrzeb rynku.

## **10. Eksploatacja i niezawodność**

Eksploatacja urządzeń w rzeczywistych warunkach potwierdziła ich wysoką niezawodność. Wskaźnik reklamacji utrzymuje się na bardzo niskim poziomie – w ostatnim roku odnotowano jedynie kilkanaście przypadków drobnych usterek, co przy dużej skali produkcji świadczy o wysokiej jakości konstrukcji oraz stabilności procesu wytwarzania.

Projekt stanowi przykład efektywnego transferu technologii z sektora energetyki kolejowej do obszaru magazynowania energii. Wykorzystanie sprawdzonych rozwiązań konstrukcyjnych, wsparte analizami numerycznymi oraz badaniami typu, umożliwiło opracowanie odłącznika prądu stałego o najwyższych parametrach znamionowych i eksploatacyjnych. Osiągnięty sukces techniczny i komercyjny potwierdza zasadność przyjętej strategii rozwoju produktu.



**SEMS Rail**  
**Alternatywne źródło zasilania**  
**dla urządzeń automatyki kolejowej SRK.**

Oskar Kreft  
Dyrektor Pionu e-Konwersji  
ZAiUP AREX Sp. z o.o.



## **SEMSRail**

### **Alternatywne źródło zasilania dla urządzeń automatyki kolejowej SRK**

Oskar Kreft, Dyrektor Rynku e-Konwersji, ZAiUP AREX Sp. z o.o.

#### **Wstęp**

Niezawodność zasilania urządzeń sterowania ruchem kolejowym (SRK) stanowi jeden z kluczowych elementów bezpieczeństwa transportu kolejowego. Obecnie stosowane systemy awaryjnego zasilania, oparte na akumulatorach kwasowo-ołowiowych i agregatach spalinowych, nie zapewniają wystarczającej kontroli i niezawodności. Artykuł przedstawia koncepcję wykorzystania magazynów energii LFP wraz z systemem zdalnego nadzoru jako alternatywy dla obecnych rozwiązań.

Urządzenia automatyki kolejowej SRK wymagają ciągłego i stabilnego zasilania, niezależnie od warunków pracy sieci elektroenergetycznej. Obecne systemy redundancji, choć powszechnie stosowane, często nie spełniają rosnących wymagań w zakresie bezpieczeństwa i niezawodności. Podstawę zasilania stanowią dwie linie potrzeb nietrakcyjnych (LPN).

W przypadku ich awarii stosuje się akumulatorownie z akumulatorami kwasowo-ołowiowymi oraz agregaty spalinowe. Rozwiązania te, mimo swojej dostępności, wykazują istotne ograniczenia eksploatacyjne. Celem referatu jest przedstawienie koncepcji modernizacji systemów zasilania SRK poprzez zastosowanie magazynów energii LFP oraz wdrożenie systemów zdalnego nadzoru.

#### **Obecny stan zasilania SRK**

Systemy zasilania SRK opierają się na dwóch liniach LPN oraz źródłach rezerwowych: akumulatorach kwasowo-ołowiowych i agregatach spalinowych. Zapewnia to podstawową redundancję, jednak brak monitoringu w czasie rzeczywistym powoduje istotne ryzyka.

Najważniejsze problemy to:

- brak informacji o stanie naładowania akumulatorów,
- brak kontroli paliwa w agregatach,
- opóźniona reakcja na awarie.

W konsekwencji system rezerwowy może nie zadziałać w sytuacji krytycznej.

## Problemy eksploatacyjne

Główne ograniczenia obecnych rozwiązań obejmują:

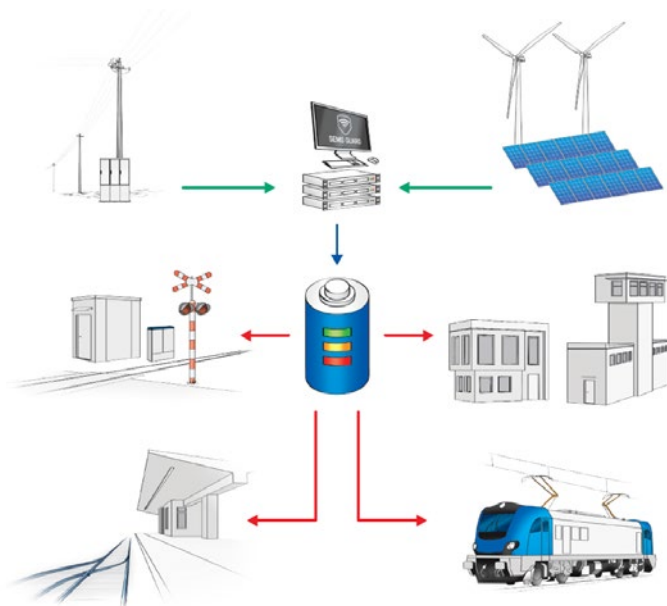
1. **Krótką żywotność akumulatorów** (np. AGM 500–800 cykli),
2. **Niska efektywność energetyczna** (70–80%),
3. **Ograniczona głębokość rozładowania** (ok. 50%),
4. **Brak automatycznego nadzoru,**
5. **Wysokie koszty i ryzyko awarii agregatów spalinowych.**

Czynniki te obniżają niezawodność zasilania systemów SRK.

## Koncepcja systemu SEMSRail

Rozwiązanie SEMSRail zakłada modernizację poprzez:

- zastosowanie nowoczesnych rozdzielnic SRK,
- wdrożenie magazynów energii LFP,
- integrację systemu zdalnego nadzoru.



Zdjęcie 1: SEMSRail – system zasilania urządzeń stacyjnych z energią odnawialną.

System działa jako inteligentny układ zarządzania energią, reagujący automatycznie na zmiany dostępności zasilania i umożliwiający bieżący monitoring.

## Magazyny energii LFP

Technologia LFP oferuje istotne przewagi nad akumulatorami kwasowo-ołowiowymi:

- gęstość energii: 120–200 Wh/kg (AGM: 30–50 Wh/kg),
- cykl życia: 6000–8000 cykli (AGM: 500–800 cykli),
- sprawność: 90–99% (AGM: 70–80%),
- głębokość rozładowania: 80–90% (AGM: ok. 50%),
- samorozładowanie: ok. 1% miesięcznie (AGM: ok. 5%).

Dodatkowo możliwe jest szybkie ładowanie, co zwiększa gotowość systemu do pracy.



Zdjęcie 2: Moduł magazynu energii współpracujący z systemem SEMSRail wykonany jest w postaci kaset w standardzie RACK 19”.

## **System zdalnego nadzoru**

Kluczowym elementem systemu SEMSRail jest monitoring umożliwiający:

- kontrolę stanu baterii,
- analizę parametrów pracy,
- wykrywanie awarii w czasie rzeczywistym,
- generowanie alarmów.

Pozwala to przejść z modelu reaktywnego do predykcyjnego zarządzania infrastrukturą.

## **Zastosowania w infrastrukturze kolejowej**

Magazyny energii mogą być stosowane także w innych obszarach:

- przejazdy kolejowe (sygnalizacja),
- perony pasażerskie (oświetlenie, systemy informacji),
- nastawnie i centra sterowania ruchem,
- podstacje trakcyjne (rekuperacja energii i wsparcie mocy).

Dodatkowo tam gdzie jest to uzasadnione możliwa jest integracja z instalacjami PV, co pozwala obniżyć koszty energii elektrycznej.

## **Aspekty technologiczne i bezpieczeństwo**

Firma AREX projektuje własne systemy zarządzania energią – od poziomu ogniw bateryjnych po układy przekształtnikowe oraz EMS. Zapewnia to:

- dopasowanie do potrzeb klienta,
- pełną kontrolę nad systemem,
- wysoki poziom cyberbezpieczeństwa.

Współpraca z firmą Olikol Rail Energy umożliwia integrację z systemami SRK i dostarczenie kompleksowego rozwiązania.

## **Podsumowanie**

Obecne systemy zasilania SRK nie spełniają w pełni wymagań niezawodności i monitorowania. Technologia LFP wraz z systemem zdalnego nadzoru stanowi nowoczesną alternatywę.

Koncepcja SEMSRail zwiększa bezpieczeństwo, ogranicza koszty i umożliwia rozwój inteligentnej infrastruktury kolejowej, także w połączeniu z OZE i systemami trakcyjnymi.

## **Informacja o autorze**

Oskar Kreft, Dyrektor Rynku e-Konwersji, ZAiUPAREX Sp. z o.o., urodzony w Gdyni w 1990 r. Absolwent Wydziału Elektrotechniki i Automatyki na Politechnice Gdańskiej. Jest związany z ZAiUPAREX Sp. z o.o. od 2014 roku, gdzie początkowo odpowiadał za rozwój rozwiązań elektroenergetycznych dla rynku kolejowego. Zarządzał realizacją szeregu projektów związanych m.in. z alternatywnymi sposobami elektrycznego ogrzewania rozjazdów kolejowych, opracowaniem elektrycznego napędu do platform mobilnych czy autoadaptacyjnych układów szybkiego i ultraszybkiego ładowania pojazdów elektrycznych. Obecnie jako Dyrektor Rynku e-Konwersji odpowiada za wdrożenie i sprzedaż produktów związanych z infrastrukturą ładowania pojazdów elektrycznych oraz systemów magazynowania i zarządzania energią elektryczną. Jest również współautorem kilku publikacji związanych ze sterowaniem i innowacyjnymi zastosowaniami napędów elektrycznych oraz układami zarządzania energią elektryczną.



**ART-ENERGY Artur  
Wachtarczyk**

**Prototyp sieci neuronowej do sterowania  
ogrzewaniem rozjazdów kolejowych.**

Artur Wachtarczyk  
Właściciel ART-ENERGY



# **Prototyp sieci neuronowej do sterowania ogrzewaniem rozjazdów kolejowych**

**Artur Wachtarczyk, ART-ENERGY**

**Słowa kluczowe:** artificial intelligence, deep learning, railway turnout heating system

## **1 Wprowadzenie**

Systemy sterowania ogrzewaniem rozjazdów kolejowych, umożliwiają zdalne i automatyczne zarządzanie temperaturą grzejników elektrycznych w rozjazdach, zapobiegając ich zamarzaniu. Systemy te integrują się z lokalnymi czujnikami temperatury, a także systemami nadrzędnymi (np. centrum dyspozytorskim), pozwalając na monitorowanie stanu rozjazdów i zdalne sterowanie funkcjami ogrzewania. Współpracują z systemami monitoringu położenia zwrotnic i mogą współpracować z urządzeniami innych producentów. W publikacji zaprezentowano prototyp sieci neuronowej, która na podstawie czujników zainstalowanych w rzeczywistym systemie, steruje stanami pracy jego grzejników. Sieć ta została wytrenowana, zwalidowana i przetestowana. Prototyp względem wartości docelowych pracuje z satysfakcjonującą zbieżnością, która nadal może być zoptymalizowana. Oznacza to, że projekt sieci neuronowej dla tego typu systemów został zakończony powodzeniem, a same wyniki są warte przedstawienia w szerszym gronie w celu otwarcia dyskusji nad wprowadzeniem tego typu sterowania w szerszej niż dotychczas perspektywie.

## **Dane pomiarowe w analizie predykcyjnej**

Urządzenia eor mogą być sterowane:

- ręcznie (w trybie lokalnym lub zdalnym), sterowanie to polega na bezpośrednim ręcznym załączeniu i wyłączeniu urządzeń przez obsługę posterunku ruchu, na podstawie subiektywnej oceny warunków pogodowych oraz natężenia ruchu pociągów,
- automatycznie (w trybie lokalnym lub zdalnym), sterowanie automatyczne polega na załączeniu i wyłączeniu urządzeń na podstawie warunków pogodowych analizowanych przez automat pogodowy w zależności od danych zebranych z czujników lub sterownika pogodowego (eor) [1].

Dla urządzeń eor wymagany jest poszerzony zakres przesyłania danych:

- informacje dotyczące napięcia fazowego i międzyfazowego,
- moce pobierane w poszczególnych obwodach
- temperatura szyny ogrzewanej,
- temperatura szyny nieogrzewanej,
- temperatura zamknięcia (opcja),

- wykrycie śniegu przez czujnik śniegu nawiewanego,
- wykrycie wilgoci przez czujnik wilgoci.

System monitoringu urządzeń elektroenergetyki kolejowej SMUE, pozwala na bieżący podgląd parametrów pracy urządzeń oraz umożliwia zbieranie (archiwizowanie) danych.

Dane do badań pozyskano z urządzenia pomiarowego eor na jednej ze stacji kolejowych w woj. małopolskim. Analizę prowadzono na zebranych danych pomiarowych (dane źródłowe) z okresu 30 dni okresu zimowego – styczeń 2013 r. Pozyskano w ten sposób blisko 12 tysięcy (rekordów) odczytów.

Dane te, przedstawione na Rys.1, mają charakter „mieszany” w postaci danych źródłowych i kodów, obejmujących:

- data i godzina (kolumny A i B), przeliczono te odczyty na narastające odstępy czasowe (kolumna C), a następnie wyliczono różnice pomiędzy poszczególnymi odczytami sprowadzając je do jednolitych jednostek (sekund – kolumna H),
- dopisano z danych pomiarowych sterownika rozdzielnic parametr załączenia grzałek; parametr binarny 0 / 1 (kolumna D),
- dane dotyczące temperatury zewnętrznej, temperatury szyny zimnej i temperatury szyny ogrzanej podane są w st. Celsjusza (kolumny E, F, G),
- stan wykrycia opadów śniegu oraz wykrycia wilgoci (kolumny I oraz J) podane są w formie liczbowej w zakresie od 0 do 7; gdzie poszczególne cyfry oznaczają:

„0” oznacza brak wykrytego śniegu,

„1” to śnieg wypadkowy, zawiera w sobie wszystkie pomiary własne i nadesłane przez sterownik nadrzędny rozdzielnic,

„2” to śnieg wykryty przez przetwornik pogodowy,

„4” to śnieg wykryty na podstawie wilgoci i prognozy temperatury,

cyfry „3”, „5”, „6” i „7” są odpowiednio sumą arytmetyczną ww. cyfr „0”, „1”, „2” i „4” np. wartość „3” to śnieg wykryty z powodów „1” i „2”.

Tak duża złożoność i różnorodność danych wymagała ich dalszej obróbki oraz sprowadzenia „do wspólnego mianownika”, co umożliwiło ich dalszą obróbkę:

- nieregularne odczyty, za pomocą stworzonego algorytmu podzielono na odczyty o jednakowych jednosekundowych odstępach czasowych,
- dane o wykryciu śniegu i wilgoci zamieniono na postać binarną.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	dd:mc:rok	godz:mins	nrastajaco	[0/1]	[°C]	[°C]	[°C]	[kWh/d]		
2	Data	Czas	przyrost_oz	zalatzenie_o	Temp_powietrz	Temp_szynyzi	Temp_szyny_	przyrost_s	Stan wykrycia	Stan wykrycia
			asu	grzewania	za	miwej	ogrzewanej		sniegu	wilgoci
100	02.01.2013	10:00:00	00:08:53	0	1,2	0,1	2	533,000	0	0
101	02.01.2013	10:00:30	00:00:30	0	1,1	0,1	2,1	30,000	0	0
102	02.01.2013	10:07:55	00:07:25	0	1,2	0,3	1,8	445,000	0	3
103	02.01.2013	10:08:25	00:00:30	0	1,2	0,1	2	30,000	0	3
104	02.01.2013	10:10:05	00:01:40	0	1,2	0,1	1,8	100,000	0	1
105	02.01.2013	10:11:26	00:01:21	0	1,1	0,2	1,7	81,000	0	3
106	02.01.2013	10:13:31	00:02:05	0	1,1	0,2	1,7	123,000	0	1
107	02.01.2013	10:15:16	00:01:45	0	1	0,2	1,7	105,000	0	3
108	02.01.2013	10:15:46	00:00:30	0	1	0,2	1,7	30,000	0	1
109	02.01.2013	10:17:43	00:01:57	0	1	0,1	1,6	117,000	0	3
110	02.01.2013	10:18:22	00:00:39	0	1	0,2	1,5	39,000	0	1
111	02.01.2013	10:19:20	00:00:58	0	0,9	0,2	1,5	58,000	0	3
112	02.01.2013	10:20:56	00:01:36	0	0,9	0,1	1,4	96,000	0	1
113	02.01.2013	10:29:45	00:08:49	1	0,7	0,2	1,3	529,000	5	2
114	02.01.2013	10:30:15	00:00:30	1	0,7	0,1	1,3	30,000	5	1
115	02.01.2013	10:31:33	00:01:18	1	0,7	0,2	1,1	78,000	0	0
116	02.01.2013	10:32:03	00:00:30	1	0,7	0,1	1,2	30,000	5	3
117	02.01.2013	10:32:33	00:00:30	1	0,7	0,1	1,2	30,000	5	3
118	02.01.2013	10:33:25	00:00:52	1	0,7	0,1	1,3	52,000	5	1
119	02.01.2013	10:34:46	00:01:21	1	0,6	0,1	1,5	81,000	0	0
120	02.01.2013	10:35:16	00:00:30	1	0,6	0,1	1,5	30,000	0	0
121	02.01.2013	10:37:17	00:02:01	1	0,6	0,2	2,1	121,000	5	3
122	02.01.2013	10:37:47	00:00:30	1	0,6	0,1	2,2	30,000	5	3
123	02.01.2013	10:38:17	00:00:30	1	0,6	0,2	2,4	30,000	5	1

Rys.1. Przykładowe dane pomiarowe wykorzystane w analizie (Źródło: opracowanie własne)

### Metodyka pracy sieci neuronowej

Praca ma na celu znalezienie najlepszego, ale prostego i szybkiego estymatora temperatury wewnętrznej w odniesieniu do 13 czynników wpływających na jej wartość. Równanie:

$$y = f(X) \quad (1)$$

gdzie  $y$  reprezentuje temperaturę pokojową, a  $X$  jest wektorem 13 czynników wpływających na tę wartość. W ten sposób poszukujemy najmniejszej liczby neuronów, która spełnia warunki niezależności od wartości początkowych, stabilności, precyzji oraz uwzględniania przepełnienia lub niedopełnienia, a także działa szybciej niż średnia [2, 3]. Pomiaru wykonywano co 20 minut, latem, przez okres 21 dni. Testowane parametry w odstępach 20-minutowych przedstawiono poniżej jako wektor  $X$ .

$$y = \text{stan logiczny zalatzenia ogrzewania}$$

$$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \\ x_8 \\ x_9 \\ x_{10} \\ x_{11} \\ x_{12} \\ x_{13} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Temp powietrza w } ^\circ\text{C} \\ \text{Temp szyny zimnej w } ^\circ\text{C} \\ \text{Temp szyny ogrzewanej w } ^\circ\text{C} \\ \text{Stan logiczny brak sniegu} \\ \text{Stan logiczny snieg 1} \\ \text{Stan logiczny snieg 1 i 2} \\ \text{Stan logiczny snieg 1, 2 i 4} \\ \text{Stan logiczny snieg 1 i 4} \\ \text{Stan logiczny brak wilgoci} \\ \text{Stan logiczny wilgoć 1} \\ \text{Stan logiczny wilgoć 3} \\ \text{Stan logiczny wilgoć 5} \\ \text{Stan logiczny wilgoć 7} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Rys.2. Zestawienie parametrów wejściowych do prognozowania (Źródło: opracowanie własne)

Łączna liczba pomiarów wykorzystanych w projekcie wyniosła 11763. Z tego 70% wykorzystano do trenowania ( $X_{iTr}, y_{iTr}$ ), 15% do walidacji ( $X_{iVal}, y_{iVal}$ ) i 15% do testowania ( $X_{iTest}, y_{iTest}$ ). Algorytm użyty do separacji danych był następujący: pierwsze trzy rekordy trafiły do trenowania, następnie każdy do walidacji i trenowania. Proces trenowania przeprowadzono w programie MATLAB w wersji R2017b na uprzednio znormalizowanych danych (preprocessing). Po analizie dane zostaną zdenormalizowane (postprocessing) w celu ustalenia miary wydajności sieci. W tym celu wybrano funkcję map-minmax [4, 5]. Funkcja map-minmax to liniowa transformacja przedziału o zadanych granicach.

$$Val' = \frac{Val_{org} - Val_{min}}{Val_{max} - Val_{min}} \cdot (Val'_{max} - Val'_{min}) + Val'_{min} \quad (3)$$

gdzie:

$Val_{org}$  – wartość oryginalna,

$Val'$  – wartość przekształcona,

$Val_{max}$  i  $Val_{min}$  – oryginalne granice przedziału,

$Val'_{max}$ ,  $Val'_{min}$  – pożądane granice zakresu, tutaj od -1 do 1.

Algorytm uczenia się propagacji wstecznej gradientu sprzężonego skalowanego [6], [7].

Jako funkcję wydajności wybrano entropię krzyżową. Oznaczenia danych do dalszych prac:

$n$  – liczba zestawów eksperymentalnych dla każdego etapu uczenia się (*trening*  $X_{iTr}, y_{iTr}$ );

walidacja ( $X_{iVal}, y_{iVal}$ ); testy ( $X_{iTest}, y_{iTest}$ ),

$y_i$  – cel sieci,

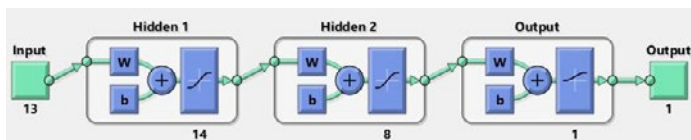
$y_{ANNi}$  – wyjście sieci odpowiadające i-temu celowi

$$e_i = y_i - y_{ANNi} \quad (4)$$

Pozostałe parametry na etapie uczenia przedstawiono w Tabeli 1.

Parametr uczenia sieci	Wartość
Cel funkcji wydajności	0
Minimalny gradient wydajności	$10^{-6}$
Maksymalna liczba błędów walidacji	6
Maksymalna liczba epok do wytrenowania	1000
Pęd	0.9
Liczba danych przypisanych do etapu treningu	70%
Liczba danych przypisanych do etapu walidacji	15%
Liczba danych przypisanych do testów	15%
Procedura optymalizacji struktury sieci	Monte Carlo

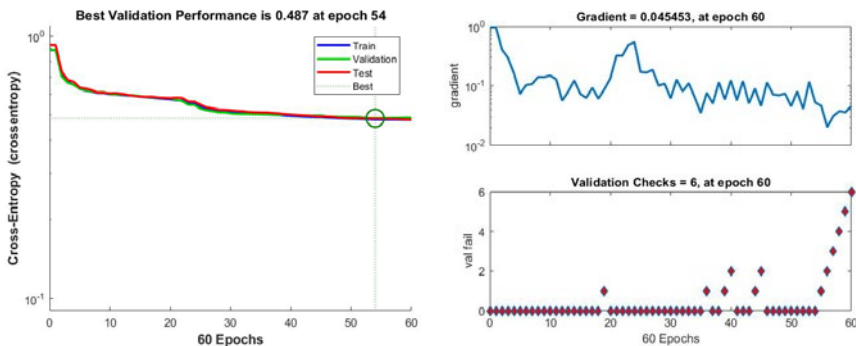
Struktura sieci neuronowej wybranej do tego projektu to sprzężenie zwrotne z jedną warstwą ukrytą i jedną warstwą wyjściową [8], została przedstawiona na rys. nr 3.



Rys.3. Struktura sieci neuronowej (Źródło: opracowanie własne)

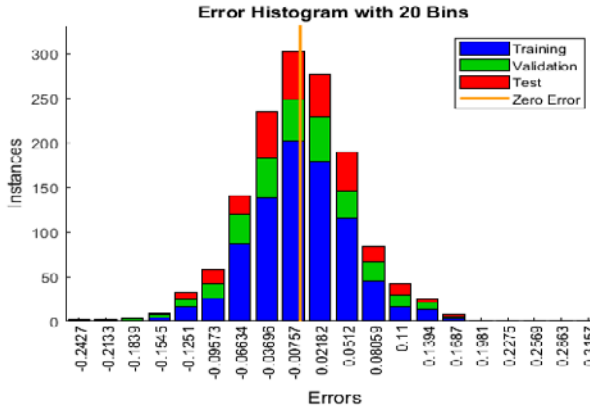
## Wyniki

Proces uczenia wybranej sieci neuronowej przedstawiono na rysunku 4. Po lewej stronie zaprezentowano, że epoka nr 54 kończy proces uczenia, mimo że redukcja błędów trwa do końca procesu uczenia. Po prawej stronie rysunku przedstawiono przedstawia gradientowe kontrole walidacyjne procesu uczenia analizowanej sieci neuronowej i wyjaśnia, co dzieje się w 54 epoce.



Rys.4. Wartości funkcji wydajności uzyskane podczas procesu uczenia dla najszybszej analizowanej sieci neuronowej (lewa część); Gradient, kontrola walidacyjna wartości uzyskanych w procesie uczenia dla najszybszej analizowanej sieci neuronowej (prawa strona). (Źródło: opracowanie własne)

Na rysunku 5 przedstawiono histogram błędów w sieci  $e_i$  (4) w odniesieniu do treningu, walidacji i testowania. Na tym rysunku na osi odciętych przedstawiono wartości błędów sieci  $e_i$  przypisane do danego słupka zgodnie z zaleceniami w [9].



Rys.5. Histogramy błędów uzyskane w trakcie procesu uczenia dla najszybszej analizowanej sieci neuronowej. (Źródło: opracowanie własne)

Na rysunku 6 przedstawiono macierz pomyłek dla etapów treningu, walidacji, testowania oraz dla wszystkich danych w relacji  $y_{ANNi}$  (Wyjście) do  $y_i$  (Cel), a tabela 2 przedstawia procentową zgodność stanów docelowych z odpowiedziami sieci neuronowej. Te rysunki i wskaźniki pokazują, że zgodność odpowiedzi sieci z wynikami docelowymi wynosi ponad 73%. Ponieważ wynik ten uzyskano dla danych zmierzonych w rzeczywistych warunkach pracy urządzenia, sieć neuronową można uznać za zadowalającą.

Tab.2 Procentowa zgodność stanów docelowych z odpowiedziami sieci neuronowej

etap	osiągnięty wynik [%]
Etap treningu sieci	74,7 %
Walidacja sieci	74,0 %
Etap testowania	73,3 %
Wszystkie dane	74,4 %



Rys.6. Macierz pomyłek pomiędzy wynikami i celami sieci dla wszystkich etapów uczenia się osobno i łącznie, uzyskana dla analizowanej sieci neuronowej. (Źródło: opracowanie własne)

## Wnioski końcowe

Przedstawiona sieć neuronowa została zaimplementowana w celu analizy efektywności możliwości wykorzystania sieci głębokiego uczenia do sterowania systemem ogrzewania skrzyżowań. Pomimo braku pełnego zakresu prac wymaganych przed wdrożeniem sieci do produkcji, osiągnięto zadowalającą zbieżność wyników. Spójność prezentowanych wyników sieci na każdym etapie jej uczenia przekroczyła 73%. Są to obiecujące odpowiedniki, dlatego prace nad siecią będą kontynuowane. Prace obejmą projektowanie sieci, dobór optymalnych parametrów uczenia, projektowanie optymalizacji struktury sieci, analizę nadmiernego i niedostatecznego dopasowania oraz analizę odporności. Po zakończeniu tych prac zostanie wskazana wydajność modelu sieci neuronowej dla badanego problemu. Przedstawiona zostanie również optymalna sieć neuronowa dla danego projektu sieci.

## Bibliografia

- [1] Wytyczne do projektowania urządzeń elektrycznego ogrzewania rozjazdów PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. – Instrukcja Iet-5, Warszawa, (2015)
- [2] Dudzik M.; Stręk A.M., ANN Architecture Specifications for Modelling of Open-Cell Aluminum under Compression, *Mathematical Problems in Engineering* **2020**, Volume 2020, Article ID 2834317, 2020-02-28; DOI: 10.1155/2020/2834317.
- [3] Tomczyk, K. Special signals in the Calibration of Systems for Measuring Dynamic Quantities. *Measurement* **2014**, *49*, 148–152.
- [4] Demuth, H.; Beale, M.; Hagan, M. Neural Network Toolbox 6 User's Guide; The MathWorks Inc., 2009. Mathworks documentation: mapminmax. Available online: <https://www.mathworks.com/help/deeplearning/ref/mapminmax.html> (accessed on 21st Feb 2019).
- [5] Madsen, K.; Nielsen, H.B.; Tingleff, O. Methods for non-linear least squares problems. In Informatics and Mathematical Modelling. Technical University of Denmark, 2nd ed.; April 2004. Available online: <http://www2.imm.dtu.dk/pubdb/views/edoc> (accessed on 21st Feb 2019).
- [6] Romanska-Zapala, A. and Bomberg, M. Can artificial neuron networks be used for control of HVAC in environmental quality management systems? In Proceedings of the Central European Symposium of Building Physics, Prague, Czech Republic, 23-26 September 201.
- [7] Huang, X.; Cao, H.; Jia, B. Optimization of Levenberg Marquardt Algorithm Applied to Nonlinear Systems. *Processes* **2023**, *11*, 1794. <https://doi.org/10.3390/pr11061794>
- [8] Sedgwick, P. Pearson's correlation coefficient, *ENDGAMES, BMJ*, 2012; 345:e4483; doi: 10.1136/bmj.e4483.
- [9] Dudzik, M. Współczesne metody projektowania, weryfikacji poprawności i modelowania zjawisk trakcji elektrycznej. Monografia, Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki. Kraków, Wydaw. PK, Monografie Politechniki Krakowskiej. Inżynieria Elektryczna i Komputerowa, 2018; ISBN 978-83-65991 - .



## **DeltaX 3.0PV czyli OZE z magazynem energii w zasilaniu gwarantowanym urządzeń SRK.**

Rafał Wyka  
Prezes Zarządu Olikol Rail Energy Sp. z o.o.

Piotr Szrot  
Kierownik Produktu Olikol Rail Energy Sp. z o.o.





# OLIKO RAIL ENERGY

Rafał Wyka – Prezes zarządu  
Piotr Szrot – Kierownik produktu DeltaX

Kwiecień 2026 Jurata v1.0



#### Projektowanie systemów sterowania ruchem kolejowym

Projektujemy rozwiązania srk w zakresie przejazdów drogowo-kolejowych, stacji, blokad liniowych. Posiadamy wykwalifikowany i kompetentny zespół projektantów srk.



#### Budowa systemów sterowania ruchem kolejowym

Świadczymy kompleksowe usługi w zakresie budowy systemów sterowania ruchem kolejowym (SRK). Wykonujemy zarówno prace w zakresie prac ziemnych wymaganych do realizacji branży SRK jak i prace w nastawniach i przejazdach.



#### Delta X stacyjne układy zasilania

Oferujemy kompleksowe układy zasilania zasilające w sposób **bezsprzawowy systemy stacyjne PRD**. Nasz układ zasilania to efekt **wieloletniego doświadczenia na rynku kolejowym w projektowaniu i budowie systemów sterowania ruchem kolejowym**. **Modułowa budowa oraz elastyczność rozwiązania** pozwalana nam zrealizować szybko i skutecznie każdy układ zasilania stacyjnego.



#### Budowa linii telekomunikacyjnych kablowych i światłowodowych

Realizujemy prace związane z budową linii telekomunikacyjnych zarówno kablowych jak i światłowodowych. Posiadamy zespół inżynierów pozwalający realizować kompleksowe inwestycje na rynku kolejowym w branży teletechnicznej.



#### Budowa linii średniego napięcia

Realizujemy kompleksowe inwestycje związane z budową kablowych linii średniego napięcia. Wykonujemy zabudowę stacji transformatorowych ŚN, a także modernizacji układów ŚN i prądu stałego na podstacjach trakcyjnych.



## DeltaX System Zasilania Urządzeń stacyjnych

System DeltaX jest modułarnym systemem zasilania urządzeń sterowania ruchem kolejowym, wymagających niezawodności i bezpieczeństwa zasilania.

### Co wchodzi w skład systemu DeltaX?:

1. Zabudowa w dwóch szafach
  - układ sterowania
  - dystrybucja mocy
2. Zasilanie gwarantowane
  - UPS
  - agregat prądowórczy
3. Magazyn energii + PV



## OZE z magazynem energii w zasilaniu gwarantowanym SRK DELTA X 3.0 PV i SEMSRail

Rozdzielnica zasilania gwarantowanego  
DELTA X 3.0 PV



Magazyn Energii ARES BAT-01  
SEMSRail



Panele fotowoltaiczne PV



## OZE z magazynem energii w zasilaniu gwarantowanym SRK DELTA X 3.0 PV

**DELTA X**

Nowy system powiat w odpowiedzi na rosnące oczekiwania rynku.

Wieloletnia doświadczenie w instalacji i serwisie stacji transformatorowych, kotłowni, podstacji, na zapotrzebowanie, a także gwarantowane bezpieczeństwo i bezprzerwowe działanie systemu umożliwia wyzwalanie inteligentnych SRK.

Modułowa konstrukcja systemu Delta X umożliwia doposażenie dla indywidualnych potrzeb każdego obiektu.

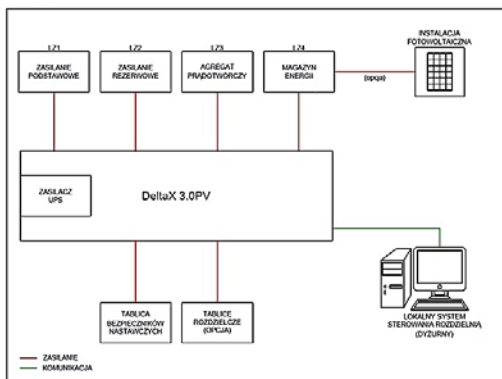
**Oferta:**

- audyt,
- projekt,
- kompletny montaż,
- dostawę systemu,
- montaż wraz z uruchomieniem,
- szkolenia.

**Zapewniamy:**

- wieloletnią obsługę,
- serwis serwisowy jak i pogwarancyjny.

Opis: wybudowanie i montaż stacji transformatorowej, instalacji w stanie zaawansowanej kompletności zasilającej dla przynajmniej dwóch zasilanych urządzeń SRK, a także wykonanie innych prac w zakresie urządzeń sterowania ruchem kolejowym.



Schemat blokowy układu zasilania

## OZE z magazynem energii w zasilaniu gwarantowanym SRK DELTA X 3.0 PV

Synoptyka układu zasilania – wizualizacja u dyżurnego ruchu

Układ zasilania	Adres	Opis	Status	Adres	Status
25480024	18.04.17	URZĄDZENIE PRĄDOWE TYPU I	2	18.04.18	
25480024	18.04.14	AGREGAT UPS	16	18.04.15	
25480024	18.04.14	UPS - INWERTER PRĄDOWY	7	18.04.15	
25480024	18.04.14	UPS - PRĄDOWY TRZEBNIE BIPOLARNY	16	18.04.15	
25480024	18.04.14	UPS - ZABŁAZCZNIK UPS WYŁĄCZONY	48	18.04.17	
25480024	18.04.14	ZMIENNICZKA STACJA UPS	8	18.04.17	
25480024	18.04.14	UPS	1	18.04.15	
25480024	18.04.14	AGREGAT W TRYBIE STOP	2	18.04.15	
25480024	18.04.14	BRNBSZ BIPOLARNY ZŁĄCZNIK	2	18.04.15	
25480024	18.04.14	AGREGAT PRĄDOWY ODMIENNY	2	18.04.15	
25480024	18.04.14	ODBIORNIK ELEKTRYCZNY WYŁĄCZONY AUTOMATYCZNIE	2	18.04.17	
25480024	18.04.14	PODSIEĆ	2	18.04.17	
25480024	18.04.14	ZMIENNICZKA STACJA UPS	2	18.04.17	
25480024	18.04.14	ZMIENNICZKA STACJA UPS	2	18.04.17	
25480024	18.04.14	ODBIORNIK ELEKTRYCZNY WYŁĄCZONY AUTOMATYCZNIE	2	18.04.17	
25480024	18.03.25	UPS - ZABŁAZCZNIK UPS WYŁĄCZONY	48	18.03.28	
25480024	18.02.07	AGREGAT UPS	9	18.02.09	
25480024	18.02.07	UPS - PRĄDOWY TRZEBNIE BIPOLARNY	3	18.02.09	
25480024	18.02.07	UPS - ZMIENNICZKA STACJA UPS WYŁĄCZONY	51	18.02.09	
25480024	18.02.07	UPS - ZMIENNICZKA STACJA UPS WYŁĄCZONY	48	18.02.09	
25480024	18.02.07	UPS - ZMIENNICZKA STACJA UPS WYŁĄCZONY	48	18.02.09	
25480024	18.02.07	UPS - ZMIENNICZKA STACJA UPS WYŁĄCZONY	58	18.02.09	
25480024	18.02.04	UPS - ZMIENNICZKA STACJA UPS WYŁĄCZONY	48	18.02.05	
25480024	18.02.04	UPS - ZABŁAZCZNIK UPS WYŁĄCZONY	43	18.02.06	
25480024	18.02.14	UPS - ZMIENNICZKA STACJA UPS WYŁĄCZONY	48	18.02.15	
25480024	18.02.14	UPS - ZABŁAZCZNIK UPS WYŁĄCZONY	42	18.02.15	
25480024	18.01.19	UPS - ZABŁAZCZNIK UPS WYŁĄCZONY	41	18.02.06	
25480024	18.01.19	UPS - ZMIENNICZKA STACJA UPS WYŁĄCZONY	47	18.02.06	
25480024	18.01.19	UPS - ZABŁAZCZNIK UPS WYŁĄCZONY	48	18.02.06	
25480024	18.08.09	UPS - ZMIENNICZKA STACJA UPS WYŁĄCZONY	46	18.08.09	
25480024	18.08.09	UPS - ZABŁAZCZNIK UPS WYŁĄCZONY	38	18.08.09	
25480024	18.08.10	AGREGAT UPS	9	18.08.10	

Okna informacyjne



- Kraków Olsza
- Brzeszcze Jawiszowice
- Wróblin Głogowski
- Szydłów
- Łambinowice
- Chełmek
- Chrzanów
- Świdnica Przedmieście
- Sobótka Zachodnia
- Ozorków
- Chociszew
- Jedlina Zdrój

## DELTA Realizacje



- Świdnica Kraszowice
- Zduny
- Przywory Opolskie
- Zdzieszowice
- Kędzierzyn-Koźle
- Gomunice
- Gorzkowice
- Dwikozy
- Komprachcice
- Słotwiny
- Rokiciny
- .....



DELTA SYSTEM ZASILANIA GWARANTOWANEGO

Dziękujemy za uwagę!



OLIKO RAIL ENERGY  
Spółka z ograniczoną odpowiedzialnością  
ul. Przemysłowa 4  
95-040 Kozłowski



**Analiza porównawcza wytapiania śniegu w rozjazdach  
ogrzewanych metodą standardową i bezstykową  
w ramach badań programu BRIK 2/036/2022.**

Dariusz Brodowski  
Zakład Sterowania Ruchem i Teleinformatyki  
Instytut Kolejnictwa



## **Analiza porównawcza wytapiania śniegu w rozjazdach ogrzewanych metodą standardową i bezstykową w ramach badań programu BRIK 2/036/2022.**

**Autorzy: Dariusz Brodowski, Marta Gryglas Instytut Kolejnictwa, Warszawa**

Elektryczne ogrzewanie rozjazdów kolejowych EOR jest istotnym zagadnieniem technicznym i ekonomicznym. System klasyczny charakteryzuje się znaczną energochłonnością, dlatego istotną jest optymalizacja pracy obecnych urządzeń. W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych i terenowych EOR wykonanych w ramach programu badawczego BRIK 2/036/2022/

**Słowa kluczowe:** elektryczne ogrzewanie rozjazdów kolejowych, bezstykowe ogrzewanie rozjazdów kolejowych,

# 1 CHARAKTERYSTYKA TEMPERATUROWA STANDARDOWEGO GRZEJNIKA EOR DO OGRZEWANIA OPORNIC ROZJAZDU

## 1.1 Wstęp

Pod pojęciem standardowego grzejnika eor, do ogrzewania opornic, rozumie się powszechnie stosowany w Polsce i innych krajach europejskich grzejnik płaskoowalny o gęstości mocy  $\sim 330\text{W/m}$  zasilany napięciem 230V. Zgodnie z wymaganiami Dokumentu Normatywnego 01-8/ET/2008, temperatura ustalona grzejnika nie powinna przekraczać  $400^{\circ}\text{C}$ . Dopuszczalne odchyłki temperatur na długości grzejnika wynoszą  $\pm 50^{\circ}\text{C}$ .

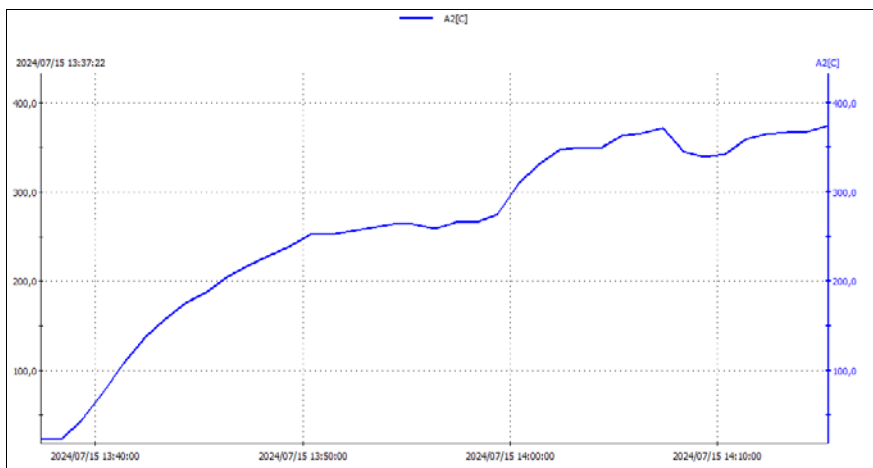
Temperatury osiągane przez grzejnik są zróżnicowane. Zasadniczym czynnikiem wpływającym na temperaturę grzejnika jest to czy grzejnik pracuje z odbiorem ciepła czy bez odbioru. W przypadku grzejników eor obiórem ciepła jest szyna opornicowa, do której przytwierdzony jest grzejnik. Inne czynniki wpływające na temperaturę grzejnika to temperatura otoczenia, zaśnienie czy wiatr.

## 1.2 Sprawdzenie temperatury grzejnika bez odbioru ciepła – badanie laboratoryjne

Na wykresie na 1 przedstawiono krzywą nagrzewania grzejnika eor, zawieszono swobodnie, bez odbioru ciepła (fot.1), w temperaturze otoczenia  $+20^{\circ}\text{C}$ .

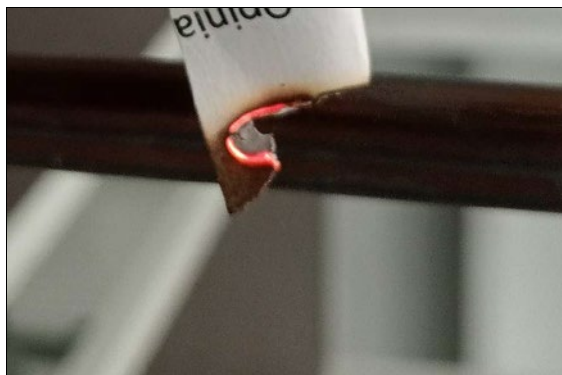


Fot. 1. Badanie temperaturowe grzejnika eor bez odbioru ciepła, Instytut Kolejnictwa 2024.



**Wykres nr 1.**  
**Charakterystyka nagrzewania grzejnika eor bez odbioru ciepła. Czas grzania 38 minut, temperatura otoczenia +20°C.**

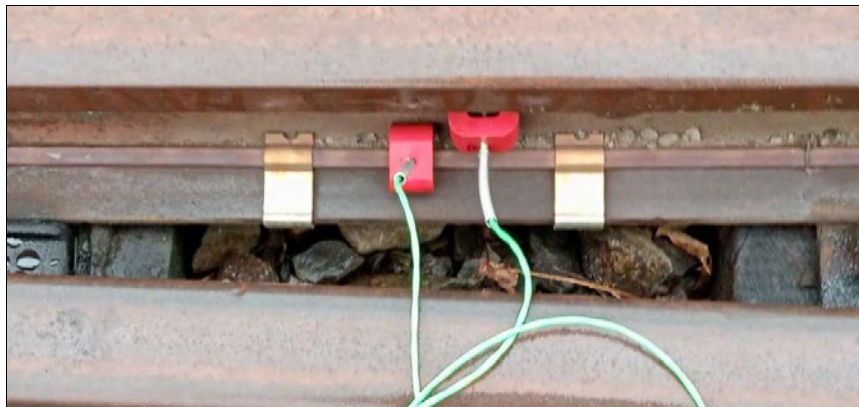
Badany grzejnik osiągnął temperaturę 371,6°C. Przy temperaturze około 300°C możliwy jest zapłon przyłożonej do grzejnika kartki papieru (Fot.2).



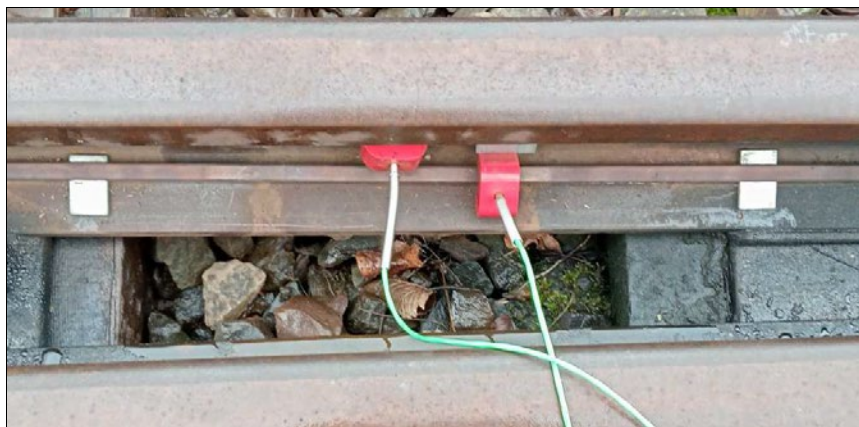
*Fot.2. Zapłon kartki papieru przyłożonej do rozgrzanego grzejnika eor.*

### 1.3 Porównanie grzejników bez i z odbiorem ciepła – badanie terenowe

Badanie wykonano na stacji Międzyzlesie, w rozjeździe nr 36. Porównywano charakterystykę temperaturową grzejnika przytwierdzonego do szyny opornicowej (Fot.3) oraz grzejnika bez styku z szyną (Fot. 4). Temperatura otoczenia podczas badania wynosiła  $+1,5^{\circ}\text{C}$ , lekki wiatr, bez opadów.

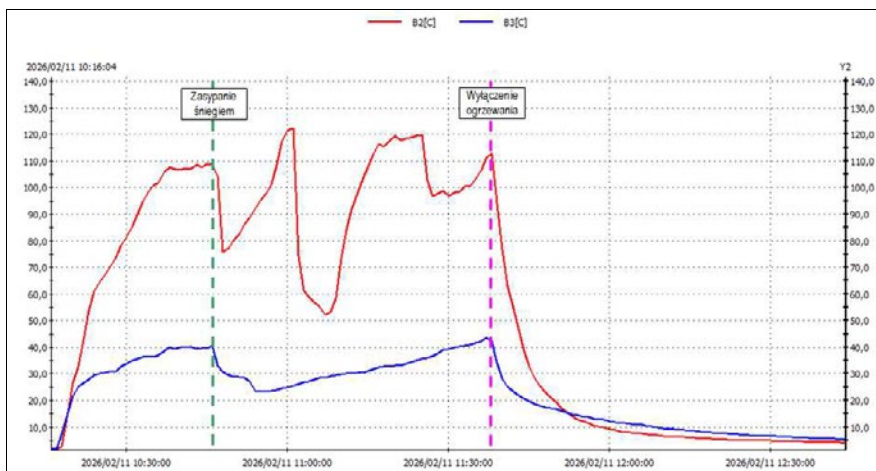


Fot.3. Grzejnik z dobrym stykiem do szyny opornicowej, rozjazd nr 36, stacja Międzyzlesie



Fot.4. Grzejnik bez styku do szyny opornicowej (podkładki dystansujące 2 mm), rozjazd nr 36, stacja Międzyzlesie, 11-02-2026r.

Charakterystykę nagrzewania i stygnięcia obu grzejników przedstawiono na Wykresie nr 2.

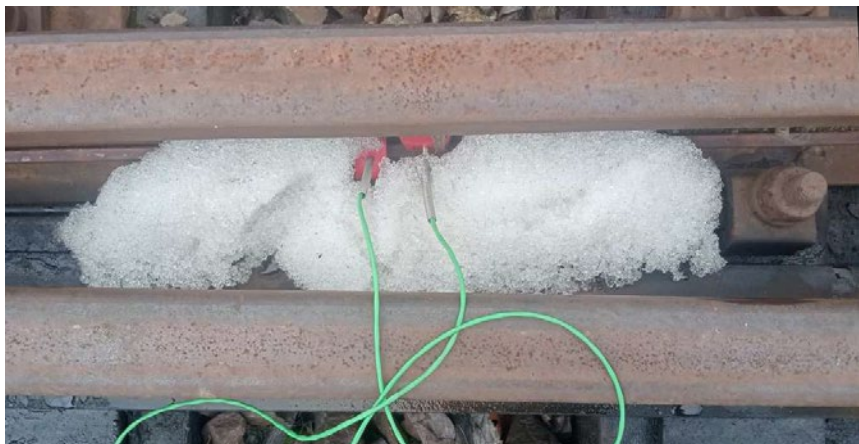


**Wykres nr 2.**

**Charakterystyka nagrzewania i stygnięcia grzejników eor z odbiorem ciepła (kolor niebieski) i bez odbioru ciepła (kolor czerwony). Czas grzania 1 godzina 21 minut, temperatura otoczenia +1,5°C.**

Maksymalna temperatura osiągnięta przez grzejnik stykający się z szyną wynosiła 43,7°C, natomiast przez grzejnik bez styku wynosiła 122,4°C.

Po 30 minutach od załączenia grzejników oba grzejniki zasypano śniegiem, stan wytopienia po 40 minutach od momentu zasypania przedstawiono na Fot. 5 i 6.



*Fot.5. Grzejnik z dobrym stykiem szyną – stan wytopienia po 40 minutach.*



*Fot.6. Grzejnik bez styku z szyną – stan wytopienia po 40 minutach.*

Z powyższego badania widać, że temperatura grzejnika bez styku z szyną była około trzykrotnie wyższa od temperatury grzejnika z dobrym doleganiem do szyny. Jak widać na fot 5 i 6 już samo odsunięcie grzejnika od szyny skutkuje większą efektywnością wytapiania śniegu. Podważa to sens stosowania past termoprzewodzących między grzejnikiem a szyną.

## **2 NOWY TYP NAKŁADKI RADIACYJNIEJ TYPU NR**

Do realizacji badań w ramach projektu BRIK2/036/2022 firma AREX Sp. z o.o opracowała nowy typ nakładki radiacyjnej typu NR, w parciu o licencję firmy Termorad. .  
Nakładki radiacyjne typu NR są nakładkami uniwersalnymi, dostosowanymi do montażu

w rozjazdach z szynami S42, 49E1 oraz 60E1. Stosowane są odmiany różniące się szerokością i długością płytki radiacyjnej.

Zasadniczo przewiduje się dwie szerokości płytki radiacyjnej:

- 70 mm,
- 90 mm.

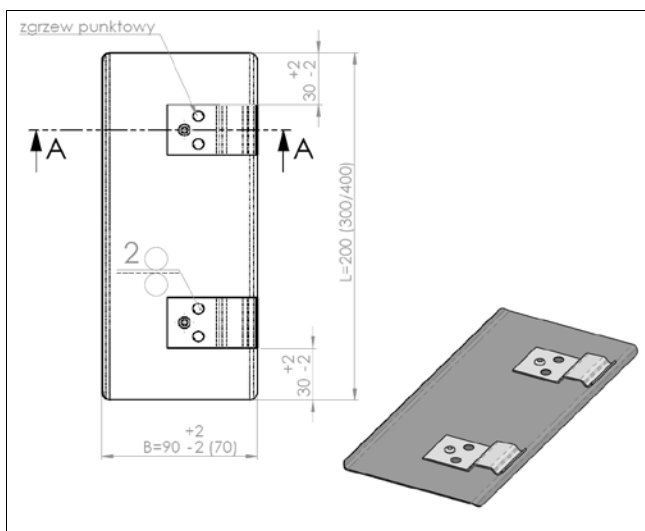
Długości płytek dostosowane do poszczególnych typów rozjazdów, zależne od odległości pomiędzy sąsiednimi płytami ślizgowymi. Podstawowe długości to 150, 200, 300 i 400 mm. Wymiary radiatorów przedstawiono na Rys. 1.

Podstawowe różnice pomiędzy poprzednim typem nakładki aluminiowej typu GKA są następujące:

- a) materiał – nakładka NR wykonana jest z blachy stalowej,
- b) lokalizacja – nakładka NR umieszczona jest pod grzejnikiem,
- c) mocowanie - nakładka NR mocowana jest do grzejnika, natomiast grzejnik mocowany jest do szyny opornikowej standardowymi uchwytami, tak jak jest to do tej pory,
- d) uniwersalność – nakładka NR jest dostosowana zarówno do szyn 60E1 i 49E1 oraz różnych typów płyt ślizgowych.

Przeniesienie grzejnika na górną powierzchnię nakładki poprawia efektywność wytapiania śniegu albowiem do powierzchni samej nakładki dochodzi górna powierzchnia samego grzejnika o wysokiej temperaturze i co za tym idzie zwiększonej emisji promieniowania podczerwonego w kierunku strefy roboczej rozjazdu.

Nakładki typu NR zostały zabudowane do testów na stacjach; Gdańsk Osowa, Pruszcz Gdański i Międzyzlesie (Fot. 7 i 8). Ponadto nakładki NR zabudowane zostały w wytypowanych rozjazdach na Pomorskiej Kolei Metropolitalnej.



Rys. 1. Nakładka radiacyjna NR wraz z wymiarami



*Fot.7. Nakładki NR-70/200 zabudowane na stacji Gdańsk Osowa.*



*Fot.8. Rozjazd nr 11 na stacji Gdańsk Osowa z zabudowanymi nakładkami typu NR*

### **3 PORÓWNANWCZE BADANIA LABORATORYJNE W KOMORZE KLIMATYCZNEJ STANDARDOWYCH GRZEJNIKÓW EOR I GRZEJNIKÓW Z NAKŁADKAMI RADIACYJNYMI TYPU NR**

#### **3.1 Miejsce i czas wykonania badań**

Badania wykonano w Instytucie Kolejnictwa w Laboratorium Automatyki i Telekomunikacji, w okresie maj 2024 – czerwiec 2025 r.

#### **3.2 Metodologia badań**

Badania laboratoryjne przeprowadzone były na fragmentach rozjazdów 60E1, składających się z szyn opornicowych, iglic, płyt ślizgowych, podrozjazdnic, opórek iglicowych. Fragmenty rozjazdów uzbrojone zostały w elementy grzewcze, nakładki radiacyjne oraz zestaw czujników temperatury. Fragmenty rozjazdów umieszczono w komorze klimatycznej i poddano narażaniu niskich temperatur, oraz lodu kruszonego jako zamiennika śniegu.

Badaniami objęte były elementy rozjazdów z grzejnikami z nakładkami radiacyjnymi, o zredukowanej gęstości mocy o 30% (230 W/m), 40% (200 W/m) i 50% (165 W/m), oraz jako układ referencyjny, elementy rozjazdu z grzejnikami o mocach standardowych – gęstość mocy 330 W/m.

Podczas badań porównywano skuteczność wytapiania lodu przez grzejniki o mocy zredukowanej z nakładkami radiacyjnymi i standardowe grzejniki o mocy pełnej. Wykonano pomiary rozkładu temperatur, krzywych nagrzewania newralgicznych elementów rozjazdów. Badania wykonywane były w temperaturach narażania:  $-10^{\circ}\text{C}$ ,  $-20^{\circ}\text{C}$ .

Badane były jednocześnie półzwrótnice z iglicą odsuniętą i dosuniętą, w trzech strefach rozjazdu:

- strefa A - przy ostrzu iglicy, odległość iglicy od opornicy 15 cm, skok iglicy 15 cm,
- strefa B – w środkowej strefie, odległość iglicy od opornicy 8 cm, skok iglicy 8 cm,
- strefa C - przy osadzie iglicy, odległość iglicy od opornicy 15 cm, skok iglicy 2 cm.

Punkty pomiaru temperatur wykonane były w następujących elementach rozjazdu:

- (a) płyty ślizgowe,
- (b) stopka szyny oporowej,
- (c) szyjka szyny oporowej,
- (d) główka szyny oporowej,
- (e) stopka iglicy,
- (f) szyjka iglicy,
- (g) grzejniki/radiatory.

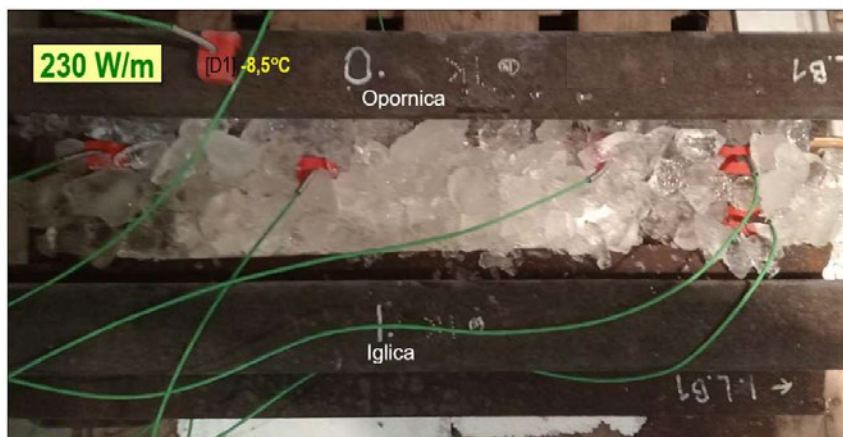
#### **3.3 Aparatura pomiarowa**

Do badań wykorzystano następującą aparaturę:

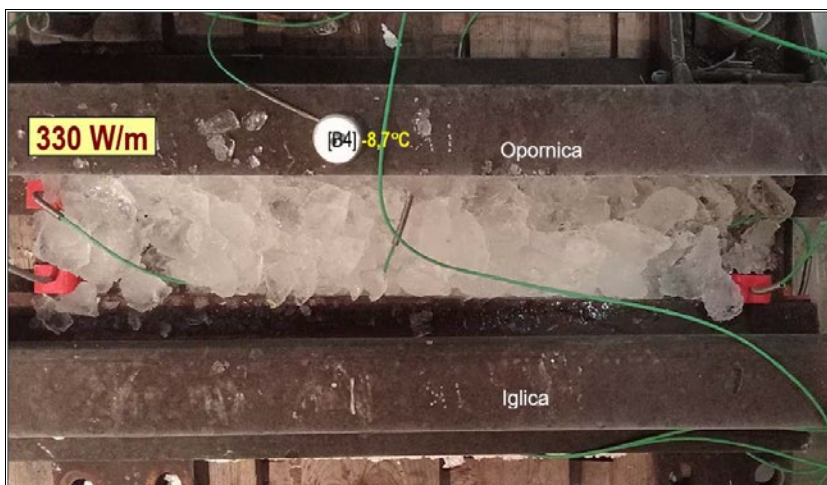
- a) komorę klimatyczną Climats 6000 H60/10+4,
- b) rejestratory temperatur 16 kanałowe typu HD32.8.16 Guenther,
- c) czujniki temperatury typu K,
- d) regulatory mocy grzejników typu RM50001,
- e) przenośny miernik temperatury typu VOLT-CRAFT K102 z sondą typu K.

### 3.4 Badanie porównawcze wytapiania lodu przez grzejniki z radiatorami bezstykowymi i grzejniki standardowe, temperatura narażenia $-10^{\circ}\text{C}$ , redukcja mocy grzejników z radiatorami o 30%

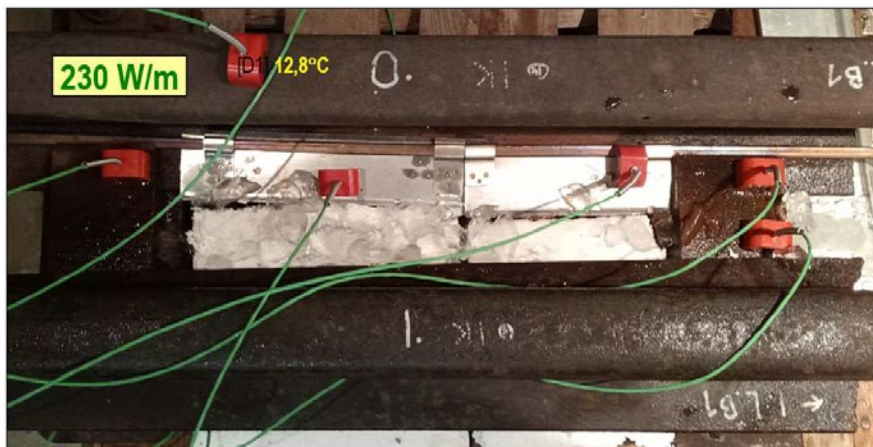
Badanie wykonano dla strefy A i C rozjazdu (odległość od opornicy: 15 cm) i iglicy odsuniętej, w temperaturze narażenia  $-10^{\circ}\text{C}$ . Moc grzejnika standardowego **330 W/m**, moc grzejnika z radiatorami bezstykowymi obniżona o 30% (**230 W/m**). Czas grzania: 180 minut. Wyniki badania przedstawiono na Fot. 9 – 12 i wykresach 9 i 11.



Fot.9. Grzejnik 230 W/m z radiatorami bezstykowymi – stan przed załączeniem ogrzewania.



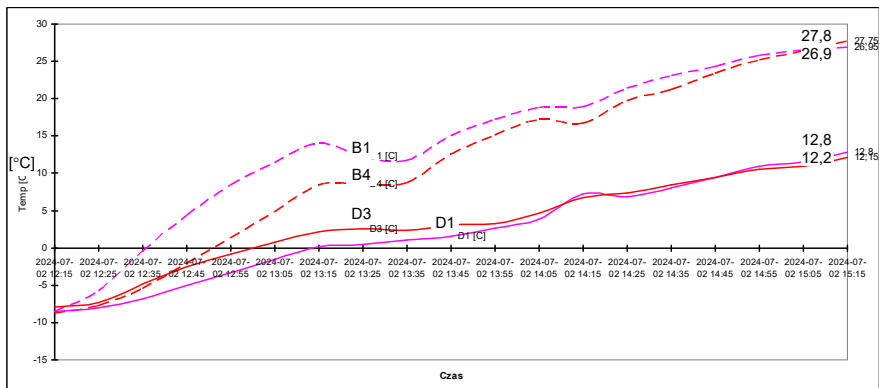
Fot.10. Grzejnik 330 W/m z grzejnikiem standardowym – stan przed załączeniem ogrzewania.



Fot.11. Grzejnik 230 W/m z radiatorami bezstykowymi – stan po 180 minutach grzania.



Fot.12. Grzejnik 330 W/m z grzejnikiem standardowym – stan po 180 minutach grzania.



Wykres nr 3.

Krzywe nagrzewania opornicy, układ z grzejnikiem standardowym 330 W/m: B4 główka opornicy, B1 – spód stopki opornicy, układ z grzejnikami z radiatorami, o mocy 230 W/m: D1 – główka opornicy, D3 stopka opornicy.



Wykres nr 4.

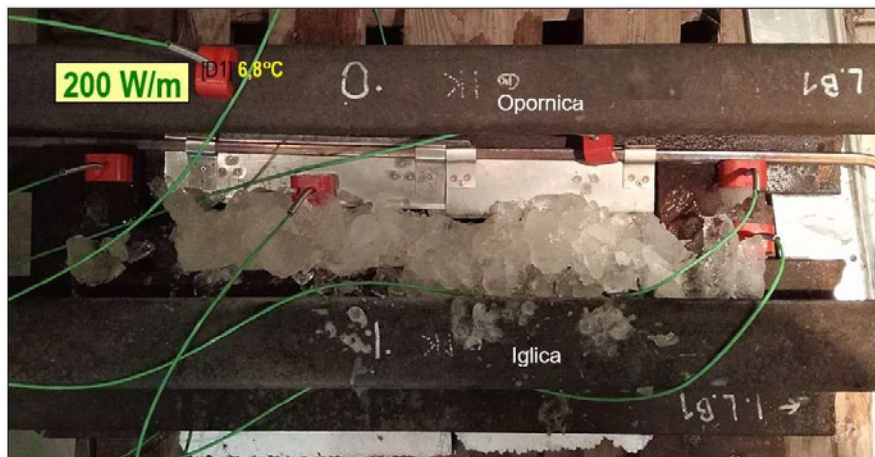
Krzywe nagrzewania siodełek, układ z grzejnikiem standardowym 330 W/m: A2 siodełko przy iglicy, B2 – siodełko przy opornicy, układ z grzejnikami z radiatorami, o mocy 230 W/m: C1 – siodełko przy opornicy, C4 – siodełko przy iglicy.

### Wynik badania.

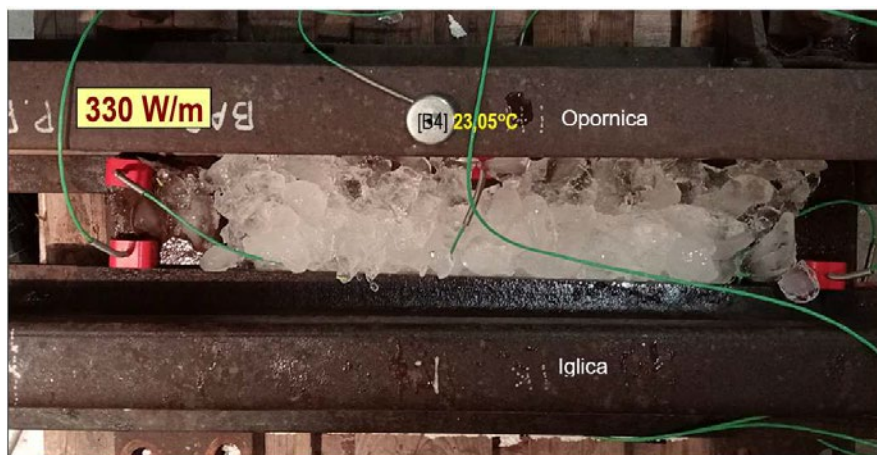
Po 180 minutach grzania, przy zadanej temperaturze narażenia  $-10^{\circ}\text{C}$ , układ z radiatorami bezstykowymi i grzejnikami o mocy zredukowanej o 30% (230 W/m) wytopił ok.  $80 \div 90\%$  objętości lodu. Taki stopień wytopienia zapewniłby przełożenie rozjazdu. Natomiast układ standardowy, z grzejnikami o mocy pełnej 330 W/m znacznie mniej śniegu, głównie przy grzejniku i na powierzchni siodełek. Taki stopień wytopienia uniemożliwiłby przełożenie rozjazdu. Jednocześnie widać, że w układzie standardowym (fot. 23), temperatura szyny oporowej (opornicy) na główce, po 3 godzinach grzania ciągłego osiągnęła temperaturę  $23,8^{\circ}\text{C}$ , natomiast w układzie z radiatorami bezstykowymi temperaturę opornicy na główce wynosiła  $12,8^{\circ}\text{C}$ .

### 3.5 Badanie porównawcze wytapiania lodu przez grzejniki z radiatorami bezstykowymi i grzejniki standardowe, temperatura narażenia $-10^{\circ}\text{C}$ , redukcja mocy grzejników z radiatorami o 40%

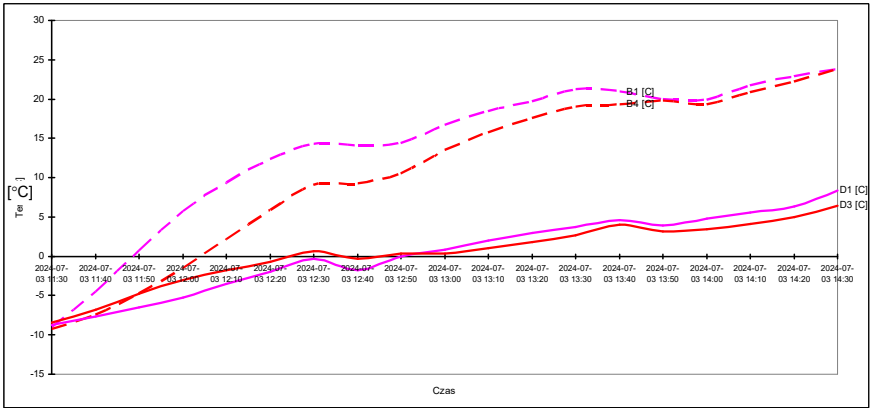
Badanie wykonano dla strefy A i C rozjazdu (odległość od opornicy: 15 cm) i iglicy odsuniętej, w temperaturze narażenia  $-10^{\circ}\text{C}$ . Moc grzejnika standardowego  $330\text{ W/m}$ , moc grzejnika z radiatorami bezstykowymi obniżona o 40% ( $200\text{ W/m}$ ). Czas grzania: 180 minut. Stan początkowy badanego układu jak na fot. 9 i 10. Wyniki badania przedstawiono na Fot. 13 – 14 i wykresach 5 i 6.



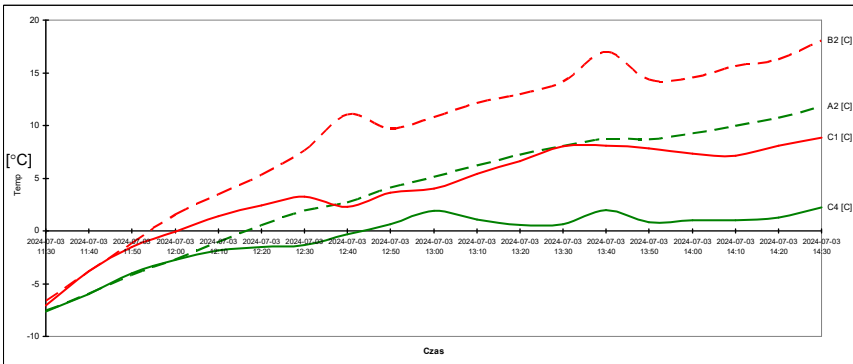
Fot.13. Grzejnik  $200\text{ W/m}$  z radiatorami bezstykowymi – stan po 180 minutach grzania.



Fot.15. Grzejnik  $330\text{ W/m}$  z grzejnikiem standardowym – stan po 180 minutach grzania.



**Wykres nr 5.**  
**Krzywe nagrzewania opornicy, układ z grzejnikiem standardowym 330 W/m: B4 główka opornicy, B1 – spód stopki opornicy, układ z grzejnikami z radiatorami, o mocy 200 W/m: D1 – główka opornicy, D3 stopka opornicy.**



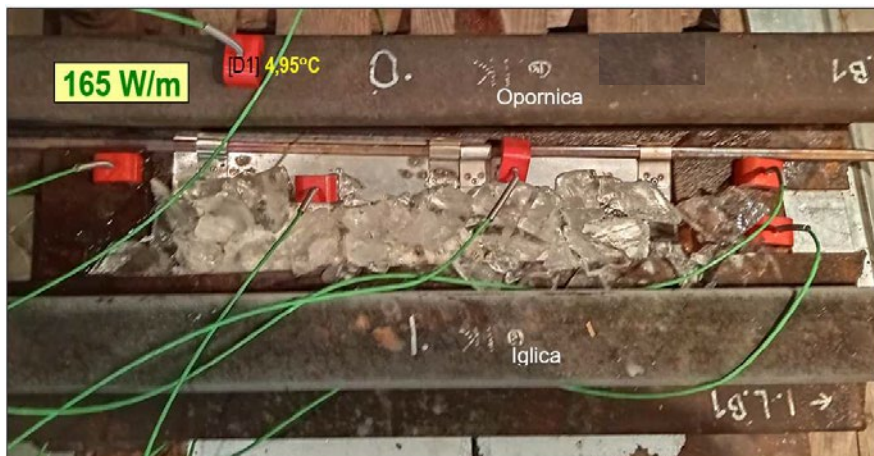
**Wykres nr 6.**  
**Krzywe nagrzewania siodełek, układ z grzejnikiem standardowym 330 W/m: A2 siodełko przy iglicy, B2 – siodełko przy opornicy, układ z grzejnikami z radiatorami, o mocy 230 W/m: C1 – siodełko przy opornicy, C4 – siodełko przy iglicy.**

### Wynik badania.

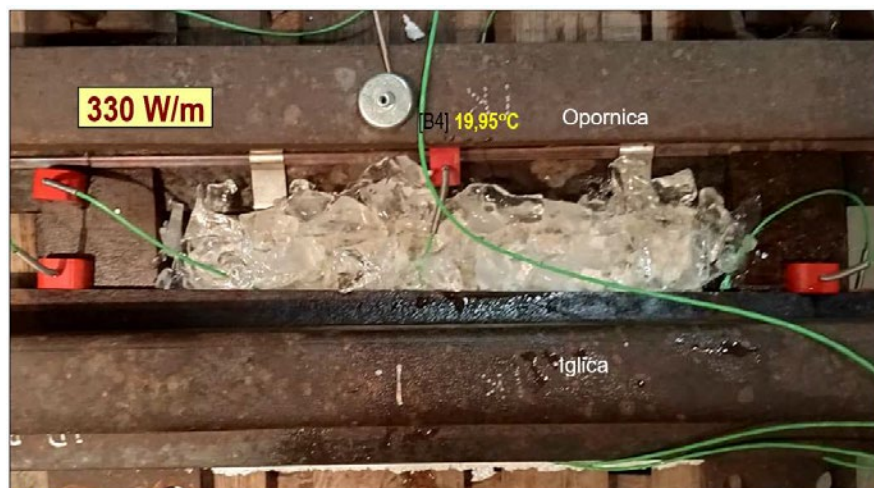
Po 180 minutach grzania, przy zadanej temperaturze narażania  $-10^{\circ}\text{C}$ , układ z radiatorami bezstykowymi i grzejnikami o mocy zredukowanej o 40% (200 W/m) wytopił ok. 75% objętości lodu. Natomiast układ standardowy, z grzejnikami o mocy pełnej 330 W/m znacznie mniej lodu, wytopiony został tunel o średnicy ok.  $6 \div 7$  cm przy grzejniku i lód na powierzchni siodełek. W układzie standardowym temperatura na główce opornicy, po 3 godzinach grzania ciągłego osiągnęła temperaturę  $23,05^{\circ}\text{C}$ , natomiast w układzie z radiatorami bezstykowymi temperatura opornicy na główce wynosiła  $6,8^{\circ}\text{C}$ .

### 3.6 Badanie porównawcze wytapiania lodu przez grzejniki z radiatorami bezstykowymi i grzejniki standardowe, temperatura narażenia -10°C, redukcja mocy grzejników z radiatorami o 50%

Badanie wykonano dla strefy A i C rozjazdu (odległość od opornicy: 15 cm) i iglicy odsuniętej, w temperaturze narażenia -10°C. Moc grzejnika standardowego 330 W/m, moc grzejnika z radiatorami bezstykowymi obniżona o 50% (165 W/m). Czas grzania: 180 minut. Stan początkowy badanego układu jak na fot. 9 i 10. Wyniki badania przedstawiono na Fot. 16 – 19 i wykresach 7 i 8.



Fot.16. Grzejnik 165 W/m z radiatorami bezstykowymi – stan po 180 minutach grzania.



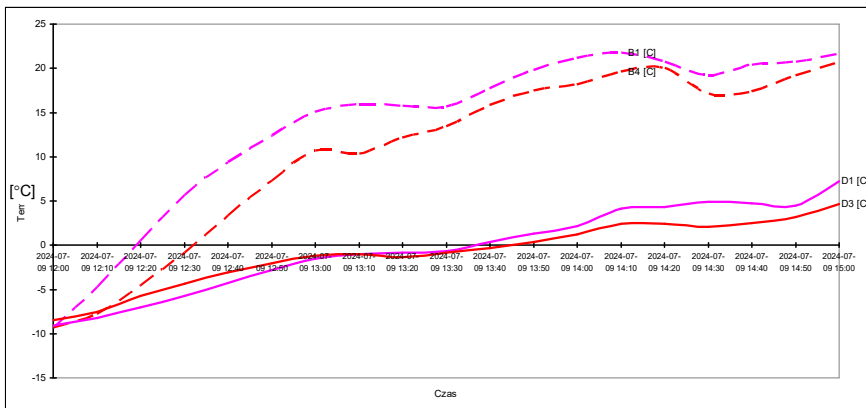
Fot.17. Grzejnik 330 W/m z grzejnikiem standardowym – stan po 180 minutach grzania.



*Fot.18. Grzejnik 165 W/m z radiatorami bezstykowymi – stan po 180 minutach grzania.*

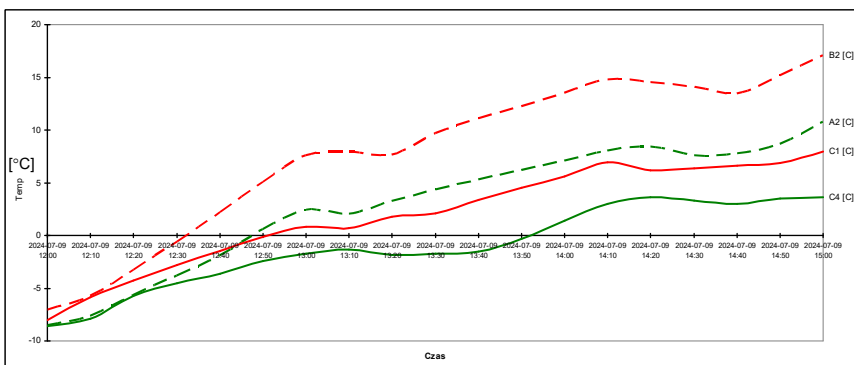


*Fot.19. Grzejnik 330 W/m z grzejnikiem standardowym – stan po 180 minutach grzania.*



Wykres nr 7.

Krzywe nagrzewania opornicy, układ z grzejnikiem standardowym 330 W/m: B4 główka opornicy, B1 – spód stopki opornicy, układ z grzejnikami z radiatorami, o mocy 165 W/m: D1 – główka opornicy, D3 stopka opornicy.



Wykres nr 8.

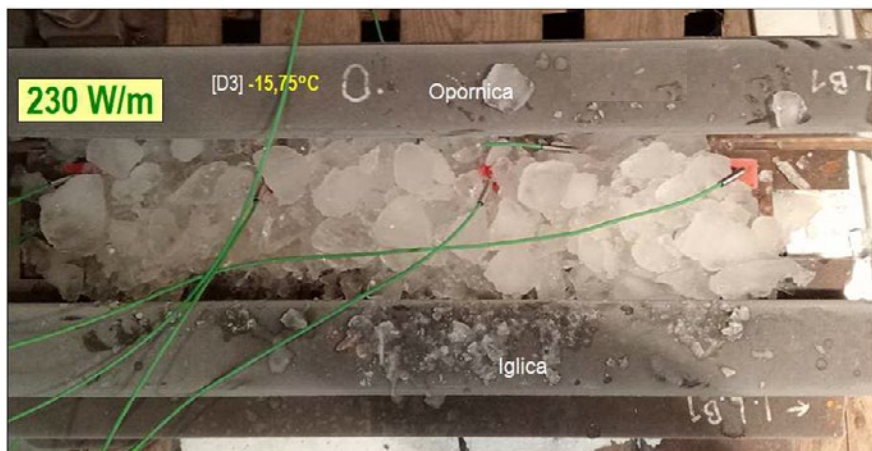
Krzywe nagrzewania siodełek, układ z grzejnikiem standardowym 330 W/m: A2 siodełko przy igłicy, B2 – siodełko przy opornicy, układ z grzejnikami z radiatorami, o mocy 165 W/m: C1 – siodełko przy opornicy, C4 – siodełko przy igłicy.

### Wynik badania.

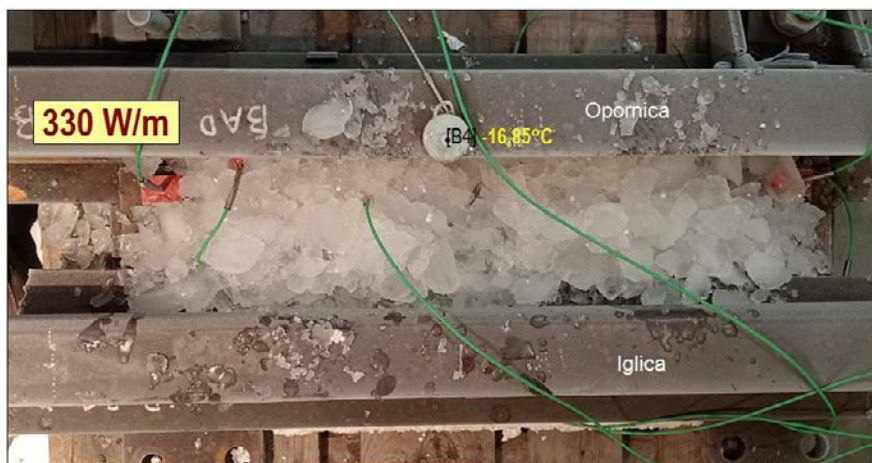
Po 180 minutach grzania, przy zadanej temperaturze narażenia  $-10^{\circ}\text{C}$ , układ z radiatorami bezstykowymi i grzejnikami o mocy zredukowanej o 50% ( $165\text{ W/m}$ ) wytopił porównywalną (minimalnie większą) objętości lodu co układ standardowy. W układzie standardowym temperatura na główce opornicy, po 3 godzinach grzania ciągłego osiągnęła temperaturę  $19,95^{\circ}\text{C}$ , natomiast w układzie z radiatorami bezstykowymi temperatura szyny opornicy na główce wynosiła  $4,95^{\circ}\text{C}$ .

### 3.7 Badanie porównawcze wytapiania lodu przez grzejniki z radiatorami bezstykowymi i grzejniki standardowe, temperatura narażenia $-20^{\circ}\text{C}$ , redukcja mocy grzejników z radiatorami o 30%

Badanie wykonano dla strefy A i C rozjazdu (odległość od opornicy: 15 cm) i iglicy odsuniętej, w temperaturze narażenia  $-20^{\circ}\text{C}$ . Moc grzejnika standardowego  $330\text{ W/m}$ , moc grzejnika z radiatorami bezstykowymi obniżona o 30% ( $230\text{ W/m}$ ). Czas grzania: 240 minut. Wyniki badania przedstawiono na Fot. 20 – 23 i wykresach 9 - 11.



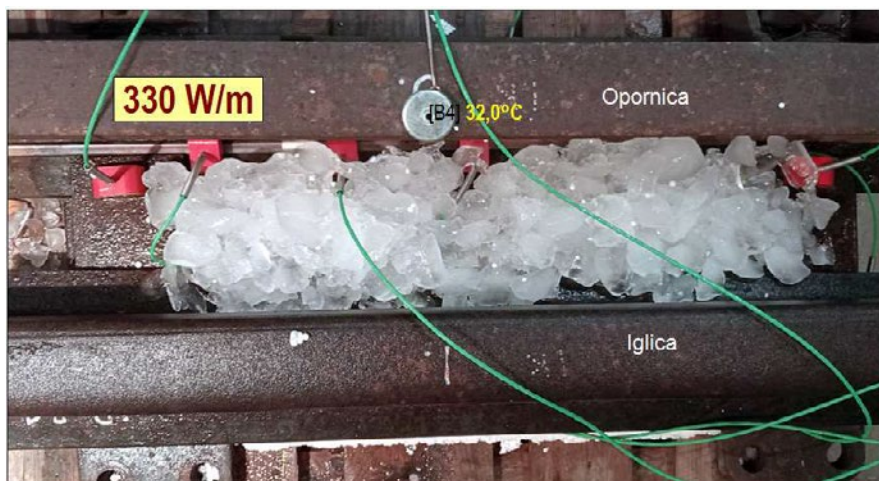
Fot.20. Grzejnik  $230\text{ W/m}$  z radiatorami bezstykowymi – stan przed załączeniem ogrzewania.



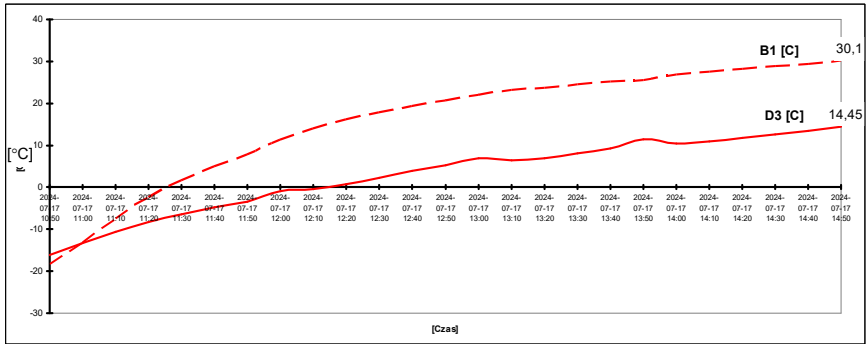
Fot.21. Grzejnik  $330\text{ W/m}$  z grzejnikiem standardowym – stan przed załączeniem ogrzewania.



Fot.22. Grzejnik 230 W/m z radiatorami bezstykowymi – stan po 240 minutach grzania.

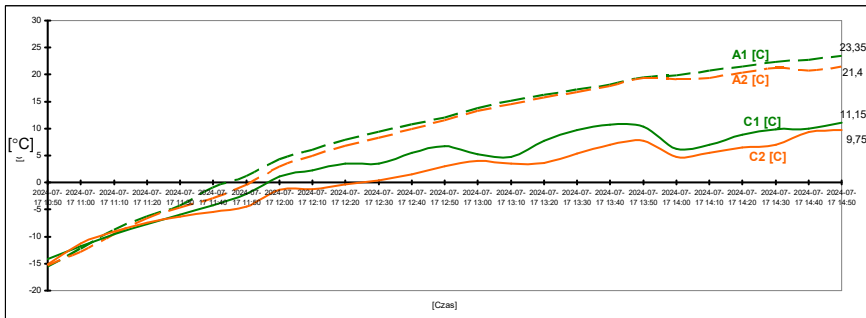


Fot.23. Grzejnik 330 W/m z grzejnikiem standardowym – stan po 240 minutach grzania.



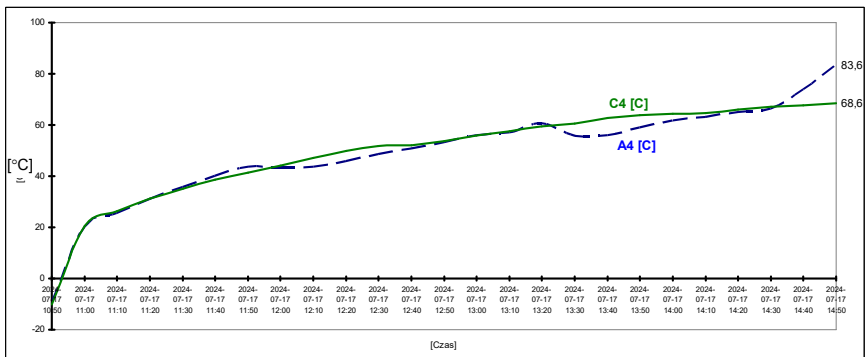
**Wykres nr 9.**

**Krzywe nagrzewania opornicy, układ z grzejnikiem standardowym 330 W/m: B1 – spód stopki opornicy, układ z grzejnikami z radiatorami, o mocy 230 W/m: D3 stopka opornicy. Temperatura narażenia -20°C.**



**Wykres nr 10.**

**Krzywe nagrzewania siodełek, układ z grzejnikiem standardowym 330 W/m: C1, C2 siodełko przy iglicy, układ z grzejnikami z radiatorami, o mocy 230 W/m: C1, C2 –siodełko przy iglicy. Temperatura narażenia -20°C.**



**Wykres nr 11.**

**Krzywe nagrzewania grzejników, układ z grzejnikiem standardowym 330 W/m: A4 – grzejnik, układ z grzejnikami z radiatorami, o mocy 230 W/m: C4 – grzejnik. Temperatura narażenia -20°C.**

Wynik badania.

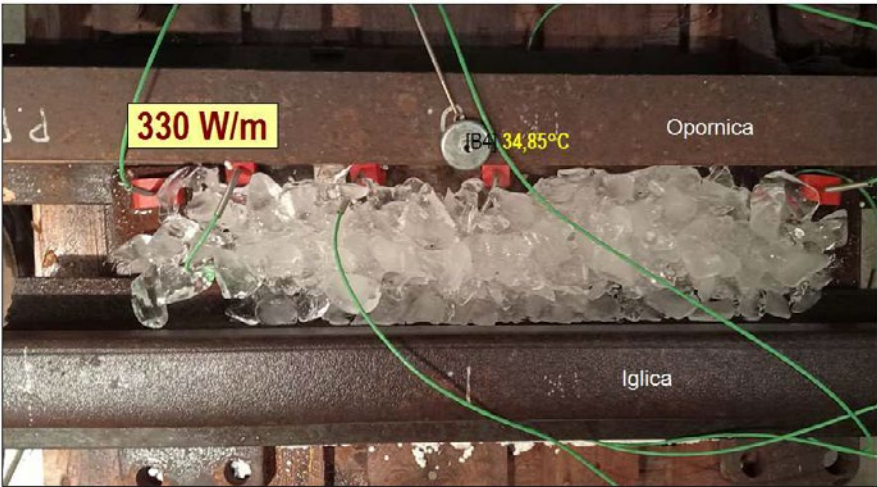
Po 240 minutach grzania, przy zadanej temperaturze narażania  $-20^{\circ}\text{C}$ , układ z radiatorami bezstykowymi i grzejnikami o mocy zredukowanej o 30% ( $230\text{ W/m}$ ) wytopił więcej śniegu w porównaniu z układem standardowym. W układzie standardowym, temperatura szyny oporowej (opornicy) na główce, po 4 godzinach grzania ciągłego osiągnęła temperaturę  $32,0^{\circ}\text{C}$ , natomiast w układzie z radiatorami bezstykowymi temperatura opornicy na główce wynosiła  $14,4^{\circ}\text{C}$ . W temperaturze  $-20^{\circ}\text{C}$  proces wytapiania lodu, w obu układach, przebiega dłużej niż w temperaturze  $-10^{\circ}\text{C}$ .

### **3.8 Badanie porównawcze wytapiania lodu przez grzejniki z radiatorami bezstykowymi i grzejniki standardowe, temperatura narażania $-20^{\circ}\text{C}$ , redukcja mocy grzejników z radiatorami o 40%**

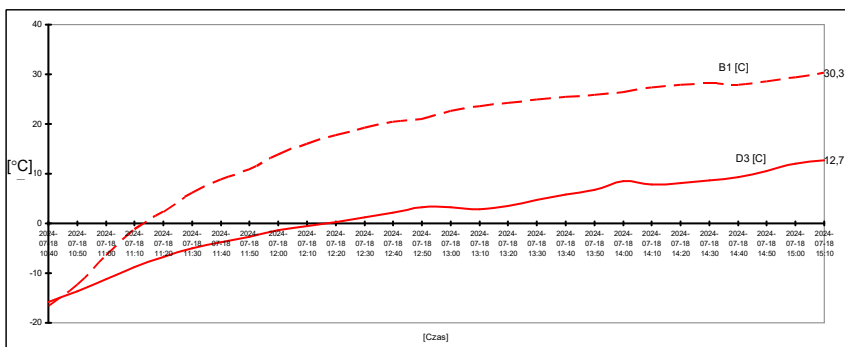
Badanie wykonano dla strefy A i C rozjazdu (odległość od opornicy: 15 cm) i iglicy odsuniętej, w temperaturze narażania  $-20^{\circ}\text{C}$ . Moc grzejnika standardowego  $330\text{ W/m}$ , moc grzejnika z radiatorami bezstykowymi obniżona o 40% ( $200\text{ W/m}$ ). Czas grzania: 270 minut. Stan początkowy badanego układu jak na fot. 20 i 21. Wyniki badania przedstawiono na Fot. 24 – 25 i wykresach 12 i 14.



Fot.24. Grzejnik 200 W/m z radiatorami bezstykowymi – stan po 270 minutach grzania.

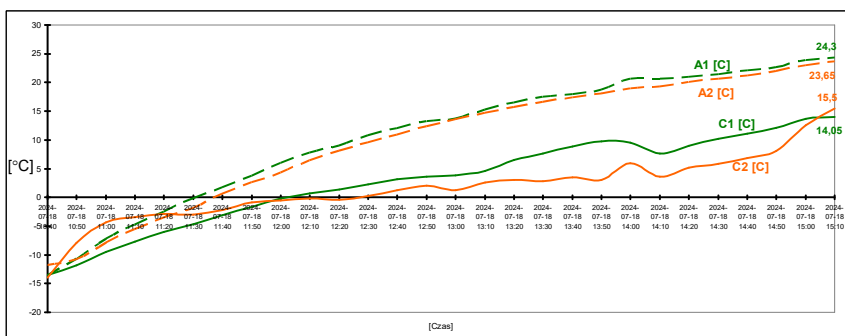


Fot.25. Grzejnik 330 W/m z grzejnikiem standardowym – stan po 270 minutach grzania.



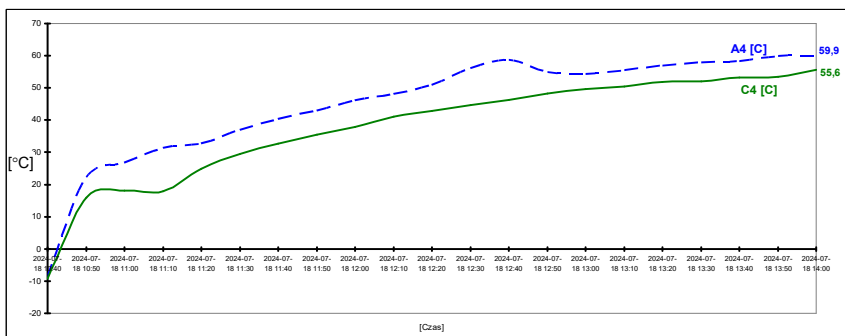
Wykres nr 12.

Krzywe nagrzewania opornicy, układ z grzejnikiem standardowym 330 W/m: B1 – spód stopki opornicy, układ z grzejnikami z radiatorami, o mocy 200 W/m: D3 stopka opornicy.



Wykres nr 13.

Krzywe nagrzewania siodełek, układ z grzejnikiem standardowym 330 W/m: C1, C2 siodełko przy iglicy, układ z grzejnikami z radiatorami, o mocy 230 W/m: C1, C2 –siodełko przy iglicy.



Wykres nr 14.

Krzywe nagrzewania grzejnika i radiatora, układ z grzejnikiem standardowym 330 W/m: A4 – grzejnik, układ z grzejnikami z radiatorami, o mocy 200 W/m: C4 – grzejnik.

### Wynik badania.

Po 270 minutach grzania, przy zadanej temperaturze narażania  $-20^{\circ}\text{C}$ , układ z radiatorami bezstykowymi i grzejnikami o mocy zredukowanej o 40% (200 W/m) wytopił więcej śniegu w porównaniu z układem standardowym. W układzie standardowym, temperatura szyny oporowej (opornicy) na główce, po 4 godzinach grzania ciąglego osiągnęła temperaturę  $34,85^{\circ}\text{C}$ , natomiast w układzie z radiatorami bezstykowymi temperatura opornicy na główce wynosiła  $15,75^{\circ}\text{C}$ . W temperaturze  $-20^{\circ}\text{C}$  proces wytapiania lodu, w obu układach, przebiega dłużej niż w temperaturze  $-10^{\circ}\text{C}$ .

## **4 PORÓWNANWCZE BADANIA TERENOWE GRZEJNIKÓW EOR I GRZEJNIKÓW Z NAKŁADKAMI RADIACYJNYMI TYPU NR**

### **4.1 Miejsce i czas wykonania badań**

Badania wykonano na stacjach poligonowych Gdańsk Osowa i Międzyzlesie, w okresie luty 2023 – marzec 2026 r.

### **4.2 Metodologia badań**

Badania laboratoryjne przeprowadzone w rozjazdach z szynami 60E1 oraz 49E1 wyposażonych w nakładki radiacyjne typu NR oraz w rozjazdach bez nakładek, które były rozjazdami porównawczymi (referencyjnymi).

Zakres badań terenowych obejmował:

- badania porównawcze charakterystyk grzania stygnięcia w trybie manualnym i automatycznym,
- badania porównawcze skuteczności wytapiania śniegu (próby zasypowe)

Wszystkie badania były badaniami porównawczymi, z rozjazdem referencyjnym, bez radiatorów z pełną mocą grzejników. Moc grzejników z nakładkami była zredukowana o  $20\% \div 50\%$ .

Punkty pomiaru temperatur wykonane były w następujących elementach rozjazdu:

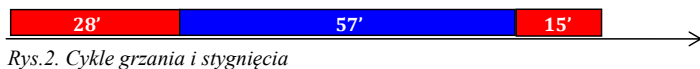
- (a) płyty ślizgowe,
- (b) stopka szyny oporowej,
- (c) szyjka szyny oporowej,
- (d) główka szyny oporowej,
- (e) stopka iglicy,
- (f) szyjka iglicy,
- (g) grzejniki/radiatory.

Wykonano wiele serii pomiarów, w szczególności zimą 2025/25 charakteryzującą dobrymi warunkami klimatycznymi do wykonywania badań ogrzewania rozjazdów.

Poniżej przedstawiono przykładowe wyniki badań terenowych.

### 4.3 Porównanie skuteczności wytapiania śniegu w trybie automatycznym

Badanie wykonano w listopadzie 2025 na stacji Międzyzylesie w rozjazdach nr 38 z nakładkami radiacyjnymi i w rozjeździe nr 39 bez nakładek – referencyjnym. Tryb grzania automatyczny w cyklach: grzanie 28 minut, stygnięcie 57 minut (Rys. 2), drugie grzanie 15 minut. W badanym rozjeździe nr 38 moc grzejników w strefie A obniżono o 30% (230W/m), w strefie B moc pełna 330 W/m . Przeprowadzono próbę zasypową, śnieg o grubości 10 cm nas powierzchnią siodełek. Wyniki skuteczności grzania przedstawiono na Fot. 26 ÷ 41.



Rys.2. Cykle grzania i stygnięcia



Fot. 26. Rozjazd nr 38 z radiatorami, strefa A, moc grzejników obniżona o 30%, stan zaśnieżenia przed rozpoczęciem grzania.



Fot. 27. Rozjazd referencyjny nr 39 referencyjny, strefa A, moc grzejników 100%, stan zaśnieżenia przed rozpoczęciem grzania.



*Fot. 28. Rozjazd nr 38 z radiatorami, strefa A, moc grzejników obniżona o 30%, stan po 15 minutach grzania.*



*Fot. 29. Rozjazd nr 39 referencyjny, strefa A, moc grzejników 100%, stan po 15 minutach grzania.*



*Fot. 30. Rozjazd nr 38 z radiatorami, strefa A, moc grzejników obniżona o 30%, stan po 28 minutach grzania. WYŁĄCZENIE grzania.*



*Fot. 31. Rozjazd nr 39 referencyjny, strefa A, moc grzejników 100%, stan po 28 minutach grzania. WYŁĄCZENIE grzania.*



*Fot. 32. Rozjazd nr 38 z radiatorami, strefa A, moc grzejników obniżona o 30%, stan po 57 minutach stygnięcia. Drugie ZAŁĄCZENIE grzania.*



*Fot. 33. Rozjazd nr 39 referencyjny, strefa A, moc grzejników 100%, stan po 57 minutach stygnięcia. Drugie ZAŁĄCZENIE grzania.*



*Fot. 34. Rozjazd nr 38 z radiatorami, strefa A, moc grzejników obniżona o 30%, stan po 20 minutach drugiego załączenia grzania.*



*Fot. 35. Rozjazd nr 39 referencyjny, strefa A, moc grzejników 100%, stan po 20 minutach drugiego załączenia grzania.*



*Fot. 36. Rozjazd nr 38 z radiatorami, strefa B, stan zaśnieżenia przed rozpoczęciem grzania. Moc grzejników 100% .*



*Fot. 37. Rozjazd nr 39 referencyjny, strefa B, moc grzejników 100%, stan zaśnieżenia przed rozpoczęciem grzania.*



*Fot. 38. Rozjazd nr 38 z radiatorami, strefa B, stan po 15 minutach grzania. Moc grzejników 100% .*



*Fot. 39. Rozjazd nr 39 referencyjny, strefa B, stan po 15 minutach grzania. Moc grzejników 100% .*



*Fot. 40. Rozjazd nr 38 z radiatorami, strefa B, stan po 27 minutach grzania. Moc grzejników 100%.*



*Fot. 41. Rozjazd nr 39 referencyjny, strefa B, stan po 27 minutach grzania. Moc grzejników 100%.*

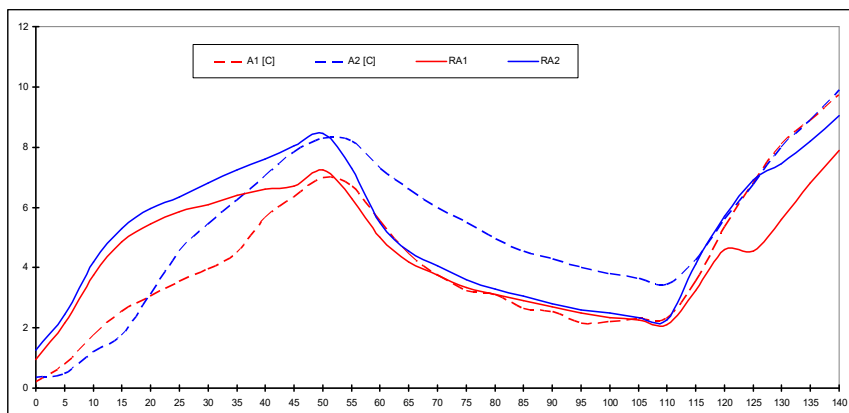
Powyższe wyniki badania potwierdziły większą skuteczność wytapiania śniegu w trybie automatycznym, przez grzejniki z nakładkami radiacyjnymi NR, pomimo mocy zmniejszonej o 30%. W cyklach stygnięcia skuteczność wytapiania w obu rozjazdach jest porównywalna.

W strefie B rozjazdu, przy pełnej mocy grzejników z nakładkami NR bardzo duża różnica skuteczności wytapiania jest widoczna już po 15 minutach grzania (Fot. 38, 39). Po 27 minutach grzania w rozjeździe nr 38 z nakładkami NR śnieg został całkowicie wytopiony.

#### 4.4 Porównanie temperatur płyt ślizgowych – krytycznego elementu w procesie ogrzewania rozjazdu

Płyty ślizgowe (siodełka) są krytycznym elementem w procesie ogrzewania rozjazdu. Nawet stosunkowo niewielka ilość śniegu zgromadzonego na siodełkach może spowodować niepełne dosunięcie iglicy do opornicy (> 3mm), przez co nie uzyska się kontroli położenia rozjazdu i nie będzie możliwości podania sygnału zezwalającego na jazdę. Z tego powodu temperatura górnej powierzchni siodełek jest bardzo ważna w procesie ogrzewania rozjazdu.

W badaniach terenowych wykonano szereg pomiarów powierzchni siodełek. Badania wykazały, że temperatury siodełek z grzejnikami i nakładkami radiacyjnymi NR przy mocy obniżonej o 30% są porównywalne z siodełkami z grzejnikami o mocy pełnej bez radiatorów (wykres nr 15). Wynika to głównie z poprawy dolegania grzejnika z radiatorem do siodełka, grzejnik jest podniesiony o 2 – 3 mm w stosunku do grzejnika bez radiatorów. Drugim prawdopodobnym czynnikiem jest zwiększona temperatura grzejnika i promieniowanie podczerwone emitowane z radiatora w kierunku siodełek.



Wykres nr 15.

**Krzywe nagrzewania siodełek. Rozjazd 38 (z radiatorami) – redukcja mocy strefa -32%, i rozjazdu 36 bez radiatorów.**

**Linie ciągłe temperatury siodełek w rozjeździe z radiatorami, linie przerywane – rozjazd bez radiatorów. Międzyzylesie 15-01-2026. Rozjazdy zaśnieżone ok. 7 cm nad siodełkami.**

## 5 PODSUMOWANIE

1. W komorze klimatycznej wykonano serię badań porównawczych rozkładu temperatur i skuteczności wytapiania lodu przez grzejniki z radiatorami bezstykowymi w porównaniu ze standardowym grzejnikiem mocowanym do stopki opornicy.

2. Badaniami objęte były elementy rozjazdów z grzejnikami z nakładkami radiacyjnymi, o zredukowanej gęstości mocy o 30% (230 W/m), 40% (200 W/m) i 50% (165 W/m), oraz jako układ referencyjny, elementy rozjazdów z grzejnikami o mocach standardowych – gęstość mocy 330 W/m.

3. Podczas badań porównywano skuteczność wytapiania lodu przez grzejniki o mocy zredukowanej z nakładkami radiacyjnymi i standardowe grzejniki o mocy pełnej. Wykonano pomiary rozkładu temperatur, krzywych nagrzewania niewrażliwych elementów rozjazdów.

4. Badania wykonywane były w temperaturach narażania:  $-10^{\circ}\text{C}$ ,  $-20^{\circ}\text{C}$ .

5. Badania porównawcze skuteczności wytapiania lodu były najistotniejsze, albowiem jest to zasadniczy cel ogrzewania rozjazdów.

6. Wszystkie przeprowadzone badania wykazały, że skuteczność wytapiania lodu przez grzejniki z radiatorami bezstykowymi, w temperaturach narażania  $-10^{\circ}\text{C}$  i  $-20^{\circ}\text{C}$  jest znacznie bardziej efektywna w porównaniu ze standardowym grzejnikiem przytwierdzonym do opornicy rozjazdu, pomimo redukcji mocy grzejników z radiatorami o 30 i 40%.

7. W temperaturze narażania  $-10^{\circ}\text{C}$  i redukcji mocy grzejniki z radiatorami bezstykowymi o 50% stopień wytopienia lodu był zbliżony dla grzejników z radiatorami i standardowego.

8. Badania wykazały, że w temperaturze narażania  $-20^{\circ}\text{C}$  grzejnik w rozjeździe z szynami 60E1 nie jest w stanie wytopić lodu z przestrzeni roboczej pomimo 270 minut grzania ciągłego. Układ jest poza granicą wydolności. Temperatury mierzone na stopce i główce szyny oporowej są znacznie wyższe dla grzejnika standardowego. Przykładowo w temperaturze narażania  $-20^{\circ}\text{C}$  po 270 minutach grzania ciągłego temperatura opornicy przy grzejniku standardowym o mocy 330 W/m wynosiła  $34,9^{\circ}\text{C}$  natomiast dla grzejnika z radiatorem o mocy mniejszej o 40% (200 W/m)  $15,8^{\circ}\text{C}$ . Znacznie wyższa temperatura szyny oporowej nie przekłada się na skuteczność wytapiania lodu.

14. Wyniki badań terenowych dla trybu potwierdziły, że w rozjazdach z nakładkami radiacyjnymi mimo redukcji mocy o 30% temperatury górnej powierzchni płyt ślizgowych są porównywalne lub w niektórych przypadkach nieco wyższe niż w rozjazdach ze standardowym eor i pełnej mocy grzejników, prawdopodobną przyczyną to poprawa styku grzejnika z dolną powierzchnią siodełka, wyższa temperatura grzejnika i zwiększona emisja promieniowania podczerwonego z radiatorów i grzejnika.

15. W strefie A rozjazdu (okolice ostrza iglicy) przy redukcji mocy grzejników z nakładkami radiacyjnymi o 30% efektywność wytapiania śniegu była taka sama lub wyższa w porównaniu ze standardowym eor i pełnej mocy grzejników.

16. W strefie B rozjazdu (obszar gdzie iglica znajduje się blisko opornicy) redukcji mocy o 49% efektywność wytapiania śniegu była taka sama lub wyższa w porównaniu ze standardowym eor i pełnej mocy grzejników.

17. W fazach stygnięcia efektywność wytapiania śniegu jest porównywalna do grzejników z nakładkami radiacyjnymi i mocy zredukowanej o 30% w porównaniu z ze standardowym eor i pełnej mocy grzejników.

**Porównanie symulacji komputerowej z badaniami laboratoryjnymi i pomiarami eksploatacyjnymi – metoda standardowa i bezstykowa elektrycznego ogrzewania rozjazdów.**

mgr inż. Krzysztof Ortel  
Zakład Sterowania Ruchem i Teleinformatyki  
Instytut Kolejnictwa



## Porównanie symulacji komputerowej z badaniami laboratoryjnymi i pomiarami eksploatacyjnymi - metoda standardowa i bezstykowa elektrycznego ogrzewania rozjazdów

### 1. WSTĘP

Rozjazdy kolejowe ze względu na swoje przeznaczenie muszą stale znajdować się w pełni sprawności, umożliwiając zmianę toru przejeżdżającym pociągom niezależnie od panujących warunków atmosferycznych czy natężeniu ruchu. Jednym z największych wyzwań, który ma wpływ na niezawodność systemu, jest eliminacja pokładów śniegu bądź lodu gromadzących się pomiędzy elementami układu w okresie zimowym.

W celu eliminacji zalegających pokładów śnieżnych, elementy układu są podgrzewane i przy wystarczającej ilości ciepła dostarczonego do części ruchomej rozjazdu, następuje proces topnienia pokrywy śnieżnej. Proces ten jest bardzo energochłonny, a w związku z tym kosztowny. Celem projektu BRIK2 pt: „Energoozczędny system elektrycznego ogrzewania rozjazdów z adaptacyjną dystrybucją mocy grzewczej” jest znalezienie metody - poprzez wykonanie analizy numerycznej, badań laboratoryjnych i terenowych - która umożliwiłaby ograniczenie maksymalnej mocy grzewczej układu poprzez skierowanie ciepła do powierzchni, na której dzieje się przemiana fizyczna. Takie postępowanie pozwoli na zaoszczędzenie kosztów pochłoniętej energii i poprawę efektywności topienia śniegu lub brył lodu.

### 2. CHARAKTERYSTYKA METODY STYKOWEJ

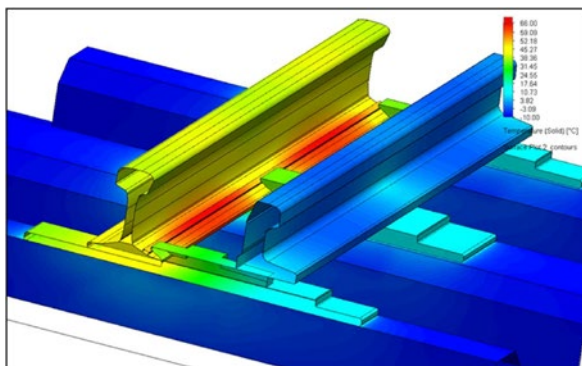
Obecnie najczęściej wykorzystywaną metodą na terenie Polskich Linii Kolejowych S.A. jest metoda stykowa ogrzewania rozjazdów, polegająca na umocowaniu elementu grzejnego w postaci pręta płasko-owalnego do stopki szyny, gdzie ciepło dostarczone do układu jest przenoszone do pozostałych elementów rozjazdu kolejowego poprzez przewodzenie ciepła, do powierzchni, na której może dojść do procesu wytapiania. Na fotografii 1 widzimy standardowy układ powszechnie stosowany na kolei zasilany z sieci 230V AC, dający moc układu grzewczego na poziomie 300-330 W/m, co daje moc jednej grzałki na poziomie w zależności od długości 1050 lub 1250 Watów.



Fot. 1. Rozjazd kolejowy wyposażony w standardowy grzejnik EOR oraz iglice.

System ten nagrzewa szynę na całej długości w sposób równomierny. Ciepło następnie rozchodzi się do iglicy poprzez płyty ślizgowe, w związku ze stosunkowo niską powierzchnią styku pomiędzy iglicą i płytą ślizgową, tylko część mocy cieplnej dochodzi do iglicy. W związku z tym moc cieplna może być niewystarczająca do wywołania przemiany fizycznej. Stosunek mocy cieplnej dostarczonej do iglicy w stosunku do mocy całkowitej w układzie będzie niski, podwyższanie mocy cieplnej będzie głównie powodowało zwiększenie temperatury szyny, bez znacznego wzrostu temperatury iglicy. (Przykładowy rozkład ciepła opisanej powyżej sytuacji przedstawiono na rysunku 1). W związku z tym w układzie może dojść do nagromadzenia śniegu w obszarze pomiędzy iglicą a szyną. Standardowa metoda nagrzewania stykowego skupia się na nagrzewaniu szyny, w której tylko powierzchnie wewnętrzne biorą udział w wytapianiu masy śnieżnej.

Opisany powyżej proces skupia się wyłącznie na wytapianiu śniegu poprzez przewodnictwo cieplne z powierzchni elementów nagrzewających się do powierzchni śniegu pokrywy śnieżnej.



Rys. 1. Wykres temperatury na powierzchni obiektów dla metody stykowej.

### 3. CHARAKTERYSTYKA METODY BEZSTYKOWEJ Z RADIATORAMI

Proces wytapiania śniegu dla pionowej warstwy śniegu możemy podzielić na 3 etapy, pierwszym jest wytopienie pewnej objętości przy styku śniegu z obiektem, gdzie ciepło jest transportowane poprzez przewodzenie, w powstałej pustce powietrznej następuje dochodzi do transportu ciepła poprzez wiry konwekcyjne, gdy czasza się powiększa, jedynym sposobem na transport ciepła z obiektu do pokrywy śnieżnej jest radiacja cieplna.

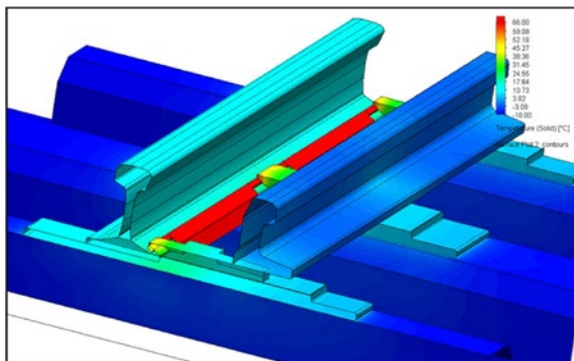
W związku z tym, że w procesie wytapiania radiacja cieplna jest procesem kończącym, która pozwala wytopić masy śnieżne nie stykające się z układem, w proponowanym rozwiązaniu postarano się zwiększyć jej znaczenie w bilansie cieplnym.

Śnieg jako materiał przedstawia unikatowe w stosunku do innych materiałów właściwości optyczne. W zależności od długości fali może być on zbliżony do ciała doskonałego białego. Zatem śnieg jako materiał absorbuje niemal całkowicie całą radiacyjną moc cieplną, która na niego pada. Zamontowanie grzejnika EOR na dolnej powierzchni ścięcia płyty ślizgowej będzie pozwalało na przekazanie większej wartości mocy cieplnej bezpośrednio do iglicy co w połączeniu z radiatorami. Pozwoli to na zmniejszenie koniecznej mocy do wytapiania śniegu jak i przyspieszeniu procesu wytapiania.

Na fotografii 2 pokazano rozwiązanie tzw. bezstykowe zamontowane w torze kolejowym. Jest to rozwiązanie podczas prób eksploatacyjnych wyposażone w grzejnik z zamontowanymi radiatorami o określonych wymiarach i kształcie. Przykładowy rozkład ciepła opisanej powyżej sytuacji przedstawiono na rysunku 2.



Fot. 2. Część rozjazdu wyposażona w grzejnik z zamontowanymi radiatorami (metoda bezstykowa).

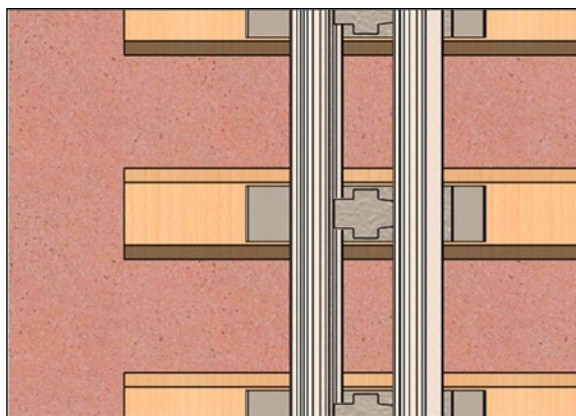


Rys. 2. Wykres temperatury na powierzchni obiektów dla metody bezstykowej.

#### 4. PORÓWNANIE METODY BEZSTYKOWEJ Z METODĄ STANDARDOWĄ W ANALIZIE NUMERYCZNEJ

Proces topienia jest procesem niestacjonarnym ze zmiennymi warunkami brzegowymi, analiza takiego układu byłaby niezrównanie kosztowna zasobowo jak i czasowo. W związku z tym została zaproponowana prostsza metoda, która uwzględnia uproszczony model topnienia. Analizowana jest tylko wartość ciepła konieczna do przeprowadzenia przemiany. Przyjęto, że na wewnętrzne ściany igłicy zostanie nałożona wartość ciepła równa  $159.5 \text{ W/m}^2$ , wartość ta odpowiada topieniu warstwy śniegu o wartości  $1.5 \text{ cm/h}$ .

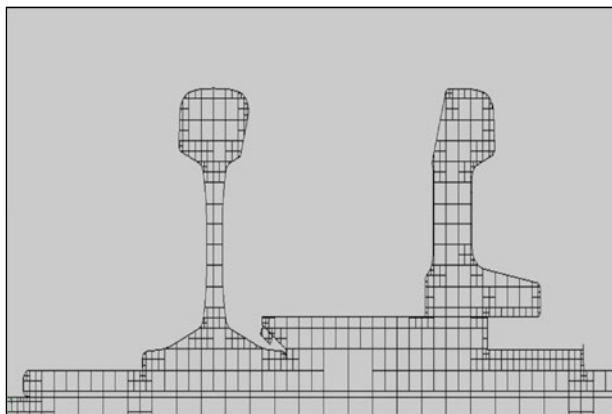
Do zrealizowania analizy numerycznej przyjęto układ Quasi 2D zobrazony na rysunku 3. Analiza została wykonana w trzech wymiarach na długości dwóch podkładów kolejowych.



**Rys. 3. Widok z góry części rozjazdu z ogrzewaniem stykowym wykorzystany w analizie numerycznej.**

Natomiast wymiary oraz kąty elementów takich jak szyna, iglica czy iglica jest niezmienna, pozwoli to uprościć analizę, ale pozwoli pokazać pole temperatury w układzie trójwymiarowym z uwzględnieniem środkowego obszaru iglicy bądź iglicy, gdzie założono najniższą możliwość wytapiania śniegu.

Do analizy wykorzystano siatkę ortogonalną, z odpowiednimi podziałami elementów, aby móc uzyskać zbliżony kształt do analizowanej geometrii. Na rysunku 4 przedstawiono widok siatki ortogonalnej objętości skończonych – przekrój poprzeczny. Następnie założono bazowy element siatki jako sześciąt 10 cm, który może zostać podzielony 5-krotnie na 8 sześciątów w zależności od geometrii się w nim znajdującej. Do wykonania analizy przyjęto 3 różne elementy znajdujące się naprzeciwko szyny, jest to iglica, iglica pełna jak i iglica ścięta, i takie 3 konfiguracje zestawiono w analizie dla szyny ciężkiej i lekkiej. Kolejno ustalono warunki otoczenia dla analizy, temperaturę otoczenia na  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  bez obecności wiatru. Na końcu na objętość elementu grzejnego EOR nałożono 328.8 watów generacji ciepła co jest równoważne  $300\text{W/m}$  elementu grzejnego.



**Rys. 4. Widok siatki ortogonalnej objętości skończonych – przekrój poprzeczny.**

Ilość ciepła absorbowanego poprzez wytapianie warstwy śniegu na powierzchni możemy uzyskać ze wzoru:

$$q = \frac{h \cdot \rho \cdot (Cp \cdot \Delta T + H)}{\Delta t}$$

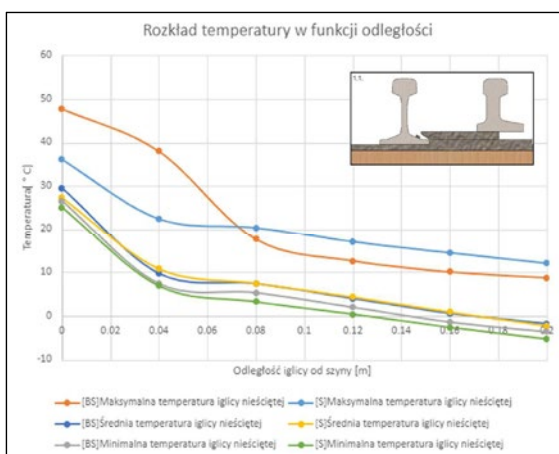
Gdzie:

- h - wysokość pokrywy śnieżnej wytapianej w czasie 1h, przyjęto 1.5 [cm]
- ρ - gęstość śniegu świeżego wynosząca około 100 [kg/m<sup>3</sup>]
- Cp - ciepło właściwe śniegu wynoszące około 2.1 [kJ/kg\*K]
- ΔT - różnice pomiędzy temperaturą śniegu a temp. przemiany, dla symulacji przyjęto -10 [°C]
- H – entalpia przemiany wynosząca około 362 [kJ/kg]
- Δt - zakładany czas przemiany przyjęto 3600 [s], 1 [h]

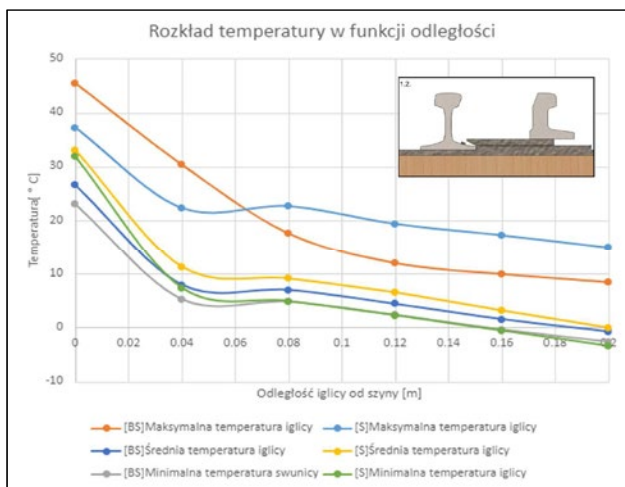
Układ skonstruowany w ten sposób cechuje się temperaturą obiektów zbliżoną do końcowego rozkładu temperatur po procesie wytapiania. Celem symulacji jest skupienie się na temperaturze powierzchni, gdzie został nałożony warunek ujemnej generacji ciepła. Osiągnięcie temperatury wyższej niż 0 °C oznacza, że nałożony warunek ciepła zostanie spełniony, w przypadku temperatury wyższej, wytapianie w tym miejscu będzie intensywniejsze. Osiągnięcie temperatury w zakresie od -10 °C do 0 °C będzie oznaczało mniejsza intensywność wytapiania. Zatem celem symulacji jest uzyskanie jak najwyższej temperatury minimalnej na tej powierzchni.

W celu porównania obu rozwiązań przeprowadzono szereg symulacji porównawczych dla standardowej metody jak i dla metody bezstykowej. Celem analizy było porównanie różnicy temperatur dla obu metod w funkcji odległości od stanu zamkniętego. Analiza została przygotowana dla konfiguracji dla szyny ciężkiej 60 E1 dla iglicy nieściętej (1.1), dla iglicy jak i szyny ściętej (1.2) oraz szyny ścięta wraz z iglicą (1.3). Zbadano zakres odległości iglicy od szyny od 0 cm do 20 cm z krokiem co 4 cm. Wraz ze wzrostem odległości, ilość ciepła poprzez przewodzenie która dochodzi do iglicy powinna maleć, udział radiacji w tym przypadku zwiesza temperaturę minimalną powierzchni iglicy.

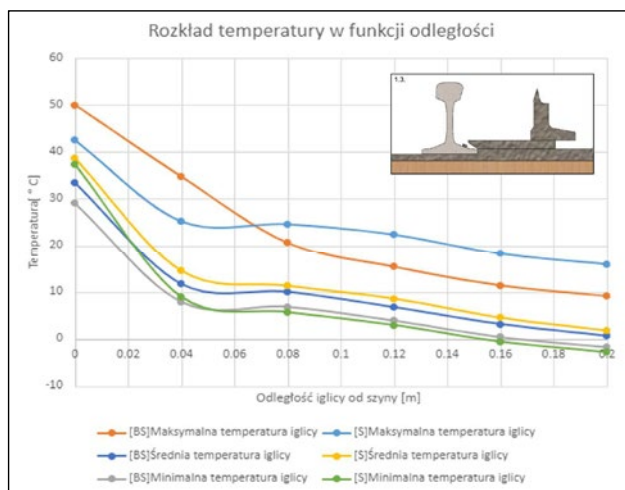
Na wykresach 1 ÷ 3 zaznaczono minimalną, średnią oraz maksymalną temperaturę iglicy dla zastosowanego grzejnika stykowego [S] oraz metody bezstykowej z radiatorem [BS].



Wykres 1. Wykres temperatury w funkcji odległości od szyny ciężkiej dla iglicy nieściętej.

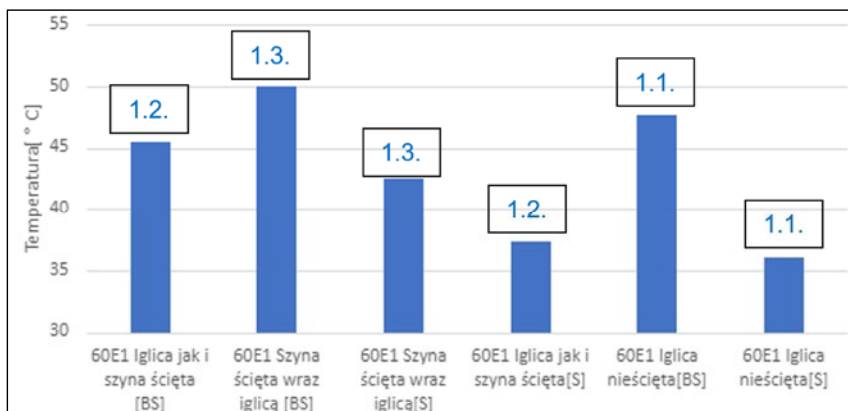


Wykres 2. Wykres temperatury w funkcji odległości od szyny ciężkiej dla iglicy ściętej.

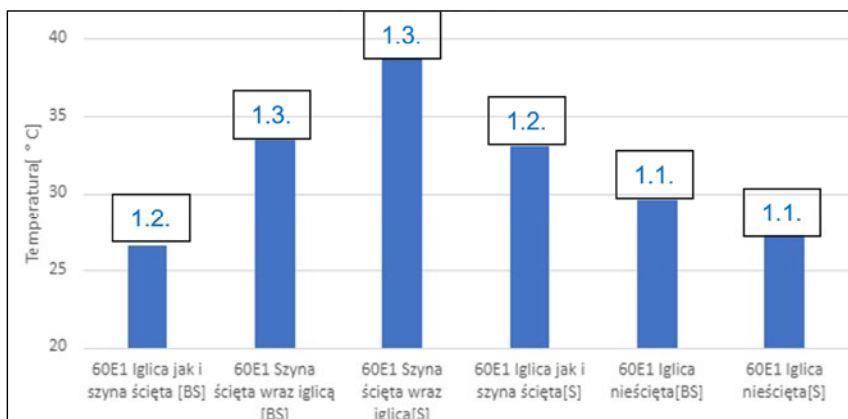


Wykres 3. Wykres temperatury w funkcji odległości od szyny ciężkiej dla iglicy.

Zaobserwować można, że maksymalna temperatura dla układu bezstykowego metody grzewczej jest wyższa niż w układzie stykowym a temperatura średnia jest nieznacznie niższa co zasugerowało, iż można obniżyć moc zasilającą układ przy zachowaniu skuteczności grzania powierzchni na styku iglicy z opornicą. Szczegółowo można to zobaczyć na wykresach 4 i 5.



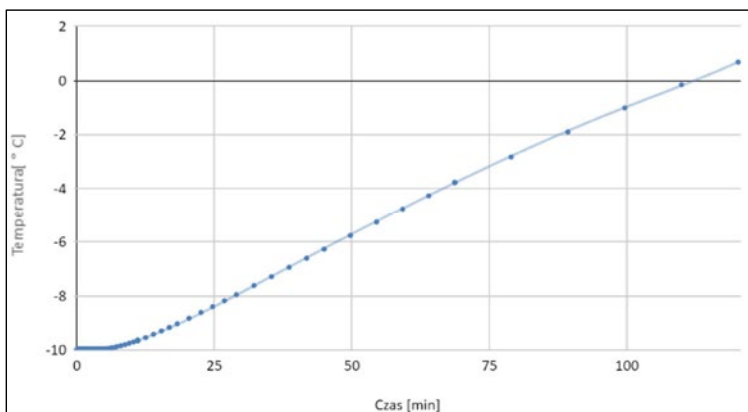
Wykres 4. Wykres maksymalnych temperatur iglicy dosuniętej dla szyny ciężkiej.



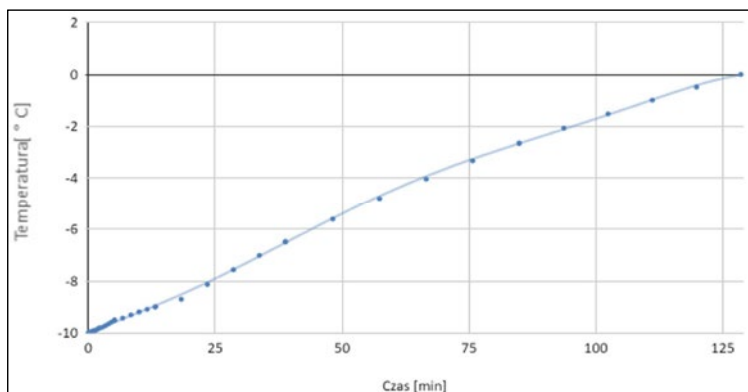
Wykres 5. Wykres średnich temperatur iglicy dosuniętej dla szyny ciężkiej.

Kolejnym etapem analizy jest porównanie tempa nagrzewania układu dla sytuacji, w której na wewnętrznych ścianach iglicy znajduje się fizyczna warstwa śniegu o grubości 1 cm. Analiza została wykonana dla temperatury początkowej i otoczenia  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Skrócenie czasu dostarczenia energii do powierzchni przemiany fizycznej pozwoli na największą redukcję mocy koniecznej do przeprowadzenia procesu. Konfiguracja z grzejnikiem stykowym potrzebowała 115 minut do osiągnięcia temperatury umożliwiającej topienie warstwy śniegu (wykres 6) a osiągnięta temperatura topienia ma miejsce jedynie na styku warstwy śniegu z płytą ślizgową.

Na wykresie 7 w przypadku układu bezstykowego osiągnięto czas zbliżony 125 minut, jednakże krzywa temperatury wskazuje, że osiągnięcie uzysku o 5 stopni Celsjusza może być znacznie szybsze. W tej metodzie rozkład temperatury jest bardziej równomierny.

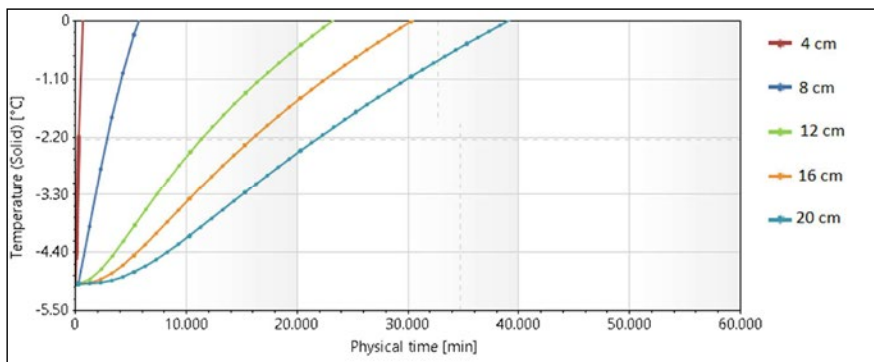


Wykres 6. Wykres maksymalnej temperatury pokrywy śnieżnej w funkcji czasu dla ogrzewania stykowego.

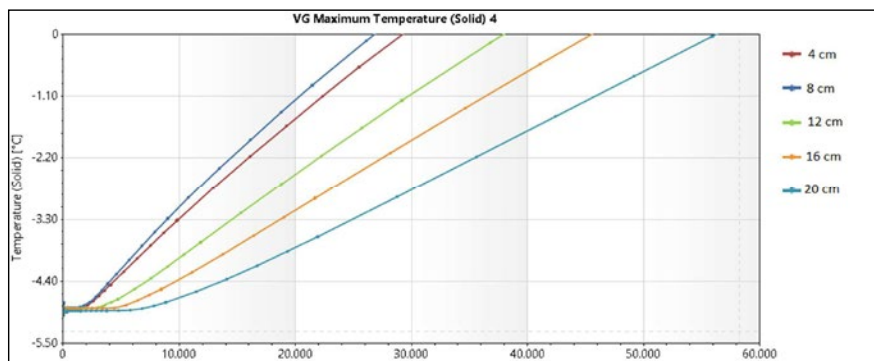


Wykres 7. Wykres maksymalnej temperatury pokrywy śnieżnej w funkcji czasu dla ogrzewania bezstykowego.

Poniżej przedstawiono wyniki analizy parametryczną dla czasu nagrzewania w temperaturze otoczenia  $-5^{\circ}\text{C}$  w funkcji odległości, w tym przypadku minimalna odległość wynosi 4 cm ze względu na 1 cm pokrywy śnieżnej. Dla radiatora bezstykowego, tempo nagrzewania warstwy śnieżnej jest zdecydowanie szybsze, dla iglicy znajdującej się tuż nad nim, dzieje się to niemal natychmiastowo co pokazano na wykresie 8. Na wykresie 9 dla metody stykowej możemy zaobserwować niemal stałą temperaturę na początku trwania proces. W tym czasie niemal całość energii jest transportowana do szyny, gdzie dopiero od niej poprzez płyty ślizgowe, energia transportowana jest do iglicy. Uzyskane czasy nagrzewania dla temperatury otoczenia równej  $-5^{\circ}\text{C}$  są mniejsze o nie mniej niż 30 %.

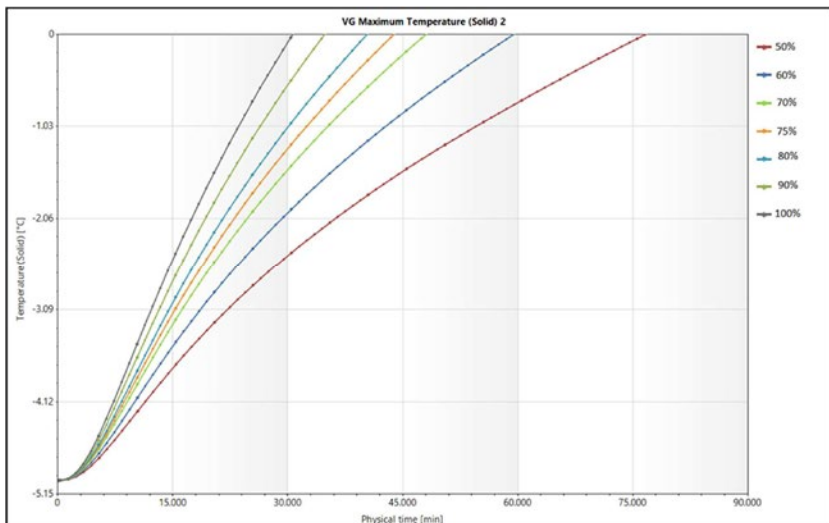


**Wykres 8.** Przedstawienie krzywej nagrzewania w funkcji czasu [min] dla grzejnika stykowego.



**Wykres 9.** Przedstawienie krzywej nagrzewania w funkcji czasu [min] dla radiatora bezstykowego.

W celu porównania czy możliwe jest obniżenie mocy cieplnej układu, przeprowadzono analizę, gdzie zadana moc stanowiła od 50 do 100% z krokiem 10% zadanej mocy. Do analizy wybrano konfigurację oddaloną o 16 cm. Celem analizy było sprawdzenie jaka moc metody bezstykowej da nam zbliżony czas rozpoczęcia topienia w porównaniu do analizy stykowej. Wyniki analizy zostały przedstawione na wykresie 10. Dla odległości 16 cm iglicy od szyny dla radiatora bezstykowego, czas rozpoczęcia topienia warstwy śniegu na powierzchni iglicy wynosi 45 minut. Podobny czas rozpoczęcia procesu dla radiatora bezstykowego otrzymujemy przy zakresie między 70% a 80% mocy podstawowej. Dla odległości mniejszych od 16 cm, możliwa jest dalsze zmniejszenie mocy.



Wykres 10. Wykres nagrzewania warstwy śniegu dla różnego zakresu mocy grzewczej.

## 5. PORÓWNANIE DLA OBU UKŁADÓW W BADANIACH LABORATORYJNYCH

Badania laboratoryjne przeprowadzone były na fragmentach rozjazdów 60E1, składających się z szyn opornicowych, iglic, płyt ślizgowych, podrozjazdnic, opórek iglicowych. Fragmenty rozjazdów uzbrojone zostały w elementy grzewcze, nakładki radiacyjne oraz zestaw czujników temperatury. Fragmenty rozjazdów umieszczono w komorze klimatycznej i poddano narażeniu niskich temperatur oraz lodu kruszonego jako zamiennika śniegu. Badaniami objęte były elementy rozjazdów z grzejnikami z nakładkami radiacyjnymi, o zredukowanej gęstości mocy o 30% (230 W/m), 40% (200 W/m) i 50% (165 W/m) oraz jako układ referencyjny, elementy rozjazdu z grzejnikami o mocach standardowych – gęstość mocy 330 W/m. Podczas badań porównywano skuteczność wytopiania lodu przez grzejniki o mocy zredukowanej z nakładkami radiacyjnymi i standardowe grzejniki o mocy pełnej. Wykonano pomiary rozkładu temperatur, krzywych nagrzewania newralgicznych elementów rozjazdów. Badania wykonywane były w temperaturach narażania:  $-10^{\circ}\text{C}$ ,  $-20^{\circ}\text{C}$ . Badane były jednocześnie półzwrótnice z iglicą odsuniętą i dosuniętą, w trzech strefach rozjazdu:

- strefa A - przy ostrzu iglicy, odległość iglicy od opornicy 15 cm – odsunięta / 0 cm - dosunięta, skok iglicy 15 cm,
- strefa B – w środkowej strefie, odległość iglicy od opornicy 8 cm, skok iglicy 8 cm,
- strefa C - przy osadzie iglicy, odległość iglicy od opornicy 15 cm, skok iglicy 2 cm.

Na fotografii 3 przedstawiono układ fragmentów rozjazdu poddane badaniom w komorze klimatycznej, której widok pokazano na fotografii 4.

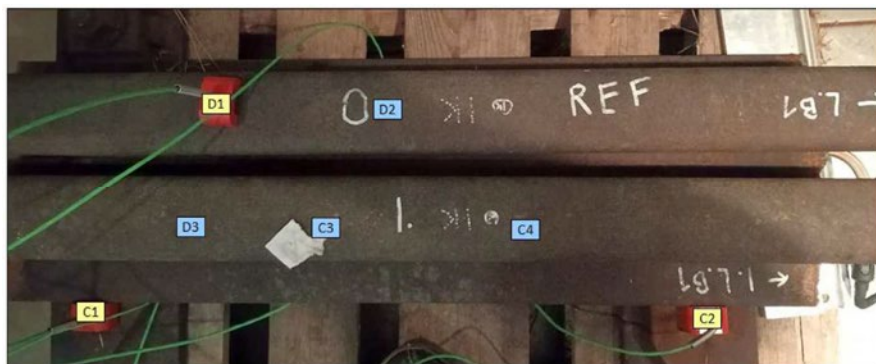
Wybrane w tym przypadku na potrzeby referatu badania laboratoryjne wykonano dla strefy A rozjazdu dla iglicy dosuniętej do opornicy, w temperaturze narażania  $-10^{\circ}\text{C}$ . Moc grzejnika standardowego 330 W/m, moc grzejnika z radiatorami bezstykowymi obniżona o 30% (230 W/m) i 40%. (200 W/m). Rozmieszczenie czujników przedstawiono na fotografiach 5 i 6, wyniki badań zestawiono na wykresach 11 ÷ 14.



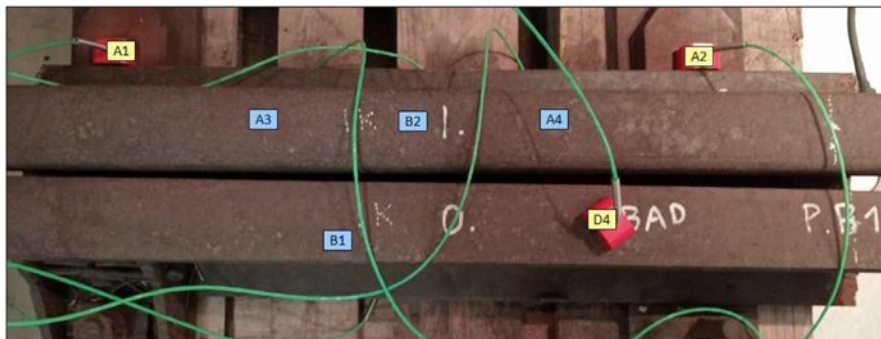
Fot. 3. Stanowisko badawcze z fragmentami rozjazdów.



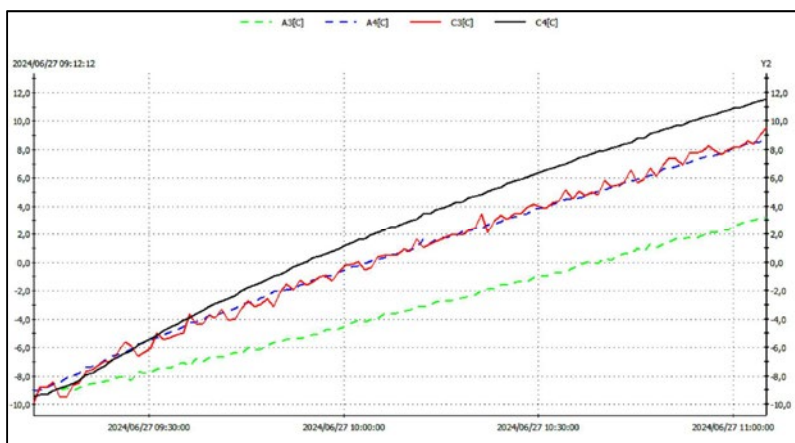
Fot. 4. Komora klimatyczna typu Climats 6000 H60/10+4.



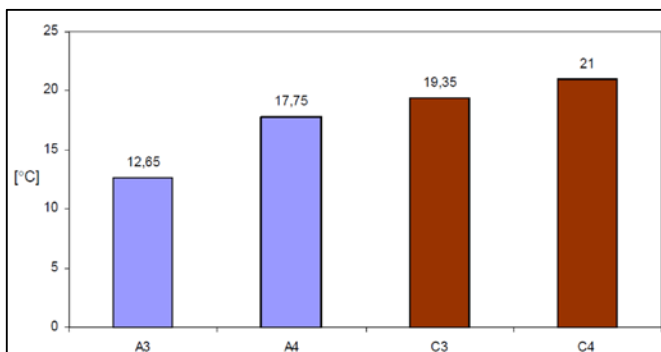
Fot. 5. Rozmieszczenie czujników temperatury dla układu z radiatorami – C3, C4 – temperatura stopki iglicy umocowane od spodu szyny.



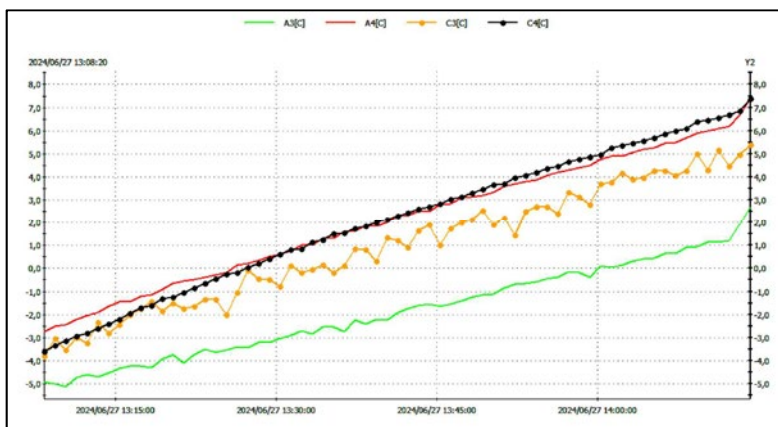
Fot. 6. Rozmieszczenie czujników temperatury dla metody stykowej – A3 , A4 – temperatura stopki iglicy umocowane od spodu szyny.



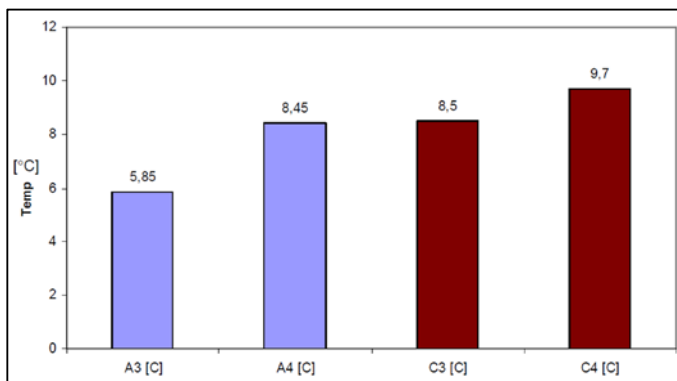
Wykres 11. Krzywe nagrzewania stopki iglicy: A3, A4 – układ z grzejnikiem standardowym, C3, C4 - układ z radiatorami o mocy obniżonej o 30% (230 W/m), temperatura narażenia -10°C.



Wykres 12. Przyrosty  $\Delta T$  temperatur stopki iglicy: A3, A4 – układ z grzejnikiem standardowym, C3, C4 - układ z radiatorami o mocy obniżonej o 30% (230 W/m), temperatura narażenia -10°C.



**Wykres 13. Krzywe nagrzewania stopki iglicy: A3, A4 – układ z grzejnikiem standardowym, C3, C4 - układ z radiatorami o mocy obniżonej o 40% (200 W/m), temperatura narażenia -10°C.**



**Wykres 14. Przyrosty  $\Delta T$  temperatur stopki iglicy: A3, A4 – układ z grzejnikiem standardowym, C3, C4 - układ z radiatorami o mocy obniżonej o 40% (200 W/m), temperatura narażenia -10°C.**

Wyniki badań z powyższych wykresów po 120 minutach wykazały, że przyrosty  $\Delta T$  temperatur spodniej powierzchni iglicy są wyższe dla grzejników z radiatorem bezstykowym 230 W/m i wynoszą  $19,35^\circ\text{C} \div 21^\circ\text{C}$  przy  $12,65^\circ\text{C} \div 17,75^\circ\text{C}$  dla grzejnika standardowego 330 W/m. Przy redukcji mocy o 40% (200 W/m) grzejnika z radiatorami bezstykowymi przyrosty  $\Delta T$  temperatur spodniej powierzchni iglicy są wyższe dla grzejników z radiatorem bezstykowym wynoszą  $8,5^\circ\text{C} \div 9,7^\circ\text{C}$  w porównaniu z temperaturami  $5,85^\circ\text{C} \div 8,45^\circ\text{C}$  dla grzejnika standardowego 330 W/m.

Radiatory bezstykowe zwiększają przepływ ciepła z grzejnika kierując strumień ciepła w kierunku iglicy, co jest istotnym czynnikiem ograniczającym możliwość przymarznięcia iglicy do siodełka.

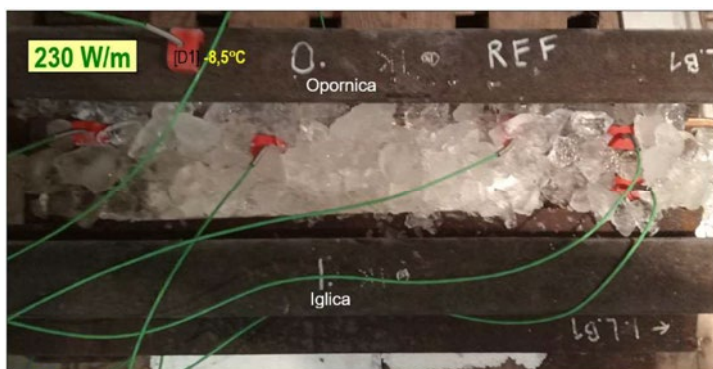
Kolejnym rodzajem badań klimatycznych przedstawionych na potrzeby referatu wykonano dla strefy A i C rozjazdu dla iglicy odsuniętej do opornicy (15 cm), w temperaturze narażenia -10°C. Moc grzejnika standardowego wynosi 330 W/m, moc grzejnika z radiatorami bezstykowymi obniżona o 30% (230 W/m). Rozmieszczenie czujników przedstawiono na fotografiach 5 i 6, na fotografiach 7 i 8 zobrazowano układ zasypany lodem przez rozpoczęciem symulacji natomiast na fotografiach 9 i 10 efekt wytapiania po 180 minutach grzania, wyniki badań zestawiono na wykresach 11 ÷ 14.



Fot. 5. Rozmieszczenie czujników temperatury dla układu z radiatorami bezstykowymi, kolor niebieski – czujniki pod stopkami.

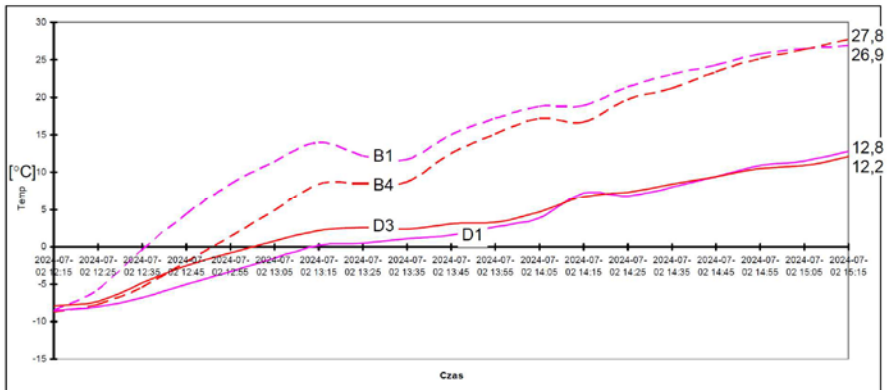


Fot. 6. Rozmieszczenie czujników temperatury dla układu z grzejnikiem standardowym, kolor niebieski – czujniki pod stopkami.

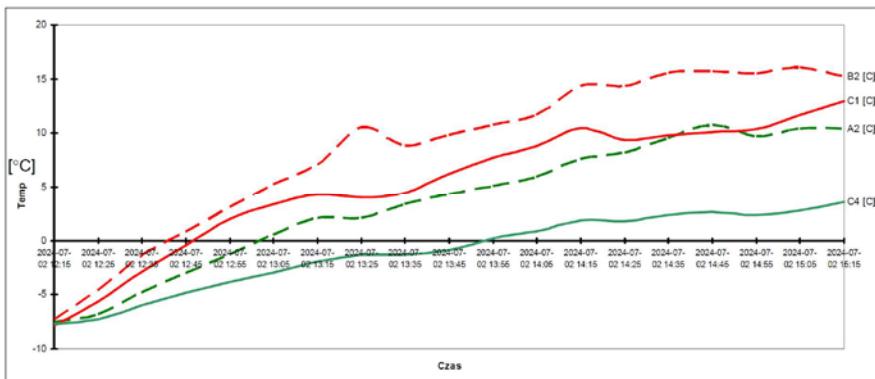


Fot. 7. Grzejnik 230 W/m z radiatorami bezstykowymi – stan przed załączeniem ogrzewania.





**Wykres 15. Krzywe nagrzewania opornicy, układ z grzejnikiem standardowym 330 W/m: B4 główka opornicy, B1 – spód stopki opornicy, układ z grzejnikami z radiatorami, o mocy 230 W/m: D1 – główka opornicy, D3 stopka opornicy.**



**Wykres 16. Krzywe nagrzewania siodełek, układ z grzejnikiem standardowym 330 W/m: A2 siodełko przy iglicy, B2 – siodełko przy opornicy, układ z grzejnikami z radiatorami, o mocy 230 W/m: C1 – siodełko przy opornicy, C4 - siodełko przy iglicy.**

Jak zaobserwowano na fotografii 9, po 180 minutach grzania, przy zadanej temperaturze narażania  $-10^{\circ}\text{C}$ , układ z radiatorami bezstykowymi i grzejnikami o mocy zredukowanej o 30% ( $230\text{ W/m}$ ) wytopił ok.  $80 \div 90\%$  objętości lodu. Taki stopień wytopienia zapewniłby przełożenie rozjazdu. Natomiast układ standardowy, z grzejnikami o mocy pełnej  $330\text{ W/m}$  wytopił znacznie mniej lodu, głównie przy grzejniku i na powierzchni siodełek. Taki stopień wytopienia uniemożliwiłby przełożenie rozjazdu. Jednocześnie widać, że w układzie standardowym (fot. 10), temperatura szyny oporowej (opornicy) na główce, po 3 godzinach grzania ciągłego osiągnęła temperaturę  $23,8^{\circ}\text{C}$ , natomiast w układzie z radiatorami bezstykowymi temperatura opornicy na główce wynosiła  $12,8^{\circ}\text{C}$ .

Skuteczność wytapiania lodu przez układ z radiatorami bezstykowymi i grzejnikami o mocy zredukowanej o 30% jest znacznie większa niż układu standardowego z pełną mocą grzejników. Pomimo 3 godzin grzania ciągłego w układzie standardowym, niewytopiony lód powodowałby zablokowanie rozjazdu.

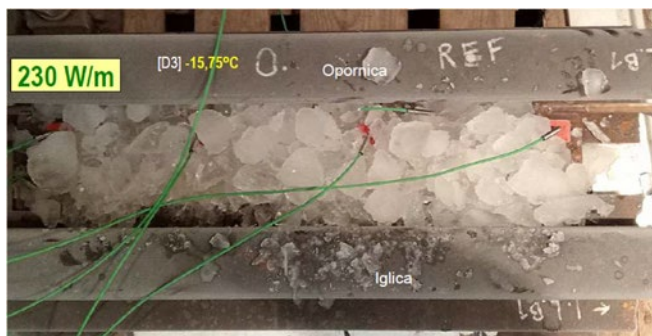
Następnie wykonano badania laboratoryjne dla strefy A i C rozjazdu dla iglicy odsuniętej do opornicy (15 cm), w temperaturze narażania  $-20^{\circ}\text{C}$ . Moc grzejnika standardowego wynosi  $330\text{ W/m}$ , moc grzejnika z radiatorami bezstykowymi obniżona o 30% ( $230\text{ W/m}$ ). Rozmieszczenie czujników przedstawiono na fotografiach 11 i 12, na fotografiach 13 i 14 zobrazowano układ zasypany lodem przez rozpoczęciem symulacji natomiast na fotografiach 15 i 16 efekt wytapiania po 240 minutach grzania, wyniki badań zestawiono na wykresie 17 i 18.



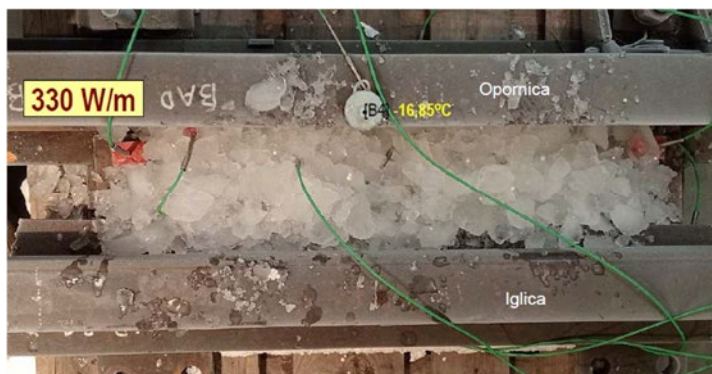
Fot. 11. Rozmieszczenie czujników temperatury dla układu z radiatorami bezstykowymi, kolor niebieski – czujniki pod stopkami.



Fot. 12. Rozmieszczenie czujników temperatury dla układu z grzejnikiem standardowym, kolor niebieski – czujniki pod stopkami.



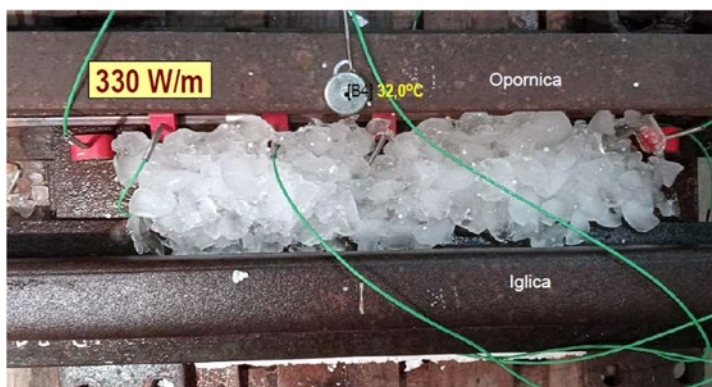
Fot. 13. Grzejnik  $230\text{ W/m}$  z radiatorami bezstykowymi – stan przed załączeniem ogrzewania.



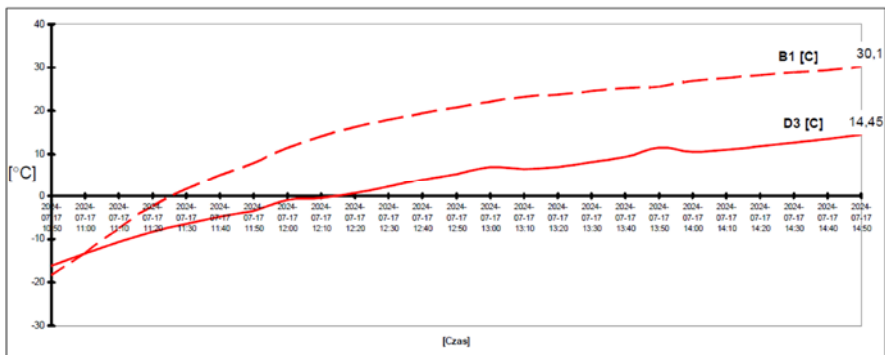
Fot. 14. Grzejnik 330 W/m z grzejnikiem standardowym – stan przed załączeniem ogrzewania.



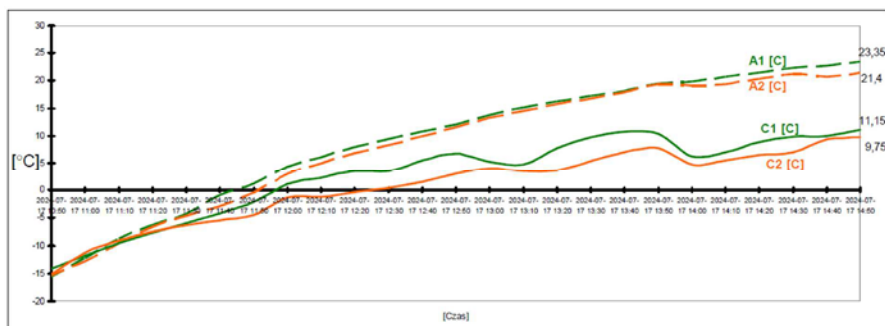
Fot. 15. Grzejnik 230 W/m z radiatorami bezstykowymi – stan po 240 minutach grzania.



Fot. 16. Grzejnik 330 W/m z grzejnikiem standardowym – stan po 240 minutach grzania.



**Wykres 17. Krzywe nagrzewania opornicy, układ z grzejnikiem standardowym 330 W/m:  
B1 – spód stopki opornicy, układ z grzejnikami z radiatorami, o mocy 230 W/m; D3 stopka opornicy.**



**Wykres 18. Krzywe nagrzewania siodełek, układ z grzejnikiem standardowym 330 W/m:  
C1, C2 siodełko przy iglicy, układ z grzejnikami z radiatorami, o mocy 230 W/m; A1, A2 –siodełko przy iglicy.**

Jak zaobserwowano na fotografiach 15 i 16, po 240 minutach grzania, przy zadanej temperaturze narażania  $-20^{\circ}\text{C}$ , układ z radiatorami bezstykowymi i grzejnikami o mocy zredukowanej o 30% ( $230\text{ W/m}$ ) wytopił więcej śniegu w porównaniu z układem standardowym. W układzie standardowym, temperatura szyny oporowej (opornicy) na główce, po 4 godzinach grzania ciągłego osiągnęła temperaturę  $32,0^{\circ}\text{C}$ , natomiast w układzie z radiatorami bezstykowymi temperatura opornicy na główce wynosiła  $14,4^{\circ}\text{C}$ . W temperaturze  $-20^{\circ}\text{C}$  proces wytapiania lodu, w obu układach, przebiega dłużej niż w temperaturze  $-10^{\circ}\text{C}$ . Skuteczność wytapiania lodu przez układ z radiatorami bezstykowymi i grzejnikami o mocy zredukowanej o 30% jest większa niż układu standardowego z pełną mocą grzejników.

Wszystkie przeprowadzone badania laboratoryjne wykazały, że skuteczność wytapiania lodu przez grzejniki z radiatorami bezstykowymi, w temperaturach narażania  $-10^{\circ}\text{C}$  i  $-20^{\circ}\text{C}$  jest znacznie bardziej efektywna w porównaniu ze standardowym grzejnikiem przytwardzonym do opornicy rozjazdu, pomimo redukcji mocy grzejników z radiatorami o 30 i 40%.

Powyższe badania rozkładu temperatur dla iglicy dosuniętej potwierdziły, że dzięki zastosowaniu radiatorów bezstykowych ciepło z grzejnika kierowane jest w kierunku iglicy z częściowym pominięciem opornicy, co skutkuje możliwością redukcji mocy grzejników dla iglicy dosuniętej o  $30 \div 40\%$ .

## 6. PRZEDSTAWIENIE WYNIKÓW POMIARÓW Z BADAŃ TERENOWYCH

Przed przystąpieniem do pomiarów terenowych przyjęto założenie wynikające z logiki i danych zebranych z analizy numerycznej i badań laboratoryjnych. Zaproponowano rozdzielenie sterowania ogrzewania dla półzwrotnicy z iglicą odsuniętą i iglicą dosuniętą. Propozycja jest wynikiem analiz powyższego raportu BRIK II, z którego wynika teza zakładająca mniejsze zapotrzebowanie na energię ciepłą półzwrotnicy z iglicą odsuniętą w stosunku do półzwrotnicy z iglicą dosuniętą. W półzwrotnicy z iglicą dosuniętą nie ma śniegu do wytopienia między opornicą a iglicą, występuje jedynie konieczność utrzymywania temperatury górnej powierzchni płyt ślizgowych na poziomie, który nie dopuści do przymarznięcia stopki iglicy do płyty ślizgowej.

Drugim aspektem badania był wpływ zastosowania nakładek radiacyjnych na charakterystyki nagrzewania półzwrotnicy z iglicą dosuniętą. W rozwiązaniu standardowym, bez nakładek, ciepło z grzejnika przepływa głównie do stopki szyny oporowej, na której grzejnik jest ułożony. Jak zaobserwowano straty ciepła w procesie nagrzewania półzwrotnicy z iglicą dosuniętą są bardzo duże. Kluczem do zmniejszenia strat ciepła jest zmiana kierunku przepływu ciepła z grzejnika do iglicy zamiast do opornicy. Nakładki radiacyjne zmieniają kierunki przepływu ciepła z grzejnika w kierunku opornicy, iglicy i płyt ślizgowych.

Celem badań jest określenie stopnia zmiany dystrybucji ciepła z grzejnika przy zastosowaniu nakładek radiacyjnych. Pomiaru charakterystyk nagrzewania półzwrotnicy z iglicą dosuniętą były pomiarami porównawczymi. Badania przeprowadzano w dwóch rozjazdach:

- rozjazd wyposażony w nakładki radiacyjne zamontowane do grzejników eor,
- rozjazd bez nakładek radiacyjnych (rozjazd referencyjny).

W warunkach zimowych, dla półzwrotnicy z iglicą dosuniętą, aspektem krytycznym jest niedopuszczenie do przymarznięcia stopki iglicy do górnej powierzchni. Temperatura styku iglicy z płytą ślizgową powinna być  $> 0^{\circ}\text{C}$ . W praktyce nie ma możliwości umieszczenia czujnika temperatury między iglicą a płytą ślizgową, dlatego w pomiarach w rozjazdach wybrano najbliższe dostępne punkty pomiaru. Punkt pomiaru nr 1 (Fot. 17) jest krytyczny w procesie ogrzewania półzwrotnicy z iglicą dosuniętą. Zakłada się, że temperatura  $> 0^{\circ}\text{C}$  gwarantuje nie przymarznięcie iglicy do opornicy. Celem pomiaru spodniej powierzchni stopki opornicy jest sprawdzenie różnicy nagrzewania się stopki szyny rozjazdu z nakładkami radiacyjnymi i bez nakładek. Jest to istotny punkt pomiaru temperatury z uwagi na fakt, że w tym punkcie zlokalizowane są czujniki temperatury szyny ogrzewanej. Porównanie tych temperatur jest istotne z uwagi na ustawianie progów temperaturowych w systemach eor sterujących grzejnikami eor wyposażonymi w nakładki radiacyjne. W pierwszej kolejności na wybranym rozjeździe zabudowywano, na czas pomiarów, nakładki radiacyjne (Fot. 18).

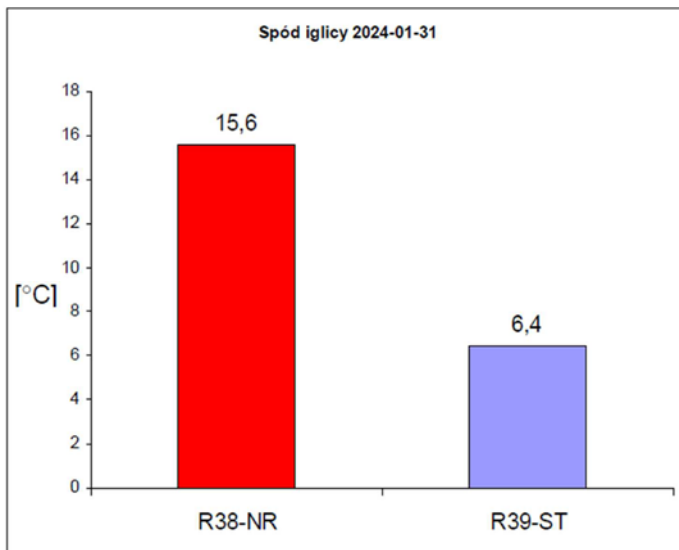


Fot. 17. Punkt pomiaru temperatury płyty ślizgowej krytyczny dla ogrzewania półzwrotnicy z iglicą dosuniętą.

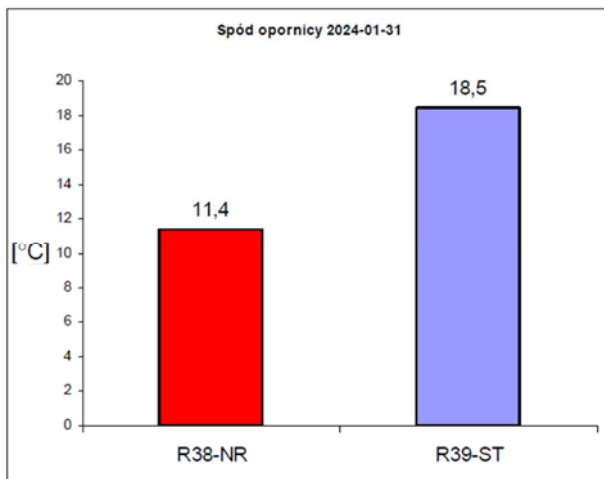


Fot. 18. Nakładki radiacyjne w rozjeździe nr 38, stacja Międzyzlesie

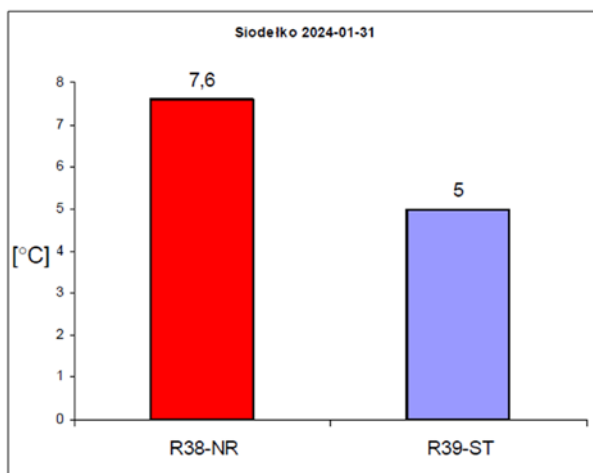
W pierwszym etapie przeprowadzono badanie polegające na wychłodzeniu rozjazdu nr 38 z nakładkami radiacyjnymi oraz 39 bez nakładek. Następnie załączono ogrzewanie 100 % mocy w trybie ciągłym. Na wykresach 19 ÷ 21 przedstawiono otrzymane wyniki badań.



Wykres 19. Spód iglicy - przyrosty temperatur  $\Delta T$  po 60 minutach grzania.



Wykres 20. Spód opornicy - przyrosty temperatur  $\Delta T$  po 60 minutach grzania.

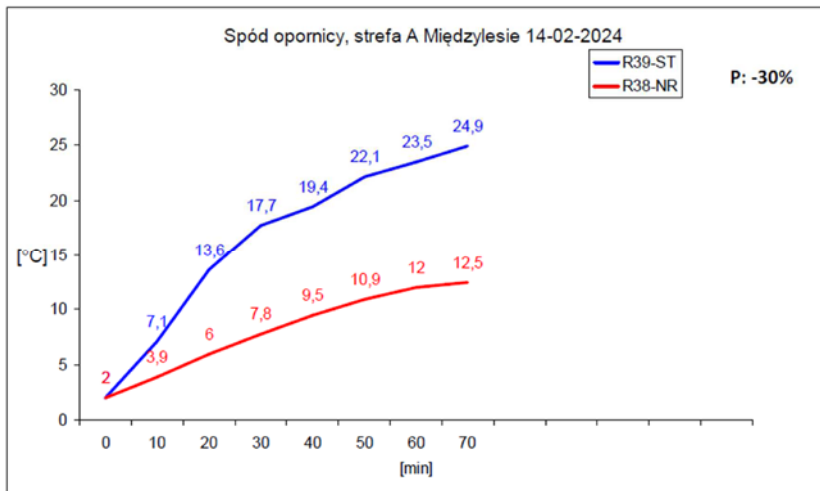


Wykres 21. Płyta ślizgowa (siodełko) - przyrosty temperatur  $\Delta T$  po 60 minutach grzania.

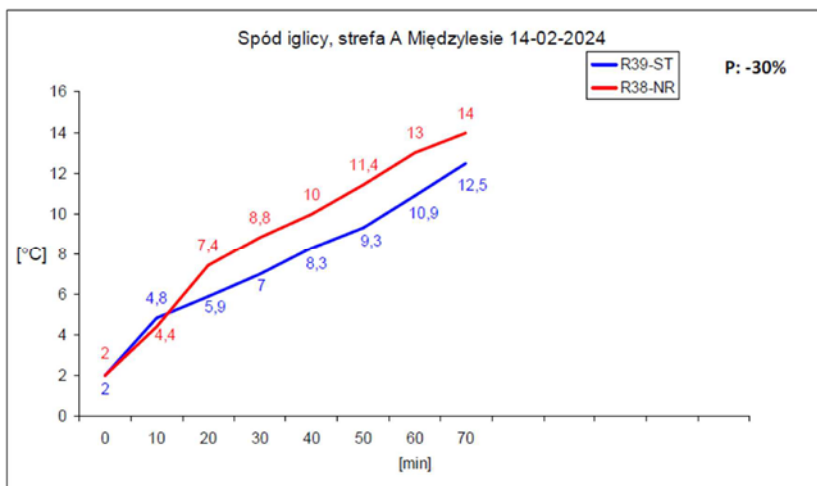
W układzie standardowym, tj. grzejnika przylegającym ściśle do opornicy, większość ciepła przepływa z grzejnika do opornicy, co skutkuje tym że w układzie opornica – iglica – siodełko, opornica uzyskuje najwyższe temperatury. Przyrosty temperatur  $\Delta T$  po 60 minutach grzania, mierzone na stopie opornicy wynosiły 18,5 °C natomiast na stopie iglicy 6,4 °C czyli 3 - krotnie więcej.

W układzie z grzejnikami nie stykającymi się z opornicą i zamontowanymi radiatorami sytuacja jest odwrotna. W układzie opornica – iglica – siodełko, to iglica uzyskuje najwyższe temperatury. Przyrosty temperatur  $\Delta T$  po 60 minutach grzania, mierzone na stopie iglicy wynosiły 15,6 °C natomiast na stopie opornicy 11,4 °C. Przyrosty temperatur  $\Delta T$  po 60 minutach grzania dla siodełek były wyższe dla układu z radiatorami i wynosiły: z radiatorami 7,6 °C, bez radiatorów 5 °C. Z powyższych wynika, że zastosowanie radiatorów bezstykowych korzystnie zmienia dystrybucję ciepła w półzwrótnicy z iglicą dosięgniętą. Ciepło przekierowane zostaje z opornicy do iglicy i siodełek.

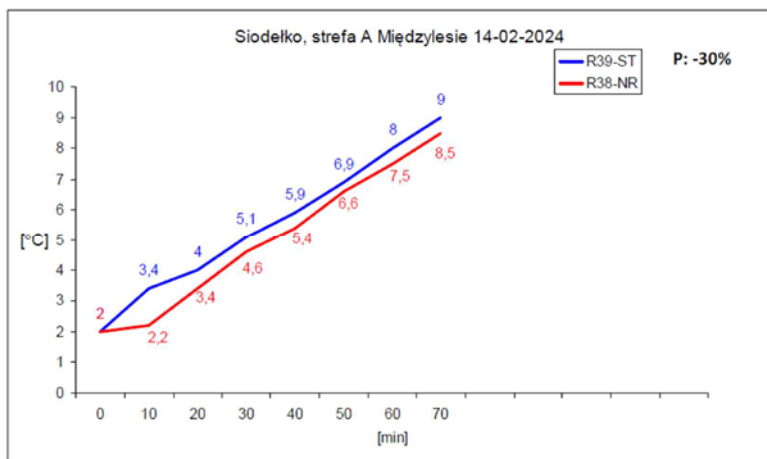
W kolejnym etapie badań przeprowadzono nagrzewanie przy mocy zredukowanej. Celem badania było sprawdzenie możliwości redukcji mocy grzejników z nakładkami radiacyjnymi (radiatorami) przy zachowaniu skuteczności nagrzewania iglicy i siodełek takich jak w układzie standardowym z grzejnikami stykowymi. W celu sprawdzenia wychłodzono rozjazd nr 38 z nakładkami radiacyjnymi oraz 39 bez nakładek. Następnie załączono ogrzewanie 100% mocy w trybie ciągłym dla grzejników standardowych i 70% mocy dla grzejników z radiatorami – redukcja mocy wynosi 30%. Na wykresach 22 ÷ 24 przedstawiono otrzymane wyniki badań.



Wykres 22. Krzywe nagrzewania stopki opornicy w strefie A rozjazdu R38 z nakładkami NR (czerwony) i R39 standardowego, bez nakładek (niebieski). Temperatura powietrza  $1,0 \div 3,0^{\circ}\text{C}$ , bez opadów, lekki wiatr.



Wykres 23. Krzywe nagrzewania stopki iglicy w strefie A rozjazdu R38 z nakładkami NR (czerwony) i R39 standardowego, bez nakładek (niebieski). Temperatura powietrza  $1,0 \div 3,0^{\circ}\text{C}$ , bez opadów, lekki wiatr.



**Wykres 24. Krzywe nagrzewania siodełka w strefie A rozjazdu R38 z nakładkami NR (czerwony) i R39 standardowego, bez nakładek (niebieski). Temperatura powietrza 1,0 ÷ 3,0°C, bez opadów, lekki wiatr.**

Z powyższych wykresów można wywnioskować, że przy zmniejszeniu mocy grzejników z nakładkami radiacyjnymi o 30% przyrosty temperatur istotnych elementów tj. stopy iglicy i siodełek są zbliżone dla układu z radiatorami i standardowego bez radiatorów lub nieco większe dla układu z radiatorami. Wyniki badań terenowych potwierdziły, że zastosowanie radiatorów bezstykowych korzystnie zmienia dystrybucję ciepła w półzwrotnicy z iglicą dosuniętą. Ciepło przekierowane zostaje z opornicy do iglicy i siodełek. Wyniki badań wykazały, że przy zmniejszeniu mocy grzejników z nakładkami radiacyjnymi o 30% przyrosty temperatur istotnych elementów tj. stopy iglicy i siodełek są zbliżone dla układu z radiatorami.

## PODSUMOWANIE

W niniejszym referacie wykazano, iż analiza numeryczna, badania klimatyczne oraz pomiary terenowe potwierdziły, że metoda bezstykowa pozwala nam ograniczyć nagrzewanie się samej szyny, która dla procesy wytapiania jest miejscem, przez które ciepło ucieka do otoczenia. W przypadku wszystkich rodzajów przeprowadzonych badań, metoda standardowego ogrzewania z samą grzałką wykazała, że szyna musi osiągnąć najpierw temperaturę roboczą zanim ciepło zostanie przetransportowane do iglicy, wpływ odległości od szyny jest w tym przypadku marginalny. Zastosowanie metody bezstykowej pozwala na szybszy transport ciepła do iglicy, tempo nagrzewania radiatorów jest na tyle wysokie, że warstwa śniegu w pierwszej kolejności będzie wytapiana poprzez radiacje.

W celu zmaksymalizowania wydajności procesu radiacyjnego bardzo zalecana jest warstwa anodyzacyjna, która pozwoli zmniejszyć temperaturę obiektu zachowując podobną wartość strumienia radiacyjnego. Pozwoli to ograniczyć straty ciepła radiatora poprzez konwekcje naturalną.

Dla układu, w którym szyna bądź iglica znajduje się w niepełnym odsunięciu, możliwe jest zmniejszenie mocy cieplnej o około 25 % i mimo to uzyskanie odpowiedniego zakresu temperatury roboczej dla układu. Wynika to bezpośrednio ze zmiany kierunku nagrzewania układu. Grzejnik stykowy przede wszystkim nagrzewa szynę, która posiada największą bezwładność cieplną w układzie. W momencie osiągnięcia stabilnego pola temperatury, szyna posiada największą temperaturę i ze względu na swoją powierzchnie oddajemy sporą ilość ciepła do otoczenia.

Przedstawione wyniki potwierdzają słuszność zastosowanie nakładek radiacyjnych w układzie grzania rozjazdu a zmiana kierunku padania strumienia ciepła na obszar śnieżny powinna spowodować korzyści zarówno, jeżeli chodzi o maksymalną moc cieplną użytą to procesu jak i jego czas.



## **Innowacyjne podejście do diagnostyki prewencyjnej w obszarze urządzeń sieci trakcyjnej.**

Radosław Burak-Romanowski  
Dyrektor Biura Energetyki PKP PLK S.A.

Michał Majka  
Z-ca Dyrektora Biura Energetyki PKP PLK S.A.





**PKP POLSKIE LINIE KOLEJOWE S.A.**

*Zarządca narodowej sieci linii kolejowych*

**Innowacyjne podejście do diagnostyki prewencyjnej  
w obszarze urządzeń sieci trakcyjnej**

Radosław Burak-Romanowski, Dyrektor, Biuro Energetyki  
Michał Majka, Zastępca Dyrektora, Biuro Energetyki

PKP POLSKIE LINIE KOLEJOWE S.A.  
*Zarządca narodowej sieci linii kolejowych*

Jurata, 23.04.2026 r.

1. Wdrożone metody diagnostyki i utrzymania urządzeń sieci trakcyjnej z wykorzystaniem technologii cyfrowych w PLK SA
2. Diagnoza problemów awaryjności sieci trakcyjne.
3. Nowa technologia diagnostyki cyfrowej – projekt
4. Znaczenie niezawodności sieci trakcyjnej dla bezpieczeństwa i ciągłości ruchu kolejowego

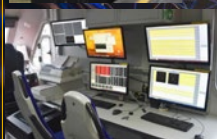
## Wdrożone metod diagnostyki i utrzymania urządzeń sieci trakcyjnej z wykorzystaniem technologii cyfrowych w PLK S.A.

### Drezyna diagnostyczna DP560



#### Pomiary automatyczne

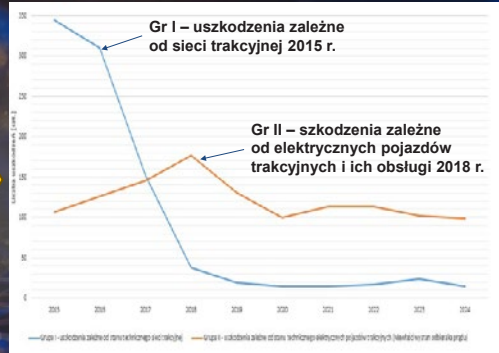
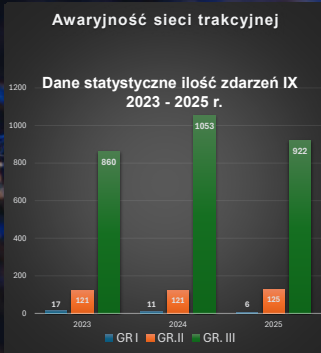
- odsuwu
- wysokość rdp
- tony
- grubość przewodu
- szczegółowy zapis
- szybka lokalizacja
- diagnostyka urządzeń mechanicznych



### Detekcja stanów awaryjnych pantografów



## Diagnoza problemów awaryjności sieci trakcyjnej



Gr I – uszkodzenia zależne od sieci trakcyjnej

Gr II – uszkodzenia zależne od elektrycznych pojazdów trakcyjnych i ich obsługi

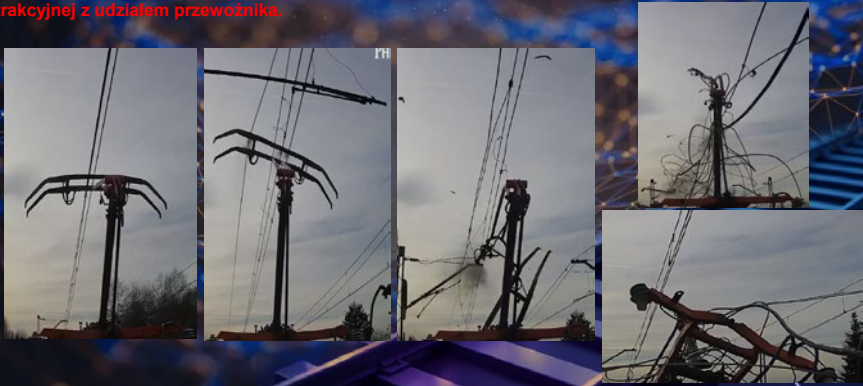
Gr III – uszkodzenia niezależne od służby elektroenergetycznej

6

## Diagnoza problemów awaryjności sieci trakcyjnej

Czy rozwijanie metod diagnostyki i utrzymania urządzeń sieci trakcyjnej jest potrzebne?

Odpowiedź na to pytanie można znaleźć w prezentowanych zdjęciach wybranej awarii sieci trakcyjnej z udziałem przewoźnika.



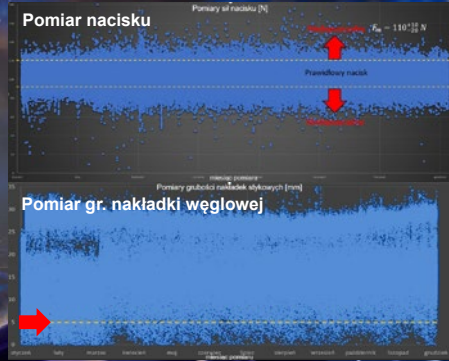
7

## Diagnoza problemów awaryjności sieci trakcyjnej

### Obszar infrastruktury



### Obszar pomiarów odbieraków prądu



8

## Nowa technologia diagnostyki cyfrowej – projekt

Opracowanie innowacyjnego Systemu Monitorowania Stanu Infrastruktury Kolejowej z wykorzystaniem sztucznej inteligencji i bezałogowych statków powietrznych.

#### Potrzeba

Inwentaryzacja stanu infrastruktury kolejowej w branży energetycznej  
Wykrywanie usterek i ich lokalizacja na wcześniejszym etapie rozwoju

#### Cel

Zwiększenie wydajności wykrywania usterek, uszkodzeń infrastruktury energetycznej

Bezpieczeństwo prowadzenia ruchu kolejowego

#### Wdrożenie

Automatyczne/Autonomiczne systemy

Automatyczne raportowanie, weryfikacja infrastruktury energetycznej



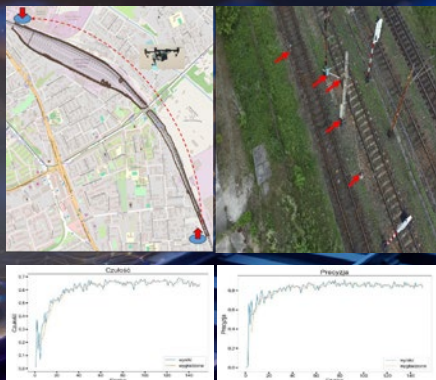
9

## Nowa technologia diagnostyki cyfrowej – projekt

BSP wraz z mobilną stacją dokująco-ladującą projektowany i budowany jest przez Politechnikę Warszawską i będzie on zintegrowany z odpowiednimi urządzeniami pomiarowymi oraz sztuczną inteligencją do analizowania zebranych danych.

Najważniejszym elementem systemu będzie narzędzie do automatycznej identyfikacji kluczowych usterek/komponentów w energetyce kolejowej.

Całość będzie nadzorowana z centrum operacyjnego bez konieczności zatrudniania wykwalifikowanych pilotów BSP. Stacja będzie zapewniała bezpieczne dokowanie oraz ładowanie BSP po wykonanych oblotach, a także umożliwi przekazywanie danych do centrum obliczeniowego.



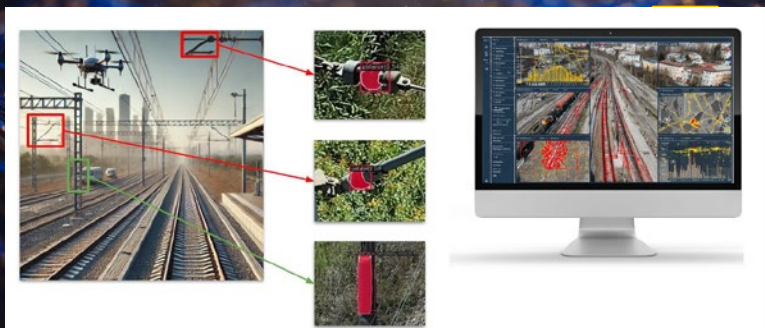
10

## Nowa technologia diagnostyki cyfrowej – projekt

Drony - Dane

AI - Analiza

System -  
Raporty



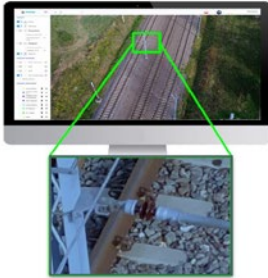
11

## Nowa technologia diagnostyki cyfrowej – projekt

### Inwentaryzacja oraz raportowanie

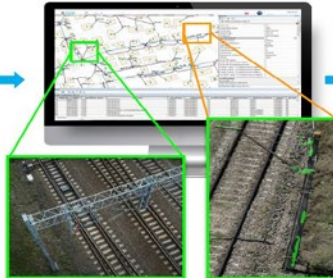
Krok 1

Automatyczna identyfikacja obiektów na ortobrazach lub zdjęciach pozyskanych z drona z wykorzystaniem AI



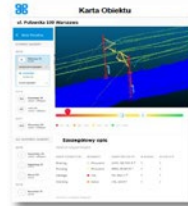
Krok 2

Automatyczne pozycjonowanie i pomiar widocznych obiektów z wykorzystaniem narzędzi AI



Krok 3

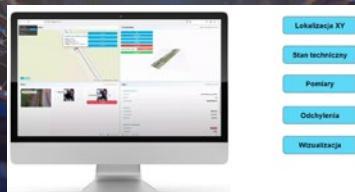
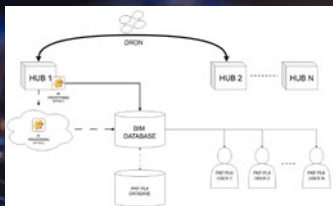
Wygenerowanie raportu wynikowego na podstawie analizy z portalu



12

## Nowa technologia diagnostyki cyfrowej – projekt

### Projekt bazy danych oraz raportowanie

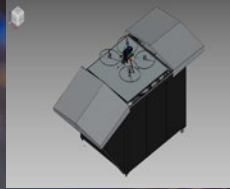


13

## Nowa technologia diagnostyki cyfrowej – projekt.

### DANE – Stacja dokująco ładująca

- Zasięg operacji 20 km
- Realizacja min. 3 startów dziennie
- Bank energii min. 3 godziny pracy
- Czas ładowania drona do 3 godzin
- Funkcjonalności stacji – otwieranie przy wietrze max. 10 m/s, zgrywanie danych, stacja pogodowa,



14

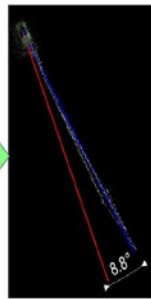
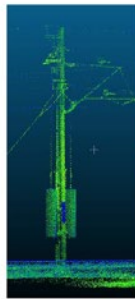
## Nowa technologia diagnostyki cyfrowej – projekt

### Algorytmy AI

Wykryj defekt

Wykryj odchylenia

Zakres Obiektów



1. Izolatory
2. Wieszaki
3. Zaciski
4. Uchwyty odległościowe
5. Wysięgniki
6. Kotwienia
7. Układ rolek
8. Obciążenia
9. Głowice fundamentów
10. Linie trakcyjne/nośne
11. Konstrukcja słupów/bramek

15

## Nowa technologia diagnostyki cyfrowej – projekt

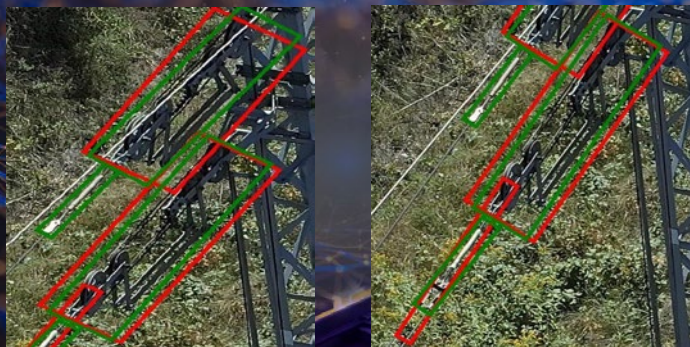
### Identyfikacja Izolatorów i ich uszkodzeń - AI



16

## Nowa technologia diagnostyki cyfrowej – projekt

### Identyfikacja kotwieni i mechanizmów naprężających - AI

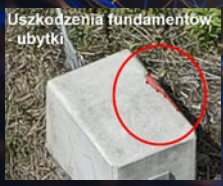


17



## Nowa technologia diagnostyki cyfrowej – projekt

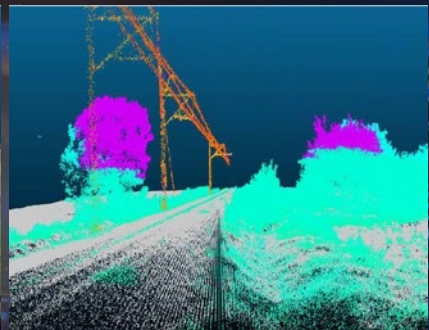
### Identyfikacja wieszaków, ciężarów lokat, fundamentów, połączeń - AI



18

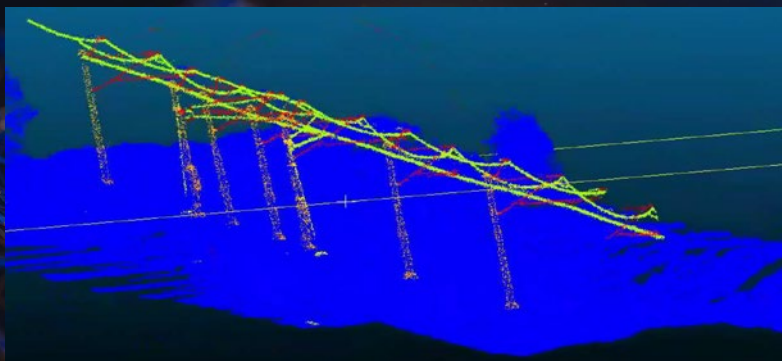


## Nowa technologia diagnostyki cyfrowej – projekt



Wizualizacja efektu przeniesienia informacji o klasyfikacji obiektów trakcyjnych (sieć trakcyjna wraz z zagospodarowaniem terenu - zieleń) na jedną chmurę z globalnym układem współrzędnych.

19



Wizualizacja inferencji chmury punktów za pomocą modelu MASK3D, gdzie zostały zaznaczone:  
kolorem zielonym – sieć trakcyjna, kolorem pomarańczowym – konstrukcje wsporcze, kolorem  
czerwonym – wysięgniki.

20

## Znaczenie niezawodności sieci trakcyjnej dla bezpieczeństwa i ciągłości ruchu kolejowego

1. Niezawodność sieci trakcyjnej zapewnia stałe i bezpieczne zasilanie pociągów elektrycznych oraz urządzeń sterowania ruchem.
2. Ciągłość ruchu wymaga sprawnego działania sieci – każda przerwa powoduje opóźnienia, straty finansowe i utrudnienia w organizacji transportu kolejowego.
3. Kluczowe czynniki niezawodności to: jakość wykonania prac utrzymaniowych, regularna konserwacja, monitoring techniczny i szybka reakcja służb odpowiedzialnych za utrzymanie.
4. Kluczem do realizacji sprawnego utrzymania urządzeń infrastruktury energetycznej jest wdrożenie prewencji i wykorzystanie najnowszych systemów technologicznych, dostosowanych do potrzeb w danej branży.

21

## Znaczenie niezawodności sieci trakcyjnej dla bezpieczeństwa i ciągłości ruchu kolejowego

PKP POLSKIE LINIE KOLEJOWE S.A.  
Zarządca narodowej sieci linii kolejowych

### Wniosek:

Skuteczna prewencja w utrzymaniu urządzeń sieci trakcyjnej wymaga systematycznej diagnostyki, wykorzystującej wsparcie nowej technologii, regularnych przeglądów oraz szybkiego reagowania na oznaki zużycia elementów infrastruktury.

W odróżnieniu od utrzymania reakcyjnego, podejście prewencyjne pozwala na minimalizację kosztów awarii i opóźnień, a także zwiększenie bezpieczeństwa i ciągłości ruchu kolejowego.

### W takich przypadkach działamy prewencyjnie



22

PKP POLSKIE LINIE KOLEJOWE S.A.  
Zarządca narodowej sieci linii kolejowych

Dziękuję za uwagę

Radosław Burak-Romanowski, Dyrektor, Biuro Energetyki  
Michał Majka, Zastępca Dyrektora, Biuro Energetyki

Jurata, 23.04.2026 r.



**PKP POLSKIE LINIE KOLEJOWE S.A.**

*Zarządca narodowej sieci linii kolejowych*

**Ewolucja konstrukcji Oprawy Oświetleniowej  
ze źródłami LED – jako element wspierający  
odnawialne źródła energii.**

Tomasz Matkowski  
Dyrektor Biura Techniczno-Handlowego  
BTH Technolight



## Ewolucja konstrukcji i wyposażenia współczesnych opraw oświetleniowych ze źródłami LED – jako element instalacji wspierający odnawialne źródła energii.

Od prawie dwudziestu lat obserwujemy dynamiczny rozwój konstrukcji opraw oświetleniowych ze źródłami LED. Rozwój ten dotyczy wszystkich składowych współczesnej oprawy, zarówno konstrukcji mechanicznej, powłok, wyposażenia elektrotechnicznego, uszczelnienia, wentylacji, optyki i samych źródeł światła LED.

Rozwój ten jest oparty na rozwiązaniu obserwowanych problemów i dotychczasowej statystyce awarii osprzętu oświetleniowego LED.

Taka analiza uwarunkowań jakościowych urządzenia, to podstawa do uzyskania trwałego rozwiązania, dla którego utrzymanie warunków oświetlenia w wymagających warunkach terenów kolejowych można liczyć w dziesiątkach lat.

Chcąc tutaj pokazać wszystkie istotne elementy dla trwałości oprawy, przymyś się na jednym z najbardziej nowoczesnych rozwiązań na współczesnym rynku opraw oświetlenia zewnętrznego, oprawie I-Tron produkcji AEC.



### Szczegóły konstrukcji:

Model opracowany i wyprodukowany przez AEC Illuminazione w ostatnich trzech latach odpowiada na wszystkie problemy opraw oświetlenia zewnętrznego ze źródłami LED, jakie pojawiły się na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat. Ciśnieniowy odlew I-Trona przypomina militarne konstrukcje Stealth, gdzie nietypowy kształt zapewnia dużą aerodynamiczność oraz doskonałe rozproszenie ciepła nawet w nasłonecznionych lokalizacjach. Objętość odlewu korpusu została dobrana pod prognozowane moce źródeł LED, powłoki lakiernicze realizują minimalną adhezję zabrudzeń, przewietrzane profile konstrukcji ułatwiają dalsze rozproszenie ciepła i chronią oprawę przed zalodzeniem i naprężeniami w samej konstrukcji.



Ceramiczny filtr przewietrzania oprawy zapewnia wypchnięcie wilgoci kondensacji podczas pracy oprawy oraz na wyrównanie ciśnienie wewnątrz komory oprawy poprzez dedykowany filtr, co jest szczególnie istotne w okresach zimy, gdy temperatura, a co za tym idzie gęstość powietrza jest inna na zewnątrz oraz wewnątrz rozgrzanej pracą oprawy LED.



### Okablowanie:

Specjalny blok przyłączeniowy gwarantuje osiowość pracy podłączonego kabla i równomierny docisk dławnicy kablowej wokół izolacji kabla. Skrętna mufa kablowa IP68 gwarantuje najwyższą szczelność wejścia kablowego, chroniąc przed wtargnięciem wilgoci do wewnątrz komory oprawy LED.



### Zabezpieczenia przepięciowe:

Oprawa posiada kilkustopniowe zabezpieczenie przeciw przepięciowe. Pierwszy stopień to SPD, ochronnik przepięciowy, 12kV/10kA, drugi stopień to zasilacz, 8-10kV/10kA, w zależności od producenta. Oprawy większej mocy posiadają również trzeci stopień pomiędzy zasilaczem i matrycą LED.

### Ograniczony prąd zasilania LED:

Poszczególne moduły LED w oprawie są zasilane maksymalnym do 200mA. Pozwala to zoptymalizować wartości strumienia światła emitowanego z LED i generowaną temperaturę, tak, aby LED pracowały w optymalnym przedziale swojej efektywności. Zapewnia to optymalną pracę wszystkich podzespołów oprawy, najbardziej efektywny strumień światła, stosunkowo niską temperaturę pracy LED, a w efekcie gwarantują ich niespotykanie długą żywotność w oprawie typu I-tron.



Oprawa jest wyposażona w moduły 5P5 lub 4P4, realizujące od kilku do kilkunastu typów optyki. LED stanowią multi cheapy Luxeon 70P70, produkcji Lumileds. Oprawa od początku została zaprojektowana do pracy z tymi LED, jej korpus, objętość odlewu, konstrukcja radiatora oraz wyposażenie zostały skomponowane w jedną logiczną całość gwarantującą stabilną i optymalną temperaturowo pracę LED. Takie rozwiązanie zaowocowało parametrami utrzymania strumienia światła L90B10 w czasie ponad 400.000h !

### Optyka reflektorowa :

Brak soczewek w oprawach produkcji AEC eliminuje zaburzenia emisji oprawy wywoływane w standardowych układach soczewkowych przez rozkład widmowy światła białego. Dzięki temu LED pracują w niższej temperaturze, a bryła fotometryczna i kolor emisji nie ulegają degradacji w czasie.

Pamiętając, że współczesne oprawy są dedykowane do kilkudziesięcioletniej pracy dlatego wszystko, co może podnieść standard pracy źródeł LED ma tutaj wymierne znaczenie.



Luminaire with PMMA lenses  
protected by flat glass



Luminaire with aluminium  
reflector protected by flat glass

Test	Polycarbonato	PMMA
Condizioni Iniziali		
UV/65°C Ciclo di 6000hr		
130°C Ciclo di 6000hr		
85%rh/85°C Ciclo di 8weeks		

### Współczesna matryca reflektorowa oprawy LED



Dla współczesnej oprawy, dedykowanej na tak długi czas pracy tylko optyka reflektorowa może gwarantować funkcjonalność całej oprawy w kilkudziesięcioletnim okresie, bez zmiany koloru emisji, czy bryły fotometrycznej.

Uszlachetnione aluminium produkcji ALANOD, zapewnia utrzymanie refleksji reflektora przez wiele lat, przy prognozowanej stracie po okresie 80.000h, o ok. 0.7%. Należy to rozumieć, że strata na reflektorze jest praktycznie pomijalną przez czas użytkowania oprawy typu I-tron, a więc starzenie produktu w kontekście jego efektywności zostało zminimalizowane.

Tak trwałe rozwiązanie gwarantuje wysoką sprawność techniczną inwestycji oświetleniowej w czasie. Wysoka jakość optyki w oprawach AEC ujęta została w normie DIN EN 16268, gdzie uzyskano najwyższą możliwą klasę jakości A+.



### Protekcja IP-66/67, IK09:

Aby zapewnić szczelność oprawy, a tym samym czystość komory optycznej, brak owadów i nadmiernej wilgoci w środku, konstrukcja została zabezpieczona od strony klosza i pokrywy, poliuretanowymi, wylewanymi uszczelkami, gwarantującymi długoletnią elastyczność, brak pamięci materiału uszczelniającego, odporność na niskie i wysokie temperatury oraz odporność fizyko-chemiczną na agresywne czynniki środowiska.

Wszystkie materiały użyte do produkcji oprawy zapewniają odporność na korozję, są niewrażliwe na wnikanie wilgoci i kurzu, a tym samym gwarantują wieloletnie utrzymanie funkcjonalności wszystkich podzespołów urządzenia.

Oprawa w cyklu montażu jest fabrycznie testowana i przed wysyłką w 100% potwierdzona jest jej funkcjonalność oraz założone parametry każdej wyprodukowanej oprawy. Cecha oprawy umieszczana wewnątrz konstrukcji, na pudełku i w formie naklejki, do umieszczenia wewnątrz wnęki rewizyjnej słupa, nie zostanie wydrukowana jeżeli oprawa nie przejdzie końcowej kontroli technicznej.



Oprawy konstrukcji I-Tron posiadają certyfikat środowiskowy, a jej konstrukcja jest w 96% przetwarzaną w cyklu zamkniętej gospodarki materiałowej. Tworzywa sztuczne w konstrukcji oprawy stanowią ok. 3% objętości oprawy i nie odpowiadają za wartość strumienia światła, czy jego kolor. Optyka oprawy, to ukształtowany, aluminiowy reflektor i szkło klosza o wysokiej przezroczystości.

Oprawa I-Tron posiada wersję OP DX-SX dedykowaną do kierunkowego oświetlenia przejść dla pieszych i przejazdów drogowo kolejowych. Optyka reflektorowa takich rozwiązań gwarantuje wieloletnie utrzymanie kierunkowości oświetlenia, a fotometria i kolor emisji tak wyposażonej oprawy nie ulegną zmianie w czasie eksploatacji. Dodatkową zaletą jest konstrukcja odbłyśnika typu OP, który umożliwia zmianę kierunku świecenia oprawy na lewy i odwrotnie, co ułatwia logistykę obsługi dedykowanego oświetlenia przejść dla pieszych w terenie.



#### Temperatura pracy:

Oprawy AEC charakteryzują się wysokim zakresem temperatur możliwym do stosowania w przedziale  $-40^{\circ}\text{C}$  /  $+55^{\circ}\text{C}$ , co gwarantuje sprawną pracę produktu w zróżnicowanych warunkach środowiskowych, także tam, gdzie roczna amplituda temperatur zewnętrznych występuje w szerokim zakresie, od mroźnych zim, do upalnego lata.

#### Sterowanie:

Oprawy AEC mogą zostać zaprogramowane w autonomicznym trybie pracy z opcją redukcji mocy. Oprawa AEC samodzielnie może redukować swoją moc, a co za tym idzie konsumpcję energii w godzinach późno nocnych, bez potrzeby stosowania zewnętrznego systemu redukcji mocy czy zarządzania siecią. Oprawa samodzielnie rozpoznaje środek nocy, a więc środek czasu świecenie w obrębie doby, a następnie względem tego parametru planuje autonomicznie moc świecenia

### Certyfikaty:

Oprawa posiada certyfikaty ENEC, ENEC+, ZDi4, dopuszczenie PKP PLK, a wyposażenie umożliwia zastosowania systemowych złącz Zhaga, Nema, czy innych elementów sterowania. Konstrukcja dopuszcza użycie w jednej oprawie dwóch elementów Zhaga, w wybranej konfiguracji przez ostatecznego użytkownika.



### Wibro testy :

Wszystkie oprawy oświetleniowe produkcji AEC przechodzą test odporności na wibrację i drgania trakcyjne co gwarantuje ich użycie w lokalizacjach szczególnie narażonych, np. na przytorzu, na usztywnionych odcinkach narażonych na przenoszenie drgań trakcyjnych tj. wiadukty, tunele, czy perony.

### Aspekt ekologiczny:

Ograniczenie odpadów plastikowych to nie tylko wymóg ekologiczny, ale także odpowiedzialność społeczna, która wymaga globalnej współpracy i działań lokalnych. Gdy coraz więcej firm wdraża podobne, przyjazne dla środowiska praktyki, przybliżamy się do przyszłości, w której nasze oceany i ekosystemy będą mogły rozwijać się bez powszechnego zagrożenia ze strony zanieczyszczeń wszechobecnym plastikiem.

Nie jest ważne, gdzie produkujemy plastik, ważne, że raz wyprodukowany, praktycznie na zawsze wchodzi w nasz ekosystem, dlatego wybierając obecnie jakikolwiek produkt, decydując o jego kupnie, czy wdrożeniu na naszym podwórku, po prostu sprawdźmy, czy jego producent stosuje zamkniętą gospodarkę materiałową, OZE i czy oferowany produkt za kilkadziesiąt lat nie trafi na górę odpadów, stanowiąc dla nas dodatkowy koszt utylizacji.

Już teraz wybieramy produkty, które są produkowane w oparciu o najnowsze technologie, eliminujące w produkcie finalnym udział nietrwałych tworzyw sztucznych, a które to w przyszłości, będą źródłem zasobów do powtórnego przetworzenia, bo właśnie to my teraz decydujemy o przyszłości środowiska naturalnego i warunków życia naszych przyszłych pokoleń.

Tomasz Matkowski, BTH Technolight.





**Nowe wymagania projektowania systemów  
Elektrycznego Ogrzewania Rozjazdów oraz oświetlenia  
zewnętrznego w PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.**

Radosław Burak-Romanowski  
Dyrektor Biura Energetyki PKP PLK S.A.

Jarosław Kurek  
Naczelnik Wydziału Gospodarki Energetycznej  
Biuro Energetyki PKP PLK S.A.



# **Nowe wymagania projektowania systemów Elektrycznego Ogrzewania Rozjazdów oraz oświetlenia zewnętrznego w PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.**

Radosław Burak-Romanowski  
Jarosław Kurek  
*Biuro Energetyki PLK S.A.*

## **1. Wprowadzenie**

Rosnące ceny energii elektrycznej, jak również ograniczenie negatywnego wpływu na środowisko w ostatnich latach stały się głównym wyzwaniem polskiej gospodarki. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. jako spółka o znaczeniu państwowym dbająca o zrównoważony rozwój dużą wagę przykładają do podnoszenia parametrów technicznych i jakościowych zarządzanej infrastruktury. Realizując od 2014 roku Program Poprawy Efektywności Energetycznej aktywnie poszukuje rozwiązań podnoszących efektywność energetyczną w energochłonnych obszarach działalności. Głównym celem tych działań jest wzrost konkurencyjności transportu kolejowego oraz wdrożenie nowoczesnych rozwiązań technicznych usprawniających funkcjonowanie i zapewnienie ciągłego rozwoju branży.

PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. zarządzają między innymi oświetleniem zewnętrznym terenów kolejowych: peronów, przejazdów kolejowo – drogowych, przejść, rozjazdów itd. Spółka posiada zabudowane ponad 228 tys. opraw oświetleniowej o łącznej mocy około 30 MW. Przedmiotowe oświetlenie zużywa średnio rocznie ponad 70 GWh energii elektrycznej. Oświetlenie zróznicowane jest pod względem czasu eksploatacji jak również zastosowanych rozwiązań technicznych (tylko prawie 86 tys. opraw wykonanych jest w technologii LED). Wymiana energochłonnych opraw rtęciowych i sodowych na nowoczesne w technologii LED pozwala osiągnąć oszczędności zużywanej energii elektrycznej jedynie na poziomie około 30 %. Dalsze zwiększenie oszczędności wymaga już zastosowania adaptacyjnego sterowania intensywnością natężenia oświetlenia.

Nie mniej ważnym aspektem zarządzania infrastrukturą elektroenergetyczną stanowią urządzenia elektrycznego ogrzewania rozjazdów (EOR). PLK S.A. posiada zabudowane urządzenia EOR w prawie 24 tys. rozjazdów z czego ok. 84 % z nich sterowanych jest automatycznie. Pomimo znacznej mocy (ok. 197 MW) urządzenia EOR zużywają ok. 45 GWh energii elektrycznej. Rzeczywisty jej poziom uzależniony jest od panujących warunków pogodowych (temperatura i poziom opadów).

Systemy EOR oraz oświetlenie zewnętrzne stanowią kluczowe elementy infrastruktury kolejowej, bezpośrednio wpływające na bezpieczeństwo ruchu pociągów oraz warunki pracy personelu technicznego. W ostatnich latach obserwowany jest istotny postęp technologiczny w obszarze energoelektroniki, automatyki, technologii LED oraz systemów komunikacji cyfrowej, co wymusza aktualizację dotychczasowych zasad

projektowania i eksploatacji urządzeń elektroenergetyki nietrakcyjnej. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. jako zarządca infrastruktury, podjęły działania zmierzające do aktualizacji, ujednoczenia i doprecyzowania wymagań technicznych w tym zakresie.

## **2. Podstawy normatywne i regulacyjne**

Projektowanie systemów EOR i oświetlenia zewnętrznego na sieci PLK S.A. realizowane jest w oparciu o zbiór przepisów, instrukcji technicznych i dokumentów normatywnych, w tym m.in.:

- Standardy techniczne – szczegółowe warunki techniczne dla modernizacji lub budowy linii kolejowych do prędkości  $V_{max} \leq 200$  km/h (dla taboru konwencjonalnego) i 250 km/h (dla taboru z wychylnym pudłem). Tom V. Elektroenergetyka nietrakcyjna (ostatnia aktualizacja 14.06.2010 r.),
- Instrukcje z serii EBH-... – Instrukcje bezpieczeństwa i higieny pracy przy urządzeniach elektroenergetyki kolejowej (ostatnia aktualizacja 27.12.2004 r.)
- Instrukcję let-5 – Wytyczne projektowania instalacji i urządzeń torowych i przytorowych eor (ostatnia aktualizacja 27.10.2015 r.),
- Instrukcję let-3 – Instrukcja eksploatacji urządzeń oświetlenia zewnętrznego terenów kolejowych. (ostatnia aktualizacja 24.06.2015 r.),
- Dokument normatywny 01-11/ET/2018 Oprawy oświetleniowe LED let-122 (aktualizacja 19.11.2024 r.).

Aktualizacja zapisów instrukcji uwzględnia zmiany przepisów, doświadczenia eksploatacyjne oraz wyniki projektów badawczo-rozwojowych realizowanych z udziałem PLK S.A.

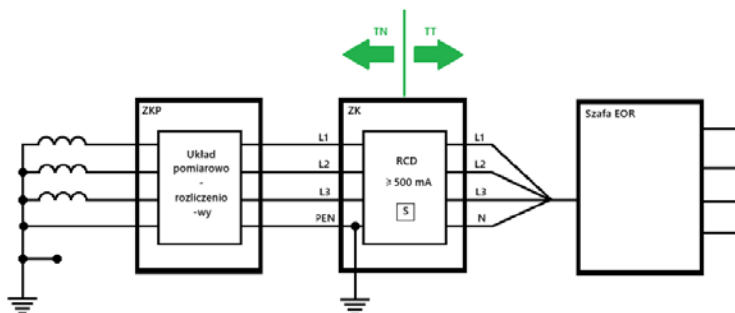
## **3. Wymagania w zakresie budowy Elektrycznego Ogrzewania Rozjazdów w systemie zasilania trakcyjnego 25 kV AC**

Zwiększanie prędkości na liniach kolejowych zarządzanych przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. powoduje konieczność stosowania nowego systemu zasilania trakcyjnego, innego niż 3 kV DC. Wprowadzaną technologią jest system zasilania 25 kV AC. W związku z tym PLK S.A. planuje w roku 2026 wdrożyć do stosowania wymagania dotyczące budowy systemów EOR stosowanych w tym systemie zasilania trakcyjnego.

Projekt wytycznych zakłada, iż:

- Urządzenia EOR powinny być zasilane z sieci dystrybucyjnej Operatorów Sieci Dystrybucyjnej (OSD).
- W szczególnie uzasadnionych przypadkach dopuszcza się zasilanie urządzeń EOR z sieci trakcyjnej 25 kV AC. W takim przypadku wymagane jest przeprowadzenie analizy wpływu zasilania urządzeń nietrakcyjnych na poziom i parametry napięcia w sieci trakcyjnej.
- Urządzenia EOR należy zasilac w układzie sieciowym TT.
- W każdym przypadku należy wystąpić do OSD z wnioskiem o określenie warunków przyłączenia oraz wymagać od operatora wybudowania złącza kablowo-pomiarowego w systemie sieciowym TT.

- nie należy łączyć systemów uziemień „kolejowych” z systemem uziemienia „niekolejowego”.
- W przypadku otrzymania warunków przyłączenia w układzie sieci TN, należy dokonać przejścia z układu TN na tzw. wyspę TT w sieci TN poprzez zastosowanie złącza kablowego ZK poza strefą oddziaływania przewodu jezdowego.
- Złącze ZK należy wykonać w obudowie izolacyjnej bez wystających elementów przewodzących.
- Złącze ZK powinno być zlokalizowane min. 3 m od szafy EOR (zalecane jest zwiększenie tej odległości) i posiadać własny uziom o wartości poniżej 10  $\Omega$ .
- Przewód N zasilający szafę EOR nie może być uziemiony (układ TT) i w żadnym miejscu instalacji lub odbiornika połączony z częścią dostępną odbiornika lub instalacji.
- W złączu ZK należy stosować wyłączniki różnicowoprądowe typu S (selektywne) o prądzie różnicowym  $\geq 500$  mA.



Istotnym elementem nowych wymagań jest rozbudowany system ochrony przeciwporażeniowej oparty na uziemieniach wyrównawczych. Wzdłuż rozjazdu należy wykonać uziom wyrównawczy, zlokalizowany – o ile to możliwe – poza strefą oddziaływania przewodu jezdowego. Uziom ten powinien być połączony z torem w co najmniej dwóch punktach oraz nie rzadziej niż co 300 m. Do systemu uziemienia wyrównawczego należy włączyć wszystkie urządzenia pracujące w obrębie rozjazdu, w tym szafy EOR, skrzynie transformatorowe, czujniki pogodowe, urządzenia telekomunikacyjne oraz puszkę połączeniową. Szafy sterowania EOR powinny być lokalizowane możliwie jak najdalej od konstrukcji wsporczych sieci trakcyjnej. W obwodach odbiorczych wymagane jest stosowanie wyłączników nadprądowych, a w przypadku niespełnienia warunków impedancji pętli zwarciowej – dodatkowych urządzeń różnicowoprądowych.

Nowoczesne systemy EOR projektowane są jako układy adaptacyjne, w których sterowanie pracą grzejników realizowane jest na podstawie algorytmów pogodowych oraz stanu rozjazdu. Zasilanie ogrzewania czujników kontroli położenia rozjazdu powinno być realizowane z dedykowanego obwodu szafy EOR i sterowane w oparciu o wartość temperatury powietrza. Wymagana jest separacja elektryczna tych

obwodów, realizowana za pomocą transformatorów separacyjnych zlokalizowanych w skrzyniach transformatorowych.

#### 4. Wymagania związane z systemami oświetlenia zewnętrznego

Równolegle do zmian w systemach EOR rozwijane są nowoczesne systemy zarządzania oświetleniem zewnętrznym (wypracowane m.in. w ramach projektu BRIK dotyczącego innowacyjnego systemu zarządzania infrastrukturą oświetleniową).

System ten umożliwi nie tylko klasyczne sterowanie czasowe, lecz także adaptacyjne zarządzanie natężeniem oświetlenia w zależności od ruchu pociągów oraz obecności osób na terenie stacji.

Założeniem systemu jest nie tylko klasyczne sterowanie załącz/wyłącz, lecz także:

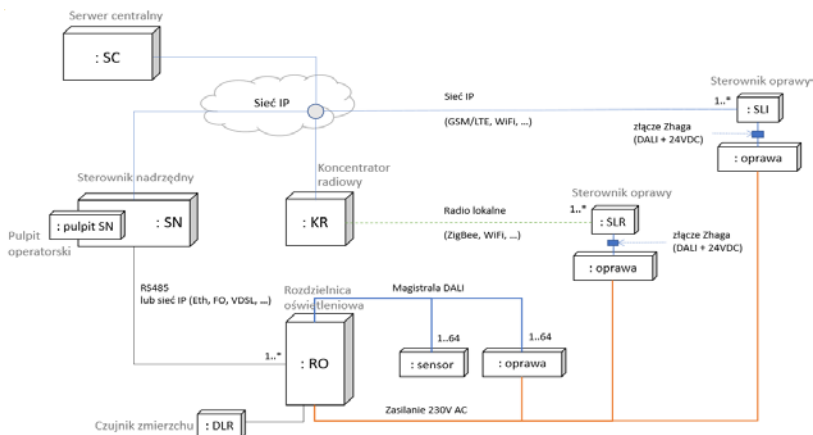
- sekcjonowanie obwodów – scenariusze pracy sekcji,
- adaptacyjne sterowanie strumieniem świetlnym w zależności od ruchu pociągów i obecności ludzi.

Zakłada się podział stacji na obszary, którym odpowiadać będą przypisane scenariusze świecenia.

Id	scenariusz	podkategoria	włączanie	czujniki		ruch pociągów	lokalne przyciski MAX/MIN	poziom minimalny	całkowite wyłączenie	zdalne wymuszanie
				ruchu/obecn.	obecność					
Ib	peron	sekcje peronów	noc	obecność	pociąg			25% lub 0%	wg decyzji	MAX %
Ic		wiaty	noc	obecność	pociąg			25% lub 0%	wg decyzji	MAX %
Ia	wej-peron	wejsia, dojścia peronów	noc	obecność	pociąg			25%	nie	MAX %
IVa	wej.przejscia	wejsia kładki	noc	obecność				25%	nie	MAX %
VIIa		wejsia (schody)	noc	obecność				25%	nie	MAX %
IVb	przejscie	sekcja wew.kładki	noc	obecność				25% lub 0%	wg decyzji	MAX %
VIIb		sekcja wew.podziemna	noc	obecność				25% lub 0%	wg decyzji	MAX %
III	drogowe	przejazdy	noc	nie używać			nie używać	100%	nie	ZaŁ obw.
VI		sekcje drogowe	noc	nie używać			nie używać	100%	nie	ZaŁ obw.
Ila	tory/ladunkowe	sekcje torów	noc	nie używać			MAX / MIN	25% lub 0%	wg decyzji	MAX %
IIb		maszty torów	noc	nie używać			MAX / MIN	25% lub 0%	wg decyzji	MAX %
Va		sekcje ramp, placów	noc	nie używać			MAX / MIN	25% lub 0%	wg decyzji	MAX %
Vb		maszty placów	noc	nie używać			MAX / MIN	25% lub 0%	wg decyzji	MAX %
VIIIa	wej.tuneli	wejsia tuneli liniowych	noc	nie używać			MAX / MIN	25%	nie	MAX %
VIIIb	tunel	sekcje tuneli liniowych	całodobowe	nie używać			MAX / MIN	25%	nie	MAX %

Architektura systemu sterowania oświetleniem obejmie:

- Jeden serwer centralny,
- sterowniki nadrzędne – jeden na stację,
- rozdzielnice oświetleniowe – co najmniej jedną na stację,
- czujniki zmierzchu – co najmniej jeden na rozdzielnicę,
- podsystem komunikacji radiowej – (opcjonalnie), możliwe kilka na jednej stacji,
- koncentrator radiowy – (opcjonalnie) jeden na podsystem komunikacji radiowej,
- radiowe sterowniki oprawy – wiele w podsystemie komunikacji radiowej,
- internetowy sterownik oprawy – (opcjonalnie), wiele na stacji,
- oprawy oświetleniowe – do 64 opraw na jednej magistrali DALI.



Istotnym elementem jest pełna adresacja urządzeń, separacja strumieni zasilających i sterujących oraz synchronizacja czasu realizowana z wykorzystaniem protokołu NTP.

## 5. Integracja systemów sterowania EOR i oświetleniem

Nowe wymagania jednoznacznie przesuwają ciężar projektowania w stronę integracji elektroenergetyki z informatyką i telekomunikacją. Dokumentacja projektowa musi obejmować nie tylko schematy elektryczne, lecz również modele danych, dokumentację informatyczną oraz pliki konfiguracyjne urządzeń.

Wdrożenie nowych wymagań wpłynie bezpośrednio na rynek projektowy i wykonawczy. Konieczne stanie się realizowanie projektów wielobranżowych obejmujących elektroenergetykę, automatykę i informatykę. Wymagane będą:

- projekty wielobranżowe o większym stopniu szczegółowości,
- nowe kompetencje z obszaru IT, automatyki i systemów sterowania,
- standaryzacja dokumentacji eksploatacyjnej,
- konieczność przechowywania i wersjonowania konfiguracji,
- rozszerzone kompetencje personelu utrzymaniowego.

Wdrażanie nowych rozwiązań to też nowe problemy do rozwiązania:

- Połączenia pomiędzy rozdzielnicami powinny być realizowane z wykorzystaniem infrastruktury światłowodowej, a urządzenia muszą być przygotowane do pracy w systemach rozproszonych.
- Potencjalna konieczność przeprojektowania złącz słupowych (zbyt mało miejsca).
- Dobór właściwych czujników obecności (PIR).
- Konieczność każdorazowego przeprogramowania zasilacza oprawy – domyślnie każda oprawa stanowi zasilacz magistrali DALI.
- Do sterowania oświetleniem wymagana synchronizacja czasu poprzez NTP.
- W przypadku szaf dwufunkcyjnych EOR/OŚW – aspekt konfiguracji i sterowania:

- EOR – sterowanie „od Rso do Nso”,
- oświetlenie – sterowanie „od Nso do Rso”.
- Praca w przypadkach szczególnych, systemu niepełnego, np. brak Nso.
- Problem rozbieżności czasowej w dopuszczeniach produktów różnych firm.
- Oprawy i czujniki są elementami zewnętrznymi – wymagane informacje o adresacji wszystkich elementów – szczególnie przy wymianie.
- CSDIP – procedura zgłaszania konieczności „wystawienia” interfejsu do obiektu.
- Dłuższy czas uruchomienia i skonfigurowania systemu na obiekcie (przystanek/stacja).
- MasterPlan konfiguracji – zasady adresacji urządzeń.
- Właściwa dokumentacja eksploatacyjna.

Zmienia się rola projektanta i energetyka – od klasycznego doboru urządzeń w kierunku integratora systemów technicznych i cyfrowych. Zmieni się również profil kompetencyjny personelu utrzymaniowego, który musi posiadać wiedzę z zakresu konfiguracji systemów, diagnostyki cyfrowej oraz obsługi rozproszonych platform sterowania.

## **6. Podsumowanie**

Nowe wymagania projektowania systemów EOR oraz oświetlenia zewnętrznego w PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. wyznaczają kierunek transformacji infrastruktury kolejowej w stronę systemów inteligentnych, bezpiecznych i energooszczędnych. Integracja elektroenergetyki z automatyką i informatyką nie jest już opcją, lecz koniecznością warunkującą dalszy rozwój kolei.

Zmiany te, choć wymagające, tworzą solidne podstawy do budowy nowoczesnej, odpornej infrastruktury, zdolnej sprostać zarówno wyzwaniom technicznym, jak i rosnącym oczekiwaniom w zakresie efektywności i bezpieczeństwa.



**Transformacja energetyczna  
w zakładzie przemysłowym – mikrosieć  
w WAGO ELWAG.**

Robert Malczewski  
Menadżer ds. projektów infrastrukturalnych  
w transporcie szynowym  
WAGO



## Transformacja energetyczna w zakładzie przemysłowym - mikrościeć w WAGO ELWAG



Od wielu lat mamy do czynienia z transformacją polskiej energetyki, która z węglowej w coraz większym stopniu bazuje na zielonych źródłach energii. Warto jednak zauważyć, że w ostatnim czasie coraz mocniej krystalizuje się nowy wymiar transformacji energetycznej, zachodzący po stronie odbiorców energii. Przez kilka lat oberwaliśmy dynamiczny rozwój prosumenckich instalacji fotowoltaicznych na dachach domów mieszkalnych.

Teraz mamy do czynienia rosnącym zainteresowaniem nowym podejściem do kwestii gospodarki energetycznej w przemyśle. Przykładem takiego działania jest realizacja mikrościeci na terenie kompleksu biurowo-produkcyjnego firmy WAGO w podwrocławskich Wróblowicach.

WAGO od chwili powstania ma zapisane w swoim DNA dbałość o środowisko, człowieka i jego dobrostan w codziennym życiu. Jednocześnie firma dostarcza na rynek między innymi rozwiązania do regulacji, komunikacji i zarządzania przepływami energii. Dlatego też w chwili podjęcia decyzji o rozbudowie naszego centrum produkcyjnego i biurowca we Wróblowicach, pojawił się pomysł na budowę mikrościeci złożonej z własnego źródła wytwarzania, czyli farmy fotowoltaicznej, magazynu energii oraz stworzenie całej infrastruktury do zarządzania tymi zasobami.

W pierwszym etapie inwestycji, na 16-hektarowej działce powstały dwie nowoczesne hale produkcyjne o łącznej powierzchni 12 tys. m kw. oraz budynek biurowy. Kiedy ruszył drugi etap, powstała hala o powierzchni prawie 9 tys. m kw. przeznaczona głównie pod produkcję automatyczną oraz 4-kondygnacyjny biurowiec o powierzchni blisko 5 tys. m kw.

Zakład we Wróblowicach już od pierwszego etapu budowy był wyposażony w rozwiązania techniczne usprawniające gospodarkę energetyczną, między innymi opomiarowanie mediów i nowoczesny system BMS – WAGO VISU BUILDING. Z systemem budynkowym zostało zintegrowane energooszczędne oświetlenie LED oparte o standard DALI, zarządzane przez autorski system WAGO Lighting Management, który ułatwia aranżację oświetlenia hal produkcyjnych i obniża koszty związane z oświetleniem obiektów kubaturowych. Takie podejście sprawiło, że rozważając inwestycje w budowę mikrościeci firma dysponowała już danymi, które pozwalały na wiarygodną ocenę techniczno-ekonomiczną planowanej inwestycji.

Rozwiązanie, które powstało w zakładzie WAGO we Wróblowicach bazuje na wpracowanej przez firmę koncepcji mikrościeci, która obejmuje:

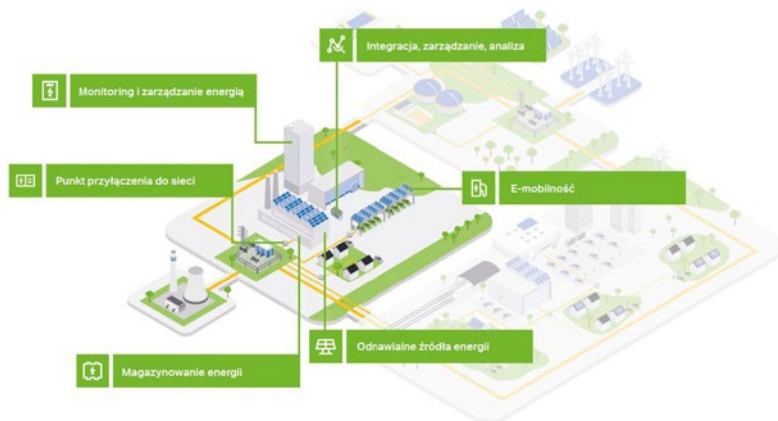
- Własne źródło wytwórcze – elektrownię fotowoltaiczną o mocy 700 kWp
- Magazyn energii o mocy 100 kW i pojemności 138 kWh
- Infrastrukturę do ładowania samochodów elektrycznych z system zarządzania obciążeniem sieci
- System monitorowania i zarządzania energią
- System BMS/SCADA

### Mikrościeć w fabryce WAGO

Przez mikrościeć energetyczną rozumiemy systemowe rozwiązanie polegające na łączeniu konsumpcji energii z wytwarzaniem jej na miejscu. Mikrościeć jest więc systemem elektroenergetycznym w zakładzie przemysłowym, obiekcie infrastrukturalnym czy kompleksie logistycznym, który z jednej strony jest zintegrowany z siecią zawodowej energetyki, a z drugiej składa się z rozproszonych zasobów energii, takich jak instalacja fotowoltaiczna, turbiny wiatrowe, układy kogeneracyjne, czy systemy magazynowania. Poszczególne elementy wytwórcze i odbiorcze systemu są zintegrowane i

kontrolowane na bieżąco za pomocą narzędzi programowych i technologii komunikacyjnych. Realizując koncepcję mikrosieci wyodrębniliśmy kilka kluczowych obszarów funkcjonalnych:

- Obsługa punktu przyłączenia do sieci
- Zarządzanie i regulacja odnawialnego źródła energii
- Zarządzanie magazynem energii
- Monitoring i zarządzanie energią
- Zarządzanie punktami ładowania pojazdów elektrycznych
- Integracja, zarządzanie i analizy



Rys.1 Obszary funkcjonalne mikrosieci energetycznej

### Obsługa punktu przyłączenia do sieci

Punkt przyłączenia do sieci jest niezwykle istotnym miejscem. Jest punktem styku i jednocześnie rozgraniczenia sieci elektroenergetycznej od systemu elektroenergetycznego przedsiębiorstwa. To, co się dzieje w sieci oddziałuje na system, a to, co się dzieje w systemie oddziałuje na sieć. To wzajemne powiązanie sprawia, że rozbudowa systemu przedsiębiorstwa o własne moce wytwórcze, magazyn energii, czy inne elementy wiąże się z wyzwaniami zarówno dla Operatora Systemu Dystrybucyjnego (OSD), jak i inwestora lub właściciela lokalnej instalacji.

Jak wiadomo, głównym wyzwaniem OSD jest zapewnienie stabilnego działania systemu i zagwarantowanie parametrów jakościowych zasilania w punkcie przyłączenia do sieci odbiorcy energii. Natomiast z punktu widzenia inwestora, głównym zadaniem jest spełnienie wymogu prowadzenia lokalnej generacji energii w sposób niezakłócający stabilności systemu – czyli zgodnie z wymaganiami kodeksu sieciowego NC RfG.

Kolejnym ważnym aspektem jest zapewnienie bezpieczeństwa eksploatacji lokalnego systemu wytwórczego z uwzględnieniem standardów Elektroenergetycznej Automatyki Zabezpieceniowej (EAZ). Kluczowa jest również integracja źródła i lokalnej automatyki EAZ z systemem SCADA operatora systemu dystrybucyjnego w sposób umożliwiający realizowanie telemonitoringu i telesterowania.

Realizacja wspomnianych wyzwań jest możliwa poprzez spełnienie szczegółowych wymagań technicznych opisanych przez Operatora Systemu Dystrybucyjnego (OSD) w warunkach przyłączenia do sieci.

Chcąc spełnić te warunki, WAGO opracowało i uzgodniło z OSD projekt, zgodnie z którym zmodernizowany został punkt przyłączenia do sieci po stronie SN (modernizacja pól rozdzielnic SN, modernizacja układów pomiarowo-rozliczeniowych). Dokonaliśmy również niezbędnych zmian w

zakładowym systemie energetycznym po stronie nN, po to by móc włączyć do niego instalację PV i magazyn energii. Sposób włączenia tych instalacji do naszej lokalnej sieci jest z jednej strony zgodny z wymaganiami OSD, a z drugiej zapewnia nam optymalną dystrybucję energii z własnego modułu wytwórczego wewnątrz zakładowej sieci. Priorytetem jest wzmocnienie autokonsumpcji, a w razie potrzeby – okresowe obniżenie zapotrzebowania na moc oraz możliwość wyprowadzenia energii do sieci OSD przez zmodernizowane przyłącze SN.



Fot.1 Rozdzielnica średniego napięcia SN

## Zarządzanie i regulacja źródłem OZE oraz magazynem energii

Na dachu jednej z hal produkcyjnych o powierzchni blisko 9 tys. metrów powstała instalacja złożona z ponad 1,6 tys. paneli, połączonych w 63 obwody, z których energię DC na AC konwertuje 7 falowników o mocy 100 kW każdy. Na potrzeby wyprowadzenia energii z falowników i wprowadzenia jej do zakładowego systemu elektroenergetycznego została zaprojektowana odrębna/nowa rozdzielnica nN. Oprócz siedmiu pól odbiorczych, do których podłączone są falowniki instalacji PV, wyposażona jest ona również w jedno pole, służące do przyłączenia magazynu energii. Dzięki temu może zasilać magazyn energii, jak i odbierać energię z magazynu.



Fot.2 Instalacja fotowoltaiczna na dachu hali produkcyjnej WAGO

Porównanie prognozowanej produkcji energii z własnej elektrowni fotowoltaicznej zestawione z zapotrzebowania na energię zakładu wskazało, że w zakładzie WAGO występują okresy, w których jesteśmy w stanie wyprodukować więcej energii niż w danym momencie potrzebujemy. Zgromadzenie tych chwilowych nadwyżek i skorzystanie z nich w trakcie momentów zwiększonego zapotrzebowania na energię zwiększa autokonsumpcję i pozwala na lepsze wykorzystanie tańszej energii z własnego źródła. Stąd decyzja, by zakupić system magazynowania energii NRG 138kWh/ 100kW w zabudowie kontenerowej.



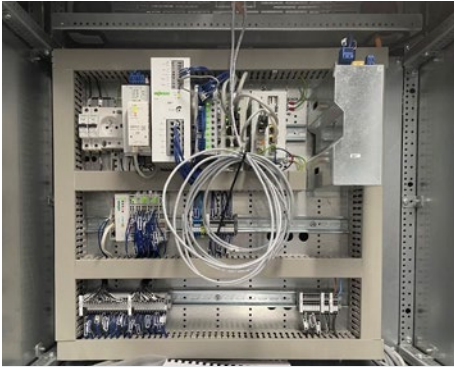
Fot. 3 Kontenerowy magazyn energii

Nasza instalacja o mocy 802,52 kW (702,52 kW PV + 100 kW magazyn energii) jest kwalifikowana jako moduł wytwarzania energii typu B i przyłączenie jej do sieci OSD wymaga integracji z systemem SCADA operatora z zachowaniem standardu Elektroenergetycznej Automatyki Zabezpieczeniowej i prowadzenia regulacji zgodnie z wymaganiami kodeksu NC RfG. Uzgodniony z OSD układ regulacji/telemechaniki to rozwiązanie Solar Park Management - certyfikowany regulator źródła OZE oparty o sterownik PLC WAGO i bibliotekę programową Power Plant Control. Warto podkreślić, że to rozwiązanie stosowane jest już w setkach instalacji fotowoltaicznych w energetyce zawodowej i przemyśle.

### **Monitoring i zarządzanie energią**

Opomiarowanie energii w firmie produkcyjnej kojarzy się najczęściej z analizą i rozliczaniem kosztów wytwarzania. Jednak decyzja o budowie mikrosieci sprawia, że dostęp do bieżących i historycznych danych o zużyciu energii i jej produkcji, a także danych o parametrach sieci, zdecydowanie zyskuje na znaczeniu.

W zakładzie WAGO we Wróblowicach dostęp do bieżących i historycznych danych o mediach zapewnia system SCADA, który prezentuje wykorzystanie i przepływ energii. Na poziomie lokalnym/obiektywnym - rozwiązaniem dostarczającym dane jest WAGO Energy Data Management (EDM) połączone z poszczególnym fragmentem instalacji technologicznej lub rozdzielnicą elektroenergetyczną. Aby móc zarządzać energią w oparciu o rzeczywiste dane, we Wróblowicach zdecydowaliśmy się objąć monitoringiem także zespół wytwarzania i magazynowania energii.



Fot.4 Sekcji rozdzielnic z zabudowanym układem automatyki Energy Data Management (EDM)

Centralna jednostka z aplikacją EDM (WAGO Edge Controller) pełni rolę koncentratora sygnałów i serwera danych. Poprzez port szeregowy RS485 cyklicznie odpytuje dwukierunkowe liczniki energii, dostarczając informacje o przepływach energii z inwerterów instalacji PV oraz przepływach energii z i do magazynu energii. WAGO Edge Controller ma zabudowane dwa porty Ethernet. Jeden wykorzystywany jest bezpośrednio do komunikacji z wyspą I/O WAGO (interfejs sieciowy Modbus TCP/IP 750-362 z kartami wejść cyfrowych). Wyspa pozwala monitorować stan wyłączników rozdzielnic.

Drugi port sterownika podłączony jest do switcha. Za jego pośrednictwem aplikacja EDM Edge Controllera komunikuje się z:

- analizatorem sieci na wyprowadzeniu mocy rozdzielnic PV – całkowita moc/energia pobierana/oddawana przez zespół wytwarzania energii,
- z analizatorami sieci klasy A z punktu przyłączenia do sieci (poprzez zakładową sieć Ethernet),
- z lokalnym panelem operatora – wyświetlane są na nim ekrany synoptyczne udostępniane przez EDM w postaci stron WWW (odzworowanie statusów pracy i przepływów energii wewnątrz modułu wytwarzania energii, energii odprowadzonej do sieci lub pobranej z sieci),
- z systemem SCADA/BMS – udostępnianie odczytów potrzebnych do odwzorowanie strony energetycznej modułu wytwarzania w istniejącym systemie SCADA/BMS.

### Zarządzanie punktami ładowania pojazdów elektrycznych

Na terenie zakładu WAGO we Wróblowicach funkcjonują obecnie dwie ładowarki do ładowania samochodów elektrycznych – łącznie cztery punkty ładowania o mocy 22 kW, oraz ładowarka do rowerów elektrycznych. Jednocześnie infrastruktura techniczna jest przygotowana do instalacji kolejnych stacji, aby można było w przyszłości sprostać zapotrzebowaniu na usługę ładowania, a także wymogom prawnym.

Biorąc pod uwagę rozwojowość instalacji ładowania i potrzebę sprawnego zarządzania infrastrukturą ładowania oraz wpasowania jej w profil energetyczny przedsiębiorstwa, postanowiliśmy uruchomić we Wróblowicach układ dynamicznego zarządzania mocą ładowania pojazdów. Zrealizowaliśmy go w oparciu o własne rozwiązanie WAGO Load Management, które zintegrowaliśmy z pozostałymi elementami naszej mikrosieci energetycznej (elektrownią PV, magazynem energii, systemem SCADA).



Fot.5 Stacja ładowania na terenie zakładu WAGO we Wróblowicach

WAGO Load Management to rozwiązanie, które nie wymaga skomplikowanych integracji. Złożone jest z dostępnego od ręki sterownika PLC WAGO i skojarzonej z nim gotowej, parametryzowanej za pomocą przeglądarki internetowej, aplikacji sterującej. Układ włączony jest w mikrosieć WAGO za pośrednictwem liczników energii zainstalowanych w kluczowych dla nadzoru mocy i bilansu energetycznego punktach systemu.

Rozwiązanie na bieżąco oblicza bilans energetyczny w oparciu o ciągi odczyt liczników i na bazie tych obliczeń, zdefiniowanych scenariuszy korzystania z infrastruktury ładowania oraz posiadanych przez konkretnego użytkownika praw/priorytetów, dokonuje w sposób ciągły przydziału mocy ładowania dla każdego z punktów ładowania indywidualnie. Pozwala to optymalnie wykorzystać infrastrukturę ładowania i potencjał systemu elektroenergetycznego bez generowania „pików” zapotrzebowania na moc. Kolejną pozytywną dla nas funkcjonalnością zastosowanego rozwiązania są informacje administracyjne. Dostępny logger, pozwala mieć wgląd w historię zrealizowanych przez uprawnionych użytkowników ładowań.

### **Integracja, zarządzanie i analizy**

Budując mikrosieć energetyczną we Wróblowicach, staraliśmy się, by modernizowana infrastruktura energetyczna osiągnęła nowy, wyższy poziom techniczny, który zapewni nam nie tylko większą autonomię i elastyczność w gospodarowaniu energią, poprzez lepsze dopasowanie do wymagań dynamicznie zmieniającego się rynku energii, ale także pomoże nam prowadzić bardziej zrównoważoną produkcję, opartą o energię pochodzącą także z odnawialnych źródeł energii.

Przy budowie mikrosieci korzystaliśmy wzajemnie z synergicznej współpracy z naszymi partnerami i klientami z rynku elektroenergetycznego - biurami projektowymi, firmami prefabrykującymi rozdzielnice, firmą wyspecjalizowaną w projektowaniu i budowie elektrowni słonecznych czy wykonawstwie instalacji elektrycznych. Wykorzystaliśmy też własne kompetencje techniczne i doświadczenia z realizacji podobnych zadań u naszych klientów.

Służył nam także potencjał dostępnych własnych rozwiązań, które obsługują w zakresie automatyki kluczowe obszary systemu elektroenergetycznego/obszary mikrosieci i które zastosowaliśmy w naszym zakładzie produkcyjnym:

- w punkcie przyłączenia do sieci - koncentratory telemechaniki - połączenie z systemami SCADA OSD,
- w zakresie regulacji mocy wytwórczych w punkcie przyłączenia do sieci – rozwiązanie Solar Park Management – regulacja zgodna z wymaganiami kodeksu sieci NC RfG,

- w zakresie monitoringu mediów – całe spektrum rozwiązań – od układów pomiarowych opartych o dwukierunkowe liczniki energii czy analizatory parametrów sieci poprzez system koncentratora danych z liczników i procesu WAGO Energy Data Management po narzędzia raportowe dostępne w systemie SCADA,
- w obszarze E-mobilności - rozwiązanie do dynamicznego balansowania obciążenia, jakie generuje infrastruktura ładowania pojazdów elektrycznych – WAGO Load Mangement,
- w obszarze magazynowania – technologie komunikacyjne i sterowania oparte o PLC i otwarte środowisko programistyczne, które pozwala na tworzenie wydajnie działających systemów zarządzania energią na poziomie magazynu energii (EMS).

## Podsumowanie

Dynamiczne zmiany, z którymi od kilku lat mamy do czynienia na rynku energii i towarzyszący im rozwój technologiczny stwarzają przedsiębiorcom przemysłowym i innym odbiorcom generującym duże zapotrzebowanie na energię, nowe możliwości. Nasze doświadczenia pokazują, że skorzystanie z tych szans jest na pewno sporym wyzwaniem. Jednak, co należy podkreślić, wyzwaniem, które w konsekwencji przyniesie duże korzyści.

Warto zaznaczyć również, że zastosowane przez WAGO rozwiązania są w stanie działać autonomicznie. Pozwala to wdrażać je etapami. Z drugiej strony trzeba dodać, że integracja poszczególnych rozwiązań i koordynacja ich pracy jest w stanie przynieść dodatkowe korzyści materialne i wartość użytkową.

Szczegółowy opis mikrosieci i zastosowanych rozwiązań technicznych w zakładzie WAGO we Wróblowicach jest dostępny na stronie: <https://www.wago.com/pl/mikrosieci>.

Materiały:

WAGO ELWAG sp. z o.o.  
ul. Piękna 58a, 50-506 Wrocław,  
Polska

Chcesz się dowiedzieć się więcej?





## **Monitorowanie zdarzeń ze zwierzętami na liniach kolejowych.**

Marian Rabczak  
Główny specjalista ds. nadzoru nad ochroną środowiska  
w procesie inwestycyjnym  
Biuro Ochrony Środowiska PKP PLK S.A.





**PKP POLSKIE LINIE KOLEJOWE S.A.**

*Zarządca narodowej sieci linii kolejowych*



## Monitorowanie zdarzeń ze zwierzętami na liniach kolejowych

Jurafa, 22-24.04.2026

## Wydarzenia z udziałem zwierząt na liniach kolejowych

PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. od 2010 roku prowadzi stały monitoring zdarzeń z udziałem zwierząt na sieci kolejowej w Polsce.

Analiza wydarzeń z udziałem zwierząt na sieci zarządzanej przez Spółkę możliwa jest na podstawie danych zgromadzonych w ramach:

- systemu Ewidencji Pracy Eksploatacyjnej (system SEPE),
- wewnętrznej procedury SMS-PW-07-Zarządzanie środowiskowe.

W 2025 r. na liniach kolejowych w Polsce odnotowano 8724 wydarzenia z udziałem zwierząt w tym:

- 7842 przypadków potrącenia zwierząt przez pociągi,
- 737 wydarzeń związanych z obecnością zwierząt na obszarze kolejowym (bez potrącenia zwierząt),
- 145 wydarzeń wynikających z negatywnego oddziaływania zwierząt związanego z ich bytowaniem (np. podkopywanie nasypów lub przekopów, podgryzanie drzew).

## Znaczenie kolizji pociągów ze zwierzętami

### Kwestie przyrodnicze

- Śmiertelność zwierząt w wyniku kolizji z pociągami.

### Kwestie ekonomiczne

- Uszkodzenia taboru,
- Opóźnienia w realizacji przewozów osób i towarów.

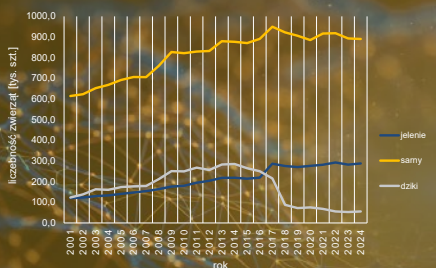
### Kwestie bezpieczeństwa

- Wzrost prędkości i natężenia ruchu pociągów – możliwe poważniejsze skutki.

5

## Liczebność zwierząt i pozyskanie łowieckie

Zmiany liczebności zwierząt łownych

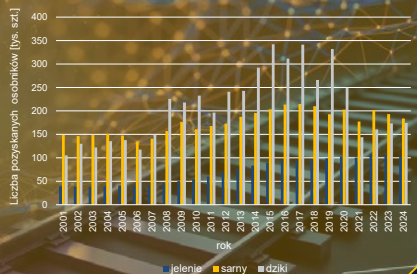


Źródło: Dane GUS

Wzrost populacji 2001/2024 wg danych GUS

- sarny: o 45%
- jelenia – o 135%

Pozyskanie łowieckie w poszczególnych latach



Źródło: Dane GUS

6



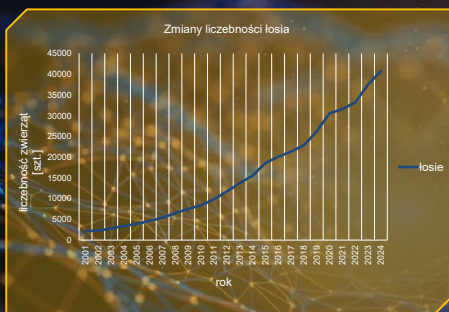
## Liczebność (sarna, jeleni, dzik) i liczba kolizji ze zwierzętami na liniach kolejowych

Tab. 1 Zestawienie liczebności i zdarzeń potrażeń zwierząt łownych na liniach kolejowych w latach 2015-2024.

Gatunek/rok	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
sarna	liczba osobników									
	870 600	890 800	949 900	922 400	906 100	885 500	916 900	918 500	893 200	890 300
	liczba zdarzeń kolizji									
	781	1194	1472	1279	1838	2396	3296	3204	3521	3803
jeleni	liczba osobników									
	214 400	219 300	286 900	275 700	270 500	276 000	281 900	292 700	282 200	288 000
	liczba zdarzeń kolizji									
	192	286	307	269	393	462	525	480	592	591
dzik	liczba osobników									
	264 800	250 500	215 700	87 900	71 800	75 200	67 900	55 500	52 900	55 800
	liczba zdarzeń kolizji									
	406	518	621	571	1125	1015	966	883	969	1235



## Liczebność łosi i liczba zdarzeń z łosiem na liniach kolejowych



Źródło: Dane GUS

Odstrzał 24 łosi w 2010 r.

Łoś jest zwierzęciem łownym ale z całorocznym okresem ochronnym (moratorium).

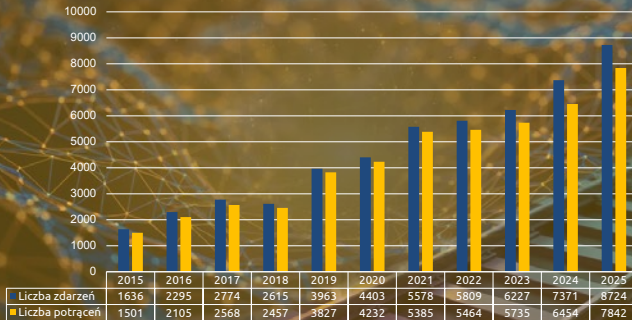
Tab. 2 Liczba potrażeń łosi na liniach kolejowych w latach 2015-2024.

Gatunek/rok	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
łoś	54	47	93	82	130	126	152	170	201	262

Wzrost populacji łosia: 2001/2024  
wg danych GUS – 17 krotny

## Dane dotyczące wydarzeń ze zwierzętami – skala kolizji zwierząt z pociągami w Polsce

Liczba wszystkich zdarzeń z udziałem zwierząt oraz samych potrąceń zwierząt na liniach kolejowych w latach 2015-2025



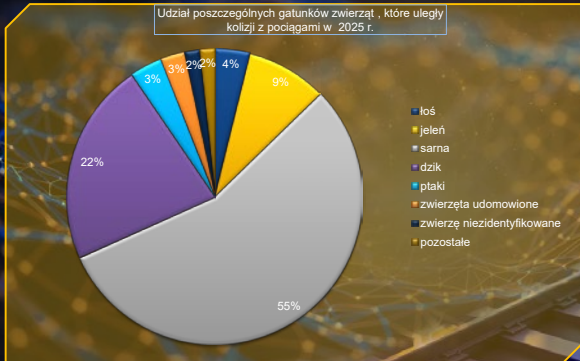
## Identyfikacja linii z największą liczbą kolizji

Linie TEN-T, na których doszło do największej liczby kolizji w latach 2015-2025.



W latach 2015-2025, największą liczbę kolizji odnotowano na 19 liniach kolejowych, tj. nr: **1, 3, 4, 8, 9, 14, 18, 91, 137, 139, 202, 203, 272, 273, 274, 275, 351, 353, 356** (łącznie prawie 50% ogólnej liczby kolizji).

## Gatunki ulegające najczęściej kolizjom z pociągami



W 2025 r. potrącenia gatunków takich jak: łoś, jelen, sarna, dzik stanowiły ok. 91% wszystkich przypadków potrąceń.

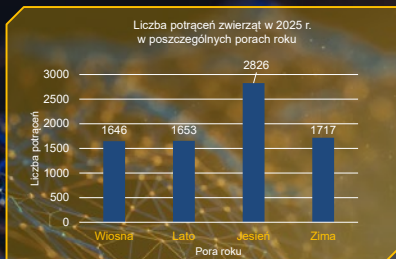
Często dochodziło również do wydarzeń z udziałem zwierząt udomowionych (zwłaszcza psa) i ptaków.

Potrącenia z udziałem zwierząt hodowlanych były nieliczne i stanowiły ok. 0,2% wszystkich potrąceń w 2025 r.

Niewielki był również udział potrąceń z gatunkami podlegającymi ochronie, który wyniósł ok. 0,2%.

11

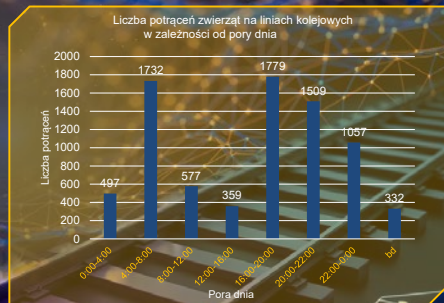
## Rozkład kolizji w zależności od pory dnia i pory roku



Najczęściej do potrąceń zwierząt dochodziło w godzinach porannych pomiędzy godziną 4:00 a 8:00 oraz popołudniowych i wieczornych pomiędzy godzinami 16:00 i 22:00.

Łączna liczba potrąceń w 2025 r. – 7842.

Najwięcej przypadków kolizji pociągów ze zwierzętami obserwowanych jest w okresie jesiennym.



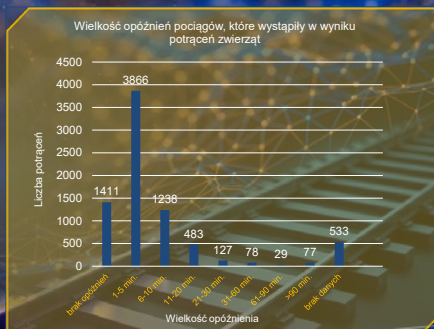
12

## Opóźnienia pociągów, które wystąpiły w związku z potrąceniami zwierząt

W 5898 przypadkach (co stanowi 75% wydarzeń) wskazano opóźnienie pociągu biorącego udział w wydarzeniu.

W 3866 przypadkach wystąpiło opóźnienie rzędu 1 – 5 min., kolejnych 1238 odnotowanych wydarzeń przyczyniło się do wystąpienia opóźnienia od 6 do 10 min.

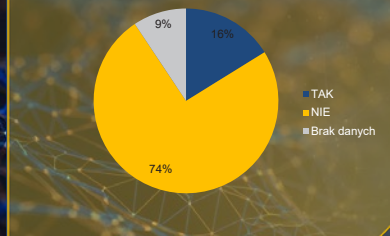
W 2025 r. miało miejsce 77 wydarzeń (<1% wszystkich potrąceń), których konsekwencją było znaczne (ponad 90 min.) opóźnienie pociągu.



13

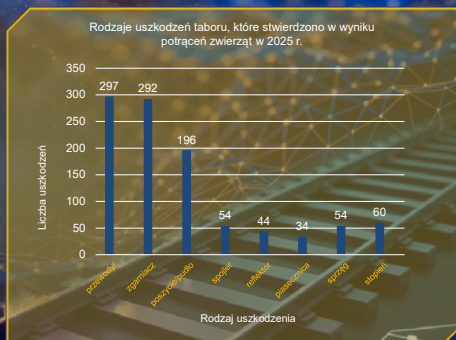
## Uszkodzenia taboru na skutek kolizji ze zwierzętami

Udział zdarzeń kolizji ze zwierzętami w 2025 r., których skutkiem było uszkodzenie taboru



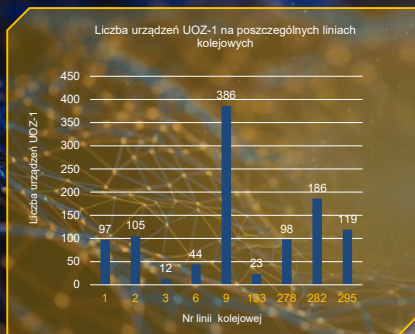
W przypadku 5841 (74%) zdarzeń potrącenia zwierząt na liniach kolejowych w 2025 r. nie stwierdzono uszkodzeń taboru przewoźników kolejowych.

Uszkodzenia taboru w 2025 r. odnotowano w 1268 przypadkach kolizji ze zwierzętami.



14

## Urządzenia ochrony zwierząt UOZ-1



Na liniach kolejowych w Polsce zainstalowanych jest 1070 urządzeń ochrony zwierząt UOZ-1 na dziewięciu liniach kolejowych tj. nr: 1, 2, 3, 6, 9, 133, 278, 282, 295.

W ramach projektów inwestycyjnych planowana jest dalsza zabudowa urządzeń na liniach nr 4, 131 oraz 38. Planowane jest zainstalowanie ok. 350 szt. UOZ-1.

## Lokalizacja istniejących i planowanych urządzeń ochrony zwierząt UOZ-1



## Urządzenia UOZ-1 na liniach kolejowych

### Zabudowa urządzeń UOZ-1:

- Na etapie realizacji inwestycji – zgodnie z wymaganiami decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach/postanowieniami ponownej oceny poprzedzona rozpoznaniem środowiska przyrodniczego w otoczeniu linii kolejowej,
- Na etapie eksploatacji – może stanowić dodatkowy środek kontroli ryzyka wskazany z oceny ryzyka przeprowadzanej okresowo zgodnie z procedurą SMS/MMS-PR-03 Ocena ryzyka technicznego i operacyjnego.

Planując lokalizację urządzeń UOZ-1 muszą być wzięte pod uwagę:

- informacje o występowaniu gatunków dużych i średnich ssaków pozyskane w ramach inwentaryzacji przyrodniczej (o ile była wykonywana) lub na podstawie dostępnych danych literaturowych,
- lokalizacja krajowych, regionalnych i lokalnych korytarzy migracji zwierząt, lokalizacja stałych tras migracji zwierząt,
- rozmieszczenie i liczba potrażeń zwierząt przez pociągi w latach poprzednich,
- sposób zagospodarowania otoczenia danego odcinka linii kolejowej,
- prognoza ruchu.



17

## Skuteczność urządzeń UOZ-1

### Informacje o skuteczności działania UOZ-1 dostarczają:

- Monitoring urządzeń UOZ-1 realizowany w latach 2007-2012 na linii kolejowej E 20 między Mińskiem Mazowieckim i Siedlcami,
- Poinwestycyjne monitoringi przyrodnicze.



- Skuteczność urządzeń nie jest taka sama w każdym przypadku.
- Wpływ na skuteczność rozwiązania ma min. dostosowanie urządzeń do prędkości i struktury poruszającego się taboru na linii kolejowej, natężenie ruchu pociągów, liczebność i skład gatunkowy zwierząt na badanym obszarze, inne uwarunkowania lokalne (atrakcyjność terenu kolejowego dla zwierząt, zagospodarowanie terenu w sąsiedztwie linii).



18



## Skuteczność urządzeń UOZ-1

**MONITORING URZĄDZEŃ UOZ-1 REALIZOWANY W LATACH 2007-2012 NA LINII KOLEJOWEJ E20 MIĘDZY MIŃSKIEM MAZOWIECKIM A SIEDLCAMI. (SZKOŁA GŁÓWNA GOSPODARSTWA WIEJSKIEGO W WARSZAWIE WYDZIAŁ LEŚNY SAMODZIELNY ZAKŁAD ZOOLOGII LEŚNEJ I ŁOWIECTWA)**

**Główny cel:** określenie skuteczności UOZ-1 w ochronie zwierząt na torach kolejowych

**Wnioski:**

- Zwierzęta najczęściej przechodziły przez torowisko w miejscach, gdzie otoczenie torów zapewniało im możliwość schronienia (las lub zakrzaczenia sródpolne) a unikały terenów otwartych
- Tory kolejowe nie stanowiły istotnej bariery ekologicznej ograniczającej przemieszczanie się zwierząt.
- W momentach uruchomienia UOZ-1 zdecydowana większość obserwowanych zwierząt reagowała ucieczką, a tylko w wyjątkowych sytuacjach (gonione przez psy) przechodziły przez tory kolejowe
- Przy emisji dźwięków z UOZ-1 zwierzęta częściej i szybciej reagowały ucieczką niż przy wyłączonych urządzeniach zabezpieczających.
- Przeprowadzone badania nad skutecznością działania UOZ-1 wskazują, że urządzenia te zmniejszają ryzyko kolizji zwierząt z pociągami.



## Skuteczność urządzeń UOZ-1

- **MONITORING PRZYRODNICZY DLA PRZEDSIĘWZIĘCIA PRZEBUDOWA I ROZBUDOWA (MODERNIZACJA) LINII KOLEJOWEJ E-65 WARSZAWA – GDYNIA W GRANICACH WOJEWÓDZTWA MAZOWIECKIEGO (OD KM 4+775 DO KM 132+640) (opracowanie 2020 r.)**
- **MONITORING PRZYRODNICZY DLA PRZEDSIĘWZIĘCIA PRZEBUDOWA I ROZBUDOWA (MODERNIZACJA) LINII KOLEJOWEJ E-65 WARSZAWA – GDYNIA W GRANICACH WOJEWÓDZTWA WARMIŃSKO - MAZURSKIEGO (OD KM 132+640 DO KM 236+900) (opracowanie 2020 r.)**

**Wnioski dot. UOZ:**

Nie stwierdzono istotnego wpływu UOZ-1 na zmniejszenie śmiertelności zwierząt, chociaż nieliczne dane literaturowe wskazują wyraźne reakcje na dźwięk UOZ (ucieczka) większości zwierząt. Mimo braku istotnego statystycznie wpływu na zmniejszenie śmiertelności zwierząt i braku stwierdzenia jednoznacznych reakcji na działanie UOZ, znaczna część zwierząt reagowała jednak na dźwięk UOZ poprzez np. nastuchiwanie i tym samym zwiększenie ostrożności, należy przyjąć iż UOZ pośrednio wpływają na zmniejszenie ryzyka kolizji.

## Skuteczność urządzeń UOZ-1

ANALIZA POREALIZACYJNA W ZAKRESIE MIGRACJI ZWIERZĄT DLA PROJEKTU PN "MODERNIZACJA LINII KOLEJOWEJ WARSZAWA – ŁÓDŹ, ETAP II, LOT A – ODCINEK WARSZAWA ZACHODNIA-MIEDNIEWICE (SKIERNIEWICE)" FAZA II (Nr PoliS 5.1-5) ODCINEK W WOJ. MAZOWIECKIM (km 3,900-57,685) (opracowanie 2019 r.)

Wnioski dot. UOZ:

- Obserwacje wyraźnie wskazują, że linia kolejowa na odcinkach z UOZ-1 nie ogranicza migracji.
- Bezpośrednie obserwacje wskazują na niejednorodne zachowania zwierząt i ich reakcje na dźwięki emitowane przez urządzenia UOZ-1:
  - ucieczka – zając,
  - czasami ucieczka – sarnia, lis,
  - brak ucieczki –łoś.

21

## Obszary do dalszego rozpoznania

Skuteczność urządzeń w odniesieniu do dużych ssaków takich jak żubr czy łoś:

- brak danych dotyczących skuteczności działania urządzeń na żubry,
- wyniki monitoringu na linii kolejowej nr 1 wykazały brak reakcji losi na sygnały emitowane przez urządzenie UOZ-1 – zbyt mało danych

- Wpływ urządzeń na ssaki drapieżne: wilk, ryś.

- Długofalowe działanie urządzeń - ocena ich skuteczności na przestrzeni lat.



22

## Podsumowanie

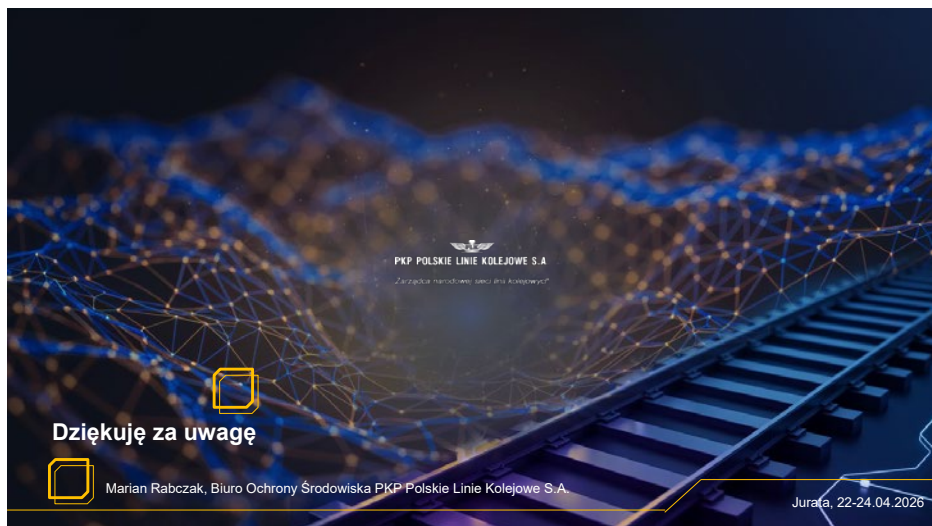
- Linie kolejowe w zarządzie PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. standardowo nie są grodzone i nie stanowią bariery w migracji zwierząt
- Kolidzjom z pociągami ulegają najczęściej gatunki: sarna, dzik, jeleń, łoś
- W latach 2001 – 2024 wystąpił intensywny wzrost populacji łośi oraz znaczny wzrost populacji saren i jeleni
- Urządzenia UOZ – posiadają wieloletnie zastosowanie na liniach kolejowych
- Niektóre gatunki mogą być mniej podatne na działanie UOZ-1 (łoś, zubr) – zagadnienie mało rozpoznane



23

Dziękuję za uwagę

24







**System SENSONIC**  
**Wykorzystanie technologii DAS właściwego kierunku**  
**w rozwoju współczesnych systemów monitorowania**  
**kolejowej infrastruktury krytycznej.**

Marek Stolarski  
Prezes Zarządu NEEL Sp. z o.o.



## Sensonic's Fiber + Light = Railway Insight



Daniel Pyke, CEng, FIMMM.

Daniel is a chartered materials engineer and fellow of the Institute of Materials Minerals and Mining (IOM3) with 19 years of railway experience spanning railway consultancy through to rail manufacture. He is marketing lead at Sensonic.

*Daniel pyke.jpg*

### 1. Summary

*In this paper, I highlight the multi-discipline benefits achievable by combining the latest fiber optic technology with machine learning, artificial intelligence, and deep railway experience. This combination reveals a wealth of previously untapped infrastructure insight with the potential to unlock multiple rail safety and efficiency improvements.*

*Using fiber optic sensing technologies such as Distributed Acoustic Sensing (DAS), it is possible to listen to railway infrastructure 24/7 along entire rail routes. By applying Artificial Intelligence (AI) and Machine Learning, we can interpret this vast vibration data source to study infrastructure performance and identify immediate hazards to railway operations which include rockfalls, landslides, and security threats such as trespass and cable theft.*

*This article demonstrates how an untapped data source can be obtained, often from existing assets, to deliver improved infrastructure insight and enable significant gains in both safety and efficiency. This new insight can be rapidly rolled out across rail routes thanks to long-range sensor technology and minimal trackside equipment requirements.*

### 2. Introduction: The sense of sound

Humans are fantastic at interpreting the world around us through our five senses. We use two of these, hearing, and touch, to sense the vibrating world around us. From the high-pitched squeak of a door hinge indicating a need for oil to the deep rumble of thunder warning us to seek shelter, we instinctively interpret noise and vibrations to navigate and stay safe.

Despite this natural ability, the railway industry has historically remained largely deaf to the rich data source represented by infrastructure vibrations. Part of the challenge is that railways are long, remote, and often inaccessible. The range of hearing via the human ear or traditional microphones is limited, and we cannot station staff everywhere due to safety, cost, and practicality.

However, just as a driver knows when their car "doesn't sound right," an experienced railway professional can hear and feel issues evolving. This might include a wheel flat on rolling stock, a loose fishplate bolt in the track, or excessive arcing from a vehicle pantograph. An expert ear can often find these issues long before detection by traditional scheduled measurement or maintenance activities.

### 3. The Technology: How can we listen to railways?

To overcome the limitations of human hearing, we can use Distributed Acoustic Sensing (DAS). While this technique is well-established for securing international borders and monitoring pipelines, it is now brought to the noisy rail environment by Sonsonic.

#### Turning Fiber into a Sensor

DAS technology allows us to extend the range and resolution of vibration detection far beyond human capabilities using standard single-mode fiber optic cables. These cables are often already present as part of existing signalling or telecommunications infrastructure. In this application, the fiber optic cable itself becomes the sensing element.

The DAS technique works by using a laser to send light pulses along the fiber. As these pulses travel, they are subjected to scattering processes due to their interaction with the glass matrix. A small portion of this laser light is scattered back toward the sensing unit. This reflected light is what we measure to derive information.

The scattering process is affected by any strain in the glass fiber, such as that caused by external vibrations. This phenomenon, known as Rayleigh scattering, allows the sensing unit to find the location, frequency, and intensity of vibrations by evaluating the backscattered light. Figure 1 shows this schematically. A single sensing unit can measure up to 100km of fiber (covering approximately 80km of rail route). The system segments the fiber into 6.4m sections, meaning a 100km run effectively acts as an array of over 15,500 vibration sensors distributed along the entire route.

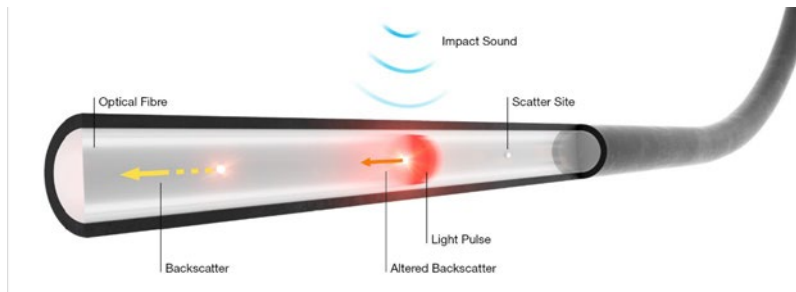


Figure 1 Schematic of Distributed Acoustic Sensing (DAS)

(FOS.PNG)

#### Listening vs Understanding

Gathering huge quantities of vibration data is only the first step. To make this data useful and actionable, we must apply intelligent analysis to distinguish between various sounds. Was that noise a landslide or a passing train? Is that someone digging near the track or just walking along it?

Sonsonic trains machine learning and AI models using extensive railway experience to categorise these events in real-time. This capability allows us to turn vast quantities of vibration "noise" into actionable insights, providing a continuous monitor with comprehensive spatial coverage along the rail route.

## 4. Applications: What vibrations reveal about the railway

There are many established and potential use cases for vibration sensing via fiber optic cable. In this short paper I discuss a small selection that can benefit the railway, but there are many more I have had to omit. It should be noted that the same infrastructure and sensing technology supports all these applications, potentially simultaneously, increasing the value that can be realised from the roll out of a single unified technology.

The same infrastructure and sensing technology can support multiple railway disciplines simultaneously, increasing the value realised from a single unified technology roll-out. This paper discusses just a few of the many use-cases.

### 4.1 Landslide & Rockfall Detection



Figure 2 Rockslide identified by Sensonic DAS

*(landslide\_main.JPG)*

Detection of landslides and rockfalls is a potentially life-saving application. These natural hazards are an increasing challenge for operations teams as extreme weather events become more frequent. Using DAS, we can monitor for characteristic ground vibrations from moving rocks or earth over long distances in real-time.

When a rockfall occurs, the vibrations are detected and identified by AI algorithms, which immediately send an urgent alert and a precise location to operations teams. This enables the team to act, preventing a natural hazard from turning into a railway disaster. Alerts generated by this technology have already prevented several accidents in mountainous and challenging environments and examples are shown in Figure 2 and Figure 3



Figure 3 Examples of detected rockfalls / landslides.

[\(rockfall collage.jpg\)](#)

## 4.2 Security and Infrastructure Protection



Figure 4 Cable theft on the railway.

[\(Cable theft\\_5.PNG\)](#)

Most governments regard railways as critical infrastructure. Their reliable operation is essential to global economies, yet they face threats ranging from accidental trespass, theft, and vandalism through to organised crime and even sabotage. Because railways are long, linear, and often remote, they are difficult to keep secure.

DAS can detect extremely small ground vibrations and is sensitive enough to detect the vibrations from footsteps. As fiber optic cables are typically laid underground or in ducts/troughs next to the railway track, the covert and comprehensive geographical coverage this delivers enables security information to be gathered across whole rail routes rapidly. This can be particularly important in remote and difficult-to-access areas, where traditional security measures such as patrols or cameras may be ineffective or impractical.

Security applications can be both reactive – responding to current and evolving situations, as well as proactively; to monitor trends, assess the effectiveness of different security strategies or to gather data to support planning and future budget allocations.

## **Trespass**

Listening for trespass activity along vast lengths of critical infrastructure, the use of DAS is well proven in other industry sectors such as international border protection and oil and gas pipelines. The application of the technology to the railway brings similar security benefits as well as potential safety improvement applications in cases where teams may be maintaining track in remote areas.

When trespassers footsteps are detected, security alerts are generated automatically in real-time. These notifications are sent to the rail operations teams, delivering the alert type together with accurate location information so they can initiate an appropriate response.

As the fiber optic cable used to sense vibration is typically underground, it is both covert and difficult if not impossible to avoid.

Figure 5 shows a demonstration of the security application in operation on an operational railway. The lower inset graph shows the data that has generated the alarm. On the x-axis is distance along the track, the y-axis shows time with bright colours showing higher vibration intensity. The individual footsteps and direction of travel are clearly resolvable in the data stream as the trespasser walks alongside the track.



Figure 5 Video image from security application demonstration. (Inset is recorded vibration showing footsteps being detected and automated alarm generation as well as alarm location)

*(Walking security demo.JPG)*

## Digging

Digging activities on or near rail infrastructure are also a key security concern. Most commonly digging activities are related to cable theft, but digging can also damage cables, earthworks, drainage, or other track structures.

Data is shown from an operational railway in Figure 6, (The green bands are trains in motion). Digging activity was noted at the highlighted location, continuing for quite some time before the cable was eventually reached and damaged. N.B. Unlike many measuring systems, because DAS measures reflected light, the system continues to measure data up until the location that the cable was damaged. This proves extremely useful for finding the exact location and provides capabilities during degraded operating conditions.

As with other DAS applications digging alerts are generated automatically in real time and geolocated, so timely and accurate responses can be actioned.

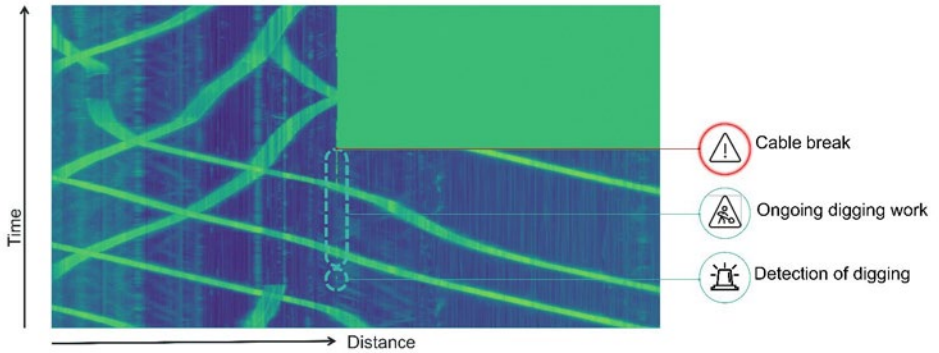


Figure 6 Example of digging damage from operational railway in India.

(Cable digging.JPG)

### Cable Theft

Railway cables can be vulnerable to theft, tampering or even sabotage. Figure 7 shows a video still from a demonstration. As cables are touched/moved these generate vibration energy in all the cables inside the cable trough, which can be clearly seen in the inset graph. This provides the ability to monitor in real time for cable disturbance or theft events and respond appropriately.



Figure 7 Video image from cable movement demonstration Inset is graph showing distance vs time as previously with vibration energy represented by brighter colours. The highlighted area shows where cables were being touched/moved.

(cable tampering.JPG)

### 4.3 Catenary Flashover Location

While many applications focus on ground-based vibrations, significant energy events above the ground can also be detected. A loud catenary flashover (electrical fault) induces ground vibrations that are clearly detectable by fiber optic sensing, (See Figure 8). DAS can pinpoint the fault location to within approximately 10 meters. Compared to traditional systems that may only narrow the search to hundreds of meters, this allows for faster inspection, safer conditions for staff, and a quicker recovery of operations.

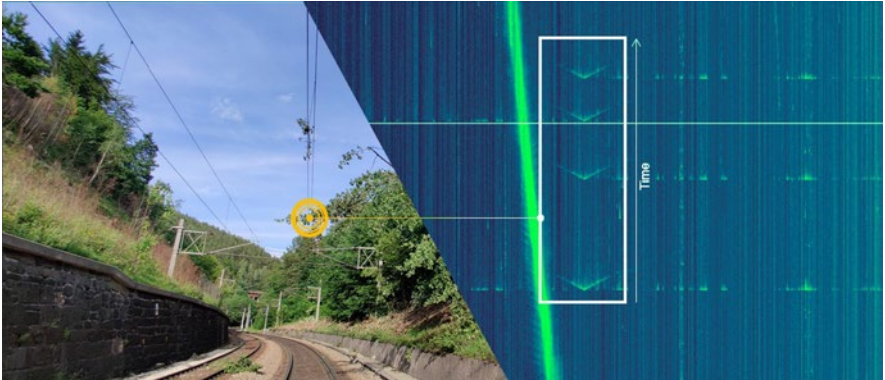


Figure 8 Left - A fallen tree has led to four flashovers of the overhead catenary. Right - The vibration energy plots accurately identify the exact location of the fault for repair.

(Flashover.PNG)

## 5. Implementation and Scalability

Fiber optic cable is a mature, robust technology with a long life and no Electro-Magnetic Compatibility (EMC) issues. Using DAS, a single unused "dark" fiber is all that is required to gather data along its length. This often means that no new trackside equipment is needed to transform a standard fiber optic cable into a long-range sensor.

The fiber optic sensing unit itself (Figure 9), is a standard 19-inch rack-mounted design and can monitor around 80km of route, meaning there are few if any track locations out of monitoring reach. The sensing unit is typically sited alongside existing signalling or telecoms equipment in secure locations and requires no specialist maintenance.



Figure 9 A Distributed Acoustic Sensing Unit from Sensonic

(Sensonic box.JPG)

This simplicity of roll-out with both rapid installation and scalability allow railways to monitor and protect large lengths of track, entire routes, and potentially complete rail networks without

needing to install forests of trackside sensors along with their supporting power and communications equipment.

## **6. Conclusion**

Distributed Acoustic Sensing (DAS) is a transformative technology that supplies multiple insights from a single sensing source. By turning standard fiber optic cables into a comprehensive array of vibration sensors and applying advanced AI, we can listen intelligently to our infrastructure.

From preventing disasters caused by landslides to thwarting organised cable theft and pinpointing catenary faults, these insights are essential enablers of safety and efficiency. The data is already there, vibrating through ground and glass. The question for modern rail operators is simple: Are you ready to listen?





**Innowacyjne rozwiązania wspierające  
strategię elektromobilności, zero emisyjności  
oraz bezpieczeństwa zasilania w systemach zarządzania  
infrastrukturą transportu kolejowego.**

Zbigniew Chyliński  
Dyrektor Oddziału Kolejowego ZAiUP AREX Sp. z o.o.

Tomasz Myzia  
Kierownik Biura Nadzoru Projektów ZAiUP AREX Sp. z o.o.

Vasyl Smirnov  
Inżynier produktu ZAiUP AREX Sp. z o.o.



# INNOWACYJNE ROZWIĄZANIA WSPIERAJĄCE STRATEGIE ELEKTROMOBILNOŚCI I ZERO EMISYJNOŚCI W SYSTEMACH ZARZĄDZANIA INFRASTRUKTURĄ TRANSPORTU KOLEJOWEGO

## INNOVATIVE SOLUTIONS TO SUPPORT ELECTROMOBILITY AND ZERO- EMISSION STRATEGY IN RAIL INFRASTRUCTURE MANAGEMENT SYSTEMS

Krzysztof Bielawski, Tomasz Buda, Gerard Wiśniewski, Zbigniew Chyliński, Tomasz Myzja.

Zakład Automatyki i Urządzeń Pomiarowych AREX Sp. z o.o.

Kontakt: tel.: (+48) 58 340 67 41, e-mail: [Zbigniew.chylinski@arex.pl](mailto:Zbigniew.chylinski@arex.pl)

### Streszczenie:

W artykule zaprezentowano założenia, koncepcje i rozwiązania techniczne wpływające na poprawę efektywności energetycznej systemów infrastruktury kolejowej jak również infrastruktury miejskiej, realizowanych przez Zakład Automatyki i Urządzeń Pomiarowych AREX. Artykuł ma na celu przybliżenie koncepcji rozwiązań będących w fazie doświadczeń jak i konkretnych wdrożeń, wspierających realizację strategii rozwoju energetyki odnawialnej i zeroemisyjnej. W tekście artykułu zaprezentowano informacje i wnioski z tych wieloletnich prac i doświadczeń zmierzających do opracowania innowacyjnych systemów zarządzania, sterowania i monitorowania oświetlenia terenów kolejowych, zasilania systemów ogrzewania rozjazdów (EOR) oraz systemów umożliwiających wykorzystanie energii odnawialnej, bezpośrednio do zastosowań infrastruktury kolejowej w obszarze działania PKP PLK S.A. i innych przedsiębiorstw komunikacji drogowej i kolejowej.

**Słowa kluczowe:** zeroemisyjność, odnawialne źródła energii, magazyny energii, efektywność energetyczna, infrastruktura kolejowa, infrastruktura miejska

### Abstract:

The article presents assumptions, concepts and technical solutions for improving the energy efficiency of railroad infrastructure systems as well as urban infrastructure implemented by the AREX Sp. z o.o. Automation and Measurement Equipment Department. The article aims to introduce the concepts of solutions that are at the stage of experience as well as concrete implementations, supporting the implementation of the strategy of renewable and zero-emission energy development. The text of the article presents information and conclusions from many years of work and experience aimed at the development of innovative systems for the management, control and monitoring of lighting of railroad areas, power supply of turnout heating systems (EOR) and systems enabling the use of renewable energy directly for the use of railroad infrastructure in the area of operation of PKP PLK S.A. and other road and rail transport companies..

**Keywords:** zero-emission, renewable energy, energy storage, energy efficiency, rail infrastructure, urban infrastructure

## 1. Wprowadzenie

Transformacja sektora transportu publicznego w kierunku elektromobilności oraz zeroemisyjności stanowi jeden z kluczowych elementów współczesnej polityki klimatycznej oraz strategii zrównoważonego rozwoju. Transport jest jednym z największych źródeł emisji gazów cieplarnianych w gospodarce, dlatego jego modernizacja oraz wprowadzanie nowych technologii mają kluczowe znaczenie dla realizacji celów klimatycznych.<sup>1</sup> W szczególności rozwój elektromobilności oraz nowoczesnych systemów zarządzania infrastrukturą stanowi istotny element polityki transportowej wielu państw oraz organizacji międzynarodowych. Wdrażanie innowacyjnych rozwiązań technologicznych w transporcie drogowym i kolejowym pozwala nie tylko na ograniczenie emisji zanieczyszczeń, lecz także na zwiększenie efektywności funkcjonowania całego systemu transportowego.

Jednym z najważniejszych kierunków rozwoju w obszarze elektromobilności jest elektryfikacja transportu oraz rozbudowa infrastruktury ładowania pojazdów elektrycznych. W ostatnich latach obserwuje się dynamiczny

rozwój technologii umożliwiających ładowanie pojazdów elektrycznych zarówno w przestrzeni publicznej, jak i w prywatnych systemach transportowych. Szczególne znaczenie mają stacje ładowania dużej mocy, które umożliwiają szybkie uzupełnianie energii w pojazdach elektrycznych. Rozbudowa infrastruktury ładowania stanowi jeden z najważniejszych warunków rozwoju rynku pojazdów elektrycznych, ponieważ zapewnia użytkownikom możliwość swobodnego korzystania z tego typu środków transportu.

Istotną rolę w procesie transformacji transportu odgrywa także elektryfikacja transportu kolejowego. Kolej jest uznawana za jeden z najbardziej ekologicznych środków transportu, szczególnie w przypadku linii zelektryfikowanych. Modernizacja infrastruktury kolejowej oraz rozwój nowoczesnego taboru elektrycznego pozwalają na ograniczenie zużycia energii oraz redukcję emisji gazów cieplarnianych.

W kontekście elektromobilności szczególnie ważne jest także integrowanie systemów zarządzania ruchem z infrastrukturą ładowania pojazdów elektrycznych, co pozwala na bardziej efektywne wykorzystanie dostępnych zasobów energetycznych. Systemy te mogą również wspierać rozwój transportu autonomicznego, który w przyszłości może przyczynić się do dalszego ograniczenia emisji zanieczyszczeń poprzez optymalizację stylu jazdy oraz zmniejszenie liczby kolizji drogowych<sup>2</sup>.

Współczesne systemy zarządzania infrastrukturą transportową coraz częściej wykorzystują także technologie cyfrowe oraz narzędzia analityczne oparte na sztucznej inteligencji i analizie dużych zbiorów danych. Cyfryzacja infrastruktury transportowej umożliwia tworzenie zaawansowanych modeli symulacyjnych, które pozwalają na analizowanie funkcjonowania systemów transportowych w różnych scenariuszach rozwoju<sup>3</sup>.

W kontekście transportu kolejowego szczególne znaczenie mają systemy zarządzania energią. Nowoczesne technologie umożliwiają bardziej efektywne wykorzystanie energii elektrycznej w systemach trakcyjnych oraz ograniczenie strat energetycznych. Jednym z kluczowych rozwiązań jest odzysk energii z hamowania pociągów, który polega na przekształcaniu energii kinetycznej pojazdu w energię elektryczną i jej ponownym wykorzystaniu w sieci trakcyjnej. Energia ta może być wykorzystywana przez inne pojazdy czy też odbiory znajdujące się w pobliżu lub magazynowana w specjalnych systemach magazynowania energii<sup>4</sup>.

Coraz częściej stosowane są również magazyny energii instalowane w pobliżu podstacji trakcyjnych, które umożliwiają gromadzenie nadwyżek energii oraz ich późniejsze wykorzystanie. Rozwiązania te pozwalają na zwiększenie stabilności systemu energetycznego oraz ograniczenie zużycia energii pochodzącej z paliw kopalnych. W wielu krajach prowadzone są także projekty polegające na integracji infrastruktury kolejowej z odnawialnymi źródłami energii, takimi jak instalacje fotowoltaiczne montowane na budynkach stacyjnych lub wzdłuż linii kolejowych.

Wszystkie wymienione wyżej aspekty wiążą się z koniecznością kompleksowego podejścia do tematyki budowy, eksploatacji i utrzymania infrastruktury drogowej i kolejowej w tym ze szczególnym uwzględnieniem:

- a. zeroemisyjności,
- b. optymalizacji zużycia energii,
- c. zdolności bezprzerwowego dostarczania energii,
- d. zdolności magazynowania energii,
- e. możliwości sprawnego monitoringu i zarządzania energią i infrastrukturą.

Z tego też powodu wdrażane koncepcje i projekty w realizowanych inwestycjach w infrastrukturę drogową i kolejową, powinny z góry zakładać rozwiązania, które przyczyniają się zarówno do stosowania systemów nowoczesnych ale i energooszczędnych, bezawaryjnych ale i co istotne odpornych na zagrożenia fizyczne i informatyczne.

Rozwój elektromobilności oraz wdrażanie innowacyjnych rozwiązań technologicznych w systemach zarządzania infrastrukturą transportową stanowią jeden z najważniejszych kierunków transformacji współczesnych systemów transportowych. Elektryfikacja transportu, rozwój infrastruktury ładowania, inteligentne systemy transportowe, cyfryzacja infrastruktury oraz integracja transportu multimodalnego przyczyniają się do zwiększenia efektywności systemów transportowych oraz ograniczenia ich negatywnego wpływu na środowisko. Wdrażanie tych rozwiązań stanowi kluczowy element budowy nowoczesnego, zrównoważonego oraz niskoemisyjnego systemu mobilności.

## 2. Rozwiązania stosowane w infrastrukturze kolejowej

Aktualnie na rynku dostępnych jest szereg rozwiązań w obszarze infrastruktury kolejowej, które to rozwiązania w kluczowy sposób zapewniają lub wspierają kwestie bezpieczeństwa ruchu kolejowego. Na szczególną uwagę w tym zakresie zasługują systemy takie jak:

- a. systemy elektrycznego ogrzewania rozjazdów kolejowych EOR, usprawniające ruch pociągów w warunkach zimowych,
- b. systemy sterowania oświetleniem terenów kolejowych SO, które umożliwiają zarządzanie oświetleniem terenów kolejowych,
- c. systemy zasilania wyżej wymienionych systemów,
- d. systemy zdalnego monitorowania i zarządzania wyżej wymienionymi systemami.

Oczywiście wyżej wymienione systemy nie są jedynymi kluczowymi i niezbędnymi dla kolejnictwa w zakresie funkcjonowania i zapewnienia bezpieczeństwa ruchu, jednak w tym artykule chcemy skupić się głównie na systemach, które oferuje firma AREX Sp. z o.o.. Artykuł podejmuje również próbę pokazania obszarów rozwoju tych systemów w kierunku zeroemisyjności, optymalizacji zużycia energii w tym wykorzystania energii odnawialnej.

Zakład Automatyki i Urządzeń Pomiarowych AREX Sp. z o.o. wchodzący w skład Grupy WB to innowacyjna firma technologiczna działająca w obszarze rynku kolejowego, wojskowego i elektromobilności. Firma AREX Sp. z o.o. od ponad 35 lat oferuje dla kolejnictwa kompleksowe rozwiązania w zakresie systemów ogrzewania rozjazdów kolejowych oraz sterowania oświetleniem zewnętrznym wraz z systemem zdalnego monitorowania urządzeń elektroenergetycznych.

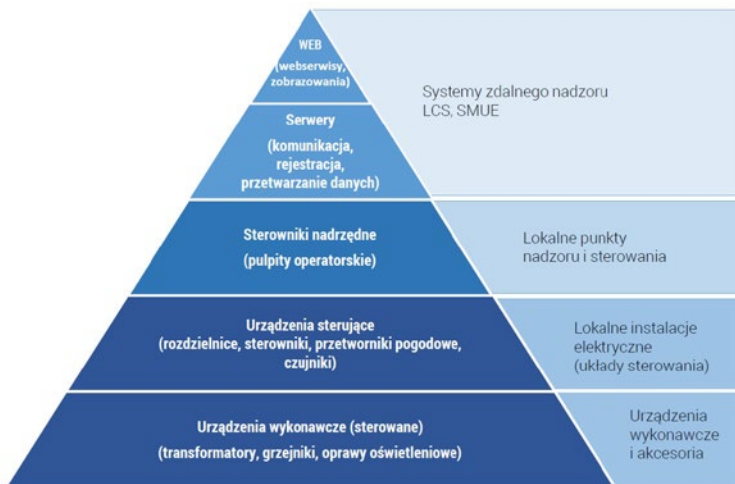
Flagowym rozwiązaniem firmy, znanym na infrastrukturze kolejowej w tym PKP PLK S.A., jest system DIMaC-EK, który obejmuje obszary wspierające bezpieczeństwo ruchu kolejowego.

Funkcjonalność systemu energetyki kolejowej DIMaC-EK zapewnia skuteczne i oszczędne ogrzewanie rozjazdów, zapewniające możliwość realizacji przełożeń rozjazdów w okresie zimowym oraz optymalizowanie zużycia energii zużytej na ogrzewanie rozjazdów. Charakterystycznymi cechami wyróżniającymi system DIMaC-EK jest:

- a. Wykrywanie faktycznych opadów śniegu nawet w temperaturach powyżej 0 stopni. Wykrywanie faktycznych warunków pogodowych – system wykrywa śnieg opadowy oraz śnieg nawiewany przez pociągi, odróżnia deszcz (w tym marznący) od śniegu niezależnie od temperatury. Przetworniki pogodowe serii TST wykrywają faktyczny śnieg lub lód, co powoduje precyzyjne włączenie ogrzewania systemu w warunkach opadów śniegu. System nie włączy się i nie będzie zużywał energii w przypadku wykrycia deszczu, powoduje to dodatkowe oszczędności energii potrzebnej na ogrzanie rozjazdów
- b. Wykrywanie burzy śniegowej. Przy intensywnych opadach śniegu i zastosowaniu normalnych progów temperatury grzania, może się okazać, że nie wystarcza to, na skuteczne ogrzanie rozjazdu. Dlatego stosuje się tryb włączenia maksymalnej wydajności grzania z maksymalnym prądem dla osiągnięcia skutku w najtrudniejszych warunkach pogodowych. Powoduje to dodatkowe zwiększenie efektywności systemu oraz skuteczności grzania bez konieczności włączenia go „na stałe”.
- c. Tryb dużego mrozu. Ten tryb powoduje włączenie ogrzewania nawet bez opadów śniegu, ze względu na ochronę rozjazdów, które są smarowane smarem gęstniejącym w niskich temperaturach. Użytkownik ma możliwość aktywacji i konfiguracji progów temperatur (przykładowo od -15°C do -25°C), przy których ten tryb się włącza. To powoduje zwiększenie efektywności oraz skuteczności grzania bez włączenia go „na stałe”.
- d. Sterowanie grupowe. Możliwość wyodrębnienia w sposób logiczny, informatycznie ogrzewanych rozjazdów, bez względu na podział fizyczny obwodów. Przez sterowanie grupami ogrzewania rozjazdów można jednym „kliknięciem” na wyświetlaczu pulpitu operatorskiego w nastawni kolejowej włączyć na przykład ogrzewanie rozjazdów wszystkich torów głównych, a ogrzewanie rozjazdów torów bocznych wyłączyć, albo przełączyć w tryb ręczny. To powoduje zwiększenie efektywności oraz skuteczności grzania przez uproszczenie pracy dyżurnego.
- e. Alarm pomiaru mocy grzewczej. Wykrywanie uszkodzonej grzałki na konkretnym rozjeździe przez analizę poboru mocy obwodów rozdzielnic. Przy takim zdarzeniu pulpitu operatora w nastawni kolejowej zgłasza alarm, dzięki któremu możliwe jest jak najszybsze zareagowanie na uszkodzenie

grzałki i jej wymianę. Powoduje to zwiększenie niezawodności grzania przez inteligentne działanie systemu ogrzewania.

System DIMaC-EK można zobrazować na „Piramidzie struktury systemu” jak poniżej.



Rysunek 1 Piramida struktury systemu DIMaC-EK. Źródło: Archiwum AREX Sp. z o.o.

W skład systemu począwszy od podstawy piramidy wchodzi następujące elementy:

- a. Urządzenia wykonawcze - uchwyty grzejników, puszki przytorowe, transformatory separacyjne, które są podstawowymi elementami systemu EOR i zapewniają skuteczne wygrzanie rozjazdów i minimalizują straty energii.



Rysunek 2 Urządzenia wykonawcze systemu DIMaC-EK. Źródło: Archiwum AREX Sp. z o.o.

- b. Urządzenia sterujące - rozdzielnice ze sterownikami i przetwornikami, które sterują oświetleniem i ogrzewaniem rozjazdów.



Rysunek 3 Urządzenia sterujące systemu DIMaC-EK. Źródło: Archiwum AREX Sp. z o.o.

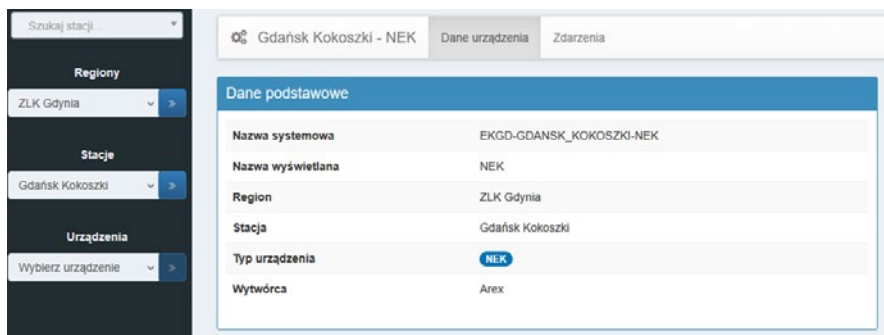
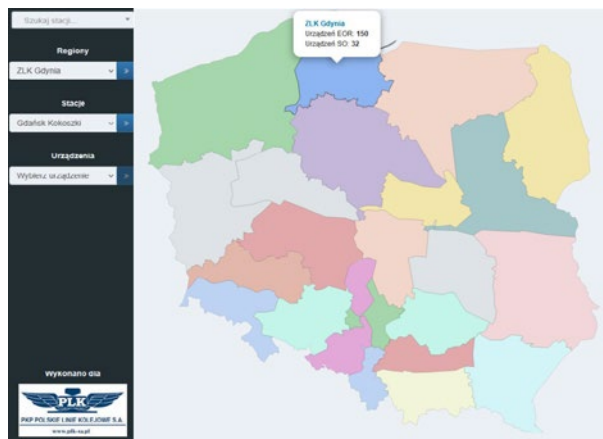
- c. Sterowniki nadrzędne – sterowniki NEK lub MOG które pozwalają na nadzór i zdalne sterowanie wieloma rozdzielnicami w obrębie stacji lub jej części.



EKSTRA GŁÓWNY		ROZDZIELNICA		POODRA		ZAGŁANIE		ASIASTE		LICZNIKI		USTAWIENIA		Pobierz dane ostatni	
Przewodnik		Czas grzenia w trybie awaryjnym		Wyniesienie trybu pracy chorobow. matczynicy		Grupa I		Sterowanie grupowe		Grupa III		Grupa IV			
ZEMALNE	30	AWARIA	GRUPOWO	IND. ZAL.	IND. WYL.	AUTO	AUTO	AUTO	AUTO						
Nr	Nazwa sterownika	Ok.	Automat	Sterowanie indywidualnie sterownik		Tryb pracy		Stan sterownika		Awaria/sterownik					
1	Rozdział 22	1	1	GRUPOWO	IND. ZAL.	IND. WYL.	Gruposy	AUTO	Wyłączony						
2	Rozdział 23	1	1	GRUPOWO	IND. ZAL.	IND. WYL.	Gruposy	AUTO	Wyłączony						
3	Rozdział 24	1	1	GRUPOWO	IND. ZAL.	IND. WYL.	Gruposy	AUTO	Wyłączony						
4	Rozdział 25	1	1	GRUPOWO	IND. ZAL.	IND. WYL.	Gruposy	AUTO	Wyłączony						
5	Zank. rozdz. 22, 23, 24, 25	1	1	GRUPOWO	IND. ZAL.	IND. WYL.	Gruposy	AUTO	Wyłączony						
6	Rozdział 26	1	1	GRUPOWO	IND. ZAL.	IND. WYL.	Gruposy	AUTO	Wyłączony						
7	Rozdział 27	1	1	GRUPOWO	IND. ZAL.	IND. WYL.	Gruposy	AUTO	Wyłączony						
8	Rozdział 28	1	1	GRUPOWO	IND. ZAL.	IND. WYL.	Gruposy	AUTO	Wyłączony						
9	Rozdział 29	1	1	GRUPOWO	IND. ZAL.	IND. WYL.	Gruposy	AUTO	Wyłączony						
10	Zank. rozdz. 26, 27, 28, 29	1	1	GRUPOWO	IND. ZAL.	IND. WYL.	Gruposy	AUTO	Wyłączony						

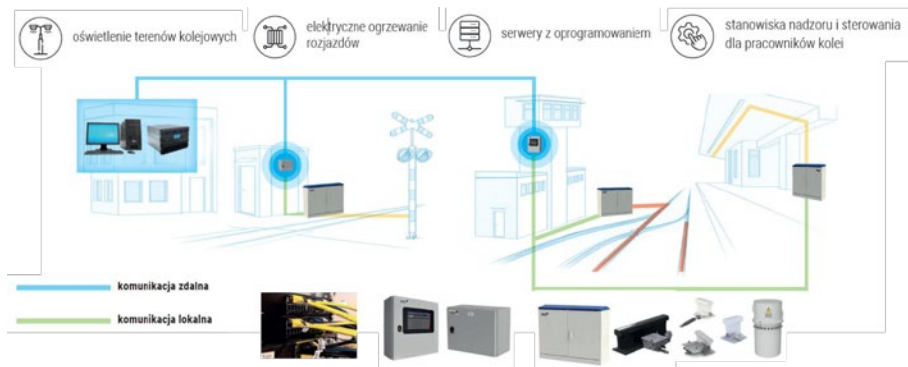
Rysunek 4 Urządzenia aktywne (sterowniki) systemu DIMaC-EK. Źródło: Archiwum AREX Sp. z o.o.

- d. Serwery bazy danych i aplikacje WEB – systemy skomunikowane z wieloma sterownikami nadrzędnymi, gromadzą oraz archiwizują dane, pomiary i zdarzenia z okresu pracy urządzeń z monitorowanego odcinka linii lub z całego kraju. Systemy nadzorcze (np. SMUE, DIVIS3) prezentują użytkownikom dane zgromadzone w bazach danych. Dane po przetworzeniu udostępnione są użytkownikom do prezentacji i analizy.



Rysunek 5 Aplikacje systemowe współpracujące z DIMaC-EK. Źródło: Archiwum AREX Sp. z o.o.

Komunikacja w ramach systemu może być realizowana kablami światłowodowymi i miedzianymi oraz przez sieć GSM. Rozdzielnice komunikują się ze sterownikami nadrzędnymi w standardzie RS485, zaś sterowniki nadrzędne wykorzystują sieć Ethernet do przekazywania danych do serwerów.



Rysunek 6 Komunikacja systemu DIMaC-EK. Źródło: Archiwum AREX Sp. z o.o.

Szereg wyżej wymienionych rozwiązań, stosowanych na infrastrukturze kolejowej w Polsce to systemy sprawdzone i użytkowane od wielu lat. Nowe wyzwania związane z energetyką odnawialną, zeroemisyjnością i planami Unii Europejskiej w kontekście Zielonej Energii, wymagają nowego podejścia do tego zagadnienia i poszukiwania kierunków rozwoju produktów i systemów o kolejne wymagania stawiane przez użytkowników i klientów.

W tym aspekcie w kolejnych punktach przedstawiono kierunki rozwoju aktualnie użytkowanych produktów, które mają dużą szansę na zastosowanie w najbliższym czasie na rynku kolejowym.

### **3. Propozycje rozwiązań optymalizujących zużycie energii i wspierających zeroemisyjność dla infrastruktury kolejowej**

W ostatnich latach, z uwagi na plany Unii Europejskiej, które zakładają wdrożenie programu Europejskiego Zielonego Ładu, optymalizacja zużycia energii używanej przez systemy infrastruktury kolejowej, ma kluczowe znaczenie. Plan Europejskiego Zielonego Ładu ma na celu ochronę klimatu i środowiska. Europejski Zielony Ład to strategia przygotowana przez Komisję Europejską, której celem jest przekształcenie gospodarki Unii Europejskiej w bardziej zrównoważoną i przyjazną dla klimatu.

Główne założenia Europejskiego Zielonego Ładu to:

- a. Neutralność klimatyczna do 2050 r. - UE planuje osiągnąć zerowy poziom emisji gazów cieplarnianych netto, czyli sytuację, w której emisje będą równoważone przez ich pochłanianie (np. przez lasy lub technologie wychwytywania CO<sub>2</sub>)
- b. Ograniczenie wykorzystania paliw kopalnych
- c. Stopniowe odchodzenie od paliw takich jak:
  - gaz ziemny
  - ropa naftowa
  - węgiel kamienny i brunatny
- d. Rozwój energii odnawialnej poprzez zwiększenie udziału energii ze źródeł takich jak:
  - energia wiatrowa
  - energia słoneczna
  - biomasa
  - energia wodna<sup>5</sup>

Oczywiście aby takie cele osiągnąć należy również zwrócić uwagę na obszar zasilania infrastruktury i na konieczność optymalizacji zużycia energii oraz wykorzystanie źródeł odnawialnej energii do zasilania tej infrastruktury, a co za tym idzie do rozwoju i modyfikacji aktualnie użytkowanych systemów wspierających bezpieczeństwo ruchu kolejowego.

Poniżej w podpunktach, zaprezentowano przykłady rozwiązań pozwalających na optymalizację zużycia energii elektrycznej oraz na redukcję mocy przyłączeniowych w instalacjach oświetlenia zewnętrznego i instalacjach elektrycznego ogrzewania rozjazdów, jak również opisano propozycje rozwiązań związanych z wykorzystaniem gwarantowanych systemów zasilania również z wykorzystaniem konwersji energii i energii odnawialnej. Rozwiązania te cechują się ukierunkowaniem na efektywność, a co za tym idzie i oszczędność zużycia energii elektrycznej a tym samym realizację również celów ekonomicznych i pozaekonomicznych.

#### **3.1. Nowe spojrzenie na systemy sterowania oświetleniem terenów kolejowych – System LMP**

System LMP to nowy, innowacyjny system zarządzania infrastrukturą oświetleniową wdrażany i testowany na infrastrukturze zarządzanej przez PKP PLK S.A. Ten innowacyjny i rozwojowy projekt dotyczy opracowania standardów zarządzania, sterowania i monitorowania oświetlenia terenów kolejowych w skali całej infrastruktury PKP PLK S.A. Istotą systemu jest interoperacyjność elementów instalacji oświetleniowej, zarówno na poziomie opraw oświetleniowych i czujników, jak i urządzeń sterujących a także integracji urządzeń różnych producentów aby mogły pracować we wspólnych instalacjach.

Główną innowacyjnością wprowadzaną przez projekt jest metoda dynamicznego sterowania intensywnością oświetlenia, uwzględniająca rzeczywisty ruch pociągów oraz obecność ludzi na peronach. Informacje o ruchu pociągów są odczytywane z systemu informatycznego CSDiP (Centralnego Systemu Dynamicznej Informacji Pasażerskiej). System LMP, dzięki stałej łączności z systemem CSDiP uwzględnia w sterowaniu oświetleniem bieżące odchylenia w rozkładzie jazdy pociągów. Informacje o obecności ludzi są

odczytywane z czujników ruchu zamontowanych bezpośrednio na peronach. Projekt udowodnił, że wskazana metoda może przyczynić się do uzyskania dużych (**od 30% do 50%**) oszczędności w zużyciu energii elektrycznej.

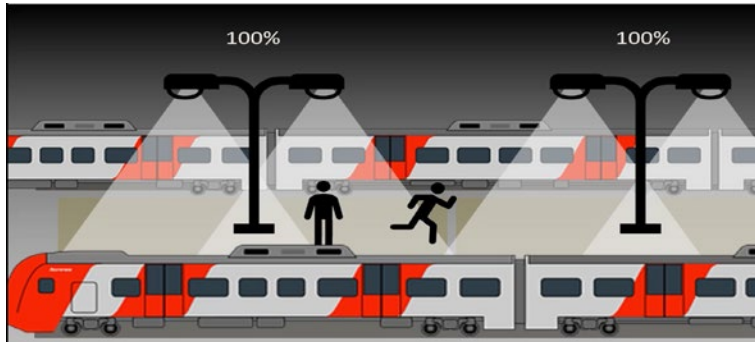
Nowy system sterowania oświetleniem LMP pozwala realizować dotychczas stosowane metody sterowania:

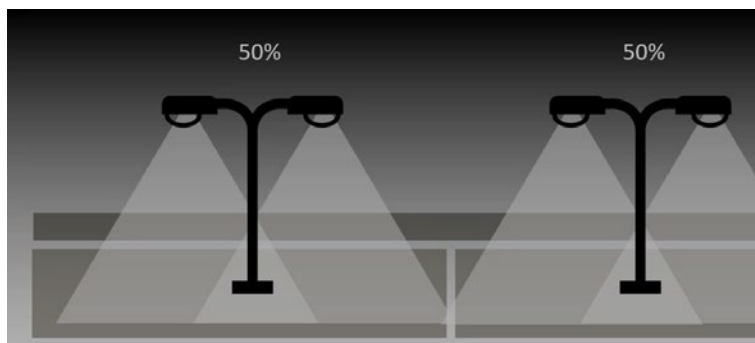
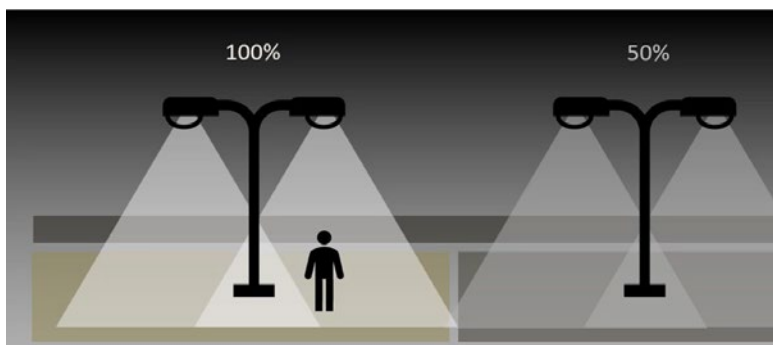
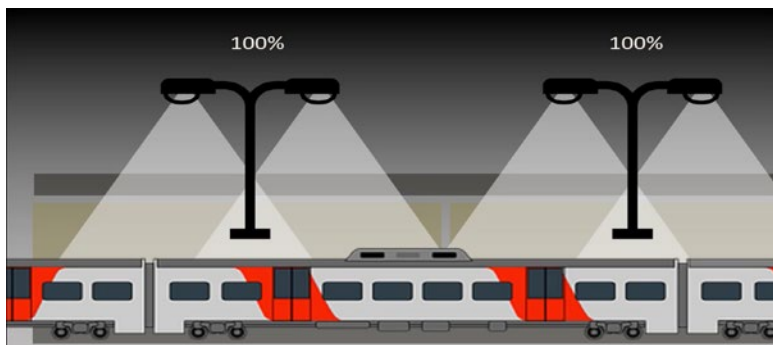
- a. automatyczne załączanie nocne,
- b. ręczne załączanie/wyłączanie obwodów,
- c. użycie indywidualnych programatorów czasowych w celu uzyskania przerw nocnych,

jak również wspiera nowe elementy charakterystyczne dla kwestii optymalizacji zużycia energii:

- a. synchroniczne załączenia nocne (wspólne na poziomie stacji sygnały noc/dzień pozwalają zminimalizować problemy związane z uszkodzeniem lub zabrudzeniem czujników zmierzchowych),
- b. dynamiczne sterowanie intensywnością oświetlenia (na podstawie informacji o ruchu pociągów oraz o obecności ludzi w oświetlanych obszarach),
- c. ręczne sterowanie intensywnością oświetlenia dla obszarów torowych, rozładunkowych (nie tylko dla peronów),
- d. użycie wspólnych dla całej stacji programatorów czasowych w celu zmiany intensywności ściemniania lub uzyskania przerw nocnych,
- e. sekcjonowanie obwodów na strefy (co ogranicza rozjaśnianie lub przyciemnienie tylko do obszaru wykrycia obecności ludzi),
- f. użycie interfejsu DALI w celu sterowania intensywnością oraz do diagnostyki poszczególnych urządzeń oświetleniowych, oprav a także czujników DALI,
- g. konfigurowanie obwodów przez przypisanie im kategorii obiektów oświetlanych, co umożliwia blokowanie niedopuszczalnych operacji jak np. wyłączenie oświetlenia na peronie, wyłączenie lub ściemnienie oświetlenia na przejeździe kolejowym.

Poniżej przedstawiono na szkicach ideę działania systemu LMP w różnych scenariuszach:



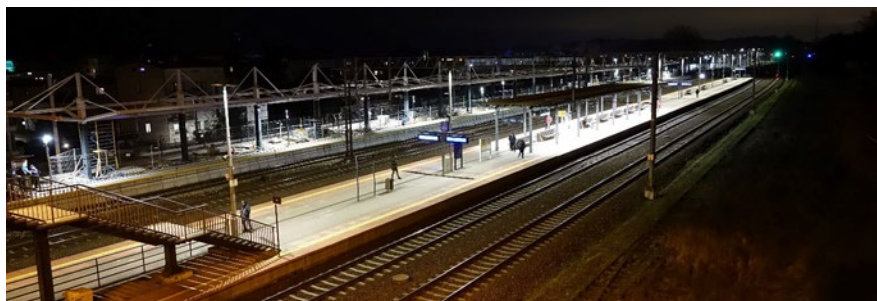


Rysunki 7,8,9,10 Idea działania systemu LMP w różnych scenariuszach.: Archiwum AREX Sp. z o.o.

Reprezentatywne obiekty infrastruktury kolejowej na których przeprowadzono badania systemu to posterunek odgałęźny Ciepłowo oraz przystanek Gdynia Orłowo znajdujące się na terenie ZLK Gdynia. Poniżej na zdjęciu pokazano przykład miejsca zastosowania systemu LMP w wersji poligonowej i doświadczalnej na stacji Ciepłowo i Gdynia Orłowo.



Rysunek 11 Instalacja demonstracyjna na stacji Cieplewo. Źródło: Archiwum AREX Sp. z o.o.



Rysunek 12 Instalacja demonstracyjna na stacji Gdynia Orłowo. Źródło: Archiwum AREX Sp. z o.o.

Celem realizacji projektu jest:

- a. opracowanie nowego optymalnego energetycznie systemu dla zarządcy infrastruktury kolejowej PKP PLK S.A.
- b. wypracowanie propozycji ustandaryzowania sterowania oświetleniem w skali sieci PKP PLK S.A.
- c. wypracowanie wytycznych projektowania w tym zakresie,
- d. umożliwienie pracy systemu LMP z urządzeniami różnych dostawców.

Z przeprowadzonych badań wynika, iż zastosowanie systemu LMP w nowych inwestycjach i wszystkich innych miejsca gdzie infrastruktura kolejowa będzie modernizowana, może przyczynić się do:

- a. automatycznego obniżenia poziomu jasności w okresach braku użytkowania określonych obszarów kolejowych,
- b. zachowania bezpieczeństwa w okresach użytkowania (ruch pociągów i ludzi) przy normatywnym zachowaniu natężenie oświetlenia (100% mocy).
- c. uzyskanie oszczędności (do ok. 50%) tylko przez ściemnianie oświetlenia (szacowane optymalne osiągnięcia optymalizacji zużycia energii na poziomie 40% co mocno zależy też od intensywności ruchu na danym obszarze czy też stacji),

Stosując system LMP można uzyskać bardzo dobre efekty oszczędności zużycia energii i zachowania optymalnego poziomu mocy zamówionej z zachowaniem bezpieczeństwa ruchu kolejowego i pasażerów.

### 3.2. Nowe spojrzenie na systemy sterowania ogrzewaniem rozjazdów kolejowych – System ESAR

Podniesienie efektywności energetycznej urządzeń Elektrycznego Ogrzewania Rozjazdów EOR z optymalną dystrybucją mocy grzewczej to główne założenie nowego podejścia do systemu ogrzewania rozjazdów kolejowych. Prace rozwojowe w tym zakresie podjęto podobnie jak i przy projekcie LMP przy współpracy z PKP PLK S.A. i NCBiR.

Celem projektu jest:

- a. opracowanie systemu ogrzewania rozjazdów (ESAR) z adaptacyjnym układem dystrybucji ciepła w rozjeździe kolejowym,
- b. przeprowadzenie badań eksploatacyjnych w celu zademonstrowania skuteczności i efektywności systemu ESAR, pracującego w warunkach rzeczywistych,
- c. porównanie rezultatów w stosunku do systemu odniesienia EOR zbudowanego zgodnie z wytycznymi Iet-5 z 2015 roku,

Celem głównym projektu jest osiągnięcie w szczególności:

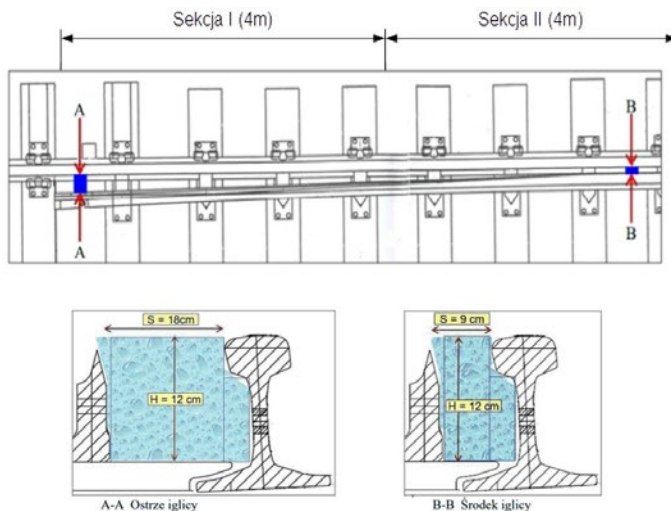
- a. zmniejszenia zużycia energii elektrycznej o min. **25%**, w stosunku do obecnie stosowanych rozwiązań,
- b. zmniejszenie mocy zamówionej o min **25%**, na przykładzie instalacji demonstracyjnej systemu ESAR, pracującej w warunkach rzeczywistych <sup>6</sup>.

System ESAR to system elektrycznego ogrzewania rozjazdów, który pozwala na redukcję zużycia energii elektrycznej i redukcję mocy w miejscu przyłączenia do sieci dystrybucyjnej. Działanie systemu ESAR pozwala na adaptacyjne sterowanie dystrybucją mocy grzewczej w obrębie rozjazdu w sposób minimalizujący zużycie energii elektrycznej przy jednoczesnym zachowaniu pełnej drożności rozjazdu w warunkach zimowych. Optymalizacja mocy EOR w rozjeździe realizowana uzyskana jest poprzez segmentację, oczujnikowanie i indywidualne dopasowanie dostarczanej mocy grzewczej dla poszczególnych obszarów i elementów rozjazdu.

Szukając obszarów optymalizacji zużycia energii elektrycznej w systemach EOR zidentyfikowano kilka obszarów dających duży potencjał rozwojowy:

- a. położenie iglicy rozjazdu (odsunięta/dosunięta) – skutkuje zróżnicowanym zapotrzebowaniem na ciepło z uwagi na brak potrzeby wytapiania śniegu między opornicą, a iglicą przy iglicy dosuniętej,
- b. zróżnicowanie ilości śniegu na długości iglicy odsuniętej, wynikającej z różnej odległości iglicy od opornicy, od ok. 20 cm przy ostrzu do ok. 7-8 cm w części środkowej, oraz zmiennego skoku iglicy na jej długości, od ok. 20 cm do ok. 0,5 cm, co również skutkuje różnym zapotrzebowaniem na ilość ciepła potrzebnego do wytopienia śniegu,
- c. możliwości zwiększenia skuteczności wytapiania śniegu i nagrzewania płyt ślizgowych przez zastosowanie zmodyfikowanych, kompaktowych nakładek radiacyjnych.

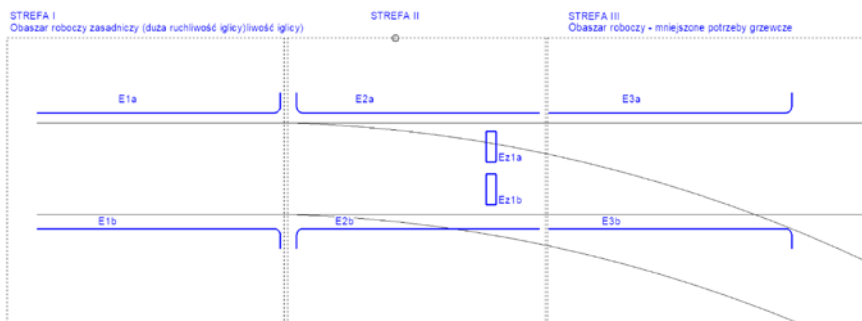
Powyższe założenie optymalizacyjne objaśnia rysunek poniżej.



Rysunek 13 Zobrazowanie zróżnicowanej ilości śniegu na długości iglicy odsuniętej, wynikającej z różnej odległości iglicy od opornicy (źródło: Instytut Kolejnictwa)

W oparciu o tą koncepcję, przyjęto założenie, że ilość energii cieplnej potrzebnej w określonych strefach rozjazdu jest różna w zależności od położenia iglicy rozjazdu. W miejscu przylegania iglicy do szyny lub zmniejszonej odległości iglicy od szyny, śniegu jest mniej lub nie ma go wcale (brak odstępu pomiędzy szyną a iglicą) a co za tym idzie zapotrzebowanie na energię jest mniejsze niż w miejscach gdzie w odstępie większym pomiędzy szyną a iglicą, śnieg może się gromadzić szybciej i w większej ilości.

Na tej podstawie założono, że rozjazd można wygrzewać strefowo ze zróżnicowaną mocą grzewczą, czego ideę zobrazowano na szkicu poniżej:



Rysunek 14: Różne zapotrzebowanie na moc w zależności od ruchliwości iglicy rozjazdu. Duża ruchliwość iglicy = większa moc, Mała ruchliwość = mniejsza moc; Źródło: Archiwum AREX Sp. z o.o.

Projekt był realizowany zarówno w warunkach laboratoryjnych jak i poligonowych w terenie w okresie zimowym.

Poniżej pokazano stanowisko badawcze laboratoryjne oraz w terenie w warunkach zimowych.



Rysunek 15, 16 Badanie laboratoryjne systemu ESAR. Źródło: Archiwum AREX Sp. z o.o.

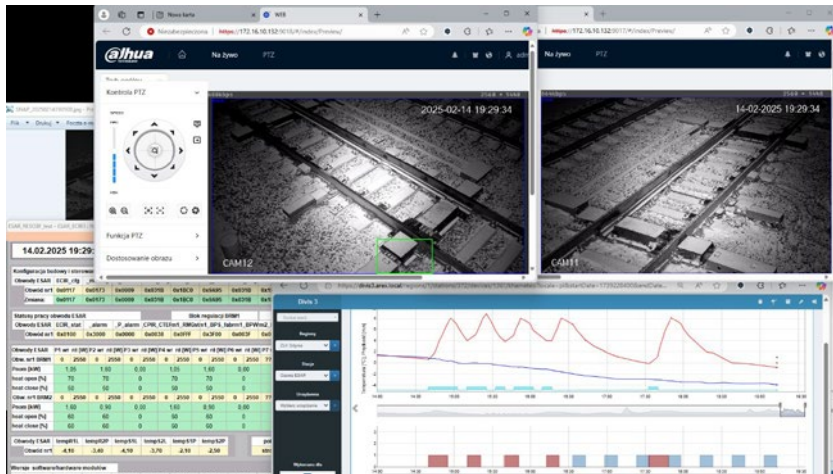




Rysunek 17, 18: Badanie terenowe systemu ESAR. Źródło: Źródło: Archiwum AREX Sp. z o.o.

Podczas badań prowadzono próby ograniczania mocy grzania rozjazdu w różnych jego strefach wraz z obserwacją skuteczności wytapiania śniegu, reagując ręcznie lub automatycznie na zbyt małą skuteczność wytapiania.

Obserwacje i testy ze względu na czasami bardzo trudne warunki pogodowe i środowiskowe, były realizowane również zdalnie, z wykorzystaniem kamer, również w warunkach nocnych. Poniżej zrzuty ekranu z systemu monitoringu i pomiarów.



Rysunek 19, 20: Zrzuty ekranu z systemu monitoringu podczas nocnych badań skuteczności wytopiania śniegu.

Badania i prace przeprowadzone w ramach projektu ESAR wykazały, że założone koncepcje ograniczania zużycia energii dla strefowego grzania rozjazdów, pozwalają wygenerować średnie oszczędności energii na poziomie 25..30% przy ustawieniach parametrów uznanych za „bezpieczne”. Z przeprowadzonych badań wynikało wiele innych wniosków, które po uwzględnieniu ukierunkowują do kolejnych poszerzonych badań, które będą kontynuowane laboratoryjnie i terenowo w latach 2026 – 2027.

### 3.3. Elementy poprawiające dystrybucję energii cieplnej podczas ogrzewania rozjazdów kolejowych

Poza działaniami rozwojowymi opisanymi w punkcie 3.2 dotyczącymi samej idei zróżnicowanego zapotrzebowania na energię w różnych obszarach rozjazdu kolejowego, innym ważnym czynnikiem wpływającym na optymalizację zużycia energii do ogrzewania rozjazdu, jest właściwa dystrybucja energii cieplnej wokół obszarów wymagających grzania oraz minimalizacja strat energii na grzanie zbędnych elementów czy też obszarów wokół rozjazdu kolejowego.

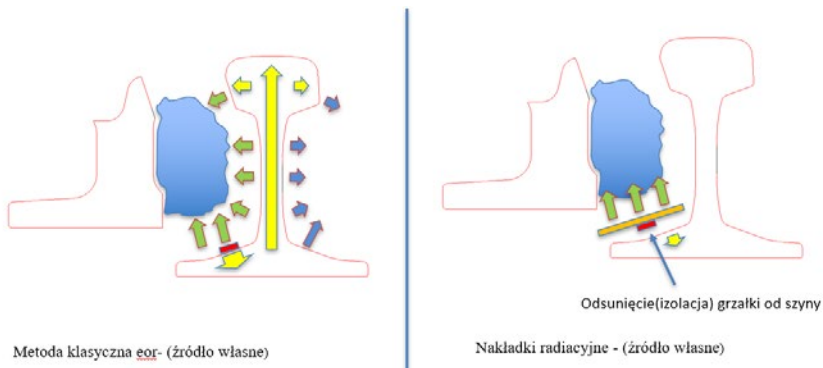
Z tego też powodu jako uzupełnienie projektu ESAR, ale również w ramach oddzielnych badań poligonowych zarówno w Polsce jak i za granicą, dokonano testów nakładek radiacyjnych oznaczonych symbolem NR.

Nakładki radiacyjne przeznaczone są do zabudowy na istniejących kompletach grzewczych i służą do poprawy efektywności energetycznej instalacji EOR przy zmniejszonym zapotrzebowaniu na moc przyłączeniową. Nakładki radiacyjne dedykowane są do montażu na rozjazdach kolejowych jako element uzupełniający zabudowanych instalacji grzewczych wykorzystujących grzejniki płaskoowalne. Nakładki radiacyjne zwiększają efektywność dystrybucji energii cieplnej grzejników EOR w obszarach krytycznych ze względu na utrzymanie drożności rozjazdu kolejowego w warunkach zimowych.

Nakładki montowane na rozjeździe pozwalają na integrację z nowym lub istniejącym osprzętem grzewczym systemu EOR i zmieniają dystrybucję ciepła uzyskiwanego z grzejników elektrycznych (poprzez ukierunkowanie przepływu energii cieplnej z grzejników w kierunku neurałgicznych, w warunkach zimowych, obszarów rozjazdu kolejowego i odsunięcie grzejnika od szyny).

Nakładki radiacyjne NR pozwalają na uzyskanie większej powierzchni promieniowania cieplnego. Nakładki ograniczają możliwości nagrzania opornicy rozjazdu, ale jednocześnie pozwalają na uzyskanie wysokich temperatur (do 70°C) powierzchni radiatora.

Poniżej na rysunku przedstawiono ideę działania nakładek radiacyjnych.



Rysunek 21: Po lewej - działanie klasycznego systemu EOR; po prawej – działanie systemu EOR z wykorzystaniem ZNR. Źródło: Archiwum ARES Sp. z o.o.



Rysunek 22, 23: Po lewej - działanie klasycznego systemu EOR; po prawej – działanie systemu EOR z wykorzystaniem NR. Źródło: Archiwum AREX Sp. z o.o.

Nakładki radiacyjne testowano w warunkach poligonowych. Poniżej zaprezentowano zdjęcia z testów poligonowych nakładek radiacyjnych. Do przeprowadzenia badań eksploatacyjnych wybrano kilka lokalizacji:

- Zakład Linii Kolejowych PKP PLK S.A. w Wałbrzychu, stacja Międzyzlesie,
- Zakład Linii Kolejowych PKP PLK S.A. w Gdyni stacja Gdynia Główna i Gdańsk Osowa,
- Obszar stacji na kolejach estońskich w Estonii.

Głównymi kryteriami wyboru stacji są warunki klimatyczne w okresie zimowym. W szczególności dotyczy to stacji Międzyzlesie oraz terenu Estonii gdzie odnotowywano największe średnie opady śniegu w okresie rocznym. Dodatkowym kryterium doboru obszarów poligonowych jest zróżnicowanie typów rozjazdów, które z racji różnej budowy, wymagają zróżnicowanego podejścia do instalacji nakładek jak i ich rozmiarów i kształtu.

Poniżej zaprezentowano zdjęcia z badań poligonowych w warunkach zimowych:



Rysunek 24, 25: Badania poligonowe nakładek NR na stacji w Estonii. Źródło: Archiwum AREX Sp. z o.o.



Rysunek 26 Badania poligonowe nakładek NR na stacji Gdynia Główna. Źródło: Archiwum AREX Sp. z o.o.

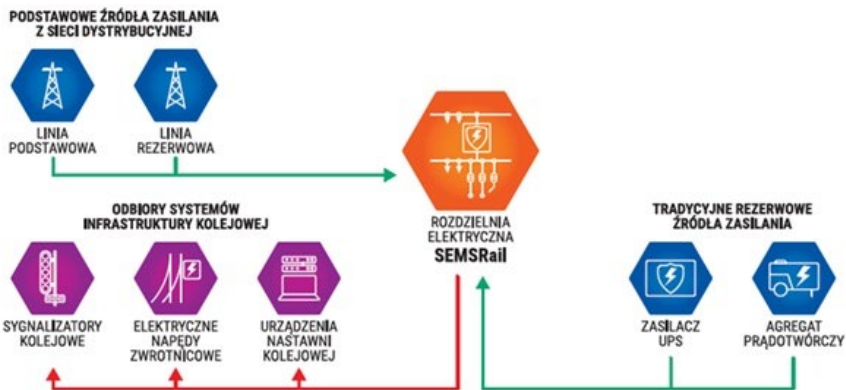
Skuteczność wytapiania śniegu i oblodzeń sprawdza się poprzez obserwację rozjazdów z zabudowanymi nakładkami radiacyjnymi podczas normalnej eksploatacji przy opadach i nawiewie śniegu. Ilość śniegu wytopiona w tym samym czasie w rozjeździe z nakładkami powinna być co najmniej 20% większa niż rozjazdu bez nakładek radiacyjnych. Wstępne poligonowe wyniki badań nakładek NR związanych z ograniczeniem ilości zużytej energii wskazują na zmniejszenie zużycia energii o ok. 25 %.

### **3.4. SEMSRail jako element wspierający optymalne zużycie energii i bezpieczeństwo zasilania infrastruktury kolejowej.**

Jak już wspomniano wcześniej, ważnym elementem optymalizacji zużycia energii przez infrastrukturę kolejową, jest zapewnienie skutecznego i często bezprzerwowego zasilania przy jednoczesnym wykorzystaniu odnawialnych źródeł energii. Aby sprostać wymogom i planom „Zielonego Ładu” o czym wspomniano we wstępie artykułu oraz w celu osiągnięcia optymalizacji i rezerwowania zasilania, firma Arex Sp. z o.o. w ramach testów poligonowych proponuje zastosowanie odnawialnych źródeł energii jako dodatkowego źródła zasilania dla infrastruktury kolejowej, a w szczególności do zasilania systemów automatyki kolejowej.

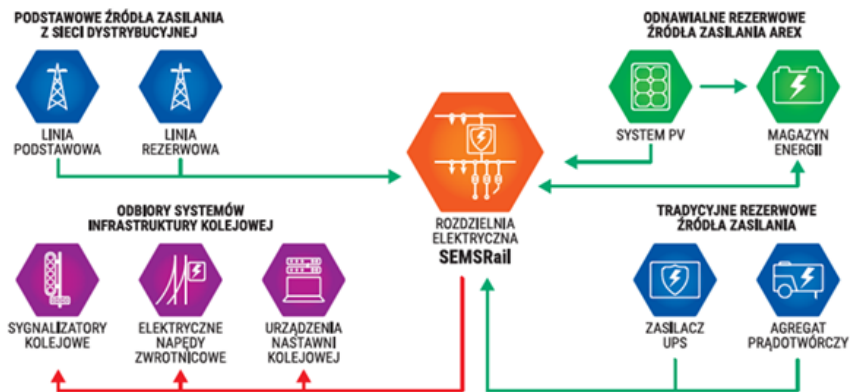
W tym celu stworzono produkt SEMSRail, który zaprojektowano dla systemów wymagających niezawodności i bezpieczeństwa zasilania. System opiera się na zintegrowanych nowoczesnych układach nadzoru i sygnalizacji pracy systemu energetycznego. Bezprzerwową pracę układu oprócz tradycyjnych źródeł zasilania rezerwowego zapewnia zastosowanie odnawialnych źródeł energii wraz z magazynem energii jako dodatkowego ekologicznego zasilania.

Poniżej na szkicu pokazano standardowy obowiązujący od lat schemat zasilania na infrastrukturze PK PLK S.A., stosowany do zasilania krytycznych odbiorów w tym również do automatyki i sygnalizacji SRK, która wymaga zasilania bezprzerwowego.



Rysunek 27 Schemat zasilania sosowany do zasilania krytycznych odbiorów automatyki i sygnalizacji SRK z SZR.

Na kolejnym schemacie przedstawiono tradycyjny układ zasilania zmodernizowaną koncepcję systemu zasilania z fotowoltaiką i magazynem energii jako dodatkowym źródłem zasilania.



Rysunek 28 Schemat zasilania sosowany do zasilania krytycznych odbiorów automatyki i sygnalizacji SRK z SZR uzupełniony o elementy energetyki odnawialnej.

Struktura zasilania w tej koncepcji projektu zawiera:

- Linia podstawowa (LZ1) jest głównym źródłem zasilania, dostarczającym energię elektryczną do systemów sygnalizacyjnych i sterujących ruchem kolejowym lub innych elementów infrastruktury kolejowej. Jest podłączona do sieci zewnętrznej i wyposażona w odpowiednie systemy ochrony i kontrolę.

- b. Linia rezerwowa (LZ2) pełni rolę zasilania rezerwowego. Jest podłączona do alternatywnego źródła energii, które może być użyte w przypadku awarii zasilania podstawowego. Linia ta jest również przystosowana do pracy w trybie automatycznym, co zapewnia ciągłość zasilania bez potrzeby ingerencji operatora.
- c. Linia odnawialnego źródła zasilania (LZ3) jest źródłem podtrzymania zasilania przez wyznaczony przez zamawiającego czas pracy systemów (czas zasilania tej linii może zostać określony przez zamawiającego aby w krytycznej sytuacji podtrzymać zasilanie do momentu przywrócenia zasilania podstawowego lub rezerwowego np. przez 3 godziny). Jest to zasilanie niewytwarzające dźwięku ani zanieczyszczeń podczas pracy. Linia ta jest wyposażona w PV, współpracującą z magazynem energii. Jest to alternatywa dla zasilania podstawowego LZ1, wykorzystująca zmagazynowaną w ciągu dnia energię elektryczną, a do tego pozostającą żelazną rezerwą dla układu zasilania. W proponowanym rozwiązaniu magazyn energii jest 3. źródłem zasilania zaraz za LZ1 i LZ2, co można w razie potrzeby zaprogramować w odmienny sposób. Magazyn pozwala na zasilenie infrastruktury przez określony czas. W momencie kiedy magazyn będzie zbliżał się do krytycznie niskiej wartości można uruchomić bezpiecznie agregat prądotwórczy. W przypadku gdyby agregat nie uruchomił się automatycznie zostaje jeszcze szansa na podjęcie próby uruchomienia go lokalnie o ile jest wyposażony w taką możliwość, zanim skończy się zmagazynowana energia.
- d. Linia tradycyjnego rezerwowego zasilania (LZ4) jest przeznaczona do zasilania z agregatu prądotwórczego. W przypadku awarii zarówno linii podstawowej, jak i rezerwowej, linia LZ3 zapewnia zasilanie awaryjne a w przypadku jej awarii lub wyczerpania włączane i wykorzystywana jest LZ4.

Powyższy scenariusz działania jest przykładowy i może być dostosowany do potrzeb danego klienta czy potrzeb zasilanej infrastruktury.

Magazyn energii elektrycznej wraz z oprogramowaniem SEMSRail, jest więc w tym modelu elementem, który jako awaryjne źródło zasilania współpracuje z układem SZR (Samoczynnym Załączeniem Rezerwy). W tym układzie zastosowano i zintegrowano magazyn z system szaf rozdzielczych DeltaX firmy Olikol RailEnergy. W przypadku integracji z odnawialnymi źródłami energii, część zgromadzonej energii pochodzi z fotowoltaiki i zasila szafę rozdzielczą DeltaX, nie oddając energii do sieć LPN. Pozostała część stanowi tzw. „żelazną rezerwę”, zapewniającą zasilanie systemu przez określony czas, zgodnie z wymaganiami użytkownika.

Alternatywnie, magazyn może działać jako klasyczne źródło awaryjne, w którym instalacja PV pełni jedynie rolę systemu ładującego, a sam magazyn przejmuje funkcję głównego zasilania w momencie zaniku napięcia w LPN. Dzięki elastyczności konfiguracji i wysokiej niezawodności, system magazynu energii produkcji AREX Sp. z o.o. wraz z systemem SZR firmy Olikol RailEnergy, gwarantuje stabilność zasilania oraz optymalne wykorzystanie energii, wspierając zarówno klasyczne systemy energetyczne, jak i rozwiązania oparte na zielonej energii.

Na rysunkach poniżej pokazano wykonany system DeltaX + SemsRail, w wykonaniu laboratoryjnym, przygotowanym do badań poligonowych.



Rysunek 29: DeltaX + SemsRail, w wykonaniu laboratoryjnym, przygotowanym do badań poligonowych.

### 3.5. Podsumowanie

W niniejszym opracowaniu, przedstawiono rozwojowe koncepcje i projekty, które stawiają sobie za podstawowy cel efektywność energetyczną, która jest priorytetem w kwestii optymalizacji energetycznej zarówno dla firm jak i poszczególnych produktów, oferowanych dla rynku kolejowego.

W opisie skupiono się na ofercie firmy Zakład Automatyki i Urządzeń Pomiarowych AREX Sp. z o.o. (część Grupy WB), która działa na rynku kolejowym, wojskowym i elektromobilności od 35 lat, oferując nieprzerwanie produkty wysokiej i sprawdzonej jakości. Przedstawione w niniejszym opracowaniu w wersji skróconej charakterystyki niektórych projektów rozwojowych, stawiają rynek kolejowy jako kluczowy obszar działalności zwłaszcza w zakresie poprawy efektywności energetycznej.

**ESAR** – Energooszczędny System Elektrycznego Ogrzewania Rozjazdów z adaptacyjnym układem dystrybucji ciepła na rozjeździe kolejowym, umożliwia redukcję zużycia energii poprzez adaptacyjne sterowanie dystrybucją mocy grzewczej w obrębie rozjazdu. Co ważne, możliwa jest modernizacja istniejących systemów elektrycznego ogrzewania rozjazdów, bez potrzeby wymiany zasadniczej części okablowania na stacji, jak również wymiany grzejników w rozjazdach. Minimalizowany jest w ten sposób nakład pracy niezbędny do wdrożenia ESAR.

Oszczędności energii i kosztów zapewnia także **LMP**, czyli inteligentny system zarządzania infrastrukturą oświetleniową na terenach kolejowych. Kluczową innowacją LMP jest dynamiczne sterowanie intensywnością świecenia źródeł światła, które uwzględnia rzeczywisty ruch pociągów oraz obecność ludzi na peronach. W ten sposób system potrafi na bieżąco dostosowywać oświetlenie do zmieniających się warunków i potrzeb.

**SEMSRail** to jeden z wielu dostarczanych przez AREX Sp. z o.o. systemów dla branży kolejowej. W ofercie spółki są rozwiązania sprawdzone od lat w praktyce, stale rozwijane i unowocześniane. Mocną stroną

spółki AREX Sp. z o.o. są wysokie kompetencje inżynierskie oraz olbrzymie doświadczenie produkcyjne i wdrożeniowe, pozwalające na tworzenie nowych systemów.

AREX Sp. z o.o. dostarcza także rozwiązania monitoringu i wizualizacji pracy systemów. Platforma SMUE (System Monitorowania Urządzeń Elektroenergetycznych), który zapewnia kompleksowy wgląd w działanie infrastruktury, zabudowanej rozwiązaniami elektrycznego ogrzewania rozjazdów (EOR) i oświetlenia, w każdej lokalizacji, z dowolnego miejsca. SMUE jest powszechnie wykorzystywany przez PKP PLK S.A do nadzoru systemu EOR i oświetlenia terenów kolejowych w całej Polsce, podnosząc efektywność ich wykorzystania. Obecnie AREX Sp. z o.o. rozwija kolejne aplikacje tego typu, proponując integrację w kolejnych obszarach infrastruktury kolejowej, w tym z systemem SEMSRail, tak by dostarczać kompleksowe rozwiązania, umożliwiające poprawę efektywności i bezpieczeństwa oraz redukcję kosztów.

Spółka bierze pod uwagę wymagania dotyczące udziału odnawialnych źródeł energii, które musi spełniać branża kolejowa. Dlatego aktywnie buduje ofertę w obszarze magazynowania i przetwarzania energii elektrycznej. Celem jest zintegrowanie wszystkich dotychczasowych osiągnięć z OZE oraz nowymi produktami dla energetyki i automatyki kolejowej. To wyraz konsekwentnego dążenia do innowacji i elastycznego dostosowywania się do nowych trendów w branży kolejowej.

## Przypisy

1. Komisja Europejska, *Sustainable and Smart Mobility Strategy – putting European transport on track for the future*, Brussels 2020.
2. Ministerstwo Infrastruktury, *Strategia Zrównoważonego Rozwoju Transportu do 2030 roku*, Warszawa 2019.
3. European Commission, *Intelligent Transport Systems – Action Plan*, Brussels 2018.
4. European Commission, *Digitalisation of Transport: Technologies and Strategies*, Brussels 2022.
5. Tomasz Buda, Gerard Wiśniewski, Oskar Kreft, Mirosław Chmieliński, Integracja odnawialnych źródeł energii z miejskimi sieciami trakcyjnymi sposobem na poprawę efektywności energetycznej przedsiębiorstw komunikacji miejskiej. *Wiadomości Elektrotechniczne*, nr 9/2029.
6. Brodowski D., Flis M., Experimental Verification of Contactless Heating Method in Railway Turnouts Heating System. *Problemy Kolejnictwa* 2022.

## Bibliografia

1. Barrero A., Toral M., *Energy Management in Railway Systems*, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2020.
2. European Commission, *Digitalisation of Transport: Technologies and Strategies*, Brussels 2022.
3. European Commission, *Intelligent Transport Systems – Action Plan*, Brussels 2018.
4. Komisja Europejska, *Sustainable and Smart Mobility Strategy – putting European transport on track for the future*, Brussels 2020.
5. Ministerstwo Infrastruktury, *Strategia Zrównoważonego Rozwoju Transportu do 2030 roku*, Warszawa 2019.
6. Sochor J., Arby H., Karlsson M., Sarasini S., *Mobility as a Service and Sustainable Transport*, Lund University, 2018.
7. Council of the European Union, *Rail infrastructure capacity and traffic management in the EU*, Brussels 2024.



Instytut Nauk  
Leśnych

**Aktualne kierunki badań nad metodami manipulowania  
zachowaniem dzikich zwierząt w aspekcie optymalizacji  
metod zapobiegania kolizjom na torach.**

dr hab. Joanna Babińska-Werka  
Instytut Nauk Leśnych SGGW

dr inż. Piotr Kowal  
Instytut Nauk Leśnych SGGW



## Wstęp

Zastosowanie nowoczesnych technologii w kolejnictwie sprawiło, że pociągi poruszają się ciszej i z coraz większą prędkością (Sheng i in. 2023). Zwiększa to ryzyko kolizji z dzikimi zwierzętami, które przebywają na torach lub przemieszczają się przez nie (Jasińska i in. 2019). Skutki kolizji mogą być poważne zarówno dla zwierząt, jak również dla pasażerów i taboru kolejowego (Konieczny i Labisz 2022).

Ryzyko kolizji wzrasta w niektórych porach roku np. w okresie rozrodu zwierząt oraz w czasie ich migracji i łączenia się w stada (Steiner i in. 2014). Podczas śnieżnej zimy zwierzęta mogą wykorzystywać torowisko do przemieszczania się, co również zwiększa prawdopodobieństwo kolizji z nadjeżdżającym pociągiem. Poza porą roku, istotny wpływ na liczbę kolizji ze zwierzętami ma także pora dnia (Wells i in. 1999, Ando 2003, Krauze-Gryz i in. 2017). Częstsze kolizje ze zwierzętami mogą być też skutkiem rosnącej presji ze strony ludzi i drapieżników (Colino-Rabanal i in. 2011) oraz dużym zagęszczeniem zwierząt na terenach, przez które przebiegają linie kolejowe (Jasińska i in. 2019). W ostatnich latach obserwuje się również wzrost liczebności zwierząt, szczególnie dużych parzystokopytnych ssaków (GUS 2025). Należy zatem szukać metod, które nie wpłyną negatywnie na usługi ekosystemowe oraz przyczynią się z jednej strony do ochrony dzikich zwierząt przebywających w bezpośrednim sąsiedztwie linii kolejowej, a z drugiej strony zapewnią bezpieczeństwo pasażerom i uchronią tabor przed zniszczeniem.

## Kierunki badań

Od kilku lat obserwuje się coraz większe zainteresowanie technikami wykorzystującymi naturalne dźwięki do zapobiegania kolizjom zwierząt z pociągami (Babińska-Werka i in. 2015; Backs i in. 2020). Metoda, która oparta jest na założeniach ekologii strachu (ang. fear ecology) zakłada, że reakcje zwierząt na obecność drapieżnika w środowisku są na tyle silne, że mogą wpłynąć na populację, zespół gatunków i cały ekosystem (Brown i in. 1999; Gaynor i in. 2021; Ramirez i in. 2024). W wielu badaniach przetestowano różne naturalne dźwięki w celu modyfikacji zachowań dzikich zwierząt m.in. odgłosy sikor (*Paridae*), rudzika (*Erithacus rubecula*), sójki (*Garrulus glandarius*), odgłosy drapieżników tj. odgłos psa (*Canis lupus domesticus*), wilka szarego (*Canis lupus*), jastrzębia zwyczajnego (*Accipiter gentilis*), lisa rudego (*Vulpes vulpes*) (Macedonia, Evans 1993; Townsend, Manser 2013; Hettena i in. 2014; Suzuki 2016) lub ludzki głos (Clinchy i in. 2016; Crawford i in. 2022). Co więcej, najsilniejszą reakcję na wokalizację drapieżników zaobserwowano u zwierząt, które w ciągu swojego życia

spotkały te drapieżniki i weszły z nimi w interakcje (Hettena i in. 2014). Naturalne dźwięki generowane przez zwierzęta (odgłosy ostrzegawcze, alarmowe oraz odgłosy drapieżników) mogą modyfikować zachowanie zwierząt, gdyż odbierane są jako ostrzeżenie o niebezpieczeństwie i bezpośrednim zagrożeniu życia. W efekcie, potencjalne ofiary reagują na dźwięki wzmożeniem czujności lub oddalaniem się z miejsca skąd dźwięki dobiegają. Takie dźwięki są wykorzystywane m.in. w urządzeniu Automated Behavioral Response (ABR), służącym do ochrony upraw przed roślinożernymi ssakami (Widén i in. 2022), czy w Urzędzeniu Ochrony Zwierząt (UOZ-1), stosowanym do zapobiegania kolizjom zwierząt z pociągami (Babińska-Werka i in. 2015). Kluczowe jest zatem znalezienie i sprawdzenie działania naturalnych dźwięków, które wywołają szybką, przewidywalną i powtarzalną reakcję u zwierząt kopytnych. Benten i in. (2019) zauważyli, że zwierzęta odbierając ostrzegawcze i alarmowe bodźce dźwiękowe mogą wcześniej zareagować na zbliżające się niebezpieczeństwo niż odbierając tylko bodźce wizualne (np. zbliżającego się pociągu). Dzięki temu są one w stanie wcześniej uciec przed nadjeżdżającym pociągiem (Bucks i in. 2020; Bhardwaj i in. 2022). Obecnie do ochrony zwierząt przy torach kolejowych wykorzystywane są w Polsce trzy warianty sekwencji naturalnych dźwięków (Babińska-Werka i in. 2015). Emitowane są one z urządzeń UOZ-1 zamontowanych przy torach kolejowych. Sekwencje tych dźwięków opracowała prof. Simona Kossak z Instytutu Badawczego Leśnictwa w Warszawie. Sekwencje przez nią skonstruowane mają czas trwania 58 – 68 sekund. Ich skuteczność została potwierdzona przez przeprowadzone badania na linii kolejowej E65 Mińsk Mazowiecki – Siedlce (Babińska-Werka i in. 2015). Profesor Simona Kossak tworząc sekwencje naturalnych dźwięków konstruowała je w oparciu o swoje osobiste, bezpośrednie obserwacje dotyczące reakcji dzikich ssaków kopytnych na różne pojedyncze naturalne dźwięki. Działanie i skuteczność pojedynczych naturalnych dźwięków, które profesor Simona Kossak zawarła w swoich sekwencjach nie zostały jednak naukowo przebadane w naszym kraju. Stało się to podstawą do podjęcia badań mających na celu sprawdzenie reakcji dzikich zwierząt kopytnych na wybrane naturalne dźwięki.

## **Polskie badania**

Badania przeprowadzono na terenie jedenastu nadleśnictw. W trakcie ich trwania przetestowano cztery pojedyncze naturalne dźwięki (Kowal i in 2025). Dwa z nich stanowiły dźwięki o charakterze ostrzegawczo-alarmowym tj. krzyk sójki (*Garrulus glandarius*) i głos alarmowym sarny (*Capreolus capreolus*). Kolejne dwa - dźwięki drapieżników kojarzone przez

zwierzęta z sytuacjami bezpośredniego zagrożenia życia - szczekanie psa i wycie wilka (*Canis lupus*). Dźwięki emitowano łosiom (*Alces alces*), jeleniom (*Cervus elaphus*), sarnom i dzikom (*Sus scrofa*) w ich naturalnym środowisku bytowania. Zebrano łącznie 400 obserwacji. Okazało się, że 95,5% obserwowanych ssaków kopytnych zareagowało na emitowane pojedyncze naturalne dźwięki, ale czas reakcji zależał od rodzaju emitowanego dźwięku, pory doby, otaczającego środowiska, czynności, którą zwierzę wykonywało przed emisją dźwięku oraz odległości zwierzęcia od obserwatora, który emitował dźwięk.

Okazało się, że wśród czterech emitowanych pojedynczych naturalnych dźwięków nie było tego „uniwersalnego” dźwięku, na który zwierzęta reagowałyby w ten sam sposób. Sarna,łoś i jeleń miały najkrótszy czas reakcji po wyemitowaniu odgłosu szczekającego psa, z kolei dzik, po wyemitowaniu krzyku sójki. Wbrew oczekiwaniom wycie wilka było dźwiękiem, na który najwolniej reagowały jelenie, sarny i dziki. Również łoś reagował znacznie wolniej na wycie wilka niż na szczekanie psów. Czas reakcji u obserwowanych zwierząt modyfikowany był przez różne czynniki. Zwierzęta miały krótszy czas reakcji, gdy znajdowały się bliżej miejsca emitowanego dźwięku, gdy się przemieszczały, gdy znajdowały się w lesie oraz w ciągu dnia (z wyjątkiem dzika).

Przebadane dźwięki (z wyjątkiem wokalizacji wilka) posłużyły do opracowania czterech sekwencji naturalnych dźwięków z czasem trwania od 21 – 38 sekund. W sekwencjach tych dodano dźwięki ostrzegawczo-alarmowe innych gatunków zwierząt występujących w naszym kraju (ptaków i ssaków) aby spotęgować strach i przyspieszyć reakcję u obserwowanych zwierząt. Działanie dodatkowych dźwięków zostało potwierdzone w ostatnich latach przez różnych naukowców. Analiza otrzymanych wyników pokazała, że czas reakcji u zwierząt (łośia, jelenia, sarny, dzika) był krótszy niż w przypadku pojedynczego naturalnego dźwięku – krzyku sójki. Ponadto zwierzęta miały krótszy czas reakcji, gdy znajdowały się w lesie oraz o zmierzchu i o świcie.

Otrzymane wyniki badań otwierają przed nami nowe możliwości wykorzystania naturalnych sekwencji dźwięków do wywołania odpowiednich reakcji oraz zachowań u dzikich zwierząt. Odpowiednio dobrane i ułożone w sekwencję naturalne dźwięki, mogą stanowić dla zwierząt np. formę wstępnego ostrzeżenia przed zbliżającym się niebezpieczeństwem. Emisja krótkich a zarazem „bardzo czytelnych” dla zwierząt sekwencji naturalnych dźwięków przed przejazdem pociągu w znacznym stopniu może zminimalizować ryzyko kolizji z dzikimi zwierzętami.

## Podsumowanie

Nowoczesne, ciche i szybkie pociągi stanowią obecnie olbrzymie zagrożenie dla dzikich zwierząt. Poruszający się z dużą prędkością pociąg może nie zostać odpowiednio szybko dostrzeżony przez zwierzęta znajdujące się w danym momencie na torach. Niesie to za sobą ryzyko kolizji dzikich zwierząt z pociągami. W związku z tym, od wielu lat poszukiwane są wszelkie technologiczne rozwiązania mające na celu zminimalizowanie tego ryzyka. Jednym z nich jest emisja przed przejazdem pociągu ostrzegawczo-alarmowych sekwencji naturalnych dźwięków, aby ostrzec zwierzęta przed nadchodzącym zagrożeniem. Dzięki temu zwierzęta mają więcej czasu na analizę sytuacji oraz na odpowiednią reakcję – ucieczkę w bezpieczne miejsce. Wiele zwierząt prawdopodobnie postrzega pojazdy mechaniczne jako niegroźne lub są do nich przyzwyczajone (Steven i in. 2014). Pociąg, który porusza się prostolinijnie, nie jest bowiem odbierany przez zwierzęta jako typowy drapieżnik, a tym samym jako źródło zagrożenia (Kossak 2007). Odnalezienie naturalnych dźwięków, za pomocą których zwierzęta komunikują się między sobą o zbliżającym się niebezpieczeństwie, dźwięków którymi moglibyśmy sterować ich zachowaniem, reakcjami - to proces długotrwały. Wymaga on bowiem nie tylko wiedzy teoretycznej, ale również ciężkiej, praktycznej pracy w terenie (obserwacje). Wymaga on także monitorowania reakcji zwierząt na sekwencje naturalnych dźwięków w warunkach realnego zagrożenia tj. przed przejazdem pociągu oraz ich udoskonalania i wzbogacania o kolejne przebadane naturalne dźwięki (bodźce kluczowe).

## Bibliografia

1. Ando, C. 2003. The relationship between deer-train collisions and daily activity of the sika deer, *Cervus nippon*. *Mammal Study* 28:135–143.
2. Babińska-Werka, J., Krauze-Gryz, D., Wasilewski, M., Jasińska, K. 2015. Effectiveness of an acoustic wildlife warning device using natural calls to reduce the risk of train collisions with animals. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 38: 6–14. <https://doi.org/10.1016/J.TRD.2015.04.021>.
3. Backs, J.A.J., Nychka, J.A., St. Clair C.C. 2020. Warning systems triggered by trains increase flight-initiation times of wildlife. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 87. 102502. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102502>.
4. Bente, A., Balkenhol, N., Vor, T., Ammer, C. 2019. Wildlife warning reflectors do not alter the behavior of ungulates to reduce the risk of wildlife-vehicle collisions. *European Journal of Wildlife Research*. 65. 10.1007/s10344-019-1312-4.
5. Bhardwaj, M., Lodnert, D., Olsson, M., Winsvold, A., Morten, S., Kjellander, E.P., Seiler, A. 2022. Inducing fear using acoustic stimuli - A behavioral experiment on moose

- (Alces alces) in Sweden. *Ecology and Evolution*. 12:e9492. <https://doi.org/10.1002/ece3.9492>.
6. Brown, J.S. 1999. Vigilance, patch use and habitat selection: foraging under predation risk. *Evolutionary Ecology Research* 1: 49–71.
  7. Clinchy, M., Zanette, L.Y., Roberts, D., Suraci, J.P., Buesching, C.D., Newman, C., Macdonald, D.W. 2016. Fear of the human “super predator” far exceeds the fear of large carnivores in a model mesocarnivore. *Behavioral Ecology* 27:1826-1832. <https://doi.org/10.1093/beheco/arw117>.
  8. Colino-Rabanal, V.J., Lizana, M., Peris, S.J. 2011. Factors influencing wolf *Canis lupus* road kills in Northwest Spain. *European Journal of Wildlife Research* 57:399–409.
  9. Crawford, D.A., Conner, L.M., Clinchy, M., Zanette, L.Y., Cherry, M.J. 2022. Prey tells, large herbivores fear the human ‘super predator’. *Oecologia* 198:91-98. <https://doi.org/10.1007/s00442-021-05080-w>.
  10. Gaynor, K.M., Cherry, M.J., Gilbert, S.L., Kohl, M.T., Larson, C.L., Newsome, T.M., Prugh, L.R., Suraci, J.P., Young, J.K. and Smith, J.A. 2021. An applied ecology of fear framework: linking theory to conservation practice. *Anim. Conserv.*, 24:308-321. <https://doi.org/10.1111/acv.12629>.
  11. Główny Urząd Statystyczny. 2025. Leśnictwo. Zakład Wydawnictw Statystycznych.
  12. Hettena, A.M., Munoz, N., Blumstein, D.T. 2014. Prey Responses to Predator's Sounds: A Review and Empirical Study. *Ethology* 120:427-452. <https://doi.org/10.1111/eth.12219>.
  13. Jasińska, K.D., Żmihorski, M., Krauze-Gryz, D., Kotowska, D., Werka, J., Piotrowska, D., Pärt, T. 2019. Linking habitat composition, local population densities and traffic characteristics to spatial patterns of ungulate-train collisions. *Journal of Applied Ecology* 56:2630-2640. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13495>.
  14. Konieczny, J., Labisz, K. 2022. Kolizje pociągów z dziką zwierzyną. Aspekty: ekonomiczny i bezpieczeństwa. Raport kolejowy nr 2.
  15. Kossak, S. 2007. Zasada działania atrapy bodźców kluczowych zastosowanej w urządzeniu UOZ-1 wypłaszającym zwierzęta z torów kolei szybkiego ruchu. W: B. Jackowiak (red.), *Oddziaływanie infrastruktury transportowej na przestrzeń przyrodniczą*. Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad. Warszawa – Poznań – Lublin: 173-179.

16. Kowal, P., Jasińska, K.D., Bolibok, L., Babińska-Werka J., Krauze-Gryz D. 2025. Reaction of ungulates to natural sound stimuli. *Bioacoustics*, Volume 34 (2):152 - 166.
17. Krauze-Gryz, D., Żmihorski, M., Jasińska, K., Kwaśny, Ł., Werka, J. 2017. Temporal pattern of wildlife-train collisions in Poland. *Journal of Wildlife Management* 81(8): 1513–1519. <https://doi.org/10.1002/jwmg.21311>.
18. Macedonia, J.M., Evans, C.S. 1993. Essay on Contemporary Issues in Ethology: Variation among Mammalian Alarm Call Systems and the Problem of Meaning in Animal Signals. *Ethology* 93:177–197.
19. Ramirez, J.I., Kuijper, D.P.J., Olofsson, J., Smit, C., Hofmeester, T.R., Siewert, M.B., Widemo, F., Cromsigt, J.P.G.M. 2024. Applied ecology of fear: A meta-analysis on the potential of facilitating human-wildlife coexistence through nonlethal tools. *Ecological Solutions and Evidence*, 5, e12322. <https://doi.org/10.1002/2688-8319.12322>.
20. Sheng, X., Zhang, S., Xiao, X., He, H. 2023. Recent advances on research into high-speed railway noise, *Intelligent Transportation Infrastructure*, Volume 2, liad015, <https://doi.org/10.1093/iti/liad015>.
21. Steiner, W., Friedrich, L., Hackländer, K. 2014. A review on the temporal pattern of deer-vehicle accidents: impact of seasonal, diurnal and lunar effects in cervids. *Accident Analysis and Prevention* 66:168–181.
22. Suzuki T.N. 2016. Referential calls coordinate multi-species mobbing in a forest birds' community. *Journal of Ethology* 34: 79–84.
23. Townsend, S.W., Manser, M.B. 2012. Functionally Referential Communication in Mammals: The Past, Present and the Future, <https://doi:10.1111/eth.12015>.
24. Wells, P., Woods, J.G., Bridgewater, G., Morrison, H. 1999. Wildlife mortalities on railways, monitoring methods and mitigation strategies. W: Evink, G.L., Garrett P., Zeigler D. (red.). *Proceedings of the Third International Conference on Wildlife Ecology and Transportation*. Florida Department of Transportation, Tallahassee, Florida, USA: 85–88.
25. Widén, A., Clinchy, M., Felton, A.M., Hofmeester, T.R., Kuijper, D.P., Singh, N.J., Widemo, F., Zanette, L.Y., Cromsigt, J.P.G.M. 2022. Playbacks of predator vocalizations reduce crop damage by ungulates. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 328. 107853. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2022.107853>.



**Najnowsza generacja urządzeń systemu ochrony zwierząt UOZ-1 przeznaczonych do zainstalowania na liniach CMK oraz Rail Baltica odcinek Białystok – Elk.**

Marek Stolarski  
Prezes Zarządu NEEL Sp. z o.o.



## **Systemy ochrony zwierząt UOZ-1 dla Centralnej Magistrali Kolejowej**

### **Lead:**

Kolizje pociągów ze zwierzętami stanowią rosnący problem, łączący aspekty środowiskowe, ekonomiczne oraz bezpieczeństwa ruchu kolejowego. Wzrost prędkości i natężenia ruchu pociągów oraz zmiany konstrukcyjne taboru zwiększają ryzyko i skalę strat związanych z takimi zdarzeniami. Skutki kolizji zależą głównie od prędkości pociągu, masy zwierzęcia oraz konstrukcji pojazdu, a ich konsekwencje mogą być poważne zarówno dla infrastruktury, jak i bezpieczeństwa. Dane przewoźników potwierdzają systematyczny wzrost liczby zdarzeń oraz kosztów z nimi związanych.

### **Wstęp:**

Aby chronić odcinki linii kolejowych o zwiększonym ryzyku kolizji ze zwierzętami, najlepszym dostępnym rozwiązaniem jest system urządzeń ochrony zwierząt UOZ-1, będący od ponad 20 lat najbardziej innowacyjnym, przyjaznym środowisku i skutecznym rozwiązaniem tego problemu w skali globalnej.

Planowane na koniec 2027 roku podwyższenie do 250 km/h rozkładowej prędkości pociągów na Centralnej Magistrali Kolejowej spowodowało podjęcie decyzji o zastosowaniu na tej linii środków zapobiegawczych postaci systemu UOZ-1 w miejscach o największym ryzyku kolizji. Również linia Rail Baltica na odcinku Białystok – Elk zostanie przebudowana z podniesieniem prędkości pociągów do 200 km/h, a ryzyko kolizji z dużymi zwierzętami (np. łosie) jest podwyższone z uwagi na jej przebieg przez obszar i otulinę Biebrzańskiego Parku Narodowego. Istotnym elementem podwyższonego ryzyka kolizji jest droga krajowa DK65 przebiegająca na sporym odcinku wzdłuż linii kolejowej w miejscach planowanego montażu urządzeń UOZ-1. Dzikie zwierzęta, odsunięte od toru w wyniku działania urządzeń UOZ-1, mogą znaleźć się na jezdni, co może prowadzić do kolizji z szybko poruszającymi się pojazdami. Zagadnienie to zostanie omówione w trakcie prezentacji podsumowującej aktualne i planowane wdrożenia systemu UOZ-1/**Budowa systemu:**

Kompletny system ochrony zwierząt ma budowę hierarchiczną i składa się z urządzeń przytorowych UOZ-1 oraz współpracujących z nimi szafek sterująco-kontrolnych MDS-UOZ, zainstalowanych w kontenerach samoczynnej blokady liniowej lub specjalizowanych kontenerach KUOZ, szafek MDS-SPS zainstalowanych w nastawniach posterunków ruchu

oraz szafki MDS-UOZ-LCS zainstalowanej w pomieszczeniu dyżurnych ruchu Lokalnego Centrum Sterowania. Urządzenie przytorowe są instalowane na stałe, na fundamencie betonowym, posadowionym przy torze, w linii słupów trakcyjnych, naprzemiennie co ok. 70 m (mierzone wzdłuż osi torów). Przytorowe urządzenia UOZ-1 należące do jednego punktu ochrony zwierząt są połączone między sobą oraz z współpracującą z nimi modułem szafką MDS-UOZ systemem światłowodowej łączności przewodowej. Zasilanie urządzeń przytorowych UOZ-1 odbywa się drogą kablową z najbliższego kontenera KUOZ lub kontenera SAZ (sbl) napięciem separowanym 230V 50Hz z podtrzymaniem napięcia zasilania na okres 2 godzin lub bez podtrzymania napięcia (w zależności od lokalnych wymagań). Urządzenie przytorowe jest przystosowane zarówno do uziemienia jak i do połączenia z elementami uszynienia grupowego sieci trakcyjnej, wykorzystującego tyrystorowe zwieracze wielokrotnego działania.

### **Zasada działania:**

Działanie urządzeń UOZ-1 polega na emitowaniu sygnałów akustycznych (sekwencji ostrzegawczych), które wykorzystują istniejący u zwierząt mechanizm uwarunkowanego genetycznie lęku przed naturalnymi drapieżnikami i zagrożeniami. Sygnały te są emitowane przez urządzenia UOZ-1 przez określony czas, bezpośrednio przed przejazdem pociągu.

Zastosowanie urządzeń UOZ-1 nie narusza przepisów ustawy o ochronie przyrody, dotyczących zakazu płoszenia i niepokojenia dzikich zwierząt. Do tworzenia sekwencji akustycznych wykorzystuje wyłącznie dźwięki naturalnie występujące w przyrodzie, emitowane z naturalną głośnością.

Sekwencje dźwiękowe zostały opracowane przez pracowników naukowych Instytutu Badawczego Leśnictwa w Warszawie, specjalizujących się w problematyce behawioryzmu dużych dzikich zwierząt. Zostały one zaprojektowane w taki sposób, aby wyeliminować efekt przyzwyczajania się zwierząt do emitowanych sygnałów ostrzegawczych. Obecność siedlisk gatunków chronionych nie stanowi przeciwwskazania do stosowania urządzeń UOZ-1.

Aktywowanie urządzeń przytorowych odbywało się dotychczas na podstawie informacji o lokalizacji pociągów uzyskanych z kolejowego systemu sterowania ruchem. Emisja sekwencji akustycznej rozpoczyna się na ok. 60 sekund przed nadjechaniem pociągu do granicy chronionego obszaru. Tyle trwa emisja pełnej sekwencji, na której zakończeniu powinno pojawić się czoło pociągu, jako „fizyczność” akustycznego przekazania zwierzętom informacji o sytuacji zagrożenia życia. Niezbędne dla właściwej pracy algorytmów śledzących

nadjeżdżające pociągi informacje dotyczące ich przejazdu przez stacje oraz na przyległe szlaki są przekazywane z urządzeń srk poprzez szafkę MDS-SPS łączem światłowodowym szafek MDS-UOZ, zamontowanych w kontenerach KUOZ lub kontenerach sbl, które wyliczają czas rozpoczęcia i zakończenia emisji sekwencji dla każdej grupy urządzeń prztorowych UOZ-1. Oznacza to że w trakcie przejazdu pociągu kolejne grupy urządzeń rozpoczynają pracę wyprzedzając o 60 sekund czoło pociągu. Wyłączenie emisji odbywa się samoczynnie po jej zakończeniu lub przez sygnał z czujnika lidarowego zamontowanego na obudowie urządzenia UOZ-1. W celu uzyskania bardziej precyzyjnego działania systemu w przypadkach bliskiego sąsiedztwa przystanku kolejowego lub głowicy wyjazdowej ze stacji stosuje się dodatkowo zamontowane w torze, w odległości wynikającej od warunków lokalnych własne czujniki koła, wykrywające zbliżający się pociąg oraz określające jego kierunek jazdy, prędkość oraz kategorię.

### **System ochrony zwierząt UOZ-1 na CMK**

W ramach prowadzonych obecnie prac przystosowujących Centralną Magistralę Kolejową do rozkładowej prędkości pociągów 250 km/h, na prawie całej jej długości począwszy od km 18.000 do km 213.400 zostaną w 42 wyznaczonych miejscach zainstalowane urządzenia systemu ochrony zwierząt UOZ-1. Ich celem jest minimalizacja ryzyka kolizji dużych dzikich zwierząt z pociągami poruszającymi się z bardzo dużą prędkością..

Zrejstrowane przypadki najechania przez pociąg Pendolino na łosia o masie 500-700 kg łosia zawsze kończyły śmiercią zwierzęcia, bardzo poważnym uszkodzeniem składu, wstrzymaniem ruchu kolejowego, koniecznością zaangażowania służb ratowniczych w celu przetransportowania pasażerów z uszkodzonego pociągu do składu zastępczego oraz kilkugodzinnym opóźnieniem w dotarciu pasażerów do stacji końcowej.

W takiej sytuacji zostały podwyższone wymagania dotyczące skuteczności działania systemu UOZ-1, która w dużym stopniu zależy od dokładności śledzenia nadjeżdżających pociągów i precyzji wyliczenia chwili w której powinna zostać uruchomiona emisja sekwencji odpłaszającej. Im większa prędkość pociągów, tym bardziej istotne stają się informacje pozwalające algorytmom sterującym działaniem systemu UOZ-1 na uwzględnienie parametrów minimalizujących ryzyko opóźnienia włączenia emisji sekwencji akustycznej. Takie jak przewidywany postój na stacji lub przystanku osobowym oraz rozkładowa prędkość na poszczególnych odcinkach linii. Uzasadnieniem takiej sytuacji jest konieczność jak najdokładniejszej synchronizacji wjazdu czoła pociągu na początek obszaru ochrony w czasie emisji jej finalnej części – odgłosy zwierząt walczących o życie, co jest udokumentowanym

warunkiem właściwej reakcji zwierzęcia na koincydencję dwóch bodźców. Akustycznego i wzrokowego, gdzie pociąg jest kojarzony jako bezpośredni sprawca zagrożenia.

Informacje o najjeżdżających pociągach będziemy otrzymywali z dwóch źródeł. Z systemu sterowania ruchem pociągów (źródło podstawowe) oraz z własnych czujników koła zainstalowanych w odległości 4200 m po obu stronach od granicy każdego z 42 obszarów ochrony. Dla tej odległości czas przejazdu pociągu przy prędkości 250 km/h wynosi ok. 60 sekund i jest dodatkowe, bardzo ważne źródło informacji weryfikujące wyliczenia realizowane na podstawie danych z systemów srk (informacje o zajętości odstępów sbł, zajętości stacyjnych liczników osi systemu SOL etc.). Jedynym i głównym miejscem przekazywania tych danych jest powiązanie systemu UOZ-1 z systemami EBI Screen 300 oraz PIP w Lokalnym Centrum Sterowania w Idzikowicach. System PIP będzie przekazywać numery poruszających po linii Centralnej Magistrali Kolejowej pociągów, co pozwoli określić ich relacje, kategorie oraz miejsca wjazdu i wyjazdu z CMK.

System łączności podstawowej pomiędzy LCS Idzikowice a szafkami MDS-UOZ w kontenerach SAZ jest oparty na łączności światłowodowej. Jest budowany jako niezależna sieć łącząca szafkę MDS-LCS z szafkami MDS-SPS na stacjach oraz szafkami MDS-UOZ w kontenerach SAZ. Jako łączność rezerwowa projektowane jest wykorzystanie systemu MPLS, pozwalającego na zachowanie łączności z LCS w sytuacji niesprawnej sieci podstawowej. Urządzenia wyposażone są w system diagnostyczny pozwalający zdalnie wykrywać i lokalizować wszelkie nieprawidłowości pracy. Szczegółowa informacja o lokalizacji i rodzaju uszkodzenia jest pokazywana na ekranie dotykowym szafki MDS-UOZ w kontenerze oraz sygnalizowana na ekranie szafki MDS-LCS w pomieszczeniu Dyżurnych Ruchu LCS Idzikowice.

Urządzenia wyposażone są także w system ochrony przeciwwłamaniowej reagujący na próby demontażu lub zniszczenia obudowy. W razie wykrycia takiego działania wszystkie urządzenia należące do jednej grupy ostrzegania emitują przez 90 sekund akustyczny sygnał alarmowy, a informacja o włamaniu przesyłana jest do kontenera SAZ o dalej do LCS Idzikowice. Niezależnie, poprzez modemy GSM LTE praca wszystkich urządzeń jest nadzorowana w trybie on-line przez system zdalnego monitoringu NEEL-WIZ, a informacje o ich pracy pokazywane na ekranie komputera lub każdego urządzenia przenośnego z zainstalowaną przeglądarką internetową.

## Wnioski z wyników badań skuteczności działania UOZ-1

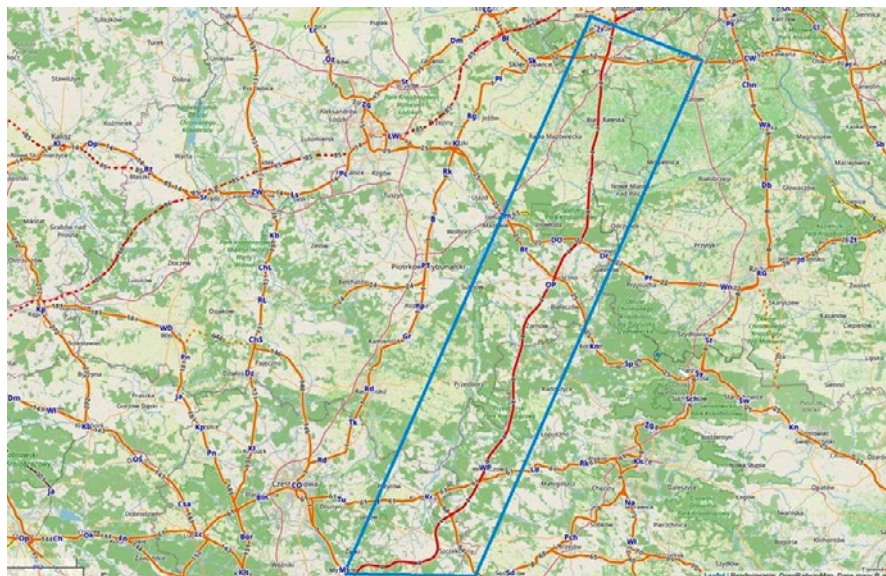
- Badania były prowadzone w latach 2008 -2012 na zlecenie PKP PLK S.A przez Samodzielny Zakład Zoologii Leśnej i Łowiectwa SGGW w Warszawie a także są kontynuowane do chwili obecnej w ramach własnych projektów badawczych SGGW. Na ich podstawie sformułowano następujące wnioski :Występujące na terenie objętym badaniami dzikie i udomowione zwierzęta regularnie obserwowane były przy torach, których otoczenie wykorzystywały jako miejsca żerowania lub trasy przemieszczeń.
- Zwykle obserwowano pojedyncze osobniki. Liczniejsze zgrupowania tworzyły najczęściej sarny i dziki. Duża grupa zwierząt, przebywająca na torach, stwarzały większe ryzyko kolizji, ponieważ wolniej przemieszczały się przez torowisko.
- Obserwowane gatunki zwierząt z różną sezonową dynamiką wykorzystywały otoczenie torów i torowisko. Sarny i dziki obserwowano w otoczeniu torów najczęściej wiosną, a łosie wiosną i latem, przy czym najwięcej zwierząt rejestrowano o świcie i o zmierzchu.
- Największe prawdopodobieństwo kolizji dużych ssaków z pociągami związane jest z ich przechodzeniem przez tory, a nie z samym przebywaniem przy linii kolejowej. Migrujące, przekraczające tory sarny najczęściej obserwowano zimą, łosie wiosną i latem, a dziki w trzech porach roku - wiosną, latem i jesienią. Zwierzęta najczęściej przechodziły przez tory o świcie i o zmierzchu. Zimą i jesienią widoczna była wzmożona aktywność saren i łosi również w ciągu dnia.
- Zwierzęta najczęściej przechodziły przez torowisko w miejscach, gdzie otoczenie torów zapewniało im możliwość bliskiego schronienia (las lub zakrzaczenia śródpolne) a unikały terenów otwartych. Nie oznacza to że unikały obszarów polno-łąkowych, wszystko zależało od atrakcyjności terenu.
- Tory kolejowe nie stanowiły bariery ekologicznej ograniczającej przemieszczanie się zwierząt. Dźwięki emitowane z UOZ-1 nie przeszkadzały w swobodnym poruszaniu się zwierząt w pobliżu torów i przechodzeniu przez nie. Wysokie zagęszczenia tropów zwierząt w pobliżu UOZ-1 świadczą o tym, że urządzenia te zostały umieszczone w odpowiednich miejscach, to znaczy tam gdzie zwierzęta najczęściej przechodziły przez tory.

- W momentach uruchomienia UOZ-1 zdecydowana większość obserwowanych zwierząt reagowała ucieczką, a tylko w wyjątkowych sytuacjach (gonione przez psy) przechodziły przez tory kolejowe.
- Przy emisji dźwięków z UOZ-1 zwierzęta częściej i szybciej reagowały ucieczką niż przy wyłączonych urządzeniach zabezpieczających. Fragmentem sekwencji, na który najczęściej zwierzęta reagowały ucieczką z torowiska i poboczy, było szczekanie psów. Łącznie ok. 70% zwierząt uciekało do 60 s po uruchomieniu UOZ-1. Tylko niewielka część z nich reagowała ucieczką dopiero na nadjeżdżający pociąg (w czasie krótszym niż 5 s przed jego przejazdem), większość uciekała znacznie wcześniej.
- Przeprowadzone badania nad skutecznością działania UOZ-1 wskazują, że urządzenia te zdecydowanie zmniejszają ryzyko kolizji zwierząt z pociągami. Zdecydowana większość wypadków z udziałem zwierząt miała miejsce poza obszarami działania urządzeń do ochrony zwierząt.
- Do sygnałów akustycznych emitowanych przez UOZ-1 ssaki nie przyzwyczyły się, ponieważ po ponad 20 latach od ich zainstalowania na badanej linii kolejowej nadal reagowały na ostrzegawcze sygnały akustyczne.
- Nie stwierdzono negatywnego wpływu działania urządzeń UOZ-1 na warunki bytowania okolicznych mieszkańców.
- Hałas emitowany przez pociągi nie powodował powstawania strefy zagłuszenia UOZ i nie wpływał tym samym na obniżenie skuteczność badanych urządzeń.
- Zastosowanie naturalnych dźwięków istniejących w przyrodzie powoduje, że urządzenia UOZ-1 nie mają negatywnych środowiskowych skutków oraz nie powodują degradacji siedlisk zwierząt. Badania przeprowadzone przez SGGW oraz statystyki wypadków wykazały, że w wyniku działania urządzeń UOZ-1 nie są zagrożone siedliska ptaków gniazdujących w pobliżu linii kolejowej jak również dobrostan znajdujących się pod ochroną takich drapieżników jak wilk czy ryś. W przypadku gatunków padlinożernych, np. bielika, zapobieganie kolizjom ze ssakami pozwoli ograniczyć śmiertelność bielików żerujących na torach na potraconych zwierzętach.

## Podsumowanie

Metoda akustycznej ochrony zwierząt na torach kolejowych stanowi bardzo dobrym rozwiązaniem dla obszarów nizinnych z mało zróżnicowanym ukształtowaniu terenu. Pozwala na zachowanie ciągłości korytarzy ekologicznych oraz szlaków migracyjnych zwierząt, minimalizując ryzyko ich kolizji z pociągami. Ma to szczególne znaczenie w przypadku Centralnej Magistrali Kolejowej, która przebiega przez centralną część Polski, przecinając ważne korytarze ekologiczne i szlaki migracyjne, a także trzy parki krajobrazowe, sześć obszarów chronionego krajobrazu oraz sześć obszarów Natura 2000.

Obok aspektu środowiskowego, niezwykle istotny jest również aspekt związany z bezpieczeństwem i sprawnością ruchu kolejowego. System UOZ-1 nie należy do kategorii urządzeń odpowiedzialnych za bezpieczeństwo ruchu pociągów, jednak ma bezpośredni pozytywny wpływ za poziom jego bezpieczeństwa i niezawodność, nie powodując powstawania efektu barierowego i nie prowadząc do degradacji siedlisk. Na rys. 1 przedstawiono przebieg Centralnej Magistrali Kolejowej na tle obszarów leśnych oraz polno-łąkowych, czyli miejsc o podwyższonym ryzyku wystąpienia kolizji pociągów z dzikimi zwierzętami.



Rys. 1. Mapa przebiegu Centralnej Magistrali Kolejowej

## **Bibliografia**

1. Karolina Jasińska - Zachowania ssaków żyjących przy torach kolejowych w warunkach mozaiki polno-leśnej, praca doktorska, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Leśny, Warszawa 2017
2. Urządzenia systemu ochrony zwierząt UOZ-1, Dokumentacja Techniczno-Ruchowa, NEEL, Warszawa 2024



**AntyX – system monitorowania kolejowej sieci  
trakcyjnej w czasie rzeczywistym.**

Marek Stolarski  
Prezes Zarządu NEEL Sp. z o.o.

Damian Kuca  
Prezes Zarządu KUCA GROUP



Marek Stolarski

Prezes Zarządu NEEL Sp. z o. o.

## **AntyX – system monitorowania kolejowej sieci trakcyjnej w czasie rzeczywistym**

### **Lead:**

Rosnąca liczba kradzieży i ryzyko sabotażu sprawiają, że monitorowanie kolejowej sieci trakcyjnej w czasie rzeczywistym staje się koniecznością, zarówno ze względów finansowych, jak i bezpieczeństwa. Dotychczasowe rozwiązania, oparte na kontroli ciągłości obwodu, okazują się niewystarczające wobec tzw. „inteligentnych” uszkodzeń oraz degradacji parametrów technicznych sieci. Opracowany w ramach programu BRİK system AntyX umożliwia zaawansowaną diagnostykę i wykrywanie zagrożeń dzięki analizie wielu sygnałów, w tym drgań, naciągu i obrazu wizyjnego. Rozwiązanie to zwiększa bezpieczeństwo ruchu kolejowego oraz ogranicza koszty utrzymania infrastruktury.

### **Wstęp:**

Potrzeba monitorowania w czasie rzeczywistym oraz ochrony kolejowej sieci trakcyjnej przed ingerencją osób trzecich stała się koniecznością wynikającą z dużej liczby kradzieży oraz podwyższonego ryzyka aktów sabotażu. Oprócz strat finansowych, wynikających z konieczności odbudowy zniszczonej infrastruktury, występuje również zagrożenie dla osób przebywających w obrębie miejsca zdarzenia. Jeżeli uszkodzenie nie zostanie dostatecznie szybko rozpoznane, a uszkodzony odcinek sieci nie zostanie wyłączony, to zerwany przewód jezdny lub lina nośna znajdujące się w zasięgu ręki mogą być przyczyną śmiertelnego porażenia prądem elektrycznym. Ponadto wjechanie pojazdem trakcyjnym na odcinek toru pozbawiony przewodu jezdny lub liny nośnej prowadzi zazwyczaj do natychmiastowego uszkodzenia pantografu a często także do zerwania całego fragmentu sieci trakcyjnej. Skutkiem takiej sytuacji są zawsze opóźnienia w ruchu pociągów z wszystkimi tego konsekwencjami.

Dotychczas stosowane rozwiązania monitorowały jedynie ciągłość sieci trakcyjnej. Takie rozwiązanie jest skuteczne jeżeli całkowicie przerwane zostaną przewody jezdne oraz lina nośna. Tymczasem coraz częściej dochodzi do tzw. inteligentnych kradzieży, polegających na wycięciu tylko części sieci trakcyjnej, pozostawiając ciągłość obwodu elektrycznego. Ponadto

może dojść do samoistnej zmiany parametrów sieci trakcyjnej, pogarszającej jej stan techniczny.

W celu zapobiegania takim zdarzeniom w ramach programu BRIK został opracowany nowatorski system monitorujący górną sieć trakcyjną w czasie rzeczywistym. Nowe rozwiązanie pozwoli na zmniejszenie kosztów eksploatacji i utrzymania sieci trakcyjnej, jak również poprawę bezpieczeństwa i niezawodności ruchu kolejowego.

System AntyX dysponuje unikalną i do tej pory nigdy nie stosowaną umiejętnością detekcji przygotowań do aktów dewastacji poprzez programową analizę korelacji sygnałów dotyczących zaniku napięcia w sieci trakcyjnej, obserwacji wizyjnej, detekcji nietypowych drgań sieci trakcyjnej, kontroli jej naciągu (dla każdej liny nośnej i przewodu jezdnego niezależnie), a także wykrywania nietypowego ruchu ludzi i pojazdów w krytycznych miejscach otoczenia linii kolejowej wskazującego na przygotowywanie się do dewastacji (np. w powiązaniu z systemem DAS firmy Sensonic).

Kontrolowane w czasie rzeczywistym parametry sieci trakcyjnej to m.in. siła naciągu przewodów jezdnych oraz lin nośnych, rejestracja drgań rozchodzących się w przewodach jezdnych i linach nośnych (w tym detekcja wszelkich nietypowych zjawisk związanych z analizą drgań) oraz wykrywanie zaniku napięcia trakcyjnego, a cały system wyposażony jest w oprogramowanie wykorzystujące algorytmy uczenia maszynowego. Połączenie tych cech pozwoliło na stworzenie bardzo sprawnego i przydatnego w zarządzaniu infrastrukturą kolejową systemu zaawansowanej diagnostyki górnej sieci trakcyjnej na zelektryfikowanych liniach magistralnych oraz dużych stacjach kolejowych

Zasilanie w energię elektryczną odbywa się tylko z OZE (panele fotowoltaiczne z akumulatorem energii), a cała konstrukcja urządzenia zamontowanego na słupie trakcyjnym jest galwanicznie połączona z potencjałem sieci trakcyjnej, co zasadniczo poprawia odporność na uszkodzenia powodowane wyładowaniami atmosferycznymi, przepięciami i zakłóceniami elektromagnetycznymi.

#### **Przeznaczenie i zakres stosowania:**

System AntyX przeznaczony jest do stosowania w zelektryfikowanym transporcie szynowym i przystosowany do wszystkich typów górnej sieci trakcyjnej o napięciach od 1,5 kV DC do 50 kV AC.. Urządzenie jest instalowane na dwóch skrajnych oraz trzech wewnętrznych słupach trakcyjnych sekcji naprężenia, w rejonach wymagających ciągłej diagnostyki a także w miejscach podatnych na kradzieże i akty dewastacji.

Zakres stosowania urządzeń systemu AntyX sprowadza się do ochrony szlaków kolejowych (sekcji napięcia górnej sieci trakcyjnej) jako jeden z elementów ochrony infrastruktury krytycznej (linie magistralne oraz duże stacje kolejowe) a także w miejscach występowania kradzieży i dewastacji.

### **Opis działania systemu:**

System diagnostyczno-antykradzieżowy sieci jezdnej AntyX, poprzez monitorowanie i analizę wybranych parametrów mechanicznych, elektrycznych i obrazów z kamer, ma dostarczyć do służb utrzymania sygnały ostrzeżenia lub alarmu, wskazujące na zmiany spowodowane samoistnymi zmianami powodującymi pogorszenie parametrów eksploatacyjnych sieci a także niepożądanymi działaniami osób trzecich, zmierzające do, których skutkiem jest ograniczenie przepustowości linii lub zamknięcie toru a także wysokie straty materialne.

Monitorowanymi w czasie rzeczywistym parametrami są:

- - naciąg liny nośnej,
- - naciąg przewodu jezdnego,
- - nietypowe drgania i wibracje liny nośnej,
- - nietypowe drgania i wibracje przewodu jezdnego,
- - napięcie zasilające sieć.

Zależnie od rodzaju czujnika i wartości przekroczenia akceptowalnych parametrów system AntyX generuje alarmy lub ostrzeżenia. Sygnał alarmu może być przekazywany do pracowników prowadzących nadzór nad eksploatacją linii kolejowej (nastawnie na stacjach, Lokalne Centra Sterowania lub Nastawnie Centralne zasilania trakcji elektrycznej) oraz takich służb jak SOK oraz policja.

Sygnał alarmu będzie oznaczał, że doszło do uszkodzenia sieci trakcyjnej, w tym także w wyniku kradzieży lub dewastacji jej elementów.

Sygnał ostrzeżenia będzie generowany, gdy parametry sieci lub działania w jej otoczeniu powinny zostać zweryfikowane. Sygnał ten będzie przekazywany do pracowników prowadzących nadzór nad eksploatacją linii kolejowej.

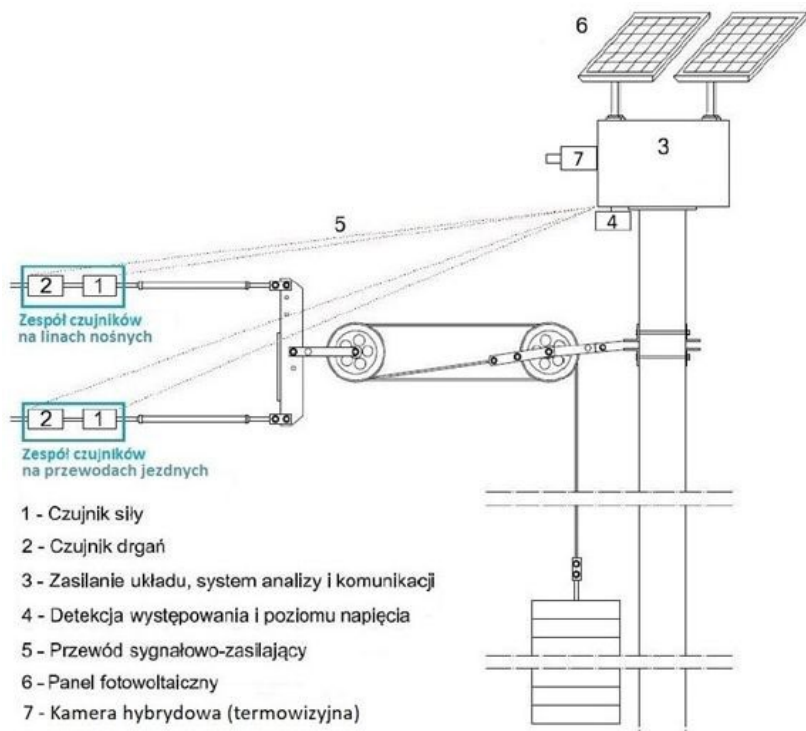
### **Budowa systemu:**

Komplet urządzeń systemu AntyX składa się z wyposażenia dla 2 skrajnych (kotwowych) słupów trakcyjnych (stacji zasilania z OZE oraz stanowisk pomiarowych i kamerowych) i 3 środkowych słupów trakcyjnych (stacja zasilania OZE i stanowiska kamerowe) przeznaczony

jest do montażu na jednej sekcji naprężenia o typowej długości ok. 1200 - 1300 m.

Komplet ten składa się z:

- Kompletów czujników monitorowania stanu sieci trakcyjnej (zamontowanych tylko na słupach skrajnych (kotwowych), zawierających czujnik naciągu i czujnik drgań, zainstalowanych na każdym przewodzie jezdnym oraz każdej linii nośnej, oraz czujnik obecności napięcia 3 kV DC w sieci trakcyjnej).
- Szafki pomiarowej zawierającej układ przetwarzania danych oraz system łączności GSM LTE (na każdym z 5 słupów).
- Stacji zasilania w energię elektryczną z OZE (zamontowanej na każdym z 5 słupów) zawierającej zestaw dwóch paneli solarnych o mocy 2 x 410 W oraz szafkę zasilania (zasobnik energii) z baterią dwóch akumulatorów o pojemności 165 Ah każdy.
- Układu obserwacji wizyjnej sieci jezdnej w postaci bispektralnych kamer hybrydowych (po jednej sztuce na każdym z 2 słupów skrajnych i po dwie sztuki na 3 słupach środkowych).
- Systemu rejestracji, generowania oraz zobrazowania ostrzeżeń i stanów alarmowych (zdalny monitoring).



Rys. 1. Schemat wyposażenia słupa krańcowego (kotwowego)

Na rys.1 pokazano schemat wyposażenia słupa krańcowego, a na fotografiach 1 i 2 rzeczywisty wygląd tego wyposażenia zamontowanego na słupie trakcyjnym.



Fot. 1 i 2. Widok wyposażenia słupa krańcowego

Mechanicznie konstrukcja nośna systemu AntyX jest instalowana na słupie trakcyjnym przy pomocy poprzecznych belek (konstrukcja do mocowania rozstawionych wciągników pomocniczych), do których przymocowane są izolatory wraz z ukośnikami i odciągami. Odciągi stanowią podstawę do zamocowania stelaża z panelami fotowoltaicznymi. Do podłużnych belek stelaża, opartych na odciągach, podwieszony jest zasobnik energii wraz ze skrzynką pomiarową i kamerą a na słupach skrajnych zamocowany jest wciągnik kablowy z przewodami do czujników. Stabilne położenie końcowego punktu wciągnika (puszki połączeniowej) uzyskano dzięki zastosowaniu linek stabilizujących, dołączonych do elementów stelaża.

Dla obniżenia kosztów inwestycji możliwe jest ograniczenie wyposażenia systemu tylko do dwóch słupów krańcowych, bez kamer instalowanych na słupach środkowych. Monitorowane będą wszystkie parametry mechaniczne oraz elektryczne sieci trakcyjnej a jej obserwacja wizyjna ograniczy się do punktów granicznych sekcji zasilania.

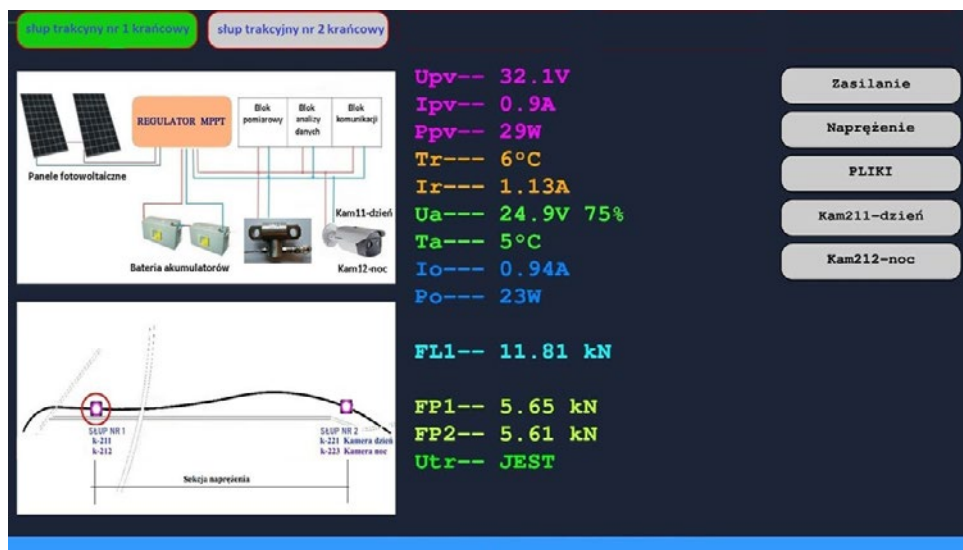
#### **System zdalnego monitoringu (zobrazowania i rejestracji zdarzeń):**

System zdalnego monitoringu (zobrazowania i rejestracji zdarzeń) został zrealizowany z wykorzystaniem zewnętrznego wirtualnego serwera VPS, na którym tworzony jest obraz

wizualizacji aktualnego stanu systemu, który może być wyświetlony przez każdą przeglądarkę z telefonu, innego urządzenia mobilnego lub komputera.

Po wpisaniu do przeglądarki internetowej adresu dostępu do serwera VPS pojawia się ekran zdalnego monitoringu pokazujący stan zasilania oraz wyniki pomiaru czujników sieci trakcyjnej. Na górnej belce można wybrać podgląd każdego z krańcowych słupów sekcji zasilania. Wybrane pole podświetla się na zielono.

Na rysunku 2 pokazano przykład takiego ekranu dla sekcji zasilania z systemem AntyX zamontowanym tylko na słupach krańcowych.



Rys. 2. Widok ekranu zdalnego monitoringu systemu AntyX

### Montaż i utrzymanie:

System antykradzieżowy górnej sieci jezdnej AntyX dostarczany jest do zamawiającego w elementach przygotowanych do ich montażu na słupach sieci trakcyjnej.

Montaż wszystkich dostarczonych elementów powinien odbywać się przy użyciu pociągu sieciowego z wykorzystaniem wysuwanych platform oraz dźwigu i jednoczesnym zastosowaniu pełnej procedury wyłączenia napięcia trakcyjnego.

Dla utrzymania właściwego stanu technicznego systemu, konieczne jest wykonanie 2 okresowych przeglądów rocznie. Jeden przed zimą, drugi po okresie zimowym. Przeglądy należy wykonać z wykorzystaniem pociągu sieciowego przy jednoczesnym zastosowaniu

pełnej procedury wyłączenia napięcia trakcyjnego.

### **Podsumowanie**

Podsumowując, system AntyX stanowi kompleksowe i nowoczesne narzędzie wspierające ochronę oraz diagnostykę górnej sieci trakcyjnej w czasie rzeczywistym. Integracja pomiarów parametrów mechanicznych i elektrycznych z analizą obrazu oraz algorytmami uczenia maszynowego pozwala nie tylko na szybkie wykrywanie uszkodzeń, ale również na identyfikację zagrożeń jeszcze na etapie ich powstawania.

Zastosowanie systemu przekłada się na zwiększenie bezpieczeństwa ruchu kolejowego, ograniczenie strat wynikających z awarii i kradzieży oraz poprawę efektywności działań utrzymaniowych. Dodatkowo wykorzystanie zasilania z OZE oraz elastyczność konfiguracji sprawiają, że rozwiązanie to może być wdrażane w sposób optymalny kosztowo i dostosowany do lokalnych potrzeb.

System monitorowania sieci trakcyjnej AntyX wpisuje się w kierunek rozwoju inteligentnej, odpornej i bezpiecznej infrastruktury kolejowej, ułatwiając jej diagnostykę i stanowiąc istotny element ochrony infrastruktury krytycznej.



