

Spójność zarządzania systemem zasilania polskiej kolei w ujęciu KDP

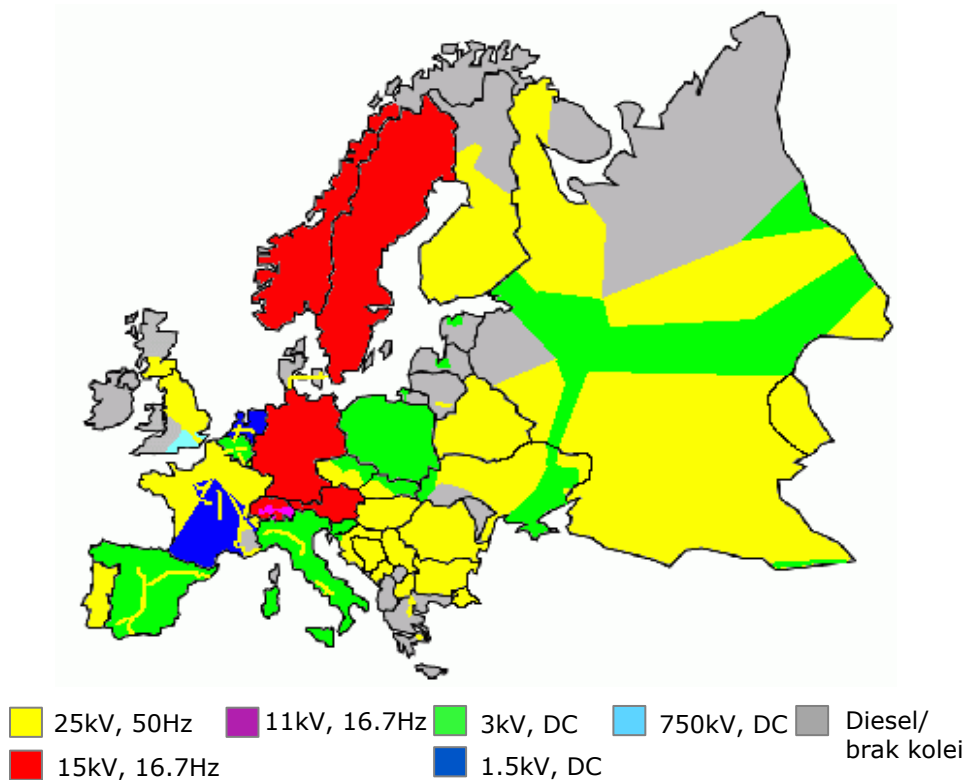
Gdańsk, 22.06.2023 r.



Energetyka Kolejowa

Europa - wiele systemów/różne podejścia, ale zawsze jeden operator systemu zasilania w każdym kraju

Systemy zasilania w Europie



Jeden operator infrastruktury zasilania w każdym kraju zapewniający spójność działania ekosystemu kolejowego

Źródło: eu07.pl/eurotrib.com, 2009

Wady, zalety i przykłady zastosowań poszczególnych systemów (przegląd)

| | Wady | Zalety | Przykłady |
|-----------|--|--|--|
| 3kV DC | <ul style="list-style-type: none"> Ograniczone możliwości przesyłowe ($V_{max} = 250\text{-}260\text{ km/h}$) Szybsze zużycie przewodów jezdnych przy gęstym ruchu szybkich pociągów Spadki napięć i wprowadzanie wyższych harmonicznych do sieci zasilającej (gęsto rozmieszczone podstacje) | <ul style="list-style-type: none"> Symetria obciążenia sieci zasilającej WN Homogeniczność sieci (efekt skali) Tańsza rozbudowa systemów SN i WN | <ul style="list-style-type: none"> Polska: WKD – przejście z 600V DC na 3kV DC Holandia: przejście z 1.5kV DC na 3kV DC (2300 tkm, koszt 0.6 mld EUR vs. 13 mld EUR 25kV) Francja: case study przejścia z 1.5kV DC na 9kV DC (linia Bordeaux-Hendaye, SNCF - UIC Workshop on Energy Efficiency 11/02/2019 Rotterdam) |
| 25kV 50Hz | <ul style="list-style-type: none"> Wymaga przyłączenia do linii WN i NN (110kV+) przy wykorzystaniu wydzielonych linii (PT zasilane z różnych faz) Wymaga symetryzatorów obciążeń <ul style="list-style-type: none"> (wada ta nie występuje przy zasilaniu z układu SFC) Może wymagać dodatkowej kompensacji indukcyjnych spadków napięcia lub 2 x 25kV (50kV) jeżeli rzadka sieć WN/NN (wymaga 220kV+) | <ul style="list-style-type: none"> System umożliwiający efektywną jazdę z $V=250\text{ km/h}+$ Rzadziej rozmieszczone PT niż w 3kV Lżejsza sieć trakcyjna Przy wykorzystaniu układów SFC: <ol style="list-style-type: none"> brak konieczności stosowania wstawek neutralnych co ułatwia przywracanie zasilania w sytuacji awaryjnej, możliwość regulacji przepływami mocy biernej, regulacja poziomu napięcia | <ul style="list-style-type: none"> Dedykowane korytarze transportowe: <ul style="list-style-type: none"> Hiszpania: KDP (AVE 300 km/h, na linii kolejowej Madryt – Barcelona nawet 350 km/h) Francja: KDP (TGV, 320 km/h, patrz: 1.5kV DC nominalnie do $V_{max} = 160\text{ km/h}$) Włochy: KDP (częściowo 2x25kV, plan $V_{max} = 350\text{ km/h}$ co 5 minut) Holandia: linia Rotterdam-Zevenaar/DE (magistrala towarowa), KDP HSL Zuid - Antwerpia (Belgia)-Rotterdam-Schiphol PKP LHS (analiza 3kV DC vs. 25kV 50Hz) Greenfield <ul style="list-style-type: none"> Rail Baltica (Litwa, Łotwa, Estonia) Łotwa: przejście z 3kV DC na 25kV 50Hz (257km, 10 lat) Litwa: elektryfikacja Wilno-Kłajpeda |

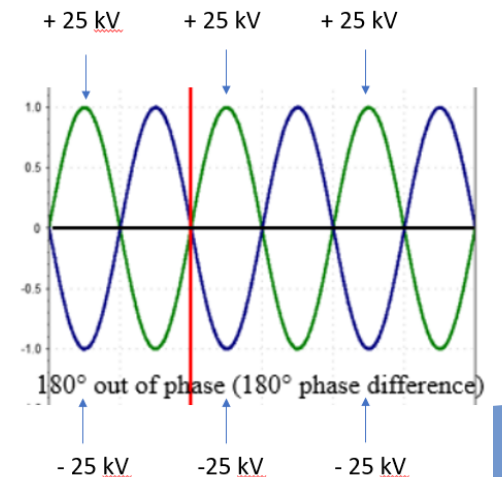
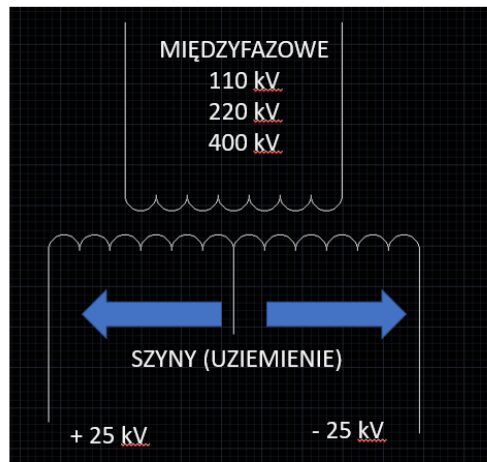
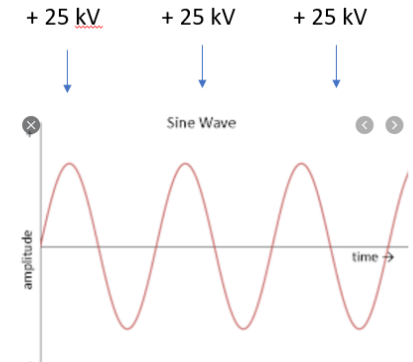
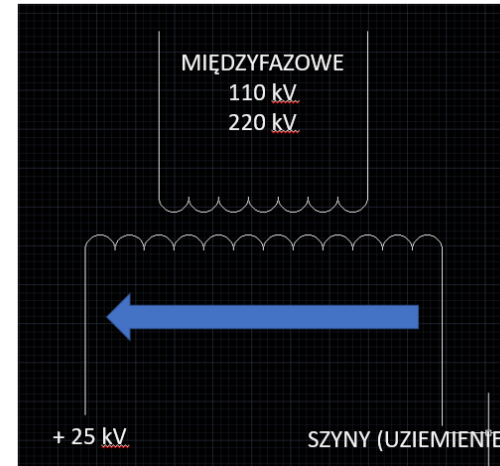
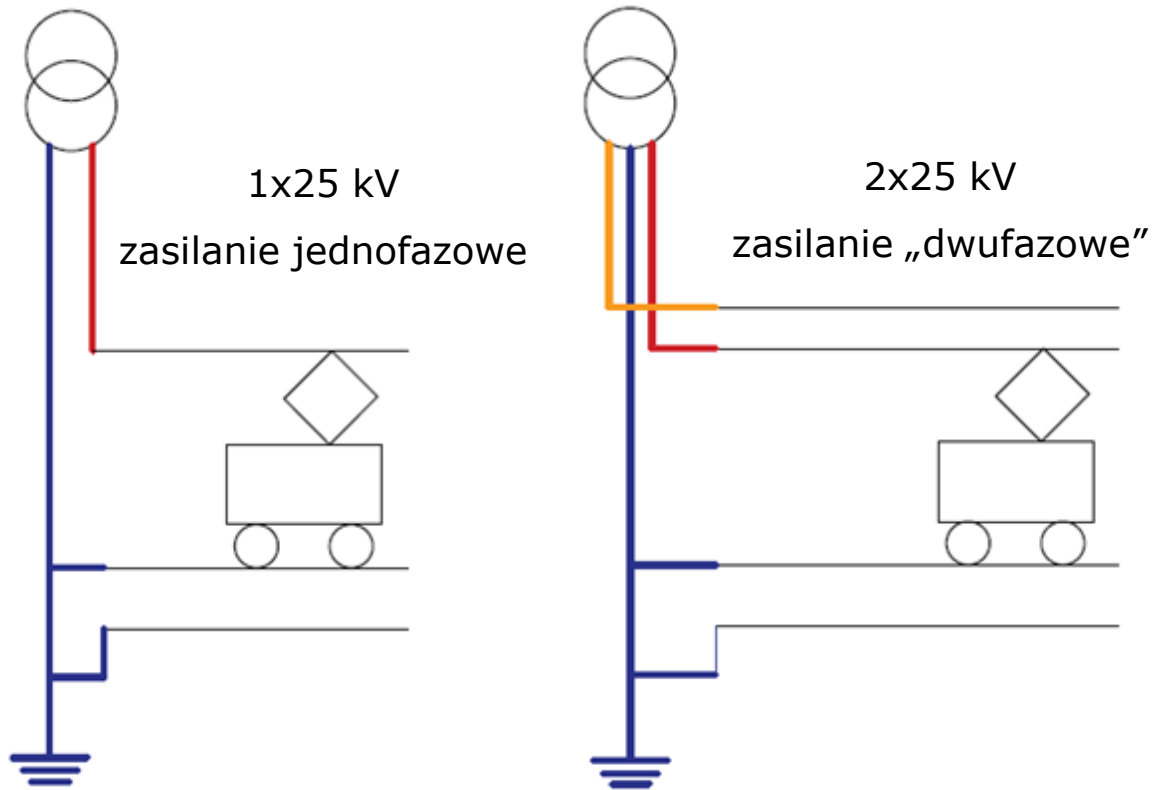
Nie pokazano systemu 15kV, 16 2/3Hz (np. ICE)

Wskazane wykonanie *feasibility study* dla warunków lokalnych

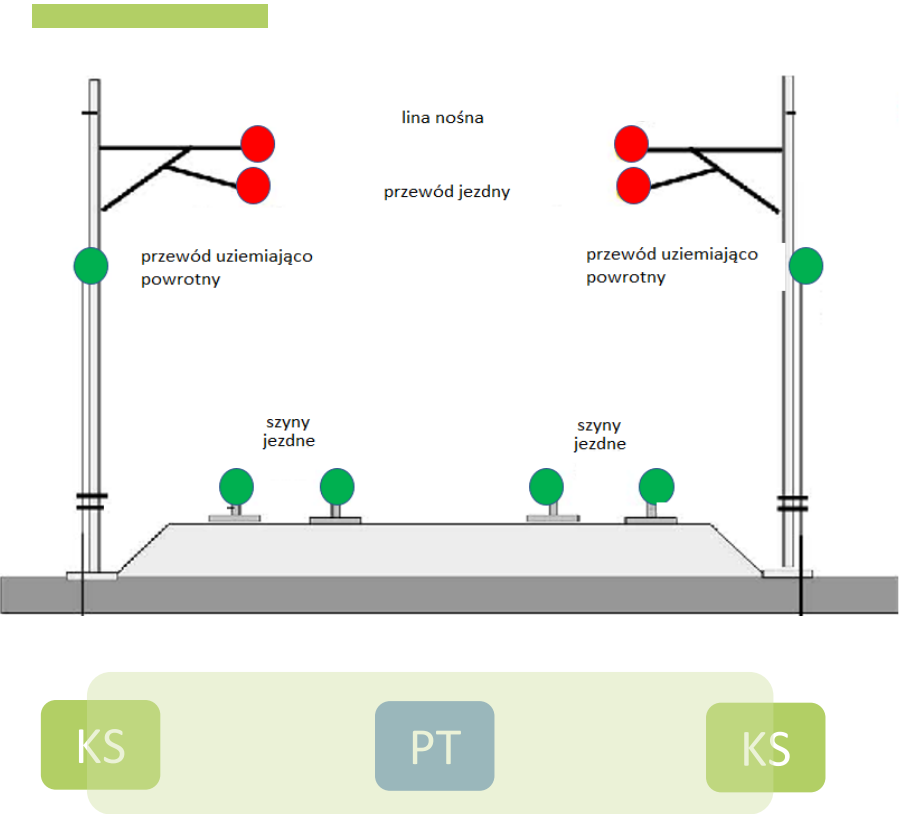
Wprowadzenie

Na początek krótkie wyjaśnienie

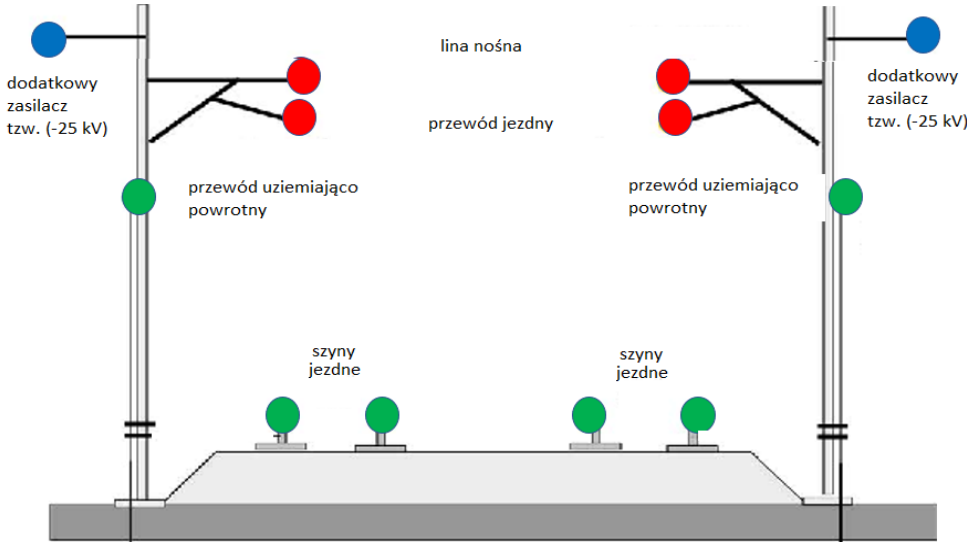
- 25 kV czy 2x25 kV? Jaka jest różnica?



25 kV vs 2x25 kV

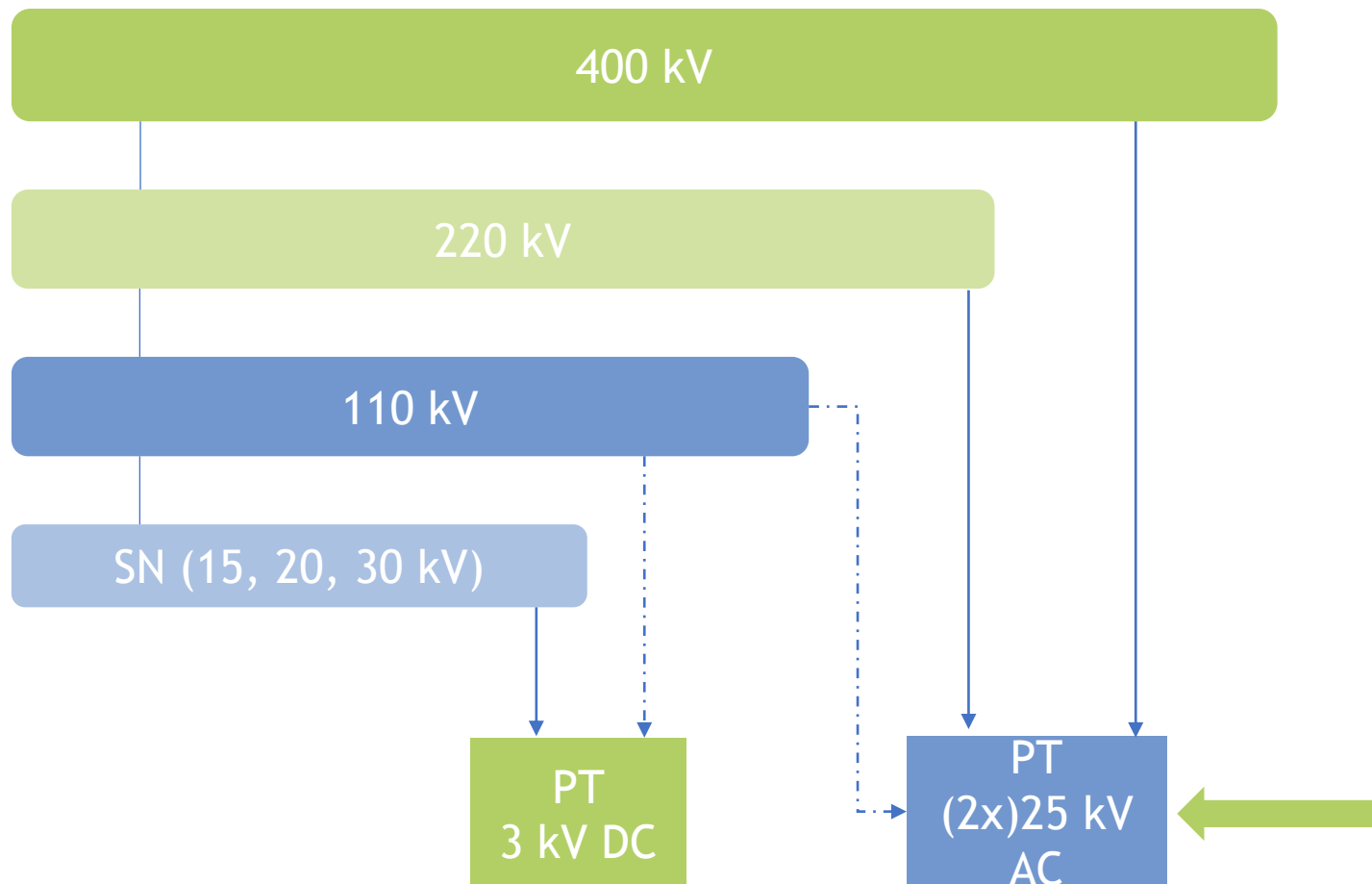


| Napięcie zasilania | U_{min2} V | U_{min1} V | U_n V | U_{max1} V | U_{max2} V | U_{max3} V |
|--------------------|-----------------|-----------------|------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| DC 600 V | | 400 | 600 | 720 | 800 | – |
| DC 750 V | | 500 | 750 | 900 | 1 000 | 1 270 |
| DC 1,5 kV | | 1 000 | 1 500 | 1 800 | 1 950 | 2 540 |
| DC 3,0 kV | | 2 000 | 3 000 | 3 600 | 3 900 | 5 075 |
| AC 15 kV 16,7 Hz | 11 000 | 12 000 | 15 000 | 17 250 | 18 000 | 24 300 |
| AC 25 kV 50 Hz | 17 500 | 19 000 | 25 000 | 27 500 | 29 000 | 38 750 |



Interfejsy podstacji trakcyjnych z systemem energetycznym

Czy konfiguracja napięcia ma znaczenie dla systemu energetycznego?



French AT transformer 225 kV /2x27,5 kV
Nominal power 72 MVA (36-36 MVA) SNCF TGV

Źródło zdjęcia: Tommy O. Jensen, Atkins, Danmark 09.05.2012 Banebranchen. High Performance Railway power
<https://docplayer.net/20749284-High-performance-railway-power.html>



Źródło zdjęcia: <https://elester-pkp.com.pl/pt-cienin-1/>

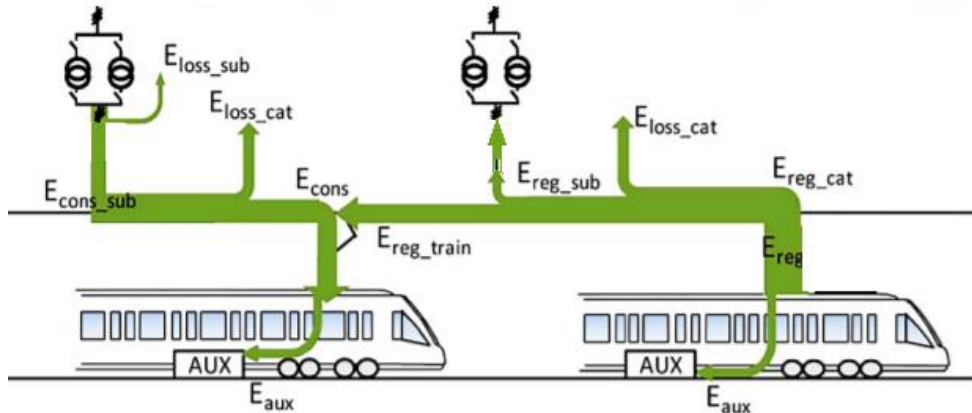
Uwaga !!!
System jednofazowy / dwufazowy!!

Rekuperacja Energii w systemie AC i DC

System AC 25 kV

Możliwa zasadniczo w każdym przypadku

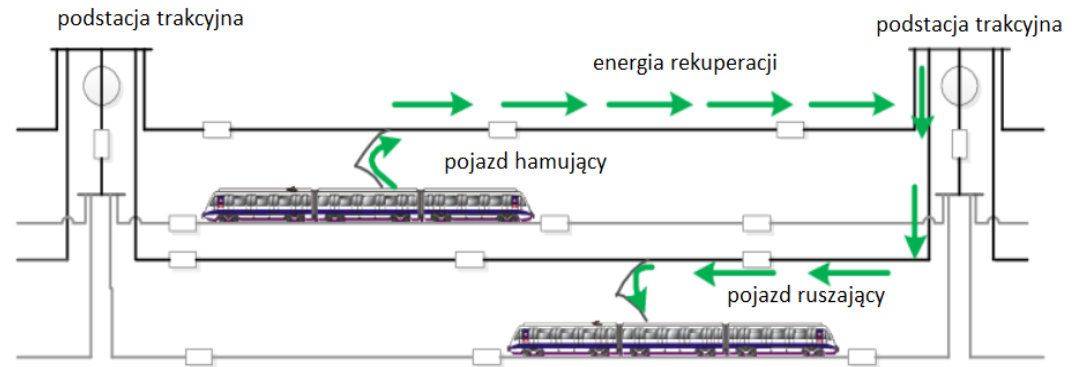
Wykorzystanie energii przez inny pojazd
lub przekazanie do sieci przesyłowej, dystrybucyjnej



System DC 3 kV

Możliwa tylko przy zapotrzebowaniu na energię rekuperacji
Co do zasady wykorzystanie energii przez inny pojazd

W przypadku podstacji dwukierunkowej możliwość oddania energii do sieci.
Możliwość zgromadzenia w magazynie energii (np. PT Garbce)

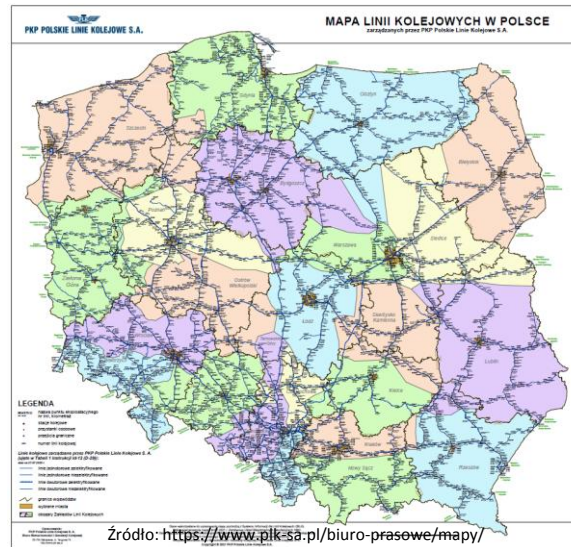


Źródło grafiki: Evaluation of Strategies to Reducing Traction Energy Consumption of Metro Systems Using an Optimal Train Control Simulation Model. S.Su, T.Tang,Y.Wang. Energies 02.2016

Obszary stykowe układów zasilania 3 kV DC oraz 25 kV AC

Czy w warunkach polskich unikniemy powstawania obszarów stykowych?

Nie unikniemy.

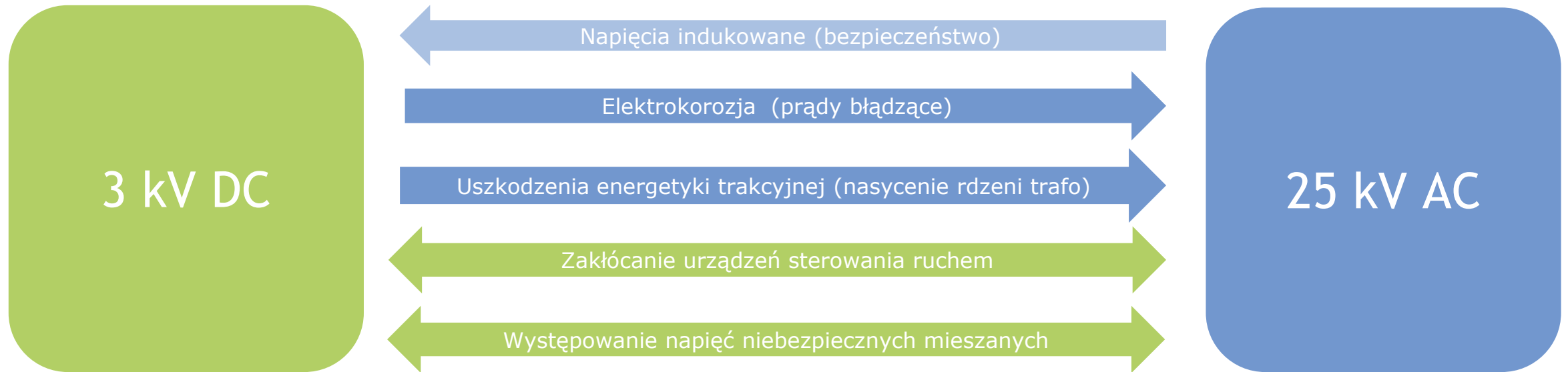


Czy to problem i czerwone światło dla systemu 25 kV w Polsce?

Absolutnie nie! Należy jednak zadbać o spójność i integralność systemów i procesów oraz uwzględnić oddziaływania międzysystemowe na etapie opracowywania koncepcji i projektowania.

Obszary stykowe układów zasilania 3 kV DC oraz 25 kV AC

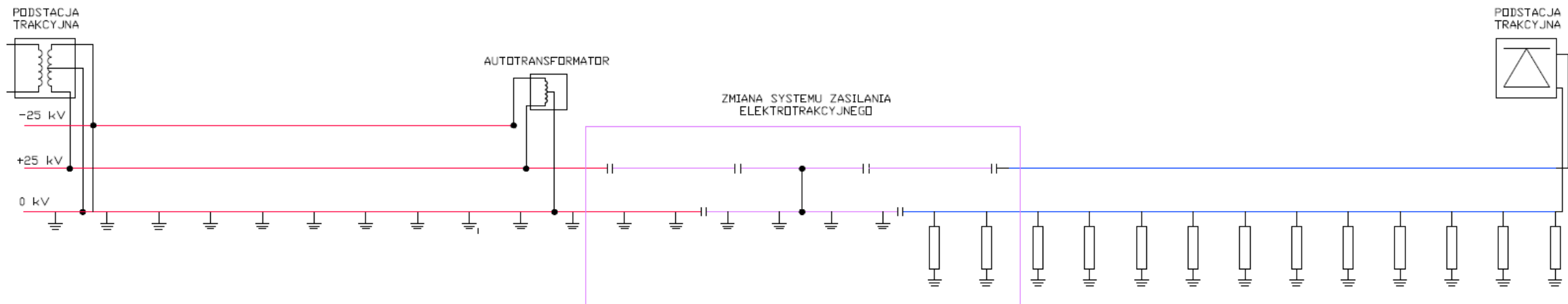
Oddziaływania międzysystemowe - co to znaczy?



Oddziaływania międzysystemowe – gdzie się ich spodziewać?

- **separacja wzdłużna systemów -> zmiana systemu na jednej linii kolejowej**
- **separacja równoległa -> prowadzenie równoległe linii AC i DC**
- **wspólne punkty zasilające (elektroenergetyka zawodowa)**

Obszary stykowe - separacja wzdłużna

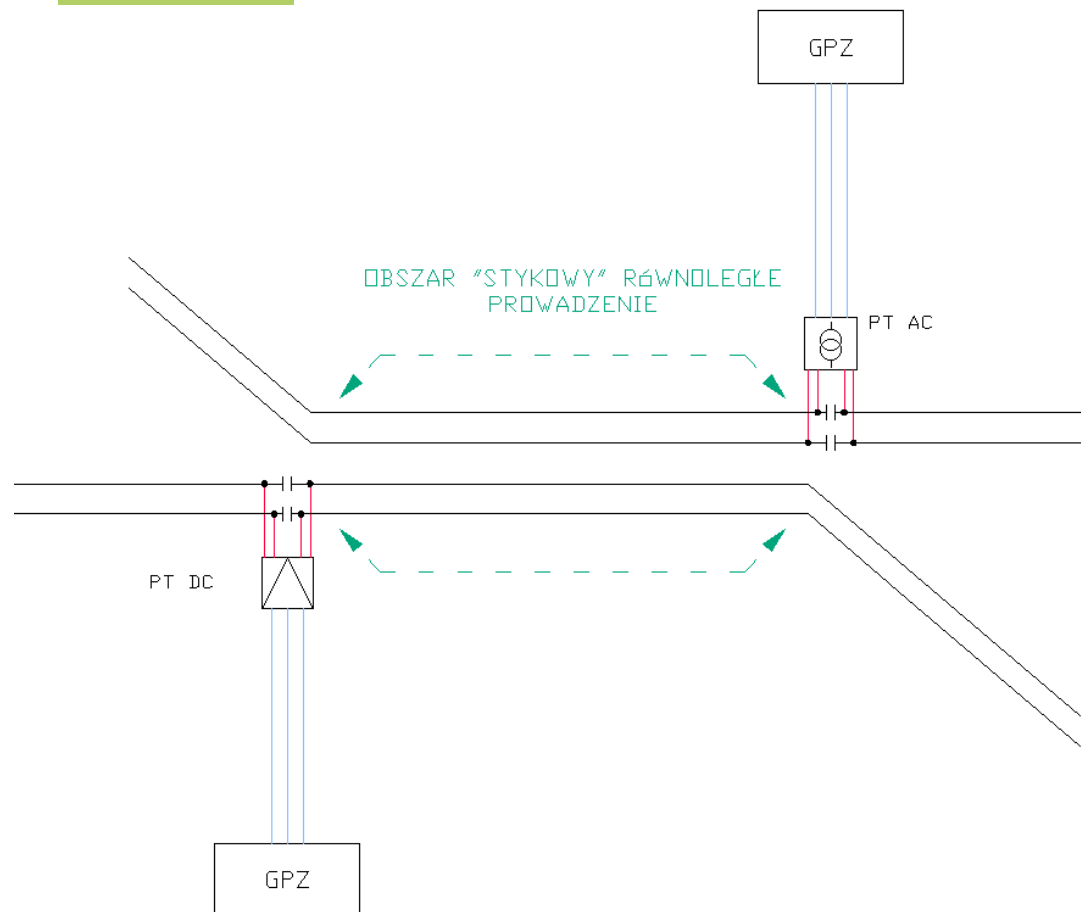


Sekcje separacji systemów zasilania w kontekście sieci trakcyjnej są bardzo dobrze unormowane (EN 50367).

Jednak sekcja separacji to jeszcze sieć dolna, gdzie należy zapewnić **bezpieczeństwo**:

- pośrednie - > poprawna współpraca obwodów torowych
- bezpośrednie -> występowanie napięć niebezpiecznych w normalnej i **awaryjnej pracy** (ruch pociągów + zwarcia - > detekcja + zapewnienie dopuszczalnych napięć bezpiecznych o komponentach AC i DC)

Obszary stykowe - praca równoległa

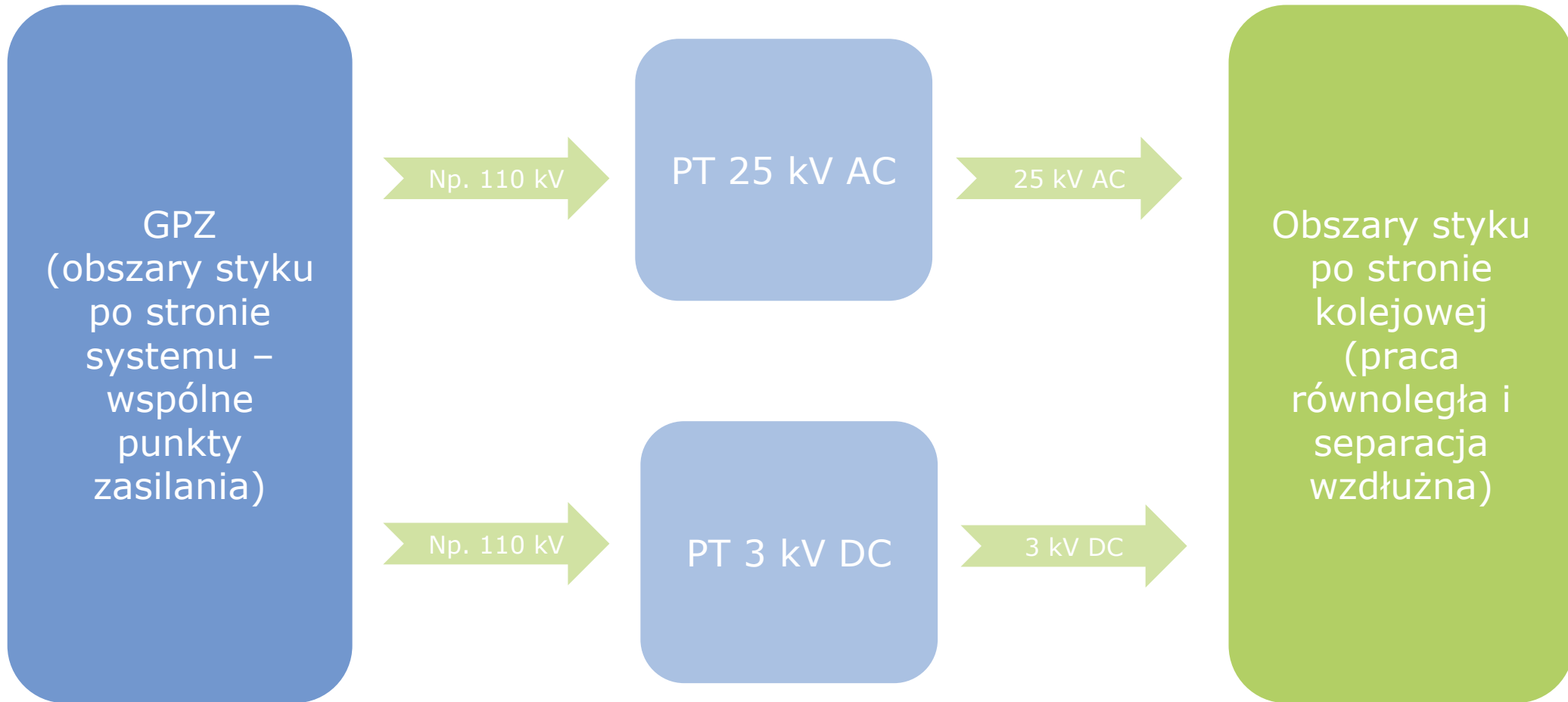


Prowadzenie równoległe linii AC i DC wymusza gruntowne podejście do analiz bezpieczeństwa

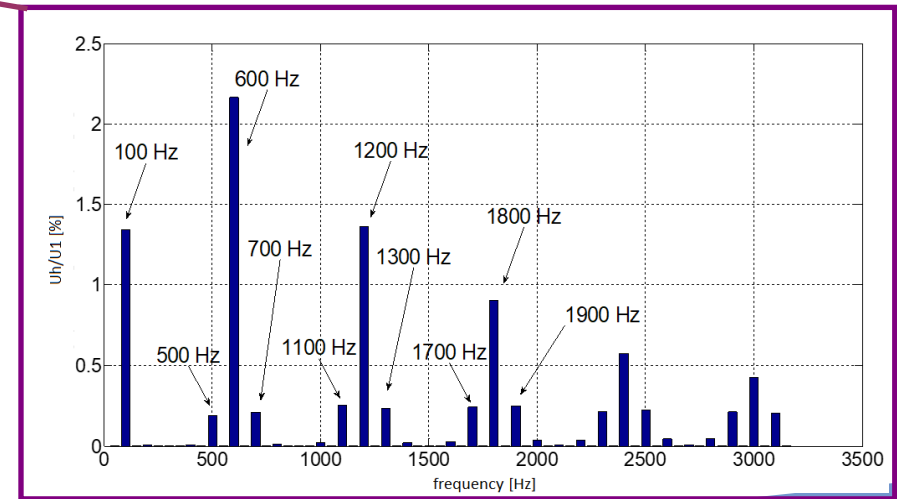
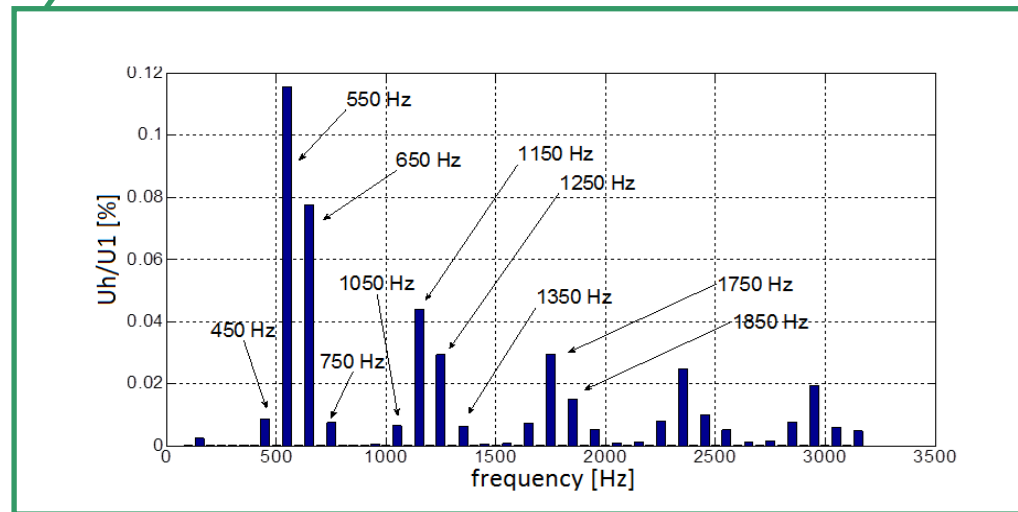
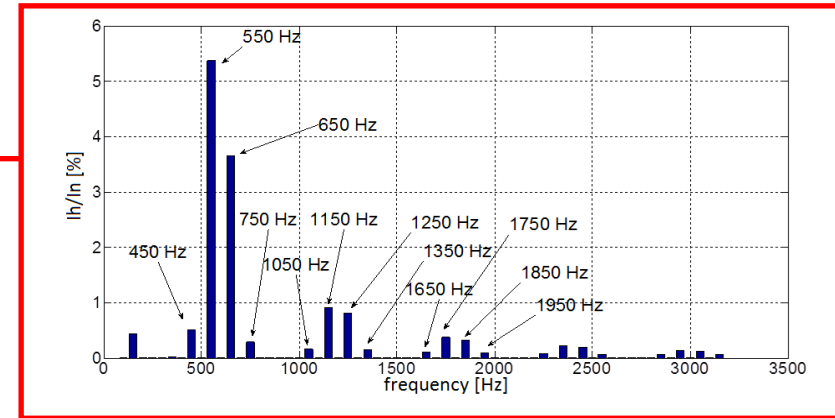
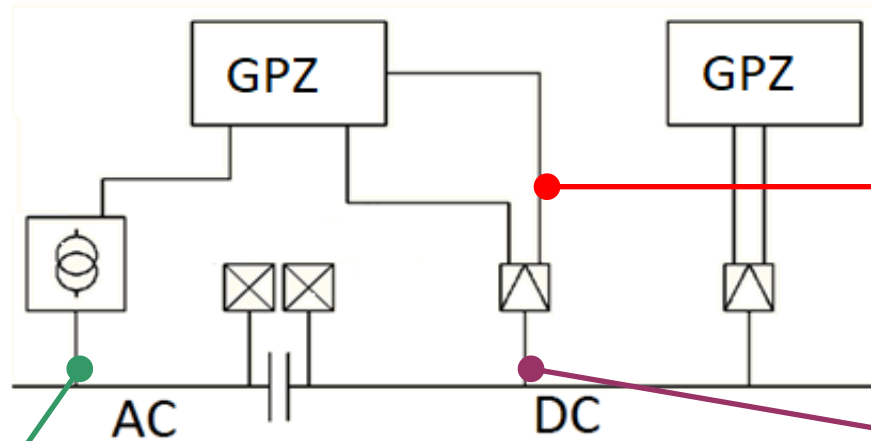
- pośrednie - > poprawna współpraca obwodów torowych
- bezpośrednie -> występowanie napięć niebezpiecznych w normalnej i **awaryjnej pracy** (ruch pociągów + zwarcia - > detekcja + zapewnienie dopuszczalnych napięć bezpiecznych o komponentach AC i DC)

To samo dotyczy kwestii technicznych wpływających bezpośrednio na awaryjność i problemy operacyjne i ruchowe.

Obszary stykowe - te same punkty zasilania



Obszary stykowe - te same punkty zasilania



Szeląg A., Patoka M. IEEE SPEEDAM 2014 Some aspects of impact analysis of a planned new 25kV AC railway lines system on the existing 3 kV DC railway system in a traction supply transition zone.

Doświadczenie i zasoby PGE Energetyka Kolejowa

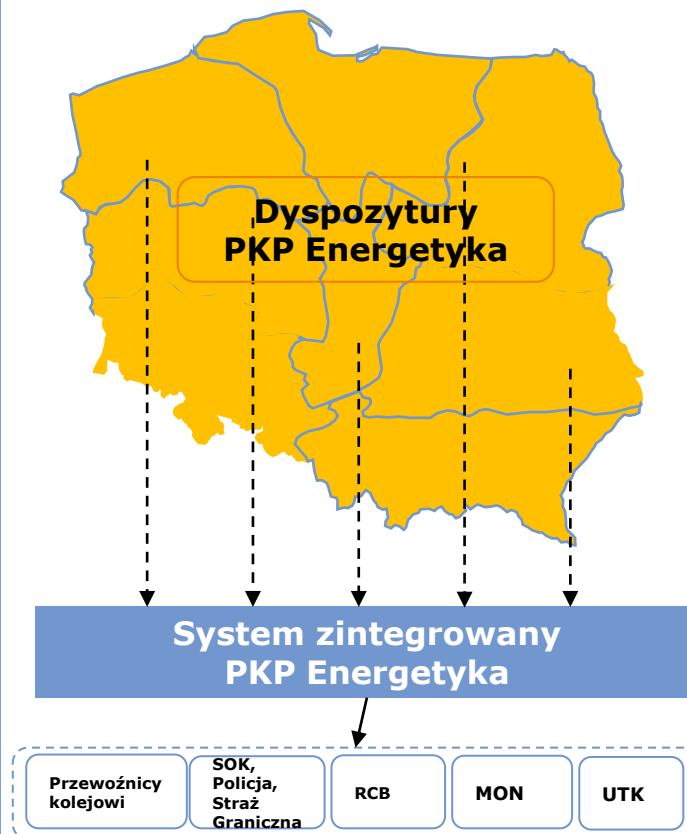
Ogólnopolska skala działania i potencjał



- Sieć dystrybucyjna: 20 tys. km (jedyne operator OSD o zasięgu ogólnokrajowym, punkty styku ze wszystkimi OSD i PSE)
- 520 podstacji trakcyjnych, 305 kabin sekcyjnych zasilających 24 tys. tkm sieci trakcyjnej
- Około 90 pociągów sieciowych, 1000 samochodów oraz 3200 elektromonterów (łącznie z uprawnieniami SN i WN) gwarantujących usługi najwyższej jakości (w tym utrzymanie w trybie 24/7/365, 10x zmniejszenie awaryjności w latach 2015- 2018)
- Nowoczesne rozwiązania cyfrowe (w tym Work Force Management, SCADA)

Skuteczność i bezpieczeństwo

System zintegrowany



Doświadczenie w 25 kV 50Hz

- Studia wykonalności układów zasilania kolei w Polsce (w tym CMK)
- Współpraca z ośrodkami naukowymi (w tym Instytut Kolejnictwa, Politechnika Warszawska, Politechnika Zielonogórska)
- Referencyjne wizyty w krajach EU (SNCF, ADIF, Správa železnic)
- Niemcy: świadczone usługi modernizacji sieci dla Deutsche Bahn (15kV, 16 2/3Hz)

Inne

- MUZa I, II, III (~3 mld PLN, 277 podstacji trakcyjnych i kabin sekcyjnych)
- Poligon szkoleniowy w Słotwinach
- Lider w utrzymaniu i modernizacji sieci trakcyjnej
- R&D: magazyny energii
- Posiadane koncesje
- Stabilne zaplecze osobowe, sprzętowe, kapitałowe

Techniczne wizyty studyjne u operatorów z doświadczeniem z KDP i 25 kV AC

Przykład: East Japan Railway Company – Shinkansen (2019)

2019.10.17

Maintenance of Overhead Contact Lines

Electrical & Signal Network System Department
Railway Operation Headquarters
East Japan Railway Company

Introduction

Sales areas : Kanto, Koshinetsu, and Tohoku

Operating kilometers : 7,457 km
Conventional railway: 6,263 km
High-speed railway: 1,194 km

Number of stations : 1,665 stations

Number of passengers on and off:
17 million passengers/day

Electric kilometers:
Conventional railway: DC 1.5 kV: 2,604 km
AC 20 kV: 1,683 km
High-speed railway: AC 25 kV: 1,194 km

Ratio of rail electrification
Conventional railway: 69%
High-speed railway: 100%
Total : 74%

3. Maintenance method of OCL

Inspection by engineer's eye on maintenance wagon

- Heavy machines for Inspection/Repair of overhead contact lines of Shinkansen -

MW (for inspection)
Heavy machine for overhead line inspection

MTW (for repair)
Heavy machine for overhead line repair

Example of inspection

Diagnosis of degradation of transformers

Gas oil analysis is usually conducted **once every five years**
Oil if acetylene and hydrogen generated by the discharge are generated → **consider replacement**
O if the other gases exceed the caution level, → monitor the progress by shortening the gas oil analysis cycle, etc.

Results of oil gas analysis

Only C₂H₆ accounts for more than 100%.
C₂H₆ is a gas generated by aging and oxidative deterioration of insulating oil

Caution Level I exceeded only for C₂H₆
⇒ No overheating or discharging, etc....

1,539 views | Jul 12, 2019, 09:10am

Fastest Bullet Train Ever Begins Test Runs In Japan

Lea Lane Contributor @ Travel

Remember: Tales, Truths, Delights from 100 Countries

Bullet trains are parked at a train yard in Tokyo, Japan. © 2017 BLOOMBERG FINANCE LP



Maintenance items of contact wires

- Insulated overlap -

overhead view

Insulation distance > 300mm

side view

Insulation distance > 200mm

Distance between "Contact wire(A-side)" and "lower end of insulator in pulled up lines" > 200mm

Overview of ESS using a lithium ion battery

System

| | |
|----------------|---------|
| Rated capacity | 2000 kW |
| Rated voltage | 1650 V |
| Rated current | 1210 A |

DC/DC Converter

| | |
|------------------|---------------------|
| Devices | Li-ion Battery |
| Module capacity | 173V, 5.5Ah |
| Configuration | 4series, 20parallel |
| Max. current | 1000 A |
| Capacity | 76 kWh |
| Reduction effect | 1100kWh/day |

14

Japan has started testing its fastest-ever bullet train -- capable of reaching 400 kilometers per hour (249 mph) -- as it continues to develop the revolutionary mode of travel. The flurry of new models coincides with Japan's preparations to host the 2020 Summer Olympics in Tokyo.

The ALFA-X version of the Shinkansen train began three years' worth of test runs. Once it enters operation sometime around 2030, it will run at speeds of up to 360 kph (224 mph), comfortably making it the world's fastest bullet train. Its top speed is expected to exceed the fastest now in service by at least 40 kph.

Bieżąca wymiana doświadczeń z operatorami infrastruktury 3kV DC i 25kV AC


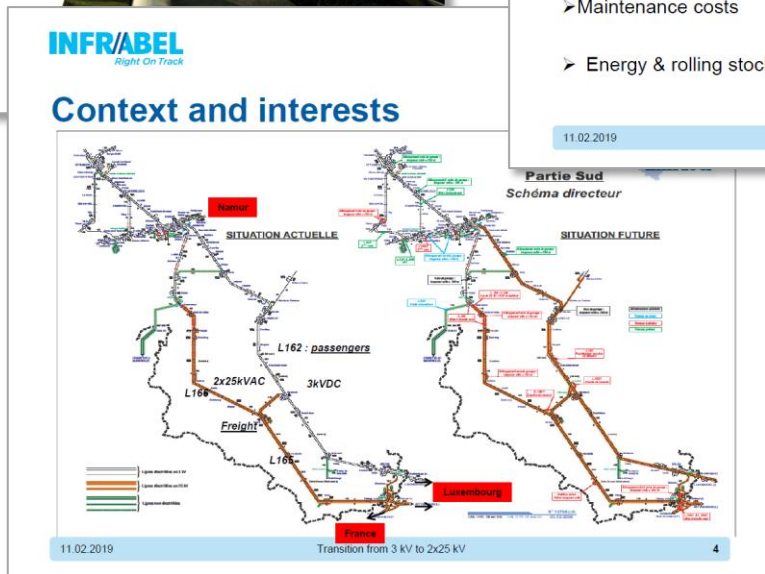
Przykład: Infrabel (Belgia)

INFRABEL
Right On Track

Transition from 3 kV to 2x25 kV:

lessons from the past years

Jennifer Widart
Ir. Substations
Koen De Gussemé
Manager Substations & Power Distribution
11.02.19

INFRABEL
Right On Track

Context and interests

- Interest of 2x25kV on L162 :
 - CFL (Luxembourg railways) decided to modernize the axe Luxembourg – border in 25kVAC (2016)
 - Others access lines to Luxembourg (L165, 166 and L42) are also in 25kVAC.
 - Power necessary for increasing speed and traffic
 - Loss of existing 70kV feeding points of power grid transmission operator (supply of our current 3kVDC substations)
 - Maintenance costs
- Energy & rolling stock aspects are for


11.02.2019 Transition from

INFRABEL
Right On Track

Conception des postes - PAT

Nouvelle approche par l'utilisation de cellules GIS :

- Diminution des coûts d'entretien
- Sécurité du personnel
- Diminution du risque de vol de câbles



Transition from 3 kV to 2x25 kV 11

INFRABEL
Right On Track

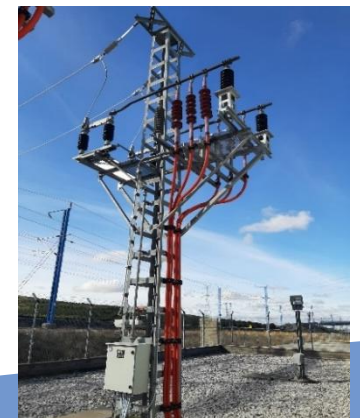
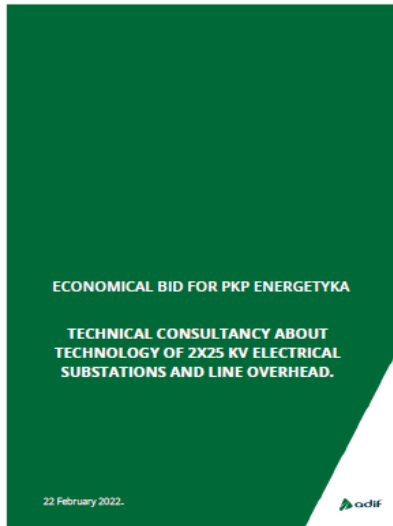
Conception des postes – SST Heinsch



11.02.2019 Transition from 3 kV to 2x25 kV 13

Bieżąca wymiana doświadczeń z operatorami infrastruktury 3kV DC i 25kV AC

Przykład: ADIF (Hiszpania, PT Segovia)



Bieżąca wymiana doświadczeń z operatorami infrastruktury 3kV DC i 25kV AC

Przykład: Správa železnic (Czechy, PT Otrokovice)



Pracujemy nad poligonem szkoleniowym oraz stanowiskiem badawczym AC 25 kV

PGE Energetyka Kolejowa posiada poligon szkoleniowy do pracy na sieci DC 3 kV, który jest w trakcie rozbudowy o sieć trakcyjną oraz komponenty układu zasilania AC 25 kV 50 Hz. Rozważana jest także budowa stanowiska badawczego zasilanego napięciem AC 25 kV 50 Hz.

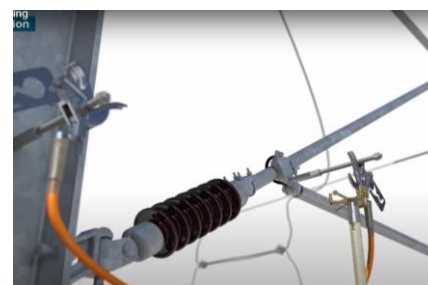


- Określanie standardów pracy przy urządzeniach systemu zasilania AC 25 kV
- Eksploatacja obserwowana aparatów i urządzeń zasilanych napięciem 25 kV 50 Hz
- Testowanie systemów sterowania aparatów elektrycznych

Poligon szkoleniowy AC 25 kV SN

Potrzeba poligonu:

- poznanie nowoczesnych rozwiązań technicznych dla kolei dużych prędkości
- budowanie sieci trakcyjnej w warunkach szkoleniowych
- podnoszenie kwalifikacji pracowników w zakresie eksploatacji urządzeń podstacji trakcyjnych oraz kabin autotransformatorowych
- zwiększanie kompetencji w zakresie przestrzegania zasad BHP



Źródło: Network Rail / youtube

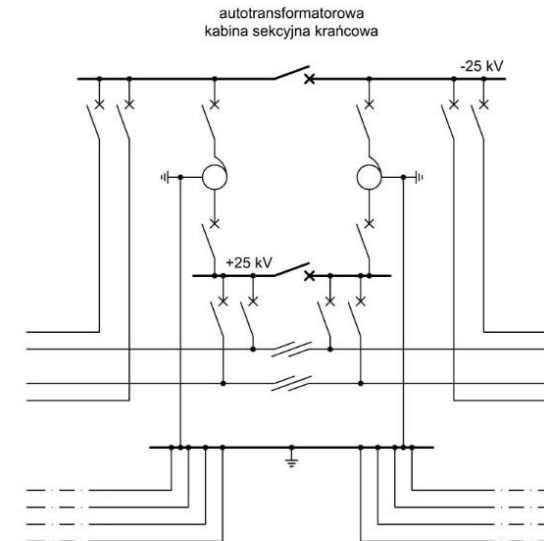
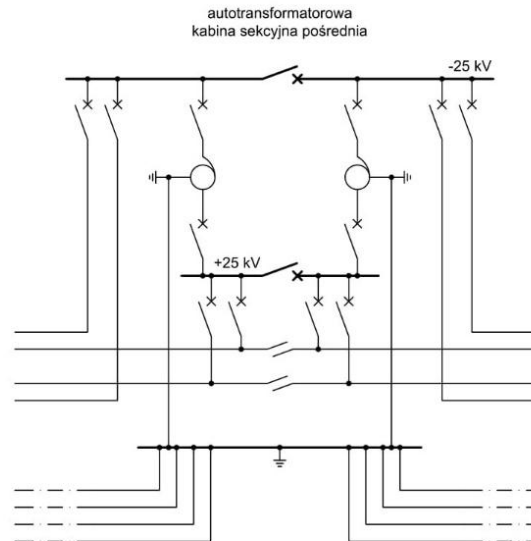
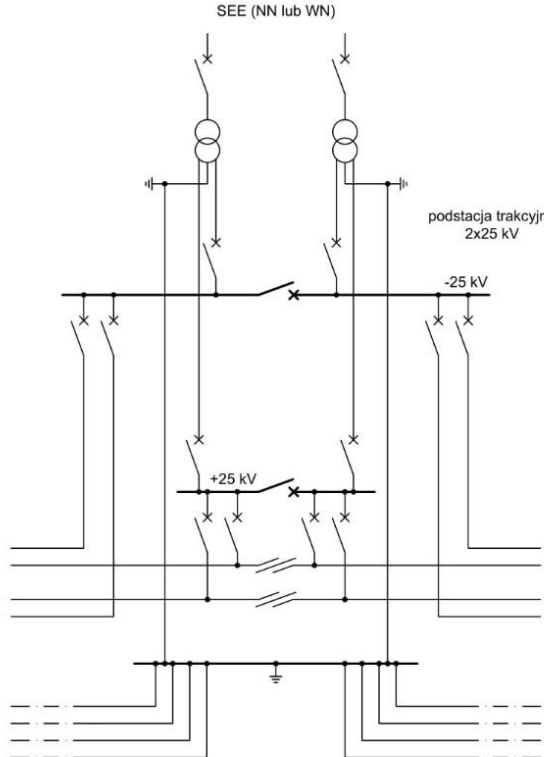


Źródło: <https://www.crossrail.co.uk/news/articles/powering-britains-newest-railway-its-electrifying>

Standardy techniczne AC 25 kV SN

PGE Energetyka Kolejowa równolegle prowadzi prace nad standardami budowy podstacji trakcyjnych AC w systemie 25 kV. Opracowujemy je w oparciu o wiedzę światowych liderów w tej dziedzinie. Prowadziliśmy spotkania eksperckie z hiszpańskim zarządcą infrastruktury kolejowej ADIF, uczestniczyliśmy w wizycie referencyjnej w Hiszpanii, byliśmy również członkiem warsztatów technicznych 25 kV organizowanych przez Správa železnic (zarządca infrastruktury) w ich siedzibie w Czechach.

Do końca 2023 r. planujemy zakończenie prac i ustanowienie standardu.



Podsumowanie

W celu bezpiecznej eksploatacji systemu trakcji elektrycznej prądu przemiennego wiedza i doświadczenie w zakresie elektroenergetyki kolejowej są kluczowe.

- każdy system zasilania kolei jest bardzo specyficzny niezależnie od napięcia zasilania (odbioru niespokojne z punktu widzenia systemu energetycznego, rozróżnialność wysokomocowych warunków normalnych od stanów awaryjnych, współpraca wielu podsystemów w swojej bliskości itd.)
- posiadanie pełnego obrazu całego systemu jest kluczowe – kolej to interfejsy wzajemne wszystkich podsystemów: energetyka zawodowa – energetyka kolejowa – sieć trakcyjna – tabor – sterowanie – automatyka
- mimo zastosowania wielu systemów zasilania w danym kraju, celem zapewnienia spójności i bezpieczeństwa funkcjonowania całego ekosystemu kolejowego, funkcję operatora pełni tylko jeden podmiot
- system prądu przemiennego dodaje dodatkową warstwę zjawisk -> jest „kolejnym stopniem wtajemniczenia” – szczególnie w warunkach polskich gdzie w przyszłości jego współpraca z systemem 3 kV DC będzie codziennością.

W PGE Energetyka Kolejowa system zasilania 2x25 kV AC to jedynie dodatkowy temat w zakresie posiadanych już kompetencji

Dziękuję





Prowadzimy w zielonej zmianie