

# **Rozdzielenie uziomów związanych z trakcją elektryczną prądu stałego i przemienneego od uziomów energetyki publicznej**

**Autorzy:**

**Mgr inż. Zygmunt Kulhawik**

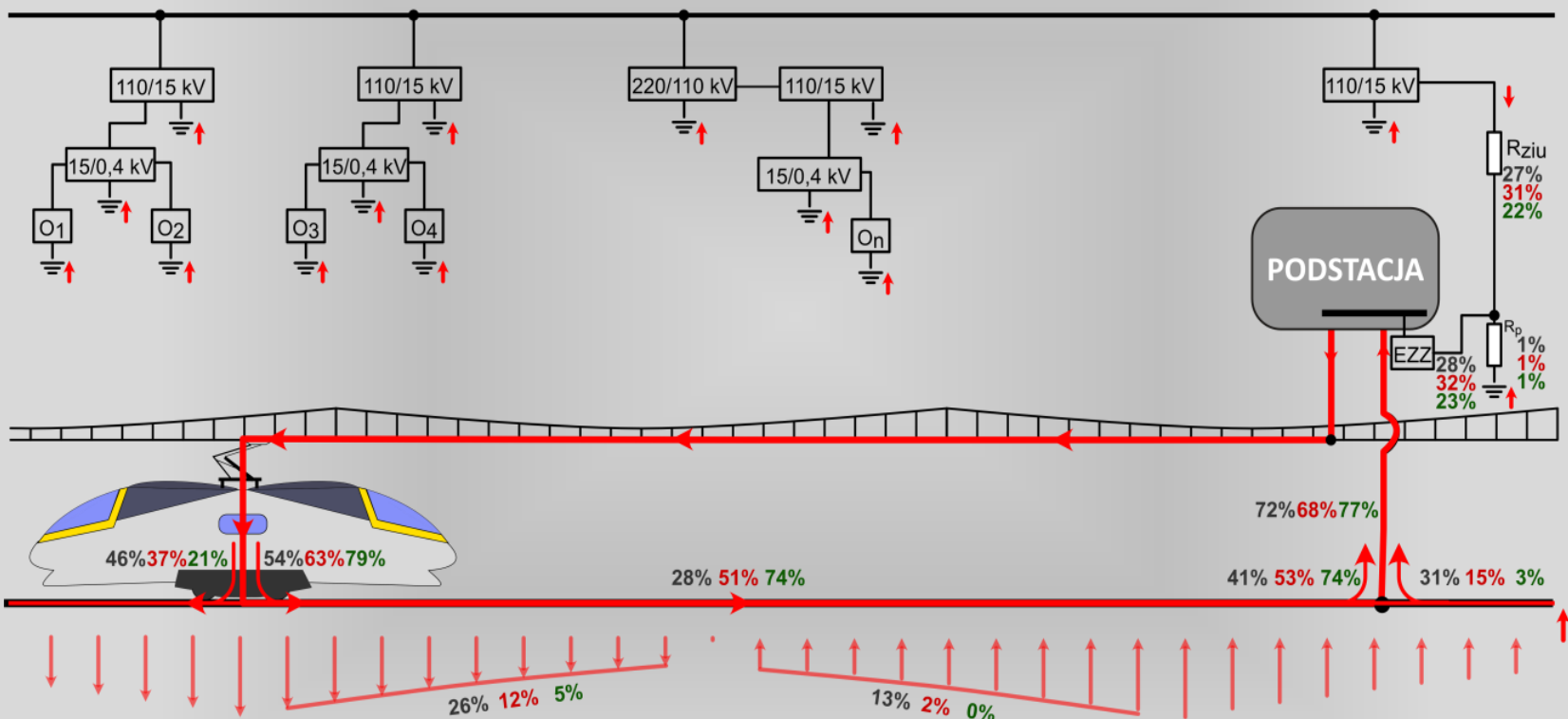
**Dr inż. Dariusz Pieńkowski**

# Wstęp

- Jednym z ważniejszych czynników mających wpływ na prądy błędzące jest brak rozdziału zespolonej rezystancji uziemiającej Energetyki od uziomów podstacji trakcyjnych i innych urządzeń i budowli związanych z torami, co jest wymagane przez normę PN-EN 50122-1:2023-06
- Drugim z ważniejszych czynników jest zachowanie ciągłości sieci powrotnej (torów) oraz izolacji torów od ziemi o czym mówi norma PN-EN 50122-2:2023-06

# Którędy płynie prąd powrotny przy połączonym uziemiu podstacji z instalacją uziemiającą Energetyki

Zespolona instalacja uziemiająca ZIU



Rezystancja jednostkowa szyny - ziemia

- R<sub>j</sub> = 0,4 Ωkm;
- R<sub>j</sub> = 2 Ωkm;
- R<sub>j</sub> = 10 Ωkm

R<sub>p</sub> = 2,0 Ω; R<sub>ziu</sub> = 0,1 Ω - wypadkowa rezystancja instalacji ZIU; szyna minusowa uziemiona lub połączona przez EZZ

## Którędy płynie prąd powrotny przy połączonym uziemiu podstacji z instalacją uziemiającą Energetyki

Prąd powrotny powinien wracać do podstacji szynami. W rzeczywistości część prądu wypływa z szyn do ziemi w rejonie pociągu i wraca do szyn w rejonie podstacji. Rezystancja tego obwodu to  $0,2 \div 0,4 \Omega$

Część prądu wraca poprzez instalacje uziemiające Energetyki do uziomu podstacji i dalej do szyn by wrócić do podstacji kablem powrotnym. Rezystancja tego obwodu to  $1 \div 2,2 \Omega$ . Po zadziałaniu EZZ (połączenie uziomu z szynami) rezystancja ta maleje do poziomu  $0,2 \div 0,3 \Omega$ .

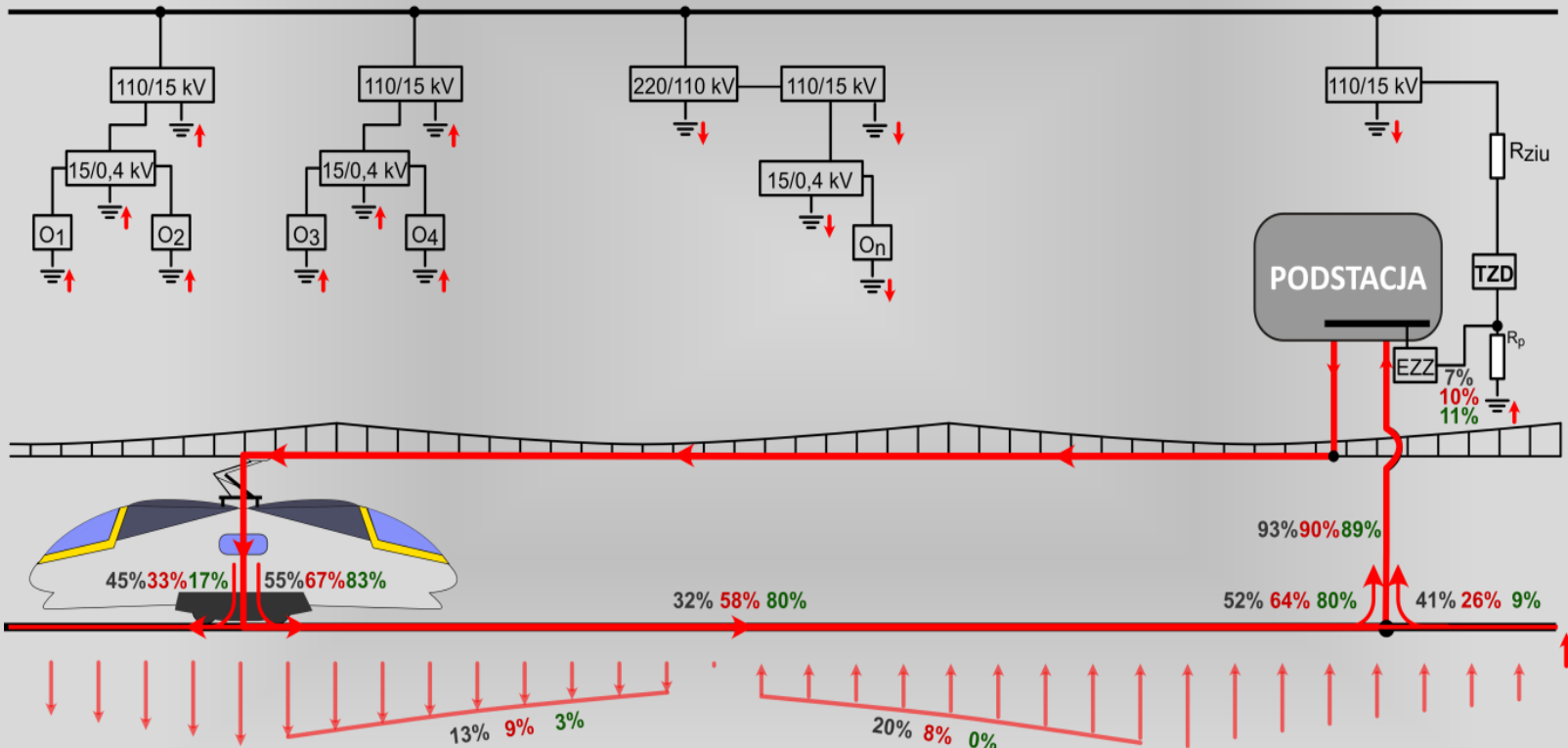
Rezystancja szyn na długości 10 km wynosi ok.  $0,1 \Omega$  dla linii dwutorowej.

Można oszacować ile prądu płynie szynami, ile ziemią a ile instalacją uziemiającą Energetyki.

Prąd błędny jest częścią prądu powrotnego płynącego przez ziemię i instalacje przewodzące.

# Którędy płynie prąd powrotny przy nie połączonym uziemiu podstacji z instalacją uziemiającą Energetyki

Zespolona instalacja uziemiająca ZIU



Rezystancja jednostkowa szyny - ziemia

- $R_j = 0,4 \Omega km$ ;
- $R_j = 2 \Omega km$ ;
- $R_j = 10 \Omega km$

$R_p = 0,5 \Omega$ . Brak połączenia ZIU z  $R_p$  - włączony TZD ; szyna minusowa uziemiona lub połączona przez EZZ

## **Którędy płynie prąd powrotny przy odizolowanym uziomie podstacji od instalacji uziemiającej Energetyki**

Prąd powrotny tak samo wraca do podstacji szynami oraz ziemią. Rezystancja tego obwodu ziemią jest takim samym poziomie ( $0,2 \div 0,4 \Omega$ ).

Część prądu płynie też przez instalacje uziemiające Energetyki ale bez udziału uziomu podstacji. Prąd wypływa z szyn do tej instalacji w rejonie pociągu i wpływa do szyn w rejonie podstacji. Rezystancja tego obwodu jest czterokrotnie większa niż przy połączonych uziomach podstacji i Energetyki i wynosi  $0,4 \div 0,6 \Omega$ .

Rezystancja szyn na długości 10 km wynosi ok.  $0,1 \Omega$  dla linii dwutorowej.

Można oszacować ile prądu płynie szynami, ile ziemią a ile instalacją uziemiającą Energetyki.

# Definicja stanu zakłócającego

Stan zakłócający jest to takie zjawisko w którym urządzenie ograniczające napięcie (VLD) przechodzi w stan przewodzenia.

Może to być wywołane przez:

- 1) Władowanie atmosferyczne z ogranicznikiem przepięć w obwodzie. Zjawisko trwa kilkaset mikrosekund i po tym czasie VLD wraca do stanu wysokiej rezystancji.
- 2) Wyładowanie atmosferyczne z odgromnikiem różkowym w obwodzie. Zjawisko trwa ok. 40 milisekund i po tym czasie VLD wraca do stanu wysokiej rezystancji (ok.100 razy dłużej). Energia w obwodzie zwarcia może być nawet kilkakrotnie większa niż od samego wyładowania.
- 3) Zwarcie w sieci trakcyjnej. Zjawisko jak w pkt.2.
- 4) Przepięcia łączeniowe podczas załączania i wyłączania prądu. Zjawisko trwa nawet kilkanaście minut i po tym czasie VLD wraca do stanu wysokiej rezystancji. Zjawisko jest szczególnie groźne przy jednocześnie występujących przerwach w sieci powrotnej (wymiana szyn i rozjazdów bez połączeń obejściowych, brak łączników lub kradzież linek dławikowych).

## Zagrożenia w wymienionych wyżej stanach zakłóceńowych. Brak rozdziału uziomów kolejowych od instalacji uziemiającej Energetyki

- Stan 1) Małe zagrożenie w srk, nie ma zagrożenia uszkodzeń w instalacji nn.
- Stan 2) Zagrożenie w srk, ochronniki srk nie są przystosowane do „długich” obciążeń. Energia w obwodzie ochronnika srk jest co najmniej dwukrotnie większa. Nie ma zagrożenia uszkodzeń w instalacji nn.
- Stan 3) Istnieje zagrożenie w srk przy zwarcjach o dużym prądzie, co występuje w pobliżu podstacji trakcyjnych. Nie ma zagrożenia uszkodzeń w instalacji nn.
- Stan 4) Istnieje duże zagrożenie w obwodach srk oraz duże zagrożenie uszkodzeń w instalacji nn ze względu na długi czas trwania takiego stanu

**Zagrożenia w wymienionych wyżej stanach zakłóceńowych.**

**Rozdzielone uziomy kolejowe od instalacji uziemiającej Energetyki**

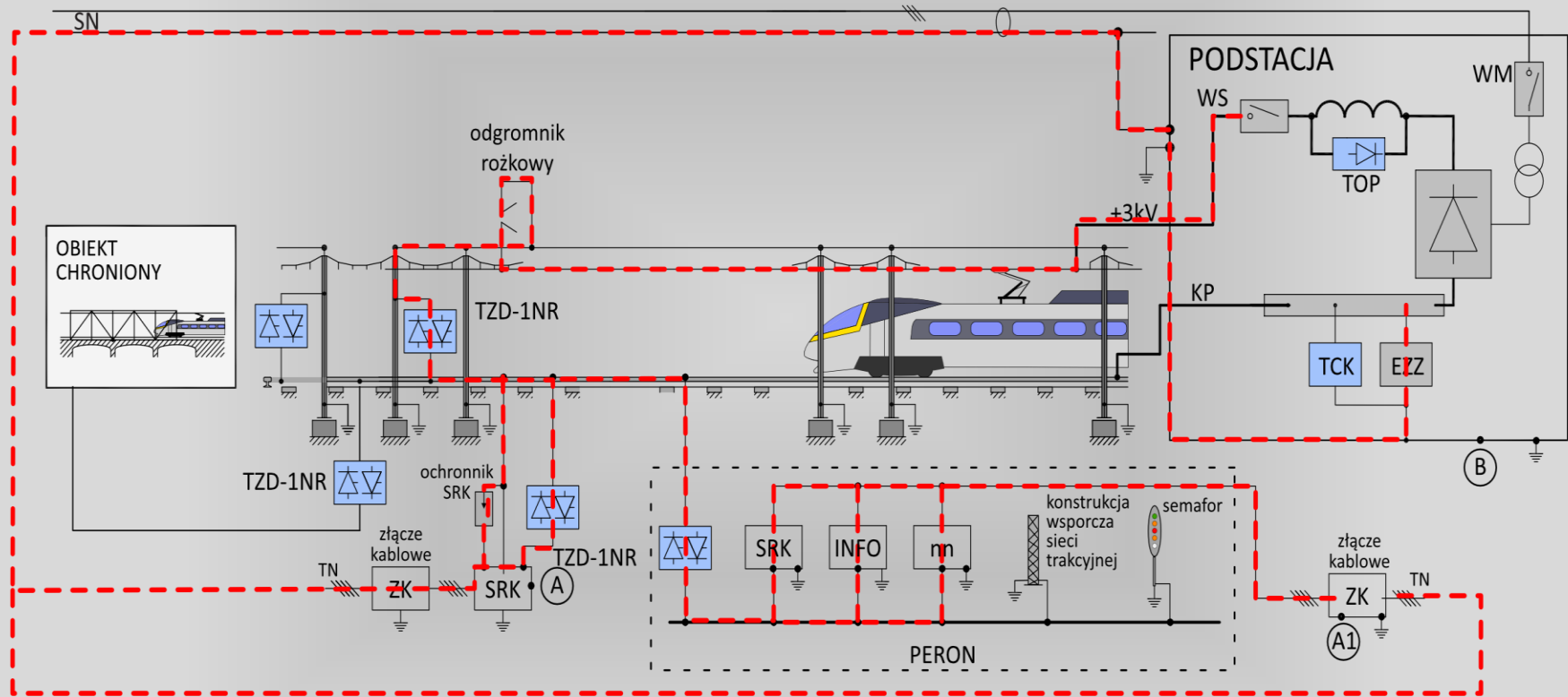
Stan 1) Nie ma zagrożeń w srk przy dobrze dobranych ochronnikach srk. Nie ma zagrożenia uszkodzeń w instalacji nn.

Stan 2) Małe zagrożenie w srk. Energia wynikająca od zwarcia jest ok. kilkadziesiąt razy mniejsza niż przy połączonych uziomach. Nie ma zagrożenia uszkodzeń w instalacji nn.

Stan 3) Istnieje zagrożenie w srk tylko w przypadku zwarć niewyłączalnych o długim czasie trwania, co jest zjawiskiem rzadkim. Nie ma zagrożenia uszkodzeń w instalacji nn.

Stan 4) Istnieje małe zagrożenie w obwodach srk oraz bardzo małe zagrożenie uszkodzeń w instalacji nn przy zaistnieniu jednocześnie wielu niekorzystnych czynników np. kradzież linek dławikowych na dużej odległości.

# Aktualny powszechny układ bez rozdzielania uziomów w warunkach zakłóceń



## Aktualny układ bez rozdzielania uziomów w warunkach zakłóceń

Aktualnie **urządzenia** znajdujące się w strefie sieci trakcyjnej są przeważnie zasilane w układzie TN a żyła powrotna kabli zasilających jest uziemiona w podstacji trakcyjnej.

Urządzenia **te** dla ochrony przeciwporażeniowej są uszyniane przez VLD.

Po zadziałaniu VLD od wyładowań atmosferycznych, zwarcie w sieci czy też napięcie zakłócających, następuje metaliczne połączenie szyn z uziomem podstacji trakcyjnej o rezystancji na poziomie  $0,2 \div 0,3 \Omega$  (połączenie pkt. A lub A1 z pkt. B).

Po zadziałaniu VLD od napięć zakłócających prąd powrotny do momentu zadziałania EZZ płynący instalacją uziemiającą Energetyki jest ograniczony dodatkowo rezystancją uziomu PT na poziomie  $0,5 \div 2,0 \Omega$ . Prąd płynący przez uziom podstacji powoduje jednak wzrost potencjału uziomu i w efekcie zadziałanie EZZ. Po zadziałaniu EZZ prąd gwałtownie wzrasta do poziomu nawet kilkudziesięciu procent prądu powrotnego.

## Aktualny układ bez rozdzielania uziomów w warunkach zakłóceńowych

W przypadku przekroczenia prądu nastawy (600 A) EZZ w krótkim czasie (ok. 200 ms) wyłącza podstację nie powodując uszkodzenie instalacji nn znajdujących się w tym obwodzie.

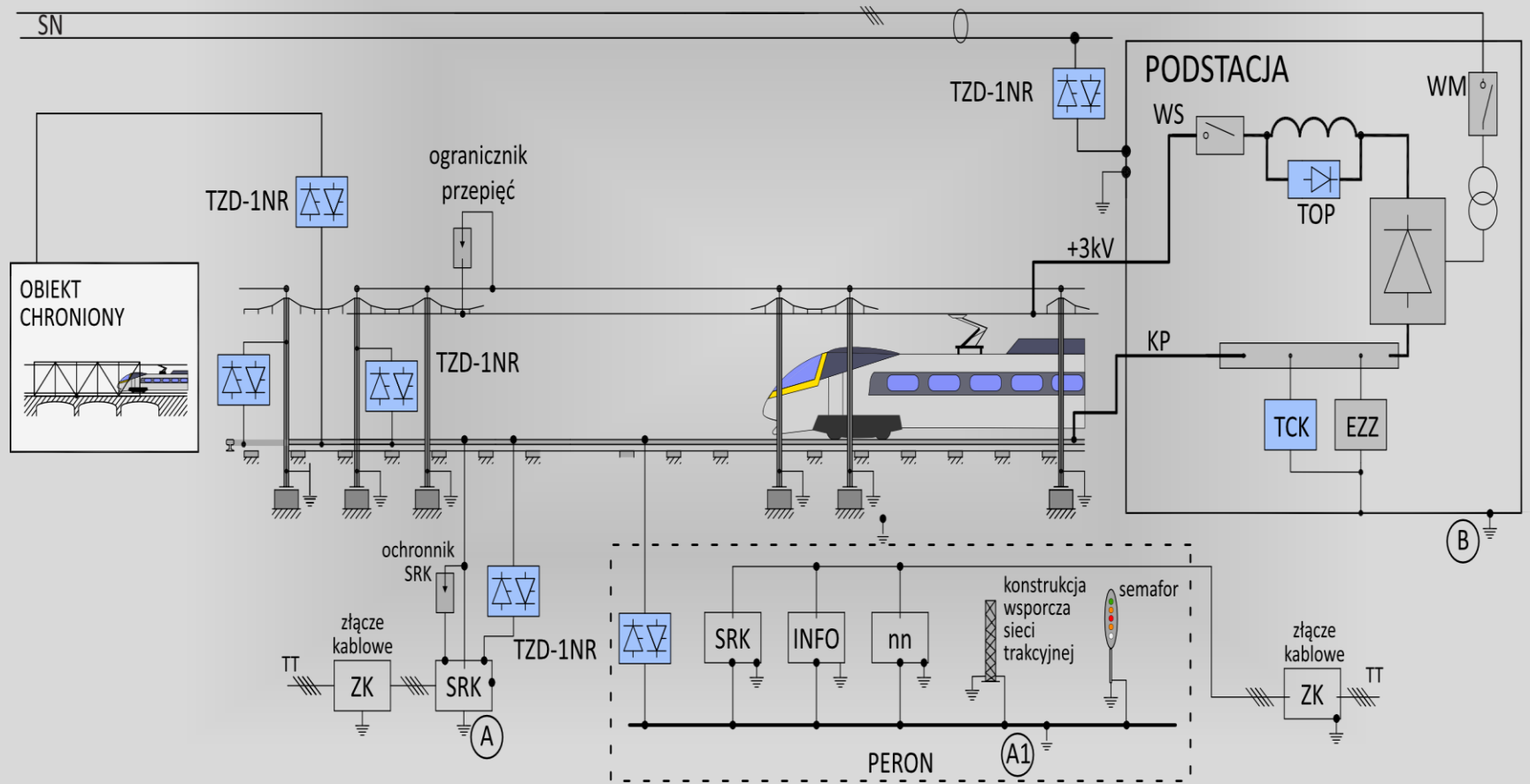
W przypadku gdy prąd jest mniejszy od 600 A, stan taki może trwać nawet kilkanaście minut, co często powoduje uszkodzenie (przegrzanie) instalacji nn.

Powyższe dotyczy instalacji nn (przewody N i PE), które zasilają urządzenia będące w strefie sieci i są chronione przez VLD na przystankach. urządzenia srk itp.

Podobne zjawiska występują podczas zwarć doziemnych w sieci trakcyjnej gdzie prądy są większe ale czas ich trwania jest zdecydowanie krótszy (ok. 40 ms). Podczas wyładowań atmosferycznych z ogranicznikami przepięć podobne zjawiska występują jeszcze krócej i nie przekraczają kilkuset mikrosekund. Powszechnie stosowane odgromniki różkowe powodują jednoczesne zwarcia w sieci trakcyjnej.

Powyższe zagrożenia są potęgowane podczas zakłóceń w ciągłości sieci powrotnej przez brak łączników szynowych, wymiany rozjazdów (szyn) bez połączeń obejściowych itp.

# Układ po rozdzielaniu uziomów w warunkach zakłóceń



## Układ po rozdzielaniu uziomów w warunkach zakłóceń

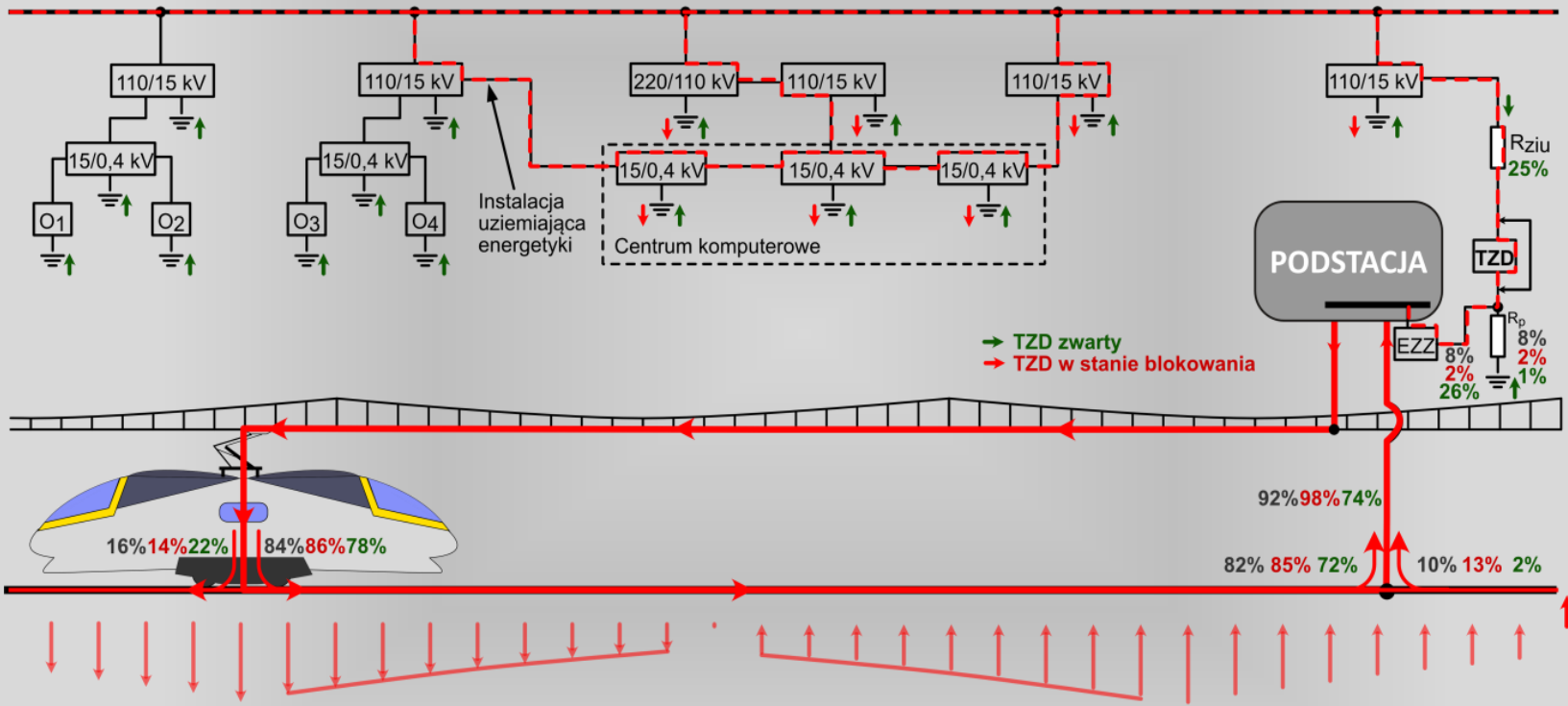
Rozdzielenie uziomów związanych z trakcją elektryczną od instalacji uziemiającej energetyki na poziomie nn i WN spowoduje nawet kilkudziesięciokrotne zmniejszenie prądów płynących przez instalacje uziemiające urządzeń zlokalizowanych w strefie sieci podlegających uszynieniu przez VLD.

Przy połączonych uziomach po zadziałaniu TZD rezystancja między szynami a uziomem podstacji może wynosić  $0,2 \div 0,3 \Omega$  a po rozdzieleniu uziomów (układ zasilania TT) wartość ta wzrasta do  $5,0 \div 10,0 \Omega$ .

Przedstawiony układ jest całkowicie zgodny z wymaganiami norm kolejowych.

# Wydzielenie dowolnego obiektu ze strefy prądów powrotnych (błądzących)

Zespolona instalacja uziemiająca ZIU - układ normalny



Rezystancja szyny - ziemia 2,0  $\Omega$ km

$R_p = 0,5 \Omega$ ;

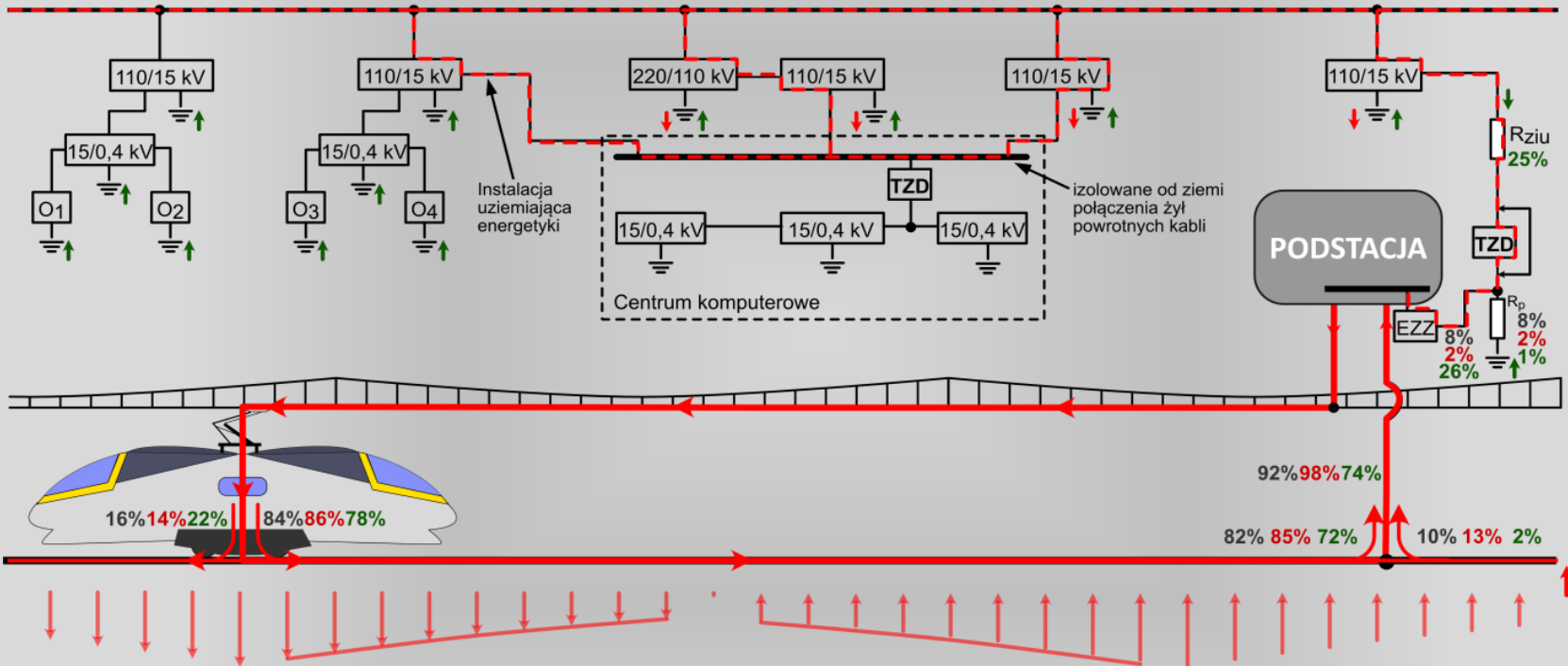
$R_p = 2 \Omega$ ;

$R_p = 2 \Omega$ ;  $R_{ziu} = 0,1 \Omega$  TZD zwarty

Rozpył prądu błędzącego na odcinku 10 km

# Wydzielenie dowolnego obiektu ze strefy prądów powrotnych (błądzących)

Zespolona instalacja uziemiająca ZIU - odizolowanie uziomu centrum komputerowe



Rezystancja szyny - ziemia 2,0 Ωkm

$R_p = 0,5 \Omega$ ;  $R_p = 2 \Omega$ ;  $R_p = 2 \Omega$ ;  $R_{ziu} = 0,1 \Omega$  TZD zwarty

Rozptył prądu błądzącego na odcinku 10 km

## Wydzielenie dowolnego obiektu ze strefy prądów powrotnych (błądzących)

Na slajdzie 15 pokazane jest jak (którędy) przepływają prądy błądzące przez instalację uziemiającą danego obiektu.

Na slajdzie 16 jak odseparować (wydzielić) instalację uziemiającą „wrażliwego” obiektu (szpitale, centra komputerowe itp.) od prądów błądzących.

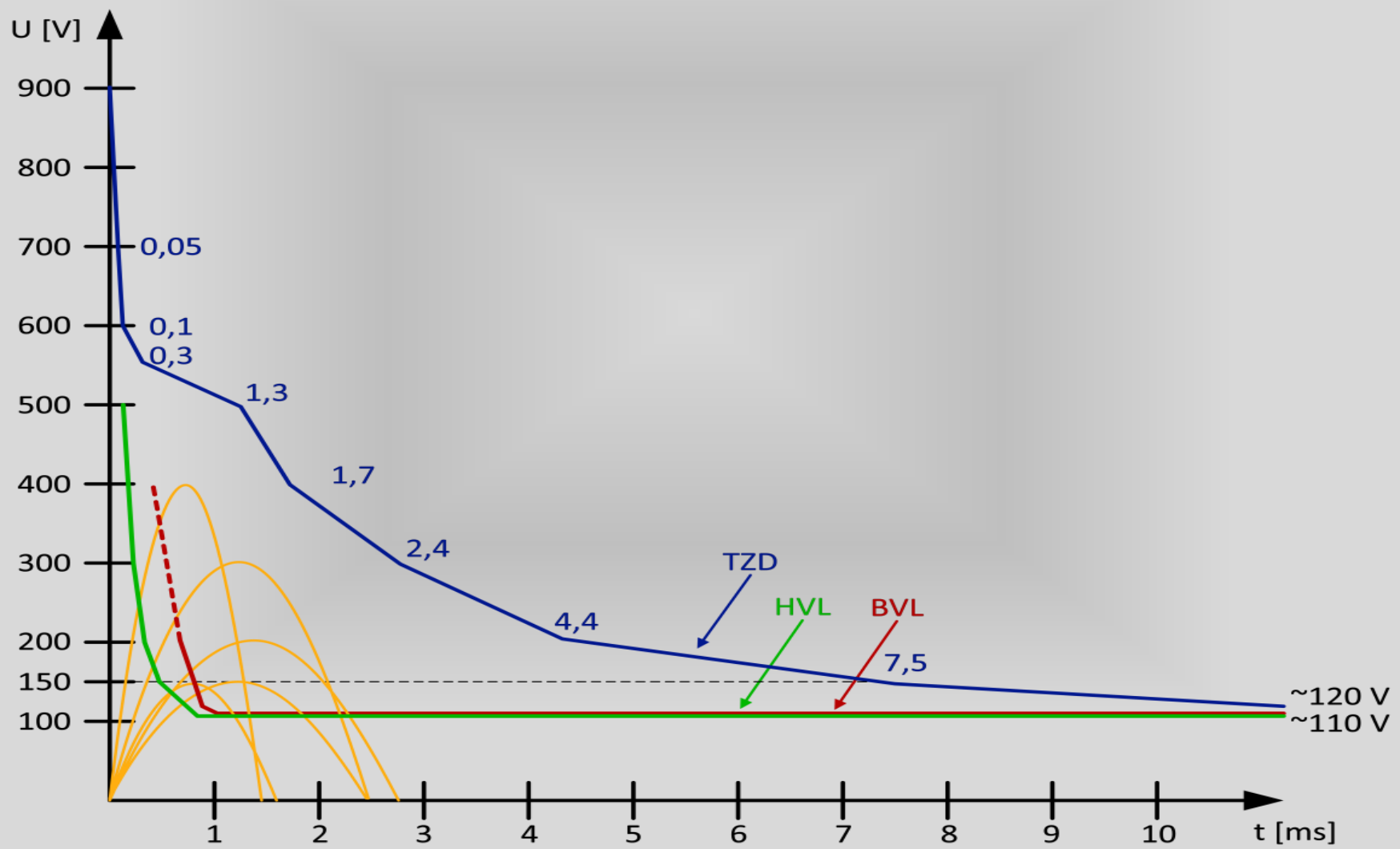
Wszystkie żyły powrotne kabli WN należy połączyć między sobą przez łącze izolowane na poziomie 1 kV od ziemi a następnie przez VLD połączyć z uziomem obiektu.

Jeżeli dany obiekt ma dodatkowe zasilanie na poziomie nn, zasilanie to musi być wykonane w układzie TT lub przez transformator separacyjny.

Na slajdzie pokazane są założenia dla dużego Centrum Komputerowego w odległości ok. 100 m od torów.

Instalacje uziemiające Energetyki nawet w odległości kilku lub więcej kilometrów stanowią praktycznie takie samo zagrożenie

# Porównanie urządzeń ograniczających napięcie VLD



## Porównanie urządzeń ograniczających napięcie VLD

Na slajdzie pokazane są charakterystyki napięciowo-czasowe trzech urządzeń VLD. Tylko urządzenie TZD ma charakterystykę zależną.

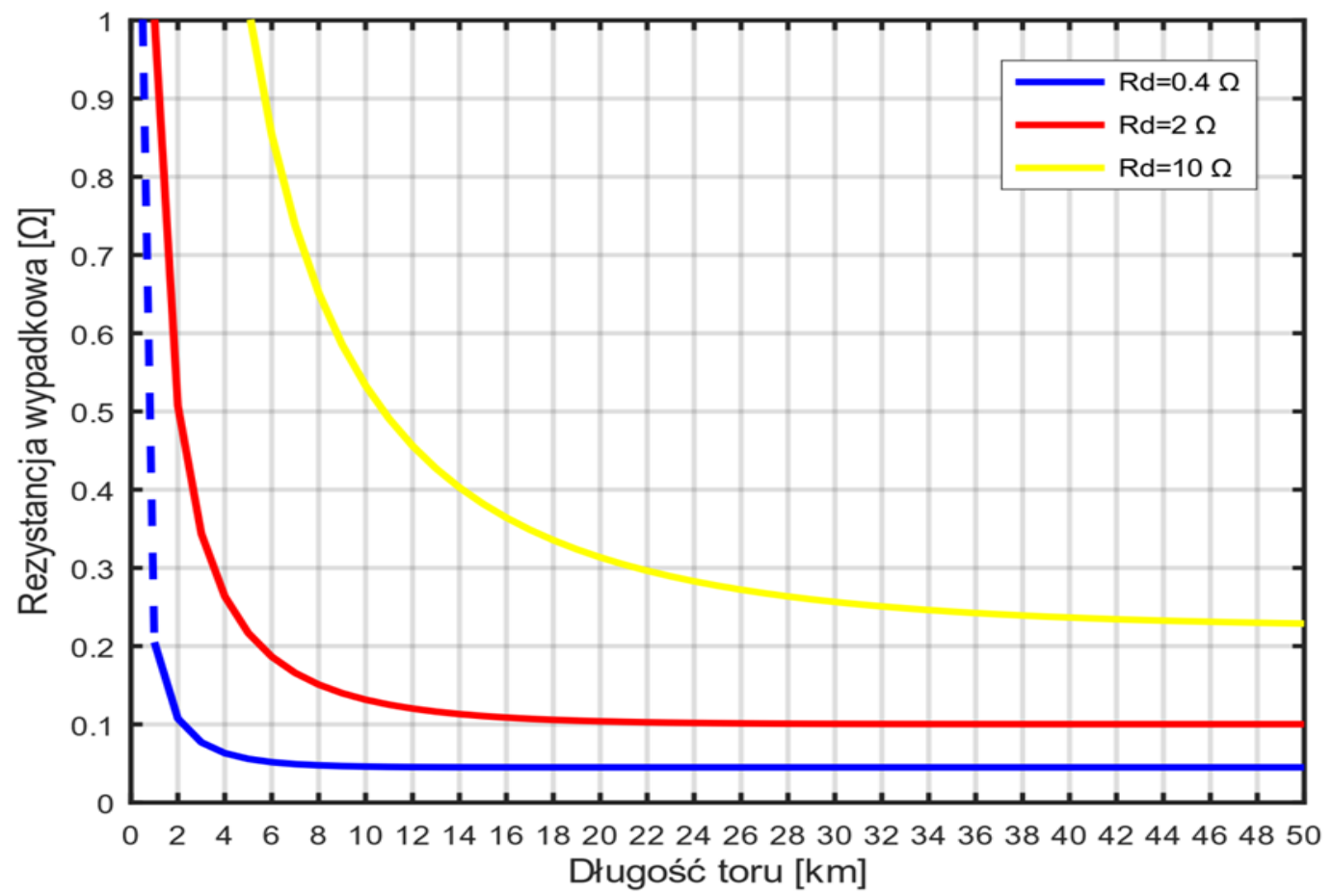
Kolorem pomarańczowym pokazane jest spektrum napięć łączeniowych występujących na zaciskach VLD. Jak widać praktycznie wszystkie przepięcia powyżej 120 V spowodują zadziaływanie BVL i HVL. Oznacza to, że urządzenia te mogą działać nawet kilkadziesiąt razy na dobę, powodując połączenie uziomów kolejowych z instalacją uziemiającą Energetyki. Każde z połączeń może trwać od kilku do kilkunastu minut do czasu zmiany położenia pociągów i przejścia prądu przez zero.

## Porównanie urządzeń ograniczających napięcie VLD

Urządzenie TZD wytrzymuje przepięcia na poziomie 500 V i czasie trwania nawet powyżej 2 ms. Taki poziom przepięć występuje sporadycznie np. raz na miesiąc a nawet zdecydowanie dłużej. Mimo tak rzadkiego działania VLD (zwarcie uziomów) występują uszkodzenia instalacji nn na przystankach, obwodach srk, itp. Uszkodzenia takie występują przy powszechnym zasilaniu instalacji nn w układzie TN i braku rozdziału uziomów na poziomie WN.

Zastosowanie urządzeń BVL czy też HVL spowoduje co najmniej kilkukrotny wzrost uszkodzeń w instalacji nn czy też srk a w obszarach zurbanizowanych może to być wzrost nawet kilkudziesięciokrotny.

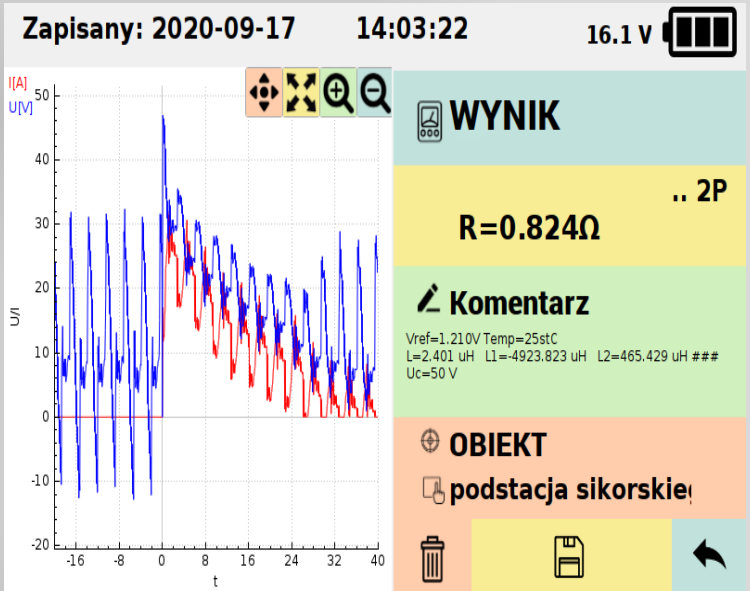
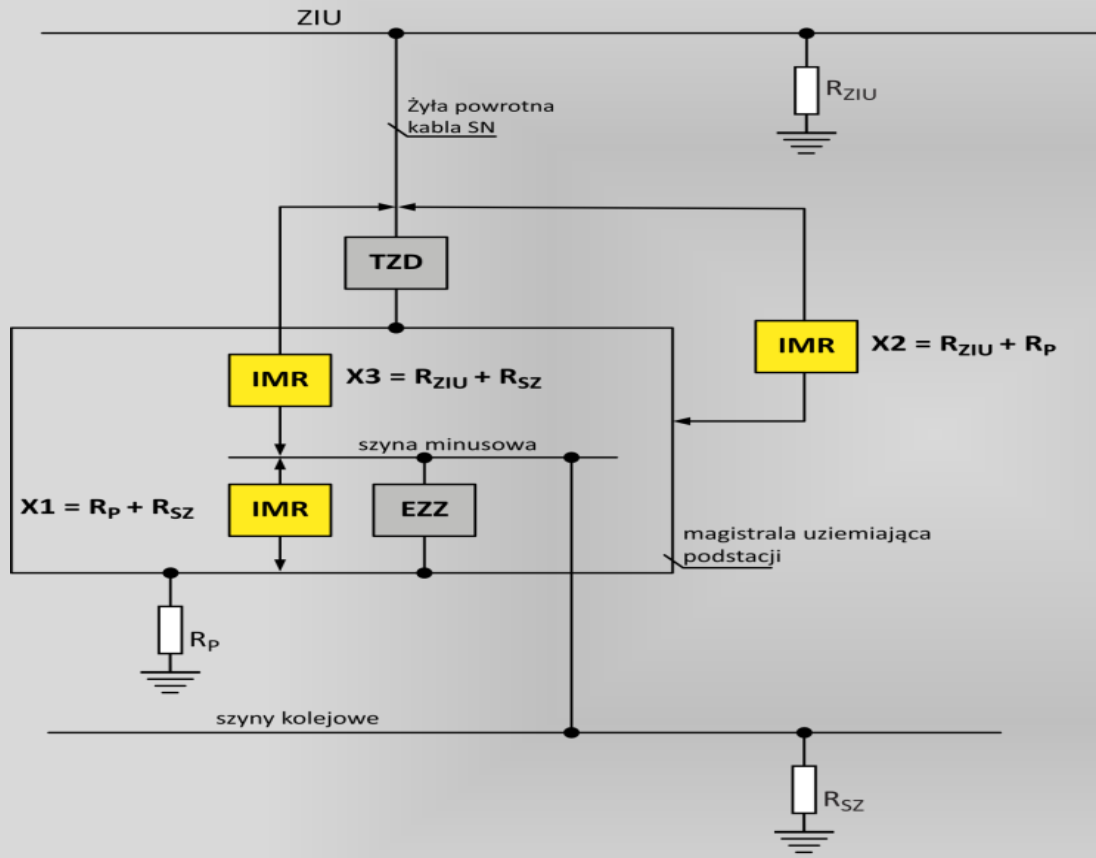
# Obliczenia i pomiary potwierdzające założenia



## Obliczenia i pomiary potwierdzające założenia

- Jak widać z wykresu, dla jednostkowej rezystancji toru na poziomie  $0,4 \Omega\text{km}$ , już w odległości 5 km od punktu pomiarowego wypadkowa rezystancja doziemna ma praktycznie wartość ustaloną.
- Dla jednostkowej rezystancji toru na poziomie  $2 \Omega\text{km}$ , odległość ta wynosi już ok. 15 km a dla  $10 \Omega\text{km}$  jest to odległość ok. 50 km.
- W zależności od jednostkowej rezystancji doziemnej znaczący prąd wypływa szyn do ziemi od kilku do kilkudziesięciu kilometrów za pojazdem a to oznacza, że w takiej odległości może wpływać do instalacji uziemiającej Energetyki.

# Obliczenia i pomiary potwierdzające założenia



## Obliczenia i pomiary potwierdzające założenia

Na powyższym slajdzie pokazane jest rozdzielenie uziomu podstacji trakcyjnej od instalacji uziemiającej Energetyki (TZD) i od szyn (EZZ).

Miernikiem IMR-5 wykonano pomiary w punktach X1, X2 i X3 przy czynnej podstacji. Pokazano też przebiegi pomiaru między uziomem a szynami przy czynnej podstacji, są praktycznie takie same przy podstacji wyłączonej.

Uzyskano następujące wyniki:  $R_p + R_{SZ} = 0,824 \Omega$ ,  $R_p + R_{ZIU} = 0,853 \Omega$ ,  $R_{SZ} + R_{ZIU} = 0,137 \Omega$

Po obliczeniach rezystancje te wynoszą:  $R_p = 0,77 \Omega$ ,  $R_{SZ} = 0,054 \Omega$  i  $R_{ZIU} = 0,083 \Omega$ .

Wynik  $R_{SZ} = 0,054 \Omega$  jest porównywalny z wynikiem obliczonym (slajd 21) dla jednostkowej rezystancji  $0,4 \Omega\text{km}$

## Proponowane rozwiązania są zgodne z niżej wymienionymi normami

**PN-EN 50122-1:2023-06** Zastosowanie Kolejowe. Urządzenia stacjonarne. Bezpieczeństwo elektryczne, uziemienia i sieć powrotna – Część 1: Środki ochrony przed porażeniem elektrycznym.

**PN-EN 50122-2:2023-06** Zastosowanie Kolejowe. Urządzenia stacjonarne. Bezpieczeństwo elektryczne, uziemienia i sieć powrotna – Część 2: Środki ochrony przed skutkami prądów błędzących powodowanych przez systemy trakcji prądu stałego

**PN-EN 50526-1:2012** - Zastosowanie kolejowe. Urządzenia stacjonarne. Ograniczniki przepięć prądu stałego i urządzenia ograniczające napięcie. Część 1: Ograniczniki przepięć prądu stałego

**PN-EN 50526-2:2014-09** - Zastosowanie kolejowe. Urządzenia stacjonarne. Ograniczniki przepięć prądu stałego i urządzenia ograniczające napięcie. Część 2: Urządzenia ograniczające napięcie.

**Dziękuję za uwagę**