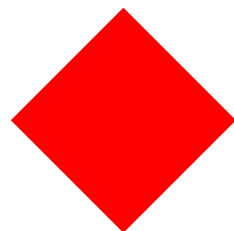


**Corropol<sup>®</sup>**  
Sp. z o.o.



**Wybrane aspekty  
obliczania oddziaływań  
przemiennoprądowych na  
rurociągi**

2024-06-12

**Piotr Lamparski**

## Plan prezentacji:

1. Rodzaje oddziaływań linii energetycznych na rurociągi
2. Charakterystyka poszczególnych oddziaływań
3. Stosowane techniki pomiarowo-obliczeniowe
4. Porównanie poszczególnych metod
5. Wskazanie istotnych elementów wpływających na wyniki końcowe
6. Błędy popełniane w trakcie pomiarów i obliczeń

# Rodzaje oddziaływań:

01

Oddziaływania pojemnościowe



02

Oddziaływania indukcyjne w stanach normalnej pracy



03

Oddziaływania indukcyjne w stanach awaryjnych (zwarciovych)



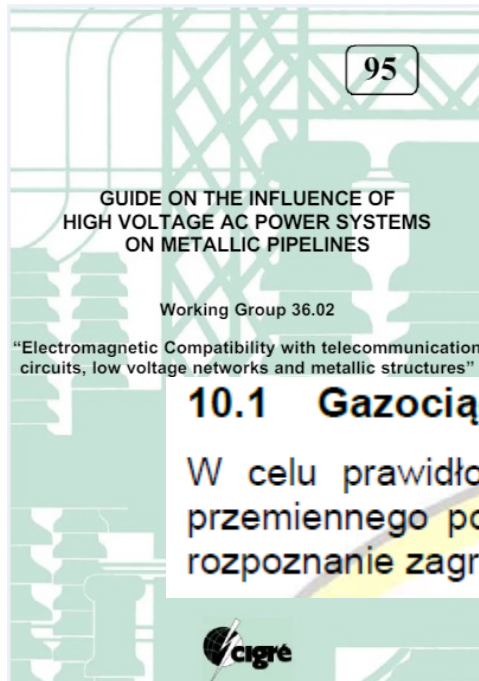
04

Oddziaływania galwaniczne (w stanach zwarciovych)



# Na podstawie jakich wymagań wykonywana jest ocena poziomu oddziaływań przeniennoprądowych w Polsce?

CIGRE (95, 373, 290 i inne)



Standardy IGG

OPZ, WT

## 10.1 Gazociągi projektowane lub linie WN/NN projektowane

W celu prawidłowego zaprojektowania ochrony katodowej/ochrony przed oddziaływaniem prądu przemiennego powinny zostać wykonane odpowiednie pomiary przedprojektowe i przeprowadzone rozpoznanie zagrożenia korozyjnego na trasie projektowanego gazociągu.

## Rodzaje zagrożeń powodowanych przez poszczególne rodzaje oddziaływań:

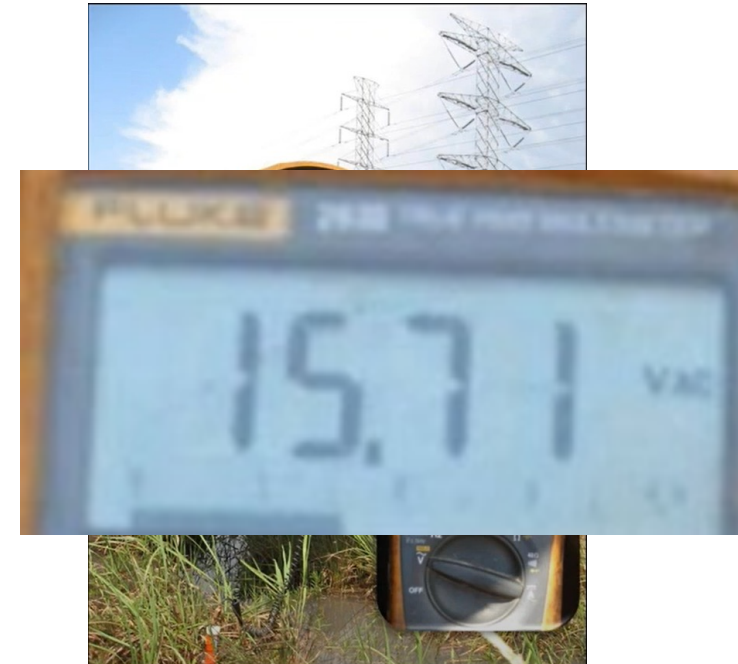
Oddziaływanie	Ryzyko wystąpienia korozji	Ryzyko przekroczenia napięć bezpiecznych dla ludzi	Inne
Pojemnościowe	Nie	Tak	przekroczenie dopuszczalnych napięć dla urządzeń (AKPiA)
Indukcyjne w stanach normalnej pracy	Tak	Tak	przekroczenie dopuszczalnych napięć dla urządzeń (AKPiA)
Indukcyjne w stanach awaryjnych	Nie	Tak	przekroczenie dopuszczalnych napięć dla urządzeń (AKPiA)
Galwaniczne	Nie	Tak	uszkodzenie powłoki izolacyjnej, przekroczenie dopuszczalnych napięć dla urządzeń (AKPiA)

# Oddz. pojemnościowe -charakterystyka:

1. Powstają głównie dla instalacji (rurociągów) odizolowanych od gruntu (nadziemnych)
2. Powstają w wyniku oddziaływania pola elektrycznego

$$U_{poj.} = f(U_{LWN})$$

$$U_{poj.} \neq f(I_{LWN})$$



# Oddz. pojemnościowe - zabezpieczenia:

## Polska

1. uziemianie rurociągu na obu końcach

## Zagranica:

1. określa się **szczegółowo** sposób postępowania w trakcie opuszczania rur, zdjęcia uziemienia,
2. stawia się wymagania dla wartości uziemień
3. Określa się postępowania na cały okres kiedy mogą wystąpić zagrożenia – czyli do czasu przyłączenia zabezpieczeń



# Oddziaływania indukcyjne w stanach normalnej pracy - charakterystyka:

1. Powstają w wyniku oddziaływań elektromagnetycznego pola
2. Wartość wypadkowego pola elektromagnetycznego zależy głównie od prądu płynącego w przewodniku i napięcia

$$U_{ind-NP} \neq$$

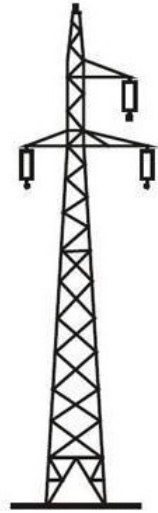
$$U_{ind-NP} =$$

6.9.6. Przy przebiegu równoległym, odległość granicy strefy kontrolowanej gazociągu stalowego od rzutu skrajnego przewodu linii elektroenergetycznej napowietrznej nie może być mniejsza niż:

- szerokość strefy kontrolowanej - dla linii elektroenergetycznej o napięciu do 1,0 kV włącznie,
- 3,0 m - dla linii elektroenergetycznej o napięciu do 15,0 kV włącznie, !

# Oddziaływania indukcyjne w stanach normalnej pracy – wielkość oddziaływania:

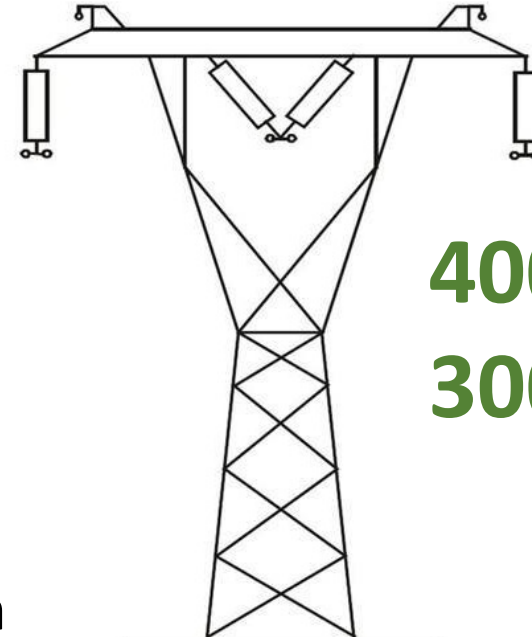
**110kV**  
**300A**



100m

100m

**400kV**  
**300A**



$$U_{110kV} \text{ ( ? ) } U_{400kV}$$

# Oddziaływania indukcyjne w stanach normalnej pracy - zabezpieczenia:

02

Oddziaływania indukcyjne  
w stanach normalnej pracy

1. Zmiana konfiguracji układu
2. Zmiana odległości
3. Zmiany w LWN (np. fazowanie, układ przewodów, ilość przewodów N)
4. Uziemianie (taśmy Zn)
5. Uziemianie pośrednie (UZPP)
6. Sekcjonowanie
7. Kable redukcyjne (w rodzaju)
8. Ekrany
9. Świadomie prowadzona eksploatacja instalacji OK
10. Wymiana gruntu
11. Naprawa powłoki izolacyjnej



źródło: <https://www.plattbros.com/zinc/plattline-zinc-ribbon-anode/ac-mitigation/>

## Oddziaływania indukcyjne w stanach awaryjnych - charakterystyka:

1. Powstają w wyniku oddziaływania zmiennego pola elektromagnetycznego w trakcie zwarć na LWN
2. Rozpatruje się zwarcia jednofazowe – z uwagi na generowanie najwyższego poziomu oddziaływań

$$U_{ind-ZW} \neq f(U_{LWN})$$

$$U_{ind-ZW} \neq f(I_{LWN})$$

$$U_{ind-ZW} = f(I_{ZW-1f}) \quad \text{pkt. zw. najb. niekorzystny} \neq f(\text{odl LWN-rurociąg})$$

# Oddziaływania indukcyjne w stanach awaryjnych - zabezpieczenia:

03

Oddziaływania indukcyjne  
w stanach awaryjnych

1. Pośrednie uziemianie
2. Ekwipotencjalizacja

## Oddziaływania galwaniczne w stanach awaryjnych - charakterystyka:

1. Powstają w wyniku przepływu prądu zwarciovego w gruncie w trakcie zwarć na LWN (w okolicach uziemień konstrukcji wsporczych)
2. Konieczna jest znajomość prądów uziomowych poszczególnych konstrukcji wsporczych

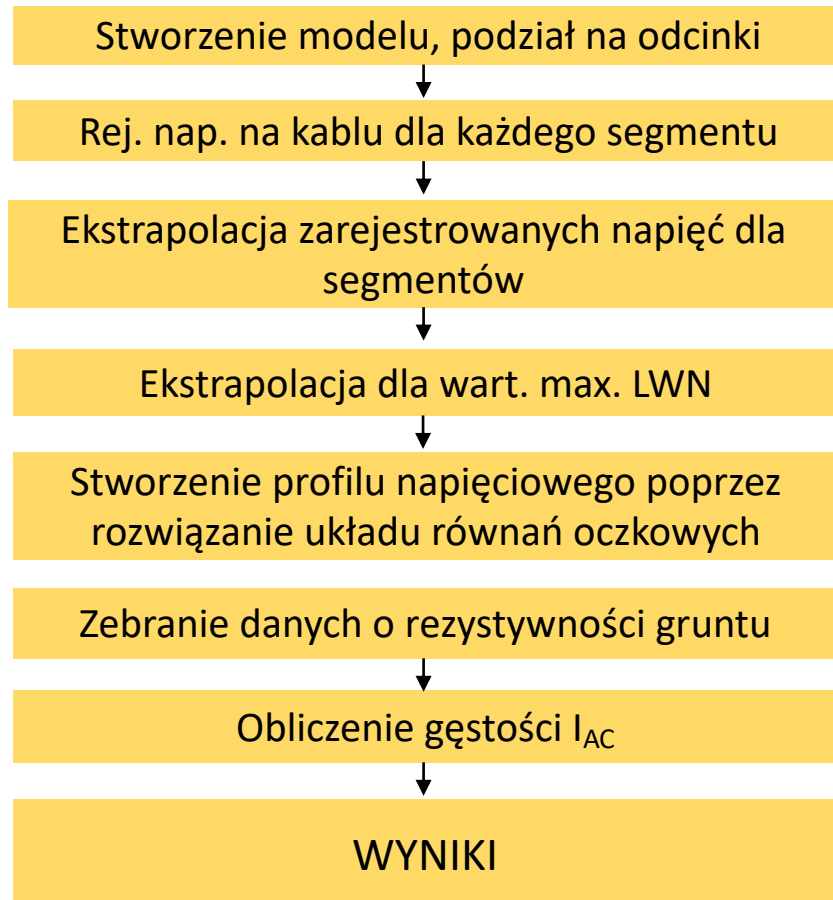
$$U_{galw.-ZW} \neq f(U_{LWN})$$

$$U_{galw.-ZW} \neq f(I_{LWN})$$

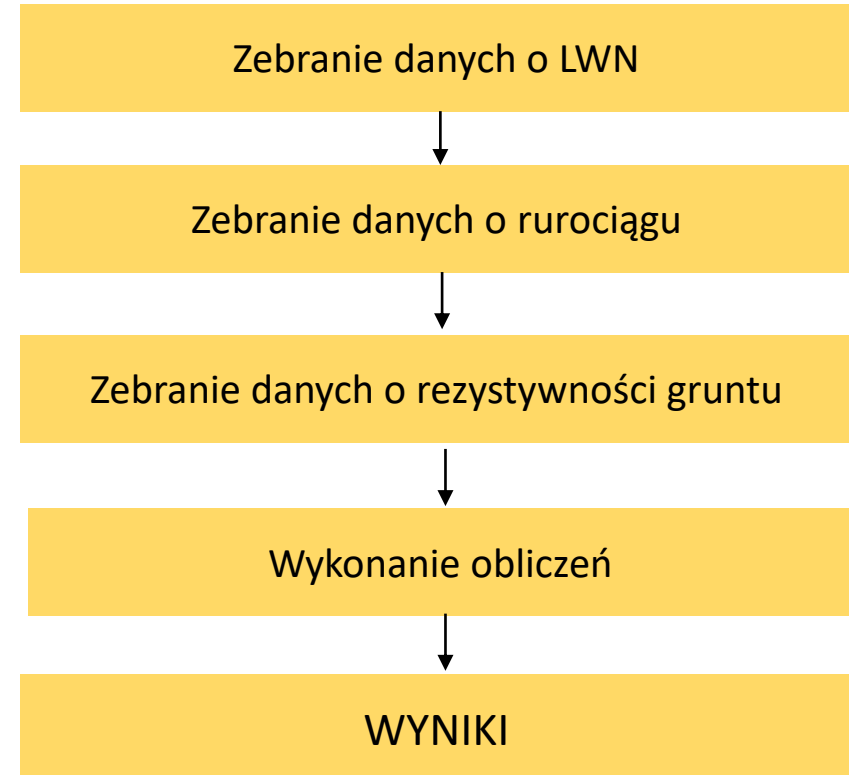
$$U_{galw.-ZW} = f(I_{ET})$$

# Określanie oddziaływań indukcyjnych (stan normalnej pracy):

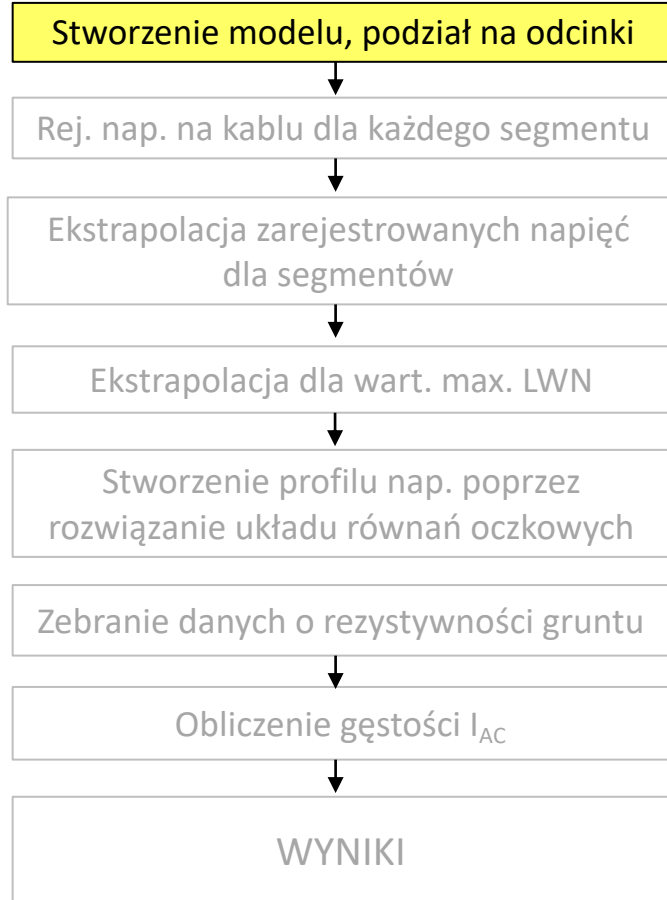
## Metoda pomiarowa



## Metoda obliczeniowa



# Metoda pomiarowa – (1):

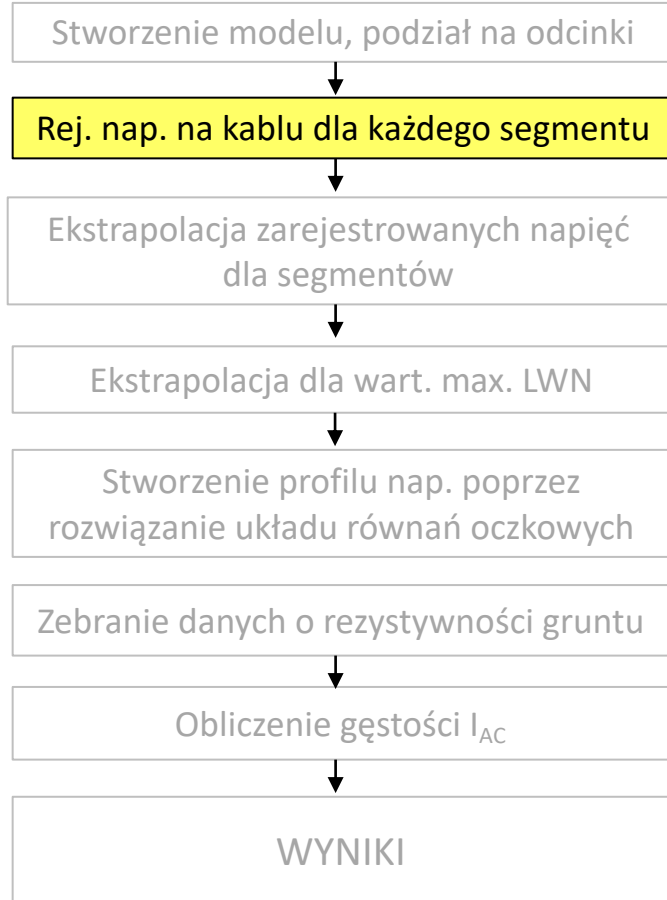


Dokumenty odniesienia podają zasady podziału rurociągów na odcinki. Często spotykaną praktyką jest podział na odcinki o długości 300m i więcej. Wykonane obliczenia i symulacje wskazują, że brak wpływu długości odcinków na wyniki generowanych profili napięciowych obserwuje się dla modeli o długości odcinka nie większej niż ok. 100-150 m. Zależy to od ilości linii oddziaływujących. Wykonanie pomiarów (rejestracji) z taką częstotliwością jest bardzo kłopotliwe i kosztowne. Brak możliwości wykonania pomiarów dla LWN projektowanych.

ocena: 



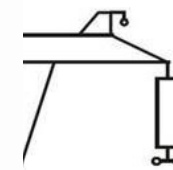
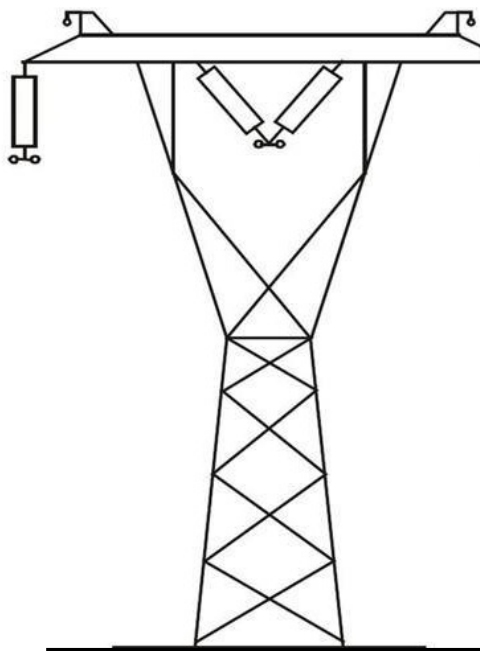
# Metoda pomiarowa – (2):



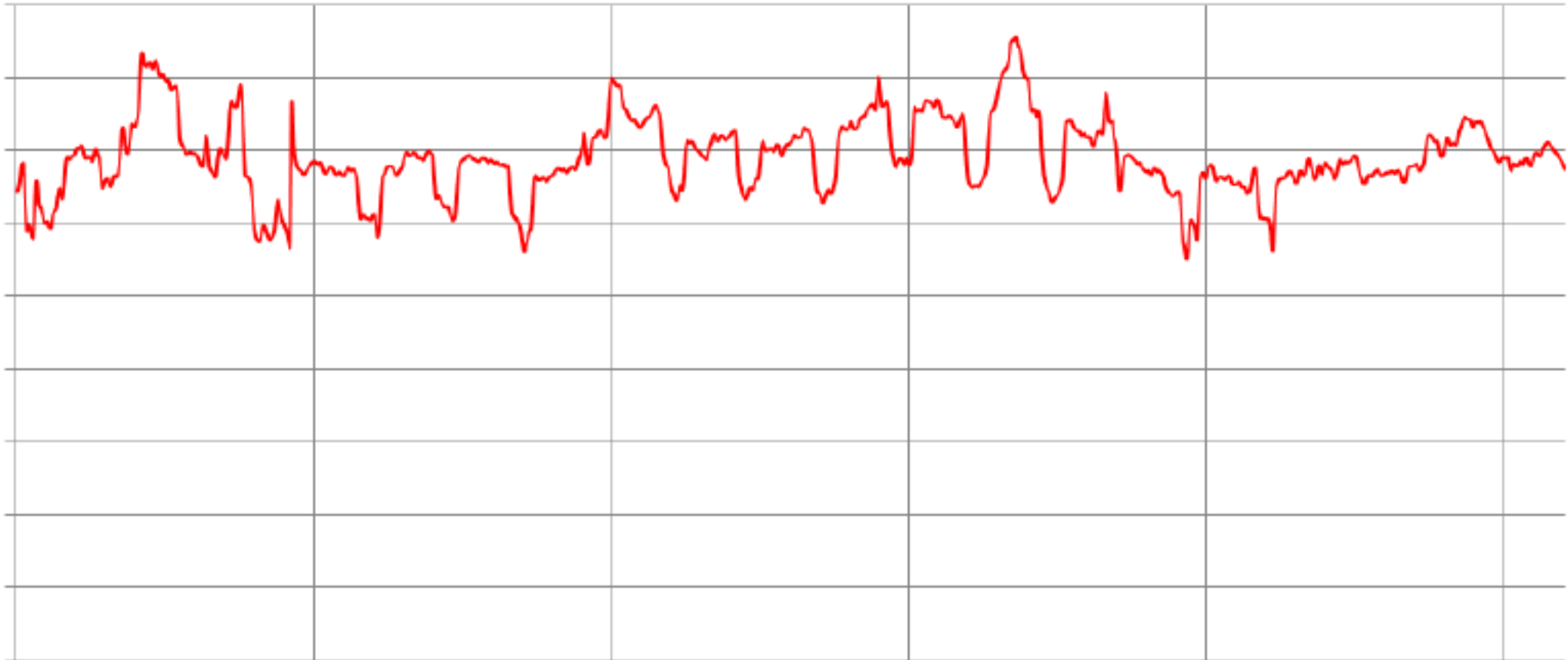
1. Nieprawidłowe odwzorowanie stanu rzeczywistego za pomocą modelu obliczeniowego.
2. Z uwagi na dużą liczbę odcinków brak możliwości jednoczesnego zarejestrowania napięcia dla wszystkich segmentów. Nie daje to ostatecznie wiarygodnego porównania otrzymanych wyników.
3. W przypadku wielu LWN oddziałujących na danych odcinek, rejestracja wykonywana jest dla różnych obciążeń LWN. Brak informacji o wpływie poszczególnych LWN.

ocena: 

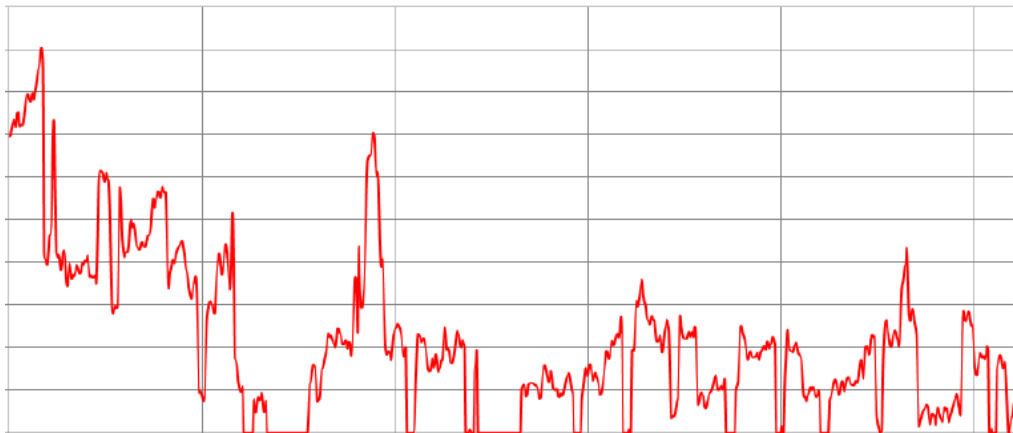
# Odwzorowanie modelu przy metodzie pomiarowej:



# Obliczanie średniej z zarejestrowanych danych:



rejestracja 1



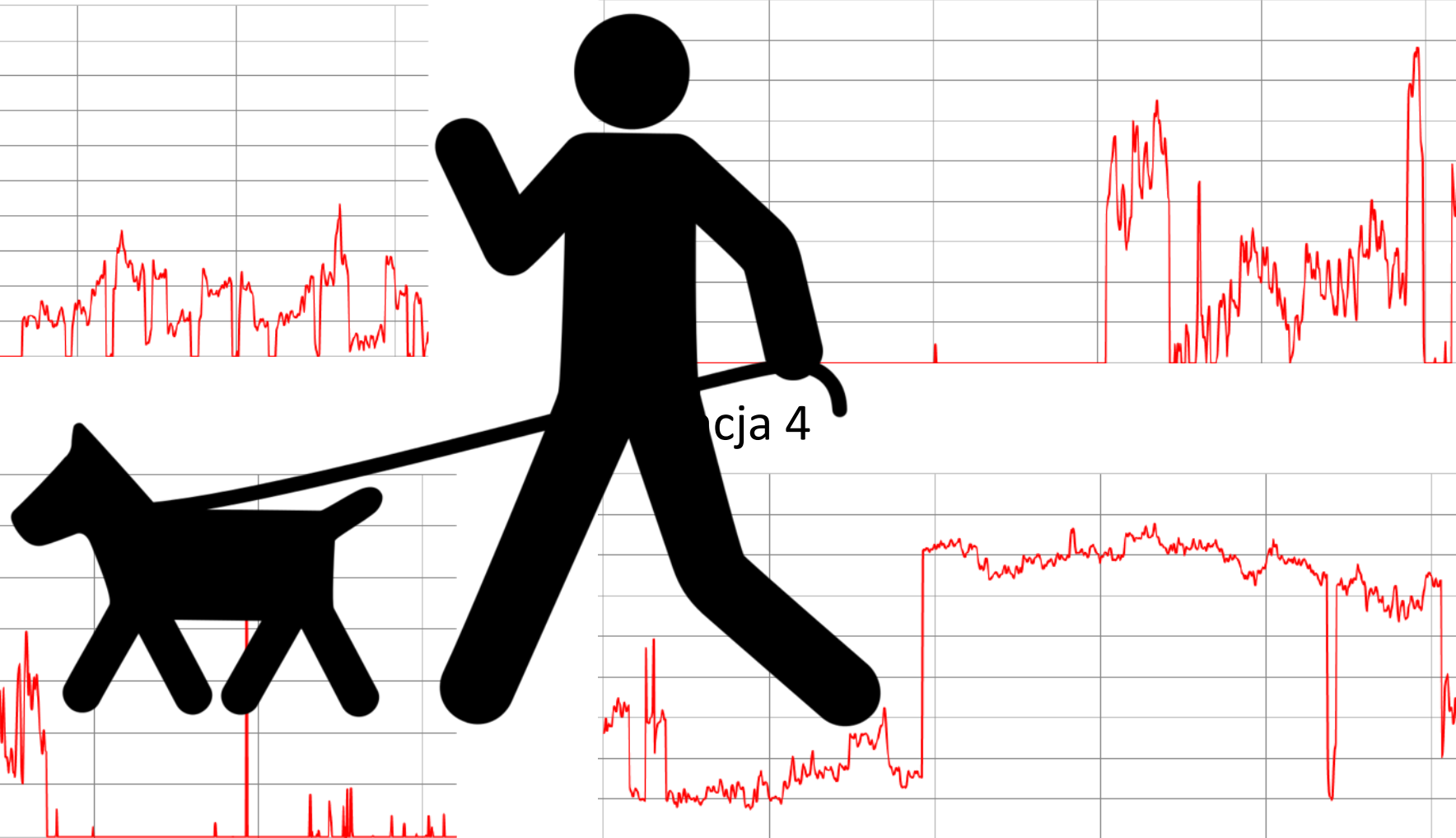
rejestracja 2



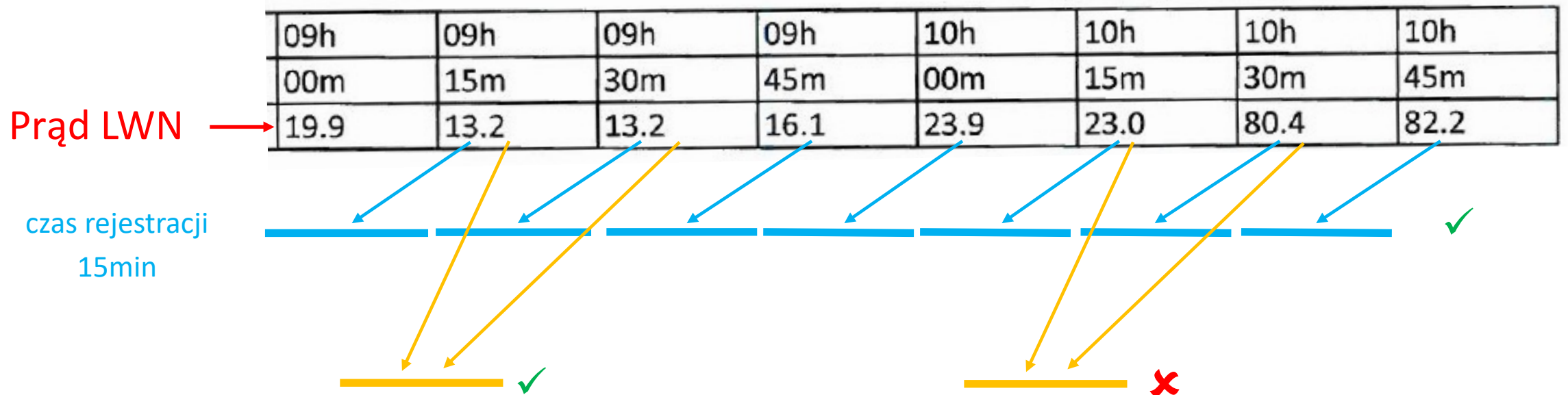
rejestracja 3



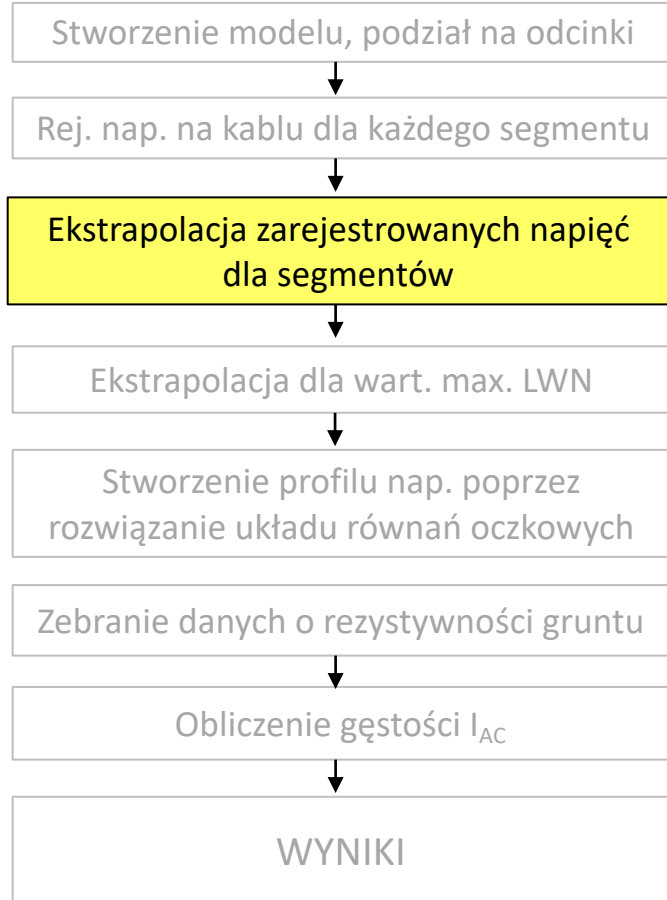
rejestracja 4



# Średnia wartość prądu LWN:



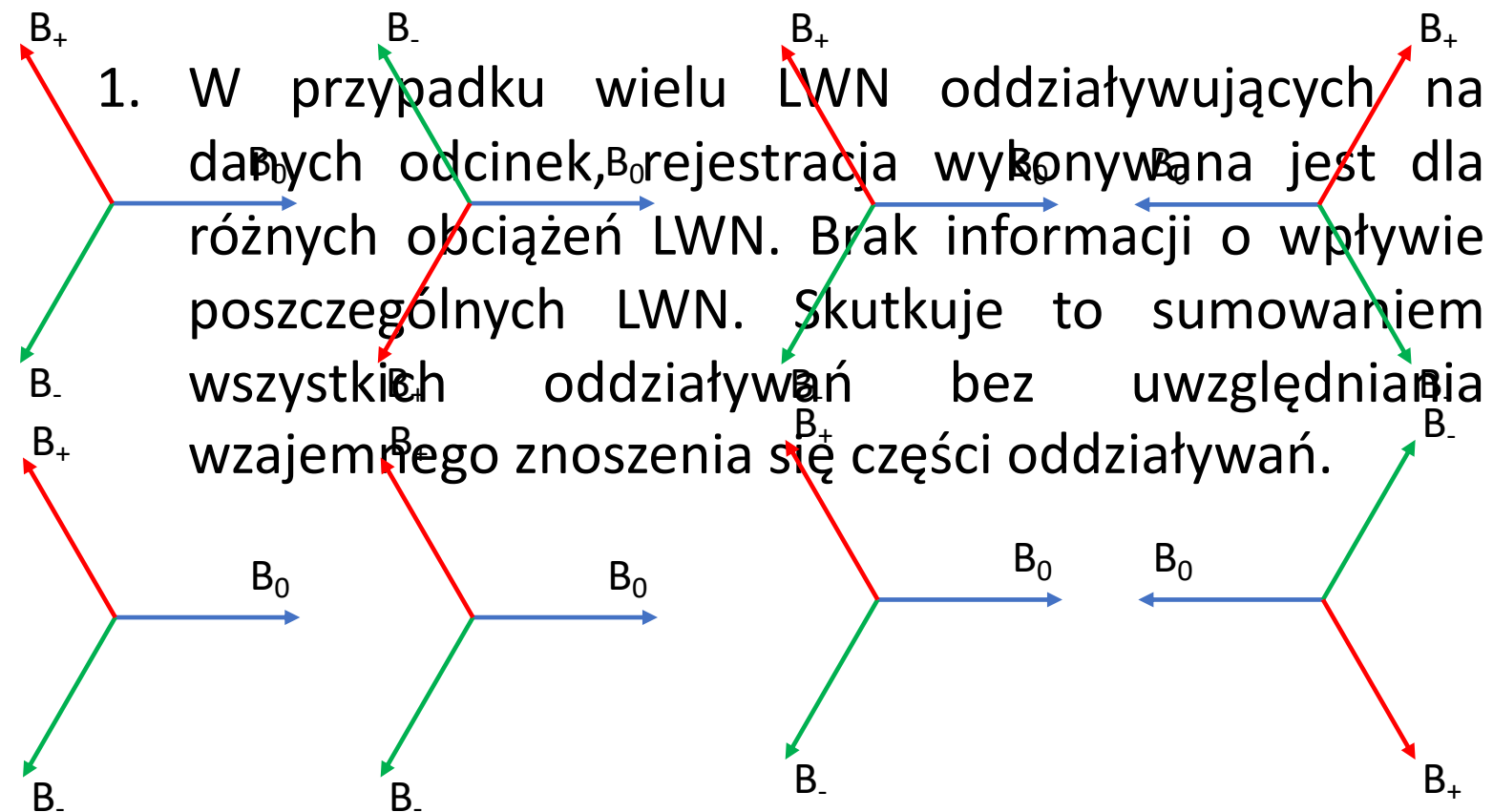
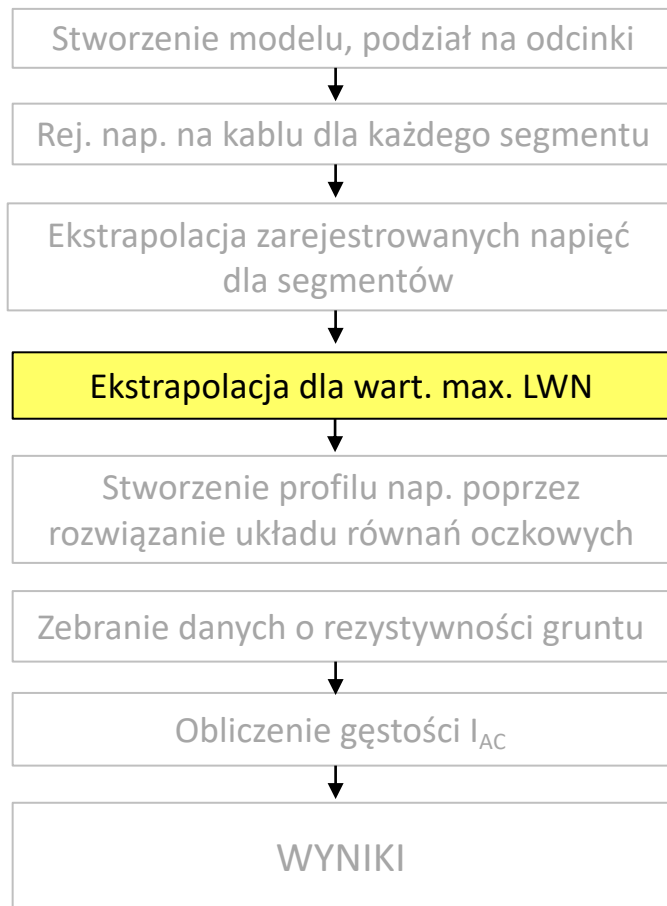
# Metoda pomiarowa – (3):



Ekstrapolacja zarejestrowanych napięć nie stwarza problemów interpretacyjnych

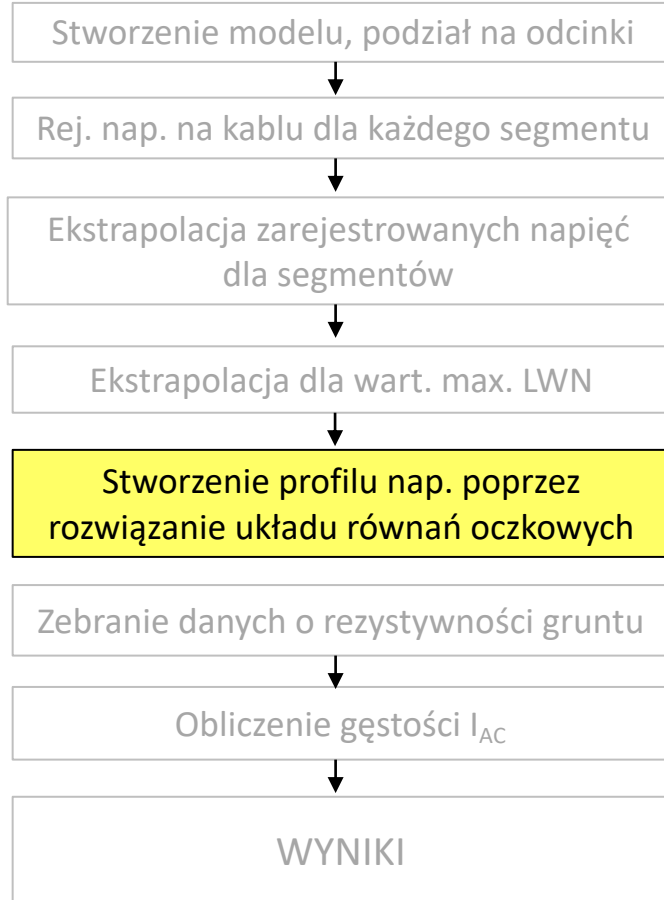
ocena: 

# Metoda pomiarowa – (3):



ocena:

# Metoda pomiarowa – (4):

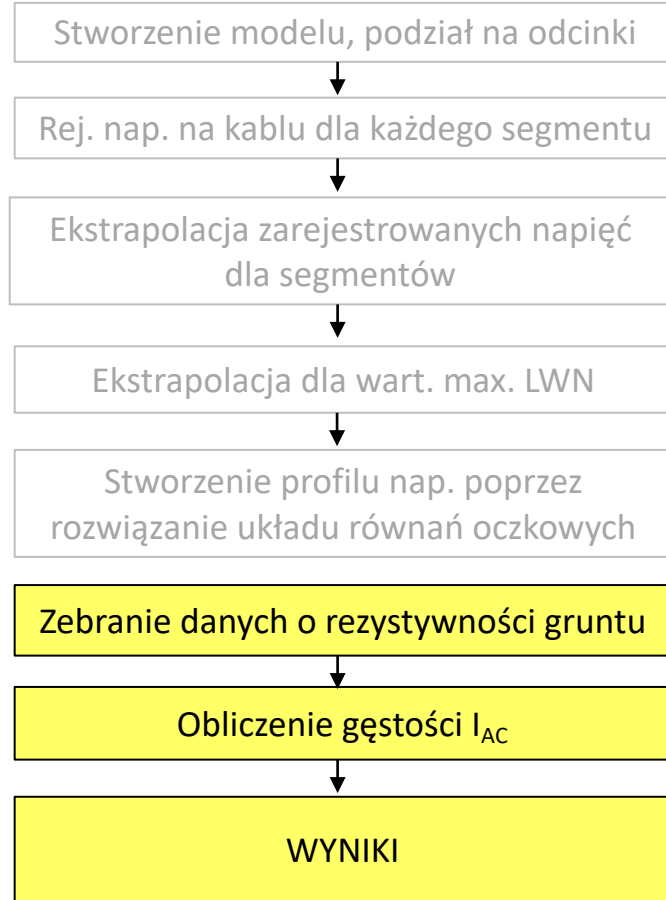


1. Część obliczeń realizowana jest z wykorzystaniem darmowych symulatorów o ograniczonym zakresie funkcjonalności i dokładności. Ma to szczególne znaczenie dla odwzorowywania zachowania modelu wraz z zabezpieczeniami (elementy z impedancją, pojemnościami).

ocena: 



# Metoda pomiarowa – (5):



ocena: 

## Wpływ prądu LWN na wynik profilu napięciowego (1):

- Wyniki profilu napięciowego są wprost skorelowane z wartością prądu linii energetycznej
- Jaki prąd przyjąć do obliczeń
- Zgodnie z ST-IGG w ramach analizy oddziaływania należy przyjąć warunki najbardziej niekorzystne

**Jaką wartość prądu LWN przyjąć do obliczeń???**

---

## Wpływ prądu LWN na wynik profilu napięciowego (2):

- Maksymalną wartość prądu linii przyjmowaną do obliczeń w sezonie zimowym?
- Maksymalną wartość prądu wynikającą z możliwości podstacji zasilających?
- Maksymalną wartość prądu zarejestrowaną w ciągu roku?
- Średnia z miesiąca szczytowego?
- Średnią dobową z dnia o największym obciążeniu?
- Średnią godzinową z maksymalnego obciążenia

# Profil napięciowy a rezystywność gruntu (1):

W przypadku braku danych rzeczywistych (pomiarowych) odnośnie do rezystywności środowiska możliwe jest, za zgodą operatora gazociągu, wykonanie obliczeń z zastosowaniem założonych, niekorzystnych rezystywności: profilu napięciowego (dla oddziaływań indukcyjnych) wzdłuż gazociągu z uwzględnieniem średniej rezystywności gruntu  $100 \Omega\text{m}$ , a gęstości prądu AC przepływającego w warunkach roboczych pomiędzy gazociągami a ziemią poprzez hipotetyczne małe defekty izolacji – z uwzględnieniem najmniejszej możliwej lokalnej rezystywności na przedmiocie oddziaływania, np.  $20, 18, \Omega\text{m}$  lub mniejszej, np.  $10 \Omega\text{m}$  (przyjmuje się niekorzystny przypadek, gdzie w danym miejscu występuje minimalna rezystywność i jednocześnie występuje defekt w powłoce izolacyjnej gazociągu).

Dla odcinków gazociągów ułożonych w rurach osłonowych w obliczeniach gęstości prądu AC zaleca się przyjmować rezystywność wody wypełniającej rurę osłonową (pierścieniową przestrzeń międzyrurową) na poziomie  $13 \Omega\text{m}$ .

W przypadku stosowania klasycznych płuczek bentonitowych - dla odcinków gazociągów układanych techniką HDD w obliczeniach gęstości prądu zaleca się przyjmować zastępczą rezystywność otaczającego środowiska  $3,5 \Omega\text{m}$ , a w przypadku odcinków układanych techniką Direct Pipe –  $7 \Omega\text{m}$  – jeśli występuje ryzyko, że na odcinkach HDD/DP mogą powstać nieszczelności/defekty w powłoce izolacyjnej.

# Profil napięciowy a rezystywność gruntu (2):

przykładowe zapisy z SIWZ/WT:

*„(...) istniejący gazociąg posiada powłokę izolacyjną o jednostkowej rezystancji na poziomie  $1 \times 10^3 \Omega \cdot m^2$   
(...)”*

*Dla całego analizowanego odcinka (65 km) gazociągu wykonać ciągłe pomiary rezystywności gruntu metoda konduktometryczną (...)”*

*„(...) na odcinkach zbliżeń projektowanego gazociągu (mniej niż 500 m) do linii energetycznej wykonać pomiary rezystywności gruntu metodą ciągłą. Dla pozostałych odcinków metoda Wennera z częstotliwością pomiarów co 300 m (...) „*

# Oddziaływania galwaniczne (1):

wymagania:

- 6.9.5.** Odległość gazociągu od obrysu zewnętrznego uziemienia elektroenergetycznej stacji transformatorów nie może być mniejsza niż:
- 5,0 m - od granicy strefy kontrolowanej wyznaczonej dla tego gazociągu dla elektroenergetycznych stacji transformatorów o napięciu do 15,0 kV włącznie,
  - 8,0 m - od granicy strefy kontrolowanej wyznaczonej dla tego gazociągu dla elektroenergetycznych stacji transformatorów o napięciu powyżej 15,0 kV.

# Udział w zjawiskach galwanicznych a statystyki energetyczne (2):

jak często występują zwarcia w LWN?:

1416km sieci 110kV (poziom Zakładu)

Rok	Ogólna liczba zdziałań automatycznych
1986	4
1987	3
1988	5
1989	5
1990	6
1991	3
1992	4
1993	4
1994	2
1995	4
1996	424

Na terenie zakładu bocianów, które zanieczyszczanie "re" powodują zautomatyki SPZ drzew. Ostatnią plagę, wynikającą w lasach. Nieurosnących w podaje ich częste

TABELA III. Przyczyny działania automatyki SPZ linii 110 kV w latach 1986 - 1996

Rok	Ogólna liczba zdziałań automatyki SPZ	Wyładowania atmosferyczne	Wiatr	Sadź	Ptaki	Zerwane przewody	Oslabienie izolacji	Różne <sup>*)</sup>	Nie wyjaśnione <sup>**)</sup>
1986	432	65	16	0	1	0	67	50	233
1987	386	51	36	1	10	8	57	14	209
1988	592	187	133	0	20	6	95	36	115
1989	562	74	8	0	5	5	168	28	274
1990	614	83	5	0	0	11	19	25	471
1991	398	57	2	0	0	3	24	52	260
1992	498	115	10	0	0	5	48	74	246
1993	436	95	12	0	0	2	37	33	257
1994	283	55	31	0	0	0	38	32	127
1995	421	132	0	0	2	5	14	6	262
1996	424	90	4	8	4	0	31	17	270

źródło: Przegląd Elektrotechniczny

# Parametry wpływające na wielkość oddziaływań

(1).

Parametr	Oddz. indukcyjne w stanach normalnej pracy	Oddz. indukcyjne w stanach awaryjnych	Oddz. galwaniczne w stanach awaryjnych
prąd LWN	TAK	roboczy - NIE zw-1f - TAK	NIE
napięcie LWN	NIE	NIE	TAK
odległość rura-LWN	TAK	TAK	TAK
rezystywność gruntu	TAK	TAK	TAK
fazowanie	TAK	NIE*	NIE
prądy uziomowe	NIE	NIE	TAK
ilość przewodów N	TAK	TAK	NIE
Ilość torów LWN	TAK*	TAK*	NIE
wys. przewodów nad ziemią	TAK	TAK	TAK



# Parametry wpływające na wielkość oddziaływań (2).

Parametr	Oddz. indukcyjne w stanach normalnej pracy	Oddz. indukcyjne w stanach awaryjnych	Oddz. galwaniczne w stanach awaryjnych
średnica przewodów (F, N)	TAK	TAK	NIE
średnica rurociągu	TAK	TAK	NIE
głębokość zakopania rurociągu	TAK	TAK	NIE*
rezystancja uziemień słupów	NIE	TAK*	TAK
kąt skrzyżowania LWN-rurociąg	TAK	TAK	NIE
grubość izolacji rurociągu	TAK	TAK	NIE
rezystancja izolacji rurociągu	TAK	TAK	TAK

# Napięcia bezpieczne a oddziaływania AC:



POLSKA NORMA

ICS 29.120.50

**PN-EN 50522**

Wprowadza  
EN 50522:2022, IDT

Zastępuje  
PN-EN 50522:2011

**Uziemienie instalacji elektroenergetycznych prądu  
przemiennego o napięciu wyższym niż 1 kV**

Norma Europejska EN 50522:2022 *Earthing of power installations exceeding 1 kV a.c.* ma status Polskiej  
Normy



POLSKA NORMA

ICS 23.040.99; 29.280; 33.100.01;

**PN-EN 50443**

luty 2012

Wprowadza  
EN 50443:2011, IDT

Zastępuje

Skutki zakłóceń elektromagnetycznych w rurociągach wywoływane oddziaływaniem  
wysokonapięciowych systemów kolejowej trakcji elektrycznej prądu przemiennego  
i/lub wysokonapięciowych systemów zasilania prądu przemiennego

IGG 10.1.1.1 -PN-EN 50522: 2011

SBT-PE-I34 W PKT 7.3 PN-EN 50443

# Oddziaływania AC – farmy PV:

1. Linie kablowe stałoprądowe
2. Linie kablowe przemiennoprądowe
3. Rozległe systemy uziemień

# Czym różnią się pakiety symulacyjne?

1. Zakres funkcjonalności
2. Algorytmy obliczeniowe
3. Sposób rzutowania
4. Różne podejście do podziału na odcinki
5. Różne podejście do specjalnego obliczania stref w bezpośrednim sąsiedztwie skrzyżowania rurociąg-LWN
6. Różne formuły obliczeniowe, w tym przede wszystkim różne podejście do obliczania impedancji wzajemnej i obwodów ziemnopowrotnych
7. Niektóre pakiety stosują współczynniki na rozpraszanie energii
8. Sposób wizualizacji danych

# Jaki pakiet symulacyjny wybrać?



System

Dane

WYNIK  
OBLICZEŃ

Człowiek



# Linie kolejowe AC:

1. Bardzo wysoki poziom oddziaływań
2. Wybrany sposób zasilania elektroenergetycznego będzie źródłem powstawania prądów błędzących AC
3. Niewielkie zrozumienie zagadnienia po stronie osób zaangażowanych w proces projektowy
4. Nieuwzględnienie wymagań w tym zakresie w kontraktach z firmami projektowymi
5. Nietypowe sposoby zabezpieczeń – brak doświadczeń krajowych



źródło: <https://m.rc.fm/news/kalisz-pleszew-poznan-poludniowa-wielkopolska-wielkopolska-jest-umowa.html>

# Analiza danych, dobór zabezpieczeń, optymalizacja kosztowa:

---

1. W przypadku bardzo wysokiego poziomu oddziaływań koszty zabezpieczenia co generuje duży obszar możliwych optymalizacji kosztowych.
2. Nie występują żadne sformalizowane wytyczne w zakresie doboru środków zabezpieczających.
3. Dobór zabezpieczeń do układów gdzie występuje oddziaływanie wielu linii energetycznych jest zadaniem trudnym i czasochłonnym.
4. Nowoczesne narzędzia pozwalają na usprawnienie procesu doboru optymalnego rozwiązania zabezpieczającego.

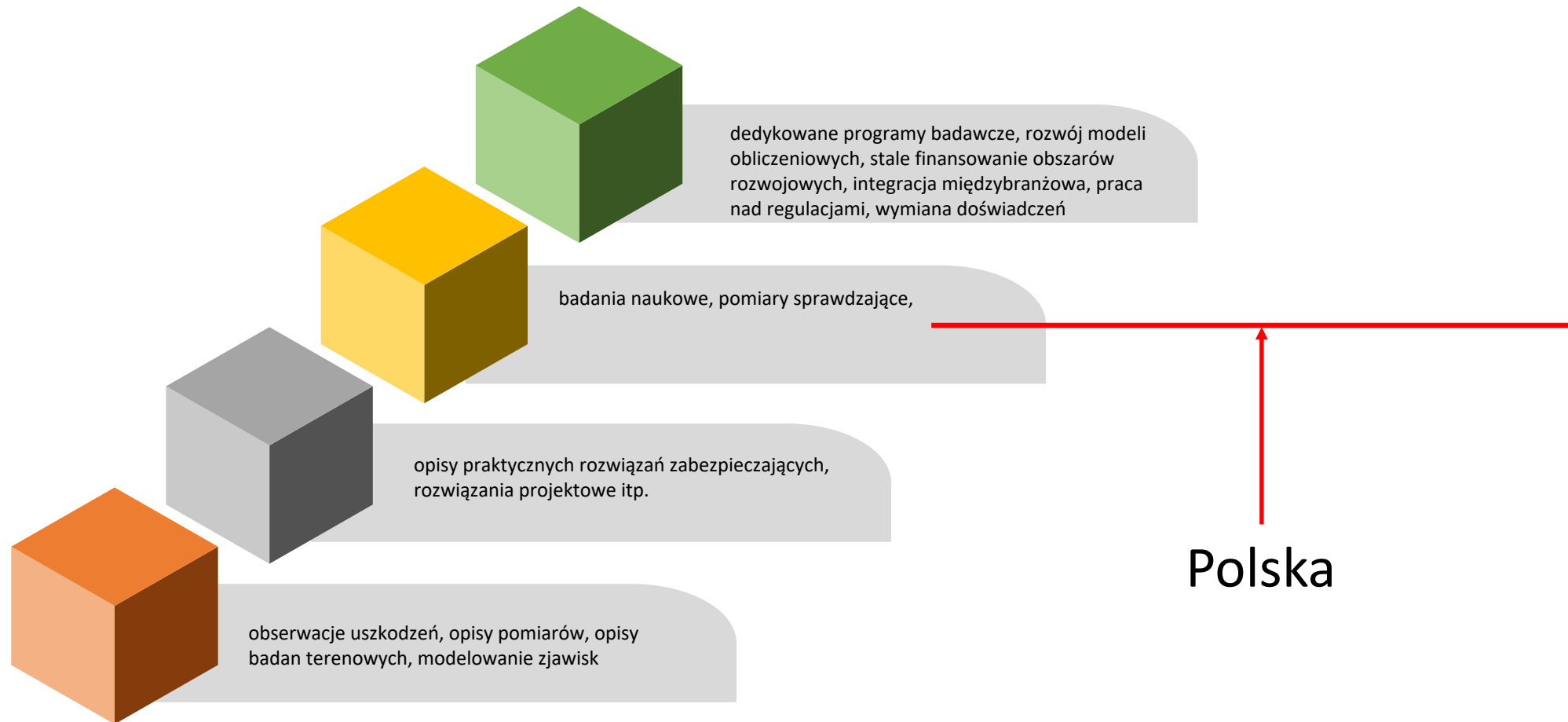
## Najczęściej popełniane błędy:

1. Błędy wynikające z niezrozumienia charakteru oddziaływania
2. Błędy wynikające z dokładności zastosowanych metod obliczeniowych
3. Błędy wynikające z różnic obliczeniowych (np. przyjętych długości odcinków), metody uśredniania itp.
4. Dobór odgraniczników prądu jako zabezpieczenie przed oddziaływaniami galwanicznymi
5. Montaż uziomów odgraniczników w strefach oddziaływań galwanicznych
6. Określanie prędkości korozji dla oddziaływań w stanach awaryjnych
7. Zabezpieczanie odcinków rurociągów za pomocą powłoki bezdefektowej bez uwzględniania przesuwania się obszaru oddziaływania



# Wnioski

# Odziaływania przeniennoprdowe – postp w literaturze



## Podsumowanie (1) :

Poprawa jakości wykonywanych ocen oddziaływania LWN na rurociągi wymaga:

1. Wymiany informacji, szkoleń, publikacji
2. Standaryzacji postępowania, norm, wytycznych
3. Finansowania, badań, rozwoju
4. Współpracy operatorzy LWN – operatorzy infrastruktury liniowej - PKP

## Podsumowanie (2) – czego potrzebujemy :

1. Wzorcowy algorytm/algorytmy postępowania dla różnych scenariuszy (proj. gazociąg – istniejąca LWN, proj. LWN – istn. gazociąg, układy mieszane)
2. Zdefiniowanie postępowania dla poszczególnych kroków obliczeniowych
3. Postępowanie w przypadku braku lub częściowego braku danych o LWN
4. Postępowanie z systemami uziemień energetycznych
5. Postępowanie z LWN DC
6. Postępowanie z liniami AC kolei dużych prędkości
7. Ustalenie dopuszczalnych napięć
8. Ustalenie zakresu i rodzaju linii jakie należy uwzględnić
9. Ustalenie poziomu obciążeń LWN jakie należy przyjmować do obliczeń
10. Ustalenie jakie czasy zadziałania zabezpieczeń w sieci energetycznej należy przyjmować

Dziękuję za uwagę

**Piotr Lamparski**