



POLSKI KOMITET
ELEKTROCHEMICZNEJ OCHRONY PRZED KOROZJĄ
STOWARZYSZENIE ELEKTRYKÓW POLSKICH
W WARSZAWIE

XVI Konferencja Naukowo-Techniczna
"Pomiary Korozyjne w Ochronie Elektrochemicznej"
17-19 października 2022
Jastarnia

Ograniczanie szkodliwego oddziaływania linii wysokiego napięcia na stalowe rurociągi. Studium przypadków.

Jerzy Sibila, Jerzy Mossakowski
P.Z.A. CORRSTOP Sp. z o.o.

The logo for CORRSTOP is displayed in a white rectangular box. The word 'CORRSTOP' is written in a bold, red, sans-serif font. The letters are closely spaced and have a slight shadow effect.

Wprowadzenie

- ▶ **Od czego zależy wartość wyindukowanego napięcia ?**
- ▶ Wg. dokumentu CIGRE “GUIDE ON THE INFLUENCE OF HIGH VOLTAGE AC POWER SYSTEMS ON METALLIC PIPELINES” w najprostszym przypadku gdy gazociąg jest długi i rozciąga na znaczną odległość od strefy oddziaływania napięcie wyindukowane w gazociągu wyraża się wzorem :

$$V(x) = \frac{E}{2\gamma} (e^{-\gamma(L-x)} - e^{-\gamma x})$$

- ▶ gdzie:
- ▶ E – siła elektromotoryczna
- ▶ γ – to stała propagacji rurociągu
- ▶ L – długość zbliżenia

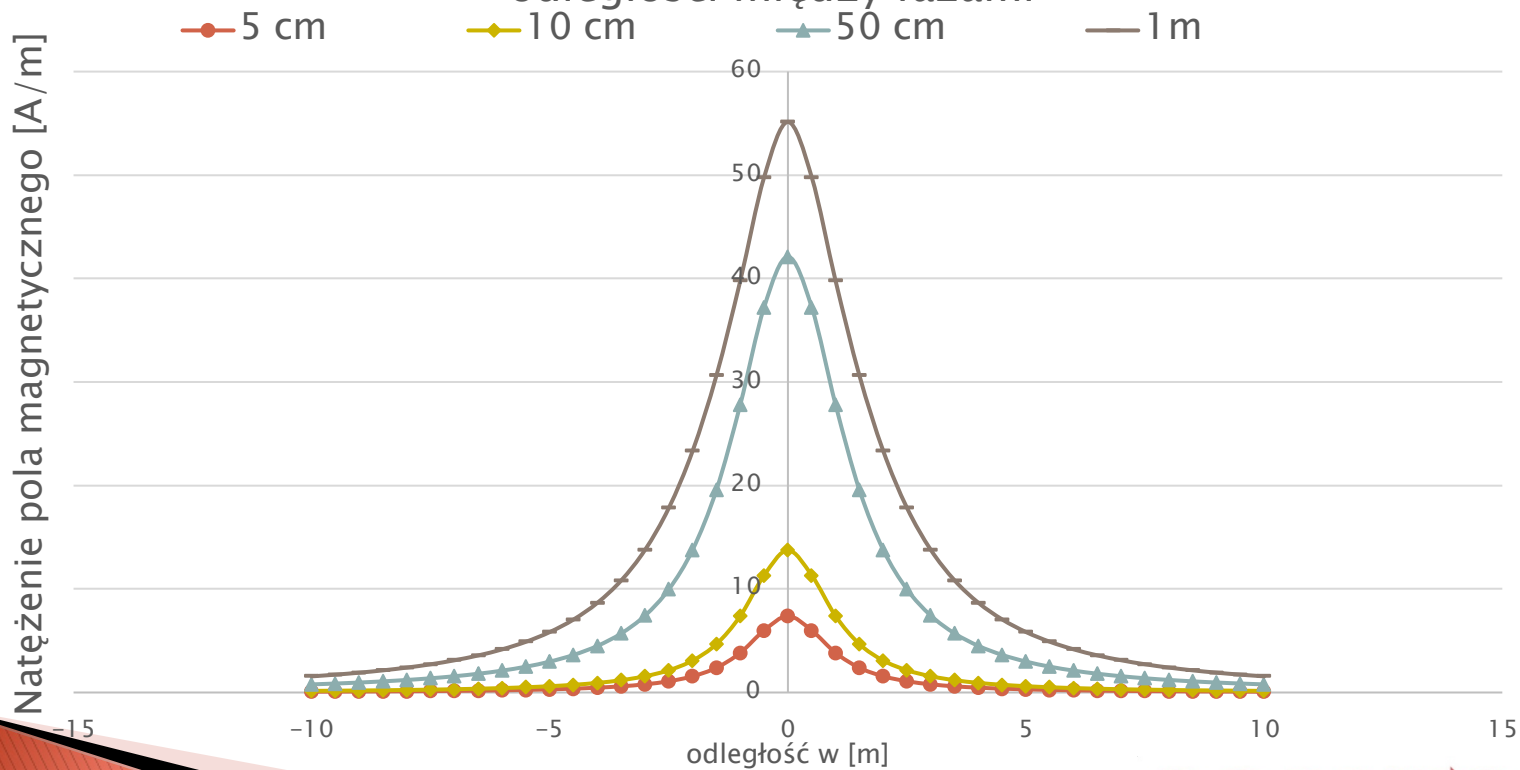
- ▶ Siła elektromotoryczna, w przypadku gdy nie ma przewodu odgromowego, gdy prądy w fazach są symetryczne wyraża się wzorem:

$$(E)_o = j f \frac{\mu_o I}{2} \left[\ln \frac{d_{2p} d_{3p}}{d_{1p}^2} + j \sqrt{3} \ln \frac{d_{2p}}{d_{3p}} \right] \text{ (V/m)}$$

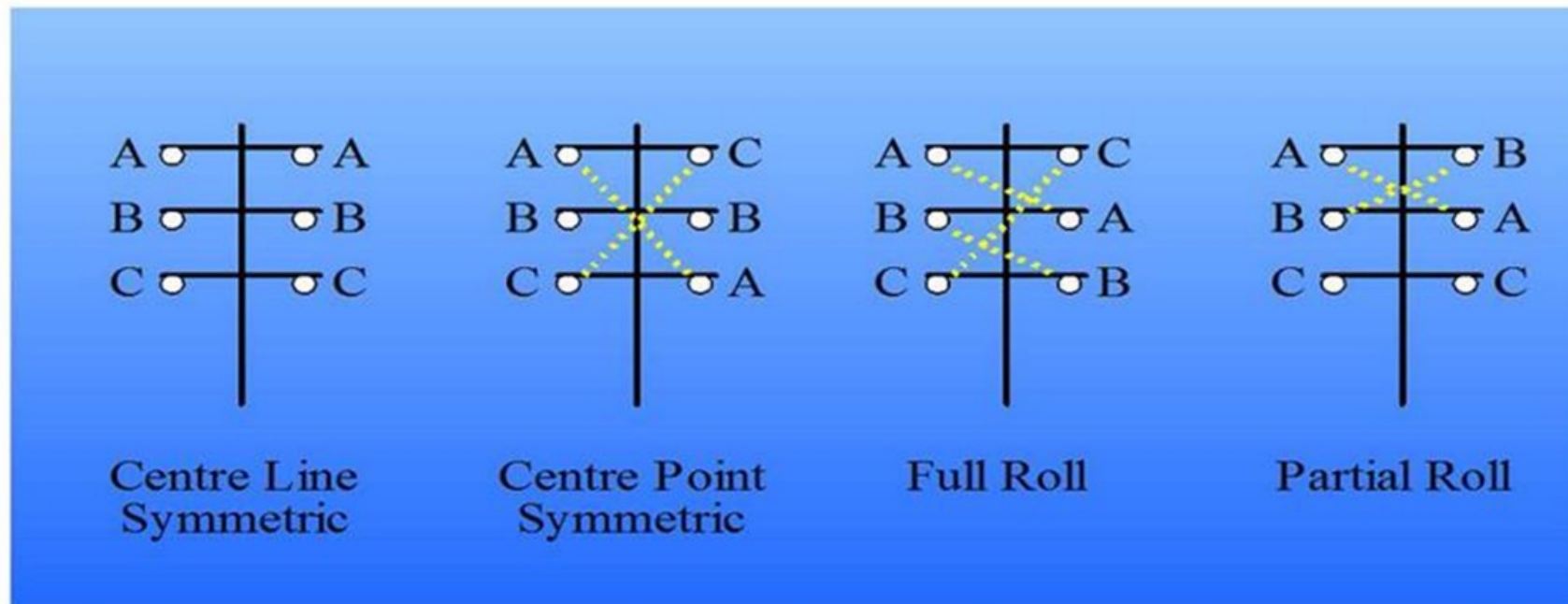
- ▶ gdzie:
- ▶ $(E)_o$ – siła elektromotoryczna indukowana na jednostkę długości
- ▶ j – to jednostka urojona
- ▶ f – częstotliwość
- ▶ μ_o – stała magnetyczna próżni
- ▶ d_{1p} – odległość między rurociągiem a pierwszym przewodem fazowym
- ▶ d_{2p} – odległość między rurociągiem a drugim przewodem fazowym
- ▶ d_{3p} – odległość między rurociągiem a trzecim przewodem fazowym



Symulacja natężenia pola magnetycznego w zależności od odległości między fazami



W literaturze [Gummow] opisana jest metoda ograniczenia indukowanego napięcia w gazociągu poprzez odpowiednie ułożenie faz na słupie.

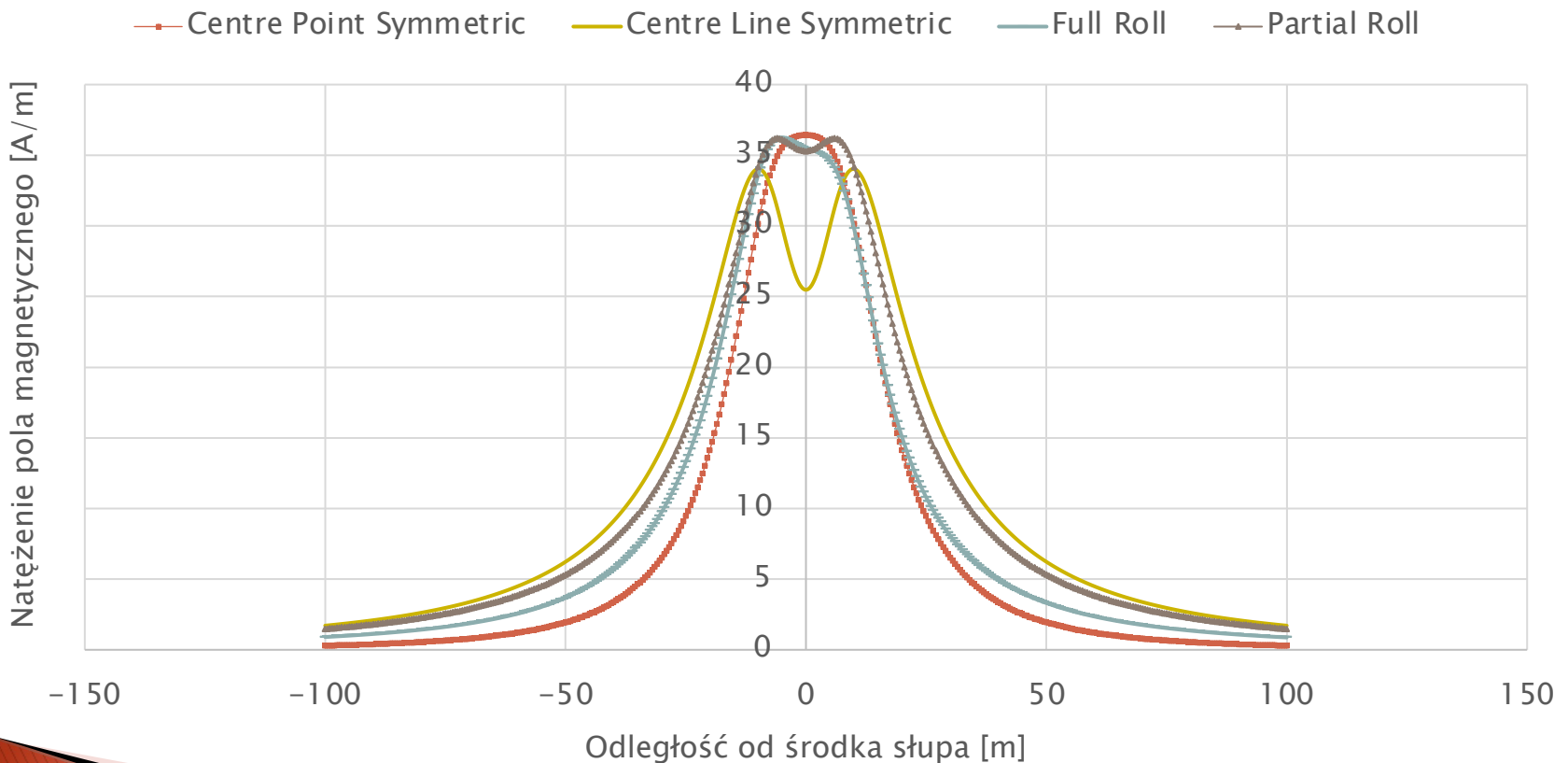


Rysunek 3. Różne możliwe układy faz na słupie linii dwutorowej

Układ faz opisany jako „Centre Point Symmetric” powoduje wyidukowanie się kilkukrotnie mniejszego napięcia przemiennego niż przez pozostałe układy.

Na wykresie poniżej zaprezentowano natężenie pola magnetycznego na powierzchni ziemi dla dwutorowej linii z prądem fazowym wynoszącym 3200 A na słupie typu E34

Symulacja natężenia pola magnetycznego dla różnego ułożenia faz na słupie



▶ Szybkość korozji jest głównie związana z :

- Gęstością prądu AC
- Wartościami potencjałów załączeniowych i wyłączeniowych
- Wymiarami defektów izolacji
- Lokalnymi rezystywnościami gruntu
- Chemicznym składem gruntu
- Formowaniem się osadów na granicy metal elektrolit pod wpływem działania ochrony katodowej

▶ **KRYTERIA**

wystąpienia korozji wywołanej prądem przemiennym są zestawione w następujących normach i standardach:

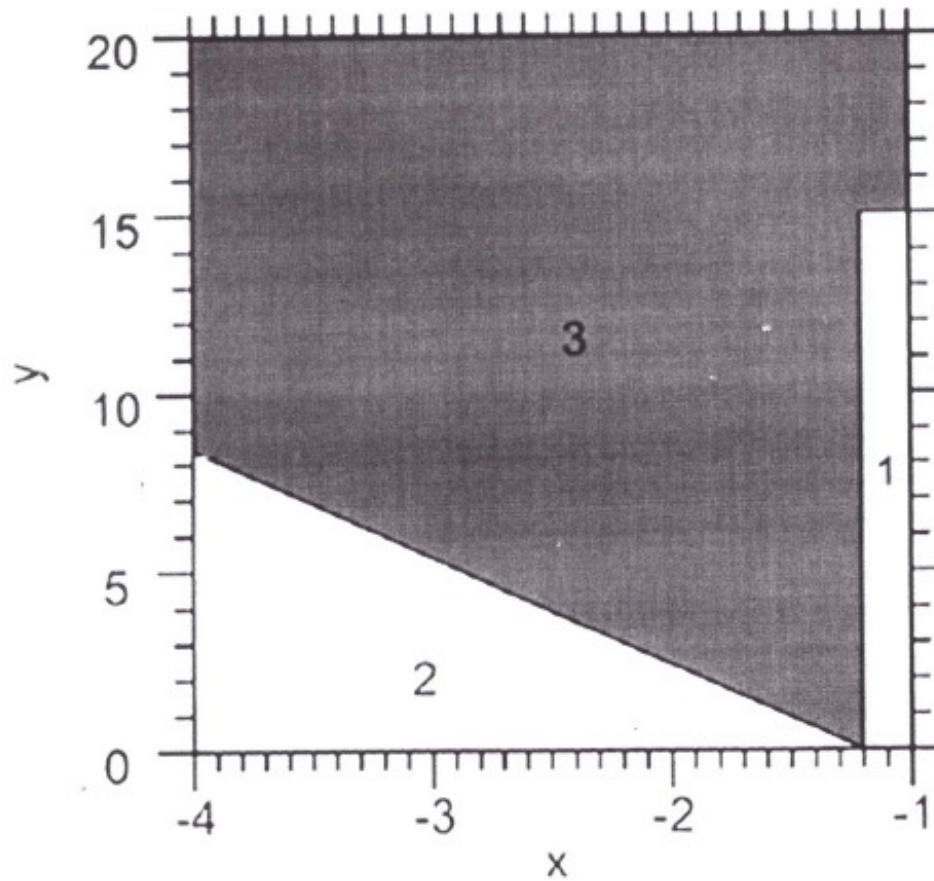
- ▶ **1/ PN-EN 15280:2013 „ Ocena prawdopodobieństwa wystąpienia na zakopanych rurociągach korozji wywołanej prądem przemiennym stosowana do rurociągów chronionych katodowo”.**
- ▶ **2/ PN-EN ISO 18086:2020 „ Korozja metali i stopów. Określenie korozji wywołanej przez prąd przemienny. Kryteria ochrony”.**
- ▶ **3/ EN ISO 21857:2021 „ Petroleum, petrochemical and natural gas industries – Prevention of corrosion on pipeline systems influenced by stray currents”.**
- ▶ **4/ ST-IGG-0602:2013 “ Ochrona przed korozją zewnętrzną stalowych gazociągów lądowych. Ochrona katodowa. Projektowanie, budowa i użytkowanie”.**

- ▶ W praktyce w Polsce, najczęściej do oceny zagrożenia rurociągu korozją prądową stosuje się samoistnie, podane w standardzie IGG 602 kryterium $J_{AC} \leq 20 \text{ A/m}^2$.
- ▶ Jest to zaostrożenie wymogów podanych w normach ($J_{AC} \leq 30 \text{ A/m}^2$), ale uzasadnione.
- ▶ Ponadto należy zwrócić uwagę, że już przy napięciu $U_{AC} = 2 \text{ V}$ i defekcie kołowym o powierzchni 1 cm^2 położonym w gruncie o $\rho = 10 \text{ } \Omega\text{m}$ obliczona ze znanego wzoru :

$$J_{AC} = \frac{226 U_{AC}}{\rho}$$

gęstość prądu przemiennego wynosi $45,2 \text{ A/m}^2$.

- ▶ Dopiero jeżeli powierzchnia defektu kołowego wynosiłaby 5 cm^2 to $J_{AC} = 20,2 \text{ A/m}^2$.



Key

- 1 less negative cathodic protection level
- 2 more negative cathodic protection level
- 3 AC corrosion
- x E_{on} (V against the CSE)
- y $U_{a.c.}$ (V)

NOTE Axis limits for x are given for information. In practice, it is possible to have higher axis ranges.

- ▶ Znakomita jakość współcześnie stosowanych powłok izolacyjnych powoduje obniżenie zagrożenia rurociągów korozją. Jednakże, właściwości takich powłok powodują przenoszenie napięcia przemiennego na znaczne odległości.
- ▶ Defekty w powłoce izolacyjnej mogą występować nawet wiele kilometrów od miejsca oddziaływania linii WN, gdzie rezystywność gruntu może być niska. Taka sytuacja często występuje, gdy część rurociągu układana była za pomocą technologii HDD np. pod drogami, torami, rzekami, jeziorami...
- ▶ W technologii HDD używany jest bentonit do przeciągania rurociągu. Rezystancja bentonitu wynosi około 2–3 Ωm . W takiej sytuacji nawet niewielkie napięcie przemiennie może stanowić zagrożenie ze względu na dużą gęstość prądu AC.

- ▶ Kryteria stosowane w przypadku występowania interferencji AC dla określenia prawdopodobieństwa wystąpienia korozji prądu przemiennego znajdują się w normach EN ISO 18086:2020 i EN 15280:2013
- ▶ W praktyce najczęściej stosowanym kryterium jest : średnia gęstość prądu $<30 \text{ A} / \text{m}^2$.
- ▶ W Polsce według Standardu Izby Gospodarczej Gazownictwa ST-IGG-0602: 2013, kryterium średniej gęstości prądu zostało obniżone do $<20 \text{ A} / \text{m}^2$.

- ▶ Przy rozpatrywaniu oddziaływania napowietrznych linii WN na rurociągi powinno pamiętać się również o bezpieczeństwie personelu obsługującego rurociąg.
- ▶ Dlatego należy przede wszystkim określić wartość napięcia na rurociągu podczas stanu awaryjnego linii.
- ▶ W normach PN-EN 50622:2011E i PN-EN 61936-1:2011E maksymalną dopuszczalną wartością jest 220 V przez 0,5 sekundy.

Przypadek 1

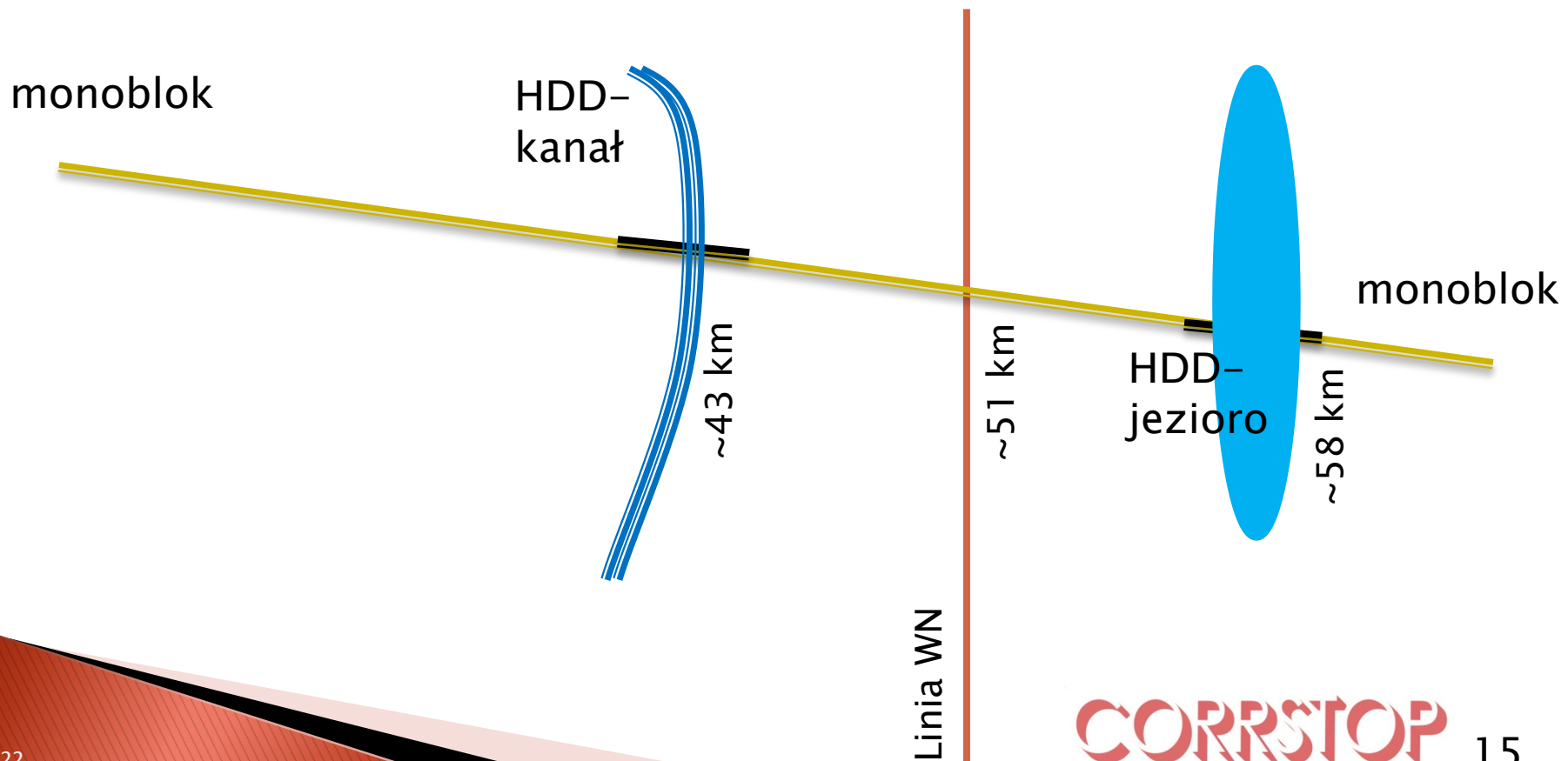
Rurociąg:

- DN700
- Długość całkowita:
81,34 km.
- Wybudowany: 1995–96
- Izolacja: 3LPE
- Jednostkowa
rezystancja przejścia:
ponad $10^7 \Omega\text{m}^2$.

▶ Linia WN:

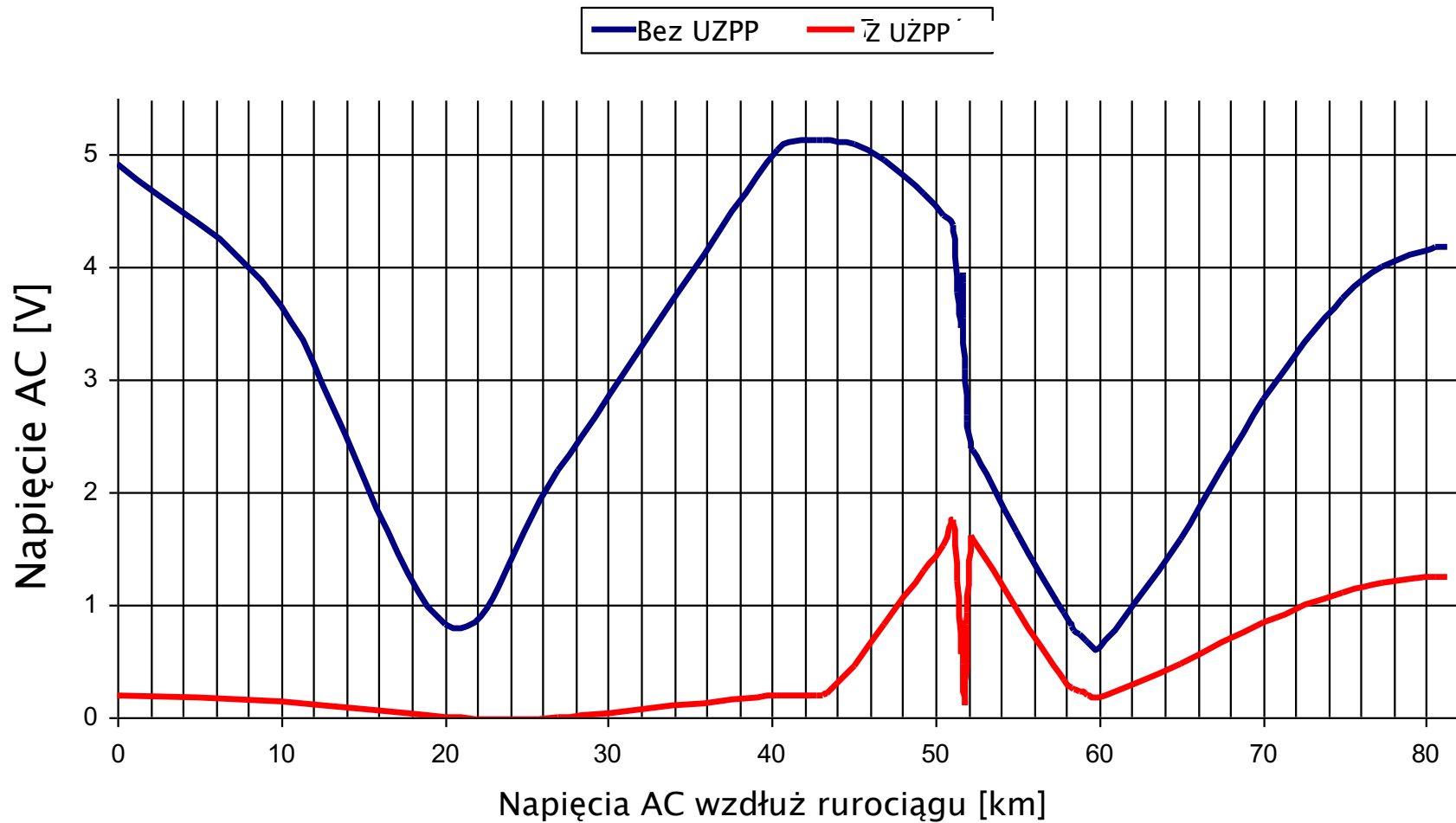
- 2x400 kV
- 3200 A max na fazę

- ▶ Skrzyżowanie rurociągu i linii WN
- ▶ HDD na 43 i 58 km.
- ▶ Na odcinkach HDD zastosowano bentonit



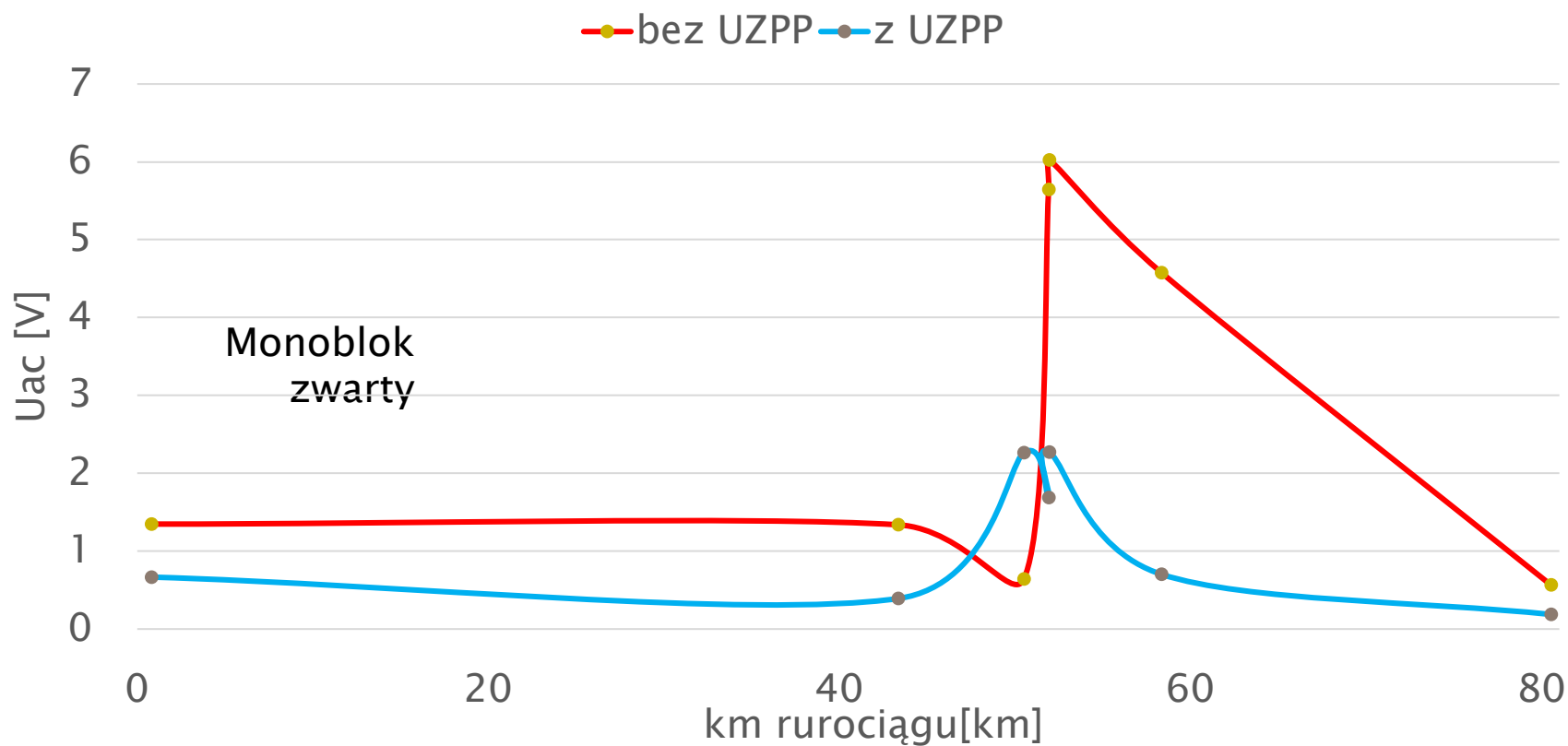
km rurociągu	Wymagana rezystancja uziemienia	ρ [Ω m]	Uwagi
42,8	1,0	35,7	HDD
43,36	1,0	18,7	HDD
50,5	1,0	30,5	Linia WN
51,91	1,5	36,4	
51,95	1,0	71,3	
58,35	1,0	37,1	HDD
59,26	3,0	40	HDD

Lokalizacja siedmiu UZPP na rurociągu DN 700



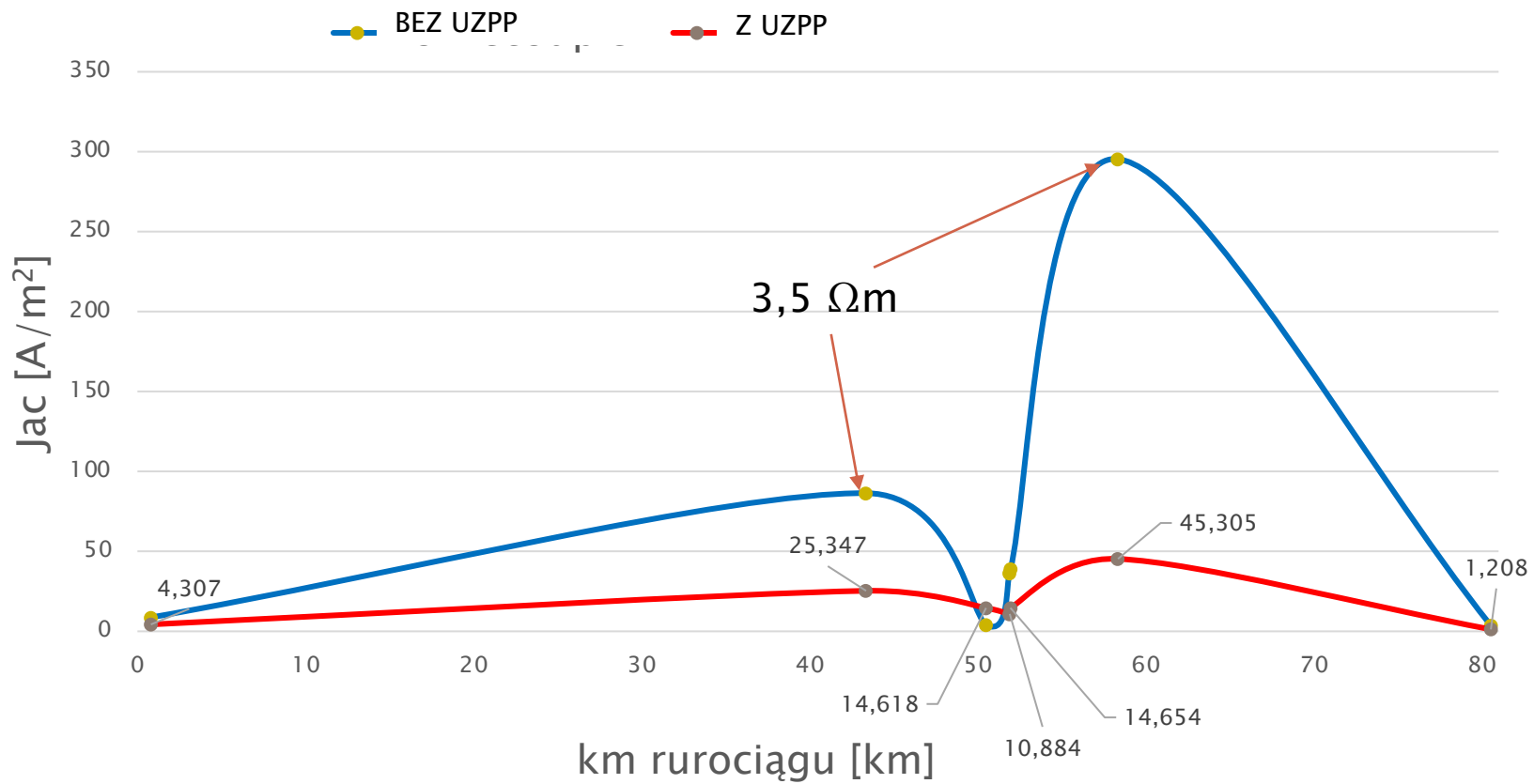
Obliczone wartości napięcia AC

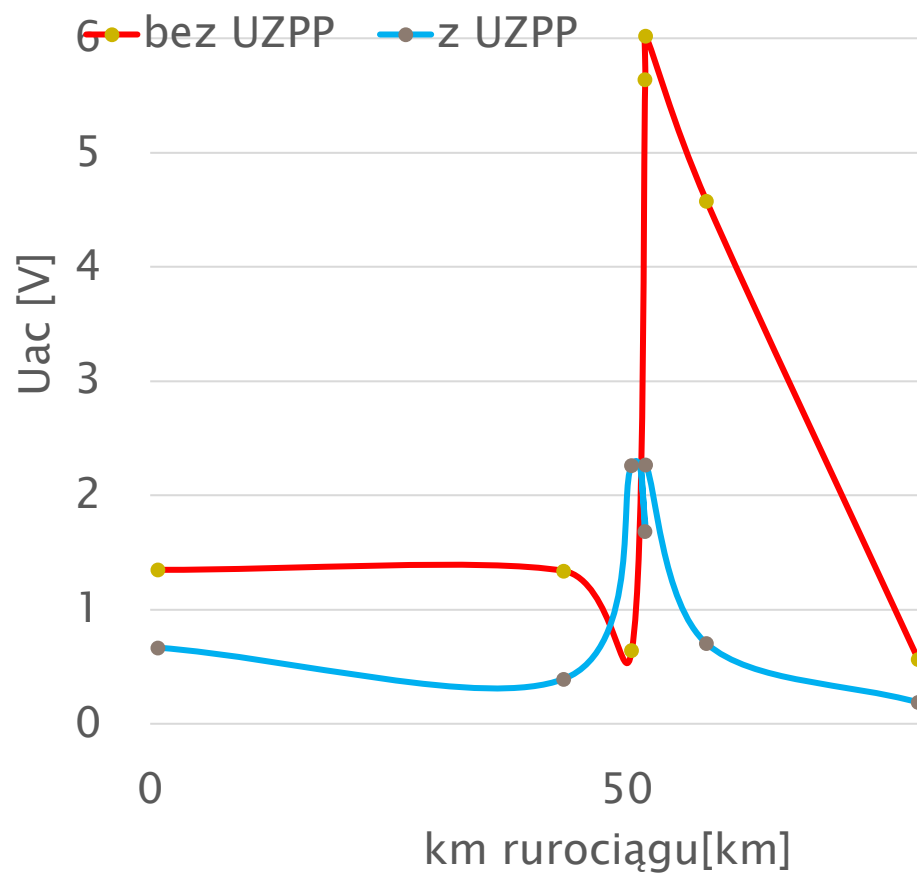
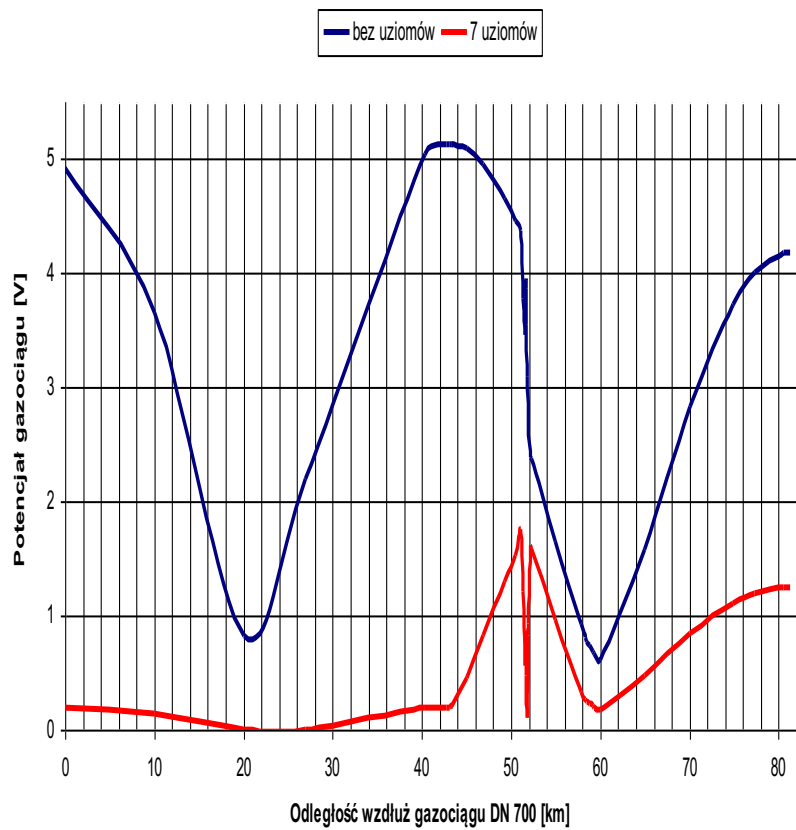
Ekstrapolowane napięcia AC zmierzone na rurociągu



Wyniki pomiarów po uruchomieniu linii

Obliczone gęstości prądu z ekstrapolowanych napięć AC

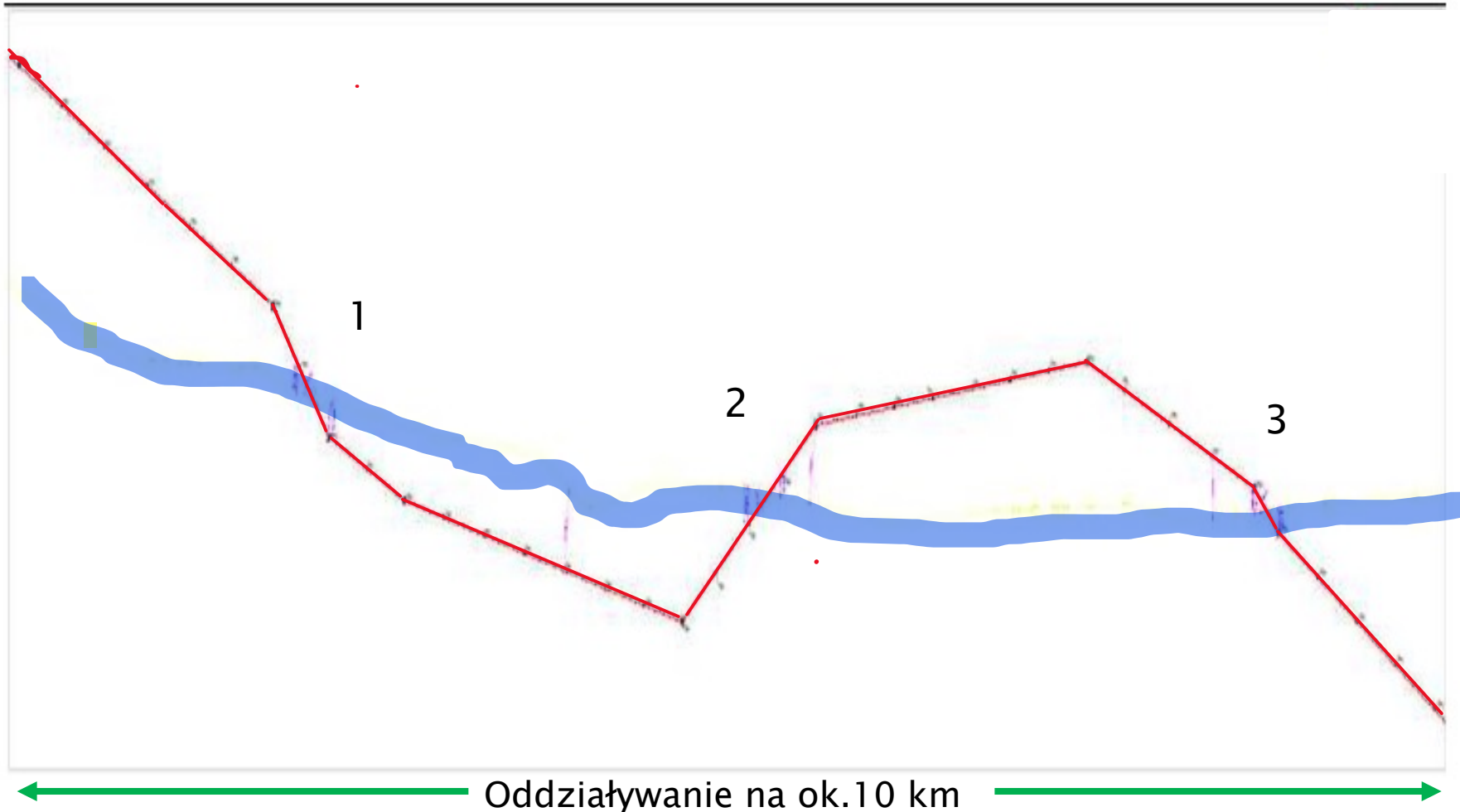




- ▶ Wnioski:
- ▶ Obliczenia wyindukowanego napięcia są zbieżne z rzeczywistymi wartościami pomierzonymi pod warunkiem prawidłowych danych wejściowych.
- ▶ Strefy gdzie było wykonane HDD są strefami potencjalnego zagrożenia.
- ▶ Nawet gdy napięcie AC wynosić tam będzie tylko 1,0 V gęstość prądu J_{AC} może wynosić 75 A/m².

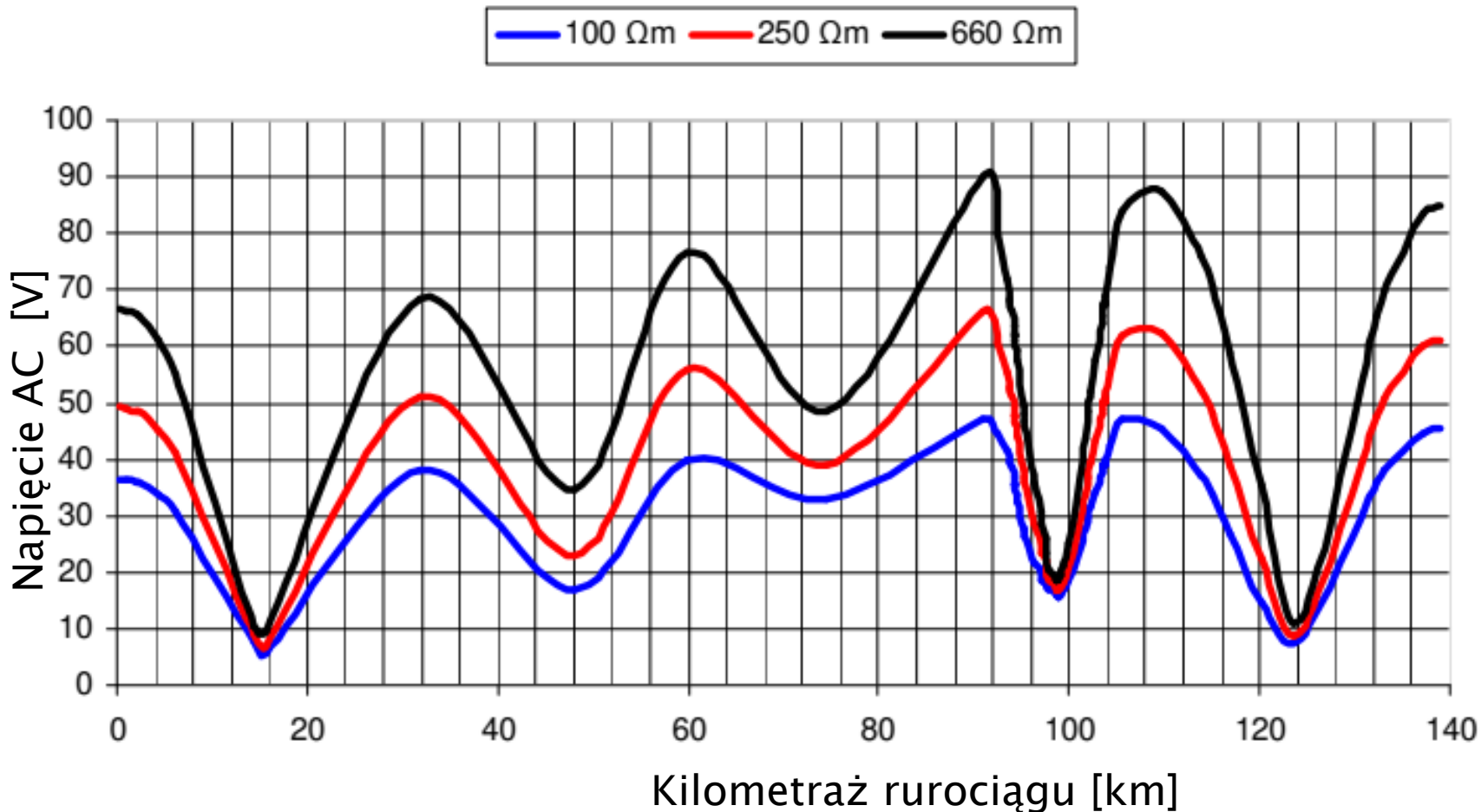
Przypadek 2

- ▶ **Rurociąg:**
 - ▶ Wybudowany w latach 1995–2000
 - ▶ DN 1400
 - ▶ Długość odcinka: 138 km
 - ▶ 3 skrzyżowania z linią pod kątami ok. 40–45°
 - ▶ Izolacja 3LPE
 - ▶ $4,82 \cdot 10^6 \Omega\text{m}^2$.
- ▶ **Linia WN:**
 - ▶ 2x400 kV
 - ▶ Maksymalny prąd fazy 3200 A.



Trasa rurociągu i linii WN

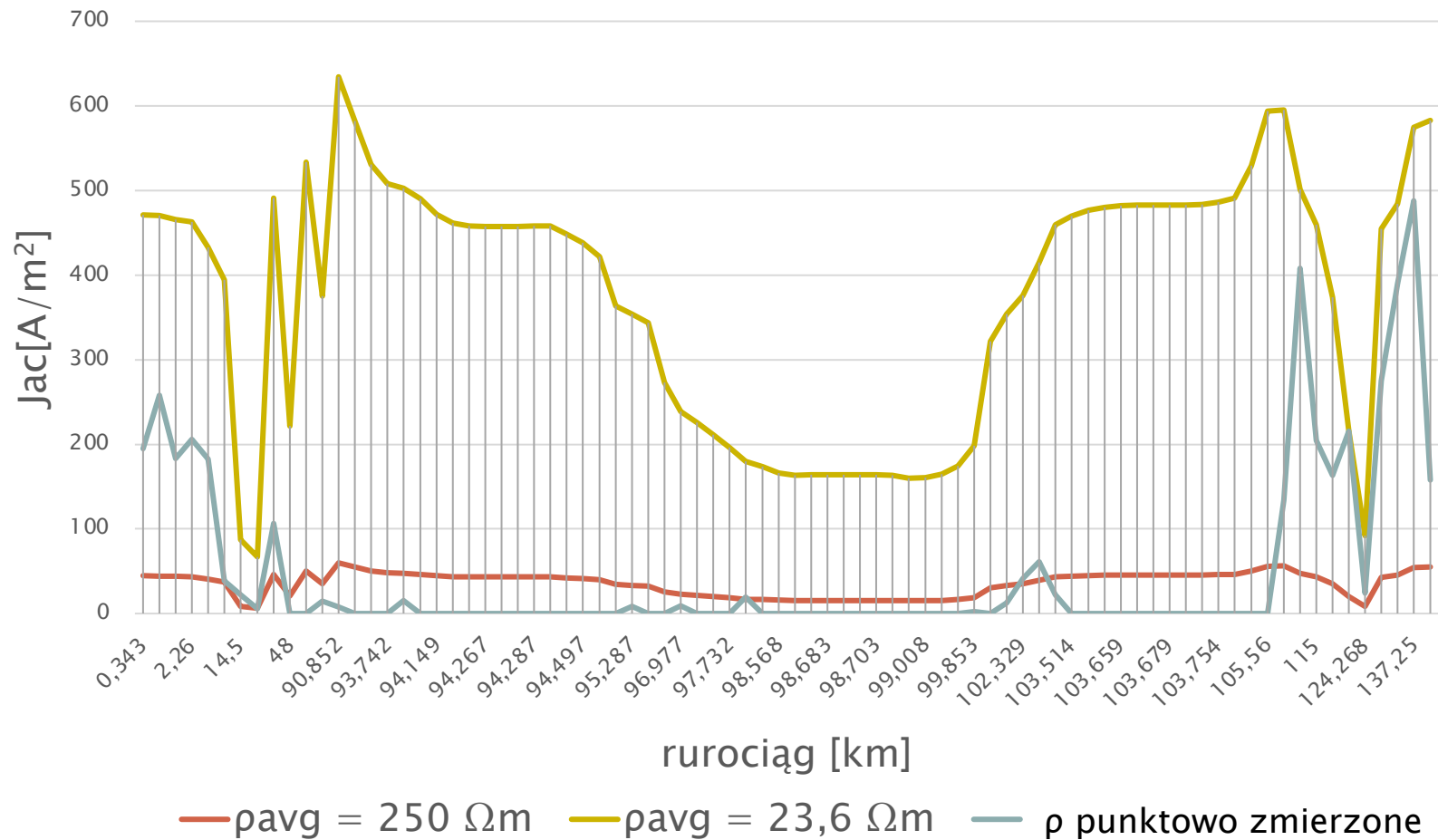
- rurociąg
- Linia WN

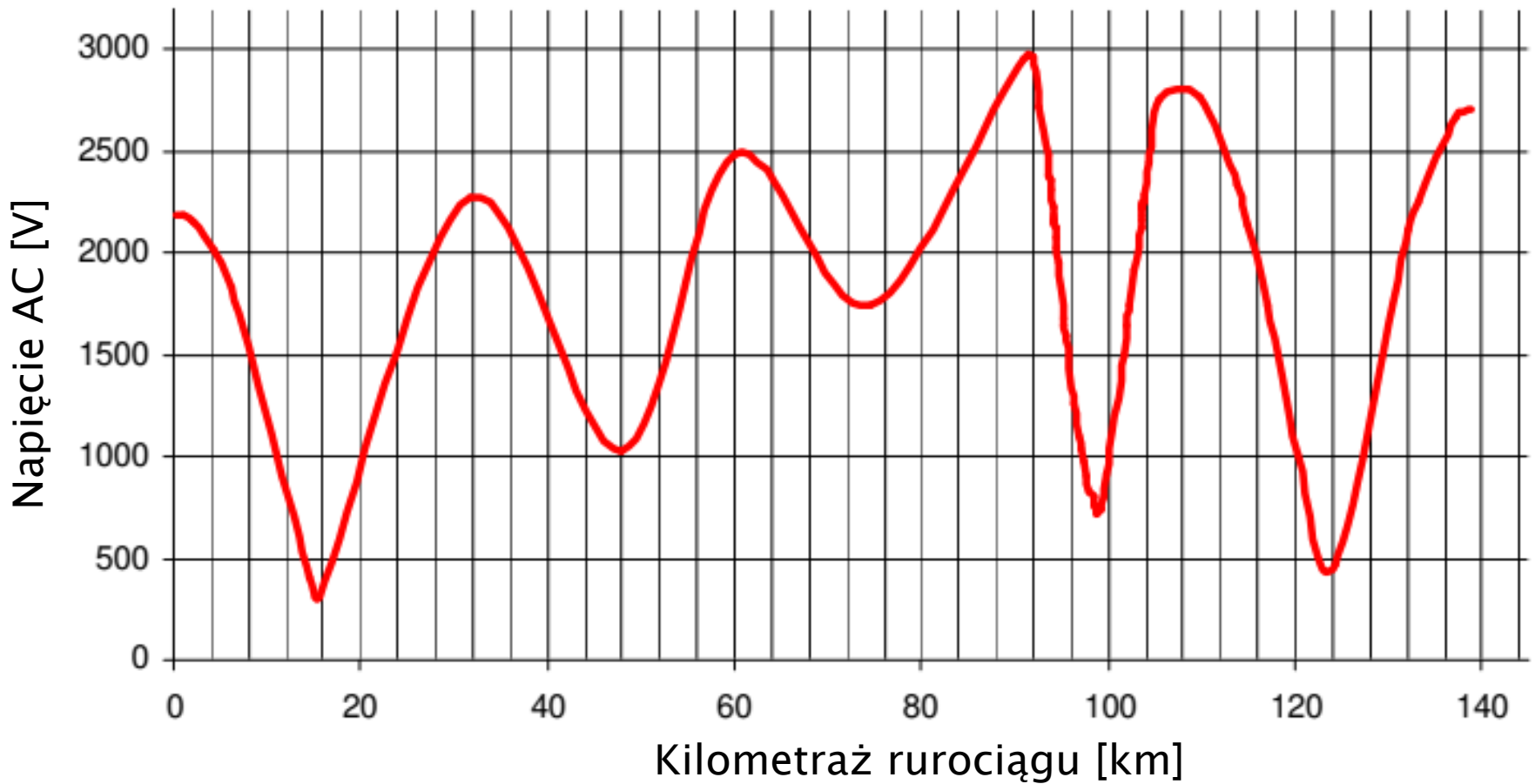


Obliczone napięcie przy maksymalnym prądzie linii bez UZPP [Machczyński]

- ▶ Rezystywności gruntu wahają się od 23 Ωm do kilku $\text{k}\Omega\text{m}$

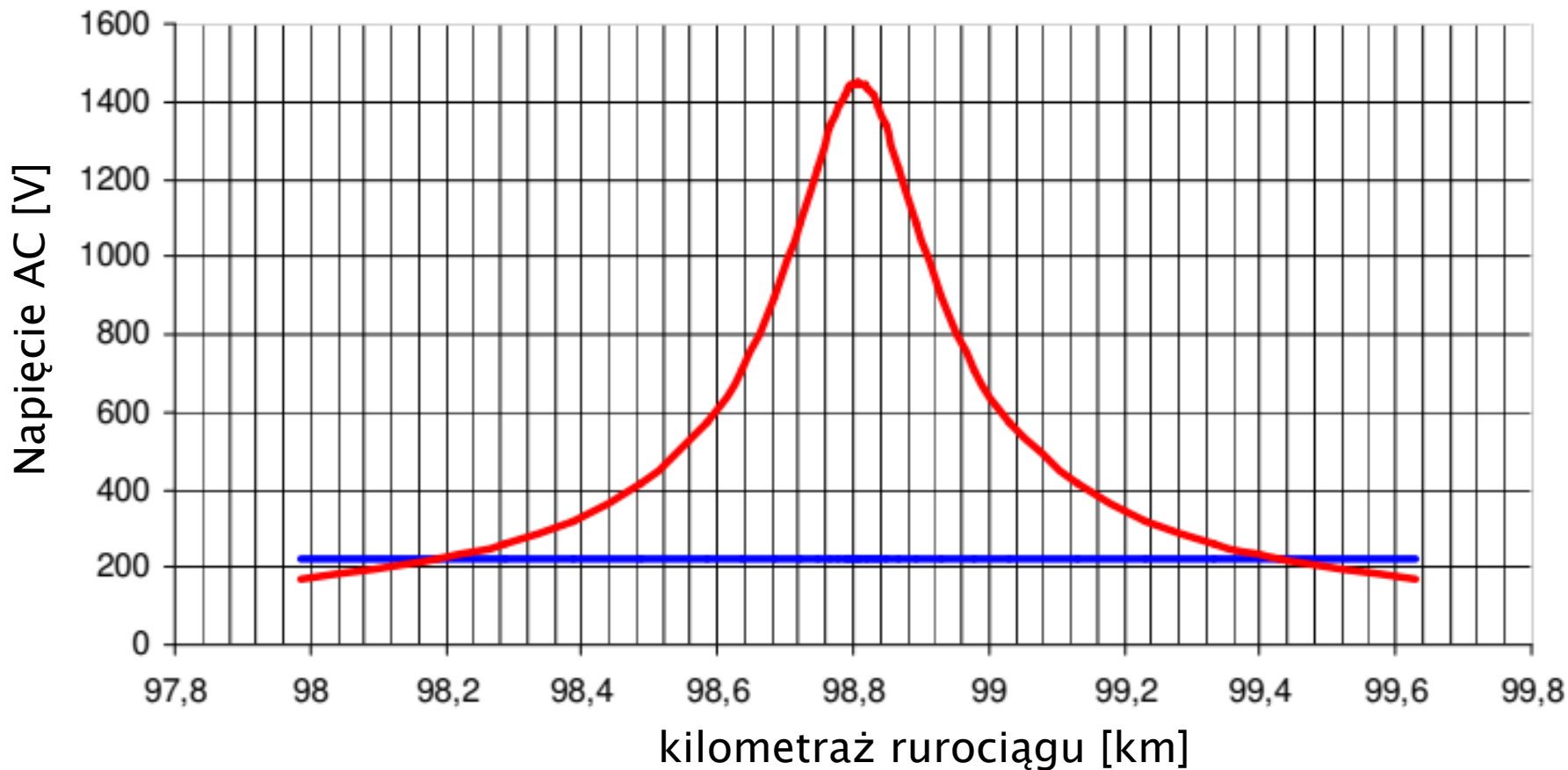
Obliczone gęstości prądu





Napięcie indukowane w stanie awaryjnym linii

Ryzyko porażenia prądem dla obsługi gazociągu



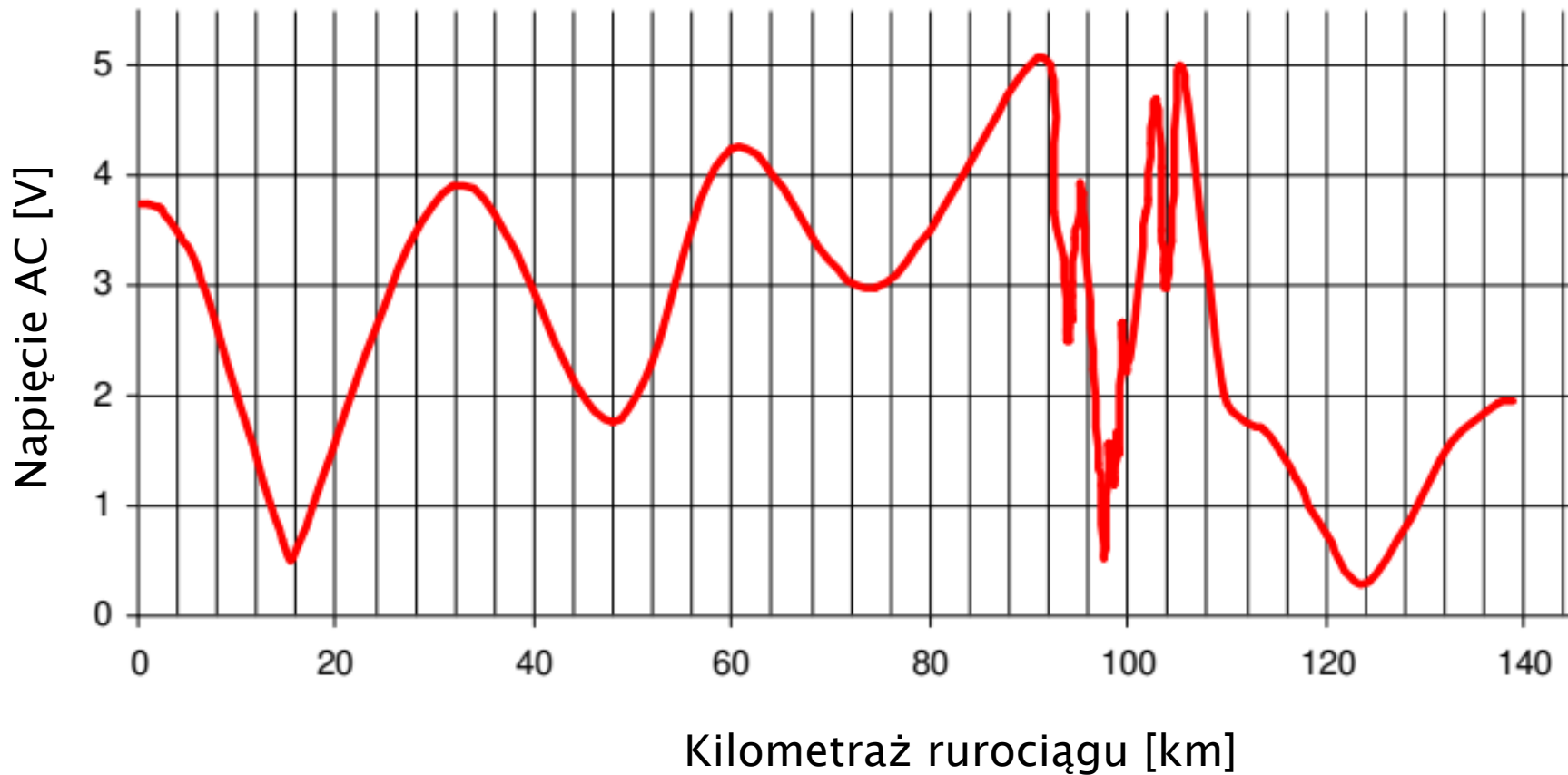
Obliczone napięcie rurociąg ziemia (oddziaływanie galwaniczne)

Ryzyko porażenia prądem personelu obsługującego gazociąg

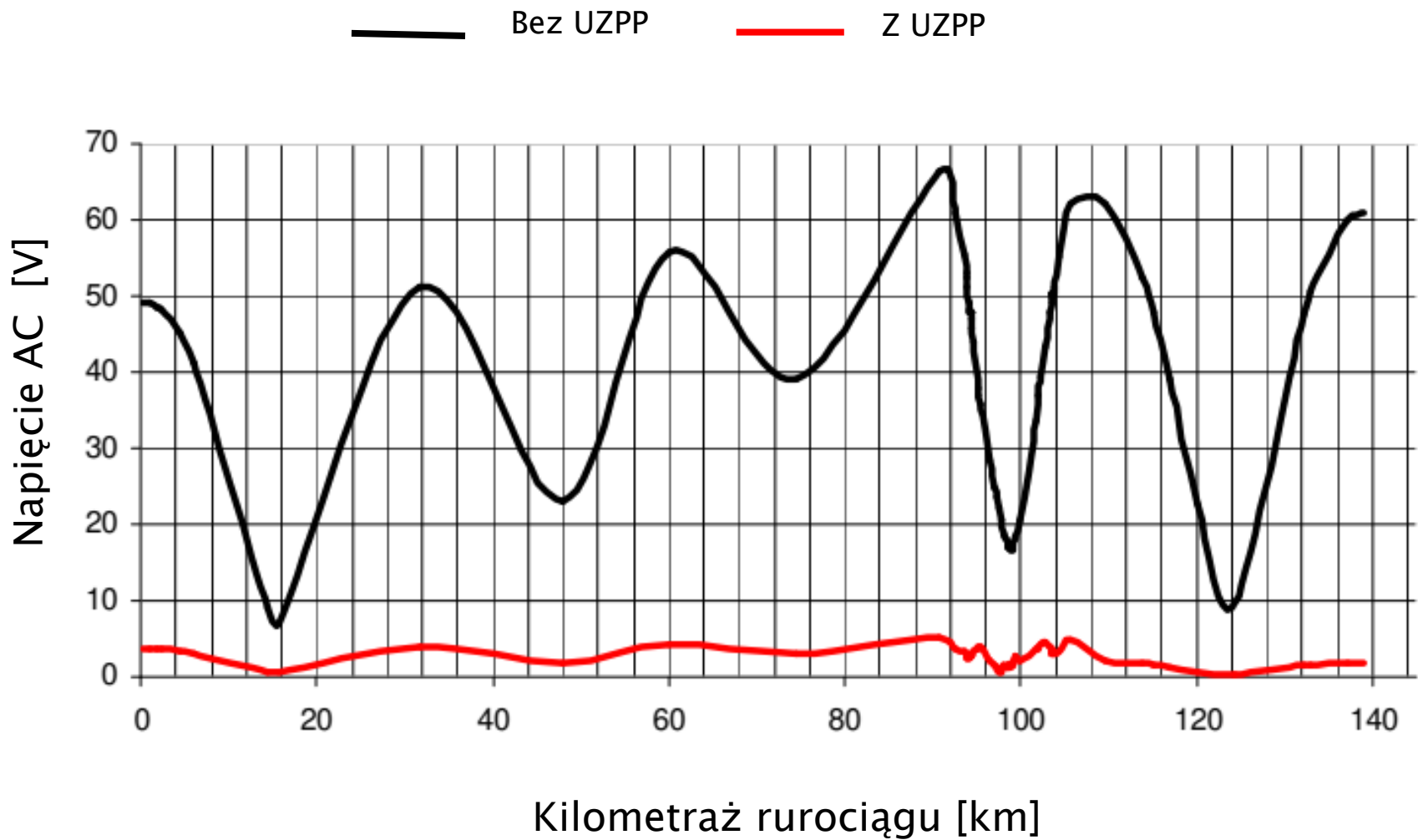
Dziesięć zaprojektowanych UZPPP

Kilometraż rurociągu	Rezystancja uziemienia[Ω]
90,852	0,6
92,497	1,0
93,547	1,2
93,742	1,2
99,428	1,2
103,439	1,5
103,834	1,2
104,344	1,0
105,560	0,7
109,720	1,2

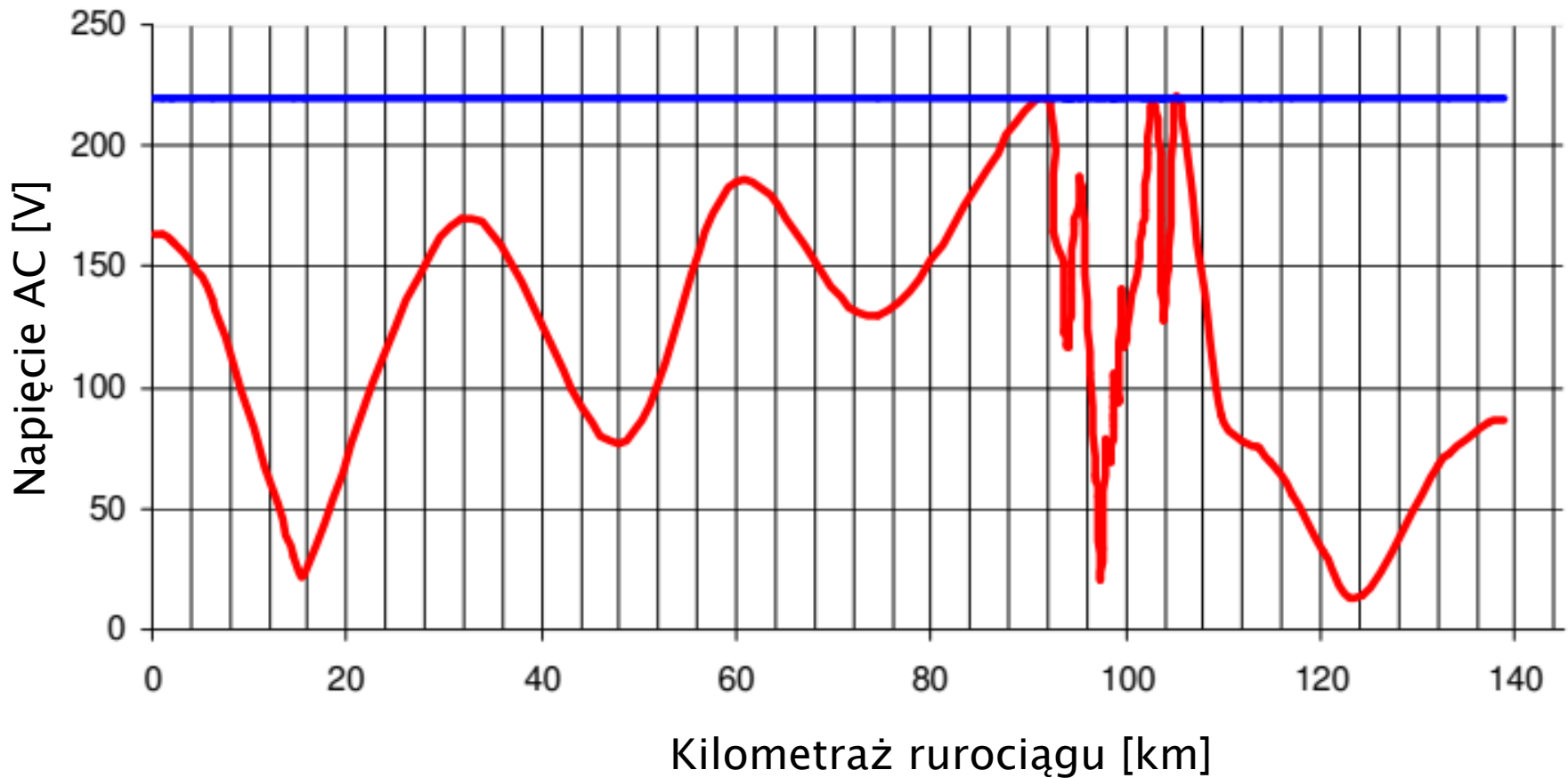
Rozmieszczenie 10 UZPP wzdłuż rurociągu



Obliczony rozkład napięcia po zainstalowaniu 10
UZPP [W. Machczyński]



Porównanie obliczonych wartości z i bez UZPP [W. Machczyński]



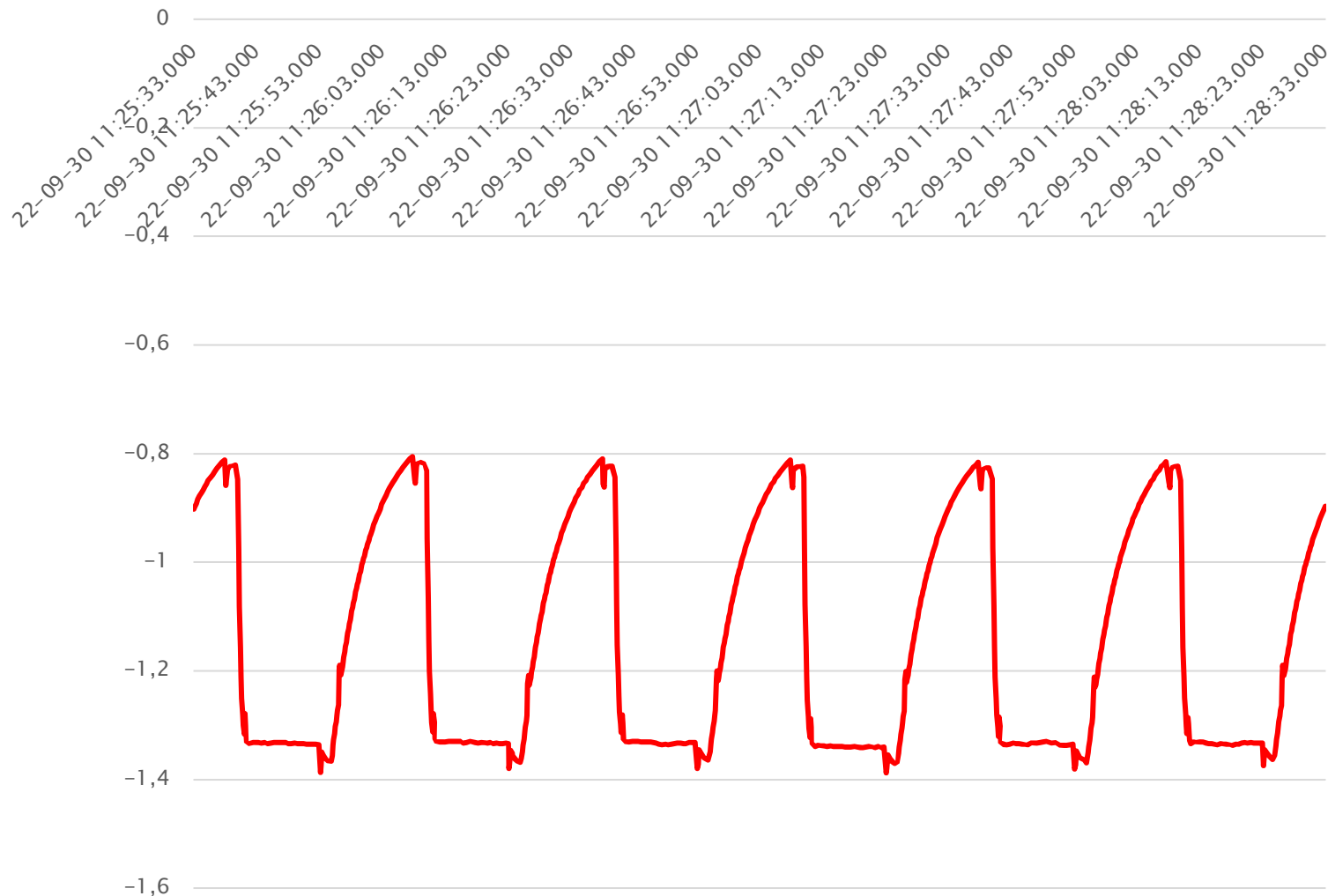
Wyindukowane napięcie w trakcie stanu awaryjnego z UZPP
[W. Machczyński]

- ▶ Wnioski”
- ▶ Gdy linia WN krzyżuje się z rurociągiem znajdującym się w gruntach o wysokiej rezystywności, ryzyko korozji jest niewielkie. Jednakże występuje ryzyko porażenia prądem osób obsługujących rurociąg.
- ▶ W gruntach o wysokiej rezystywności, eliminacja ryzyka porażenia prądem jest trudna i kosztowna ponieważ wymaga wykonania uziemienia o niskiej wartości rezystancji rozptywu. W prezentowanym przypadku rezystancja powinna wynosić $0,6 \Omega$ w miejscu gdzie powierzchniowa rezystywność gruntu wynosi $1960 \Omega\text{m}$ i przekracza $800 \Omega\text{m}$ do głębokości 50 m. Uzyskanie takiej rezystancji może być bardzo kosztowne.



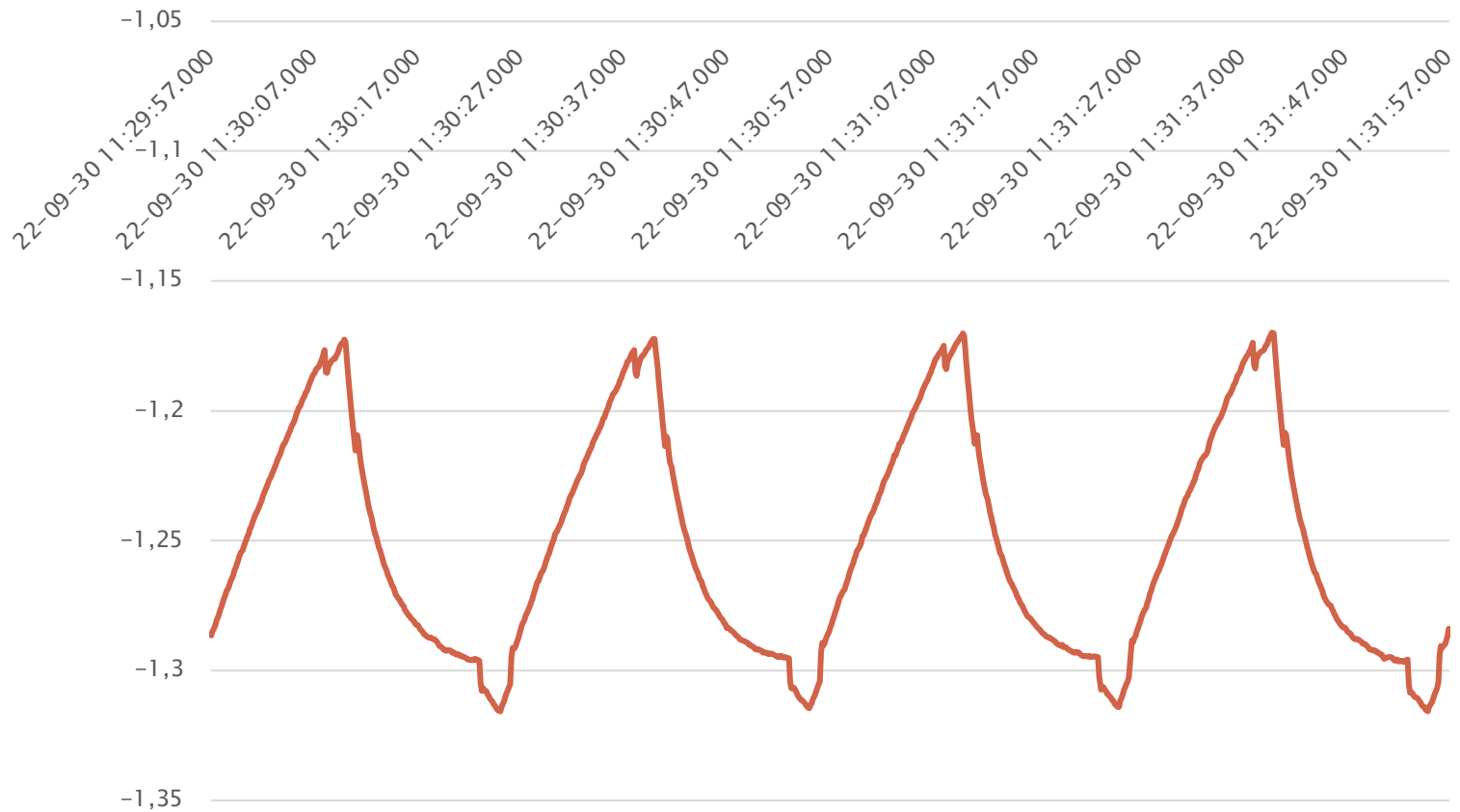
Porównanie efektów pojemnościowych dla różnych typów UZPP

Gazociąg bez defektu

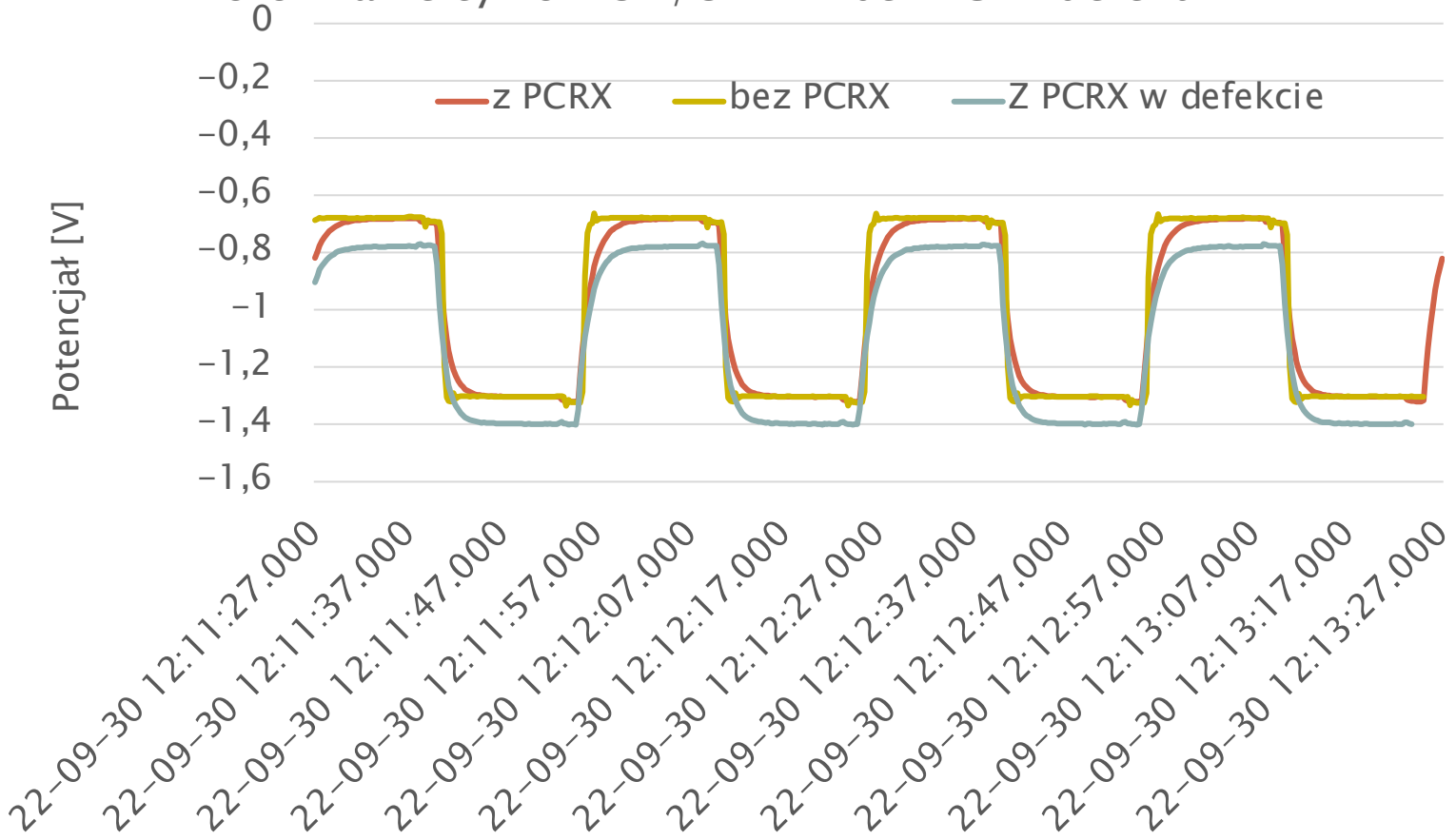


$$U_C(t) = \frac{Q(t)}{C} = U_0 e^{\frac{-t}{R \cdot C}},$$

Gazociąg bez defektu z PCRX



Porównanie cykli ON/OFF z i bez PCRX defekt 2mA



Wnioski

Przy określaniu wpływu linii WN na rurociąg pod uwagę powinno się brać nie tylko ryzyko korozji prądowej lecz także bezpieczeństwo personelu obsługującego rurociąg.

Instalowanie urządzeń UZPP może być skutecznym sposobem obniżania napięcia AC. Powoduje jednak problemy z wykonaniem pomiarów potencjału wyłączeniowego na rurociągu.

Dziękuję!





2021/9/1 16:47

