



**ZAGROŻENIE STALOWYCH RUROCIĄGÓW POTENCJAŁEM
ZIEMNOZWARCIOWYM UZIEMIENIA SŁUPÓW LINII O NAPIĘCIU 110 KV
I WYŻSZYM, W OBSZARACH ZBLIŻEŃ DO SŁUPÓW**

**HAZARD TO STEEL PIPELINES CAUSED BY THE GROUNDING-SHORTING
POTENTIAL OF EARTHING OF 110 KV OR HIGHER VOLTAGE OVERHEAD
TRANSMISSION LINE SUPPORTS IN THE VICINITY OF THESE SUPPORTS**

Stefan Szpak

Zakład Pomiarowo Badawczy Energetyki „Energopomiar-Elektryka” w Gliwicach

Słowa kluczowe: potencjał ziemnozwarciowy uziomu, zagrożenie rurociągów, napięcie
rażeńiowe dotykowe

Keywords: short-circuits potential, hazardous voltages on pipelines, danger of electric shock

Streszczenie

W referacie przedstawiono sposób powstawania niebezpiecznych napięć w obszarze stalowych rurociągów w miejscu zbliżeń do słupów linii elektroenergetycznych o napięciu 400 kV, 220 kV i 110 kV podczas występowania 1-fazowych zwarć na słupach linii. Przedstawiono również metodę pomiarową do wyznaczania wielkości tych napięć oraz wyniki pomiarów na dwóch gazociągach. Badania wykazują możliwość występowania niebezpiecznych napięć rażeńiowych dotykowych w obszarach rurociągów podczas 1-fazowych zwarć na słupach linii elektroenergetycznych o napięciu 400 kV, 220 kV i 110 kV. Zagrożenie porażeniowe może również występować na stanowiskach pomiarowych (punktach kontrolnych) ochrony katodowej rurociągów, jeżeli taka ochrona jest zainstalowana.

Summary

In the paper the method of formation of hazardous voltages has been presented in the area of steel pipelines in the vicinity of overhead transmission line supports of 400 kV, 220 kV and 110 kV voltages during occurrence of one-phase short-circuits on supports of these lines. Also, the measurement method has been presented of determination of the magnitude of these voltages, as well as the results of measurements on two gas pipings. Tests show the possibility of formation of dangerous voltages causing electric shock during one-phase short-circuits on overhead transmission line supports of 400 kV, 220 kV and 110 kV voltages. Danger of electric shock may also occur on measuring positions (control points) of cathodic protection of pipelines, if such a protection is installed.

1. Wstęp

Elektroenergetyczne linie napowietrzne o napięciach 400 kV, 220 kV i 110 kV są zbudowane na stalowych słupach, usadowionych na żelbetowych fundamentach, które z racji swojej konstrukcji, są dobrymi uziomami naturalnymi. Na części słupów, usytuowanych w miejscach o dużej koncentracji ludzi, wg. wymagań przepisów instalowane są uziomy ochronne. Słupy linii elektroenergetycznych wyposażone są w przewody odgromowe w celu ochrony linii przed wyładowaniami piorunowymi. Przewody te połączone są metalicznie z konstrukcjami słupów, łącząc metalicznie sąsiednie słupy i uziomy. Duża ilość napowietrznych linii elektroenergetycznych na terenie kraju stwarza możliwość częstych zbliżeń tras stalowych rurociągów w obszary tych linii lub skrzyżowań z tymi liniami.

Liniami 400 kV, 220 kV i 110 kV przesyłane są duże moce, a w stanach zakłóceńowych pracy linii, podczas występowania 1-fazowych zwarć na słupach linii np. na wskutek przepięć atmosferycznych, uszkodzeń mechanicznych izolatorów lub innych przyczyn, występować mogą znaczne wartości prądu 1-fazowego zwarcia. W krajowym systemie elektroenergetycznym prądy 1-fazowych zwarć mogą wynosić od kilku tysięcy amperów do ok. 35 kA.

Na trasach rurociągów w obszarach zbliżeń lub skrzyżowań z trasami linii elektroenergetycznych o napięciach 400...110kV, mogą występować niebezpieczne oddziaływania prądu zwarcia na rurociągi stalowe (i inne konstrukcje), zakwalifikowane jako oddziaływania elektromagnetyczne i galwaniczne .

Oddziaływania elektromagnetyczne mogą stwarzać zagrożenie porażeniowe na rurociągach w czasie ich montażu. Zagadnienie to nie jest jednak tematem niniejszego referatu.

Oddziaływania galwaniczne mogą stwarzać, w obszarze podziemnych rurociągów stalowych zlokalizowanych w sąsiedztwie słupów linii elektroenergetycznych, niebezpieczne zagrożenie potencjałem ziemnozwarciowym uziemienia słupów (napięciem uziomowym).

2. Mechanizm występowania napięcia uziomowego.

Dla większości słupów linii elektroenergetycznych uziomem słupa są jego żelbetowe fundamenty, stanowiące naturalne uziomy słupów (mogą również one współpracować z uziomami ochronnymi, jeżeli takie są wykonane). Słupy linii połączone są z sobą za pośrednictwem przewodów odgromowych tworząc system uziomowy linii.

Rozpływ prądu 1- fazowego zwarcia na słupie linii, w system uziomowy słupów linii powoduje, że prądy uziomowe tego systemu wywołują napięcia uziomowe w postaci stożków napięciowych wokół słupów (potencjały ziemnozwarciowe). Zasięg oddziaływania stożków napięcia uziomowego słupów zależy od wielu czynników, m.in. od prądu uziomowego, rezystancji uziemienia słupa, a wyznaczyć go można dokładnie jedynie metodą pomiarową, podczas modelowania 1-fazowych zwarć na słupie linii.

2.1 Prąd uziomowy słupa

Występowanie napięcia uziomowego słupa (potencjału ziemnozwarciowego uziemienia słupa) wiąże się z przepływem i rozpraszaniem części prądu zwarcia przez to uziemienie. Ma to miejsce podczas 1- fazowego zwarcia na słupie linii. Prąd zwarcia rozplywa się w metalicznych oczkach obwodów ziemnopowrotnych słupów, a przeważająca część tego prądu spływa do ziemi z uziemienia słupa na którym wystąpiło zwarcie. Prąd ten, nazywany prądem uziomowym, wywołuje napięcie uziomowe słupa. Rozpływ prądu 1-fazowego zwarcia (na słupie nr 3) ilustruje rys. 1, a określić go można z zależności:

$$I_u = I_z - (I_z^{3-2} + I_z^{3-4}) - I_z * (1 - r) \dots \dots \dots (1)$$

gdzie: I_u - prąd uziomowy,

I_z - prąd 1-fazowego zwarcia na słupie nr 3,

I_L^{3-2} - udział prądu zwarcia odpływający przewodem odgromowym w kierunku słupa nr 3,

I_L^{3-4} - udział prądu zwarcia odpływający przewodem odgromowym w kierunku słupa nr 4,

r - współczynnik redukcyjny przewodów odgromowych (w zależności od typu słupa i typu przewodu odgromowego $r = 0,45 \div 0,95$)

2.2 Napięcie uziomowe

Napięcie uziomowe słupa nr 3 z rys. 1 (potencjał ziemnozwarciowy uziemienia słupa) określa zależność:

$$U_u = I_u \cdot R_{st} \dots\dots\dots (2)$$

gdzie: I_u - prąd uziomowy słupa nr 3,

R_{st} - rezystancja uziemienia słupa nr 3,

Dokładną wartość napięcia uziomowego można zasadniczo wyznaczyć metodą pomiarową z dostateczną dla praktyki dokładnością. Stosowana jest najczęściej metoda techniczna, która pozwala w sposób przybliżony określić napięcie uziomowe, wykonując pomiary w stosunku do sondy napięciowej, przemieszczanej w obszarze tzw. "ziemi odniesienia". Obszar ten wyznacza się podczas przepływu prądu pomiarowego (rys.2). Wielkość i kształt stożka napięciowego zależy m.in. od wartości prądu uziomowego oraz geoelektrycznych parametrów gruntu i geometrycznych rozmiarów uziomu słupa.

Dla typowych słupów przelotowych linii 110 kV, ziemia odniesienia występuje w odległości ok. 100 ÷ 150 m od słupa.

W obszarze stożka napięciowego uziemienia słupa potencjał gruntu jest wyższy od potencjału gruntu który znajduje się poza obszarem stożka napięciowego, w obszarze "ziemi odniesienia". Jeżeli rurociąg na swojej trasie przechodzi przez obszar stożka napięciowego, może przywlekać niski potencjał "dalekiej ziemi" w obszar stożka o podwyższonym potencjale. Mierzona różnica potencjałów pomiędzy rurą rurociągu a ziemią, w zależności jak wykonywany jest pomiar, będzie albo :

a/ potencjałem gazociągu (V_g - rys. 5),

b/ napięciem naprężającym izolację powłoki rurociągu (ΔU - rys. 5),

c/ napięciem rażeniowym dotykowym (U_{td}), gdy podczas pomiaru woltomierz zboczni-kowany będzie rezystorem 1000 Ω (1500 Ω), a elektroda pomiarowa usytuowana będzie w odległości ok. 1 ÷ 1,5 m od konstrukcji rurociągu (rys. 5).

3. Pomiary terenowe

3.1 Obiekt I

Badania oddziaływania pęćcału ziemnozwarciowego uziemienia słupa kratowego nr 3 linii 110 kV na gazociąg $\Phi 400$ mm, w powłoce bitumicznej, relacji Zdieszowice -Kędzierzyn. Gazociąg ten na odcinku pomiędzy słupem nr 1, a słupem nr 7 przebiega w zbliżeniu do linii 110 kV Zdieszowice - Górażdże. Badany gazociąg na odcinku pomiędzy słupem nr 3, a słupem nr 6 przebiega równolegle do linii 110 kV (odstęp gazociągu od skrajnych przewodów wynosi ok. 12,5 m), natomiast pomiędzy słupami nr 1 i 2, oraz nr 6 i 7 przecina oś linii 110 kV w środku przęsła (długość przęsła ok. 300 m).

Usytuowanie gazociągu i słupów linii 110 kV ilustruje rys. 3.

3.2 Obiekt II

Badania oddziaływania pętcjału ziemnozwarciowego uziemienia słupa kratowego nr 41 linii 110 kV na gazociąg $\Phi 400$ mm, w powłoce bitumicznej, relacji Zdieszowice - Opole wykonywano w obszarze zbliżenia gazociągu do linii, pomiędzy słupami nr 38-41. Zbliżenie linii do gazociągu wynosi od 10 m na słupie nr 41 do 30 m na słupie nr 38.

Usytuowanie gazociągu i słupów linii 110 kV ilustruje rys.6.

4. Metoda badań

Badania oddziaływania potencjału ziemnozwarciowego uziemienia słupa 110 kV na gazociąg wykonywano metodą techniczną, podczas modelowania zwarcia na słupie nr 3 obiektu I i słupie nr 41 obiektu II. Układ pomiarowy zasilano napięciem 380 V z transformatora potrzeb własnych stacji 110/ŚN, usytuowanych w odległości 10÷ 15 km (patrz rys. 4).

5. Zakres badań

W ramach prowadzonych badań wykonano pomiary:

- prądu modelowanego zwarcia - I_p ,
- rozkładu potencjału na gazociągu - V_g ,
- rozkładu potencjału na słupach linii 110 kV - V_{st} ,
- napięcia pomiędzy słupami linii 110 kV a gazociągiem - ΔU ,
- napięcie rażeniowych dotykowych na gazociągu - U_{rd} ,

6. Współczynnik przeliczeniowy

Napięcia zmierzone podczas pomiarów przy prądzie pomiarowym I_p przeliczone zostały na prąd 1-fazowego zwarcia I_z za pośrednictwem współczynnika przeliczeniowego "k" określonego z zależności:

$$k = I_u / I_{pu};$$

gdzie: I_u - jest prądem uziomowym, rozpraszającym przez uziemienie słupa podczas zwarcia,

I_{pu} - jest prądem pomiarowym uziomowym, rozpraszającym przez uziemienie słupa podczas pomiarów,

Jeżeli do wykonania obwodu prądowego wykorzystuje się linię 110 kV, współczynnik "k" określa się z zależności: $k = I_z / I_p$; (gdzie: I_z -prąd 1-fazowego zwarcia; I_p - prąd pomiarowy).

Według danych uzyskanych z Energetyki prąd 1 - fazowego zwarcia z ziemią i czas trwania zwarcia wynosi:

a/ 12400 A - dla obiektu I; (czas trwania zwarcia $t_z =$ ok. 0,9 s),

b/ 3250 A - dla obiektu II; (czas trwania zwarcia $t_z =$ ok. 0,9 s),

7. Dopuszczalna wartość napięcia rażeniowego dotykowego

Dla urządzeń elektroenergetycznych o napięciu znamionowym wyższym niż 1 kV, dopuszczalne wartości napięć rażeniowych dotykowych, dla czasu zwarcia $t_z = 0,9$ s, zgodnie z wymaganiami [1], wynoszą:

135 V - dla 1 stopnia ochrony przeciwporażeniowej dodatkowej (dla obszaru dostępnego dla osób postronnych),

270 V - dla 2 stopnia ochrony przeciwporażeniowej dodatkowej (dla obszarów niedostępnych dla osób postronnych),

8. Wyniki pomiarów

8.1. Prąd modelowanego zwarcia wynosił: 35 A - obiekt I i 57 A - obiekt II,

8.2. Pomiary rozkładu potencjału na stanowiskach gazociągu.

Pomiary rozkładu potencjału na stanowiskach gazociągu wykonywano jako pomiar napięcia pomiędzy rurociągiem a sondą pomiarową przemieszczaną od osi gazociągu, w kierunku prostopadłym do osi gazociągu, w obszar "ziemi odniesienia". Wyniki pomiarów, zmierzone i przeliczone na prąd zwarcia I_z , zamieszczone są w tablicy 1 (obiekt I) i tablicy 5 (obiekt II).

8.3. Pomiary rozkładu potencjału na stanowiskach słupów.

Pomiary rozkładu potencjału na stanowiskach słupów wykonywano jako pomiar napięcia pomiędzy konstrukcją słupa a sondą pomiarową przemieszczaną w obszar "ziemi odniesienia". Wyniki pomiarów - zmierzone i przeliczone na prąd zwarcia I_z , zamieszczone są w tablicy 2 (obiekt I) i tablicy 6 (obiekt II).

8.4. Pomiary różnicy potencjałów: konstr. słupa - konstr. gazociągu.

Pomiary różnicy potencjału "słup - gazociąg" wykonywano jako pomiar napięcia występującego pomiędzy konstrukcją słupa, a konstrukcją gazociągu.

Wyniki pomiarów - zmierzone i przeliczone na prąd zwarcia I_z , zamieszczone są w tablicy 3 (obiekt I) i tablicy 7 (obiekt II).

8.5. Pomiary napięć rażeniowych dotykowych na stanowiskach gazociągu.

Pomiary napięć rażeniowych dotykowych na stanowiskach gazociągu wykonywano pomiędzy konstrukcją gazociągu a sondą płytową [1], umieszczaną na gruncie, w odległości ok. 1 m od konstrukcji gazociągu.

Wyniki pomiarów - zmierzone i przeliczone na prąd zwarcia I_z , zamieszczone są w tablicy 4 (obiekt I) i tablicy 8 (obiekt II).

9. Wnioski

Przeprowadzone badania na stalowych gazociągach z bitumiczną powłoką, eksploatowanych w bliskim sąsiedztwie linii napowietrznych 110 kV, pozwalają na wyciągnięcie kilku dość ogólnych i zasadniczych wniosków.

9.1 W czasie występowania 1-fazowych zwarć na słupach linii elektroenergetycznych, potencjał ziemnozwarciowy uziemienia słupa (napięcie uziomowe słupa), może stanowić poważne zagrożenie w obszarze gazociągu zarówno dla osób jak i dla urządzeń. W wyniku tego zagrożenia mogą występować:

a/ napięcie rażeniowe dotykowe (U_{rd}),

b/ napięcie naprężające izolację powłoki gazociągu (ΔU),

9.1.1 W przypadku pracy ochrony katodowej na gazociągu, zagrożona może być stacja ochrony katodowej:

1/ w przypadku uszkodzenia mechanicznego lub przebicia elektrycznego powłoki gazociągu który przebiega przez obszar stożka potencjału ziemnozwarciowego uziemienia słupa,

2/ gdy łożo anodowe ochrony katodowej usytuowane będzie w obszarze stożka potencjału ziemnozwarciowego uziemienia słupa, a gazociąg przebiega poza obszarem tego stożka.

9.1.2 W przypadku pracy ochrony katodowej na gazociągu, zagrożenie porażeniowe może występować w obszarze stanowisk punktów pomiarowych (dla przypadku jak w p.8.1.1/1).

9.2 Dla gazociągów z powłoką termoplastyczną, przechodzących przez obszar stożka potencjału ziemnozwarciowego uziemienia słupa, może wystąpić:

a/ zwiększenie stopnia ochrony rurociągu przed oddziaływaniem tego potencjału, jeżeli napięcie wytrzymałości izolacji powłoki będzie wyższe od napięcia ΔU ; nie nastąpi wówczas uszkodzenie (przebicie) powłoki gazociągu,

b/ zwiększenie zagrożenia porażeniowego od napięć rażeniowych dotykowych na stanowiskach punktów pomiarowych ochrony katodowej rurociągu jeżeli punkty te będą zlokalizowane w obszarze stożków potencjału ziemnozwarciowego uziemienia słupów .

9.3 Wielkość stożka potencjału ziemnozwarciowego uziemienia słupa zależy m.in. od wielkości prądu uziomowego, oraz rezystancji uziemienia. Najwyższe wartości prądu 1-fazowego zwarcia występują w sieciach 110 kV, a ich maksymalna wartość może wynosić w krajowych sieciach do ok. 35 kA

Dla tak znacznej wartości prądu 1-fazowego zwarcia, również potencjał ziemnozwarciowy uziemienia słupa będzie duży, tym większy im rezystancja uziemienia słupa będzie większa zatem i zagrożenie gazociągu tym potencjałem będzie większe.

9.4 Z przeprowadzonych badań na dwóch gazociągach wynika, że w przypadku wystąpienia 1-fazowego zwarcia na słupach linii 110 kV na gazociągach wystąpią napięcia rażeniowe dotykowe przekraczające dopuszczalną wartość tj. 135 V (dla $t_p = 0,9$ s).

9.5 Dokładny poziom zagrożenia rurociągu potencjałem ziemnozwarciowym uziemienia słupów linii elektroenergetycznych określić można za pośrednictwem terenowych badań.

10. Literatura

1. Warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać urządzenia elektroenergetyczne o napięciu znamionowym wyższym niż 1 kV w zakresie ochrony przeciwporażeniowej dodatkowej. Załącznik nr 2 Rozporządzenia Ministra Przemysłu z dnia 8 października 1990 r.
2. Sprawozdanie z badań oddziaływań prądu zwarcia linii 110 kV Zdzeszowice-Góraźdze na gazociąg usytuowany w zbliżeniu do linii. Praca ZPBE "Energopomiar"-Gliwice; 1980 r.
3. Sprawozdanie z badań oddziaływań prądu zwarcia linii 110 kV Groszowice-Góraźdze na gazociąg w rejonie Cementowni Góraźdze. Praca ZPBE "Energopomiar"-Gliwice; 1979 r.

11. Tablice

TABLICA 1. Pomiary rozkładu potencjału na stanowiskach gazociągu - obiekt I.

Lp.	Przekrój wg rys. nr 5	Odległość: sonda-gazo.	Różnica potencjałów pomiędzy gazociągiem a sondą pomiarową		Uwagi
			zierzona przy prądzie $I_p = 35$ A	przeliczona na prąd $I_r = 12,4$ kA	
-	-	-	zierzona przy prądzie $I_p = 35$ A	przeliczona na prąd $I_r = 12,4$ kA	-
			stanowisko 3		
1	V_n	10 m	0,47 V	177 V	
2	V_b	30 m	0,25 V	89 V	
3	V_g	90 m	0,10 V	35 V	
			stanowisko 4		
4	V_n	1 m	0,36 V	127 V	
5	V_b	10 m	0,12 V	42 V	
6	V_g	30 m	0,10 V	35 V	
7		90 m	0,09 V	32 V	

TABLICA 2. Pomiary rozkładu potencjału na stanowisku słupów - obiekt I.

Lp.	Przekrój wg. rys. nr 5	Odległość sondy od słupa	Różnica potencjałów pomiędzy konstr. słupa a sondą pomiarową		Uwagi
-	-	-	zmierzona przy prądzie $I_p = 35$ A	przeliczona na prąd $I_z = 12,4$ kA	-
słup nr 3					
1	S_l	10 m	3,5 V	1239 V	
2	S_l	30 m	4,0 V	1416 V	
3	S_l	90 m	5,3 V	1876 V	
słup nr 4					
4	S_l	90 m	3,6 V	1274 V	

TABLICA 3. Pomiary różnicy potencjału: konstr. słupa - konstr. gazociągu - obiekt I.

Lp.	Stanowisko na rys.5	Odległość: słup-gazo.	Różnica potencjałów pomiędzy konstr. słupa a konstr. gazociągu		Uwagi
-	-	-	zmierzona przy prądzie $I_p = 35$ A	przeliczona na prąd $I_z = 12,4$ kA	
słup nr 3					
1	ΔU	12,5 m	5,5 V	1947 V	
słup nr 4					
2	ΔU	12,5m	3,8 V	1345 V	

TABLICA 4. Pomiary napięć rażeniowych dotykowych na stanowiskach gazociągu - obiekt I

Lp.	Nr punktu pomiarowego wg. rys.5	Usytuowanie stanowiska pom.	Napięcie rażeniowe dotykowe		Uwagi
-	-	-	zmierzone przy prądzie $I_p = 35$ A	przeliczone na prąd $I_z = 12,4$ kA	-
1	3	nad gazoc.	0,58 V	205 V	
2	4	nad gazoc.	0,57 V	202 V	
3	5	nad gazoc.	0,32 V	113 V	

TABLICA 5. Pomiary rozkładu potencjału na stanowiskach gazociągu - obiekt II.

Lp.	Przekrój wg. rys. nr 6	Odległość: sonda-gaz.	Różnica potencjałów pomiędzy gazociągiem a sondą pomiarową		Uwagi
-	-	-	zmierzona przy prądzie $I_p = 57$ A	przeliczona na prąd $I_z = 3,3$ kA	-
stanowisko 41					
1	V_g	10 m	0,73 V	42 V	
2		30 m	0,67 V	39 V	
3		90 m	0,47 V	27 V	

TABLICA 6. Pomiar rozkładu potencjału na stanowisku słupa - obiekt II.

Lp.	Przekrój wg. rys. nr 6	Odległość: sonda-słup	Różnica potencjałów pomiędzy konstr. słupa a sondą pomiarową		Uwagi
			zmierzona przy prądzie $I_p = 57$ A	przeliczona na prąd $I_z = 3,3$ kA	
-	-	-			-
słup nr 41					
1	S_1	10 m	2,7 V	156 V	
2		30 m	6,9 V	399 V	
3		90 m	12,9 V	735 V	

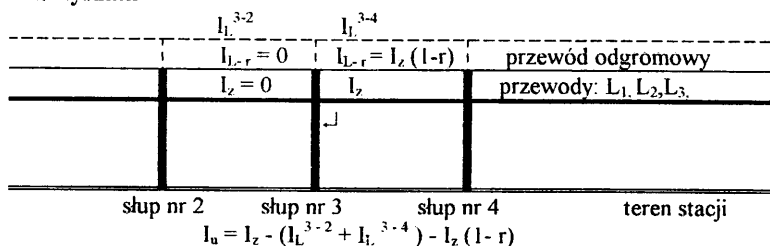
TABLICA 7. Pomiar różnicy potencjału: konstr. słupa - konstr. gazociągu - obiekt II

Lp.	Stanowisko na rys. 6	Odległość: słup-gazociąg	Różnica potencjałów pomiędzy konstr. słupa a konstr. gazociągu		Uwagi
			zmierzona przy prądzie $I_p = 57$ A	przeliczona na prąd $I_z = 3,3$ kA	
-	-	-			
słup nr 41					
1	ΔU	10 m	12,3 V	712 V	

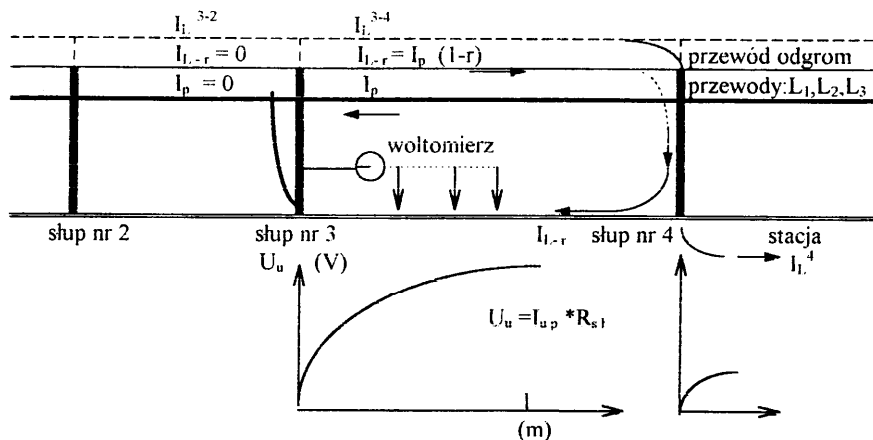
TABLICA 8. Pomiar napięć rażeniowych dotykowych na stanowiskach gazociągu- ob. II.

Lp.	Nr punktu pomiarowego wg. rys. 6	Usytuowanie stanowiska pom.	Napięcie rażeniowe dotykowe		Uwagi
			zmierzone przy prądzie $I_p = 57$ A	przeliczone na prąd $I_z = 3,3$ kA	
-	-	-			-
1	1	nad gazoc.	3,9 V	222 V	
2	2	nad gazoc.	3,4 V	193 V	
3	3	nad gazoc.	2,5 V	143 V	

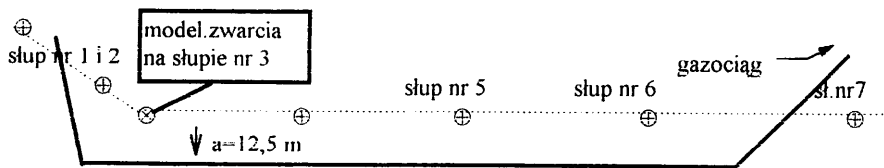
12. Rysunki



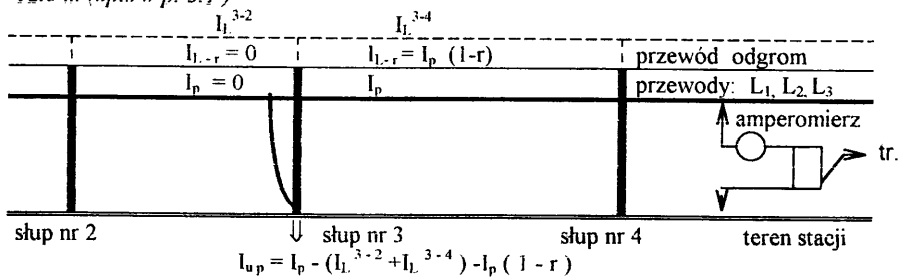
Rys. 1. Prąd uziomowy (I_u) podczas zwarcia na słupie nr 3, przy jednosrotnym zasilaniu zwarcia od strony stacji; (gdzie: $-I_z$ prąd 1-fazowego zwarcia; $I_{L^{3-2}}$, $I_{L^{3-4}}$ część prądu I_z odpływająca przewodami odgromowymi; I_{1-r} prąd który indukuje się w przewodzie odgromowym; r współczynnik redukcyjny przewodów odgromowych)



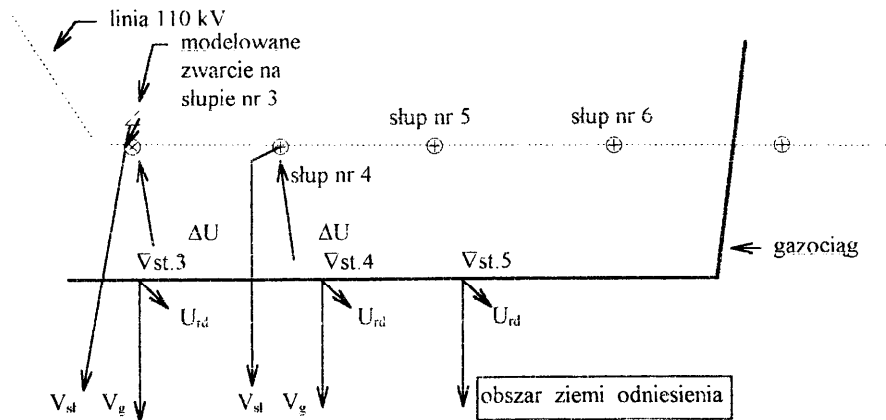
Rys. nr 2. Rozkład napięcia uziomowego słupa nr. 3; dla układu pomiarowego jak na rys. 4 (gdzie: I_L^4 - część prądu I_p odpływająca przewodem odgromowym poprzez słup nr 4; pozostałe wielkości jak na rys 4 i w p.2.2)



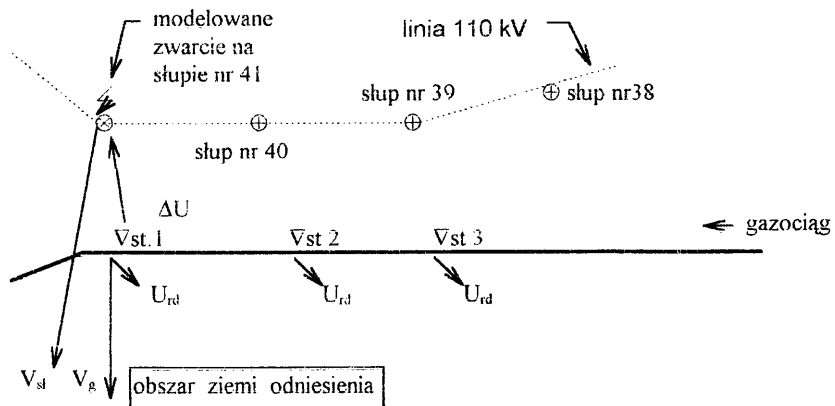
Rys. nr 3. Usytuowanie gazociągu w obszarze zbliżenia do linii 110 kV na odległość ok. 12,5 m (opis w p. 3.1)



Rys. 4. Układ pomiarowy do modelowania zwarcia na słupie linii 110 kV w układzie rzeczywistym tj. przy wykorzystaniu linii 110 kV; (gdzie: $- I_p$ prąd pomiarowy; I_L^{3-2} , I_L^{3-4} część prądu I_p odpływająca przewodami odgromowymi; I_{L-r} prąd który indukuje się w przewodzie odgromowym; r współczynnik redukcyjny przewodów odgromowych, tr.-transformator pomiarowy)



Rys. 5. Rozmieszczenie stanowisk pomiarowych (opis w p. 3.1); (gdzie: V_{st} - potencjał ziemnozwarciowy uziemienia słupa; V_g - potencjał ziemnozwarciowy gazociągu; ΔU napięcie występujące pomiędzy konstr. słupa a konstr. gazociągu; U_{rd} napięcie rażeniowe dotykowe mierzone pomiędzy konstr. rurociągu a sondą płytową umieszczoną na gruncie w odległości 1 m od osi gazociągu)



Rys. 6. Rozmieszczenie stanowisk pomiarowych (opis w p. 3.2); (gdzie: V_{st} - potencjał ziemnozwarciowy uziemienia słupa; V_g - potencjał ziemnozwarciowy gazociągu; ΔU napięcie występujące pomiędzy konstr. słupa a konstr. gazociągu; U_{rd} napięcie rażeniowe dotykowe mierzone pomiędzy konstr. rurociągu a sondą płytową umieszczoną na gruncie w odległości 1 m od osi gazociągu).