

MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI  
BIBLIOTEKA NAUKOWA

Nr \_\_\_\_\_

PRACE  
INSTYTUTU ŁĄCZNOŚCI

ROK XVI

ZESZYT 2 (54)

WARSZAWA 1969

WYDAWNICTWA NAUKOWO-TECHNICZNE

SPIS TREŚCI

Z-M	1. Udo Kuhn, Stanisław Ogulewicz, Heidrun Trommer — Propagacja fal 495 MHz na trasie morskiej Jarosławiec—Sassnitz w latach 1965—1968 . . . . .	3
Z-7	2. Olimpia Skiba-Rogalska — Anody reakcyjne aluminiowe i cynkowe do ochrony katodowej kabli telekomunikacyjnych . . . . .	19
Z-7	3. Olimpia Skiba-Rogalska — Pomiar potencjału polaryzowanej metalowej powłoki kabla . . . . .	51

СОДЕРЖАНИЕ

1. У. Кюн, С. Огулевич, Г. Троммер — Распространение волн 495 Мгц на морской трассе Ярославец—Засниц в период 1965—1968 г.г. . . . .	3
2. О. Скиба-Рогальска — Реактивные алюминиевые и цинковые аноды для катодной защиты кабелей связи . . . . .	19
3. О. Скиба-Рогальска — Измерение потенциала поляризованной металлической оболочки подземного кабеля . . . . .	51

CONTENTS

1. U. Kuhn, S. Ogulewicz, H. Trommer — Wave propagation (for 495 MHz) on the sea-path between Jarosławiec and Sassnitz in years 1965—1968 . . . . .	3
2. O. Skiba-Rogalska — Aluminium and zinc reactive anodes for cathodic protection of telecommunication cables . . . . .	19
3. O. Skiba-Rogalska — Potential measurement of polarised metal sheaths of underground cables . . . . .	51

SOMMAIRE

1. U. Kuhn, S. Ogulewicz, H. Trommer — Propagation des ondes décimétriques (495 MHz) sur le trajet maritime Jarosławiec—Sassnitz en 1965—1968 . . . . .	3
2. O. Skiba-Rogalska — Anodes réactives d'aluminium et de zinc pour la protection cathodique des câbles téléphoniques . . . . .	19
3. O. Skiba-Rogalska — Mesures du potentiel de l'enveloppe métallique polarisée d'un câble souterrain . . . . .	51

INHALTSVERZEICHNIS

1. U. Kuhn, S. Ogulewicz, H. Trommer — Ausbreitung der 495 MHz — Wellen auf der Seestrecke Jarosławiec—Sassnitz in den Jahren 1965—1968 . . . . .	3
2. O. Skiba-Rogalska — Aluminium- und Zinkreaktionsanoden für Fernmeldekabelkathodenschutz . . . . .	19
3. O. Skiba-Rogalska — Messung des Potentials des polarisierten Erdkabelmetallbelages . . . . .	51

MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

PRACE  
INSTYTUTU ŁĄCZNOŚCI

ROK XVI

ZESZYT 2 (54)

WARSZAWA 1969

WYDAWNICTWA NAUKOWO-TECHNICZNE

Komitet Redakcyjny

Redaktor Naczelny — *prof. mgr inż. Sylwester Jarkowski*

Redaktorzy działów:

*adj. inż. Aleksy Brodowski, prof. mgr inż. Lesław Kędzierski*  
Sekretarz Redakcji — *Janina Janicka*

Adres Redakcji:

Instytut Łączności, Warszawa-Miedzeszyn, ul. Szachowa 1

WSZELKIE PRAWA ZASTRZEŻONE

*Printed in Poland*

Opracowano w Dziale Wydawniczym Instytutu Łączności

Redaktor techniczny *Jadwiga Pakoca*

WNT, Warszawa 1970. Wydanie 1. Nakład 600 egz. Ark. wyd. 5,1. Ark. druk. 4,25 (5,65/A). Format B-5. Papier druk. sat. kl. III, 70 g. Oddano do składania 2. 3. 1970 r. Podpisano do druku w czerwcu 1970 r. Druk ukończono w czerwcu 1970 r. Symbol 30430/INB. Cena zł 19.—

Poznańskie Zakłady Graficzne im. M. Kasprzaka w Poznaniu  
Zlec. 2332/70 — B-4/500

UDO KÜHN

621.371.3.029.63

HEIDRUN TROMMER

Deutsche Post, Rundfunk -und Fernsehtechnisches Zentralamt, Kolberg

STANISŁAW OGULEWICZ

Instytut Łączności Warszawa

## PROPAGACJA FAL 495 MHz NA TRASIE MORSKIEJ JAROSŁAWIEC — SASSNITZ W LATACH 1965 — 1968

Rękopis dostarczono do komitetu redakcyjnego dnia 14.IV.1969 r.

Omówiono badania propagacji fal decymetrowych przy częstotliwości 495 MHz prowadzone od roku 1965 na 189 km trasie morskiej pomiędzy punktami Jarosławiec (PRL) i Sassnitz (NRD) w południowej części Morza Bałtyckiego.

Materiał doświadczalny z lat 1965 do połowy 1968 porównano z danymi CCIR zawartymi w Zaleceniu 370-1 i w Sprawozdaniu 239-1.

Wyniki porównania wskazują, że wartości natężenia pola, przekraczające w ciągu 5 i 10% całkowitego czasu obserwacji, wypadają o ok. 3,5 dB wyżej od podanych przez CCIR. Również rozrzuty wartości natężenia pola dla tych frakcji czasu wypadają nieco wyższe niż wg CCIR.

Przeprowadzono także porównanie z badaniami szwedzkimi prowadzonymi w 1967 r. w północnej części Morza Bałtyckiego. Stwierdzono zasadniczą zgodność wyników uzyskanych na obu trasach.

### WPROWADZENIE

Do szacowania wielkości pokrycia uzyskiwanego w sieciach nadajników zakresów IV/V nie wystarcza znajomość samych tylko krzywych propagacji nad lądem. W niektórych przypadkach zagadnieniu propagacji nad morzem należy poświęcić szczególną uwagę. Pomiary propagacyjne nad lądem były już podejmowane w wielu rejonach Europy i mają dość bogatą literaturę zarówno poniżej, jak i powyżej zakresów IV/V [1, 2]. Informacje *Fenglera* dotyczą badań w zakresie 500 MHz na czterech trasach o długościach od 115 do 323 km. Wyniki badań brytyjskich w zakresie częstotliwości 495 i 560 MHz były publikowane już w roku 1958 [3].

Badania propagacji na trasach morskich są znane przede wszystkim

z Anglii. Pomiary te miały miejsce w rejonie Morza Północnego, a wyniki ich posłużyły za podstawę do określenia stosowanych do dziś krzywych propagacji CCIR [4, 5]. Wyniki badań opisane zostały przez *Starka* [6] oraz *Sofaera* i *Starka* [7], przy czym szczególnie na uwagę zasługuje sprawozdanie *Starka*. Badania jego obejmowały bowiem znaczny zakres odległości (od 198 do 591 km), a ponadto były prowadzone przy dwóch częstotliwościach (560 i 774 MHz).

Jest rzeczą zrozumiałą, że dokładna znajomość właściwości propagacji nad wodą jest szczególnie ważna dla tych administracji, których znaczne obszary wypadają w rejonach nadbrzeżnych. Przedmiotem szczególnego zainteresowania są w tych krajach wartości rozrzutu czasowego, istotne jak wiadomo przy planowaniu i projektowaniu sieci stacji nadawczych oraz przy szacowaniu wskaźników pokrycia w tych sieciach. Z angielskich badań wynika, że czasowy rozrzut nad morzem jest wyraźnie większy aniżeli na porównywalnych trasach lądowych. Ponadto już wcześniej zauważono [8, 9], że mediany wartości natężenia pola nad morzem wypadają o ok. 10 dB wyżej od odpowiednich median wartości nad lądem. Oba efekty prowadzą do tego, że w obrębie sieci obejmującej morskie trasy propagacyjne należy się spodziewać większego niebezpieczeństwa zakłóceń interferencyjnych aniżeli w sieciach pozbawionych obszarów wodnych.

Brak danych dotyczących propagacji w rejonie Morza Bałtyckiego wpłynął na decyzję uruchomienia doświadczalnej trasy pomiarowej przebiegającej pomiędzy PRL i NRD.

Z badań brytyjskich [5] wynika ponadto, że dane dotyczące propagacji na trasach morskich mogą być wykorzystane również i dla pewnych tras częściowo lądowych, jeżeli tylko można założyć, że odcinek trasy morskiej jest ciągły i znajduje się w zasięgu widzialności urządzeń strony nadawczej i odbiorczej.

## 1. PRZEBIEG TRASY I APARATURA

Trasa ma długość 189 km i przebiega — pomijając 15-metrowy odcinek po stronie nadawczej i 2500-metrowy po stronie odbiorczej — pomiędzy miejscowościami Jarosławiec i Sassnitz wyłącznie nad wodą. Położenie trasy jest przedstawione na rys. 1, a jej podstawowe dane poniżej.

Długość trasy	189 km
Częstotliwość sygnału	495 MHz
Moc promieniowa	4,5 kW

Zysk antenowy:

po stronie nadawczej 14 dB

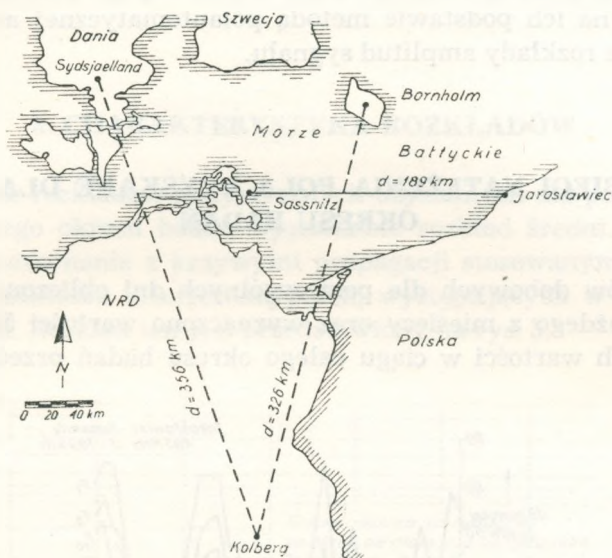
po stronie odbiorczej 12 dB

Polaryzacja pozioma

Kąt dyfrakcji 13 mr

Typ rejestracji 24-godzinna

Okres badań maj 1965 — lipiec 1968.



Rys. 1. Położenie trasy pomiarowej Jarosławiec-Sassnitz i dwóch porównawczych tras pomiarowych zakresu fal metrowych (linie przerywane)

Zanim przystąpiono do systematycznej rejestracji sygnałów, trasa przez pewien czas była w próbnej eksploatacji po parę godzin na dobę. Rejestrację ciągłą w trybie 24 godzin na dobę rozpoczęto w maju 1965. Urządzenia nadawcze i odbiorcze opracowano i wykonano w laboratoriach Instytutu Łączności w Warszawie i Centralnego Urzędu Radia i Telewizji (RFZ) w Kolbergu pod Berlinem. W nadajniku zastosowany jest system modulacji impulsowej. Moc jest rejestrowana za pomocą aparatu samopiszącego sprzęgniętego z detektorem umieszczonym w linii zasilającej antenę. Dodatkowo w punkcie pomiarowym oddalonym nieznacznie od stacji kontrolowana jest moc promieniowana. W celu uzyskania dużej czułości odbiornika pracuje on z wykorzystaniem rezonansowego wzmacniania sygnału zdetektowanego.

W istniejących warunkach czułość układu pomiarowego pozwala jeszcze na dokładne określenie wartości mediany natężenia pola. Dla porównania z krzywymi propagacji aktualnie stosowanymi wystarcza to w zupeł-

ności. Z tego samego powodu określanie wartości przekraczanych w ciągu większych procentów czasu (90 lub 99%) jest bezprzedmiotowe.

Rejestracja sygnału w punkcie odbiorczym Sassnitz odbywa się za pomocą aparatu samopiszącego z szybkością posuwu taśmy 6 cm/godz. Urządzenie odbiorcze jest kalibrowane co do czułości w regularnych odstępach czasu.

Analiza przebiegów zarejestrowanych, stosownie do celu badań, była przeprowadzana na gruncie metod statystycznych. Określano mediany godzinowe i na ich podstawie metodą półautomatycznej analizy wyznaczano dobowe rozkłady amplitud sygnału.

## 2. PRZEBIEGI NATĘŻENIA POŁA UZYSKANE DLA CAŁEGO OKRESU BADAŃ

Z rozkładów dobowych dla poszczególnych dni obliczono średnie rozkłady dla każdego z miesięcy oraz wyznaczono wartości 50, 10, 5 i 1%. Przebieg tych wartości w ciągu całego okresu badań przedstawiony jest na rys. 2.



Rys. 2. Przebieg wartości natężenia pola  $F(50)$ ,  $F(10)$ ,  $F(5)$ , i  $F(1)$  na trasie Jarosławiec-Sassnitz w całym okresie sprawozdawczym

W półroczach zimowych 1965/66 i 1966/67 miały miejsce przerwy w rejestracji spowodowane defektami aparatury. Z tego powodu wyniki dla tych miesięcy musiały być interpolowane. Interpolację przeprowadzono na podstawie zależności pomiędzy indeksem refrakcji i natężeniem pola.

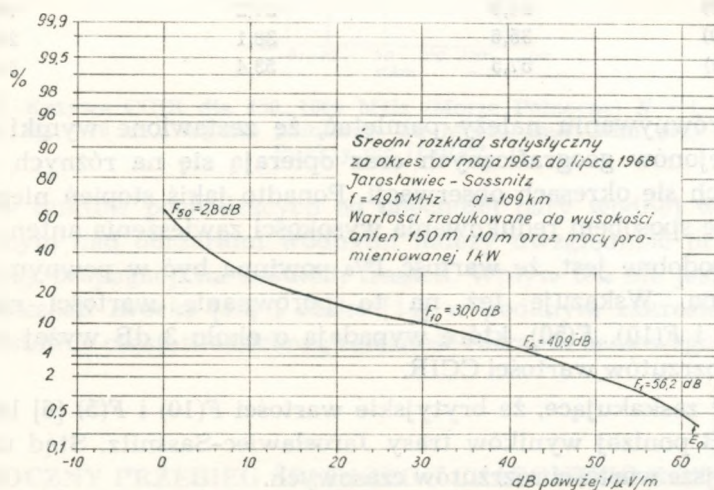
Ogólnie biorąc, charakterystyki wyrysowane dla poszczególnych frakcji czasu cechuje typowy przebieg roczny z maksymalnymi wartościami



w lecie i minimalnymi w zimie. Stwierdzono także, że amplituda rocznego przebiegu mediany zmienia się w poszczególnych latach. Wy tłumaczenia tego faktu można szukać w zmienności rocznych warunków meteorologicznych. Tak więc szczególnie w letnich miesiącach 1965 r. warunki meteorologiczne były wyjątkowo niekorzystne, co odbiło się wyraźnie na właściwościach propagacji. Obserwacje te wskazują wyraźnie, jak ryzykowane jest wnioskowanie o przeciętnych przebiegach wieloletnich na podstawie wyników zebranych z jednorocznych tylko pomiarów.

### 3. CHARAKTERYSTYKA ROZKŁADÓW

Na podstawie rozkładów statystycznych uzyskanych dla poszczególnych miesięcy pełnego okresu badań wyznaczono rozkład średni. Jest on potrzebny dla porównania z krzywymi propagacji stosowanymi dotychczas do obliczania zakłóceń interferencyjnych, występujących w obrębie planowanych sieci. Rozkład ten jest przedstawiony na rys. 3.



Rys. 3. Średni rozkład wartości natężenia pola na trasie Jarosławiec-Sassnitz ( $f = 495 \text{ MHz}$ ,  $d = 189 \text{ km}$ ) dla całego okresu obserwacji

Wartości podane na wykresie są zredukowane do mocy 1 kW przy wysokościach anten 150 m i 10 m. Zwraca uwagę fakt, że duże wartości natężenia pola występują stosunkowo często. Tak na przykład w ciągu 0,4% czasu natężenia pola osiąga wartość, jaką miałyby w wolnej przestrzeni. Należy przy tym mieć na uwadze, że przebieg krzywej w zakresie wartości 1% i poniżej jest niezupełnie pewny, ponieważ przy tak du-

żych wartościach natężenia pola aparat rejestrujący był już przesterowany, zatem wartości te musiały być ekstrapolowane według każdorazowych rozkładów prawdopodobieństwa. Z tego powodu jest też możliwe, że krzywa rozkładu we wskazanym zakresie wartości powinna być jeszcze nieco przesunięta ku górze. W tabelicy poniżej porównano wartości uzyskane z pomiarów z odpowiednimi danymi CCIR [10] oraz z wynikami badań *Starka* [6]. Ostatnie z wymienionych są oparte na dziewięciomiesięcznych pomiarach na trasie o długości 198 km biegnącej nad Morzem Północnym pomiędzy miejscowościami Sheveningen (Holandia) i Happisburgh (Anglia).

	CCIR $h_n = 150$ m $h_0 = 10$ m	IŁ/RFZ Jarosławiec-Sassnitz zredukowane do wysokości anten $h_n = 150$ m i $h_0 = 10$ m	Trasa morska Sheveningen- -Happisburgh [6] 560 MHz
$F(50)$	2,5	2,8	5
$F(10)$	26,5	30,0	21,5
$F(5)$	37,5	40,9	29,5
$F(1)$	60,0	56,2	59,0
$F(10) \dots F(50)$	24,0	27,2	16,5
$F(5) \dots F(50)$	35,5	38,1	24,5
$F(1) \dots F(50)$	57,5	53,4	54,0

Przy porównywaniu należy pamiętać, że zestawione wyniki dotyczą różnych rejonów geograficznych oraz opierają się na różnych, nie pokrywających się okresach obserwacji. Ponadto jakiś stopień niepewności wiąże się ze sposobem redukcji wysokości zawieszenia anten.

Prawdopodobne jest, że wartość 10% powinna być w pewnym stopniu podwyższona. Wskazuje też na to porównanie wartości rozrzutów  $F(5) \dots F(50)$  i  $F(10) \dots F(50)$ , które wypadają o około 3 dB wyżej od odpowiednich rozrzutów wartości CCIR.

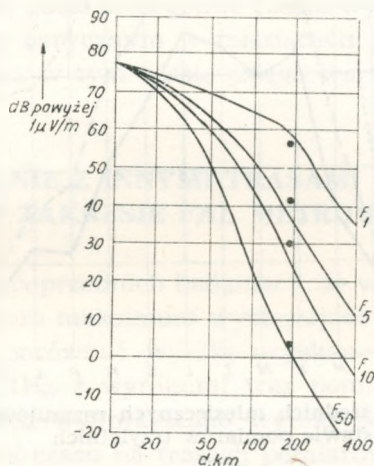
Jest dość zaskakujące, że brytyjskie wartości  $F(10)$  i  $F(5)$  [6] leżą o 8,5 lub 11,5 dB poniżej wyników trasy Jarosławiec-Sassnitz. Stąd uzyskano także mniejsze wartości rozrzutów czasowych.

Z trzyletnich pomiarów na 202 km trasie lądowej *Fengler* [2] określili czasowe rozrzuty  $F(1) \dots F(50)$  jako 31,6 dB i  $F(10) \dots F(50)$  jako 15,8 dB. Wartości te wypadają więc znacznie poniżej odpowiednich wartości dla tras morskich.

Bezpośrednie porównanie uzyskanych wyników z dotychczasowymi danymi CCIR pokazuje rys. 4.

Na rysunku 4 przedstawiono wartości uzyskane z pomiarów po zredukowaniu ich dla celów porównawczych do odpowiednich wysokości anten.

Dla większych odległości ( $> 400$  km) należy się liczyć ze zmniejszonym prawdopodobieństwem pojawiania się warunków propagacji typu dukto-  
wego na całej trasie, tak że bardzo wysokie wartości natężenia pola  
występują rzadziej, na co wskazują także pomiary japońskie [11]. Potwier-  
dzają to również nowe francuskie badania [12] na trasie morskiej o dłu-  
gości 550 km. Czasowy rozrzut jest w tym przypadku mniejszy aniżeli  
podany w tabl. na str. 8.



Rys. 4. Krzywe CCIR dla 450...1000 MHz (Morze Północne)  $N = 1$  kW;  $h_n = 150$  m;  $h_w = 10$  m i wyniki pomiarów na Morzu Bałtyckim przy 495 MHz. Punkty wg IEL/RFZ

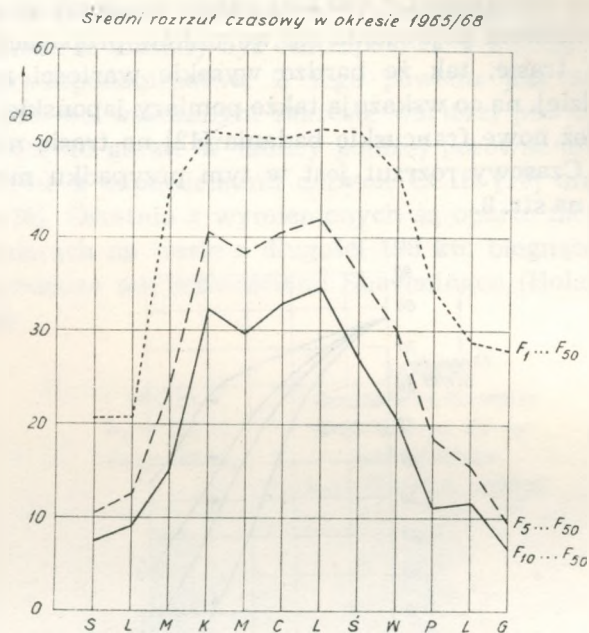
Wpływ dukto-  
wych pochodzących od obecności pary wodnej w powietrzu  
zalegającym nad obrzarami wodnymi należy uwzględniać przede wszy-  
stkim przy propagacji na krótkich trasach. Wpływ ten nie jest zbyt silny  
i jak wykazali Brocks [13] i Jeske [14] w podanym zakresie odległości  
określa istotnie częstotliwościową zależność rozrzutu czasowego.

#### 4. ROCZNY PRZEBIEG ŚREDNIEGO CZASOWEGO ROZRZUTU WARTOŚCI NATĘŻENIA POLA

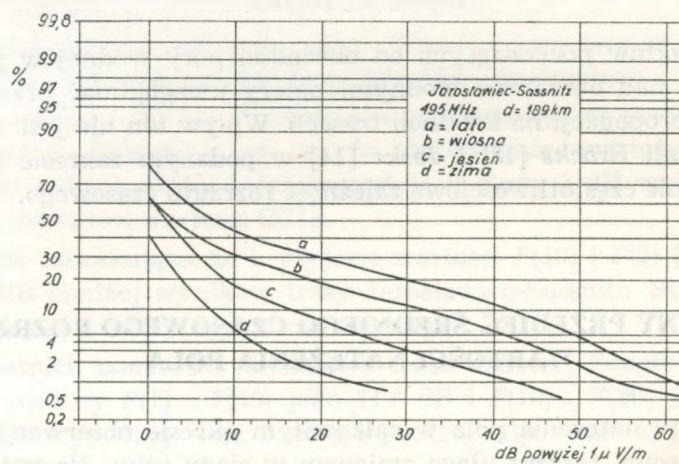
Z przebiegu natężenia pola w całkowitym okresie obserwacji wynika,  
że także czasowy rozrzut ulega zmianom w ciągu roku. Na rys. 5 zesta-  
wione są rozrzuty czasowe określone na podstawie trzyletnich pomiarów.

Szerokie maksimum rozrzutu występuje w miesiącach letnich, podczas  
gdy w zimie mają miejsce stosunkowo niskie wartości.

Jak widać, rozrzut w poszczególnych miesiącach jest zawsze mniejszy



Ryc. 5. Roczny przebieg średnich miesięcznych rozrzutów czasowych na podstawie pomiarów trzyletnich



Rys. 6. Średnie rozkłady natężenia pola w poszczególnych porach roku  
 zima: grudzień, styczeń, luty  
 wiosna: marzec, kwiecień, maj  
 lato: czerwiec, lipiec, sierpień  
 jesień: wrzesień, październik, listopad

aniżeli wyznaczony dla całkowitego okresu czasu obserwacji, co jest oczywiste, ponieważ ten ostatni obejmuje także rozrzut median miesięcznych. Rys. 6 pokazuje średnie rozkłady natężenia pola w poszczególnych porach roku.

Należy podkreślić, że czasowy rozrzut dla okresu wiosny wypada większy aniżeli dla miesięcy jesiennych. Zachowanie się to odbiega od wyników dotychczasowych badań na trasach ukf ponad lądem, np. w środkowej Europie, gdzie szczególnie często występująca pogoda o podwyższonym ciśnieniu barycznym w miesiącach jesiennych powoduje, że rozrzut natężenia pola w tym czasie osiąga wartości bardzo duże.

## 5. PORÓWNANIE Z INNYMI TRASAMI POMIAROWYMI W ZAKRESIE FAL METROWYCH

Stwierdzono już w poprzednich badaniach, że w zakresie fal metrowych przebieg roczny zawiera maksimum występujące w ciągu jesieni. Wydaje się rzeczą ciekawą porównać wyniki uzyskane na trasie Jarosławiec-Sassnitz przy 495 MHz z wynikami tras pomiarowych na falach metrowych. Do tego celu wykorzystano wyniki pomiarów natężenia pola uzyskane za ten okres czasu na trasach pomiarowych Bornholm-Kolberg i Sydsjaelland-Kolberg. W istocie wyniki te nie dotyczą obserwacji 24-godzinnych, a obejmują jedynie dzienny przedział zawarty pomiędzy godz. 6 i 22 czasu środkowo-europejskiego. Na rysunku 7 przedstawiony jest średni przebieg roczny wartości mediany, uzyskany z trzyletnich pomiarów prowadzonych na tych trasach.

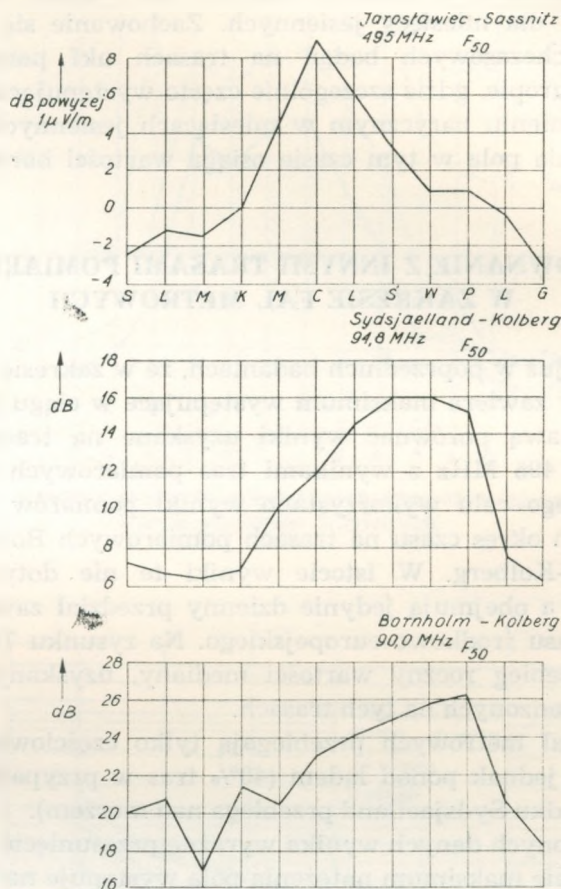
Obie trasy fal metrowych przebiegają tylko częściowo nad morzem, w dużej części jednak ponad lądem (40% tras w przypadku Bornholmu i 15% w przypadku Sydsjaelland przebiega nad morzem).

Z przedstawionych danych wynika wyraźne przesunięcie rocznego przebiegu, mianowicie maksimum natężenia pola występuje na morskiej trasie fal decymetrowych w lecie, natomiast na falach metrowych jest ono przesunięte ku jesieni. W celach porównawczych przebadano pod tym kątem jeszcze kilka innych tras fal metrowych, gdzie jednak stwierdzono takie same wyniki, wobec czego uznano, że dane te są powtarzalne i miarodajne. Według pomiarów japońskich [11] przebieg roczny nad morzem powinien być bardziej uwypuklony niż nad lądem i maksimum powinno znajdować się w zakresie odległości 200—300 km.

Porównanie średniego przebiegu rocznego dla badanej trasy Jarosławiec-Sassnitz z pomiarami na trasie lądowej przeprowadzonymi przez *Fenglera* [2] nie wykazuje zwiększenia amplitudy przebiegu rocznego na trasie morskiej. W istocie jednak pomiary prowadzone były w różnych

okresach czasu. Ostateczne rozstrzygnięcie tej kwestii stoi jeszcze otworem.

Należy się spodziewać, że w istocie różnice, jakie wystąpią pomiędzy lądem i morzem nie będą zbyt duże. Wskazują także na to pomiary na



Rys. 7. Średni przebieg roczny wartości medialnych natężenia pola na trasach:

Jarosławiec-Sassnitz  
 495,0 MHz ( $d = 189$  km);  
 Sydsjaelland-Kolberg  
 94,8 MHz ( $d = 356$  km);  
 Bornholm-Kolberg  
 90,0 MHz ( $d = 326$  km);

232 km trasie nad Morzem Irlandzkim [15]. Dalsze pomiary japońskie przy 600 MHz nad lądem [16] pozwoliły wyznaczyć amplitudę przebiegu rocznego równą 13—16 dB, natomiast badania przy 468 MHz na 289 km trasie lądowej we wschodniej części Ameryki Północnej wykazały roczną amplitudę mediany tylko 10 dB [17]. Podobne wartości znalazł Decker i Janes

[18] na 135 milowej trasie przy 418 MHz. Jednak ostatnia seria pomiarów obejmuje w rzeczywistości tylko okres 8 miesięcy.

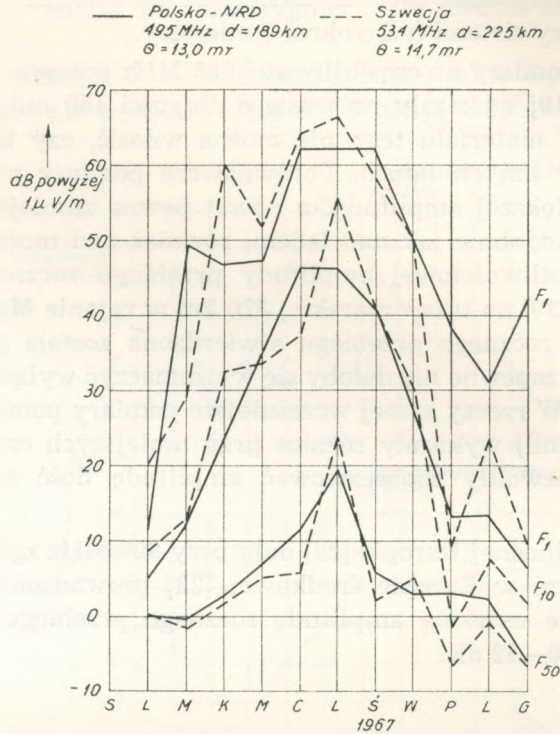
Jednoroczne pomiary na częstotliwości 505 MHz przeprowadzone w Nowej Funlandii [19] wykazały na trasie o długości 150 mil roczną amplitudę 19,5 dB. Z materiału tego nie można wnosić, czy taka amplituda wystąpiłaby i w innych latach. Porównawcze pomiary przy 4090 MHz nie wykazały większej amplitudy, a nawet pewne zmniejszenie (13 dB). Można jednak, podobnie jak nad lądem, również nad morzem oczekiwać zależności częstotliwościowej amplitudy przebiegu rocznego. Tak więc przy 4000 MHz [20] na trasie morskiej 320 km w rejonie Morza Śródziemnego amplituda rocznego przebiegu stwierdzona została prawie na poziomie 40 dB, co zapewne nie dałoby się wytłumaczyć wyłącznie różnicami klimatycznymi. W rzeczy samej wcześniejsze pomiary pomiędzy Sardynią i Minorką (240 mil) wykazały różnice przy mniejszych częstotliwościach (238 MHz) i pozwoliły zaobserwować amplitudę dość znaczną, bliską 30 dB [21].

Pomiary w północnej Europie [22] dały przy 900 MHz zgodność z wieloletnimi badaniami w Europie środkowej [23] prowadzonymi przy 1100 MHz, mianowicie ustaloną amplitudę rocznego przebiegu wartości medialnych rzędu 10—12 dB.

## 6. PORÓWNANIE Z POMIARAMI SZWEDZKIMI

W dokumencie CCIR [24] są przedstawione nowsze wyniki badań szwedzkich pochodzące z 1967 roku, a więc z okresu, gdy trasa Jarosławiec-Sassnitz była już ponad rok w eksploatacji. Nasuwa się celowość porównania obu wyników, ponieważ obie trasy mają prawie takie same parametry. Kąt dyfrakcji wynosi na trasie szwedzkiej 14,7 mr, na trasie IŁ-RFZ 13,0 mr. Częstotliwość pracy dla trasy szwedzkiej leży około 534 MHz i jest bardzo bliska częstotliwości pracy trasy IŁ-RFZ. W sprawozdaniu podano wartości natężenia pola przekraczane w ciągu 50, 10 i 1% czasu. Rysunek 8 przedstawia porównanie wyników badań szwedzkich z wynikami trasy Jarosławiec-Sassnitz.

Daje się zauważyć daleko idące podobieństwo przebiegu natężenia pola na obu trasach. Jedynie wartości 1% zmierzone w okresie od października do grudnia na trasie Jarosławiec-Sassnitz wypadają znacznie powyżej odpowiednich wartości szwedzkich. Amplitudy przebiegów rocznych są bardzo podobne, w szczególności także dla wartości mediany.



Rys. 8. Porównanie wyników pomiarów na trasie Jarosławiec-Sassnitz (495 MHz) ze szwedzkimi pomiarami na podobnej trasie (534 MHz) leżącej około 500 km na północ od trasy IŁ-RFZ i przebiegającej w kierunku PnPnW-Pd-Pz pomiędzy punktami Nacka i Byxelkrok.

## 7. WNIOSKI KOŃCOWE

Trzyletnie badania propagacji przy częstotliwości 495 MHz na 189 km trasie morskiej w rejonie Morza Bałtyckiego wykazują, że w zasadzie i w tym przypadku możliwe jest stosowanie dotychczasowych krzywych propagacji CCIR określonych dla Morza Północnego, bazujących głównie na pomiarach brytyjskich. Jedynie wartości przekraczane w ciągu 5 i 10% czasu są większe o około 3,5 dB.

W związku z tym także i czasowe rozrzuty dla tych frakcji czasu odniesione do wartości mediany wypadają nieco większe niż podawane przez CCIR. Różnice nie są jednak zbyt duże, jeśli się uwzględni, że ogólnie biorąc dla morza, w porównaniu do warunków lądowych, obserwowane wartości rozrzutu czasowego są istotnie większe. Tak więc okazuje się, że np. wartości  $F(5) \dots F(50)$  są rzędu 38 dB oraz  $F(1) \dots F(50)$  leżą około 54 dB, a przypuszczalnie jeszcze nieco wyżej od tej wartości. Roczny prze-



bieg wartości mediany wykazuje średnią amplitudę rzędu ok. 12 dB, która jak z tego wynika nie jest dużo większa aniżeli dla tras lądowych. Wartości maksymalne wypadają w miesiącach letnich czerwiec/lipiec, natomiast minimalne są obserwowane w grudniu.

Również rozrzut czasowy podlega wyraźnym wahaniom rocznym z szerokim maksimum w półroczu letnim. Na wiosnę na ogół stwierdza się większe wartości rozrzutu czasowego niż w ciągu jesieni. Efekt ten jest więc odwrotny do obserwowanego przy propagacji fal metrowych nad lądem. Także w odniesieniu do rocznych przebiegów wartości mediany na trasach fal metrowych maksimum ulega przesunięciu w kierunku miesięcy jesiennych.

\*

Autorzy wyrażają w tym miejscu podziękowanie Kierownictwu resortów łączności obu krajów, jak również Dyrektorom obu instytutów IŁ i RFZ za udzielone poparcie inicjatywy prowadzonych prac. Osobne podziękowanie należy się kolegom *mgr inż. Z. Szklarczykowi* z Warszawy, *dypl. inż. Klose* i *inż. Kaebe* oraz *kol. Hennigowi* z Kolbergu za modernizację, kontrolę i utrzymywanie parametrów eksploatowanych urządzeń, jak również współpracownikom biorącym udział w pracochłonnej analizie statystycznej wyników.

#### WYKAZ LITERATURY

1. *Fengler G.*: The influence of inversions on UHF propagation over land. Radiometeorological Papers II, Hamburg 1964 s. 1—10. (Sprawozdanie Nr 9 Instytutu Radiometeorologii i Meteorologii Morskiej).
2. *Fengler G.*: Untersuchungen der elektromagnetischen Wellenausbreitung im 500-MHz-Bereich über Land unter besonderer Berücksichtigung der meteorologischen Bedingungen. (Sprawozdanie Nr 8 Instytutu Radiometeorologii i Meteorologii Morskiej) Hamburg 1964.
3. *Rowden R.A., Tagholm L.F., Stark J.W.*: A survey of tropospheric wave propagation measurements by the BBC 1946—1957. The Institution of Electrical Engineers Paper No. 2517 R, Jan, 1958, s. 84—90.
4. CCIR: Tropospheric wave propagation curves. Doc. V/36, 12 Feb. 1962 (United Kingdom).
5. CCIR: Tropospheric wave propagation curves. Doc. V/16, 12 Sept. 1961 (United Kingdom).
6. *Stark J.W.*: Simultaneous long distance tropospheric propagation measurements at 560 Mc/s and 774 Mc/s over the North Sea. The Radio and Electronic Engineer, Oct. 1965 Vol. 30 No 4, s. 241—255.
7. *Sofaer E., Stark J.W.*: Tropospheric radio-wave propagation over mixed land and sea paths. Proc. IEE, Aug. 1966 Vol. 113 No 8, s. 1291.
8. *Dinger H.E., Garner W.E., Hamilton D.H., Teachman A.E.*: Investigation of long-

- distance overwater tropospheric propagation at 400 Mc. Proc. IRE, Juli 1958 Vol. 46, s. 1401—1410.
9. *Chisholm J.H., Morrow W.E., Nichols B.E., Roche J.F., Teachman A.E.*: Properties of 400 Mc/s long-distance tropospheric circuits. Proc. IRE. Dec. 1962 Vol. 50, s. 2464—2482.
  10. CCIR: VHF and UHF propagation curves for the frequency range from 30 MHz to 1000 MHz. Rec. 370—1 XIth Plenary Assembly Oslo 1966.
  11. CCIR: Report on the characteristics of beyond-the-horizon propagation over the sea. Doc. V/31, 15. February 1962 (Japan).
  12. CCIR: VHF and UHF propagation curves, broadcasting Doc. V/38, 3. April 1968 (France).
  13. *Brocks K.*: Refraction and ducting. Hamburg 1963, s. 51. (Sprawozdanie Nr 7 Instytutu Radiometeorologii i Meteorologii Morskiej).
  14. *Jeske H.*: Tropospheric over sea propagation measurement in VHF and UHF range on paths just beyond the horizon above the North Sea. Hamburg 1963, s. 105. (Sprawozdanie Nr 7 Instytutu Radiometeorologii i Meteorologii Morskiej).
  15. *Jowett J.K.S.*: VHF Field-strength measurements over paths in the Irish Sea involving mountain obstacles. The Institution of Electrical Engineers Paper No 3169 E, March 1960, s. 141—149.
  16. *Hirai M., Nishikori K., Fukushima M., Kurihara Y., Inoue R., Ikeda M., Niwa S., Kido Y.*: Studies in UHF overland propagation beyond the horizon. Journal of the Radio Research Laboratories, Japan, May 1960 Vol. 7 No 31, s. 137—176.
  17. *Atwood J.B., MacKimmie G.B., Wickizer G.S., Shipley D.G.*: A Study of 468-Mc Tropospheric Scatter Propagation over 289-Mile Path. RCA Review. Sept. 1958, s. 321—333.
  18. *Decker M.T., Janes H.B.*: 418 Mc Propagation measurements over the Cedar Rapids-Quincy Path. National Bureau of Standards Report 2527, 18. May 1953, s. 1—13.
  19. *Bullington K., Inkster W.J., Durkee A.L.*: Results of propagation tests at 505 Mc/s and 4090 Mc/s on beyond-horizon paths. Proc. IRE. Oct. 1955 Vol. 43 No 10, s. 1306—1316.
  20. *Laurens A.*: Television tropospheric scatter link between France and North Africa. Philips Telecommunication Review. Oct. 1962 Vol. 23 No 4, s. 149.
  21. *Grey R.E.*: The refractive index of the atmosphere as a factor in tropospheric propagation far beyond the horizon. IRE National Convention Record. Vol. 5 Part 1 Antennas and Propagation 1957, s. 3—11.
  22. *Knudtzon N. H., Gudmandsen P.E.*: Results from a three-hop tropospheric scatter link in Norway with parallel operation on 900 mc and 2200 mc. IRE Transactions on Communication Systems. Vol. CS-8 No 1 March 1960, s. 20—26.
  23. *Kühn U.*: Ergebnisse von mehrjährigen Messungen des troposphärischen Fernfeldes bei 1100 MHz. Kleinheubacher. Wyd. Fernmeldetechnisches Zentralamt, B. 10, 1965, s. 13—18. Darmstadt.
  24. CCIR: VHF and UHF propagation curves in the frequency range 30 MHz to 1 GHz. Doc. V/30, 25. March 1968 (Sweden).

У. Кюн, С. Огулевич, Г. Троммер

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВОЛН 495 МГц НА МОРСКОЙ ТРАССЕ  
ЯРОСЛАВЕЦ—ЗАССНИЦ В ПЕРИОД 1965—1968 Г.Г.

Резюме

Рассмотрены исследования распространения дециметровых волн частотой 495 МГц, проводимые от 1965 года на 189 км морской трассе между пунктами Ярославец (ПНР) и Зассниц (ГДР) в южной части бассейна Балтийского моря.

Экспериментальный материал за период от 1965 г. до половины 1968 г. сравнен с данными МККР, заключенными в Рекомендации 370-1 и в Отчете 239-1.

Из сравнения вытекает, что значения напряженности поля, превышаемые в течение 5% и 10% полного времени наблюдения, получаются на около 3,5 дБ выше приведенных МККР. Также разбросы значений напряженности поля для этих долей времени получаются несколько выше чем по МККР.

Произведено тоже сравнение со шведскими исследованиями, проводимыми в 1967 г. в северной части Балтийского моря. Подтверждено принципиальное согласие результатов, полученных на обеих трассах.

U. Kühn, S. Ogulewicz, H. Trommer

WAVE PROPAGATION (FOR 495 MHz) ON THE SEA-PATH BETWEEN  
JAROSŁAWIEC AND SASSNITZ IN YEARS 1965—1968

Summary

Decimetric wave propagation for 495 MHz observed since 1965 on the sea-path (189 km. long) in the south region of Baltic Sea between Jarosławiec (P.P.R.) and Sassnitz (G.D.R.) has been discussed.

The results of experiments carried out since 1965 till the middle of 1968 have been compared with the values given by the C.C.I.R. (Recommendation 370—1 and Report 239—1)

The comparison shows that the values of field strength, exceeded in the 5% and 10% time fractions of the total time of observation, are about 3,5 dB above the values presented by the C.C.I.R. The variation of field strength values for the above given time fractions are also a little above the value of the C.C.I.R.

By comparison of these measuring results with those carried out in Sweden in 1967 in the north region of Baltic Sea a substantial conformity of results in both cases has been stated.

U. Kühn, S. Ogulewicz, H. Trommer

PROPAGATION DES ONDES DÉCIMÉTRIQUES (495 MHz) SUR LE TRAJET  
MARITIME JAROSŁAWIEC-SASSNITZ EN 1965—1968

R é s u m é

On a traité la propagation des ondes décimétriques (à fréquence de 495 MHz), observée depuis 1965 sur le trajet maritime long de 189 km, entre Jarosławiec (RPP) et Sassnitz (RDA), dans la région sud de la mer Baltique.

Les résultats des expériences exécutés depuis 1965 jusqu'à la moitié de 1968, ont été comparés avec les valeurs présentées par le CCIR dans l'avis 370—1 et dans le compte-rendu 239.1.

La comparaison faite indique que les valeurs d'intensité du champs, qui étaient dépassées au cours de 5% et 10% du temps total d'observation, sont de 3,5 dB au-dessus des valeurs données par le CCIR. De même la dispersion des valeurs de l'intensité du champs pour ces fractions du temps est un peu au-dessus de celle présentée par le CCIR.

D'après la comparaison des résultats de mesures avec ceux obtenus en Suède en 1967 (dans la région nord de la mer Baltique), on a constaté la conformité essentielle des résultats de mesures obtenues dans ces deux trajets.

U. Kühn, S. Ogulewicz, H. Trommer

AUSBREITUNG DER 495 MHz-WELLEN AUF DER SEESTRECKE JAROSŁAWIEC-  
-SASSNITZ IN DEN JAHREN 1965—1968

Z u s a m m e n f a s s u n g

Im Artikel werden die Untersuchungen der Ausbreitung von Dezimeterwellen (495 MHz), welche seit 1965 auf der Seestrecke von 189 km zwischen Jarosławiec (VRP) und Sassnitz (DDR) im Südtail der Ostsee geführt wurden, besprochen.

Das während der Jahre 1965—67 und des Halbjahres 1968 gesammelte Untersuchungsmaterial wurde mit den in der Empfehlung 370—1 und im Bericht 239—1 enthaltenen CCIR Daten verglichen.

Die Vergleichsergebnisse zeigen an, dass die Feldstärkewerte, die während 5% und 10% der Gesamtbeobachtungszeit überschritten werden, um ca. 3,5 dB höher als die von CCIR angegebenen Werte sind. Es hat sich auch etwas grössere Streuung von Feldstärkewerten für diese Zeiteile im Vergleich zu CCIR herausgestellt.

Man hat auch den Vergleich mit den Ergebnissen der schwedischen Untersuchungen, die im Jahre 1967 in dem nördlichen Teil der Ostsee stattfanden, durchgeführt. Man hat die grundsätzliche Übereinstimmung der auf den beiden Strecken erhaltenen Untersuchungsergebnisse festgestellt.

OLIMPIA SKIBA-ROGALSKA

620.197.5:621.315.2

## **ANODY REAKCYJNE ALUMINIOWE I CYNKOWE DO OCHRONY KATODOWEJ KABLI TELEKOMUNIKACYJNYCH**

Rękopis dostarczono do komitetu redakcyjnego dnia 20.III.1969 r.

Omówiono zagadnienie anod reakcyjnych aluminiowych i cynkowych w zastosowaniu do ochrony katodowej podziemnych kabli telekomunikacyjnych przed korozją elektrochemiczną.

Podano informacje na temat dotychczasowego stanu badań w tej dziedzinie oraz materiał doświadczalny z własnych prac laboratoryjnych i terenowych.

### **1. WSTĘP**

Prace nad ochroną katodową kabli telekomunikacyjnych za pomocą anod reakcyjnych rozpoczęto w 1959 r. W rok później zainstalowano pierwsze w kraju anody magnezowe na doświadczalnym odcinku kabla o długości około 2 km. Są one do chwili obecnej eksploatowane. W następnych latach ochrona katodowa za pomocą anod reakcyjnych magnezowych zostaje wprowadzona do eksploatacji na trasach kablowych długości kilkuset kilometrów. Równocześnie rozpoczęto badania nad wykorzystaniem innych, bardziej ekonomicznych materiałów anodowych ze stopów aluminium i cynku.

### **2. ZAGADNIENIA TERMINOLOGICZNE I OGÓLNA ZASADA DZIAŁANIA OCHRONY KATODOWEJ ZA POMOCĄ ANOD REAKCYJNYCH**

W resorcie łączności przyjęto termin „anoda reakcyjna” na określenie zestawu złożonego z elektrody metalowej i otaczającego ją aktywatora, a przeznaczonego do ochrony metalowych konstrukcji podziemnych.

Jak wiadomo, ochronę katodową osiąga się po spolaryzowaniu metalowej konstrukcji do potencjału, przy którym nie występuje proces anodowego rozpuszczania metalu. Jednym ze sposobów takiej polaryzacji jest przyłączenie do konstrukcji chronionej elektrody o bardziej anodowych własnościach w stosunku do konstrukcji, to znaczy, o bardziej elektroujemnym potencjale. Przy takim połączeniu powstaje układ galwaniczny, w którym katodą jest metalowa konstrukcja chroniona, anodą — przyłączona do konstrukcji elektroda, elektrolitem natomiast aktywator znajdujący się dokoła elektrody — anody wraz z warstwą wilgotnej gleby zawartą między anodą i katodą. W układzie takim anoda ulega rozpuszczaniu, chroniąc tym samym konstrukcję — katodę przed korozją. Z tego też względu anodę nazywa się często protektorem. Spotykane są ponadto nazwy: anoda galwaniczna albo po prostu, anoda lub elektroda polaryzująca.

### 3. MATERIAŁ ANODOWY

#### 3.1. Wiadomości ogólne

Do ochrony katodowej metalowych konstrukcji, jak już wspomniano we wcześniejszych opracowaniach [1], można stosować anody magnezowe, cynkowe i aluminiowe. Pierwsze z nich znajdują od wielu już lat powszechne zastosowanie. Drugie, po wstępnych niepowodzeniach w praktyce, zostały częściowo zarzucone. Anody aluminiowe stosowane są raczej tylko sporadycznie.

Słabe zainteresowanie anodami cynkowymi i aluminiowymi tłumaczy się tym, że w warunkach glebowych łatwo ulegają one pasywacji i tym samym z upływem czasu stają się mniej aktywne. Ponadto przy połączeniu galwanicznym z metalami konstrukcyjnymi dają one mniejszą różnicę potencjałów niż anody magnezowe, co może być powodem słabej polaryzacji katodowej konstrukcji, zwłaszcza przy dużych rezystancjach obwodu ochrony.

Ze względów opisanych wyżej, stosowanie anod cynkowych i aluminiowych ogranicza się do środowisk ciekłych, o dużej przewodności elektrycznej, względnie do gleb o małym oporze właściwym, nie większym niż  $20 \Omega \cdot m$  [2,3].

Badania w zakresie stosowania odpowiednich dodatków stopowych, a także aktywatorów pozwalają mieć nadzieję na opracowanie materiałów bardziej przydatnych w eksploatacji w warunkach glebowych.

### 3.2. Anody cynkowe

Cynk był pierwszym metalem, jaki zaczęto stosować w charakterze protektora przy ochronie katodowej metalowych konstrukcji przed korozją [4]. Już w 1824 r. *Sir Humphry Davy* użył płyty cynkowej do ochrony miedzianego poszycia statków przed korozją morską. W latach dwudziestych naszego stulecia wprowadzono płyty cynkowe do ochrony kabli przed korozją powodowaną przez prądy błędzące [5 ÷ 8]. Między innymi kabel z Berlina do Hannoveru był zabezpieczony takimi płytami w studniach kablowych. Połączenia ołowianej powłoki kabla z płytami cynkowymi wprowadzono w tym czasie także w Anglii i w Ameryce w obszarach, w których powłoka ołowiana była zagrożona przez prądy błędzące.

Ochrona tego typu musiała się skończyć niepowodzeniem. Przy dzisiejszym stanie wiedzy na temat korozji i ochrony przed nią wiadomo już, że w obszarach występowania prądów błędzących, zwłaszcza o większym natężeniu, należy stosować inne, bardziej efektywne środki ochrony katodowej, np. drenaż elektryczny. Anody reakcyjne zapewniają natomiast właściwy efekt ochrony w tych miejscach, w których nie ma działania prądów błędzących, lub gdzie natężenie ich jest stosunkowo nieduże.

Pierwsze próby z zastosowaniem anod cynkowych kończyły się często niepowodzeniem, nawet w przypadkach instalowania protektorów poza obszarem działania prądów błędzących. Przyczyną tego było powstawanie na powierzchni anody błonki z uwodnionych węglanów cynku [9].

Powstawanie błonki z produktów korozji na powierzchni anody jest określane niekiedy terminem samopolaryzacji anody. Osady anodowe charakteryzują się znacznym oporem elektrycznym i dlatego uzyskiwany zaraz po zainstalowaniu anody wysoki prąd w obwodzie ochrony obniża się zwykle po stosunkowo krótkim okresie pracy protektora. Zmniejszona wydajność prądowa anody prowadzi w rezultacie do tego, że potencjał polaryzacji na powierzchni katody staje się niewystarczający do zahamowania procesów korozyjnych.

Przez dłuższy okres czasu do ochrony katodowej stosowano cynk hutniczy. Stwierdzono przy tym, że duży wpływ na aktywność anody w czasie jej eksploatacji mają domieszki niektórych metali. Za najbardziej szkodliwą domieszkę uznano żelazo, dlatego też w późniejszych wymaganiach ograniczano jego zawartość w odlewach cynkowych do 0,0014% [2 ÷ 4,10]. Na pracę protektora wpływają niekorzystnie również domieszki miedzi i ołowiu.

Należy zauważyć, że nawet przy odlewaniu bardzo czystego cynku na powierzchni występuje segregacja domieszek, których wzbogacenie jest tu 4 do 5-krotnie większe w porównaniu z wewnętrzną częścią odlewu. To wzbogacenie w domieszki zewnętrznej części odlewu staje się przy-

czyną szybszego powierzchniowego rozpuszczania anody bez specjalnego powiększenia wydajności prądowej.

Maksymalna ilość szkodliwych zanieczyszczeń w stopie cynkowym przeznaczonym na protektory nie powinna przekraczać wartości podanych niżej [2,4]:

Fe 0,0014<sup>0</sup>/<sub>0</sub>

Pb 0,0060<sup>0</sup>/<sub>0</sub>

Cu 0,0050<sup>0</sup>/<sub>0</sub>

Niemniej jednak *Shreir* w typach stopów protektorowych podaje i takie, w których zawartość ołowiu o wiele przekracza wspomnianą wyżej (tabl. 1, stop typu 2). W tym przypadku jednak zawartość żelaza ograniczona jest do 0,0014, a miedzi nie dopuszcza się wcale.

*Prituła* dopuszcza jeszcze większe zawartości szkodliwych domieszek w cynku protektorowym, co ilustruje tabl. 2.

Niekorzystne działanie domieszek stopowych w cynku można wyeliminować specjalnymi dodatkami. I tak np. dodatek aluminium w ilości 0,5

Tablica 1

Skład chemiczny anod cynkowych (według *Shreira*)

Stop	Skład %							
	Al	Si	Cu	Fe	Pb	Cd	Sn	Zn
Typ 3	0,10	—	0,005	0,0014	0,006	0,03	0,05	reszta
	0,30	—	maks.	maks.	maks.	0,07	0,20	
Typ 2	0,50	0,50	—	0,0014	0,35	0,15	—	reszta
	1,00	0,20	—	maks.	maks.	maks.		
Typ 1	0,30	—	0,005	0,0014	0,006	—	—	reszta
	0,50	—	maks.	maks.	maks.	—	—	

Tablica 2

Skład chemiczny stopów cynkowych na anody (według *Prituły*)

Cecha stopu	Maksymalna zawartość składnika %								
	Pb	Fe	Cd	Cu	Sn	Sb	Ni	As	Zn
Ц1	0,024	0,020	0,014	0,002	0,001	0,005	0,001	0,005	reszta
Ц0	0,015	0,020	0,010	0,001	0,001	0,002	0,001	0,002	reszta
Stop o wysokiej czystości	0,070	0,020	0,070	—	—	—	—	—	reszta
Stop o bardzo wysokiej czystości	0,006	0,005	0,004	—	—	—	—	—	reszta



do 1,0% wydatnie zmniejsza szkodliwy wpływ żelaza. Podobnie działa dodatek krzemu w ilości do 0,5%. Znajduje to swój wyraz w produkowanych za granicą stopach protektorowych.

W glebowych warunkach stosowanie odpowiedniego aktywatora w najbliższym otoczeniu anody zmniejsza w pewnym stopniu niebezpieczeństwo pasywowania się anody. W przypadku anod cynkowych aktywator gipsowy zapewnia długotrwałe, aktywne ich działanie.

Ogólnie charakterystykę chemiczną cynku z punktu widzenia jego korozyjnych własności ująć można następująco.

Cynk, podobnie jak aluminium, jest metalem amfoterycznym, a więc rozpuszcza się zarówno w środowiskach kwaśnych, jak i alkalicznych. Niektóre domieszki, np. kadm, zmniejszają rozpuszczalność cynku technicznego wskutek podwyższenia nadnapięcia wodoru na wtrąceniach katodowych. Żelazo jest domieszką wykazującą małe nadnapięcie wodoru i dlatego zwiększa rozpuszczalność cynku w roztworach elektrolitów. W neutralnych roztworach cynk koroduje głównie z tlenową depolaryzacją, a zawarte w nim techniczne zanieczyszczenia nie wywierają decydującego wpływu na jego odporność korozyjną. Podstawowe własności fizykochemiczne cynku przedstawiają się następująco:

ciężar atomowy	65,4
wartościowość	2
ciężar właściwy	7,1
punkt topliwości	420°C.

### 3.3. Anody aluminiowe

Jak już wyżej wspomniano, anody aluminiowe są obecnie bardzo mało rozpowszechnione w ochronie katodowej metalowych konstrukcji podziemnych. Ich skłonność do pasywacji w warunkach pracy anody jest silniej wyrażona, niż to ma miejsce w przypadku anod cynkowych.

Badania nad zastosowaniem aluminium w charakterze anod reakcyjnych datują się od lat czterdziestych bieżącego stulecia [11, 12]. Prowadzone były one pod kątem widzenia wymagań potencjałowych, wydajności prądowej, zmian polaryzacyjnych i stabilności pracy.

Pierwsze wyniki badań zapowiadały się bardzo dobrze. W warunkach laboratoryjnych uzyskano, przy zastosowaniu stopów aluminium z cynkiem, potencjał w granicach  $-0,9$  do  $-1,6$  V względem elektrody  $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$ . Najwyższa wydajność prądowa, jaką udało się w trakcie doświadczeń uzyskać, wynosiła 1490 Agodz/kG, co odpowiadało zużyciu metalu w ilości 5,8 kG w przeliczeniu na 1 A.rok. W porównaniu z cynkiem, którego zużycie było w tych warunkach około dwukrotnie wyższe, wartość ta przedstawiała duże korzyści.

W dalszych badaniach zwrócono uwagę na skład stopów, który w dużym stopniu wpływał na własności elektrochemiczne anody.

W Związku Radzieckim próbowano stosować anody aluminiowe do ochrony rurociągów podziemnych, ułożonych w glebach solankowych [13]. Badaniom poddano wtedy podwójne i potrójne stopy aluminium z magnezem, cynkiem i kadmem, zawierające jako dodatki stopowe wapń, bar, stront i lit. Stopy przygotowywano z aluminium o wysokiej czystości, zawierającego nie więcej niż 0,002<sup>0</sup>% żelaza, które uważane było za szkodliwą domieszkę, podobnie jak w anodach cynkowych.

Stwierdzono, że dodatek cynku w podwójnych stopach w znacznym stopniu poprawiał własności protektorowe aluminium, natomiast stopy z dodatkiem magnezu ulegały szybko anodowej polaryzacji. Wydajność prądowa anod wykonanych z jednych i drugich stopów była duża i nie ustępowała anodom magnezowym. W przypadku stopów potrójnych typu AlZnMg wydajność prądowa przekraczała praktyczną wydajność prądową anod magnezowych i wynosiła około 2000 Agodz/kG.

Potencjał anod zależy od fizykochemicznych procesów przebiegających na granicy zetknięcia elektrody z elektrolitem (aktywatorem lub glebą). Przy anodowym rozpuszczaniu stopów aluminiowych następuje intensywne wydzielanie wodoru z równoczesnym powstawaniem chlorku aluminium. Ten ostatni ulega łatwo hydrolizie, dając tlenek aluminium i kwas solny. W aktywatorach lub glebach zawierających chlorki w czasie pracy ogniwa anoda aluminiowa — konstrukcja chroniona dochodzi bardzo szybko do nasycenia kwasem solnym najbliższego środowiska anody. Obserwuje się wtedy nieproduktywne rozpuszczanie anody w kwasie. W praktyce, w celu zapobieżenia tym niekorzystnym zmianom, stosowano aktywatory alkaliczne lub zawierające w swoim składzie inhibitory korozji w kwasach.

Ostatnie badania w dziedzinie aluminiowych stopów idą w kierunku dobrania takich dodatków stopowych, które ograniczyłyby do minimum pasywację anody.

Stwierdzono, że sole metali ciężkich, takich jak miedź, rtęć, szczególnie w obecności chlorków przeciwdziałają pasywacji anody [14]. Rtęć odkłada się na powierzchni aluminium dając z nim cienką warstwę amalgamatu. W ten sposób usuwa się utworzoną w warunkach naturalnych błonkę tlenkową. Jeśli niewielka powierzchnia anody zostanie raz zamalgamowana, to dalszy proces korozji anody w wilgotnych warunkach otoczenia postępuje już bez zakłóceń.

Fakt aktywowania powierzchni protektora solami metali ciężkich wykorzystano przy preparowaniu odpowiednich aktywatorów do anod aluminiowych eksploatowanych w warunkach glebowych. Aktywator do anod aluminiowych powinien mieć odczyn silnie alkaliczny, ponadto po-

winien zawierać chlorki i niewielki dodatek rtęci pod postacią kalomelu ( $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$ ).

Przy produkcji protektorów aluminiowych, podobnie jak w przypadku cynkowych, czystość stopu odgrywa dużą rolę. Już samo aluminium o bardzo wysokiej czystości może być stosowane do ochrony katodowej metalowych konstrukcji [15]. Proces przygotowywania aluminium o bardzo wysokiej czystości jest jednak nieopłacalny, niemniej zawartość zanieczyszczeń utrzymuje się w takich granicach, aby nie wpłynęły one w dużym stopniu na współczynnik sprawności protektora.

Do ochrony podziemnych kabli obołowionych zastosowano aluminium po raz pierwszy w Anglii w 1948 r. [5]. Przebadano wtedy w warunkach terenowych charakterystyki anody aluminiowej w ciągu dwu lat jej pracy. Anody umieszczano w odległości około 1 m od kabla w aktywatorze z cementu Sorela. Rezystancja właściwa gruntu na trasie instalowania anod aluminiowych, wynosiła 50 do 60  $\Omega \cdot \text{m}$ . Potencjał kabel-ziemia przed zainstalowaniem anod wynosił  $-400 \text{ mV}$ . Po przyłączeniu anod aluminiowych uzyskano następujące wyniki pomiarów:

potencjał „kabel-ziemia” w punkcie przyłączenia anody 500 mV

natężenie prądu w obwodzie ochrony 20 mA

zasięg ochrony:

w punkcie oddalonym o około 500 m od miejsca zainstalowania anody stwierdzono przy pomiarze przesunięcie potencjału o 25 mV w stosunku do wartości zmierzonych przed zainstalowaniem anody.

W miejscu przyłączenia anody uzyskano więc przesunięcie potencjału w kierunku ujemnym o 100 mV. Stwierdzono ponadto, że elektrody aluminiowe mogą być prawie tak efektywne, jak elektrody magnezowe.

Podstawowe własności fizykochemiczne aluminium, ważne ze względu na obróbkę i eksploatację materiału, przedstawiają się następująco:

ciężar atomowy	27,0
wartościowość	3
ciężar właściwy	2,7
punkt topliwości	660°C

#### 4. ELEKTROCHEMICZNE CHARAKTERYSTYKI ALUMINIUM I CYNKU W PORÓWNANIU Z MAGNEZEM ORAZ ZAGADNIENIA EKONOMICZNE ZWIĄZANE Z ZASTOSOWANIEM TYCH METALI NA PROTEKTORY

Własności elektrochemiczne anod aluminiowych i cynkowych w porównaniu z magnezowymi podano w tabl. 3 i 4.

Dane liczbowe zestawione w tabl. 3 odnoszą się do potencjału normal-

nego elektrody, to znaczy do potencjału elektrody mierzonego w roztworze o normalnej aktywności jonów danego metalu. W zależności od warunków, w jakich się elektroda znajduje, potencjał jej będzie się zmieniał i niekiedy wartość jego będzie bardzo różniła się od danych podanych wyżej. Niemniej wartości podane jako standardowe są bardzo pomocne przy określaniu wzajemnych stosunków elektrochemicznych dwu metali połączonych ze sobą w ogniwo. Z tablicy wynika, że zarówno magnez jak i aluminium mają dość silnie wyrażone własności anodowe (duży ujemny potencjał) i dają znaczną siłę elektromotoryczną przy połączeniu ich z ołowiem i stalowym opancerzeniem kabla.

Tablica 3

**Potencjały normalne elektrod oraz siła elektromotoryczna ogniwi utworzonych przez połączenie elektrody z ołowiem**

Metal	Jon	Normalny potencjał elektrody [V]	SEM ogniwa [V]
Pb	Pb <sup>2+</sup>	-0,125	-
Fe	Fe <sup>2+</sup>	-0,440	0,315
Al	Al <sup>3+</sup>	-1,670	1,545
Zn	Zn <sup>2+</sup>	-0,760	0,635
Mg	Mg <sup>2+</sup>	-2,340	2,215

Ochrona katodowa jest uwarunkowana odpowiednią gęstością prądu katodowego. Od anody więc wymaga się, aby w sposób ciągły dostarczała prąd ochrony dostateczny do spolaryzowania stref anodowych konstrukcji.

Tablica 4

**Teoretyczna wydajność prądowa metali protektorowych i równoważniki elektrochemiczne**

Metal	Jon metalu	Teoretyczna wydajność prądowa (A/godz/kG)	Równoważnik elektrochemiczny (G/Agodz)
Aluminium	Al <sup>3+</sup>	2980	0,335
Cynk	Zn <sup>2+</sup>	820	1,220
Magnez	Mg <sup>2+</sup>	2200	0,454

Natężenie prądu, jakie metal anodowy może dostarczyć, zależy od jego aktywności, a co za tym idzie, od jego prężności roztwórczej. Teoretycznie obliczono prężności roztwórcze metali anodowych zanurzonych w zdysoncjowanych roztworach ich własnych soli. Przy jednakowych stężeniach (1 gram mol/litr) wynoszą one [16]:

w przypadku

$$\text{Mg } P = 8,9 \times 10^{18}$$

$$\text{Al } P = 8,2 \times 10^{20}$$

$$\text{Zn } P = 9,9 \times 10^{18}$$

Można przyjąć, że natężenie prądu jest wprost proporcjonalne do logarytmu prężności roztwórczej, gdyż potencjał elektrody wyraża się równaniem:

$$E = K \log \frac{P}{p}, \quad \text{a} \quad I = \frac{E}{R}$$

gdzie:

$P$  — prężność roztwórcza reagującego metalu,

$p$  — ciśnienie osmotyczne, jakie wywierają jony metaliczne w roztworze,

$K$  — stała, zależna od wartościowości jonu.

Gęstości prądu, jakie w praktyce można uzyskać z poszczególnych anod, są według *Raclota*:

w przypadku

$$\text{Mg} \leq 100 \text{ mA/dm}^2$$

$$\text{Al} \leq 30 \text{ mA/dm}^2$$

$$\text{Zn} \leq 25 \text{ mA/dm}^2.$$

Bardzo ważną charakterystyką anody jest jej wydajność prądowa. W tabelicy 4 podano teoretyczną wydajność prądową i równoważniki elektrochemiczne metali protektorowych.

Wydajność prądowa protektora jest to ilość elektryczności, jaką teoretycznie można uzyskać z jednostki masy metalu protektorowego, obliczona z prawa *Faradaya*. Równoważnik elektrochemiczny podaje natomiast teoretyczne zużycie materiału protektorowego na jednostkę ładunku elektrycznego.

Zużycie praktyczne materiału anody jest zawsze wyższe i wynosi odpowiednio

dla

Al 0,51 G/Agodz, współczynnik sprawności 50%

Zn 1,55 G/Agodz, współczynnik sprawności 79%

Mg 0,65 G/Agodz, współczynnik sprawności 69%.

Stąd zużycie praktyczne w kG/Arok wynosi:

dla

Al 4,5

Zn 13,3

Mg 5,7.

Z przytoczonych danych wynika, że aluminium posiada najniższy równoważnik elektrochemiczny, a tym samym najniższe zużycie metalu na jednostkę uzyskanego prądu.

Ceny trzech metali protektorowych (według cennika MPC 45-z/60, metale nieżelazne, ich stopy i półfabrykaty) przedstawiają się następująco:

Al o czystości 99,99% 40,00 zł za 1 kG

Zn „ 99,99% 11,30 zł za 1 kG

Mg „ 99,91% 49,00 zł za 1 kG

Z dotychczasowych rozważań wynika, że masa zużytego w czasie jednokowej pracy elektrochemicznej aluminium stanowi tylko 35% masy cynku lub 79% masy magnezu. Można to wyrazić prościej, mianowicie na 1 część wagową aluminium zużywa się 3 części wagowe cynku lub 1,3 części wagowe magnezu. Stąd orientacyjny koszt zużytych na wykonanie tej samej pracy elektrochemicznej metali będzie wynosił:

przy

1 kG Al 40 zł

3 kG Zn 34 zł

1,3 kG Mg 64 zł.

Z przeliczeń tych wynika, że najtaniej jako materiał anodowy kształtuje się cynk. Stosunkowo duży jego ciężar właściwy ( $7,1 \text{ G/cm}^3$ ) utrudnia jednak instalowanie elektrod większych rozmiarów. Z tego względu anody cynkowe produkowane są często w kształcie długich, cienkich prętów, o mniejszym ciężarze. Czas życia takich prętów jest krótszy w porównaniu z czasem życia stosowanych w praktyce anod magnezowych, wobec czego zachodzi konieczność wymiany instalacji częściej niż w przypadku anod magnezowych. Fakt ten wpłynie oczywiście w pewnym stopniu na podwyższenie całkowitego kosztu ochrony katodowej.

Oprócz niewątpliwych korzyści ekonomicznych, wypływających z zastosowania aluminium i cynku na anody reakcyjne do ochrony katodowej ołowianych powłok kabli telekomunikacyjnych, trzeba tu jeszcze podkreślić, że metale te przy połączeniu galwanicznym z ołowiem dają wystarczająco dużą różnicę potencjałów potrzebną do katodowego spolaryzowania powłoki kabla w środowisku elektrolitycznym, jakim jest wilgotna gleba.

Ze względu na mniej ujemny w porównaniu z anodami magnezowymi potencjał elektrod nie istnieje w przypadku stosowania anod cynkowych i aluminiowych niebezpieczeństwo tak zwanej „nadochrony”, i związanego z nią nadmiernego wydzielania wodoru na katodzie ołowianej. Ponadto nie istnieje niebezpieczeństwo nadmiernej alkalizacji środowiska przykatodowego, co przy amfoterycznych własnościach ołowiu mogłoby przyczynić się do jego niszczenia z chwilą przerwania prądu polaryzującego.

Umiarkowane wydzielanie się wodoru w czasie polaryzacji katodowej ołowianej powłoki kabla nie powoduje odwarstwiania się izolujących osłon ochronnych na kablu.

Z dotychczasowych doświadczeń wynika, że anody cynkowe przygo-

towane z odpowiednich stopów charakteryzują się bardzo równomierną korozją powierzchniową i zachowują stabilny w czasie pracy potencjał. Z tego też względu znajdują często w praktyce zastosowanie przy pomiarach korozyjnych, jako wygodne elektrody odniesienia, podobnie jak niepolaryzujące się elektrody siarczanomiedziowe lub chlorosrebrowe. Cynkowe elektrody odniesienia są stosowane przy pomiarach korozyjnych za granicą [17, 18] i od kilku lat w kraju, zwłaszcza przy pomiarach w środowisku morskim.

Anody aluminiowe w dotychczasowym wykonaniu nie mogą być stosowane jako elektrody odniesienia, gdyż potencjał ich z upływem czasu zmienia się wskutek procesów polaryzacyjnych.

Mankamentem anod cynkowych i aluminiowych jest zakres stosowania ograniczony do środowisk o stosunkowo małym oporze właściwym. Jak podają bowiem różne źródła, anody aluminiowe i cynkowe można stosować w glebach o oporze właściwym do  $2.000 \Omega \cdot \text{cm}$ , podczas gdy anody magnezowe — do  $6.000 \Omega \cdot \text{cm}$ .

## 5. NIEKTÓRE ZAGADNIENIA INSTALACYJNE

Anody aluminiowe i cynkowe są przygotowywane zwykle w formie przystosowanej do lokalnych warunków instalacji. Przy tym, jeśli chodzi o instalacje w ziemi, specjalnych wymagań co do kształtu elektrod nie stawia się. W praktyce się spotyka elektrody o przekroju koła, trójkąta, czworoboku o różnych długościach. Ze względu na opór przejścia i czas życia istotna jest raczej masa metalu umieszczonego w ziemi.

Anody można instalować pojedynczo lub grupowo, po kilka sztuk. Grupowe instalacje stosuje się zazwyczaj w przypadkach względnie dużego oporu elektrycznego środowiska. Odległość poszczególnych anod od siebie wynosi wtedy 3 do 9 m. Anody mogą być układane poziomo lub pionowo w dole na głębokości co najmniej 1 m i w odległości 3 do 4 m od kabla.

W celu uzyskania dostatecznie dużego zasięgu ochrony katodowej wymagana jest stosunkowo dobra osłona izolująca na kablu. Przy braku osłony izolacyjnej kabla anody trzeba instalować dosyć często na trasie i ekonomia tego rodzaju ochrony staje się problematyczna. Ochrona katodowa za pomocą anod reakcyjnych kształtuje się najekonomiczniej przy stosowaniu jej wraz z termoplastycznymi osłonami ochronnymi na kablach. Do zapewnienia całkowitej ochrony przed korozją wystarcza w takich przypadkach jedna anoda reakcyjna na kilka kilometrów trasy kabla. Tego rodzaju rozwiązania ochrony stosowane są aktualnie za granicą [20].

## 6. CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

### 6.1. Zakres badań i materiały

Badania własne nad skutecznością ochrony katodowej obołowionych kabli ziemnych za pomocą anod reakcyjnych aluminiowych i cynkowych, ograniczyły się do jednego typu anod zarówno z jednego, jak i z drugiego materiału.

Prace terenowe poprzedzono wstępnymi badaniami laboratoryjnymi, które obejmowały:

- oznaczenie potencjału elektrody w różnych środowiskach,
- wytypowanie najodpowiedniejszego aktywatora do pracy anod w terenie.

Przed instalacją anod reakcyjnych w terenie wybrano odcinek doświadczalny drogą kolejnych prób profilu glebowego i przebadano charakterystyki fizykochemiczne tego odcinka.

Po zainstalowaniu anod na trasie kabla przeprowadzono pomiary elektryczne na odcinku doświadczalnym.

Anody aluminiowe zastosowane do ochrony katodowej ołowianej powłoki kabla na doświadczalnym odcinku były wykonane ze stopu aluminium z cynkiem, typu AlZn10. Do wytopu użyto aluminium rafinowane o czystości 99,99% i cynk elektrolityczny o czystości 99,998%. Odlewy anod wykonał Oddział Instytutu Metali Nieżelaznych w Skawinie.

Odlewy anod ujednorodniano przez wyżarzanie w temperaturach 280 do 320°C w czasie 120 godzin. Po wyżarzeniu studzono w spokojnym powietrzu. Mikrostruktura stopów aluminiowych badana pod mikroskopem optycznym była jednorodna (ziarna alfa aluminium z bardzo nielicznymi wtrąceniami kryształów cynku).

Skład chemiczny stopów aluminiowych użytych do badań podano w tabl. 5.

Tablica 5

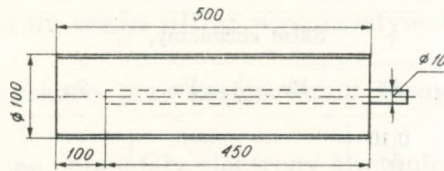
Skład chemiczny stopów aluminiowych

Skład chemiczny, %						Ilość odlewów
Zn	Si	Fe	Cu	Ni	Al	
10,1	0,01	0,004	0,0052	0,0005	reszta	2
9,8	0,01	0,005	0,0056	0,0005	„	2
10,0	0,01	0,010	0,0048	0,0005	„	2
10,25	0,01	0,006	0,0048	0,0005	„	1

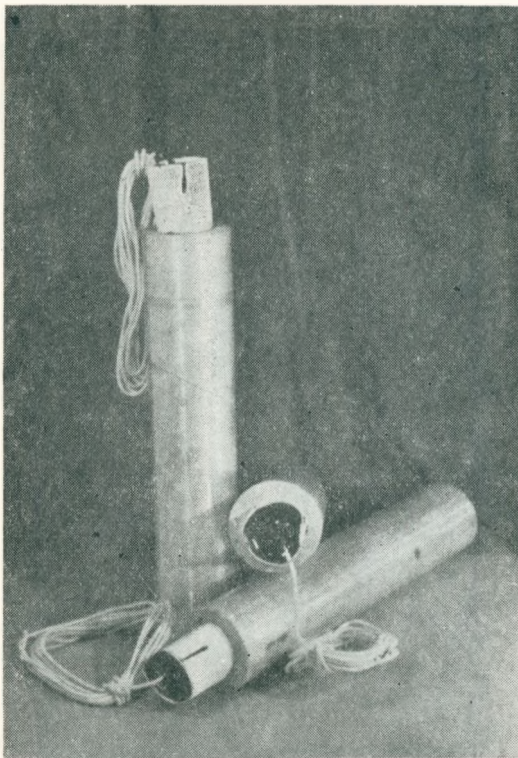
Anody przygotowano w kształcie walca o średnicy 100 mm i długości 500 mm z wtopionym wewnątrz ocynkowanym prętem stalowym. Szkic anody przedstawia rys. 1. Ciężar pojedynczej elektrody wynosił około



11 kG, a czas życia jej w warunkach glebowych obliczono na 40 lat, zakładając średni prąd w obwodzie 40 mA i współczynnik sprawności 50%. Na rysunku 2 pokazano wygląd zewnętrzny elektrody aluminiowej z przyłączonym przewodem wyprowadzeniowym, gotowej do osadzenia w aktywatorze.



Rys. 1. Szkic elektrody aluminiowej



Rys. 2. Wygląd zewnętrzny elektrody aluminiowej z przyłutowanym przewodem wyprowadzeniowym

Stopy cynkowe użyte w niniejszych badaniach były wyprodukowane przez Zakłady Cynkowe w Trzebini. Skład chemiczny tych stopów podano w tabl. 6. Całkowita zawartość zanieczyszczeń stopowych wynosiła tu 0,01%.

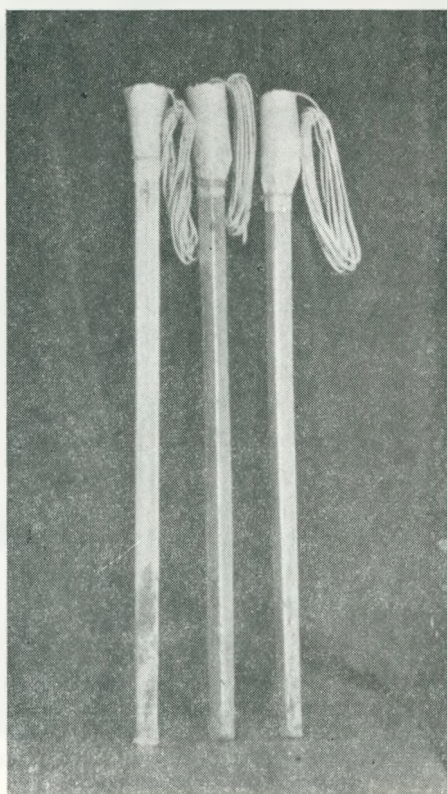
Elektrody przygotowano w kształcie prętów o długości 1000 mm i przekroju trójkątnym  $30 \times 30 \times 45$  mm. Miedziany przewód wyprowadze-

niowy przylutowywano bezpośrednio do powierzchni elektrody. Miejsce lutowania, podobnie jak w przypadku elektrod aluminiowych, izolowano asfaltem o temperaturze mięknięcia około 60°C.

Tablica 6

## Skład chemiczny stopów cynkowych

Skład chemiczny, %					
Cd	Al	Pb	Fe	Sn	Zn
0,05 do 0,10	0,10 do 0,20	< 0,008	< 0,002	< 0,001	reszta



Rys. 3. Wygląd zewnętrzny elektrod cynkowych

Na rysunku 3 pokazano wygląd zewnętrzny elektrod cynkowych.

Ciężar pojedynczej elektrody cynkowej wynosił około 6 kG. Czas życia anody obliczano na około 10 lat, zakładając średni prąd w obwodzie ochronny „anoda-konstrukcja chroniona” 44,7 mA i współczynnik sprawności 80%.

## 6.2. Eadania laboratoryjne elektrod aluminiowych

Potencjał elektrod aluminiowych oznaczano w czystej wodzie, w elektrolitach jednoskładnikowych oraz w wyciągach wodnych aktywatorów. Te ostatnie przygotowywano w sposób następujący. Suchy, sproszkowany aktywator w ilości 250 G/l wytrząsano w ciągu 1/2 godziny z wodą i przefiltrowano. Po odrzuceniu osadu filtrat wykorzystywano jako elektrolit do badań.

Wyniki, jakie uzyskano przy zastosowaniu różnych elektrolitów, podano w tabl. 7.

Najbardziej ujemne potencjały elektrody aluminiowej uzyskiwano przy zastosowaniu aktywatorów wapniowych, wobec czego do badań terenowych przygotowano trzy zestawy mieszanek opartych na wapie. Skład tych zestawów przedstawiał się następująco:

Nr 1. Wapno hydratyzowane	30,0 <sup>0</sup> /o
MgCl <sub>2</sub>	13,3 <sup>0</sup> /o
NaCl	5,7 <sup>0</sup> /o
Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	1,0 <sup>0</sup> /o
Bentonit	50,0 <sup>0</sup> /o
	100,0 <sup>0</sup> /o

Tablica 7

Potencjały elektrod aluminiowych w różnych środowiskach mierzone po upływie 168 godzin od chwili umieszczenia elektrody w elektrolicie

Nr próbki	Środowisko	Potencjał elektrody względem kalomelowej nasyconej elektrody odniesienia (V)	Potencjał elektrody względem siarczano-miedziowej elektrody odniesienia (V)
1	Woda destylowana	-0,910	-0,990
2	Woda z kranu	-0,900	-0,980
3	Roztwór NaCl 1 mol/litr	-1,050	-1,130
4	Nasycony roztwór Ca(OH) <sub>2</sub>	-1,380	-1,460
5	Nasycony roztwór CaCO <sub>3</sub>	-0,800	-0,880
6	Wyciąg wodny aktywatora bentonitowo-gipsowego	-0,740	-0,820
7	Wyciąg wodny cementu Sorela	-1,100	-1,180
8	Wyciąg wodny aktywatora o składzie: Ca(OH) <sub>2</sub> +Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> +bentonit (2:0,5:2)	-1,350	-1,430
9	Ca(OH) <sub>2</sub> +Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> +bentonit (1:0,05:1)	-1,380	-1,460
10	Cement Sorela+bentonit (1:2)	-1,060	-1,140
11	Ca(OH) <sub>2</sub> +CaSO <sub>4</sub> +bentonit (1:0,03:1)	-1,020	-1,100
12	Fluorokrzemian sodowy+bentonit (1:1)	-1,020	-1,100

Nr 2. Wapno hydratyzowane	30,0 <sup>0</sup> /o
NaCl	19,0 <sup>0</sup> /o
Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	1,0 <sup>0</sup> /o
Bentonit	50,0 <sup>0</sup> /o
	<hr/> 100,0 <sup>0</sup> /o

Nr 3. Wapno hydratyzowane	30,0 <sup>0</sup> /o
NaCl	18,3 <sup>0</sup> /o
CuSO <sub>4</sub> bezwodny	1,7 <sup>0</sup> /o
Bentonit	50,0 <sup>0</sup> /o
	<hr/> 100,0 <sup>0</sup> /o

Do anod cynkowych wytypowano mieszankę o składzie:

Gips (2CaSO <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O)	25 <sup>0</sup> /o
Siarczan sodu (Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> · 10H <sub>2</sub> O)	25 <sup>0</sup> /o
Glina (szary łupek odpadowy z Klinkierni Grodków)	50 <sup>0</sup> /o

### 6.3. Wybór odcinka doświadczalnego i jego charakterystyka

Do badań nad skutecznością pracy anod aluminiowych i cynkowych wybrano odcinek kabla o długości około 1,5 km. Trasa obejmowała gleby agresywne w stosunku do ołowiu ze względu na dużą zawartość substancji organicznych, azotanów oraz wysokie pH. Ilustruje to tabl. 8.

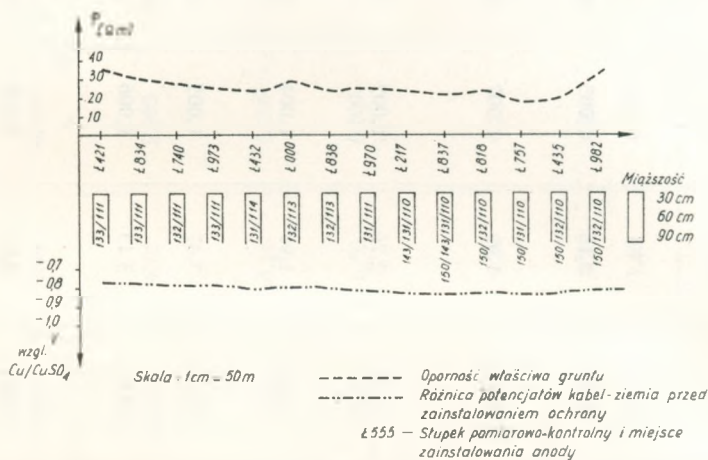
Wybrany odcinek zawierał się pomiędzy słupkami pomiarowo-kontrolnymi Ł 421 i Ł 982. Część terenu stanowiły grunty uprawne (od Ł 421 do Ł 000). Górna warstwa gleby tego terenu o miąższości do 60 cm odpowiadała typowi czarnych ziem ukształtowanych z bogatych w węglan wapnia skał macierzystych przy udziale wysokiego poziomu wód gruntowych. Utwory wierzchnie, niekiedy bardzo bogate w próchnicę, przechodziły w glinę lub ił na głębokości 50 do 100 cm (rys. 4). Łąkowa część terenu od Ł 838 do Ł 982 okresowo była zalewana wodami gruntowymi. Miała ona pod warstwą darni profil zbliżony do opisanego wyżej, z tym że miąższość warstwy próchnicznej sięgała tu 30 cm, przechodząc dalej w utwory gliniaste lub ilaste. Na głębokości poniżej 1 m pojawiała się zwietrzała skała wapienna. Prawie na całym odcinku badanym, na głębokości poniżej 1 m występowała woda gruntowa.

Na rysunku 4 podano schemat profilu glebowego badanego w odstępach co 100 m, przy określaniu którego zastosowano znaki liczbowe przyjęte w Genetycznej Klasyfikacji Gleb Polski [19].

Znaczenie symboli jest następujące:

110 — utwory wierzchnie przechodzą w glinę na głębokości do 50 cm,

- 111 — utwory wierzchnie przechodzą w glinę na głębokości od 50 do 100 cm,  
 113 — utwory wierzchnie przechodzą w ił na głębokości do 50 cm,  
 114 — utwory wierzchnie przechodzą w ił na głębokości od 50 do 100 cm,  
 131 — gleby silnie próchnicze (ponad 4% próchnicy),  
 132 — gleby średnio próchnicze (2 do 4% próchnicy),  
 133 — gleby słabo próchnicze (poniżej 2% próchnicy),  
 143 — poziom wody glebowo-gruntowej od 50 do 100 cm,  
 150 — węgiel wapnia w podłożu głęboko (ponad 100 cm).



Rys. 4. Wykres oporności właściwej gruntu i rozkładu potencjałów kabel-ziemia oraz profile głębokie doświadczalnego odcinka kabla

Opór właściwy gleb zmierzony na odcinku doświadczalnym wahał się w granicach od 17,6 do 33,9  $\Omega \cdot \text{m}$ , a potencjał „kabel-ziemia” zawierał się w obszarze od  $-0,77$  do  $-0,83$  V względem  $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$ .

## 6.4 Instalacja anod reakcyjnych

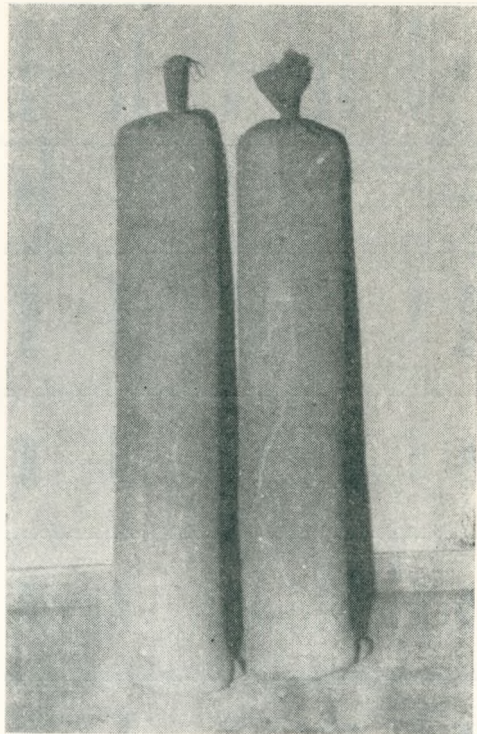
Anody aluminiowe i cynkowe dostarczano na trasę kabla w stanie przygotowanym do instalowania, to znaczy otoczone aktywatorem w workach jutowych. Na pojedynczą anodę zużywano około 35 kG suchej mieszanki aktywatora w przypadku anod aluminiowych oraz około 50 kG w przypadku anod cynkowych. Wygląd zewnętrzny anod reakcyjnych cynkowych, gotowych do instalowania na trasie kabla pokazano na rys. 5.

Anody reakcyjne zarówno aluminiowe jak i cynkowe umieszczano na głębokości około 1,5 m, w odstępach co 100 m wzdłuż trasy kabla, przy

T a b l i c a 8  
Wyniki analizy gruntów i ocena agresywności w stosunku do ołowiu

Nr próbki	Lokalizacja	Charakterystyka	pH	Wilgotność %	Utlenczalność tlenu %	Zawartość jonu Cl' %	Zawartość jonu NO <sub>3</sub> %	H <sub>2</sub> S	Stopień agresywności
Ł 421	Trasa kabla potudniowego. Odcinek doświadczalny	Czarna ziemia włościwa. Warstwa próchnicza barwy ciemnobrunatnej, wapienna. Teren uprawny	8,2	20,27	2,15	0,003	0,00560	Nie wykryto	Agresywna
Ł 834	"	Czarna ziemia włościwa, warstwa próchnicza ciemnobrunatna. Teren uprawny	8,2	19,34	1,96	0,007	0,00043	"	Średnio agresywna
Ł 740	"	Czarna ziemia włościwa, warstwa próchnicza barwy brunatnej, wapienna. Teren uprawny	8,4	19,36	2,76	0,007	0,00086	"	Agresywna
Ł 973	"	Czarna ziemia włościwa, warstwa próchnicza barwy brunatnej, wapienna. Teren uprawny	8,3	20,48	1,97	0,004	0,00099	"	Średnio agresywna
Ł 432	"	Czarna ziemia włościwa, warstwa próchnicza barwy brunatnej, wapienna. Teren uprawny	8,2	20,98	3,47	0,005	0,00029	"	Agresywna
Ł 000	"	Czarna ziemia włościwa, barwy szarobrunatnej, wapienna. Teren uprawny	8,2	20,89	3,13	0,006	0,00050	"	"
Ł 838	"	Czarna ziemia włościwa, warstwa próchnicza z domieszką iłu, barwy brunatnej, wapienna. Teren łąkowy	8,0	23,44	4,02	0,008	0,00132	"	"
Ł 970	"	Czarna ziemia, warstwa próchnicza z domieszką gliny ciężkiej, barwy brunatnej, wapienna. Teren łąkowy	8,1	28,25	4,46	0,008	0,00026	"	"

Ł 217	"	Czarna ziemia, warstwa próchnicza z domieszką gliny ciężkiej, barwy brunatnej, średnio wapienna. Teren łąkowy	8,1	33,17	5,04	0,014	0,00106	"	"
Ł 837	"	Czarna ziemia, warstwa próchnicza z domieszką gliny ciężkiej, barwy szarobrunatnej, wapienna. Teren łąkowy	8,2	26,86	4,56	0,005	0,00128	"	"
Ł 818	"	Czarna ziemia, warstwa próchnicza z domieszką gliny ciężkiej, barwy szarobrunatnej, średnio wapienna. Teren łąkowy	8,2	30,68	4,26	0,006	0,00100	"	"
Ł 757	"	Czarna ziemia, warstwa próchnicza, barwy szarobrazowej, średnio wapienna. Teren łąkowy	8,2	33,89	6,26	0,007	0,00160	"	"
Ł 435	"	Czarna ziemia, warstwa próchnicza z domieszką gliny, barwy ciemnoszarej, średnio wapienna. Teren łąkowy	8,2	39,37	3,29	0,011	0,00104	"	"
Ł 982	"	Czarna ziemia z domieszką wapienia, barwy szarej, silnie wapienna. Teren łąkowy	8,2	30,37	3,26	0,006	0,00055	"	"
1	Próbka z bezpośredniego odczucia anody glinowej	Utwór pylasty, barwy szarej, silnie wapienny	8,3	19,35	1,63	0,014	ślady	"	"
2	Próbka z bezpośredniego odczucia anody cynkowej	Utwór pylowo-ilastry barwy szarżółtej silnie wapienny	8,2	40,94	4,95	0,006	0,00118	"	"



Rys. 5. Anody reakcyjne cynkowe przygotowane do instalowania w terenie

czym anody cynkowe łączono parami i ze względu na ich długość układano w pozycji leżącej. Prawie każda anoda po umieszczeniu jej w przygotowanym wykopie była zanurzona całkowicie lub częściowo w wodzie gruntowej (rys. 6).

Przewód wyprowadzeniowy anod reakcyjnych łączony był z ołowianą powłoką kabla i z opancerzeniem.

Na odcinku doświadczalnym zainstalowano w sumie 18 anod cynkowych i 5 aluminiowych, stosując do tych ostatnich trzy warianty aktywatorów w następującej kolejności:

przy Ł 837 anoda z aktywatorem nr 3

przy Ł 818 anoda z aktywatorem nr 3

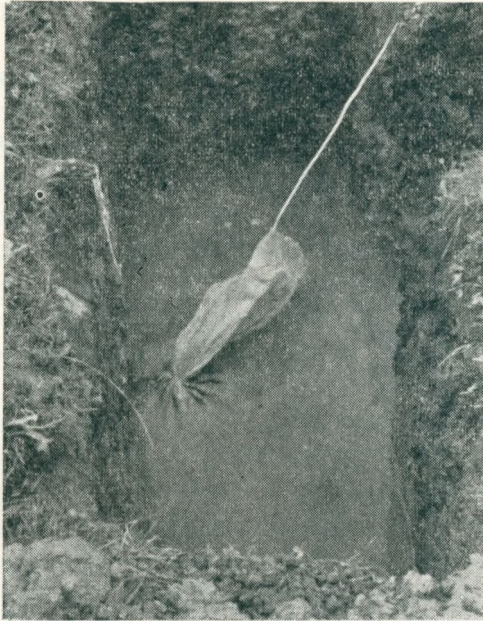
przy Ł 757 anoda z aktywatorem nr 2

przy Ł 435 anoda z aktywatorem nr 1

przy Ł 982 anoda z aktywatorem nr 2

Warunki dotyczące usytuowania anod reakcyjnych w terenie podano w tabl. 9.





Rys. 6. Anoda reakcyjna aluminiowa umieszczona w wykopie

Tablica 9

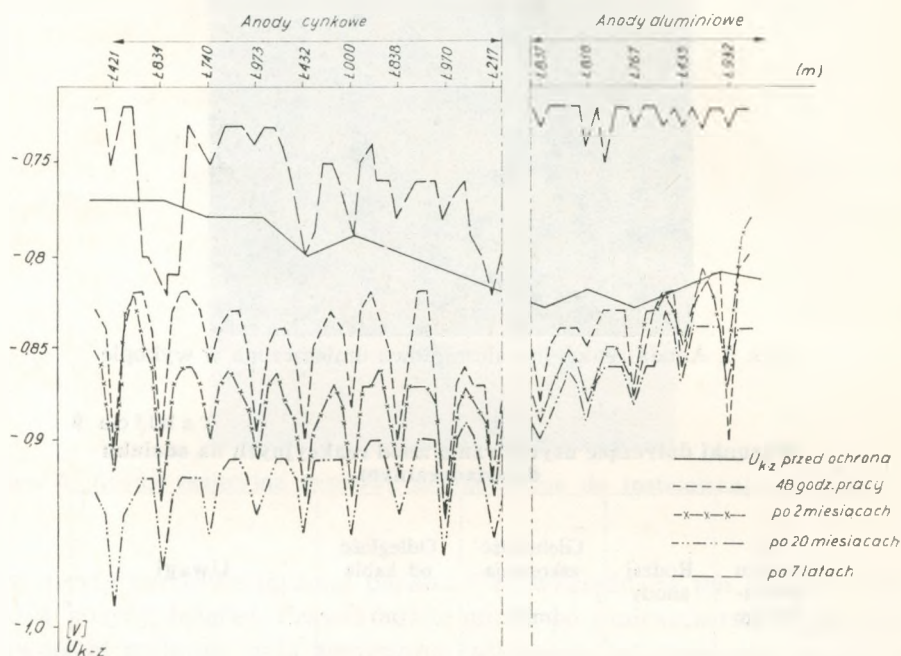
## Warunki dotyczące usytuowania anod reakcyjnych na odcinku doświadczalnym

Nr punktu pomiarowego	Rodzaj anody	Głębokość zakopania (m)*	Odległość od kabla (m)	Uwagi
Ł 421	2 × Zn	1,40	2,20	Woda gruntowa w wykopie
Ł 834	2 × Zn	1,65	4,20	„
Ł 740	2 × Zn	1,50	6,00	Sucho
Ł 973	2 × Zn	1,50	4,60	„
Ł 432	2 × Zn	1,55	3,50	Woda gruntowa w wykopie
Ł 000	2 × Zn	1,60	4,90	„
Ł 838	2 × Zn	1,55	4,30	„
Ł 970	2 × Zn	1,45	4,00	„
Ł 217	2 × Zn	1,25	5,00	„
Ł 837	1 × Al	1,30	4,10	„
Ł 818	1 × Al	1,30	4,10	„
Ł 757	1 × Al	1,50	4,00	„
Ł 435	1 × Al	1,65	3,50	„
Ł 982	1 × Al	1,65	1,30	„

\*) Głębokość zakopania liczono od dna anody reakcyjnej

### 6.5. Pomiary po zainstalowaniu anod reakcyjnych

Po zainstalowaniu anod reakcyjnych wykonano pierwsze kontrolne pomiary już po upływie 48 godzin, a następnie po 2 miesiącach. Mierzono przy tym potencjał „kabel-ziemia”, siłę elektromotoryczną, potencjał „anoda-ziemia” w stanie rozwartym, natężenie prądu w obwodzie ochrony i opór elektryczny obwodu ochrony. Rozkład potencjałów wzdłuż kabla chronionego przedstawiono na rys. 7.



Rys. 7. Zmiany potencjału „kabel-ziemia” w czasie trwania ochrony katodowej (odcinek 1500 m, pomiary wykonano w odstępach co 20 m)

### 6.6. Ocena pracy anod cynkowych i aluminiowych

Wybór odcinka doświadczalnego do zainstalowania anod aluminiowych i cynkowych uzasadniony był agresywnym charakterem gruntów. Potwierdziły to wyniki analiz chemicznych. Tereny łąkowe o zmieniającym się poziomie wód gruntowych (rys.4) wybrano do instalacji anod reakcyjnych aluminiowych ze względu na znaczne ilości związków wapnia w podłożu.

Anody reakcyjne aluminiowe i cynkowe zainstalowano na wybranym odcinku we wrześniu 1962 r. Jak wiadomo, pełna stabilizacja w obwodzie

ochrony „anoda-kabel” występuje w warunkach glebowych po upływie co najmniej roku. Systematyczne pomiary na trasie doświadczalnej prowadzone są więc nadal i w obecnym opracowaniu przedstawiono ocenę działania anod na podstawie wyników badań prowadzonych na bieżąco.

O aktywnym działaniu anod reakcyjnych świadczy przede wszystkim wielkość przesunięcia potencjału spolaryzowanej konstrukcji w stosunku do stanu przed polaryzacją lub do stanu, jaki istnieje po wyłączeniu ochrony. W celu zorientowania się w wielkości przesunięcia potencjału wykonano pomiary wzdłuż trasy kabla doświadczalnego w odstępach co 20 m. Ponadto zmierzono w punktach oznaczeniowo-pomiarowych rozmieszczonych co 100 m natężenie prądu w obwodzie ochrony „anoda-kabel”, potencjał „anoda-ziemia”, opór elektryczny obwodu „anoda-kabel”, opór właściwy gruntu. Po 2 latach ochrony odkopano po jednej anodzie cynkowej i aluminiowej w celu zbadania stanu ich skorodowania.

Rozkład potencjałów „kabel-ziemia” i jego zmiany w czasie wzdłuż odcinka polaryzowanego katodowo anodami reakcyjnymi cynkowymi i aluminiowymi przedstawiono na rys. 7. Z zestawienia krzywych widać, że przesunięcie potencjału powłoki kabla jest większe w przypadku anod cynkowych. Z upływem czasu wartości potencjałów anod cynkowych przesuwają się w kierunku bardziej ujemnym. Obserwuje się to w pierwszych latach po zainstalowaniu anod. W przypadku anod aluminiowych występuje już po kilku miesiącach ochrony stabilizacja potencjału \*).

Wielkość przesunięcia potencjału powłoki kabla w stanie spolaryzowanym jest większa w przypadku anod cynkowych, co ilustruje tabl. 10. Mianowicie po 20 miesiącach działania anod cynkowych przesunięcie potencjału powłoki kabla wynosiło 170 mV, natomiast w przypadku anod aluminiowych tylko 60 mV. Badane elektrody, zarówno cynkowe jak i aluminiowe, dają mniejsze przesunięcie potencjału, niż stosowane na odcinku doświadczalnym anody magnezowe (240 mV). Dla porównania średni potencjał polaryzacji na całym odcinku chronionym anodami magnezowymi wynosił  $-0,91$  V względem elektrody  $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$  przy rozstawieniu anod w odległości co 200 m od siebie wzdłuż trasy kabla. Średni potencjał ochrony na całym odcinku zabezpieczonym anodami cynkowymi wynosił  $-0,96$  V, natomiast średni potencjał na odcinku zabezpieczanym anodami aluminiowymi wynosił  $-0,88$  V. Dwa ostatnie typy anod rozstawione były w odległości co 100 m. We wszystkich więc przypadkach zapewnione było kryterium ochrony katodowej konstrukcji stalowych, które wynosi w praktyce  $-0,85$  V. Po kilku latach ochrony stan ten zmienił się na niekorzyść anod cynkowych i aluminiowych.

\*) Rozkład potencjałów zmierzonych po 7 latach ochrony katodowej kabla daje zupełnie inny obraz. Wartości potencjałów prawie na całym doświadczalnym odcinku są mniej ujemne niż były na początku, przed zainstalowaniem ochrony.

Natężenie prądu w obwodzie ochrony w okresie pracy anod miało tendencję obniżania się. Ilustruje to tabl. 11.

Jak widać z powyższego, obniżenie wartości natężenia prądu w obwodzie ochrony po 20 miesiącach pracy zależy od rodzaju anody i w przypadku anod cynkowych wynosi około 48% w stosunku do wartości początkowych, natomiast w przypadku anod aluminiowych wynosi 61%. Jest to już znaczna zmiana, która może wpływać na efektywność ochrony katodowej za pomocą anod, zwłaszcza aluminiowych. Wartości te ulegały jeszcze dalszym zmianom po kilku latach działania ochrony katodowej.

Tablica 10  
Zestawienie średnich wartości potencjałów „kabel-ziemia” przy ochronie katodowej za pomocą anod reakcyjnych

Czas działania ochrony katodowej	Średnia wartość potencjału „kabel-ziemia” (względem Cu/CuSO <sub>4</sub> ) na odcinku kabla chronionym za pomocą anod reakcyjnych					
	magnezowych		cynkowych		aluminiowych	
	wartość potencjału (V)	wielkość przesunięcia potencjału (V)	wartość potencjału (V)	wielkość przesunięcia potencjału (V)	wartość potencjału (V)	wielkość przesunięcia potencjału (V)
Przed ochroną	-0,67	—	-0,79	—	-0,82	—
12 miesięcy	-0,97	0,30	-0,89	0,10	-0,88	0,06
20 „	-0,91 <sup>1)</sup>	0,24	-0,96	0,17	-0,88	0,06
7 lat	—	—	-0,78	0,05 <sup>2)</sup>	-0,73	0,01 <sup>1)</sup>
9 lat	-0,94	0,10 <sup>2)</sup>	—	—	—	—

U w a g a. 1) Przytoczone wartości liczbowe potencjału odnoszą się do okresu, w którym na odcinku badanym wyłączona była co druga sonda magnezowa, a więc odległość pomiędzy poszczególnymi anodami działającymi wynosiła 200 m.  
2) Wielkość przesunięcia określono w stosunku do stanu, jaki istniał po chwilowym wyłączeniu ochrony.

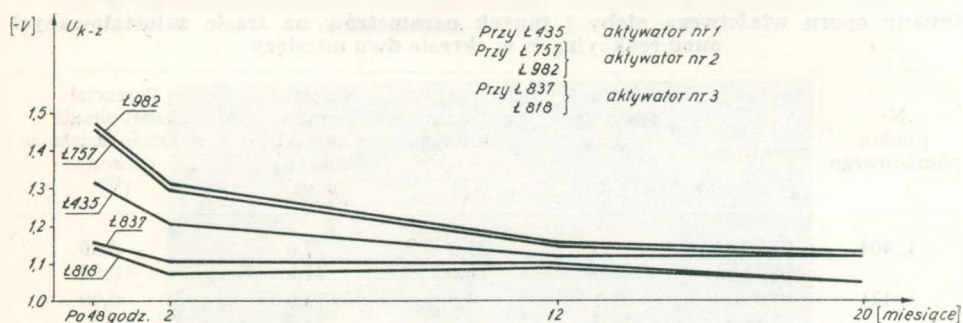
Tablica 11  
Średnie wartości natężenia prądu w obwodzie ochrony

Czas działania ochrony katodowej	Średnia wartość natężenia prądu w obwodzie ochrony (mA)		
	anody cynkowe	anody magnezowe	anody aluminiowe
48 godz po zainstalowaniu ochrony	60,1	53,6	44,6
20 miesięcy	31,5	44,3	17,6
7 lat	45,0	—	13,0
9 lat	—	38	—

Potencjał „anoda-ziemia” anod cynkowych był jednakowy dla wszystkich anod zainstalowanych na doświadczalnym odcinku i utrzymywał się na poziomie  $-1,10$  V względem elektrody  $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$  w ciągu 7 lat pracy anod.

Sprawa przedstawiała się zupełnie inaczej w przypadku anod aluminiowych. Potencjał zależał mianowicie w dużym stopniu od aktywatora, jakim anoda była otoczona. Na początku najbardziej ujemne potencjały wykazywały anody otoczone aktywatorem nr 2, w skład którego wchodził chlorek sodu i kalomel. Stosunkowo wysoką ujemną wartość potencjału uzyskano przy zastosowaniu aktywatora nr 1, zawierającego w swoim składzie chlorki sodu i magnezu oraz kalomel.

Z upływem czasu potencjał anod aluminiowych przesunął się w kierunku wartości mniej ujemnych. Wartość jego stabilizowała się po upływie roku przy napięciu  $-1,10$  V. Wpływ aktywatora na potencjał anod aluminiowych oraz zmiany tego potencjału w funkcji czasu podano w tabl. 12 i na rys. 8.



Rys. 8. Zmiana potencjału „anoda-ziemia” w funkcji czasu dla 5 anod reakcyjnych ze stopu Al 10 Zn

Tablica 12

Zmiany potencjału „anoda-ziemia” anod aluminiowych w funkcji czasu

Nr aktywatora	2	1	2	3	3
	Ł 982	Ł 435	Ł 757	Ł 818	Ł 837
Czas	potencjał „anoda-ziemia” względem $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$ (V)				
Po 48 godz	-1,47	-1,31	-1,45	-1,14	-1,15
Po 2 miesiącach	-1,30	-1,20	-1,29	-1,07	-1,10
Po 12 „	-1,15	-1,12	-1,14	-1,09	-1,10
Po 20 „	-1,13	-1,12	-1,12	-1,05	-1,05
Po 7 latach	-1,08	-1,07	-1,12	-1,06	-1,02

Opór elektryczny obwodu ochrony zarówno w przypadku anod cynkowych jak i aluminiowych był mały i prawie nie zmieniał się w czasie dwudziestomiesięcznego działania anod. Średnia wartość oporu obwodu przy zastosowaniu anod cynkowych wynosiła 5,8  $\Omega$ , a przy zastosowaniu anod aluminiowych 10,9  $\Omega$ . Po 7 latach ochrony wartości te wzrosły do 7,6  $\Omega$  dla obwodu z cynkowymi anodami i 15,6  $\Omega$  dla obwodu z aluminiowymi. Zaznaczyć tu trzeba, że wyjątkowo mały opór w obwodzie ochrony z anodami cynkowymi uzyskano dzięki równoległemu połączeniu dwu anod, stosowanemu co 100 m na trasie kabla.

Opór właściwy gleby odcinka doświadczalnego ulegał znacznym zmianom sezonowym w poszczególnych punktach pomiarowych. Zmiany te dochodziły w niektórych przypadkach do 100%, ale wbrew przewidywaniom, nie miało to istotnego wpływu na opór obwodu ochrony. Ilustruje to tabl. 13, w której przedstawiono kilka charakterystycznych punktów pomiarowych, odznaczających się dużymi wahaniami oporu właściwego gleby.

Tablica 13

**Zmiany oporu właściwego gleby i innych parametrów na trasie zainstalowanych anod reakcyjnych w okresie dwu miesięcy**

Nr punktu pomiarowego	Data pomiaru	Opór właściwy gruntu ( $\Omega \cdot m$ )	Opór obwodu ochrony ( $\Omega$ )	Natężenie prądu w obwodzie ochrony (mA)	Potencjał „kabel-ziemia” w czasie działania ochrony (V)
Ł 404	19.9.63	51,5	25,0	27,0	-0,86
	18.11.63	103,0	26,0	21,5	-0,94
Ł 421	19.9.63	25,1	4,5	74,0	-0,90
	18.11.63	38,9	3,6	52,5	-0,92
Ł 740	19.9.63	25,1	7,0	48,0	-0,86
	18.11.63	44,0	5,5	35,0	-0,90
Ł 432	19.9.63	18,8	5,5	62,0	-0,90
	18.11.63	37,7	4,5	44,0	-0,93

Średnia wartość oporu właściwego gleby na odcinku z anodami cynkowymi wynosiła 26  $\Omega \cdot m$ , a na odcinku z anodami aluminiowymi — 22  $\Omega \cdot m$ .

W celu zorientowania się, jaki jest stan powierzchni anod po 20-miesięcznym okresie pracy odkopano i poddano oględzinom po jednej elektrodzie cynkowej i aluminiowej. Anoda cynkowa odkopana w punkcie pomiarowym Ł 432, po usunięciu aktywatora i przemyciu, miała powierzchnię chropowatą i na ogół skorodowaną równomiernie. Bardziej zniszczona była tylko część końcowa anody, co uwidacznia rys. 9. Żadnych trudno rozpuszczalnych produktów korozji na powierzchni anody nie zaobserwowano.

Inaczej przedstawiała się sytuacja w przypadku anod aluminiowych. Anoda aluminiowa odkopana w punkcie pomiarowym Ł 837 była otoczona zwartą warstwą aktywatora, po usunięciu którego pozostawały je-



Rys. 9. Skorodowana część końcowa anody cynkowej wykopanej z ziemi po około dwuletnim okresie pracy



Rys. 10. Anoda aluminiowa wyjęta z wykopu po około dwuletnim okresie pracy. Bezpośrednio przy powierzchni metalu widoczna biała, zwarta krusta z produktów korozji; na zewnątrz krusty szara masa aktywatora

szcze białe produkty korozji (rys. 10). Produkty korozji aluminium znajdujące się tuż przy powierzchni metalu miały konsystencję galaretowatą. Podobnie jak w przypadku anod cynkowych końcowa część anody skorodowana była w większym stopniu niż pozostała część powierzchni (rys. 11). Warstwa produktów korozji zmniejszyła wyraźnie wydajność prądową anody w czasie jej pracy. Świadczyły o tym wyniki pomiaru potencjałów i natężenia prądu w obwodzie ochrony. Mianowicie bezpośrednio przed odkopaniem anody potencjał „kabel-ziemia” wynosił  $-0,95$  V,

zaś natężenie prądu w obwodzie ochrony 15 mA. Po odkopaniu, oczyszczeniu z produktów korozji i ponownym wrzuceniu anody do wykopu zalanego wodą potencjał nie zmienił się, natomiast natężenie prądu w obwodzie ochrony wzrosło do 52 mA.



Rys. 11. Skorodowane dno anody aluminiowej pokryte galaretowatą masą produktów korozji

Na całym odcinku chronionym anodami aluminiowymi obserwowano bardzo małe natężenia prądu w obwodzie ochrony. Stąd można wyciągnąć wniosek, że wszystkie anody aluminiowe pokrywają się szczelną warstwą produktów korozji, trudno rozpuszczających się pod wpływem stosowanych w niniejszych badaniach aktywatorów.

## 7. WNIOSKI KOŃCOWE

Wyprodukowany w kraju stop cynkowy zawierający 0,1% kadmu i 0,1 do 0,2% aluminium, wykorzystywany do ochrony katodowej konstrukcji metalowych w środowisku morskim, nadaje się również na anody reakcyjne do ochrony katodowej metalowych konstrukcji podziemnych po zastosowaniu ilowo-gipsowego aktywatora.

Cynkowe elektrody wykonane ze stopu o składzie wymienionym wyżej i otoczone aktywatorem w glebowych warunkach pracy nie ulegają pasywacji i mogą być stosowane w środowiskach o oporze właściwym rzędu do  $20 \Omega \cdot m$ . Nie są one wprawdzie tak sprawne jak anody magnezowe, ale jako tańsze mogą być użyte do zabezpieczania kabli obołowiowych z osłonami z mas termoplastycznych oraz we wszystkich tych przypadkach, w których ze względu na szczelność osłony ochronnej nie jest



wskazane wywiązywanie się (na polaryzowanej katodowo powłoce kabla) dużych ilości gazów.

Cynkowe anody reakcyjne nie powinny być stosowane w strefach działania prądów błędzących.

Zakres stosowania anod reakcyjnych cynkowych ogranicza się, jak wspomniano do gleb o oporze właściwym do  $20 \Omega \cdot m$ . Jeśli jednak na trasie instalacji anod spotykane są sporadycznie większe wartości oporu właściwego gleby, to w miejscach tych należy zakopywać anody na głębokości zapewniającej równomierną wilgotność w najbliższym otoczeniu anody. Przy zmiennym poziomie wód gruntowych należy wybrać taką głębokość zakopania, przy której anoda pozostanie w ciągu całego okresu jej pracy pod lustrem wody.

Cynkowe anody reakcyjne zachowują stabilny w czasie ujemny potencjał  $-1,1$  V względem  $Cu/CuSO_4$  i mogą być stosowane w warunkach glebowych jako elektrody odniesienia przy pomiarach korozyjnych.

Użyty do badań stop aluminium zawierający 10% cynku ulega w czasie pracy anody silnej polaryzacji. Powierzchnia anody pokrywa się warstwą produktów korozji trudno rozpuszczających się w aktywatorze wapniowym. Wydajność prądowa takiej anody maleje z upływem czasu.

Anody aluminiowe, jeśli mają być stosowane do ochrony podziemnych konstrukcji, wymagają jeszcze dalszych badań. Badania powinny pójść w kierunku uzyskania stopów nie ulegających pasywacji w warunkach pracy protektora w ziemi, jak też w kierunku opracowania odpowiedniego aktywatora przeciwdziałającego powstawaniu dokoła anody zwartych osadów zwiększających opór elektryczny obwodu ochrony.

#### WYKAZ LITERATURY

1. Bralewski J., Pakoca K., Skiba-Rogalska O.: Ochrona protektorowa kabli telekomunikacyjnych przed korozją. Prace Instytutu Łączności 1962 t. 9 nr 4, s. 1—53.
2. Shreir L.L.: Corrosion (V. 2. Corrosion Control). London 1965. G. Newnes Ltd.
3. Prituła W.A.: Ochrona przemysłowych rurociągów przed korozją. Warszawa 1964. WNT.
4. Kathodischer Korrosionsschutz. Bericht über die Diskussionstagung in Frankfurt/Main. GMBH. Weinheim 1959. Verlag Chemie.
5. Gerard J., Walters J.: The protection of cable sheathing. Chemistry and Industry 1956 t. 40 nr 10, s. 1060—1068.
6. Wahlquist H.W.: Use of Zinc for cathodic protection. Corrosion 1945 t. 1 nr 3, s. 119—147.
7. Maitland T.J.: Corrosion protection for transcontinental cable west of Salt Lake City, Utah. Corrosion 1945 t. 1 nr 1, s. 47—58.

8. *Gorman L.J.*: Electrolysis surveys on underground cables. *Corrosion* 1945 t. 1 nr 4, s. 163—177.
9. Zaszczita podziemnych metalicznych sooruzenij ot korrozji. Sprawocznik. Moskwa 1959. Min. Komun. Choziajstwa.
10. *Butler G., Ison H.G.*: Corrosion and its prevention in waters. London 1966. Leonard Hill.
11. *Mears R.B., Brown C.D.*: Light metals for cathodic protection of steel structures. *Corrosion* 1945 t. 1 nr 3, s. 113—118.
12. *Hoxeng R.B., Verink E.D., Brown R.H.*: Galvanic aluminium anodes for cathodic protection. *Corrosion* 1947 t. 3 nr 6, s. 263—274.
13. *Trifel M.S., Miechmandarow S.A.*: Primienienije alumniniewych protiektorow dla zaszczity podziemnych truboprowodow ot korrozji w sołonzakowych poczwach [w]: Zaszczita truboprowodow ot korrozji. Wypusk 1. Moskwa 1964. GOSINTI, s. 48—59.
14. *Uhlig H.*: The corrosion handbook. New York 1953. J. Wiley and Sons, Inc.
15. *Pryor M.J., Keir D.S.*: Galvanic corrosion. Effect of pH and dissolved oxygen concentration on the aluminium-steel couple. *Journal of the electrochemical Soc.* 1958 t. 105 nr 11, s. 629.
16. *Raclot B.*: La protection cathodique. *Corrosion et anticorrosion* 1959 t. 7 nr 10, s. 342—355.
17. Materiel d'equipement et de surveillance des protections cathodiques. Paris 1967. Katalog SECCO.
18. *Morgan J.H.*: Cathodic protection. London 1959. Leonard Hill.
19. *Kowalkowski A., Kowaliński S. i inni*: Genetyczna klasyfikacja gleb Polski. *Roczniki Gleboznawcze* 1959 t. 7, nr 2.
20. CCITT. Livre Bleu. T. IX. Protection. Geneva 1964, UIT.
21. *Lennox T.J.*: Characteristics and applications of zinc anodes. *Materials Protection* 1962 t. 1 nr 9, s. 37—45.
22. *Kurr G.W.*: Sacrificial zinc ribbon anodes. *Materials Protection* 1967 t. 6 nr 4, s. 30—33.

O. Скиба-Рогальска

#### РЕАКТИВНЫЕ АЛЮМИНИЕВЫЕ И ЦИНКОВЫЕ АНОДЫ ДЛЯ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ

#### Резюме

Рассмотрен вопрос применения реактивных алюминиевых и цинковых анодов для катодной защиты подземных кабелей связи от электрохимической коррозии.

Приведены сообщения о существующем до настоящего времени состоянии исследований в этой области и экспериментальный материал из собственных лабораторных и полевых работ.

*O. Skiba-Rogalska*

ALUMINIUM AND ZINC REACTIVE ANODES FOR CATHODIC PROTECTION  
OF TELECOMMUNICATION CABLES

S u m m a r y

Problem has been discussed of applying the aluminium and zinc reactive anodes for cathodic protection of underground cables against electrochemical corrosion.

Some information has been given about the state of research in this domain and about experimental materials of the own laboratory and field works.

*O. Skiba-Rogalska*

ANODES RÉACTIVES D'ALUMINIUM ET DE ZINC POUR LA PROTECTION  
CATHODIQUE DES CÂBLES TÉLÉPHONIQUES

R é s u m é

On a traité la question d'anodes réactives d'aluminium et de zinc appliquées pour la protection cathodique contre la corrosion électrochimique des câbles téléphoniques souterrains.

Les informations sont données sur l'état actuel des recherches dans ce domaine et sur les résultats des expériences exécutés par l'auteur au laboratoire et dans le chantier.

*O. Skiba-Rogalska*

ALUMINIUM- UND ZINKREATIONSANODEN FÜR FERNMELDEKABEL-  
KATHODENSCHUTZ

Z u s a m m e n f a s s u n g

Es wird das Problem der Aluminium- und Zinkreaktionsanoden hinsichtlich ihrer Anwendung zum Kathodenschutz der unterirdischen Fernmeldekabel gegen die elektrochemische Korrosion besprochen.

Man hat Informationen über den bisherigen Stand der Forschungen in diesem Gebiet, sowie über das Experimentalmaterial von eigenen Labors- und Betriebsarbeiten angegeben.

OLIMPIA SKIBA-ROGALSKA

621.317.321:621.315.221:620.197.5

## POMIAR POTENCJAŁU POLARYZOWANEJ METALOWEJ POWŁOKI KABLA

Rękopis dostarczono do komitetu redakcyjnego dnia 20.III.1969 r.

W odniesieniu do kabli ziemnych, chronionych katodowo, analizowano zagadnienie błędu przy pomiarach potencjału konstrukcji, przez które przepływa prąd polaryzujący.

Stwierdzono, że usytuowanie elektrody odniesienia przy pomiarach potencjałów takich konstrukcji nie jest obojętne. Niewłaściwe usytuowanie elektrody porównawczej może prowadzić do fałszywej interpretacji wyników pomiaru.

Opisano nowy typ siarczano-miedzianej elektrody porównawczej wykorzystywanej jako stały punkt odniesienia przy kontroli stanu spolarzowania metalowych konstrukcji podziemnych.

### 1. WSTĘP

Pomiar różnicy potencjałów konstrukcji metalowych względem elektrolitu, w jakim się one znajdują, stanowi najprostszy sposób badania ich zagrożenia korozyjnego, jak też stopnia ich spolarzowania po zastosowaniu ochrony katodowej.

W warunkach terenowych, w przypadku konstrukcji podziemnych, pomiar różnicy potencjałów jest wykonywany zwykle przy użyciu siarczano-miedzianej elektrody odniesienia i woltomierza o wysokim oporze wewnętrznym. Elektroda siarczano-miedziana jest tu niepolaryzującym się półogniwem porównawczym o znanym, stabilnym potencjale w stosunku do konstrukcji badanej, która przy pomiarach stanowi drugie półogniwo.

Powszechne użycie znalazła siarczano-miedziana elektroda przenośna, której rdzeń jest wykonany z miedzi elektrolitycznej i otoczony nasyconym roztworem siarczany miedzi. Całość jest zamknięta w obudowie z tworzywa syntetycznego lub ceramicznej o porowatym dnie.

Elektrodę taką ustawia się przy pomiarach na powierzchni ziemi, nad osią kabla i łączy z dodatnim biegunem przyrządu pomiarowego. Drugi biegun przyrządu łączy się z metalową powłoką kabla, będącego przedmiotem badań. Pomiar jest stosunkowo prosty, jednak nie w każdym przypadku daje zadowalające wyniki. I tak na przykład, jeśli metalowa konstrukcja polaryzowana jest katodowo, to wynik pomiaru, wykonanego wyżej opisanym sposobem, może być obciążony dużym błędem. Błąd pomiaru będzie zależał w znacznym stopniu od natężenia prądu płynącego w obwodzie ochrony, od miejsca ustawienia elektrody odniesienia i innych czynników.

Błąd pomiaru można eliminować albo też ograniczyć jego rozmiar do takiej wielkości, która w praktyce nie ma znaczenia. W niniejszym opracowaniu przedstawiono wyniki badań prowadzonych w tym zakresie w Instytucie Łączności oraz podano również opis nowego typu elektrody siarczano-miedzianej przeznaczanej do zakopania w ziemi na stałe i nie wymagającej uzupełniania elektrolitem.

## 2. ZAGADNIENIE BŁĘDU PRZY POMIARACH RÓŻNICY POTENCJAŁÓW METALOWYCH KONSTRUKCJI PODZIEMNYCH

Pomiary potencjału metalowych konstrukcji podziemnych były w literaturze technicznej wielokrotnie omawiane [1÷17]. Opisane były również teoretyczne zasady tego zagadnienia [18÷24]. Szereg autorów zwraca uwagę na trudności pomiarowe w przypadku pomiaru potencjałów elektrod, przez które przepływa prąd elektryczny (prąd polaryzujący te elektrody). Problem ten nabiera znaczenia szczególnego, zwłaszcza przy pomiarach terenowych. W tych bowiem przypadkach niemożliwe jest przysunięcie elektrody odniesienia do konstrukcji badanej w takim stopniu, jak to ma miejsce podczas laboratoryjnych badań elektrochemicznych. Praktyka wykazuje, że wynik pomiaru wykonanego w warunkach terenowych jest prawie zawsze obciążony błędem, wynikającym ze spadku napięcia na drodze między konstrukcją badaną a elektrodą odniesienia. Błąd pomiaru wzrasta ze wzrostem natężenia prądu w obwodzie polaryzowanym, a także ze wzrostem oporu obwodu. Objawia się on tym, że zmierzona wartość potencjału jest bardziej ujemna niż wartość rzeczywista [9]. Taki stan rzeczy może w pewnych przypadkach sugerować pełną ochronę katodową, podczas gdy w istocie tak nie jest.

Na mierzoną wartość potencjału elektrody, przez którą przepływa prąd elektryczny (prąd korozyjny lub prąd ochrony) składają się polaryzacje

elektrochemiczne, związane z procesami mającymi miejsce na granicy zetknięcia metalu z elektrolitem, oraz tak zwana polaryzacja oporowa oznaczana symbolem  $E_{IR}$  [1, 25÷28]. Na wielkość tej polaryzacji składa się zarówno opór elektryczny elektrolitu jak też warstewek ochronnych, utworzonych na powierzchni badanego metalu, opór elektryczny materiału osłon ochronnych itp. Polaryzacja oporowa nie uczestniczy w procesach elektrochemicznych, jednak jej udział w wartości mierzonego potencjału może być bardzo duży w zależności od środowiska elektrolitycznego.

Przy pomiarze potencjału metalowych konstrukcji podziemnych powinno się uwzględniać jedynie polaryzacje elektrochemiczne. Dlatego też rzeczywisty potencjał ochrony powinno się obliczać ze wzoru [29]

$$E_p = E_m - E_{IR}$$

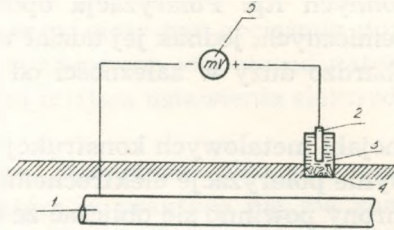
w którym

- $E_p$  — rzeczywisty potencjał polaryzacji,
- $E_m$  — potencjał zmierzony przy ustawieniu elektrody odniesienia na powierzchni ziemi nad polaryzowaną konstrukcją,
- $E_{IR}$  — polaryzacja wynikająca ze spadku napięcia  $IR$  na drodze pomiędzy elektrodą odniesienia a konstrukcją badaną.

Do obliczenia potencjału rzeczywistego trzeba więc znać spadek napięcia w ziemi, a ten można wyznaczyć znając natężenie prądu i opór elektryczny obwodu. Przy takich obliczeniach zakłada się zwykle, że grunt jest jednorodny i że na powierzchni konstrukcji metalowej jest równomierny rozkład prądu polaryzującego [29÷32]. Jest małe prawdopodobieństwo, aby w praktyce występowały tak idealne warunki. Stąd też wyniki wspomnianych wyżej obliczeń mają tylko wartość orientacyjną [33].

Spadek napięcia  $IR$  można też wyeliminować przy zastosowaniu odpowiedniej techniki pomiarowej. Przy pomiarach w warunkach laboratoryjnych składową  $IR$  eliminuje się częściowo przez zastosowanie sondy kapilarnej [34]. Metodę tę nazywają niekiedy metodą pośrednią. Metody bezpośrednio eliminujące całkowicie składową  $IR$  polegają na przerywaniu lub przełączaniu prądu polaryzującego. W technice tej konstrukcję badaną włącza się na zmianę w obwód prądu polaryzującego (z przeciw-elektrodą) lub w pomiarowy obwód prądu (z elektrodą odniesienia) [1, 25]. Wykorzystuje się przy tym dynamiczne własności wspomnianych wyżej polaryzacji. Mianowicie, przy nagłej zmianie prądu polaryzującego zmienia się prawie natychmiast polaryzacja wywołana składową  $IR$ , natomiast polaryzacje elektrochemiczne zmieniają się o wiele wolniej [8, 25, 35, 36].

Wspomniane bezpośrednie metody eliminowania składowej  $IR$  są zalecane przez *Schwenka* [8, 37], *Baeckmanna* [9, 24], *Hedborga* [38]. Proponowane są także metody mostkowe *Hollera* i *Pearsona*, polegające na kompensacji składowej  $IR$  [9, 39, 40].



Rys. 1. Schemat układu pomiarowego przy badaniu potencjałów kabli ziemnych  
1 — powłoka kabla, 2 — elektroda miedziana, 3 — nasycony roztwór  $\text{CuSO}_4$ ,  
4 — porowata membrana, 5 — woltomierz

Ze względu na znaczne trudności do chwili obecnej metody mostkowe nie znalazły szerokiego zastosowania przy pomiarach terenowych. Jak stwierdza *Logan* [41], błędy wynikające ze zbyt skomplikowanego obwodu pomiarowego mogą niekiedy przeważać korzyści wynikające z eliminacji składowej  $IR$ .

Badania w kierunku znalezienia odpowiedniego do warunków terenowych sposobu pomiaru rzeczywistego potencjału ochrony katodowej są prowadzone nadal. Na razie w celu zredukowania do minimum składowej  $IR$  stosuje się metody pośrednie, polegające na odpowiednim usytuowaniu elektrody odniesienia. Wpływ usytuowania elektrody odniesienia na mierzoną wartość potencjału omawiany jest w kilku pracach [12, 31, 38, 41–43]. Najczęściej przy pomiarach terenowych elektrodę odniesienia umieszcza się na powierzchni ziemi nad konstrukcją chronioną, nie zwracając uwagi na składową  $IR$  (rys. 1).

Częściową redukcję błędu pomiarowego można uzyskać przez stosowanie przyrządów pomiarowych (woltomierzy) o dużym oporze wewnętrznym, np. rzędu  $100\,000\ \Omega$  na  $1\ \text{V}$ . W obwodzie pomiarowym ogranicza się przez to nadmierny przepływ prądu, który mógłby powodować polaryzację elektrody odniesienia, a tym samym zmiany jej własnego potencjału [9, 44].

Zalecane jest również umieszczanie elektrody odniesienia w najbliższym otoczeniu konstrukcji chronionej [9]. Elektroda ta stanowi wtedy stały punkt odniesienia przy pomiarach kontrolnych. Unika się przy tym każdorazowego wykonywania wykopu dla dokładnego pomiaru potencjału, co jest szczególnie ważne przy terenowych pomiarach oddziaływania prądów błądzących.

### 3. BADANIA WŁASNE

#### 3.1. Metodyka badań i wyniki pomiarów

Wpływ usytuowania elektrody odniesienia na wartość mierzonego potencjału ochrony badano w warunkach terenowych na dwu trasach kabla doziemnego polaryzowanego katodowo, przy czym na jednej z tras stosowana była ochrona katodowa za pomocą anod reakcyjnych magnezowych, na drugiej — ochrona katodowa z zewnętrznym źródłem prądu.

W pierwszym przypadku średni opór właściwy gruntu w czasie pomiarów wynosił na odcinku badanym  $38 \Omega \cdot m$ , średnie natężenie prądu w obwodzie ochrony „anoda reakcyjna — kabel” wynosiło 44 mA.

W drugim przypadku kabel był ułożony w gruncie piaszczystym, suchym o średnim oporze właściwym ok.  $3500 \Omega \cdot m$ , średnie natężenie prądu w obwodzie ochrony wynosiło 650 mA.

Jeden i drugi kabel miał osłonę tradycyjną, to znaczy owój z impregnowanej i przelanej substancjami bitumicznymi taśmy papierowej oraz juty, a następnie opancerzenie stalowe. Pierwszy z kabli leżał w wilgotnym gruncie około roku, drugi około 4 miesięcy do chwili wykonania pomiarów.

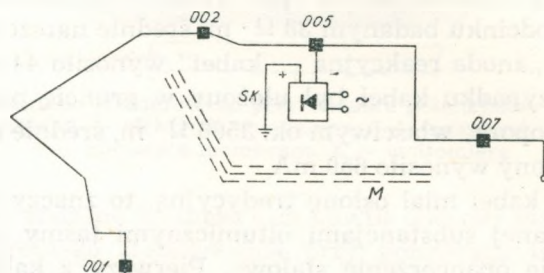
Pomiary potencjałów ochrony obu kabli wykonywano względem siarczano-miedzianej elektrody odniesienia, umieszczonej raz w dole tuż przy powłoce polaryzowanego kabla, drugi raz na powierzchni ziemi nad osią polaryzowanego kabla lub poza nią.

W przypadku kabla polaryzowanego anodami reakcyjnymi nie zaobserwowano wyraźnych różnic wartości mierzonych u góry, w osi kabla i w dole. Jednak w miarę odsuwania elektrody górnej w bok od osi kabla i zbliżania jej do osi anody reakcyjnej zakopanej w ziemi, wartości mierzone stawały się bardziej ujemne w stosunku do wartości mierzonych względem dolnej elektrody. Inaczej sprawa przedstawiała się na kablu ułożonym w suchym gruncie piaszczystym. Mianowicie zauważono tu znaczne różnice pomiędzy wartościami pomierzonymi przy ustawieniu elektrody odniesienia w bliskim sąsiedztwie kabla a wartościami pomierzonymi przy ustawieniu elektrody odniesienia na powierzchni ziemi w osi kabla. Przypadek ten zbadano dokładniej przy zastosowaniu specjalnie opracowanej elektrody odniesienia, zakopywanej na dłuższy okres czasu w pobliżu powłoki kabla.

Potencjały statyczne powłoki pomierzono przy użyciu elektrody odniesienia zakopanej w pobliżu powłoki kabla oraz przenośnej elektrody umieszczonej na powierzchni ziemi w osi kabla, następnie w okresie kilku miesięcy po zastosowaniu ochrony katodowej pomierzono potencjały dynamiczne.



Na powierzchni ziemi stosowano elektrody konwencjonalne, z elektrolitem ciekłym, natomiast w dole przy kablu — elektrody z elektrolitem o konsystencji pasty, w zamkniętym porowatym naczyniu ceramicznym. Te ostatnie zakopano na stałe w ziemi w odległości 5 cm od kabla, wyprowadzając do pomiaru przewód na powierzchnię ziemi przy słupkach oznaczeniowo-pomiarowych. Elektrody typowe umieszczano nad kablem na powierzchni ziemi również przy słupkach oznaczeniowych. Przed wykonaniem instalacji sprawdzono wartości potencjałów obu typów elektrod. Różnice nie przekraczały  $\pm 0,02$  V.



Rys. 2. Szkic sytuacyjny trasy kabla podziemnego wytypowanego do badania potencjałów polaryzacji

SK — stacja katodowa

001—005 — słupki oznaczeniowo-pomiarowe

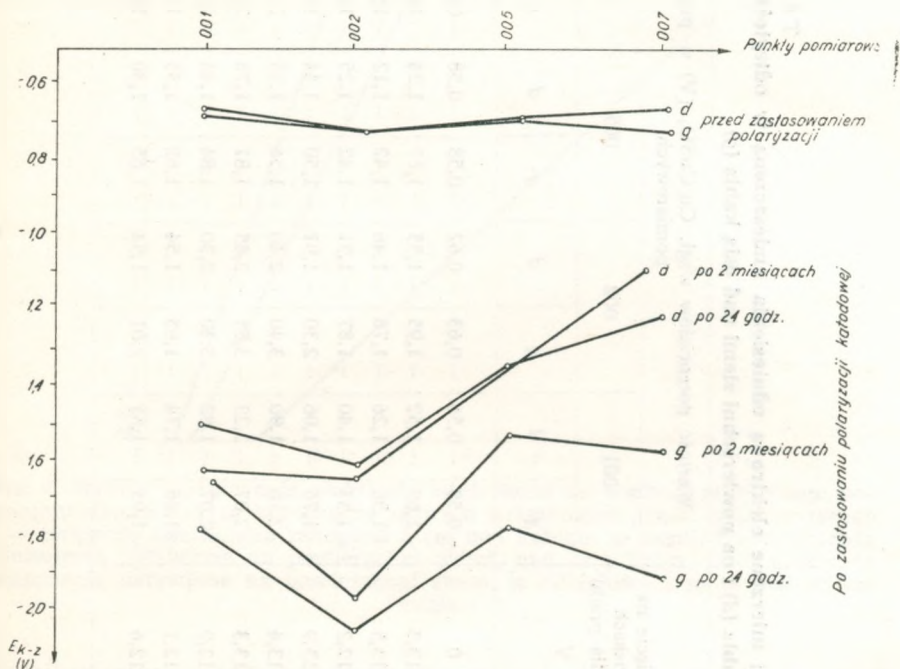
M — metalowy rurociąg podziemny

Na rysunku 2 podano schemat usytuowania kabla, na którym prowadzono badania potencjałów polaryzacji, a wyniki pomiarów ilustrujące wpływ usytuowania elektrody odniesienia przedstawiono na rys. 3. Ponadto w tablicy na str. 58 zestawiono wartości potencjałów polaryzacji mierzone przy usytuowaniu elektrody odniesienia w dole przy kablu i na powierzchni ziemi nad osią kabla w okresie 8 miesięcy od zainstalowania urządzenia ochrony katodowej.

Wykres na rysunku 3 ilustruje, jak wielkie znaczenie ma usytuowanie elektrody odniesienia przy pomiarach potencjału polaryzacji (dynamicznego) kabla ułożonego w gruncie o dużym oporze właściwym. Wartości potencjałów statycznych kabla zmierzone względem elektrody odniesienia umieszczonej w ziemi bezpośrednio przy kablu ( $d$ ) i na powierzchni ziemi ( $g$ ) nad osią kabla są bardzo podobne, natomiast wartości potencjałów dynamicznych zmierzone względem elektrody odniesienia usytuowanej jak wyżej różnią się między sobą, przy czym różnice te wynoszą od 0,16 do 0,69 V po 24 godzinach polaryzacji i od 0,14 do 0,90 V po 8-miesięcznej polaryzacji (tabl. na str. 58).

Jak można zauważyć z rys. 3, rozkład potencjału wzdłuż kabla polaryzowanego jest nierównomierny. W pobliżu punktu pomiarowego 005 znajdował się uziom anodowy, jednak bardziej ujemne potencjały obser-

wuje się przy punktach pomiarowych 002 i 007. Fakt ten ma prawdopodobnie związek z sąsiedztwem rurociągu, który zbliżał się do kabła w okolicy wymienionych punktów (patrz rys. 2). Rurociąg ten najprawdopodobniej „przechwytywał” część prądów ochrony w pobliżu źródła prądu, co uwydatniało się obniżeniem potencjału dynamicznego kabła w miejscach jego zbliżenia do powłoki kabła.



Rys. 3. Wpływ usytuowania elektrody odniesienia na rozkład potencjałów wzdłuż kabła przy stałym prądzie polaryzującym: g, d — odpowiednio „góra” i „dół”

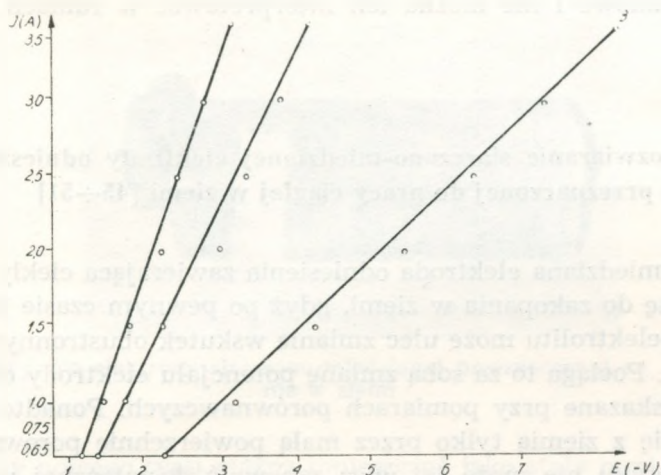
W ciągu 8 miesięcy polaryzacji nie zaobserwowano żadnych wyraźnych zmian potencjału dynamicznego poza jednym punktem 001, w którym wystąpił wzrost ujemnego potencjału. W tym punkcie zaobserwowano też najmniejsze różnice w wartościach potencjałów mierzonych względem elektrody odniesienia usytuowanej bezpośrednio przy kablu i na powierzchni ziemi nad osią kabła.

Jakkolwiek wartości potencjałów mierzone względem elektrody odniesienia ustawionej bezpośrednio przy kablu w ziemi są na ogół mniej ujemne, niż wartości mierzone względem elektrody ustawianej na powierzchni ziemi nad osią kabła, to w niektórych punktach sugerować mogą nadmierną ochronę.

Tabela  
**Wartości potencjałów polaryzacji mierzone elektroda odniesienia umieszczoną w odległości 5 cm od powłoki kabla (*d*) i na powierzchni ziemi nad osią kabla (*g*)**

Data pomiaru dzien/miesiąc	Natężenie prądu ochrony A	Napięcie na zaciskach źródła prądu V	Wartość potencjałów wzgl. Cu/CuSO <sub>4</sub> (V) w punktach pomiarowych											
			001			002			005			007		
			<i>g</i>	<i>d</i>		<i>g</i>	<i>d</i>		<i>g</i>	<i>d</i>		<i>g</i>	<i>d</i>	
8.V	0	0	-0,58	-0,56	-0,63	-0,62	-0,58	-0,58	-0,58	-0,60	-0,56			
9.V	0,63	13,3	-1,68	-1,52	-1,95	-1,55	-1,67	-1,24	-1,80	-1,11				
9.VI	0,72	13,5	-1,36	-1,26	-1,76	-1,46	-1,42	-1,12	-1,56	-0,95				
9.VII	0,62	12,2	-1,53	-1,40	-1,87	-1,51	-1,42	-1,25	-1,47	-0,95				
1.VIII	0,63	13,9	-1,76	-1,06	-2,30	-1,91	-1,50	-1,44	-1,30	-1,05				
9.IX	0,58	13,4	-2,10	-1,90	-3,40	-2,40	-1,56	-1,35	-2,21	-1,11				
7.X	0,52	13,3	-2,07	-2,23	-3,85	-2,45	-1,81	-1,76	-2,20	-1,20				
5.XI	0,53	12,9	-2,07	-1,82	-3,30	-2,30	-1,84	-1,46	-2,10	-1,15				
8.XII	0,56	12,1	-1,86	-1,74	-1,95	-1,54	-1,62	-1,35	-1,78	-1,03				
9.I	0,57	12,6	-1,95	-1,81	-2,01	-1,54	-1,65	-1,30	-1,94	-1,04				

W gruntach o dużym oporze właściwym, jak wynika z przykładu opisanego wyżej, szczególnie łatwo o mylną interpretację kryterium ochrony, zwłaszcza gdy się opiera na pomiarach wykonanych względem elektrody umieszczonej na powierzchni ziemi nad konstrukcją chronioną. Nawet przy dokładnym ustawieniu elektrody pomiarowej nad osią kabła błąd może być znaczny, szczególnie przy wyższych gęstościach prądu.



Rys. 4. Wpływ usytuowania elektrody odniesienia na wartość mierzonego potencjału dynamicznego kabla przy różnych natężeniach prądu polaryzującego 1 — elektroda odniesienia zakopana 5 cm nad kablem w ziemi; 2 — elektroda odniesienia ustawiona na powierzchni ziemi, nad osią kabla; 3 — elektroda odniesienia ustawiona na powierzchni ziemi, w odległości 2 m w bok od osi kabla

Dla zilustrowania tego przeprowadzono na badanym odcinku kabla dodatkowe pomiary, zmieniając natężenie prądu w obwodzie ochrony od 0,65 do 3,5 A. Wyniki pomiarów przedstawiono na rys. 4. Pomiary potencjałów wykonano względem elektrody odniesienia usytuowanej bezpośrednio przy kablu, na powierzchni ziemi nad osią kabla i na powierzchni ziemi 2 m w bok od osi kabla.

Przy analizie wykresu można zauważyć, że wartości potencjału zmierzone przy określonym prądzie polaryzującym w zależności od usytuowania elektrody bardzo odbiegają od siebie. Dużą różnicę dochodzącą do ok. 100% obserwuje się już przy odsunięciu elektrody odniesienia o 2 m w bok od osi kabla. W miarę wzrostu natężenia prądu różnica ta powiększa się jeszcze bardziej.

W podsumowaniu wyników badań należy stwierdzić, że usytuowanie elektrody odniesienia przy pomiarach potencjału spolaryzowanej konstrukcji nie jest obojętne.

W praktyce przy okresowej kontroli parametrów ochrony katodowej konieczna jest elektroda stanowiąca stały punkt odniesienia, znajdujący się przez cały czas trwania ochrony w jednym miejscu i możliwie blisko chronionego kabla. Nie można tego rozwiązać konwencjonalną elektrodą przenośną, którą pracownik przy pomiarach ustawia w różnych przypadkowych miejscach bez względu na rodzaj gruntu i natężenie prądu polaryzującego. Wyniki uzyskane przy takim postępowaniu mogą być więc przypadkowe i nie można ich interpretować w ramach kryteriów ochrony.

### 3.2. Rozwiązanie siarczano-miedzianej elektrody odniesienia przeznaczonej do pracy ciągłej w ziemi [45÷51]

Siarczano-miedziana elektroda odniesienia zawierająca ciekły elektrolit nie nadaje się do zakopania w ziemi, gdyż po pewnym czasie jej użytkowania skład elektrolitu może ulec zmianie wskutek obustronnych zjawisk dyfuzyjnych. Pociąga to za sobą zmianę potencjału elektrody odniesienia, co jest niewskazane przy pomiarach porównawczych. Ponadto elektroda taka styka się z ziemią tylko przez małą powierzchnię porowatego dna. Duży opór styku nie może jej więc zapewnić dostatecznej wrażliwości na zmiany potencjału.

Do zastosowania w ziemi konieczna jest elektroda odniesienia, w której wyeliminowane byłyby wspomniane wyżej niedogodności. Elektroda powinna mieć możliwie dużą powierzchnię styku z elektrolitem glebowym i mały opór przejścia. Elektrolit powinien mieć konsystencję zapewniającą stabilność stężenia w okresie transportu, eksploatacji i magazynowania. Ponadto materiał elektrody nie powinien ulegać korozji w czasie użytkowania. Elektrolit nie powinien zamarzać w temperaturach do  $-10^{\circ}\text{C}$ .

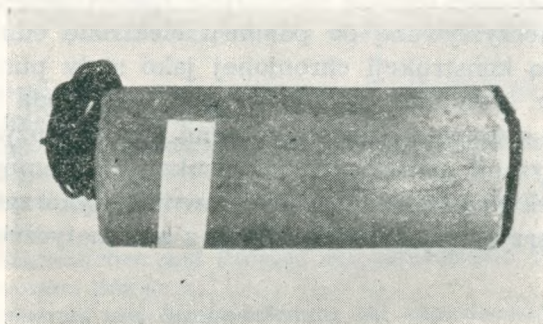
W Instytucie Łączności opracowano nowy typ elektrody siarczano-miedzianej spełniającej podane wyżej wymagania (rys. 5).

Obudowa wykonana w całości z niepolewanej ceramiki zapewnia elektrodzie mały opór przejścia. Stały sproszkowany elektrolit po wchłonięciu wystarczającej ilości wody przechodzi w stan koloidalny, co utrudnia obustronną dyfuzję w środowisku glebowym. W stanie suchym elektroda może być magazynowana nieograniczenie długo, nie zmieniając przy tym swoich istotnych własności.

Wymiary nowej elektrody wynoszą: średnica 70 mm; długość 160 mm; ciężar jej ok. 1 kG.

Powierzchnia czynna elektrody wynosi  $390 \text{ cm}^2$ , podczas gdy powierzchnia czynna konwencjonalnej elektrody używanej w kraju wynosi około  $5 \text{ cm}^2$ .

Elektroda jest mała, lekka i wygodna do przechowywania, transportu oraz instalowania. Koszt pojedynczej elektrody w wykonaniu nieseryjnym kształtuje się w cenie około 60 zł.



Rys. 5. Nowy typ elektrody siarczano-miedzianej przeznaczonej do instalowania w ziemi

Elektrody nowego typu można umieszczać jako stały punkt odniesienia w pobliżu konstrukcji narażonych na działanie prądów błędnych w celu mierzenia potencjału tych konstrukcji. Elektroda taka spełnia ważną rolę przy kontroli działania instalacji ochrony katodowej. Ponadto opracowana elektroda może być instalowana przy złączach izolujących do kontroli stanu działania tych złącz. Może być ona również wykorzystana jako element sterujący, współpracujący ze stacją katodową o automatycznej regulacji napięcia.

Wykonywanie pomiarów w ciągu całego roku jest zaletą nowego typu elektrody. Pomiar sprowadza się tylko do odczytu wskazań przyrządu pomiarowego, dołączonego do stałych przewodów pomiarowych wyprowadzonych do słupków oznaczeniowo-pomiarowych. Pomiarzy tego rodzaju nie wymagają więc specjalnie doświadczonego personelu.

Opracowane w Instytucie Łączności elektrody siarczano-miedziane sprawdzone były w laboratorium i w eksploatacji przy pomiarach potencjałów w strefach działania prądów błędnych i przy ochronie katodowej. Stabilność potencjału po roku użytkowania ich w ziemi waha się w granicach  $\pm 10 \text{ mV}$ . Jest to wartość, którą przy pomiarach terenowych można zaniedbać.

Nowe elektrody odniesienia instaluje się obecnie na trasach kabli, na których aktualnie przyłącza się urządzenia ochrony katodowej.

#### 4. ZAKOŃCZENIE

Przy sprawdzaniu kryterium ochrony katodowej konstrukcji podziemnych, zwłaszcza przy pomiarze potencjału ochrony takich konstrukcji, należy zwracać uwagę na składową  $IR$ , która może zmniejszać niekiedy w znacznym stopniu wartość mierzoną.

Pomiar potencjału konstrukcji podziemnych polaryzowanych katodowo powinien być wykonany metodą eliminującą spadek napięcia. Jeśli to jest niemożliwe, wykorzystywaną do pomiaru elektrodę odniesienia należy umieszczać blisko konstrukcji chronionej jako stały punkt odniesienia.

Opracowana w Instytucie Łączności nowa elektroda siarczano-miedzianna może być zakopana na stałe w ziemi i może służyć do pomiarów potencjału polaryzacji metalowych konstrukcji podziemnych w różnych porach roku. Elektroda taka może być również wykorzystana jako element sterujący przy stacjach katodowych z automatyczną regulacją napięcia.

Opracowanie niniejsze stanowi fragment pracy doktorskiej autora wykonanej w roku 1966 przy Katedrze Technologii Wielkiego Przemysłu Nieorganicznego Politechniki Śląskiej.

#### WYKAZ LITERATURY

1. *Uhlig H.*: Corrosion and corrosion control, J. Wiley, New York 1963.
2. Zaszczita podziemnych metalicznych urządzeń ot korrozji. Sprawocznik, Izdat Min. Komunalnowo Choziajstwa RSFSR, Moskwa 1959.
3. *Morgan J.H.*: Cathodic protection, L. Hill (Books), London 1959.
4. *Prituła W.A.*: Zaszczita zawodskich podziemnych truboprowodow ot korrozji, Metalurgizdat, Moskwa 1961.
5. *Juchniewicz R.*: Katodowa, protektorowa i anodowa ochrona metali w technice, PWT, Warszawa 1960.
6. *Applegate L.M.*: Cathodic protection, McGraw-Hill Book Co, London 1960.
7. *Eving S.P.*: Potential measurements for determining cathodic protection requirements, Corrosion 1951 t. 7 nr 12.
8. *Schwenk W.*: Die Bestimmung des Potentials stromdurchflossener Elektroden mit besonderer Berücksichtigung der Anwendung beim kathodischen Korrosionsschutz, Werkstoffe und Korrosion 1962 nr 13.
9. *Baekmann W.*: Kontrollmessungen an kathodisch geschützten Rohrleitungen, Werkstoffe und Korrosion 1964 nr 15.
10. *Schneider W.R., Hendrickson D.*: Electrical measurements applied to corrosion investigations, Corrosion 1954 t. 10 nr 10.
11. *Fouts J.M., Bergerson C.W.*: Analysis of corrosion conditions using cable sheath current measurements, Corrosion 1957 t. 13 nr 1.

12. *Compton K.G.*: Location of the half cell in measuring potential of structures to earth, *Corrosion*, 1961, t. 17 nr 9.
13. *Pope R.*: Cell currents and potentials, *Corrosion* 1955 t. 11 nr 4.
14. *Husock B.*: Use of pipe-to soil potential in analysing underground corrosion problems. *Corrosion* 1961 t. 17 nr 8.
15. A review of telephone cable corrosion problems, *Corrosion* 1957 t. 13 nr 10.
16. *Woody Ch. L.*: Locating underground contacts and open couplings by electrical measurements. *Corrosion*, 1958 t. 14 nr 11.
17. *Riordan M.A.*: Basic concepts and practical aspects of field corrosion investigation. *Corrosion* 1958 t. 14 nr 4.
18. *De Bethune A.J.*: Fundamental concepts of electrode potentials, *Corrosion* 1953 t. 9 nr 10.
19. *Cohen M.*: Interpretation and significance of potentials of metals in aqueous solutions, *Corrosion* 1953 t. 9 nr 10.
20. *Dean R.O.*: Equivalent electrical circuit analogy of structure-to-soil potentials, *Corrosion* 1959 t. 15 nr 11.
21. *Rousselot R.H.*: Repartition du potentiel et du courant dans les electrolytes, Dunod, Paris 1959.
22. *Wagner C.*: Möglichkeiten und Grenzen des kathodischen Fernschutzes, *Werkstoffe und Korrosion* 1952 nr 3.
23. *Wagner C.*: Potential und Stromverteilung bei kathodischem Korrosionsschutz, *Werkstoffe und Korrosion*, 1960 nr 11.
24. *Baeckmann W.G.*: Strombedarf, Potentialverteilung und Schutzbereich bei kathodischem Korrosionsschutz von Rohrleitungen, *GW f. Gas* 1963 nr 104.
25. *Kortüm G.*: Lehrbuch der Elektrochemie, Verlag Chemie, Weinheim 1957.
26. *Petrocelli J.*: Dyskusja artykułu pt. The role of polarization in electrochemical corrosion, *Corrosion* 1951 t. 7 nr 4.
27. *Brown R.H., English C.G., Williams R.D.*: The role of polarization in electrochemical corrosion, *Corrosion* 1950 t. 6 nr 6.
28. *Audubert R.*: Electrolyse, Presses Universitaires de France Paris 1953.
29. *Von Baeckmann W., Heim G.*: Kriterien für den kathodischen Schutz. (In): Europäisches Symposium Kathodischer Korrosionsschutz, Frankfurt/Main 1960.
30. *Sudrabin L.P., Ringer F.W.*: Some observations on cathodic protection criteria, *Corrosion* 1957 t. 13 nr 5.
31. *Howell R.P.*: Potential measurements in cathodic protection designs, *Corrosion* 1952 t. 8 nr 9.
32. *Sudrabin L.P.*: A study of protective criteria on a pipe section in a uniform environment, *Corrosion* 1956 t. 12 nr 2.
33. *Jacopetti M.*: Protection cathodique des structures sous-marines et souterraines (In): Europäisches Symposium Kathodischer Korrosionsschutz, Frankfurt/Main 1960.
34. *Barnartt S.*: Magnitude of IR-drop corrections in electrode polarization measurements made with a Luggin-Haber capillary, *J. Elektrochem., Soc.* 1961 t. 108 nr 1.
35. *Falk G., Lange E.*: Über die Widerstandspolarisation. I. *Z. Elektrochem* 1950 nr 54.
36. *Falk G., Krieg M., Lange E.*: Über die Widerstandspolarisation. II. *Z. Elektrochem.* 1951 nr 55.
37. *Schwenk W.*: Erörterung der Aus-oder Umschalttechnik bei der Potentialmessung für den kathodischen Korrosionsschutz, *Werkstoffe und Korrosion* 1963 nr 14.



38. *Hedborg C.E.*: Oil field salt water storage tanks protected cathodically, *Material Protect* 1963 t. 2 nr 2.
39. *Pearson J. M.*: „Null” methods applied to corrosion measurements, *J. Electrochem. Soc.* 1942 nr 81.
40. *Holler D.*: Studies on galvanic couples, *Corrosion* 1951 t. 7 nr 2.
41. *Logan K.H.*: Comparisons of cathodic protection test methods, *Corrosion* 1954 t. 10 nr 7.
42. *Werner D.R.*: Testing methods and corrosion control measures for buried telephone cable, *Corrosion* 1957 t. 13 nr 5.
43. *Piper W.J., Piper J.D.*: Tower footing corrosion, *Corrosion* 1951 t. 7 nr 4.
44. *Sudrabin L.P.*: A review of cathodic protection theorie and practice, *Material Protect.* 1963 t. 2 nr 5.
45. *Cahoon N.C.*: The operation and use of reference cells. *Electrochemical Technol.* 1965 nr 2/1.
46. *Scott G.N.*: The copper sulfate electrode, *Corrosion* 1958 t. 14 nr 3.
47. *Compton K.G.*: Variability in working copper sulfate half cells, *Corrosion* 1957 t. 13 nr 3.
48. *Compton K.G.*: Criteria and their application for cathodic protection of underground structures, *Material Protect.* 1965 t. 4 nr 8.
49. *Heuzé B.*: Procédé et dispositif pour évaluer à poste fixe le potentiel des structures métalliques, *Pat. franc.* nr 1261348 z 10.4.61 r.
50. *Bilenko C.C. i inni*: Nowaja konstrukcja miednosulfatnego elektroda, *Wiestnik Swiazii* 1967 nr 5.
51. SECCO, Cennik wyrobów, 1967.

O. Скиба-Рогальска

## ИЗМЕРЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ПОЛЯРИЗОВАННОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ОВОЛОЧКИ ПОДЗЕМНОГО КАБЕЛЯ

### Резюме

Проанализирован вопрос неточности измерений потенциала металлических оболочек подземных кабелей в случае протекания по ним поляризующего тока.

Оказалось, что местоположение неполяризующегося опорного электрода при этих измерениях не является безразличным. Неправильное расположение этого электрода может привести к ошибочным результатам измерений.

Описан новый тип неполяризующегося (медно-сульфатного) электрода, предназначенного для постоянной работы в земле для контроля за состоянием поляризации, защищаемых от коррозии кабелей.

O. Skiba-Rogalska

POTENTIAL MEASUREMENT OF POLARISED METAL SHEATHS  
OF UNDERGROUND CABLES

S u m m a r y

Problem of inaccuracy of potential measurements of underground cables metal sheaths has been analyzed in the case when a polarising current was flowing through them.

It has been stated that the situation of the reference electrode by these potential measurements was not irrelevant. The inappropriate placing of such electrode may cause faulty measurement results.

The new type of the reference electrode (Copper/Copper Sulfate) has been described, destined for permanent survey of polarisation state of the cables in earth protected against corrosion.

O. Skiba-Rogalska

MESURES DU POTENTIEL DE L'ENVELOPPE MÉTALLIQUE POLARISÉE  
D'UN CÂBLE SOUTERRAIN

R é s u m é

On a analysé la question de l'inexactitude des mesures du potentiel des enveloppes métalliques des câbles souter—rains en cas de leur polarisation.

On a constaté que la position de l'électrode de référence utilisée au cours des mesures du potentiel ne peut pas être quelconque et qu'une position inconvenante de l'électrode peut causer des mesures fautives.

Un nouveau type d'électrode de référence (de cuivre/sulfate de cuivre), destinée à contrôler l'état de polarisation des enveloppes des câbles souterrains, protégés contre la corrosion d'une façon permanente, a été décrit.

O. Skiba-Rogalska

MESSUNG DES POTENTIALS DES POLARISIERTEN  
ERDKABELMETALLBELAGES

Z u s a m m e n f a s s u n g

Es wird die Analyse des Problems der Ungenauigkeit der Potentialmessungen der Erdkabelmetallbeläge durchgeführt, wenn durch diese der Polarisierungsstrom fließt.

Man hat festgestellt, dass die Stellung der Bezugs­elektrode bei diesen Messungen nicht gleichgültig ist. Eine unrichtige Wahl des Einsatzpunktes für die Elektrode kann zu falschen Messergebnissen führen.

Man hat einen neuen Typ der Bezugs­elektrode (Kupfersulfat/Kupfer) beschrieben, die für den Dauerbetrieb in der Erde zur Polarisationsstandkontrolle der gegen Korrosion geschützten Kabel bestimmt ist.

Cena zł 19,-