

9 7 1

Nr 58

INSTYTUT ŁACZNOŚCI

WARSZAWA — MIEDZESZYN

BIBLIOTEKA  
Instytutu Łączności

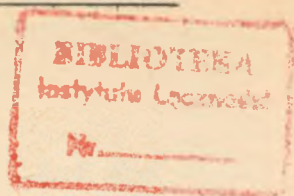
PROBLEMY

ŁACZNOŚCI



MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

---



# PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI

---

ROK 10

WARSAWA 1970

NR 50

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

Branżowy Ośrodek

Informacji Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej

Redakcja  
Problemów Łączności i Przeglądu Zagadnień Łączności

Redaktor Naczelny - prof. Zenon Szpigler

Redaktorzy działów:

mgr inż. Władysław Cetner, mgr inż. Adam Moniuszko,  
mgr inż. Józef Możejko

Adres Redakcji:

Instytut Łączności

Branżowy Ośrodek

Informacji Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej

Warszawa-Miedzeszyn, ul. Szachowa 1

NA PRAWACH RĘKOPISU - DO UŻYTKU SŁUŻBOWEGO

Egz. Nr

00031

Redaktor: J. Borkowska

Montaż tekstu: B. Drabik

Dział Wydawniczy Instytutu Łączności  
Format B5. Nakład 755. Druk ukończono  
w lutym 1971 r.

# PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI

Henryk Konczyński

## STAN AKTUALNY ZAGADNIENIA UZIEMIEN URZĄDZEŃ TELEKOMUNIKACYJNYCH

### SPIS TREŚCI

	Str.
1. Wstęp	1
2. Struktura gruntów, ich właściwości i czynniki wpływające na ich rezystywność	1
2.1. Właściwości elektryczne i chemiczne gruntów	1
2.2. Grunty jednorodne i niejednorodne	2
2.3. Wpływ rodzaju gruntu na rezystywność	5
2.4. Wpływ wilgotności gruntu na rezystywność	6
2.5. Wpływ temperatury gruntu na rezystywność	8
2.6. Wpływ zawartości powietrza w gruntach na rezystywność	9
2.7. Wpływ domieszek chemicznych w gruntach na rezystywność i na właściwości korozyjne	10
2.8. Sposoby zmniejszania rezystywności gruntów	11
3. Rodzaje uziemień i ich przeznaczenie	16
3.1. Uziemienia telekomunikacyjne	16
3.2. Uziemienia energetyczne dla obiektów łączności	23

	Str.
3.3. Uziemienia piorunochronne w służbie łączności	27
4. Rodzaje uziomów, ich konstrukcje i zasady budowy	28
4.1. Uziomy naturalne i możliwość ich wykorzystania	28
4.2. Uziomy sztuczne i ich budowa	31
5. Projektowanie sieci uziemień	46
5.1. Wybór miejsc pod budowę uziomów	46
5.2. Obliczenia rezystancji uziomów	46
5.3. Nagrzewanie gruntu w czasie pracy uziomów	48
6. Badania i konserwacja uziemień	56
6.1. Rodzaje badań	56
6.2. Konserwacja sieci uziemiającej	62
Wykaz literatury	63

Henryk Konczyński

## STAN AKTUALNY ZAGADNIENIA UZIEMIEN URZĄDZEŃ TELEKOMUNIKACYJNYCH

### 1. WSTĘP

Opracowanie niniejsze omawia najnowsze poglądy na całokształt zagadnień dotyczących uziemień, jakie powinny być stosowane w telekomunikacji. Nie poruszamy więc zagadnień historycznego rozwoju zasad uziemiania, a rozpoczniemy od razu od aktualnego stanu poglądów na uziemienia telekomunikacyjne stosowane w centralach telefonicznych, stacjach teletransmisyjnych i telegraficznych, jak też radiowych i telewizyjnych.

### 2. STRUKTURA GRUNTÓW, ICH WŁAŚCIWOŚCI I CZYNNIKI WPLYWAJĄCE NA ICH REZYSTYWNOŚĆ

#### 2.1. Właściwości elektryczne i chemiczne gruntów

Ziemia charakteryzuje się dwiema podstawowymi właściwościami elektrycznymi: możliwością utrzymania swego potencjału w stanie nie zmienionym, wobec czego stanowi ona ciało o ustabilizowanym potencjale oraz praktycznie z nieograniczoną pojemnością elektryczną, pozwalającą przyjmować olbrzymie ilości ładunków elektrycznych.

Na tych dwóch właściwościach oparta jest praca uzie-

mięń. Dobroć pracy uziemień zależy jednak od tego, w jaki sposób właściwości te przejawiają się, a to znów zależy głównie od rezystywności, jaką wykazują masy ziemi otaczające uziom. Wartość rezystywności ziemi jest związana z rodzajem gruntu, jego temperaturą, wilgotnością oraz zawartymi w nim domieszkami chemicznymi nie tylko w postaci soli, ale również w postaci elektrolitów kwaśnych względnie zasadowych, a więc zależna jest od stopnia zakwaszenia gruntu, jego zasadowości oraz od stopnia jonizacji.

Wszystkie te czynniki mają zasadniczy wpływ na rezystywność gruntu, a to dlatego, że głównymi składnikami ziemi są tlenek krzemu i tlenek glinu, mające właściwości izolacyjne.

## 2.2. Grunty jednorodne i niejednorodne

Rzadko się zdarza, aby grunt był pod względem konduktywności jednorodny na znacznej głębokości (np. kilkunastu metrów). Nawet nie uwzględniając górnej warstwy gruntu, czyli t.zw. gleby stanowiącej kilkanaście do kilkadziesiąt centymetrów grubości, która ze względu na florę ma specyficzne właściwości konduktywności, ale nawet poniżej tej warstwy ziemia ma przeważnie budowę warstwicową o różnych właściwościach elektrycznych. W takich przypadkach operujemy zwykle, dla celów praktycznych, zastępczą rezystywnością gruntu odnoszącą się do takiego gruntu jednorodnego, w którym rezystancja rozpatrywanego uziomu jest równa rezystancji tegoż uziomu

ułożonego w gruncie o budowie warstwicznej.

Do celów praktycznych posługujemy się wykresami i wzorami wyprowadzonymi przez Burgsdorffa dla gruntów warstwicznych.

Na rysunku 1<sup>x)</sup> sporządzone zostały wykresy dla uziomów szpilkowych funkcji:

$$p = f\left(\frac{1}{h}\right) \text{ przy różnych parametrach } \frac{t}{l} \text{ oraz } k_n = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_1 + \rho_2}$$

$l$  - długość uziomu,

$h$  - grubość warstwy górnej,

$t$  - odległość górnego końca pręta od powierzchni ziemi,

$\rho_1$  i  $\rho_2$  - rezystywność górnej i dolnej warstwy ziemi,

$\rho_z$  - zastępcza rezystywność gruntu,

$p = \frac{\rho_z}{\rho_1}$  - względna wartość zastępcza rezystywności.

Krzywa nr	1	2	3	4	5	
Wartości $k_n$	0,980	0,980	0,667	0,500	0,333	
Krzywa nr	11	10	9	8	7	6
Wartości $k_n$	-0,980	-0,980	-0,667	-0,500	-0,333	0

<sup>x)</sup> Wszystkie rysunki są zamieszczone na końcu artykułu.



Należy zauważyć, że rezystancja uziemienia zależy nie tylko od konduktywności warstwy gruntu, w której umieścimy cały uziom, ale częściowo również od konduktywności warstw położonych jeszcze niżej. Również uziomy poziome zakopane w gruncie jednorodnym mają różną rezystancję, gdy niezbyt głęboko pod tą warstwą leży inna warstwa o innej konduktywności niż wówczas, gdy tej innej warstwy nie ma. Stąd wniosek, że do określenia rezystancji uziemienia nie wystarczy znajomość rezystancji wyodrębnionej warstwy gruntu, w której zakopany jest uziom. Nawet w gruntach pozornie jednorodnych na znacznych głębokościach już to, że na pewnej głębokości zjawia się woda zaskórna powoduje znaczne obniżenie rezystancji uziemień.

Czasem jednak to zmniejszenie rezystywności jest częściowo kompensowane gruboziarnistością gruntu spotykaną w warstwach głębszych. W przypadku więc gruntu niejednorodnego należy przeprowadzać badania rezystywności na różnych głębokościach. Pomiaru powinny sięgać dostatecznie głęboko, zwłaszcza w gruntach o dużej rezystywności (w zasadzie poniżej lustra wody zaskórnej). Jest to ważne dla uziemień, których rezystancja powinna być możliwie mała. Badania jednak konduktywności gruntów niejednorodnych nie zawsze są gospodarczo uzasadnione. Zachodzi to zwłaszcza przy budowie uziemień wzdłuż napowietrznych linii telefonicznych, gdyż w tych przypadkach buduje się wielką liczbę uziomów, a więc badanie gruntów na długich trasach byłoby bardzo kosztowne, a ponadto lokalizacja uziomów jest przesądzona przebiegiem linii i rozpiętością

przęseł. Zresztą nie są te badania tak bardzo konieczne jak w uziemieniach stacyjnych, bo uziemienia wzdłuż linii są jednego typu, przepięciowego, i dopuszczalna górna granica rezystancji tych uziemień jest dość wysoka ( $10 + 100 \Omega$ ). Wystarcza więc do ustalenia typu uziomu posługiwać się mapami geologicznymi Polski. Takie postępowanie nie jest zbyt ryzykowne, bo z wyjątkiem niektórych okolic, zwłaszcza podgórszych, grunty w Polsce, mimo różnic lokalnych, odznaczają się względną jednorodnością na dużych obszarach.

### 2.3. Wpływ rodzaju gruntu na rezystywność

Różne publikacje podają bardzo różne wielkości rezystywności gruntu w zależności od jego rodzaju. W tabelicy 1 podano, jakonajbardziej miarodajne dla warunków polskich, dane uzyskane z Centralnego Urzędu Geologii.

T a b l i c a 1

Zależność rezystywności gruntu od jego rodzaju

Lp.	Rodzaj ośrodka dookoła uziomu	Rezystywność $\Omega \cdot \text{cm}$
1	glina	$0,3 \cdot 10^4$
2	czarnoziem	$1 \cdot 10^4$
3	piasek	$17 \cdot 10^4$
4	rumosz skalny	$10 \cdot 10^4 - 25 \cdot 10^4$
5	grunt gliniasty	$0,6 \cdot 10^4$
6	grunt piaszczysty	$4 \cdot 10^4$
7	grunt żwirowy	$12 \cdot 10^4$
8	woda rzeczna	$0,001 \cdot 10^4 + 0,1 \cdot 10^4$

Podane tu liczby są tylko orientacyjnymi, gdyż ten sam rodzaj gruntu może dawać znaczne odchylenia wartości rezystywności w zależności od miejsca i czasu pomiaru.

#### 2.4. Wpływ wilgotności gruntu na rezystywność

Zródłem zawilgocenia gruntów są przede wszystkim opady atmosferyczne oraz rosa i para wodna z powietrza.

Wilgotność gruntu ma zasadniczy wpływ na rezystywność gruntu. Ogólnie wiadomo jest, że rezystywność wzrasta bardzo szybko wraz ze zmniejszaniem się zawartości wilgoci. Największe różnice rezystywności gruntu występują w granicach od 5 do 30% wilgoci. Ilustruje to bardzo wyraźnie tablica 2, sporządzona dla gruntu gliniastego [19]. Przy zwiększaniu się jednak wilgotności gruntu powyżej 30% różnice rezystywności nie są już tak znaczne.

T a b l i c a 2

Orientacyjna zależność rezystywności gruntu gliniastego od zawartej w nim wilgoci

Zawartość wilgoci w %	Rezystywność w $\Omega \cdot \text{cm}$
5	$4,3 \cdot 10^4$
10	$1,8 \cdot 10^4$
15	$1,0 \cdot 10^4$
20	$0,6 \cdot 10^4$
30	$0,4 \cdot 10^4$

Należy zaznaczyć, że wilgotność gruntu jest różna na różnych głębokościach. Dzieje się to głównie dlatego, że górne warstwy gleby wysychają w okresie suszy znacznie szybciej niż warstwy głębokie. W tablicy 3 zamieszczono według danych Instytutu Geologicznego w Warszawie, orientacyjną przeciętną głębokość wysychania gleby w porze bezdeszczowej w zależności od rodzaju gleby. Jest oczywiste, że gleby ciężkie (gliniaste, czarnoziem) o budowie drobnoziarnistej zatrzymują wilgoć przez czas dłuższy. Zatrzymaniu wilgoci sprzyja również zadrzewienie terenu.

T a b l i c a 3

Orientacyjna przeciętna głębokość całkowitego wysychania gleby w porze bezdeszczowej w zależności od rodzaju gleby

Rodzaj gleby	Głębokość wysychania
Gleby piaszczyste	0,2 - 0,5 m
Czarnoziem	0,1 - 0,3 m
Gleby gliniaste	0,1 - 0,3 m

Drugim czynnikiem mającym wpływ na wilgotność gruntu na różnych głębokościach, a więc i na rezystywność, jest woda zaskórna, której poziom podaje Mapa Hydrologiczna Polski. Woda zaskórna może pochodzić z opadów atmosferycznych i, przedostając się do warstw głębszych, gromadzić się na słabo przepuszczalnym podłożu; może również przenikać z dużych zbiorników naturalnych, jak stawy, jeziora i rzeki.

Lustro wody zaskórnej nie jest stałe, a waha się w zależności od opadów i od poziomu wody w rzekach i jeziorach.

Warstwy gruntu znajdujące się bezpośrednio nad lustrem wody zaskórnej są wilgotne dzięki kapilarnemu wznoszeniu się wody. Wysokość kapilarnego podnoszenia się wody zależna jest od średnicy ziaren ziemi. Im ziarna ziemi są drobniejsze (glina, il), tym wysokość ta jest większa i dochodzi nawet czasem do 3 m, zaś w gruntach gruboziarnistych (piasek) wynosi ona do kilkudziesięciu cm.

#### 2.5. Wpływ temperatury gruntu na rezystywność

W temperaturze powyżej  $0^{\circ}\text{C}$  rezystywność gruntu zmienia się nieznacznie, wzrastając około 3-4% na każdy stopień spadku temperatury<sup>x)</sup>. Z chwilą osiągnięcia  $0^{\circ}\text{C}$  rezystywność wzrasta raptownie i dalej rośnie wraz ze spadkiem temperatury. Tablica 4 sporządzona dla gruntu gliniastego, zaczerpnięta z książki R.W. Rydera [45], daje pogląd na zależność rezystywności ziemi od jej temperatury. Głębokość przemarzania gruntu w Polsce podczas przeciętnie ostrej zimy ilustruje załączona mapka (rys.2).

---

x) Według biura norm USA.

Zależność rezystywności gruntu gliniastego  
od jego temperatury

Temperatura gruntu °C	Rezystywność Ω . cm
20	0,7 . 10 <sup>4</sup>
10	1,0 . 10 <sup>4</sup>
0 - woda	1,4 . 10 <sup>4</sup>
0 - lód	3,0 . 10 <sup>4</sup>
-5	7,9 . 10 <sup>4</sup>
-15	33 . 10 <sup>4</sup>

2.6. Wpływ zawartości powietrza w gruntach  
na rezystywność

Zawartość powietrza w gruntach jest dość różna dla różnych gruntów, zależnie od ich porowatości. Dla tego samego gruntu zawartość powietrza zmienia się zależnie od temperatury, ciśnienia atmosferycznego i od zmian wilgotności, gdyż w gruntach przewiewnych (o szybkiej dyfuzji powietrza w głąb gruntu) na miejsce wody wyparowującej wchodzi powietrze.

Należy zaznaczyć, że powietrze rozpuszczone w wodzie ma niewielki wpływ na warunki pracy uziomów (szybkość korodowania). Największy wpływ ma powietrze wolne, znajdujące się między cząsteczkami gruntu, jakkolwiek zawartość tlenu w gruntach jest na ogół mniejsza niż w powietrzu nad powierzchnią ziemi.

## 2.7. Wpływ domieszek chemicznych w gruntach na rezystywność i na właściwości korozyjne

Wszelkie grunty zawierają większe lub mniejsze ilości rozpuszczonych soli, a górne warstwy, tak zwana gleba zawiera ponadto składniki organiczne.

Najczęściej spotykanymi domieszkami gruntów są rozpuszczone w wodzie sole wapnia, jak: węglany ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Ca/HCO}_3/2$  siarczany  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , siarczyny  $\text{Ca/HSO}_3/2$ , azotany  $\text{Ca/NO}_3/2$ , a ponadto chlorki.

Ilość i jakość domieszek wpływa nie tylko na rezystywność gruntów, ale również na ich właściwości korozyjne. Ilustruje to tablica 5.

T a b l i c a 5

Zależność właściwości korozyjnych gruntu od jego rezystywności

Lp.	Rezystywność gruntu $\Omega \cdot \text{cm}$	Stopień agresywności korozyjnej gruntu
1	$3 \cdot 10^4 - 5 \cdot 10^4$	bardzo mały
2	$1 \cdot 10^4 - 3 \cdot 10^4$	mały
3	$0,2 \cdot 10^4 - 1 \cdot 10^4$	przeciętny
4	$0,1 \cdot 10^4 - 0,2 \cdot 10^4$	zwiększony
5	$0,05 \cdot 10^4 - 0,1 \cdot 10^4$	duży
6	poniżej $- 0,05 \cdot 10^4$	bardzo duży

Uwaga. Wartość rezystywności gruntu nie stanowi jedynego wskaźnika korozyjności gruntu.

## 2.8. Sposoby zmniejszania rezystywności gruntów

Aby w gruntach o dużej rezystywności otrzymać dopuszczalną przepisami rezystancję uziemień, ulepsza się sztucznie konduktywność gruntu. Wiemy, że głównym czynnikiem wpływającym na wielkość konduktywności gruntu jest zawartość rozpuszczonych w nim soli mineralnych lub innych związków chemicznych.

### 2.8.1. Grunty suche, zawierające znaczny procent elektrolitów

Zdarzają się grunty zawierające znaczny procent soli. W okresach suszy grunty takie wystarcza tylko zwilżyć bez dodawania związków chemicznych. Aby jednak uwolnić obsługę od stałego pamiętania o konieczności nasycenia wodą miejsca, gdzie zbudowano uziomy, stosuje się czasem umieszczanie w dole wykopanym na uziom materiałów absorbujących wilgoć (np. koks mielony, węgiel drzewny, ziemia ogrodowa).

### 2.8.2. Grunt, z małą zawartością elektrolitów

Istnieje kilka znanych i rozpowszechnianych sposobów polepszania konduktywności gruntu, które podajemy poniżej:

- a. W miejscu gdzie projektuje się zbudowanie uziomu pionowego (rurowego), wykopuje się dół o promieniu około 1,5 ÷ 2 m i o głębokości kilku centymetrów poni-



żej dolnego końca projektowanego uziomu (rury). Dół wypełnia się gliną, torfem, czarnoziemem lub innym materiałem o dobrej przewodności, co może przynieść nawet 3-krotne obniżenie rezystancji uziemienia. Rezystancję tak zbudowanego uziomu można określić ze wzoru

$$R = \frac{1}{2\pi l} \left[ \rho_2 \ln \frac{2l}{r_1} + \frac{1}{2} (\rho_1 - \rho_2) \ln \frac{\sqrt{l^2 + r_1^2} + l}{\sqrt{l^2 + r_2^2} - l} \right] \Omega$$

gdzie  $\rho_1$  - rezystywność gruntu,

$\rho_2$  - rezystywność materiału wypełniającego dół,

$r_1$  - promień pręta (rury) uziomu,

$r_2$  - promień wykopanego dołu,

$l$  - długość uziomu równa w przybliżeniu głębokości dołu.

- b. Inne sposoby polegają na umieszczaniu w wykopanym dookoła uziomu dole soli metali, zwiększających przewodność gruntu, jak: soda, sól kuchenna, chlorek wapnia, siarczan miedzi itp.

Jednym ze sposobów jest stosowanie dookoła istniejącego uziomu pionowego wykopu o głębokości sięgającej do około 1/3 długości uziomu i o średnicy od 0,5 do 2,5 m. Dół ten zasypuje się ziemią i solą NaCl. W tym celu używa się przeciętnie 2-5 kg soli na jeden uziom. Przy gruntach piaszczystych, z których sól jest łatwo wypłukiwana, zaleca się zwiększyć ilość

soli na uziom. Niektóre zalecenia podają nawet, że potrzeba do 40 kg soli na uziom. Inni autorzy podają ilość soli w zależności od długości uziomu, licząc na 1 m długości uziomu 1,6 - 5 kg soli.

Istnieją zalecenia mieszania soli z miejscową ziemią, inne natomiast zalecają nie mieszać, a sypać je warstwami: soli o grubości warstwy 3 cm i miejscowej ziemi o grubości 10 cm. Taka obróbka gruntu według Beliakowa daje średnio 4,5 + 8-krotne zmniejszenie rezystancji gruntów piaszczystych. Również konduktancja gruntów skalistych według Spunowa i Stecuły polepsza się, jeżeli nasycać je 1-procentowym roztworem soli.

Czasem wykop zasypuje się koksem lub węglem drzewnym zmieszany z solą. Dodatki te utrzymują wilgotność gruntu. Należy jednak uważać, aby koks czy węgiel drzewny nie przylegały bezpośrednio do uziomu. Należy również pamiętać, aby przy tej metodzie dobrze ubić ziemię dokoła uziomu i zwilżyć ją niewielką ilością wody (do 2 litrów wody na jeden kg użytej soli przy suchej glebie).

- e. Na uziomy stosuje się rury z wywierconymi na przemian co 5 cm otworami o średnicy 1 cm. Do rury wbitej w ziemię wlewa się co jakiś czas (np. raz na rok) do 50 litrów wody z rozpuszczoną solą kuchenną, w ilości do 30 kg na jeden uziom.
- d. Przy uziomach płytowych zakopuje się w czasie budowy uziemienia rurę ceramiczną o średnicy powyżej 10 cm,

wystającą około 20 cm nad ziemią i zatykaną od góry czopem. Rurę tę ustawia się pionowo nad płytą stanowiącą uziom. W okresach suszy należy do rury wlewać wodę; w gruntach o małej zawartości soli - lepiej roztwór wodny soli kuchennej.

- e. Zwilża się ziemię wokół uziemienia solami metali o dobrej przewodności. Najpierw wlewa się do ziemi siarczan miedziowy, a po jego wsiąknięciu w grunt wlewa się żelazocyjanek potasowy. Ponieważ w ziemi zachodzą reakcje chemiczne tworzące żel o postaci galaretowatej, przypuszcza się więc, że sposób ten ułatwia wchłanianie i zatrzymywanie wody, a jednocześnie zapobiega wypłukiwaniu przez deszcze trudno rozpuszczalnego i dającego jednocześnie dobrą przewodność elektryczną żelū. Tego samego zresztą rodzaju reakcje dają roztwory soli niklu lub kobaltu z anionami żelazocyjanowymi lub żelazicyjanowymi.

### 2.8.3. Metody ulepszania konduktywności gruntów

2.8.3.1. Ulepszanie konduktywności gruntów lekkich stosowane jest w takich gruntach, jak piasek drobny lub żwir o dużej rezystywności, gdy woda zaskórna w zasadzie nie istnieje, a lustro wody gruntowej znajduje się na dużych głębokościach (powyżej 20 m).

Przy tym sposobie używa się dwóch rur ciągnionych, które łączone są z odcinków 4-5 metrowych dając łączną długość kilkunastu metrów. Stosuje się rury o średnicy

24-36 mm i grubości ścianki 4 mm. Przez te rury wbite do ziemi wprowadza się przez jedną siarczan amonu  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  a przez drugą chlorek wapnia  $\text{CaCl}_2$ . W celu połączenia w ziemi obydwu powyższych chemikalii przepuszczamy przez rury i przez pomocnicze 4 uziomy szpilkowe prąd stały o zmieniającym kierunku przepływu, a mianowicie w kierunku rur, a następnie w kierunku uziomów szpilkowych.

Sposób wykonywania tego rodzaju uziomów opracowany w Instytucie Łączności opisano w pracy Instytutu Łączności [26].

2.8.3.2. Ulepszanie konduktywności gruntów skalistych (opracowane w Instytucie Łączności) jest stosowane dla gruntów o dużej rezystywności, gdy na głębokości kilku metrów znajduje się warstwa łupków lub skał. Przy tym sposobie wykorzystuje się wiercenia geologiczne, jakie są wykonywane przed wybudowaniem obiektów, względnie wiercenia takie wykonuje się specjalnie do tego celu służącym urządzeniem [30]. Wykonane w ten sposób doły wypełnia się do  $1/3$  głębokości bentonitem zmieszany z siarczanem amonu  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  i chlorkiem wapnia  $\text{CaCl}_2$ , uprzednio połączonymi w postaci żelu. Aby nadać większą spoistość otrzymanej masie bentonitu, dodaje się gipsu modelowego. Proporcje tych składników i sposób przyrządzania mieszaniny podany jest w pracy Instytutu Łączności [30]. Sposób ten może być stosowany w zasadzie w różnych gruntach; na przykład w gruntach piaszczystych uzyskuje się 15-30 krotne zmniejszenie rezystywności.

### 3. RODZAJE UZIEMIENÍ I ICH PRZEZNACZENIE

Uziemienie jest to połączenie elektryczne urządzenia uziemianego z ziemią. Odróżniamy uziemienia urządzeń telekomunikacyjnych, uziemienia urządzeń energetycznych oraz uziemienia urządzeń piorunochronnych.

#### 3.1. Uziemienia telekomunikacyjne

Stosuje się dla wszelkich urządzeń łączności, zarówno przewodowej jak też bezprzewodowej, a więc dla central telefonicznych, telegraficznych, stacji teletransmisyjnych, urządzeń zdalnego zasilania, stacji radia i TV, konstrukcji wsporczych, linii kablowych, a także kabin telefonicznych. Dla każdego z tych uziemień wymagane są pewne specyficzne warunki, jak na przykład nie przekraczanie określonej wielkości rezystancji (tabl.6). Odróżniamy następujące zasadnicze rodzaje uziemień telekomunikacyjnych.

##### 3.1.1. Uziemienie robocze

Jest to połączenie z ziemią, niezbędne do zapewnienia właściwej pracy urządzeń telekomunikacyjnych, przez utworzenie wspólnego punktu odniesienia układów zasilających. Uziemienie robocze stosowane jest również do tworzenia torów wspólnych (np. zdalnego zasilania).

### 3.1.2. Uziemienie ochronne

Jest to połączenie z ziemią metalowych obudów urządzeń telekomunikacyjnych i zasilających w celu ochrony ludzi lub zwierząt przed porażeniem prądem elektrycznym.

### 3.1.3. Uziemienie przepięciowe

Jest to połączenie z ziemią odgromników stosowanych w celu ochrony urządzeń telekomunikacyjnych i osób korzystających z nich przed skutkami przepięć przychodzących od strony linii.

### 3.1.4. Uziemienie ekranowe

Jest to połączenie z ziemią metalowych osłon (ekranów) urządzeń przed zakłócającym oddziaływaniem pól elektromagnetycznych, wytwarzanych przez inne urządzenia elektryczne, lub też w celu zabezpieczenia innych urządzeń telekomunikacyjnych przed szkodliwymi polami elektromagnetycznymi wytwarzanymi przez urządzenia podlegające ekranowaniu.

### 3.1.5. Uziemienie pomiarowe

Dla tych obiektów, dla których istnieją trudności umieszczania sond do okresowych pomiarów rezystancji uziomów wykonuje się czasem dwa uziemienia pomiarowe, każde o rezystancji nie przekraczającej w przybliżeniu  $100 \Omega$ . Szczegółowe dane zawarte są w rozdziale o pomiarach. Między tymi sondami i w stosunku do wszelkich me-

Wymagania na rezystancje uziomów sztucznych stosowanych  
w telekomunikacji

Lp.	Nazwa obiektu chronionego	Rezystancja uziomów sztucznych w omach				
		Grunty ciężkie, głina, torfy	Grunty lekkie, piasek, żwir	Według przepi- sów		
1	2	3	4	5		
1	Centrale CMM i stacje transmisyjne zaliczone do grupy A	4	8	WTP		
2	Urządzenia zaliczone do grup od B do Dx)	8	15	[72]		
3	Aparaty telefoniczne i telegraficzne stacji abonenckich	20	60	BN-64 3220-01 [80]		
4	Linie napowietrzne telekom.: Słupy oporowe, narożne, odgałęźne		100	BN-64 3220-03		

x) patrz tablica 7

1	2	3	4	5
5	Linie napowietrzne telekom.: Słupy badaniowe oraz słupy ograniczające pręśnią skrzyżowania z torami kolejowymi	20	[79]	
6	Linie napowietrzne telekom.: Słupy kablowe, stojaki dachowe oraz słupy ograniczające pręśnią skrzyżowania z liniami elektroenergetycznymi powyżej 1 kV	10	[73]	instrukcja MŁ TK-9 1963 r. [73]
7	Uziemienia piorunochronne budynków łączności	10		PN-55/ E-05003 [63]
8	Uziemienia piorunochronne budynków łączności w przypadku wzajemnego łączenia całej sieci uzemiającej obiektu telekomunikacyjnego	5		WTP [72]



1	2	3	4	5
9	Uziemienia robocze i ochronne w transformatorniach stosowanych w obiektach telekomunikacji		4	przepisy budowy urz. el. 1970 r. [69]
10	Uziemienia kabln telefonicznych		5	BN-68/ 9378-43
11	Uziemienia zdalnego zasilania		10 + 30	WTP [72]

Podział urządzeń telekomunikacyjnych na grupy  
(według WTP - 1967 (BSiPL))

Grupa	Rodzaj urządzeń
A	<p>Stacje teletransmisyjne (SW) obsługujące telefoniczne centrale międzymiastowe węzłowe (zliczane razem z tymi centralami lub poza nimi)</p> <p>Stacje teletransmisyjne (SW) na liniach wspólnosiowych</p> <p>Centrale telefoniczne międzymiastowe węzłowe</p> <p>Centrale telegraficzne węzłowe</p> <p>Centrale telefoniczne miejskie o końcowej pojemności powyżej 10000 NN i centrale międzystrefowe (węzłowe)</p>
B	<p>Stacje teletransmisyjne (SW) obsługujące zbiorcze CMM</p> <p>Centrale telegraficzne zbiorcze</p> <p>Centrale telefoniczne miejskie o pojemności końcowej powyżej 2000 NN i centrale okręgowe</p> <p>Stacje teletransmisyjne (SW) przelotowe z obsługą całodobową</p> <p>Ditto - bez obsługi całodobowej</p> <p>Radiowęzły I kategorii</p>
C	<p>Stacje teletransmisyjne (SW), obsługujące końcowe CMM oraz urządzenia telegrafii wielokrotnej</p> <p>Centrale międzymiastowe końcowe</p> <p>Centrale miejskie o pojemności końcowej do 2000 NN</p>

Grupa	Rodzaj urządzeń
	Radiowęzły II kategorii
D	Centrale telefoniczne wiejskie Centrale telefoniczne abonenckie do 200 NN włącznie Radiowęzły III kategorii

talowych urządzeń podziemnych powinna być w zasadzie zachowana odległość co najmniej 20 m (porównaj rozdz. 6.1.4).

### 3.1.6. Uziemienie zdalnego zasilania

Jest to uziemienie realizujące tor współziemny, którym przesyła się energię elektryczną do obiektów zasilanych z odległych źródeł energii. Odległość od obiektu uziomów zdalnego zasilania oblicza się ze wzoru  $L = 20I$ , gdzie  $I$  - maksymalny prąd pobierany przez urządzenia stacji zasilanej. Odległość ta nie może jednak być mniejsza od 50 m.

Wszystkie uziemienia, omówione w rozdz. 3.1.1 do 3.1.6, w każdym obiekcie telekomunikacyjnym powinny tworzyć wspólną sieć uziemiającą.

### 3.2. Uziemienia energetyczne dla obiektów łączności

Zasilanie budynków telekomunikacyjnych w energię elektryczną odbywa się: z sieci elektroenergetycznej niskiego napięcia (220/380 V) lub poprzez własną transformatornię z sieci o napięciu wyższym. W przypadku awarii sieci obiekt zasilany jest z własnej elektrowni zapasowej.

Stosowane są zabezpieczenia przeciwporażeniowe dwóch rodzajów, a mianowicie: zerowanie lub uziemienie ochronne.

#### 3.2.1. Zerowanie

Jest to celowo wykonane metaliczne połączenie obudów urządzeń zasilania i części sieci energetycznej odizolowanej od napięcia, z uziemionym przewodem zerowym, zapewniające szybkie wyłączenie urządzenia spod napięcia, w przypadku uszkodzenia.

#### 3.2.2. Uziemienie ochronne

Jest to celowo wykonane metaliczne połączenie z ziemią obudów urządzeń zasilania oraz tych części sieci energetycznej, które są odizolowane od części będących pod napięciem. Uziemienie to chroni od niebezpiecznych napięć dotyku i krokowych.

Wszelkie przepisy zabraniają stosowania w tej samej sieci połączonej metalicznie, zerowania jednych części urządzenia elektrycznego i uziemiania ochronnego pozostałych części.

W ostatnich latach przyjęto, aby uziemienie ochronne energetyczne jak również przewód zerowy przy systemie zerowania tworzyły wspólną sieć uziemień telekomunikacyjnych. Otrzymujemy w ten sposób układ ekwipotencjalny uziemień.

### 3.2.3. Warunki porażenia prądem elektrycznym

Zarówno uziemienie ochronne jak też zerowanie mają na celu, jak powiedziano wyżej, zabezpieczenie od porażenia.

Skutki rażenia są zależne od natężenia prądu płynącego przez organizm i od drogi przepływu w organizmie, a także od czasu przepływu prądu. Przyjmuje się, że dla osób o przeciętnej wrażliwości organizmu na działanie prądu, prąd zmienny 50 Hz o natężeniu większym od 25 mA jest niebezpieczny dla zdrowia, a nawet życia, gdy trwa ponad kilkanaście sekund. Co się tyczy natężenia prądu rażącego, to zależy ono od napięcia dotykowego (krokowego), od rezystywności ciała ludzkiego i od rezystancji obydwu dotyków. Orientacyjnie można przyjąć, że rezystywność ciała ludzkiego różna dla różnych ludzi zawiera się w granicach  $500 + 2000 \Omega$ , a czasem nawet więcej. Rezystancja miejsc dotyku wynosi kilkanaście omów przy przepływie ręka - ręka, gdy ręce są wilgotne, aż do kilkunastu tysięcy omów przy przepływie ręka-noga, gdy buty i podłóża są o dużej rezystancji. Skutki przepływu prądu przez organizm ludzki w zależności od natężenia prądu i czasu jego przepływu ilustruje wykres

przedstawiony na rys. 3. Dopuszczalne natężenie prądu rąkienia podano na rys. 4.

W celu zorientowania się co do wysokości dopuszczalnego napięcia dotyku można przyjąć jako rezystywność ciała ludzkiego  $1000 \Omega$  oraz założyć, że prąd przepływający przez człowieka jest długotrwały; wówczas ze wzoru:

$$R_c = \frac{U_b}{I_b}$$

gdzie:  $R_c$  - wartość rezystywności ciała ludzkiego,

$U_b$  - bezpieczne napięcie dotyku w woltach,

$I_b$  - bezpieczny prąd płynący przez człowieka  
w amperach

otrzymamy, że wartość skuteczna dopuszczalnego napięcia przyłożonego do obydwu rąk (poziom bezpieczeństwa) może wynosić:

$$U_D = I_b R_c = 0,025 \cdot 1000 = 25 \text{ V}$$

Przepisy elektryczne dopuszczają dla długotrwałego utrzymywania się napięcia względem ziemi wartość 65 V. Wartość ta, jak wynika z powyższego rachunku jest zbyt duża dla bardzo ciężkich warunków, jak na przykład dla ulicznych rozmównic publicznych, ale jest przyjmowana w telekomunikacji również przez niektóre przepisy zagraniczne.

Aby czas przepływu prądu przez organizm skrócić do dopuszczalnej wielkości, powinny być bezpiecznikowe wkład-

ki topikowe tak dobrane, aby wartość prądu zwarciovego była co najmniej równa  $2,5 \div 4$  krotnej wartości prądu znamionowego wkładki. W tablicy 8 podane są najmniejsze wartości prądu zwarciovego, powodujące dostatecznie szybkie zadziałanie zabezpieczeń [61]. Odnosi się to zarówno do uziemień ochronnych, jak też do zerowania.

T a b l i c a 8

Rodzaj zabezpieczenia	Prąd znamionowy w A	Prąd zwarciovowy zapewniający dostatecznie szybkie wyłączenie
Bezpieczniki topikowe o działaniu bezzwłocznym	2- 4	$I_{zw} = 2,5 \cdot I_{zn}$
	6- 20	$I_{zw} = 2,7 \cdot I_{zn}$
	25- 60	$I_{zw} = 3,0 \cdot I_{zn}$
	80-200	$I_{zw} = 4,0 \cdot I_{zn}$

Jeżeli przyjmiemy na przykład dla kabin telefonicznych jako dopuszczalne napięcie dotykowe 65 V, to przy wkładce bezpiecznikowej 2 A orientacyjna rezystancja uziemienia nie może nigdy przekraczać  $R_1 = \frac{65}{2 \cdot 2,5} = 13 \Omega$ .

Przyjmując jako dopuszczalne napięcie 25 V, otrzymamy dla przypadku, gdy podczas ulewnego deszczu obydwie ręce i nogi, korzystającego z ulicznej kabiny telefonicznej, są przemoczone i w tym czasie nastąpi uszkodzenie instalacji oświetleniowej, wówczas rezystancja uziemienia powinna wynosić

$$R_2 = \frac{25}{2 \cdot 2,5} = 5 \Omega$$

Zakładając, że kabina będzie oświetlona żarówką 60 W, otrzymamy prąd około 0,3 A, a więc wkładka bezpiecznikowa 2 A jest właściwa. Jeżeli zastosuje się wkładkę 4 A to

$$I_{zw} = 4 \cdot 2,5 = 10 \text{ A}$$

$$R_1 = \frac{65}{10} = 6,5 \Omega$$

$$R_2 = \frac{25}{10} = 2,5 \Omega$$

Projektowanie i budowa uzemień energetycznych dla obiektów łączności muszą być wykonywane zgodnie z przepisami [68, 69].

### 3.3. Uziemienia piorunochronne w służbie łączności

Stanowią one fragment urządzeń piorunochronnych służących do wszelkich zabezpieczeń przed skutkami wyładowań atmosferycznych. Stosuje się je wszędzie tam, gdzie istnieje obawa bezpośrednich lub pośrednich wyładowań atmosferycznych w celu ochrony od ich skutków zarówno ludzi, jak i urządzeń telekomunikacyjnych. Uziemienia piorunochronne budujemy dla budynków telekomunikacyjnych, linii telekomunikacyjnych napowietrznych, kabli ziemnych, kabin telefonicznych itp. Uziemienia te dla budowli telekomunikacyjnych (zazwyczaj otokowe dokoła budowli) powinny stanowić osobną grupę niezależną od innych uzio- mów danego obiektu, w celu jednak zapewnienia ekwipoten- cjalności całej sieci, uziomy te powinny być dołączane do wspólnej tablicy uzemień (szyny zbiorczej uzemień)



względnie do pierścienia uziomowego. Na rysunku 5 podano przykład uziemienia piorunochronnego, jakie zasadniczo stosowane jest dla budynków telekomunikacyjnych z zastrzeżeniem, że w przypadku dużej rezystancji uziomu otokowego należy dodatkowo uzupełnić go uziomami szpilkowymi.

Przy budowie uziemień piorunochronnych należy stosować się do normy PN-55/E-05003 - Ochrona budowli od wyładowań atmosferycznych.

#### 4. RODZAJE UZIOMÓW, ICH KONSTRUKCJE I ZASADY BUDOWY

Przedmioty metalowe jak rury, pręty, kształtowniki, taśmy, płyty nieizolowane, znajdujące się w ziemi i wykorzystywane lub przeznaczone do uziemiania nazywają się uziomami. Odróżniamy przede wszystkim uziomy naturalne i uziomy sztuczne.

##### 4.1. Uziomy naturalne i możliwość ich wykorzystania

Uziomy naturalne w wielu przypadkach mogą stanowić podstawowy środek uziemiania. Jako uziomy naturalne mogą służyć różne urządzenia zakopane w ziemi i przewodzące prąd elektryczny, jakkolwiek zbudowane dla innych celów niż odprowadzanie do ziemi prądu elektrycznego. Jako uziomy naturalne mogą i powinny być wykorzystane metalowe pancerze i powłoki kabli elektroenergetycznych i telekomunikacyjnych oraz rurociągi wodne, ogrzewnicze i ka-

nalizacyjne - z rur metalowych. Ponadto w celu dodatkowego obniżenia rezystancji uziemień mogą służyć żelbetowe i stalowe konstrukcje budynków i słupów linii telekomunikacyjnych oraz rurociągi gazowe. Jeżeli rezystancja uziomów naturalnych nie przewyższa wymagań norm, wówczas nie jest wymagane wykonywanie uziomów sztucznych z wyjątkiem uziomów zdalnego zasilania. Również w przypadku obawy prądów stałych płynących stale do ziemi należy budować uziomy sztuczne o niskiej rezystancji, a uziomy naturalne łączyć tylko w celu zrównania potencjałów.

#### 4.1.1. Powłoki ołowiane i pancerze kabli

Powłoki ołowiane kabli telekomunikacyjnych oraz pancerze kabli energetycznych i telekomunikacyjnych mogą być użyte jako uziomy, jeżeli liczba kabli wychodzących z rozpatrywanego obiektu i ułożonych w ziemi jest co najmniej równa dwóm.

#### 4.1.2. Rurociągi wodne, ogrzewnicze, kanalizacyjne i gazowe

Najkorzystniejsze z powodu bardzo niskiej rezystancji (w dużych miastach około  $0,2 + 0,4 \Omega$ ) są rurociągi wodne wykonywane dotychczas z metalu. Wykorzystanie rurociągów wodnych musi być zgodne z przepisami budowy urządzeń elektrycznych [69] w części odnoszącej się do wykorzystania sieci i instalacji wodociągowych do uziemiania urządzeń i instalacji elektroenergetycznych. Rurociągi kanalizacyjne wykonane z metali są mniej korzyst-

ne do wykorzystania jako uziomy, gdyż niektóre połączenia kielichowe uszczelniane azbestem lub cementem mogą wykazywać dużą rezystancję przejścia.

Rurociągi ogrzewnicze i gazowe mogą być użyte tylko jako dodatkowe obniżenie rezystancji uziemień a nie jako uziemienie jedyne. Wykorzystanie ich musi być zgodne z cytowanymi już przepisami budowy urządzeń elektrycznych (Wydanie VI. 1970 r.). Oczywiście, że wszystkie wymienione powyżej rodzaje rurociągów mogą być wykorzystane w celach uziomowych dopóki są budowane z materiałów przewodzących prąd elektryczny, a nie z tworzyw sztucznych. Ponadto należy zastrzec, że przewody uziomowe należy dołączać do rurociągów wody przed wodomierzem lub zaworem zamykającym dopływ wody do obiektu, względnie wodomierze czy zawory powinny być zbocznikowane. Aby między różnymi instalacjami rurociągów i powłok kabli nie występowały niebezpieczne różnice potencjałów, należy łączyć te różne instalacje na tablicy zbiorczej uziomów, a w budynkach rozległych - z pierścieniem uziomowym w kilku miejscach, tworząc w ten sposób ekwipotencjalny układ uziemień. Ponadto, ze względu właśnie na ekwipotencjalność układu, konstrukcje żelbetowe powinny być również łączone do wspólnego układu uziemień.

#### 4.1.3. Konstrukcje żelbetowe (stalowe) budynków i słupów

Pręty budowli żelbetowych i oczywiście konstrukcje stalowe należy łączyć do wspólnej tablicy uziomów nie tylko ze względu na ekwipotencjalność układu, ale rów-

niez ze względu na zmniejszenie rezystancji uziemień. Dawniej nie uwzględniano, przy projektowaniu uziemień, wpływu na konduktancję konstrukcji żelbetowych. Okazuje się jednak, że jakkolwiek beton suchy ma znaczną rezystywność, to beton nawet nie zbrojony umieszczony w gruncie ma rezystywność stosunkowo niewielką - około  $3 \cdot 10^4 \Omega \text{cm}$ . Nawet beton umieszczony w gruncie suchym utrzymuje jednak dużą wilgotność. Z tych też powodów słupy żelbetowe niejednokrotnie nie wymagają budowy uziomów sztucznych, gdyż ich rezystancja, jako uziomu, jest w granicach normy.

#### 4.2. Uziomy sztuczne i ich budowa

Urządzenia zbudowane specjalnie dla celów uziemiania nazywamy uziomami sztucznymi. Odróżniamy dwa zasadnicze rodzaje uziomów, a mianowicie: poziome i pionowe.

W celu ustalenia, jaki rodzaj uziomu powinien być wybudowany należy wykonać dokładne pomiary rezystywności gruntu na kilku głębokościach, w miejscach możliwych do umieszczenia uziomu.

Nawet przed ustaleniem lokalizacji jakiegokolwiek obiektu telekomunikacyjnego, wymagającego stosowania dobrych uziemień, powinny być przeprowadzone rozpoznawcze pomiary. Wstępne rozeznanie mogą dać mapy geologiczne, pozwalające uzyskać przybliżone wytyczne dotyczące konduktywności gruntu. Średnia rezystywność większości gruntów w Polsce jest niezbyt wysoka, często dzięki dość płytko znajdującej się wodzie zaskórnej i brakowi

podłoża skalistego. Nie usprawiedliwia to jednak w wielu przypadkach niedoceniaania możliwości wytypowania miejsca na uziom drogą przeprowadzenia wstępnych pomiarów rozpoznawczych i uzyskania dobrego uziemienia bez konieczności późniejszego stosowania sztucznych środków poprawy jakości uziemienia. Niestety wiele uziemień, zwłaszcza wzdłuż napowietrznych linii telekomunikacyjnych i przy słupach kablowych, buduje się nie tylko bez badań konduktywności gruntu, lecz także bez dokładnego projektu technicznego. Odstępstwo od badania konduktywności gruntu może być dopuszczalne jedynie przy projektowaniu uziemień abonentowych, uziemień liniowych (z wyłączeniem kabli najkosztowniejszych) oraz uziemień dla bardzo małych obiektów łączności. W tych przypadkach można by opierać się na przypuszczalnym składzie gruntu uzyskanym z materiałów badań geologicznych w danej okolicy. Trzeba jednak zaznaczyć, że omyłki przy przewidywanej rezystywności gruntu bez dokonywania pomiarów mogą być bardzo znaczne. Pochodzi to stąd, że przewidywania opierają się zazwyczaj na danych głębokości lustra wody gruntowej. Zdarza się jednak, że woda gruntowa zawiera tak niewielkie ilości rozpuszczanych soli, że przewidywana rezystancja uziomów, zakopanych nawet poniżej lustra wody, w gruntach piaszczystych, różni się nieraz kilkadziesiąt razy od rezystancji zmierzonej.

Najodpowiedniejszym jednak kształtem uziomu dla olbrzymiej większości gruntów w Polsce są uziomy pionowe, sięgające możliwie daleko w głąb ziemi. Wyjątek od tej zasady stanowią grunty skaliste lub zawierające podgle-

bie kamieniste albo grubo żwirowe. W takich gruntach może niekiedy okazać się łatwiejsza do wykonania budowa uziomów poziomych, taśmowych, a może nawet płytowych. W Polsce jednak przypadki takie zdarzają się dość rzadko i przeważnie w okolicach podgórskich.

Przy budowie nowych uziemień należy przede wszystkim przestrzegać, aby uziomy były wykonane z właściwych materiałów, dostosowując materiał do składu chemicznego gruntu. Ma to na celu niedopuszczanie do znaczniejszej korozji, gdyż tworzące się na powierzchni uziomów związki chemiczne o dużej oporności pogarszają wartość uziemienia. Ponadto każdy uziom należy umieszczać dostatecznie głęboko w ziemi w celu uwolnienia uziemienia od szkodliwych wpływów wahań temperatury i wilgotności gruntu. Dotyczy to nawet górnego końca uziomów pionowych, gdyż żelazo jako dobry przewodnik ciepła przenosi niską temperaturę w głąb. Następnie zwracać trzeba uwagę, aby ziemia była dobrze ubita, ale tylko dokoła uziomu w celu zapewnienia dobrego przylegania ziemi do uziomu. Wreszcie należy zwracać baczną uwagę na grunt w miejscu, gdzie uziom ma być zakopany oraz na głębokość wody zaskórnej.

#### 4.2.1. Uziomy poziome

Uziomy poziome budowane są w przypadku, gdy górne warstwy gruntu na głębokości do 1 (1,5) metra mają lepszą przewodność niż warstwy dolne i warstwy głębokie, a zwłaszcza wówczas, gdy głębsze warstwy są skaliste. Uziom

my te buduje się z taśmy stalowej lub z drutów stalowych. Taśmy stalowe, zwane bednarką, mają wymiary 3 x 20 + 5 x 30. Ze względu na aktywność korozyjną gruntów na niewielkiej głębokości stosuje się zazwyczaj zarówno druty, jak też bednarkę ocynkowaną. Bednarkę lub drut układa się w rowach na głębokości nie mniejszej niż 0,7 m ze względu na głębokość przemarzania gruntu (rys. 2 oraz tablica 4). Szerokość rowu może być równa szerokości łopaty. Uziomy poziome buduje się w postaci promieni o długości kilku do kilkudziesięciu metrów, wychodzących z jednego punktu lub w postaci otoku dokoła budynku chronionego od wyładowań atmosferycznych.

#### 4.2.2. Uziomy pionowe

Poza uziomami piorunochronnymi - otokowymi i uziomami specjalnymi dla urządzeń nadawczych radia - stosowane są w Polsce dla potrzeb telekomunikacji zazwyczaj uziomy pionowe, a nie poziome. Jest to spowodowane tym, że poza dobrze przewodzącą warstwą gleby stanowiącą około 30 cm, górne warstwy gruntu są najczęściej gorzej przewodzące niż dolne, choćby ze względu na wodę zaskórną występującą na pewnych głębokościach, najczęściej około kilku metrów. Ponadto uziomy pionowe zajmują niewielki obszar na powierzchni ziemi, co w wielu przypadkach ma duże znaczenie. Uziomów pionowych jest kilka rodzajów.

4.2.2.1. Uziomy płytowe. Ten rodzaj uziomów pionowych wyszedł prawie całkowicie z użycia. Jedynie w państwach

bogatych i zasobnych w miedź buduje się jeszcze uziomy z płyt miedzianych. W Polsce uziomy płytowe budowano z blach stalowych ocynkowanych o wymiarach 1000x500x3 mm i zakopywano je w pozycji pionowej, przy czym dolna krawędź płyty była na głębokości 2 + 3 metrów. Trzeba więc było kopać dość głębokie doły, co pociągało za sobą znaczne koszty robocizny, sam zaś uziom nie przedstawiał najczęściej dużej wartości technicznej.

4.2.2.2. Uziomy rurowe. Ten typ uziomów pionowych również coraz bardziej wychodzi z użycia ze względu na niepotrzebnie duże koszty materiałów i robocizny. Wiadomo przecież, że na obniżenie rezystancji uziomu nie ma prawie wpływu średnica rury czy pręta, a jedynie ich długość [20].

Do budowy uziomów rurowych stosuje się rury stalowe najczęściej ocynkowane o średnicy co najmniej 1,5 cala i długości 2,5 m lub 3 m i o grubości ścianki 2,5 mm. Uziomy dłuższe buduje się z rur 3-metrowych łączonych mufkami na gwint, ale grubość ścianki musi być większa, co najmniej 3 mm. Uziomy te wprowadza się do ziemi za pomocą wkręcania lub wbijania młotem. Obydwie metody są bardzo uciążliwe, gdyż opór stawiany przez grunt dla takiej średnicy rury jest bardzo duży. Jednak czasem budowa uziomów rurowych jest konieczna (na przykład do uziomów z ulepszaniem przewodności gruntu). Przy budowie tych uziomów należy zwracać uwagę, aby górny koniec rury był zagłębiony pod powierzchnią ziemi poniżej 0,5 m ze względu na przemarzanie ziemi.



4.2.2.3. Uziomy szpilkowe. Najbardziej nowoczesnym typem uziomów pionowych są uziomy szpilkowe. Buduje się je sposobem ręcznym lub mechanicznym z prętów stalowych, najczęściej nieocynkowanych, o średnicy 10–18 mm i długości 3 do 5 m, tj. takiej, jaką produkują huty. Pręty (łączone w celu przedłużenia) wbija się do głębokości 15 + 25 m, zależnie od uwarstwienia gruntu i od konduktywności tych warstw. Łączenie prętów wykonywane jest różnymi sposobami.

a) Łączenie za pomocą spawania

Przy spawaniu stosuje się kleszcze (rys. 6), które służą do utrzymywania prętów w osi uziomu. Należy przy tym mocno zaciskać pręty śrubami motylkowymi w uchwytach, aby nie mogły ulec przesunięciu. Przy spawaniu należy tak mocować pręty, aby kleszcze miały luz w obydwie strony. Jest to ważne dlatego, żeby po spawaniu, gdy pręty będą stygły i kurczyły się, nie uległo rozerwaniu miejsce spawu. W tym też celu należy natychmiast po wykonaniu spawania zluźnić śrubę motylkową, zaciskającą górny pręt. Rodzaj spawania za pomocą płomienia tleno-acetylenowego jest odpowiedni przy budowie uziomów na trasie linii telekomunikacyjnych, gdzie nie ma źródła prądu elektrycznego. Ten sposób łączenia jest bardzo pewny, wymaga jednak umiejętności i dokładności.

Przed przystąpieniem do spawania pręty powinny być zkosowane, tj. ścięte lub zeszlifowane mechanicznie według rys. 7. Nie dopuszcza się ukosowania prętów palnikiem tleno-acetylenowym. Następnie należy końce prętów

dokładnie oczyścić z rdzy, brudu, smaru i innych zanieczyszczeń. Przy budowie uziomów stosuje się pozycję spawania pionową. Samo spawanie wykonuje się palnikiem z końcówką nr 3; większe palniki zbyt szybko przepalają miejsce spawu, natomiast mniejsze przedłużają niepotrzebnie czas spawania i nie rozgrzewają wystarczająco prętów.

Jako spoiwo stosuje się drut w gatunku SP1A o średnicy 3+4 mm lub drut z tego samego materiału 60 pręty. Spawać należy "metodą w prawo", stosując możliwie dużą szybkość spawania, a więc nie dopuszczając do nadmiernego przegrzania prętów. Układ warstw jak na rys. 8.

Przy spawaniu należy szczególnie uważać, by nie zalewać ciekłym metalem nieprzetopionej powierzchni dolnego pręta (groźba przyklejenia). Należy ponadto przestrzeżać dokładnego przetopienia i połączenia metalu grani spoiny z dodawanym spoiwem przy układaniu warstwy 3. Przy układaniu warstw 2 i 4 szczególną uwagę należy zwrócić na dobre wtopienie w poprzednią warstwę, aby uniknąć przyklejeń. W czasie spawania należy uważać, aby objętość metalu w jeziorku nie była zbyt duża, gdyż może to spowodować rozlanie metalu na zimny materiał i w konsekwencji powstanie przyklejenia.

Wbijanie prętów spawanych płomieniem tleno-acetylenowym można rozpoczynać prawie bezpośrednio po zakończeniu spawania i usunięciu kleszczy.

Również spawanie elektryczne jest bardzo mocne, jednak może być stosowane tam, gdzie rozporządzamy stałym źródłem energii elektrycznej. Metoda ta wymaga równie

dokładnego spawania, jak przy spawaniu tleno-acetylenem.

Do spawania elektrycznego potrzebne jest źródło prądu oraz spawarka. Najlepiej nadaje się do tego celu spawarka wirująca typu EW. Może być zastosowana na przykład spawarka prądu zmiennego (EW-21 n) o cechach następujących:

T a b l i c a 9

Napięcie zasilające [V]	Prąd zasilający [A]	Prąd wtórny [A]
127	85	50 - 300
220	45	
380	28	
500	22	

W razie braku spawarki wirującej typu EW można użyć spawarki transformatorowej, na przykład typu E.Ta-250. Należy stosować elektrody o średnicy 3,25 mm, typu EP49-29P. Spawy wykonane tym typem elektrod wytrzymują udarność 13-25 kGm/cm<sup>2</sup>. Wszelkie inne typy elektrod dają spaw o znacznie mniejszej udarności. Otrzymanie wysokiego stopnia udarności ma dla naszych celów duże znaczenie, aby przy wbijaniu prętów w ziemię miejsce spawu nie pękało. Do spawania obydwojma sposobami stosuje się pręty o średnicy 10 + 18 mm ze stali łatwopalnej typu 20, 25 lub ST4S.

## b) Łączenie na ołów przy ręcznym wbijaniu prętów

Sposób ten nie nadaje się do prętów o średnicach cieńszych od 18 mm. Sposób przygotowania końców prętów do łączenia za pomocą ołowiu przedstawia się następująco: pierwszy zaostrowany na jednym końcu pręt ma na drugim końcu (przy wbijaniu ręcznym) zatoczenie w postaci trzpienia (rys. 9). Następne pręty na jednym końcu mają wywiercony otwór w postaci mufki, a na drugim zatoczenie (trzpień) (rys. 10). Po wbiciu pierwszego pręta, tak aby górny jego koniec wystawał około 30 cm nad ziemią (ułatwi to obserwację prawidłowego wprowadzania w ziemię drugiego pręta), należy oczyścić jego zatoczenie jak i otwór następnego pręta, aby usunąć ślady rdzy. Następnie na wierzch trzpienia pręta wbitego w ziemię kładzie się dwa krążki ołowiu o średnicy 12 mm i grubości 3 mm i ostrożnie (ażeby ich nie strącić) nakłada następny pręt z mufką na końcu. Należy zwracać uwagę, aby krążki ołowiane nie były większe ani grubsze niż podano na rys. 11, gdyż większa ilość ołowiu powoduje rozsadzanie otworu w pręcie. Jeżeli krążki wykonane są z blachy ołowianej grubszej niż 3 mm, to objętość krążków musi być taka sama, około  $360 \text{ mm}^3$ . Przy wbijaniu następnych prętów następuje jednocześnie łączenie się prętów ze sobą.

Przy łączeniu pierwszych prętów, zwłaszcza w gruntach bardzo lekkich, jak sypkie piachy, opór stawiany przez ziemię przy wbijaniu młotem prętów uziomowych może być zbyt mały, aby nastąpiło prawidłowe połączenie prętów

na ołów. Należy wówczas użyć przyrządu obejmującego pręt dolny, wykonanego jak na rys. 12, w celu zapobieżenia zbyt szybkiemu zagłębianiu się uziomu podczas łączenia prętów. Przyrząd ten umieszczony na ziemi i obejmujący pręt wbity zapobiega jednocześnie tworzeniu się lejka dookoła pręta na skutek jego drgań przy uderzeniach młota.

Podczas uderzeń w górny pręt ołów, jako miękki metal, poddaje się i wypełnia wolne miejsca w mufce, stwarzając tym samym dobrą przewodność elektryczną wzdłuż połączonych prętów. Wbijanie prętów wykonuje się przy użyciu młota 3 kG i nasadki na pręt (rys. 13 lub 14). Do łączenia na ołów stosuje się pręty o średnicy nie cieńszej od 18 mm, ze stali walcowanej twardej typu 45G lub 45.

### c) łączenie przy użyciu ołowiu i mechanicznym wbijaniu prętów

W tym przypadku do łączenia prętów stosujemy przyrząd zaciskający (rys. 15 i 16).

Łączenie za pomocą tego przyrządu jest wykonywane w następujący sposób: na końcu wbitego w ziemię pręta jest wywiercony otwór, a na końcu pręta dołączanego jest zatoczony trzpień o średnicy większej o 0,7 do 0,8 mm od średnicy otworu (rys. 17).

Przyrząd ma za zadanie dokładnie osiowo wcisnąć zatoczony trzpień jednego odcinka pręta w wywiercony otwór w drugim odcinku pręta.

Główne części składowe przyrządu:

- a) podnośnik hydrauliczny,
- b) uchwyty: górny i dolny,
- c) stojak,
- d) podwozie.

Elementy wymienione w punktach a i b stanowią zasadniczą część tego elementu. Kompletna dokumentacja przyrządu zaciskającego opracowana została w Instytucie Łączności.

Łączenie prętów uziomowych za pomocą przyrządu zaciskającego ma duże zalety:

a) tolerancja średnic otworu i trzpienia jest dość duża (łatwość obróbki) i wynosi około  $\pm 0,05$  mm,

b) średnica trzpienia jest większa niż średnica otworu (rys. 17), wobec czego trzpień jest wciskany do otworu siłą około 5 ton,

c) połączenia w ten sposób wykonane gwarantują długotrwałość budowanego uziomu,

d) siła rozrywająca dobrze wykonanego połączenia tym przyrządem, zmierzona na zrywarce pionowej, wynosi około 3 tony. Mimo tak znacznej siły rozrywającej, uziom zbudowany tym sposobem nie nadaje się do wyciągania go z ziemi przy zastosowaniu wibromłota ze względu na działanie sił uderzeniowo-wibracyjnych. Uziom taki można wyciągać z ziemi, bez obawy rozerwania, za pomocą szczyt hydraulicznych i dźwigni ręcznej.

Przy użyciu podanej ilości ołowiu zwiększenie średnicy zewnętrznej pręta wynosi 1 do 1,5 mm. Przyjmując nawet miejscowe spęcznienie, tj. zwiększenie średnicy o 2 mm, otrzymamy po przeliczeniu, że wydłużenie trwałe średnicy wynosi zaledwie 11%, a więc znacznie poniżej dopuszczalnej granicy, ponieważ wg normy PN-61/H-84019 granica procentowego wydłużenia trwałego stali typu 45 wynosi 16%, zaś stali typu 45G wynosi 15%. Nie mogą więc powstać jakiegokolwiek rysy (pęknięcia) na pręcie łączonym przy użyciu podanej ilości ołowiu.

Wibromłot stosowany przy budowie uziomów szpilkowych sposobem mechanicznym składa się z trzech zasadniczych elementów:

- a) zespołu napędowego (spalinowego lub elektrycznego),
- b) zespołu mocującego pręty,
- c) zespołu wibracyjno-uderzeniowego.

Wibromłot podwieszony jest przy pracy na składanym trójnogu. Dokładniejsze dane o budowie wibromłota zawarte są w dokumentacji techniczno-ruchowej, opracowanej przez wykonawcę wibromłotów według wymagań techniczno-eksploatacyjnych Instytutu Łączności.

Pierwszą czynnością przy wbijaniu prętów sposobem mechanicznym jest rozstawienie trójnogu, na którym ma być zawieszony wibromłot. Należy zwracać uwagę na równoboczne i symetryczne rozstawienie nóg trójnogu, tak aby ciężar wibromłota w równych częściach rozkładał się na każde z ramion trójnogu. Po rozstawieniu trójnogu, na stanowisku pracy należy zawiesić wibromłot, a następnie wpro-

wadzić do mocujących uchwyty wibromłota pierwszy za-  
ostrzony pręt przeznaczony do wbijania. Zaostrzony pręt  
należy lekko wbić w ziemię poprzez otwór w płycie sta-  
lowej, widocznej na rys. 18 i 19, zwracając uwagę na je-  
go pionowe (osiowe) ustawienie. Od ustawienia pierwsze-  
go pręta zależy dokładne osiowe wbicie całego uziumu.  
Następnie należy wibromłot zamocować na wbijanym pręcie  
tak, aby najniższy punkt wibromłota znajdował się na wy-  
sokości 1 m nad ziemią.

Po wbiciu pierwszego pręta, tak aby wibromłot oparł  
się na płycie żelaznej, należy przerwać pracę wibromłota  
bez zatrzymywania silnika, zluzować uchwyty mocujące  
pręt i podciągnąć wibromłot na około 1,5 m nad ziemią.

Podniesiony wibromłot należy zabezpieczyć przed ewen-  
tualnym opadnięciem za pomocą linki bezpieczeństwa. Na-  
stępnie należy oczyścić otwór w wbitym pręcie i trzpień  
następnego pręta z pozostałości zanieczyszczeń oraz śla-  
dów rdzy. Do otworu pręta wbitego w ziemię wkłada się  
krążek ołowiu o średnicy 12 mm i grubości 8 mm, zaś w  
wyfrezowany rowek w trzpieniu wkładamy płytkę z ołowiu  
(rys. 17c i d). Po wykonaniu tych czynności należy wpro-  
wadzić do uchwyty wibromłota następny pręt z trzpieniem  
na dole i przystąpić do zaciskania łączonych prętów. W  
tym celu ustawia się najpierw uchwyty zaciskające przy-  
rzędu do wysokości wbitego pręta, zaciska się uchwyty  
na wbitym i następnym pręcie, i za pomocą dźwigni powo-  
duje się nacisk podnośników na łączone pręty. Po zaciś-  
nięciu prętów zwalnia się nacisk podnośników oraz uchwy-  
tów mocujących pręty i odsuwa przyrząd zaciskający. Miej-



sce połączenia prętów należy posmarować lakierem asfaltowym lub innym środkiem antykorozyjnym. Podczas wbijania połączonych odcinków uziomu należy zwracać uwagę, aby wibromłot był mocowany najbliżej miejsca połączenia prętów do momentu wprowadzenia złącza do ziemi.

Po osiągnięciu żądanego oporu uziomu (tabl. 6) względnie gdy opór uziomu przestaje zmniejszać się przy dalszym wbijaniu prętów, wbijanie należy przerwać. Po ukończeniu wbijania prętów, górny koniec ostatniego pręta będzie wystawał około 0,5 m nad powierzchnią gruntu (pręt mocowany jest u góry wibromłota).

Następnie należy wykopać rowek od uziomu w kierunku centrali telekomunikacyjnej lub słupa o głębokości 0,75 m od powierzchni gruntu dla ułożenia taśmy (linki) odprowadzającej. Górny koniec pręta należy pobielić cyną przy użyciu lampy lutowniczej, założyć na niego uchwyty i mocno skręcić razem z założoną taśmą ocynkowaną (dla urządzeń stacyjnych), linką stalową ocynkowaną o średnicy 3-4 mm (dla słupów teletechnicznych) lub linką miedzianą o średnicy 2-3 mm (dla instalacji abonenckich). Wystający odcinek pręta należy tak podgrzać lampą lutowniczą w miejscu przewidywanego zagięcia pręta, aby swobodnie dał się ułożyć w wykopanym rowku razem z taśmą (linką) odprowadzającą.

Przewód lub taśmę odprowadzającą należy zabezpieczyć dodatkowo przed korozją na długości co najmniej 0,5 m pod ziemią i 0,5 m nad ziemią przez pokrycie lakierem asfaltowym. Tak samo należy pokryć lakierem asfaltowym miejsce łączenia z uziomem. Ponadto należy zabezpieczyć

przewód odprowadzający przed uszkodzeniami mechanicznymi wzdłuż ściany budynku za pomocą korytka na długości około 1,5 m nad powierzchnią ziemi i 0,2 m pod powierzchnią.

Na drewnianych słupach linii napowietrznej należy przewód odprowadzający umocować w odstępach co 30 cm za pomocą skobelków lub klamerek. Górny koniec przewodu odprowadzającego należy umocować do wierzchołka słupa, wyprowadzając go na 15 + 20 cm ponad wierzchołek słupa.

Słupy strunobetonowe i żelbetowe mają w środku specjalny przewód odgromowy, który należy połączyć z uzio-  
mem za pomocą klamry i zabezpieczyć od korozji miejsce  
łączenia.

#### 4.2.3. Uziomy wielokrotne i mieszane

Jeżeli pojedynczy uziom poziomy lub pionowy (szpilkowy) nie spełnia warunków wymaganej rezystancji, wówczas trzeba budować uziom wielokrotny, a nawet mieszany. W celu utworzenia uziomu wielokrotnego należy uziomy pojedyncze łączyć ze sobą równolegle. Gdy uziom poziomy (otokowy dokoła budynku) nie spełnia warunków rezystancji, wówczas należy go uzupełniać uziomami szpilkowymi, tworząc w ten sposób uziom mieszany.

Przy budowie uziomów wielokrotnych szpilkowych należy zwracać uwagę na odległości między poszczególnymi szpilkami. Mianowicie przy kilku szpilkach (3-4) odległości te nie mogą być mniejsze niż 3 m przy długości szpilek do 5 m, a przy dłuższych szpilkach odpowiednio

większe. Przy szpilkach do 20 m odległości muszą już wynosić około 9 m. Gdy szpilek jest kilkanaście, wówczas odległości te zwiększają się nawet podwójnie w stosunku do wyżej podanych.

## 5. PROJEKTOWANIE SIECI UZIEMIEN

### 5.1. Wybór miejsc pod budowę uziomów

Przed przystąpieniem do projektowania uziemień należy ustalić miejsca na uziomy. Mimo że według obecnej zasady ekwipotencjalności uziemień, a więc zasady łączenia wszystkich uziomów naturalnych i sztucznych na wspólnej tabliczce uziemień, należy jednak tak rozmieścić uziomy sztuczne, aby najbliżej fundamentów budynku znalazł się uziom odgromowy otokowy. Nie może on jednak znajdować się bliżej fundamentów budynków niż  $1 + 1,5$  m ze względu na brak wilgotności w gruncie. Ponadto uziomy sztuczne dla stacji radionadawczych średniofalowych i nadajników telewizyjnych we wspólnych budynkach powinny być osobne i uziom dla telewizji powinien być usytuowany możliwie blisko budynku, gdyż instalacji odgromowej na takich budynkach nie ma. Inne uziomy mogą być oddalone od budynku.

### 5.2. Obliczenia rezystancji uziomów

Mając ustalone miejsce pod budowę uziomów oraz rezystywność  $\rho$  gruntu w tych miejscach, należy najpierw zastanowić się, jaki typ uziomu zaprojektować i jakie wy-

miary. W tym celu na podstawie rezystywności gruntu na różnych głębokościach obliczamy rezystancję uziomu, zmieniając jego długość (zarówno uziomów pionowych, jak też poziomych - stekowych). Dla uziomu pionowego stosuje się wzór przybliżony, wystarczająco dokładny dla wstępnych obliczeń

$$R \approx 0,9 \frac{\rho}{l} \quad (1)$$

Dla uziomów poziomych

$$R \approx 2 \frac{\rho}{l} \quad (2)$$

$l$  - długość poziomu,

$\rho$  - rezystywność gruntu na głębokości  $l$  dla uziomów pionowych, zaś na głębokości  $0,5 - 1$  m dla uziomów poziomych.

W gruntach piaszczystych, bardzo źle przewodzących nie wystarcza częstokroć jeden uziom głęboki, ale trzeba ich budować kilka. Przy uziomach głębinowych zazwyczaj wystarcza 2 + 4-krotny uziom głębinowy.

Oczywiście rezystancja uziomu wielokrotnego  $R_w \neq \frac{R}{n}$ , gdyż wzajemne oddziaływanie prętów powoduje zwiększenie gęstości prądu w jednych obszarach, a utrudniony wypływ prądu w innych (rys. 20).

Rezystancję wypadkową dla uziomu wielokrotnego oblicza się więc ze wzoru

$$R_w = \eta \frac{R}{n}$$

gdzie:

$\eta$  - współczynnik wykorzystania uziomu,

$R_w$  - wypadkowa rezystancja,

$R_n$  - rezystancja jednego uziomu według wzoru (1)  
lub (2),

$n$  - liczba uziomów.

Przy 2, 3 lub 4 uziomach można przyjąć  $\eta \approx 0,9$ , jeżeli rozstawienie uziomów (odległości) jest równe od 3 do 9 m proporcjonalnie do długości i prętów od 3 do 20 m.

### 5.3. Nagrzewanie gruntu w czasie pracy uziomów

Zagadnieniu temu nie poświęca się wystarczająco duże uwagi nie tylko w służbie łączności, lecz również w energetyce. Wypływają stąd mylne wnioski, że uziomy można wykonywać z drutu o średnicy 3+4 milimetrów. Należy więc nieco obszerniej zagadnienie to omówić. Otóż zauważmy, że jeżeli przez uziom przepływa prąd elektryczny stale lub tylko przez krótki czas, wówczas  $\theta$  - wzrost temperatury gruntu musi być przeliczany, aby nie dopuścić do przeciążenia, które mogłoby spowodować wyparowanie wilgoci z gruntu otaczającego uziom i olbrzymi wzrost rezystancji uziomu. Gęstość prądu ( $j$ ) dookoła uziomu kulistego (o promieniu  $B$ ) zanurzonego w ziemi zmienia się z odległością  $x$  według wzoru

$$j = \frac{I}{4\pi x^2}$$

Ilość wydzielanego, w każdym elemencie objętości, ciepła  $\rho j^2$  może być znaczna przy wielkiej rezystywności gruntu. Ciepło to jest częściowo przetrzymywane w drobinach ziemi, której średnie ciepło właściwe  $\gamma = 1,75 \cdot$

$\cdot 10^6 \frac{\text{Ws}}{\text{m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}}$ , częściowo zaś ciepło przewodzone od wyższej do niższej temperatury wewnątrz ziemi, przy czym średnia przewodność cieplna wynosi dla ziemi  $\lambda \approx 1,2 \frac{\text{W}}{\text{m } ^\circ\text{C}}$ .

Równanie różniczkowe cieplnej przewodności dokoła kuli w kierunku jej promieni jest:

$$\gamma \frac{d\theta}{dt} - \frac{\lambda}{x} \frac{d^2(x\theta)}{dx^2} = \rho j^2$$

Trudno jest otrzymać ogólne rozwiązanie tego równania, gdyż  $j$  zmienia się wraz z  $x$ . Jednakże należy rozpatrzeć obydwa stany grzania określone przez częściowe całkowanie równania, odpowiadające stanowi ustalonemu i stanowi chwilowemu.

### 5.3.1. Nagrzewanie ciągle

Dla ciągłego prądu wypływającego do ziemi pochodna względem czasu równania różniczkowego znika i równanie przybiera formę:

$$\lambda \frac{d^2(x\theta)}{dx^2} + \frac{\rho}{x^3} \frac{I}{4\pi}^2 = 0$$

Przy pomocy dwu prostych całkowań rozwiązanie dla rozchodzenia się temperatury na odległość  $x$  będzie:

$$\theta = \frac{\rho}{\lambda} \left( \frac{I}{4\pi} \right)^2 \cdot \frac{1}{x} \left( \frac{1}{B} - \frac{1}{2x} \right)$$

Najwyższa temperatura ziemi na uziomie przy  $x = B$  wyniesie:

$$\theta_B = \frac{\rho}{2\lambda} \left( \frac{I}{4\pi B} \right)^2$$

i zależeć będzie jedynie od parametrów ziemi  $\rho$  i  $\lambda$  oraz od liniowej gęstości prądu  $\frac{I}{B}$ . Wobec tego dopuszczalny prąd wpływający do ziemi z kulistego uziomu wyniesie:

$$I = 4\pi B \sqrt{2 \frac{\lambda}{\rho} \theta} = \frac{1}{R} \sqrt{2\rho\lambda\theta}$$

gdzie prawa strona równania otrzymana jest przez wprowadzenie rezystancji:

$$R = \frac{\rho}{4\pi B}$$

W ten sposób najwyższy prąd, nie wywołujący niewłaściwego grzania ani spadku napięcia, wychodzący z uziomu jest określony jedynie przez parametry ziemi, przez rezystywność i dopuszczalny wzrost temperatury  $\theta$ . Z tego równania można również obliczyć wymaganą rezystancję  $R$  uziomu przy danym prądzie upływu.

Ponieważ rozptyw ciepła i rozptyw prądu dokoła uziomów są niezależne od ich kształtu, wyrażenie więc z prawej strony powyższego równania jest ważne nie tylko dla

uziomów kulistych, ale dla wszelkich kształtów uziomów.

Napięcie na uziemiu, mierzone od powierzchni metalu do wystarczająco odległego punktu, znajdujemy z prawej strony tego równania

$$E_c = IR = \sqrt{2\rho\lambda\theta}$$

Poza parametrami uziemienia napięcie  $E_c$  zależy jedynie od dopuszczalnego wzrostu temperatury w stanie ustalonym. Odwrotnie, napięcie przyłożone do uziomu określa jego temperaturę dla stanu ustalonego. Wnioski te są słuszne dla każdego kształtu uziomu.

**P r z y k ł a d 1.** Przyjmując  $\theta = 60^\circ\text{C}$ , wówczas dla gruntu wilgotnego  $\rho = 10^2$  będzie:

$$E_c = \sqrt{2 \cdot 10^2 \cdot 1,2 \cdot 60} = 120 \text{ V}$$

Napięcie to nie może być przekroczone, jeżeli wzrost temperatury  $\theta$  nie może zwiększyć się.

Dopuszczalna gęstość prądu na powierzchni uziomu, gdzie występuje najwyższa temperatura określa się dla uziomu kulistego:

$$j_c = \frac{I}{4\pi B^2} = \frac{1}{B} \sqrt{2 \frac{\lambda}{\rho} \theta}$$

Dla przykładu powyższego

$$j_c = \frac{1}{1 \text{ m}} \sqrt{2 \frac{1,2}{10^2} 60} = 1,2 \text{ A/m}^2$$



Wobec tego dozwolona gęstość prądu ciągłego jest dla uziomu dość mała. Ziemia otaczająca uziom nie może rozgrzać się do temperatury wysokiej, np.  $80 + 90^{\circ}\text{C}$ , gdyż wilgoć wyparowałaby i prąd przestałby praktycznie płynąć.

**P r z y k ł a d 2.** Przyjmijmy pręt o średnicy 18 mm i głębokości wbicia 20 m.

Zamiany tego pręta na promień B uziomu półkulistego dokonuje się według tabl. 10, a mianowicie  $B = \frac{D}{2} \approx 2,46 \text{ m}$

$$j = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2\lambda\theta}{\rho}} = \frac{1}{2,4} \sqrt{\frac{2 \cdot 1,2 \cdot 60}{10 \cdot 10^2}} = 0,15 \text{ A/m}^2$$

Wobec tego jeden metr takiego pręta może odprowadzić do ziemi  $j \cdot S = 0,15 \cdot 0,0595 = 0,0089 \text{ A}$ , gdzie S powierzchnia pręta, zaś cały pręt 20 metrowy - 0,178 A.

### 5.3.2. Krótkotrwałe nagrzewanie

Przy krótkotrwałym przepływie prądu przez uziom drugiego człon równania różniczkowego określający przewodnictwo cieplne odgrywa tylko niewielką rolę i może być pominięty. Pozostała część równania różniczkowego otrzymuje postać

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{Q}{\gamma} j^2$$

W ten sposób wzrost temperatury podlega tym samym prawom co przy przewodnikach. Jeżeli rezystywność  $\rho$  oraz ciepło właściwe  $\gamma$  są stałe, wówczas wzrost tempe-

T a b l i c a 10

Wartości liczbowe (w metrach) promienia zastępczego uziomu półkulistego w zależności od długości i średnicy pręta wprowadzonego pionowo do ziemi.

Długość pręta m	Średnica pręta				
	1 cm	2 cm	3 cm	4 cm	5 cm
1	0,18	0,20	0,219	0,23	0,234
2	0,313	0,36	0,37	0,40	0,42
4	0,56	0,608	0,66	0,704	0,73
6	0,802	0,86	0,93	0,99	1,07
8	1,03	1,13	1,20	1,25	1,3
10	1,25	1,37	1,46	1,52	1,548
15	1,79	1,95	2,05	2,13	2,21
20	2,30	2,50	2,63	2,75	2,80
50	5,22	5,61	5,95	6,10	6,26

ratury w funkcji czasu ma charakter liniowy, wobec czego dopuszczalna gęstość prądu wyniesie:

$$j = \sqrt{\frac{\gamma}{\rho} \frac{\theta}{t}}$$

Ponieważ wielkość  $x$  nie występuje w równaniu, więc to równanie jest słuszne dla każdej objętości gruntu i dla każdego kształtu uziomu.

Tak na przykład, uziom szpilkowy umieszczony w ziemi wilgotnej przy założeniu, że wzrost temperatury nie przekroczy  $60^{\circ}\text{C}$  może przepuszczać w ciągu 100 s prąd, którego gęstość nie przewyższy

$$j = \sqrt{\frac{1,75 \cdot 10^6 \cdot 60}{10^2 \cdot 100}} = 100 \text{ A/m}^2$$

co jest wartością dość wysoką. Stąd można obliczyć konieczną powierzchnię uziomu. Dla gruntów piaszczystych z dziesięciokrotnie wyższą rezystywnością krótkotrwały prąd przy tej samej gęstości prądu może być dopuszczony tylko przez 10 s. Większa gęstość prądu lub dłuższy czas przepływu spowoduje wyparowanie wilgoci z ziemi w bardzo krótkim czasie i może nastąpić wyładowanie iskrowe między uziomem a glebą otaczającą uziom.

Napięcie na uziomie przy krótkotrwałym przepływie prądu może osiągnąć bardzo wysoką wartość. W przykładzie poprzednim dla gruntu wilgotnego napięcie jest wyższe niż przy ciągłym przepływie prądu skutkiem stosunku gęstości prądów:

$$\frac{E}{E_c} = \frac{j}{j_c}, \text{ b\u0119dzie wi\u0119c}$$

$$E = 120 \frac{100}{1,2} = 10000 \text{ wolt\u00f3w}$$

Mo\u017cna jeszcze okre\u015bli\u0107 sta\u0142\u0105 czasu  $\tau$  wyznaczon\u0105 jako czas, w ci\u0105gu kt\u00f3rego osi\u0105ga si\u0119 ustalon\u0105 temperatur\u0119. Podstawiaj\u0105c w r\u00f3wnanie

$$\theta = \frac{\rho}{2\lambda} \left( \frac{I}{4\pi B} \right)^2$$

warto\u015b\u0107 g\u0119sto\u015bci pr\u0105du na powierzchni uziomu

$$j = \frac{I}{4\pi B^2}$$

otrzymamy

$$\theta_{\text{ustalone}} = \frac{\rho}{2\lambda} B^2 j^2 = \frac{\rho}{\gamma} j^2 \tau$$

St\u0105d czas do ustalenia si\u0119 nagrzewania dla uziomu kulistego i otaczaj\u0105cej ziemi jest

$$\tau = \frac{1}{2} \frac{\gamma}{\lambda} B^2$$

w uzupe\u0142nieniu parametr\u00f3w cieplnych ziemi,  $\tau$  jest zale\u017any jedynie od kwadratu  $B$ . Tak wi\u0119c dla kuli o promieniu na przyk\u0142ad  $B = 1$  m, czas ustalenia wynosi

$$\tau = \frac{1}{2} \frac{1,75 \cdot 10^6}{1,2} 1^2 = 0,73 \cdot 10^6 \text{ s} = 8,5 \text{ dnia.}$$

Jest to bardzo długi czas spowodowany bardzo niską przewodnością cieplną gleby.

Weźmy jeszcze następujący przykład. Prąd o zmiennym natężeniu płynie do ziemi w ciągu na przykład 4 godzin, tj. 14400 s. Ponieważ dla piasku  $\rho = 10 \cdot 10^2 \Omega \text{ cm}$ , wówczas dopuszczalna średnia gęstość prądu wyniesie

$$j = \sqrt{\frac{\gamma \theta}{\rho t}} = \sqrt{\frac{1,75 \cdot 10^6 \cdot 60}{10 \cdot 10^2 \cdot 14400}} = 1,9 \text{ A/m}^2$$

wobec tego jeden metr pręta o średnicy 18 mm może odprowadzać średnio tylko 0,113 A, a mianowicie:  $j \cdot S = 1,9 \cdot 0,0595 = 0,113 \text{ A}$ .

## 6. BADANIA I KONSERWACJA UZIEMIEN

### 6.1. Rodzaje badań

#### 6.1.1. Oględziny

Oględziny polegają na sprawdzeniu czy uziemienie odpowiada wymaganiom. Należy podczas oględzin zwrócić szczególną uwagę na materiał przewodów i jego zabezpieczenie przed korozją, prowadzenie i zamocowanie przewodów, wykonanie złączy.

#### 6.1.2. Sprawdzenie wymiarów

Polega ono na sprawdzeniu wszystkich wymiarów dotyczących części nadziemnej uziemień.

### 6.1.3. Sprawdzanie stanu uziomów

W tym celu należy odkopać badane uziomy tak, aby były widoczne przewody uziemiające do głębokości co najmniej 0,5 m i złącze tych przewodów z prętami uziomowymi. Należy następnie sprawdzić stan korozji uziomu na długości co najmniej 0,5 m od miejsca przyłącza przewodu uziemiającego oraz czystość styków i ewentualne zanieczyszczenie powierzchni stykowych oraz czy nie są obluzowane śruby (nakrętki).

### 6.1.4. Pomiary rezystancji uziemień

Celem pomiaru jest sprawdzanie zgodności rezystancji z wymaganiami. Pomiary należy wykonywać, o ile możliwości, zawsze tą samą metodą i tym samym przyrządem, notując jednocześnie temperaturę otoczenia, stan wilgotności powietrza i ilość opadów w ciągu tygodnia poprzedzającego pomiar.

Pomiar polega na znalezieniu rezystancji na drodze od uziomu do punktu leżącego poza strefą wpływu prądu elektrycznego płynącego w czasie pomiaru, czyli do ziemi odniesienia. Należy zwracać baczną uwagę na sposób rozstawiania uziomów przy pomiarze rezystancji uziemień, gdyż przeważnie rozstawiane są one niewłaściwie, wobec czego wyniki są zazwyczaj zaniżone. Pomiar rezystancji statycznej uziemienia można wykonać różnymi sposobami, a zazwyczaj:

- a) metodą techniczną,
- b) przy użyciu specjalnych przyrządów.

Niezależnie od obranego sposobu należy zastosować dwa uziomy pomocnicze w postaci prętów, każdy o długości około 1 m. Rozstawienie uziomów pomocniczych, służących do pomiaru rezystancji jednego uziomu pionowego, pokazano na rys. 21. Zasadniczo rozstawia się uziomy pomocnicze w linii prostej, w odległościach pokazanych na rys. 21a. Jeżeli miejsce jest ograniczone, dopuszcza się minimalne odległości, jak uwidoczniono na rys. 21b.

W przypadku gdy teren jest gęsto zabudowany i nie można ustawić uziomów i sondy w linii prostej, wówczas dopuszcza się rozstawienie w odległościach jak na rys. 21c.

Wszelkie inne rozstawianie uziomów pomocniczych i sond powoduje uchyby wskazań przyrządu pomiarowego. Przewody łączące przyrząd z badanym uziomem i uziomami pomocniczymi powinny być typu DG o dwu żyłach miedzianych i przekroju co najmniej  $1 \text{ mm}^2$ . Można by również stosować druty lub linki w plastyku, z warunkiem nie twardnienia na zimnie. Przy uziomach otokowych lub wielokrotnych rozstawienie uziomów pomocniczych ilustruje rys. 22.

Pomiar rezystancji uziomów naturalnych jest znacznie trudniejszy, i tak na przykład przy pomiarze rezystancji uziemienia utworzonego z powłoki kabla lub rurociągu wodnego należy uziomy pomocnicze umieszczać w linii prostej prostopadłej do kabla (rurociągu) i w odległościach większych od 20 m. Nie zapewnia to jednak dużej dokładności.

### a. Pomiar metodą techniczną

Układ pomiarowy pokazany na rys. 23 jest zasilany z sieci prądu zmiennego o napięciu 110, 220 lub 380 V poprzez transformator, aby uniknąć wpływu prądów upływowych sieci na wynik pomiaru.

Rezystancję obliczamy ze wzoru

$$R = \frac{U}{I}$$

Ten sposób pomiaru jest bardzo kłopotliwy, gdyż wymaga stosowania pomocniczego źródła prądu o dużej mocy, a mianowicie prąd pomiarowy  $I$  powinien mieć natężenie  $10 + 30$  A. Ponadto, aby błąd pomiaru był niewielki, należy stosować woltomierz o dużej rezystancji wewnętrznej. Z tych względów ten sposób pomiaru jest stosowany tylko w bardzo rzudkich przypadkach braku odpowiedniego przyrządu.

### b. Pomiar przy użyciu specjalnych przyrządów

Najwyższe dopuszczalne rezystancje sondy i uziomu pomocniczego zależne są od stosowanych przyrządów pomiarowych.

Przyrządy oparte na metodzie amperomierz-woltomierz (Megger produkowany w Anglii, MC-07 - produkowany w ZSRR) dopuszczają rezystancję sondy do 1000 omów; rezystancja zaś uziomu pomocniczego jest zależna od rezystancji uziomu badanego i jest podana w poniższej tablicy.



T a b l i c a 11

Rezystancja uziomu badanego	Rezystancja uziomu pomocniczego
100 + 1000	1000
10 + 100	500
0,5 + 10	250

Przyrządy oparte na metodzie kompensacyjnej (przyrząd Siemens a oraz MK-4 Spółdzielni "Radiotechnik" we Wrocławiu), dopuszczają rezystancję sondy i uziomu pomocniczego 1000  $\Omega$  (zakres skali tych przyrządów jest od 0,1 do 200  $\Omega$ ). Przyrząd typu IMU, Zakładów Wytwórczych Przyrządów Pomiarowych Warszawa-Włochy, dopuszcza rezystancję sondy i uziomu pomocniczego - 1000  $\Omega$  przy pomiarze rezystancji powyżej 5  $\Omega$ . Gdy jednak rezystancja uziomu badanego jest poniżej 5  $\Omega$ , wówczas rezystancje uziomów pomocniczych nie mogą przekraczać 100  $\Omega$ .

Przed przystąpieniem do pomiaru należy oczyścić powierzchnię gruntu z trawy i roślin (w promieniu 0,5 m) dokoła wszystkich uziomów (badanego, sondy i pomocniczego). Należy dbać o to, aby sonda i uziom pomocniczy przy wbijaniu nie miały drgań bocznych, gdyż powoduje to zły styk z ziemią i zwiększa rezystancję uziomu pomocniczego i sondy.

Przyrząd pomiarowy musi być umieszczony w pozycji ściśle poziomej, gdyż nachylenie przyrządu (zwłaszcza Meggera i MC-07) wywołuje błędy w pomiarach. W przypad-

ku gruntów o dużej rezystywności należy ziemię otaczającą sondę i uziom pomocniczy zalać kilkoma wiadrami wody w celu otrzymania ich rezystancji poniżej dopuszczalnej granicy. W gruntach o bardzo wysokiej rezystywności, gdy zalanie wodą nie obniża wystarczająco rezystancji uziomów pomocniczych, należy dodać do wody kilka kilogramów soli kuchennej i taką zasoloną wodę wlać do dołków wykpanych dokoła uziomu pomocniczego i dokoła sondy.

#### 6.1.5. Pomiar rezystywności gruntu

Pomiar ten wykonuje się przy użyciu czterech elektrod (sond) wbitych w ziemię, przy czym elektrody są rozstawione wzdłuż linii prostej, dokładnie w tych samych odstępach między sobą (rys. 24).

Odległość sond stanowi jednocześnie głębokość, na której chcemy zmierzyć rezystywność gruntu. Należy jednak uważać, żeby odległości a były co najmniej równe pięciokrotnej długości l sond, tj.  $a \geq 5 l$ .

Rezystywność gruntu oblicza się ze wzoru

$$\rho = 2\pi aR$$

gdzie: R - wskazania przyrządu.

Jest jeszcze metoda pomiaru rezystywności gruntu przy użyciu trzech elektrod, nie podaję jej jednak ze względu na uciążliwe przeliczania.

## 6.2. Konserwacja sieci uziemiającej

Najlepiej nawet wykonane uziomy i cała sieć uziemiająca może ulec pogorszeniu pod względem konduktancji. Przyczyną pogarszania konduktancji może być zmiana warunków gruntowych, jak na przykład obniżenie lustra wody zaskórnej, działanie ciepłne prądu płynącego do ziemi, a przyczyną uszkodzeń uziemienia – korozja lub działanie dynamiczne. Z tych względów uziemienia powinny być okresowo badane, co najmniej dwa razy do roku: w okresie mrozów i w okresie suszy zgodnie z rozdz. 6.1.

Poza okresowym badaniem sieci uziemiającej powinno się zwracać baczną uwagę na rezystancję w gruntach, gdzie zapas wilgoci jest niewielki, aby ziemia nad uziomem nie była zbyt ubita, gdyż spulchniona powierzchnia gruntu ma znaczne przestrzenie międzycząsteczkowe, które nie sprzyjają podnoszeniu się wody, a więc jej parowaniu, konserwując zapasy wody w warstwach głębszych.

Na powyższą właściwość należy zwracać baczną uwagę przy konserwacji uziemień. Poza spulchnianiem górnej warstwy gleby dobry skutek wywołuje pokrywanie gleby nad i w pobliżu uziomów na przykład igliwem lub zeschniętymi liśćmi. Ugniatanie natomiast gleby zmniejsza przestrzenie międzycząsteczkowe, zwiększa więc podnoszenie się wody i szybciej wysusza warstwy głębsze przez parowanie. (Zjawisko to występuje bardzo silnie podczas długich okresów suszy i przy wiatrach wysuszających). Wyjątek stanowią gleby drobnoziarniste (np. gliniaste), które łatwo obsychają na powierzchni, gdyż parowanie wo-

dy z powierzchni odbywa się szybciej niż doprowadzenie jej z warstw głębszych.

Dobre wyniki przeciw przemarzaniu gruntu w okresie ostrej zimy i w ten sposób zapobieganiu zwiększania rezystancji uziomów poziomych oraz pionowych płytko zakopanych daje gromadzenie nad uziomem warstwy igliwia, zeschniętych liści lub nawet warstwy śniegu.

Ponadto należy przede wszystkim przestrzegać czystości styków w miejscach łączenia przewodów, gdyż ma to wielki wpływ na rezystancję uziemienia.

#### WYKAZ LITERATURY

##### I. Książki i artykuły

1. Berger K.: Grundsätzliche Überlegungen zur Revision der Vorschriften über die Erdung von Hochspannungsanlagen. Bull. des SEV 1961 nr 9, s. 3-11.
2. Bładowski S.: Zerowanie w uziemieniach elektrycznych. Prz. Elektrot. 1954 t. 30 nr 5, s. 200-208.
3. Bodle D.W.: Crushing of buried cable by "cold" lightning. Bell Lab. Rec. 1956 t. 34 nr 3, s. 93-97.
4. Boyce C.F.: The earthing of telephone systems with particular reference to South Africa. Telecomm. J. Australia 1953 t. 9 nr 5, s. 225-236.
5. Bullard W.R.: Grounding principles and practice. IV - System grounding. Elect. Eng. 1945 t. 64 nr 4, s. 145-151.

6. Burgsdorf V.V.: Raščem zazemlenij v neodnorodnych gruntach. *Electricestwo* 1954 nr 1, s. 15-25.
7. Connolly R.A.: Soil testing materials and apparatus. *Bell Lab. Rec.* 1962 t. 40 nr 4, s. 124-129.
8. Dwight H.B.: Calculation of resistances to ground. *Trans. AIEE* 1936 t. 55, s. 1319-1328.
9. Gliński S.: Ważniejsze zagadnienia związane z ochroną odgromową budowli zagrożonych wybuchem. *Prz. Elektrot.* 1959 t. 35 nr 5, s. 221-222.
10. Gniewiewski J.: Aktualny stan normalizacji ochrony odgromowej w Polsce. *Prz. Elektrot.* 1959 t. 35 nr 5, s. 209-211.
11. Hackbart E.: Über des Verhalten von Erden bei Spannungen mit Frequenzen zwischen 0 und 600 kHz. *Fernmelde Prax.* 1958 t. 35 nr 7, s. 250-256; nr 9, s. 331-343.
12. Jakubowski J.L.: *Technika wysokich napięć*. Warszawa 1951, Trzaska, Evert i Michalski.
13. Jankowski A., Piasecki J.: Uziemienia w urządzeniach elektroenergetycznych o dużym prądzie ziemno-zwarciovym. Politechnika Gdańska, Zakład Elektroenergetyki, Gdańsk (1956) powiel.
14. Jensen C.: Grounding principles and practice. II - Establishing grounds. *Elect. Eng.* 1945 t. 64 nr 2, s. 68-74.

15. Johnson A.A.: Grounding principles and practice. III - Generator neutral grounding devices. Elect. Eng. 1945 t. 64 nr 3, s. 92-99.
16. Karasiński Z.: Uziemienia ochronne i zerowanie w urządzeniach wysokonapięciowych. Prz. Elektrot. 1952 t. 28 nr 11, s. 464-466.
17. Koch W.: Erdungen in Wechselstromanlagen über 1 kV. Berlin 1961, Springer.
18. Konczyński H.: Możliwości zastosowania wspólnych uziemień urządzeń telekomunikacji przewodowej, instalacji, siły, światła oraz urządzeń piorunochronnych. Instytut Łączności, Warszawa 1959.
19. Konczyński H.: Ekonomiczne uziomy w gruntach o stosunkowo dużej oporności. Prace IL 1961 t. 8 nr 3/24/, s. 71-95.
20. Konczyński H.: Zagadnienia typu i wielkości uziomów sztucznych w zależności od czynników technicznych i ekonomicznych. Arch.Elekt. 1960 t. 9 nr 2, s. 477-502.
21. Konczyński H.: Ustalenie liczby oraz rozstawienia w terenie sztucznych uziomów wielokrotnych w zależności od czynników technicznych i ekonomicznych. Arch. Elekt. 1961 t. 10 nr 1, s. 129-146.
22. Konczyński H.: Uziemienia w telekomunikacji przewodowej jako zabezpieczenia od wyładowań atmosferycznych. Tele-Radio 1959 t. 4 nr 3, s. 144-151.

23. Konczyński H.: Wytyczne budowy uziomów szpilkowych. Instytut Łączności. Pr. nr 71418 Warszawa 1962.
24. Konczyński H.: Nowe sposoby budowy uziomów energetycznych. Prz. Elektrot. 1962 nr 3, s. 113-115.
25. Konczyński H.: Urządzenie do łączenia prętów uziomów szpilkowych. Instytut Łączności, Warszawa 1967.
26. Konczyński H.: Chemiczne sposoby ulepszania przewodności gruntów. Instytut Łączności. Pr.nr 71420, Warszawa 1967.
27. Konczyński H.: Ustalenie zasady rozstawiania uziomów w terenie. Instytut Łączności. Pr. nr 71421, Warszawa 1965.
28. Konczyński H.: Przegląd stosowanych uziomów głębinyowych. Prz. Telekom. 1965 nr 10, s. 309-311.
29. Konczyński H.: Parametry uziomów głębokich. Rozprawa doktorska. Politechnika Warszawska, Warszawa 1966.
30. Konczyński H.: Wykorzystanie próbných wierceń geologicznych do budowy uziomów z ulepszoną przewodnością gruntu. Instytut Łączności. Pr. nr 707135, Warszawa 1970.
31. Konczyński H.: Ekwipotencjalny układ uziemień telekomunikacyjnych. Rozpr. Elektrot. 1969 t. 15, nr 1, s. 73-88.
32. Marzecki H.: Wykorzystanie stalowych zbrojeń budynków o konstrukcjach żelbetowych do instalacji odgromowych. Zjednoczenie Elektroprojekt. Biuletyn 1958 t. 6 nr 3, s. 158-164.

33. Mellanby J.: Earthing practice installations and electrodes. *Elect. Rev.* 1960 nr 1, s. 15-17.
34. Michajlov V.P.: K ustrojstvu zazemlitelij v plocho-provodjaščich gruntach. *Energetik* 1957 nr 6, s. 5.
35. Michajlov M.I. i in.: Zaščita od udarov molnii meždugorednyh kabelej svjazi, preložennyh v zemle. *Vestn. Svjazi* 1957 nr 3, s. 8-10.
36. Michajlov M.I., Sokolov S.A.: Zaščita železnobetonnyh opor linij svjazu ot prjamyh udarov molnii. *Elektrosvjaz* 1957 nr 4, s. 67-74.
37. Michajlov M.I., Nikolskij K.K.: Primenenie grafitirovannyh steržnej dlja ustroistva zazemlenij. *Elektrosvjaz* 1959 nr 2, s. 72-77.
38. Najfeld M.R.: Zaščitnije zazemlenija v elektrotechničeskich ustanovkach. Moskva 1956 Gosenergoizdat.
39. Naimski H.: Ochrona kabli telekomunikacyjnych przed skutkami wyładowań atmosferycznych oraz zwarć w pobliskich urządzeniach elektroenergetycznych. *Biul. Techn. M.Ł.* 1961 nr 3/24/, s. 14-17.
40. Nowak J.: Pomiar oporności właściwej gruntu metodą sondowania. *Wiad. Elektrot.* 1959 nr 6, s. 187-190.
41. Oslon A.B.: O zavžsimosti soprotivlenija zazemlenija ot razmerov zazemlitelja. *Električestvo* 1964 nr 1, s. 68-70.
42. Ruciński J.: Nowy system uziemiania urządzeń tele-



komunikacji przewodowej w NRF. Biul. Techn. M.Ł.  
1961 nr 2/23/, s. 6-13.

43. Rüdtenberg R.: Grounding principles and practice.  
I - Fundamental considerations on ground currents.  
Elect. Eng. 1945 t. 64 nr 1, s. 1-13.
44. Ryder R.W.: Earthing principles and practice. Lon-  
don 1952, Pitman.
45. Ryżko H.: Podstawy ochrony budowli przed piorunami.  
Warszawa 1959, PWN.
46. Schnell P.: Erdung, Nullung und Schutzschaltung bei  
Installationen Landwirtschaftlicher Betriebe. ETZ  
1938 nr 45, s. 1197.
47. Sokolov S.A.: O sniženii soprotivlenij zazemlenij  
v skal'nych mestnostjach i v rajonach večnoj merz-  
loty. Elektrosvjaz 1959 nr 6, s. 65-70.
48. Szpor S.: Ochrona odgromowa. Warszawa 1953/1955 PWT  
t. 1, 2.
49. Teresiak Z.: Eksploatacja urządzeń uziemiających i  
zerujących w urządzeniach elektroenergetycznych.  
Ref. na narad. rob. Państw. Insp. Energ. Wrocław  
1958.
50. Thielers M.: The earthing problem particularly in  
its application to telephony Ericsson. Stockholm,  
b.r.w.
51. Trembiński W.: Uziemienia, ich montaż i konserwacja.  
Warszawa 1957, W.K.

52. Witort A.: Zabezpieczenia odgromowe w urządzeniach radiowęzłowych. Instytut Łączności. Pr. nr 5155, Warszawa 1956.
53. Wolski B.: Nowoczesne uziomy rurowe. Wiad. Elektrot. 1955 t. 15 nr 11, s. 252-253.
54. Wołkowiński K.: Budowa uziomów rurowych w gruntach o dużych właściwościach korozyjnych. Energetyka 1956 t. 10 nr 4, s. 202-204.
55. Wołkowiński K.: Uziemienia w urządzeniach elektroenergetycznych. Warszawa 1956, PWT.
56. Wołkowiński K.: Najmniejsze dopuszczalne ze względu na trwałość wymiary poprzeczne stalowych uziomów w urządzeniach elektroenergetycznych. Energ. Przem. 1961 t. 9 nr 4, s. 121-126.
57. Wołkowiński K.: Uziomy elektroenergetyczne. Niektóre zagadnienia podstawowe. Zesz. Nauk. Polit. Wrocław. 1964 nr 96, Elektryka nr 22, Prace Habilitacyjne nr 113.
58. Wołkowiński K.: Uziemienia urządzeń elektroenergetycznych. Warszawa 1967, WNT.
59. Wołkowiński K.: Sztuczne zmniejszanie oporności uziemienia uziomów. Zesz. Nauk. Polit. Wrocław. 1965 nr 93.
60. Wołkowiński K.: Analiza zasadniczych postanowień przepisów budowy w zakresie dodatkowej ochrony przeciwporażeniowej. Wrocław 1958. Politechnika Wrocławska.

61. Zdralewicz M.: Uziemienia ochronne w urządzeniach elektrycznych. Prz. Elektrot. 1952 t. 28 nr 11, s. 451-464.

### Instrukcje

62. A handbook on earth testing "Megger". London 1961 Evershed and Vignoles.
63. Anlagen zu Erdungen und Schutzmassnahmen in Fernmeldeanlagen. Fernmeldetechnisches Zentralamt. VI C/ID März 1960.
64. Budowa i konserwacja uziemień w telekomunikacji przewodowej. Min. Poczty i Telegrafów. Instr. techn. Nr TS-520. Warszawa 1954, Instytut Łączności.
65. Empfehlung über die Erdung von Kabeln mit verbesserten Reduktionsfaktor. IPF Bericht zum OSS-T 110259 Teilthema 4.6. Berlin 1969, s. 2 maszyn.
66. Erdungen und Schutzmassnahmen in Fernmeldeanlagen. Fernmeldetechnisches Zentralamt J.D., NRF.
67. Instrukcja badania uziemień w urządzeniach elektroenergetycznych. Min. Energetyki. Zarząd Techniki. Gliwice 1970.
68. Koncewicz H.: Instrukcja budowy pionowych uziomów szpilekowych sposobem mechanicznym. Instytut Łączności, Warszawa 1966.
69. Koncewicz H.: Instrukcja budowy uziomów szpilekowych sposobem ręcznym. Instytut Łączności, Warszawa 1964.

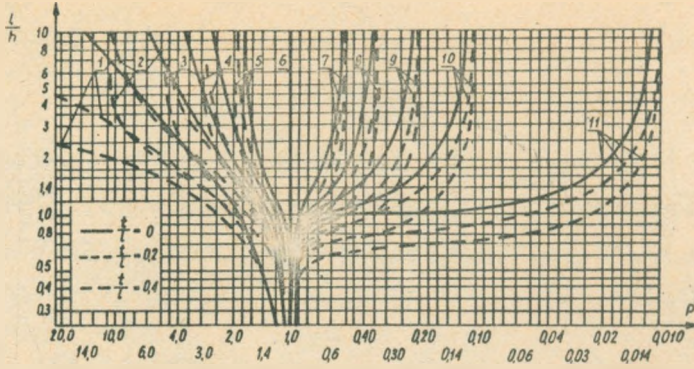
70. Normatyw techniczny projektowania uziemień w budynkach łączności przewodowej. Biuro Studiów i Projektów Łączności, Warszawa 1959.
71. Ochrona przeciwporażeniowa w urządzeniach elektroenergetycznych o napięciu do 1 kV. Państwowy Inspektorat Gospodarki Paliwowo-Energetycznej, Warszawa 1969.
72. Ochrona telekomunikacyjnych linii kablowych przed oddziaływaniem elektryczności atmosferycznej oraz linii elektroenergetycznych i elektrotrakcyjnych prądu stałego. PKP. Centr. Ośrodek Badań i Rozwoju Techniki Kolejnictwa. Warszawa 1960.
73. Przepisy budowy urządzeń elektrycznych. Ministerstwo Górnictwa i Energetyki. Państw. Inspekcja Energetyczna, Warszawa 1970.
74. Konon R.: Zastosowanie elektrycznych wibratorów do wbijania uziomów. Wiad. Elektrot. 1965 nr 3, s.81-82.
75. Richtlinien für Erdungen in Fernmeldeanlagen Deutsche Reichsbahn, October 1943.
76. Rukovodjaščie ukazanija po projektirovaniju stroitel'stvu i eksploatacii zazemlenij v ustanovkach provodnoj svjazi i radiotransljacionnych uzlov. Ministerstwo Svjazi Sojuza SSR (Moskva) 1953 Svjaz'-izdat.
77. Technische Bauordnung. Teil 16.
78. Wytyczne projektowania uziemień w stacjach transformatorowych wysokich napięć. Energoprojekt, Warszawa 1960.

79. Wytyczne techniczne projektowania urządzeń elektroenergetycznych w obiektach telekomunikacji przewodowej. Rozdz. V. Uziemienie i zerowanie. M.Ł. Biuro Studiów i Projektów Łączności, Warszawa 1965.
80. Zabezpieczenie urządzeń telekomunikacyjnych przed przepięciami i przetężeniami. Ministerstwo Łączności DST. Instr. TK-9, Warszawa 1963, WKŁ.

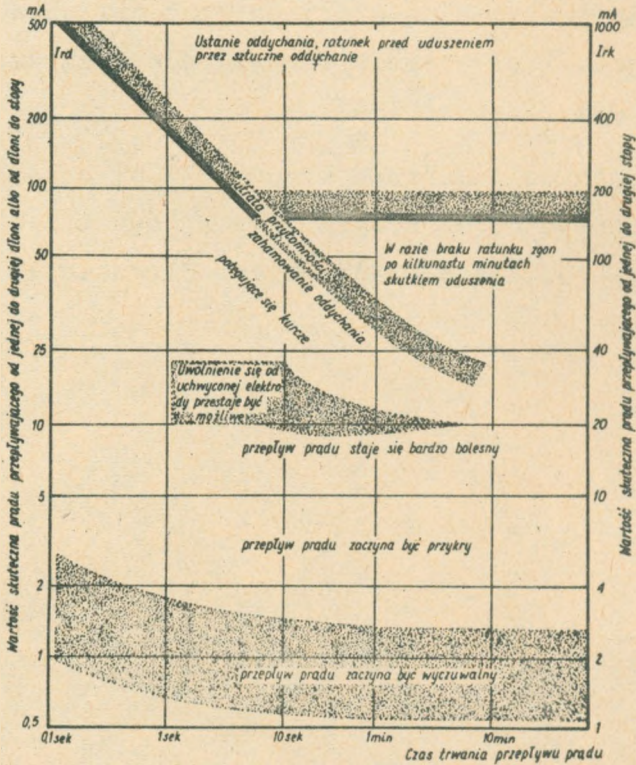
### Normy

81. Grunty budowlane. Klasyfikacja. Polski Komitet Normalizacyjny. PN-54/B-02480. Warszawa 1954, Wyd. Norm.
82. Installation and maintenance of electric supply and communication lines safety rules and discussion. National Bureau of Standards Handbook H.43. Washington 1949 US Department of Commerce.
83. National electrical code. National Board of Fire Underwriters for electric Wiring and Apparatus. American Standard NBFU No 70, New York.
84. Ochrona budowli od wyładowań atmosferycznych. Polski Komitet Normalizacyjny. PN-55/E-05003 Warszawa 1955, Wyd. Norm.
85. Předpisy pro hromosvody. ČSN 341390 (Praha) 1955.
86. Słownictwo telekomunikacyjne. Pojęcia podstawowe. Polski Komitet Normalizacyjny. PN/T-01001. Projekt. Warszawa 1963, Wyd. Norm.
87. Telekomunikacyjne linie napowietrzne. Przepisy bu-

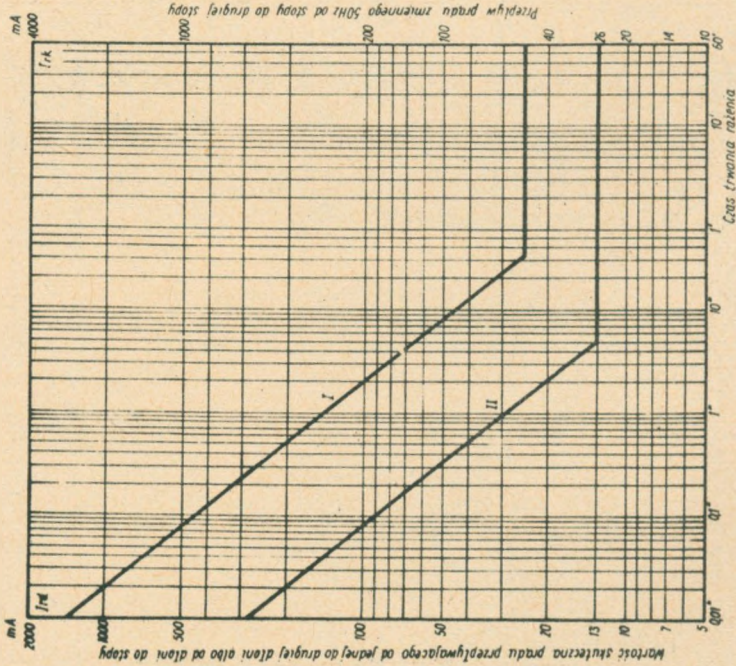
- dowy. Polski Komitet Normalizacyjny. PN-65/T-05601. Warszawa 1965, Wyd. Norm.
88. Telekomunikacyjne linie napowietrzne. Urządzenia piorunochronne konstrukcji wsporczych. Przepisy budowy. Polski Komitet Normalizacyjny BN-64/3220-03 Warszawa 1964, Wyd. Norm.
89. Urządzenia telekomunikacyjne. Uziemienia stacji abonenckich. Przepisy budowy. Polski Komitet Normalizacyjny BN-66/3220-01 Warszawa 1966, Wyd. Norm.
90. Zazemlenija dlja stacionarnych ustanovok provednoj svjazi i dlja radio transljacionnych uzlov. GOST 464-51 (Moskva) 1951.
91. Cennik nr 8 montażu urządzeń i wykonania instalacji elektroenergetycznych. Urząd Rady Ministrów. Biuro Norm Budowlano-Montażowych. Warszawa 1956.



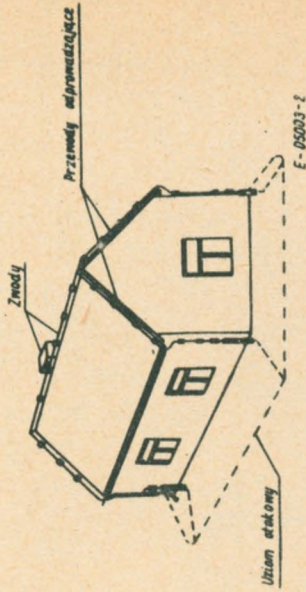
Rys. 1. Względna wartość zastępcza rezystancji gruntów dwuwarstwowych dla uziomów pionowych



Rys. 3. Reakcje u 99% organizmów ludzkich na przepływ prądu zmiennego 50 Hz w zakresie do porażań małoprądowych



Rys. 4. Dopuszczalne natężenia oraz czas przepływu prądu rażącego w zależności od wymaganego poziomu bezpieczeństwa

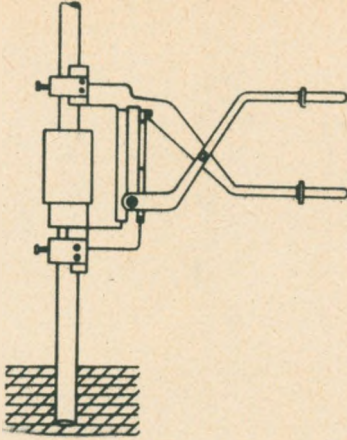


Rys. 5a. Przykład urządzenia piorunochronnego o zwodzie poziomym niskim

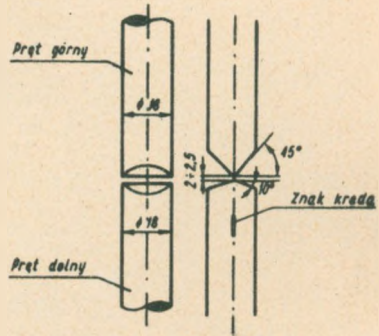


Rys. 5b. Przykład wykonania zwodu poziomego na kominie





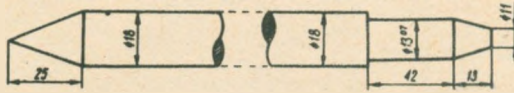
Rys. 6. Zakładanie kleszczy



Rys. 7. Ukosowanie prętów



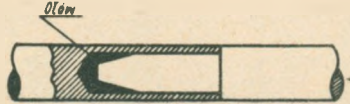
Rys. 8. Układ warstw spawania



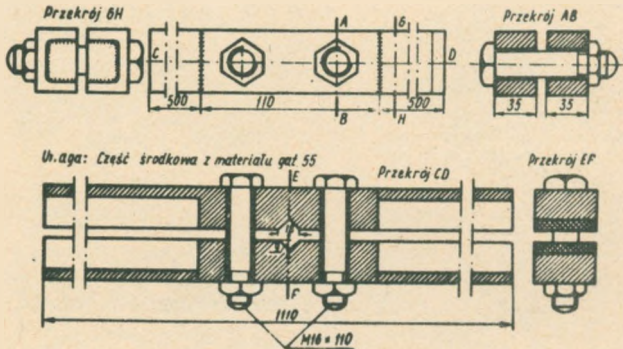
Rys. 9. Zakończenie pierwszego pręta przy wbijaniu ręcznym



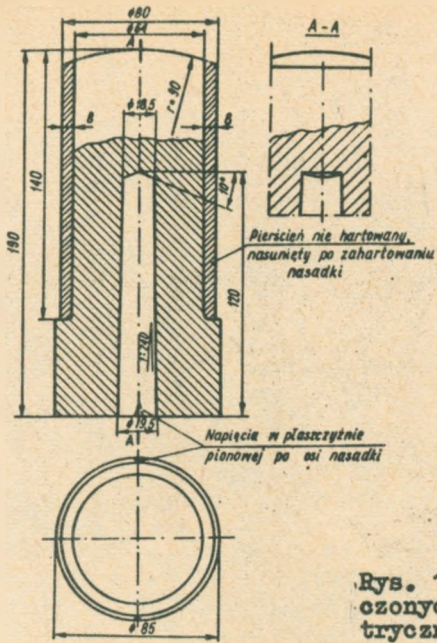
Rys. 10. Zakończenie następnych prętów przy wbijaniu ręcznym



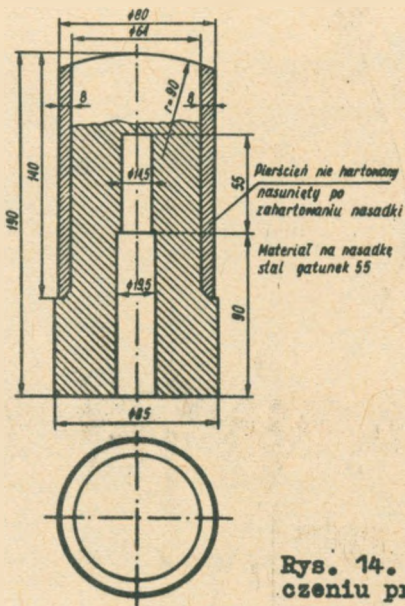
Rys. 11. Łączenie prętów przy wbijaniu ręcznym



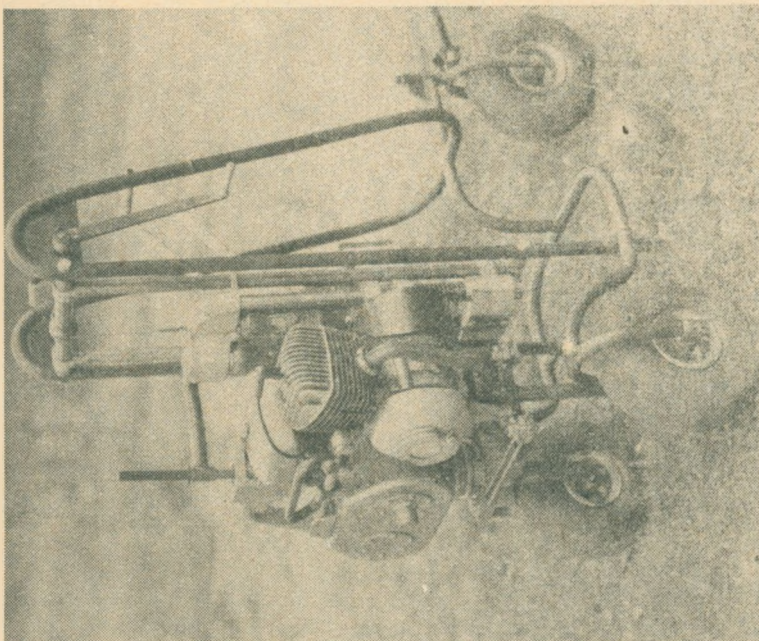
Rys. 12. Przyrząd zaciskający



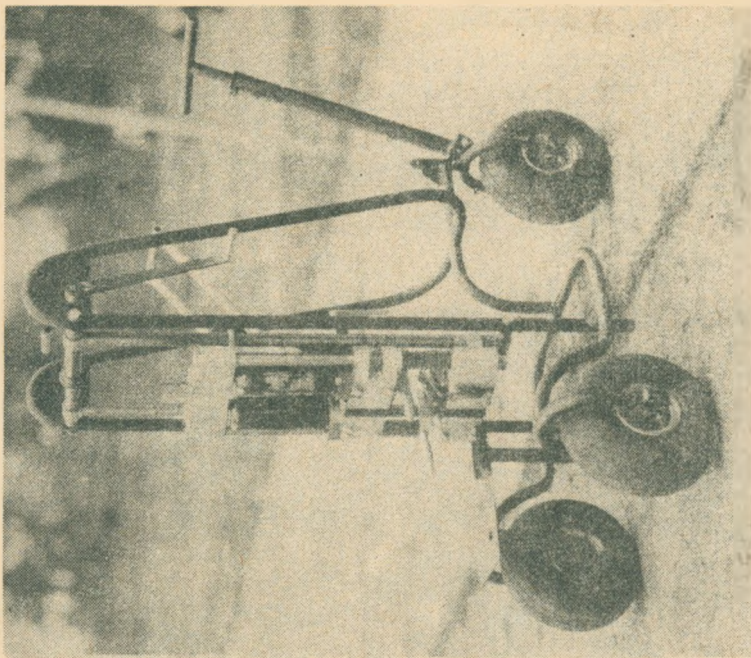
Rys. 13. Nasadka do prętów łączonych za pomocą spawania elektrycznego lub tleno-acetylenem



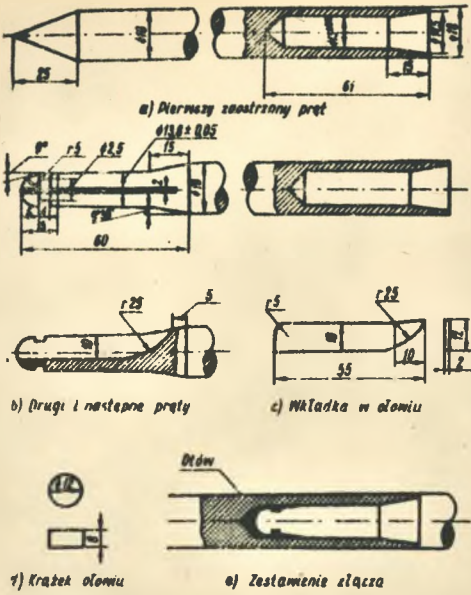
Rys. 14. Nasadka używana przy łączeniu prętów za pomocą ołowiu



Rys. 15. Zestaw: wibromot i przyrząd zaciskający

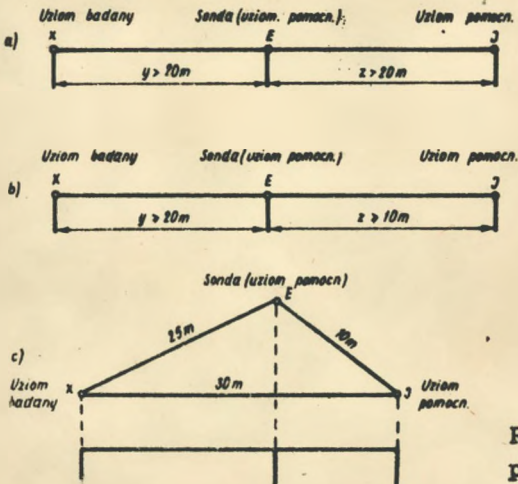
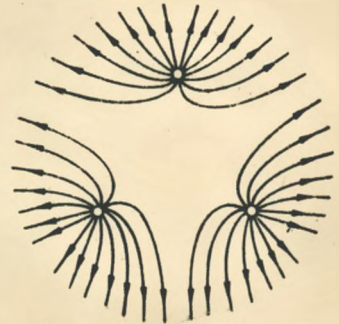


Rys. 16. Przyrząd zaciskający

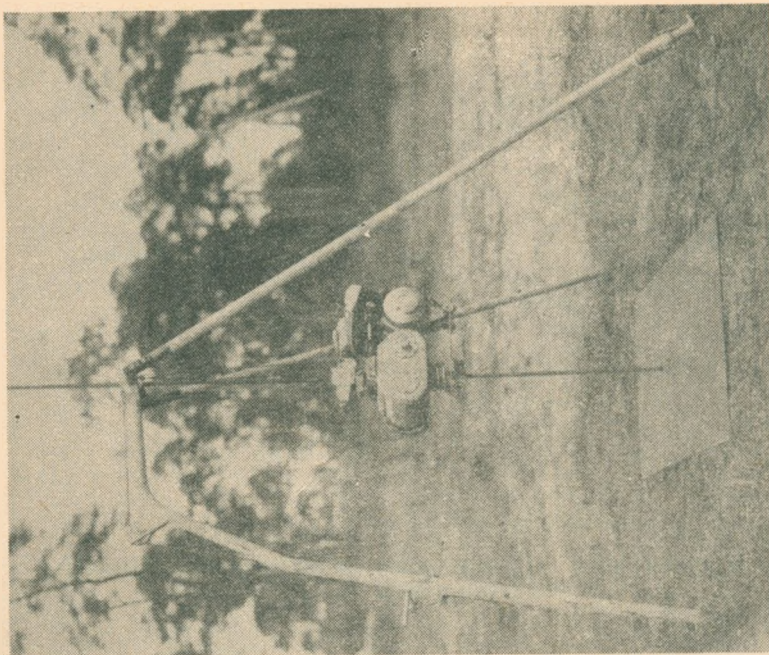


Rys. 17. Zakończenia prętów uziomowych przy łączeniu na ołów

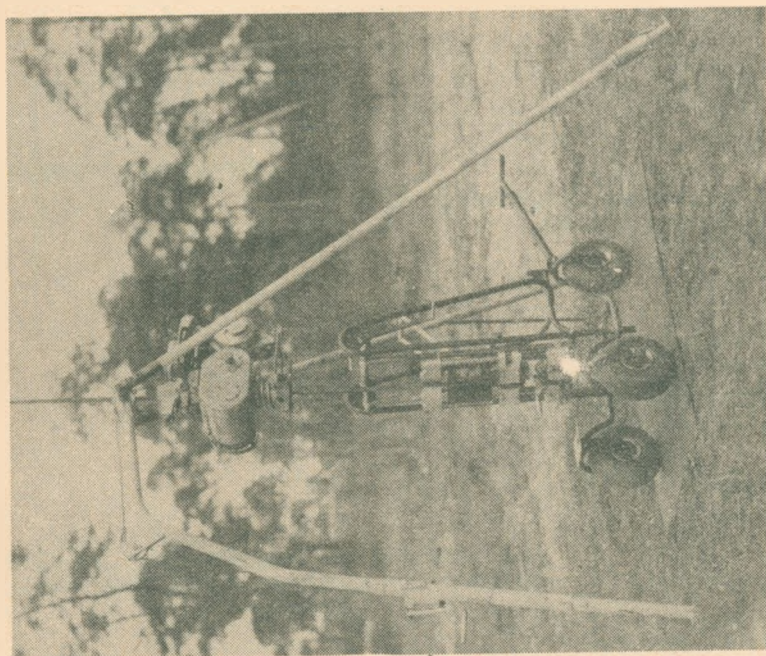
Rys. 20. Przepływ prądów w ziemi uziomu trójkrotnego



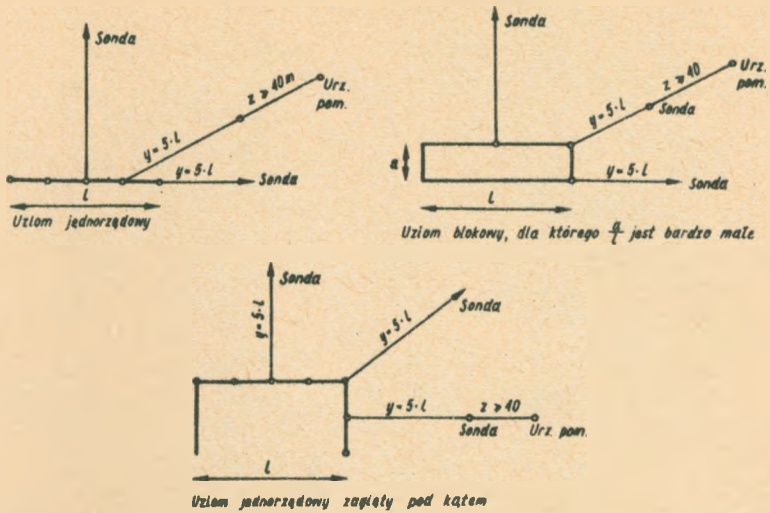
Rys. 21. Rosstawienie uziomów pomocniczych przy pomiarach



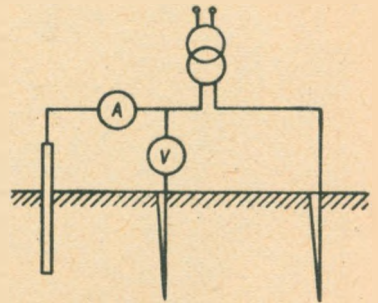
Rys. 19. Wibromiôt przygotowany do pracy



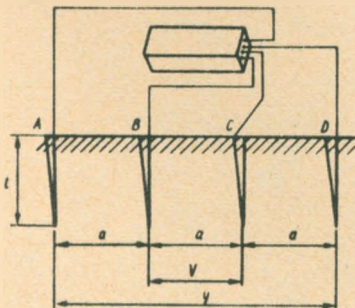
Rys. 18. Przyrzãd zaciskajãcy podczas pracy



Rys. 22. Rozstawienie uziomów pomocniczych przy uziomach wielokrotnych



Rys. 23. Układ pomiarowy rezystancji metodą techniczną



Rys. 24. Pomiar rezystywności gruntu: sondy A-D - prądowe, sondy B-C - napięciowe

