

1 9 6 9
Nr 4 (91)

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
WARSZAWA — MIEDZESZYN

PRZEGLĄD
ZAGADNIEŃ
ŁĄCZNOŚCI





MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

PRZEGLĄD ZAGADNIEN ŁĄCZNOŚCI

ROK 9

WARSZAWA 1969

NR 4(91)

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, dr Stanisław Włoszczowski

Adres Redakcji:

Instytut Łączności

Branżowy Ośrodek

Informacji Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej

Warszawa-Miedzeszyn, ul. Szachowa 1.

NA PRAWACH REKOPISU -- DO UŻYTKU SŁUŻBOWEGO

Redaktor: J. Borkowska Montaż tekstu: B. Drabik

Dział Wydawniczy Instytutu Łączności
Format B5. Nakład 740. Druk ukończono
w grudniu 1969 r.

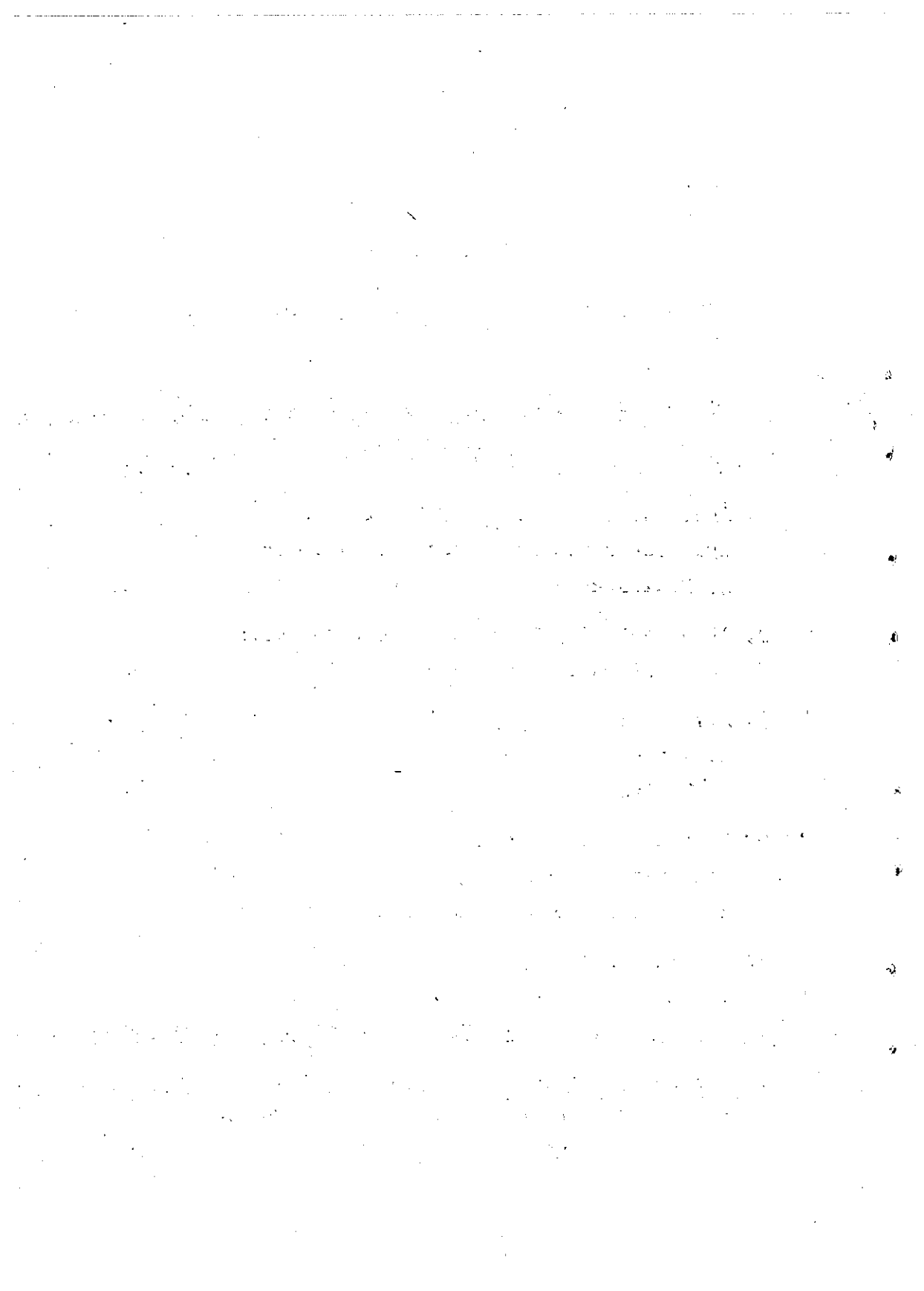
PRZEGLĄD
ZAGADNIEN ŁĄCZNOŚCI

Kablowe linie telekomunikacyjne miejscowe

Część II

SPIS TREŚCI

	Str.
1. Åberg G.: Kanalizacja kablowa z karbowanych rur z tworzyw sztucznych - Opracował A. Moniuszko	1
2. Chodounsky J.: Trwałość przewodów torów napowietrznych - Opracował J. Staniek	14
3. Klett H.: Sposób ułożenia kabli telefonicznych w studniach kablowych - Opracował A. Moniuszko	34
4. Löwe H.: Układanie kabli pod drogami komunikacyjnymi (lądowymi) bez mechanicznego zabezpieczenia - Opracował A. Moniuszko	43
5. Yamazaki K.: Nowy sprzęt do zaciągania kabli do kanalizacji kablowej - Opracował A. Moniuszko	62
6. Kremer H.: Przyczynek do optymalizacji sieci linii telekomunikacyjnych - Opracował W. Majewski	76



KANALIZACJA KABLOWA

Z KARBOWANYCH RUR Z TWORZYW SZTUCZNYCH

Opracował A. Moniuszko na podstawie artykułu Aberg G.: Kabelkanäle aus gewellten Kunststoffrohren, Ericsson Review 1968 t. 44 nr 1, s. 33-36.

1. WSTĘP

Od szeregu lat w świecie obserwuje się tendencję do unowocześnienia technologii i obniżenia kosztów budowy kanalizacji kablowej. Na skutek olbrzymiego rozwoju chemii tworzyw sztucznych i uruchomienia na skalę przemysłową produkcji rur z tworzyw sztucznych zaczęto wprowadzać do budowy kanalizacji kablowej rury z utwardzonego polichloroku winylu lub polietylenu zamiast stosowanych dotychczas, tradycyjnych bloków betonowych. Rury z tworzyw sztucznych znalazły szybko zwolenników dzięki wielu zaletom w porównaniu z kanalizacją betonową. Zalety te to przede wszystkim bardzo mały ciężar, powodujący zmniejszenie kosztów transportu i ładowania, lepsze zabezpieczenie kabli ołowianych od korozji, wodoszczelność kanalizacji, pewna giętkość i nieznaczne tarcie przy zaciąganiu kabli, pozwalające na zwiększenie odstępów między studniami itd. Koszt kanalizacji tego typu jest jednak duży ze względu na konieczną dość znaczną grubość ścianek rur kanalizacyjnych.

2. KANALIZACJA KABLOWA Z GŁADKICH RUR Z TWORZYW SZTUCZNYCH

Do budowy kanalizacji kablowej używano najczęściej rur z utwardzonego polichlorku winylu (winiduru), choć w niektórych krajach próbowano stosować również rury polietylenowe. Te ostatnie wykazały przede wszystkim tę zaletę, iż mogły być używane w postaci długich rur nawijanych na bębny kablowe, zmniejszając znacznie liczbę połączeń poszczególnych odcinków rur. Jednakże konieczność stosowania rur polietylenowych o znacznie większych grubościach ścianek powodowała znaczny wzrost kosztów. Rury te nie mogły więc w większości przypadków konkurować z tanimi blokami betonowymi.

Zaczęto coraz szerzej stosować rury z utwardzonego polichlorku winylu, produkowane na skalę przemysłową dla różnych celów, stanowiące więc materiał ogólnie dostępny w handlu. Rury te są gładkie, o różnych grubościach ścianek, różnych średnicach i o długościach kilku lub kilkunastu metrów. Opracowano różne technologie budowy kanalizacji kablowej, sposoby układania rur, ich łączenia, budowy studni kablowych, a także wynikające stąd wytyczne projektowania. We wszystkich tych pracach dążono do uzyskania szczelnej kanalizacji z rur o możliwie cienkich ściankach, a także szukano najłatwiejszego i najszybszego sposobu budowy, a więc możliwie najtańszej kanalizacji kablowej [1].

Winidurkowe rury o grubszych ściankach mogły być układane bezpośrednio w ziemi lub zasypywane piaskiem.

Dążenie jednak do potania kanałizacji kablowej przez stosowanie rur o cienkich ściankach, a więc mało materiałochłonnych, zwiększało trudności przy budowie kanałizacji. W celu zabezpieczenia kanałizacji przed siłami powodującymi jej zgniatanie, a wywołanymi ciężarem ziemi, nawierzchni drogowej i ruchem kołowym, układane rury napełniano sprężonym powietrzem po uprzednim ich szczelnym połączeniu, a następnie zabetonowywano, utrzymując ciśnienie powietrza w rurach aż do chwili związania betonu.

Rury łączono metodą klejenia specjalnym klejem, lakierem lub minią, a także przez podgrzewanie rur nasmarowanych lakierem bitumicznym.

W Polsce prowadzone są również prace w Instytucie Łączności na temat możliwości zastosowania rur winidurów do budowy kanałizacji kablowej. Opracowywano najpierw w Zakładzie Badań Materiałów, Elementów i Urządzeń Telekom. metody łączenia rur [2], a następnie prace kontynuowano w Zakładzie Linii Przewodowych [3], przystępując również do opracowania technologii budowy kanałizacji i wyboru metody najtańszej i najlepszej. Prace te są obecnie w toku, jednak trudności są w uzyskaniu rur o odpowiednich średnicach i grubościach ścianek.

W dalszej pracy przewiduje się budowę doświadczalnego odcinka kanałizacji różnymi metodami. Rury klejone będą przez podgrzewanie łączonych końców specjalnymi piecykami elektrycznymi, po posmarowaniu rur w miejscu łączenia lakierem bitumicznym.

Również na świecie są kontynuowane prace badawcze i eksperymentalne, dotyczące kanalizacji z rur z tworzyw sztucznych, o czym świadczą ciągle ukazujące się nowe artykuły [4,5,6,7].

3. KANALIZACJA KABLOWA Z KARBOWANYCH RUR Z TWORZYW SZTUCZNYCH

W celu zwiększenia wytrzymałości rur o cienkich ściankach na ściskanie w kierunku promieniowym w firmie L.M. Ericsson opracowano maszynę do spiralnego karbowania gładkich rur z utwardzonego polichlorku winylu.

3.1. Materiał

Jako materiał zastosowano ogólnie dostępne w handlu rury z utwardzonego polichlorku winylu o długości 6 m, o różnych średnicach. Zastosowanie różnych średnic rur powodowane jest następującymi dwoma względami.

- W różnych odcinkach kablowej sieci miejskiej stosuje się rury o różnych średnicach. W pobliżu central telefonicznych pożądane są rury o dużych średnicach, aby możliwe było układanie w nich kabli wieloparowych, zwłaszcza gdy przewidywane jest stosowanie lekkich kabli o izolacji z tworzyw sztucznych lub gdy zamiast żył miedzianych kabel ma żyły aluminiowe. W bardziej odległych rejonach sieci i w odgałęzieniach wystarczające są mniejsze średnice rur kanalizacyjnych.

- Dzięki zróżnicowaniu średnic rur, mogą one być wsuwane jedna w drugą, uzyskuje się przez to lepsze wykorzystanie miejsca w transporcie rur. Jest to szczególnie ważne przy dużych odległościach od miejsca produkcji rur do miejsca ich wykorzystania, tj. do miejsca budowy kanalizacji kablowej. Przy transporcie rur o jednakowej średnicy koszty przewozu są zwiększone.

Z tego powodu komplet rur NPB 30101 składa się z 9 rur wsuniętych jedna w drugą. Zewnętrzna średnica rur wynosi od 70 mm do 110 mm, w odstępach co 5 mm.

3.2. Urządzenie do karbowania rur

Przy opracowywaniu konstrukcji urządzenia do karbowania rur założono, że powinno ono spełniać następujące wymagania:

- a) urządzenie powinno być przenośne,
- b) powinno być łatwe do zmontowania w miejscu budowy kanalizacji,
- c) powinno być łatwe w obsłudze,
- d) powinno pozwalać na proste dostosowywanie go do różnych średnic rur.

Opracowane urządzenie typu LVA 29901 (rys. 1^x) pracuje w następujący sposób:

^x) Wszystkie rysunki są zamieszczone na końcu artykułu.

- Umocowana w urządzeniu rura wprowadzana jest w ruch obrotowy.
- Rura ogrzewana jest wzdłuż linii śrubowej pięcioma punktowymi płomieniami z palników, umieszczonych na suporcie (suwnicy saniowej) przesuwającym wzdłuż rury.
- Zamocowana rura jest w sposób ciągły ściskana w kierunku osiowym.

Ponieważ przebieg tych czynności jest równoczesny, uzyskuje się wzdłuż rury z tworzywa sztucznego spiralne karbowanie. Szybkość obrotów, temperatura płomieni i ich odstęp od rury, szybkość przesuwania suportu, wielkość nacisku osiowego muszą być ustalone w zależności od średnicy rury i grubości jej ścianki, aby uzyskać pożądane pofalowanie.

Proces pofalowania rury skraca ją o 6 do 7%.

W celu ustawienia urządzenia do karbowania rur potrzebna jest powierzchnia 1,5 x 8 m, pod dachem lub w wolnej przestrzeni, lecz zabezpieczona przed deszczem i wiatrem. Urządzenie zamocowuje się bolcami, przy czym nie są wymagane specjalne fundamenty.

Urządzenie pozwala na wykonanie 7-8 rur karbowanych na godzinę. Ponieważ jeden człowiek może obsługiwać jednocześnie trzy urządzenia, oznacza to, że na jedną 8-godzinną zmianę można przerobić około 180 gładkich, 6-metrowych odcinków rur. Odpowiada to około 1000 m rury karbowanej.

Urządzenie jest zasilane z jednofazowej sieci oświetleniowej i może być przełączane na napięcie od 110 do

240 V. Pobór mocy wynosi ok. 0,2 kW. Palnik jest zasila-
ny z butli gazowej, umocowanej na suporcie razem z pal-
nikiem. Butla gazowa wystarcza mniej więcej na 3 dni
pracy.

3.3. Karbowana rura z tworzywa sztucznego

Wygląd karbowanej rury z tworzywa sztucznego jest po-
kazany na rys. 2. Zalety rur karbowanych w stosunku do
gładkich są następujące:

- Wytrzymałość mechaniczna rur w kierunku promieniowym; dzięki temu można zmniejszyć grubość ścianki rury i uzyskać tanią rurę.
- Uzyskuje się znacznie większą giętkość rury, dzięki czemu możliwe jest budowanie kanałów kablowych na krzywiznach. Najmniejszy promień zginania rur gładkich o średnicy 90 mm wynosi w przybliżeniu 10 m, rur karbowanych - ok. 2,5 m. Pozwala to nie tylko na zmniejszenie liczby studni kablowych, ponieważ kanalizacja może przebiegać wzdłuż krętych ulic lub omijać przeszkody, lecz także umożliwia rozdzielenie poszczególnych kanałów jednorurowych na przelocie pomiędzy studniami kablowymi. Można np. w odległości 10-15 m od studni poszczególne rury kanalizacji kablowej tak rozdzielić, że połowa z nich zostaje skierowana i wprowadzona do studni na jedną z jej bocznych ścian, a druga połowa na ścianę przeciwną. W ten sposób uzyskuje się możliwość prowadzenia kabli (bez ich wyginania) wzdłuż obu dłuższych ścian w studni (rys. 3). Jest to szczególnie

ważne przy grubych kablach plastikowych, ponieważ trudno jest je powyginać, gdyż są znacznie bardziej sprężyste niż kable w powłokach ołowianych.

- Rozciągliwość rury wzdłuż osi podłużnej jest znacznie większa. Jest to bardzo ważne przy zabetonowywaniu rury w ścianie studni lub tp. Ponieważ rozszerzalność rury z tworzywa sztucznego jest znacznie większa niż otaczającego ją gruntu, jest bardzo trudno zabetonować rurę niekarbowaną, bez spowodowania dużych naprężeń, wywołanych nawet stosunkowo małymi zmianami temperatury. Wskutek takich naprężeń mogą łatwo powstać nieszczelności w miejscach zamocowania rur w ścianach studni. Karbowana rura zachowuje się tu jak "harmonia", można więc końce rury zabetonować w ścianie studni bez potrzeby uwzględniania sił rozciągających lub ściskających.

3.4. Budowa kanalizacji kablowej

Podstawowym materiałem są karbowane rury, które zależnie od potrzeb muszą być po ułożeniu odpowiednio zabezpieczone. Przy układaniu rur kanalizacyjnych pod chodnikami na normalnej głębokości i w normalnych warunkach nie potrzebne są żadne dodatkowe środki ochrony. W przypadku jednak konieczności płytszego ułożenia pod jezdniami ulic lub pod jakimiś przeszkodami rury muszą być zabezpieczone albo przez zalanie chudym betonem (tj. zawierającym mało cementu) lub przez przykrycie jakimikolwiek płytami. W celu zabezpieczenia rur przed gryzo-

niami lub owadami gryzącymi rury także muszą być zalane chudym betonem.

Aby ułatwić łączenie rur, jeden koniec każdej rury jest stożkowo roztlóczony. Łączone powierzchnie malowane są najpierw specjalnym klejem NTV 60021. Połączenie rur następuje po wprowadzeniu prostego końca jednej rury w roztlóczony koniec drugiej rury. Miejsce spojenia jest zarówno gazoszczelne, jak i wodoszczelne.

Przy zabetonowywaniu rur w ścianach studni w miejscu wprowadzenia ich do studni lub w innych konstrukcjach betonowych zewnętrzną powierzchnię końca rury maluje się żywicą NTV 610, zmieszaną z utwardzaczem NTV 611. Następnie żywicę posypuje się ogrzanym piaskiem, która twardeciej wiążę ziarna piasku tak, że rura pokryta jest trwale przyklejoną warstwą piasku, po czym zostaje zalana betonem, uzyskując w ten sposób wprowadzenie rury do studni gazo- i wodoszczelne.

3.5. Rury rozcinane

Jeżeli znajdujące się już w eksploatacji kable mają być zabezpieczone na pewnym odcinku kanalizacją kablową, wówczas rurę rozcina się piłą do metali. Rozchylając szczelinę rozcięcia kabel wkłada się w rurę. Dzięki pokarbowaniu rura zamyka się wskutek działania sił sprężystości. Przy przekładaniu kabli można je w podobny sposób prowizorycznie zabezpieczyć.

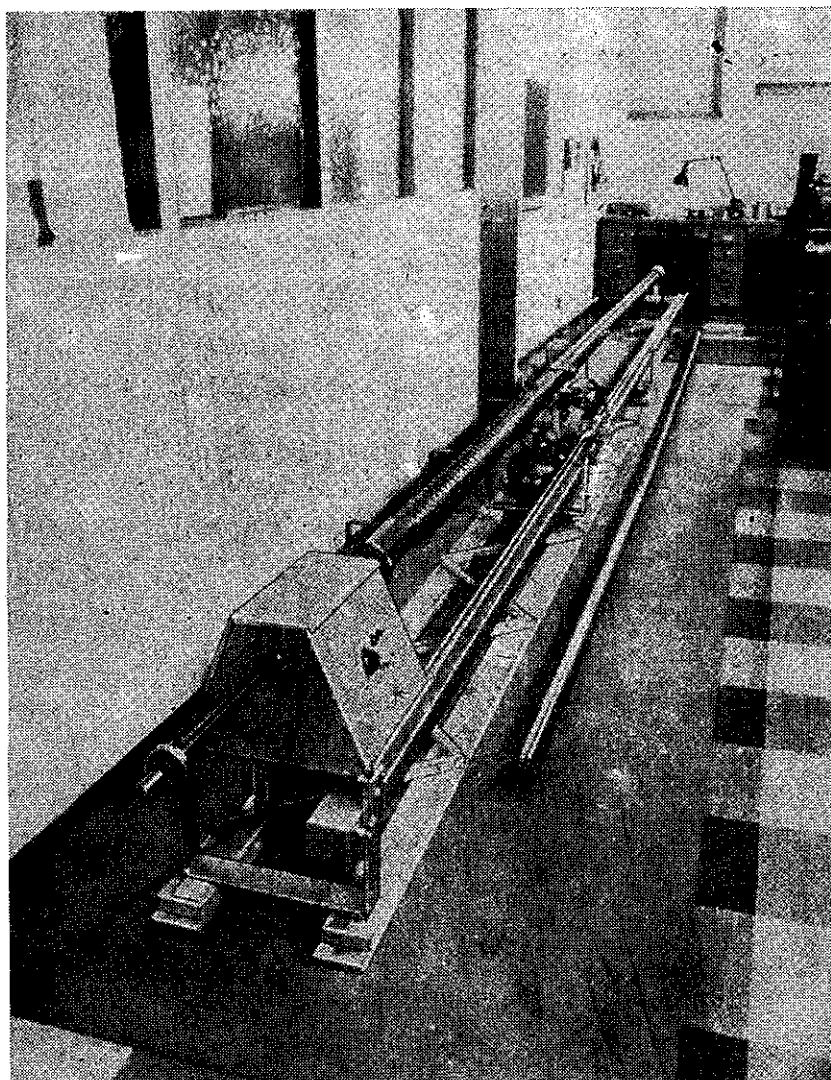
4. ZAKOŃCZENIE

Gładkie rury z tworzyw sztucznych, stosowane od wielu lat do budowy kanalizacji kablowej, odznaczają się wieloma zaletami. Przez karbowanie uzyskuje się jeszcze lepsze właściwości rur, a więc wytrzymałość mechaniczną w kierunku promieniowym, giętkość i rozciągliwość w kierunku wzdłużnym. Dzięki tym właściwościom otrzymuje się lepszą i tańszą kanalizację kablową.

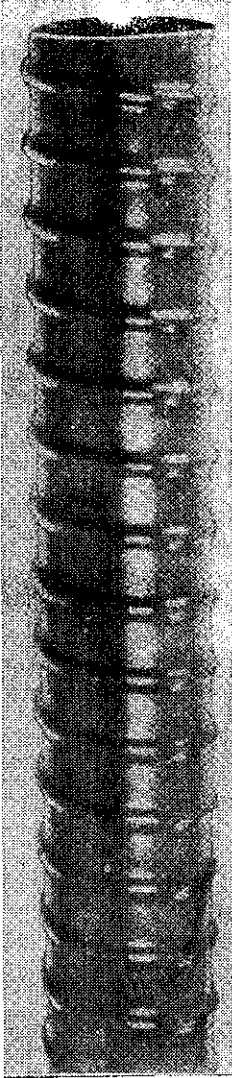
WYKAZ LITERATURY

1. Niewiadomski C.: Kanalizacja kablowa z rur z tworzyw termoplastycznych. Przegląd Zagadnień Łączności 1965 nr 2(41), s. 24-53.
2. Stobiecka A.: Opracowanie technologii łączenia rur z twardego polichlorku winylu do kanalizacji kablowej. Instytut Łączności, praca 71824/65, Warszawa, 1966.
3. Bobiński E.: Wstępna instrukcja budowy doświadczalnej teletechnicznej kanalizacji kablowej. Instytut Łączności, praca 707114/604/640, Warszawa 1967.
4. Ito K.: Extended use of polyvinyl-chloride conduit, Japan Telec. Rev. 1966 t. 8 nr 3, s. 129-135.
5. Von der Schirpkotterdellen G.A.: Vorsorgliche Verlegung von Kunststoffrohren bei Gehwegbefestigungen. Fernmelde-Praxis 1967 t. 44 nr 20, s. 787.

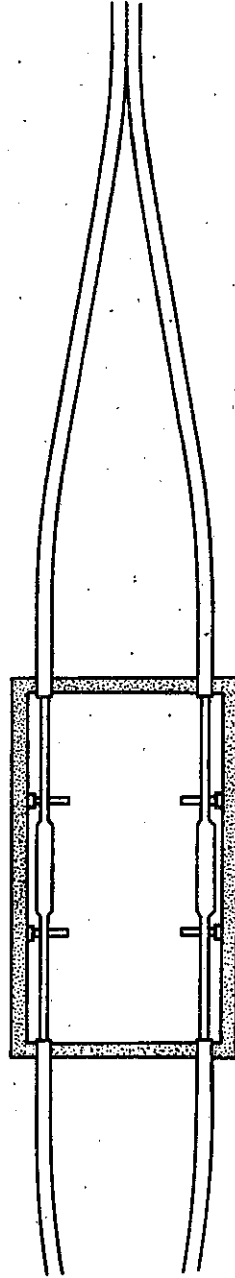
6. Koslowski G.: Auf der Suche nach neuen Möglichkeiten in Kabelkanalbau. Fernmelde-Praxis 1967 t. 44 nr 17, s. 657-664.
7. Böhme G.: Ein graphisches Verfahren zur Ermittlung der höchstzulässigen Einziehlänge bei Röhrenkabeln. Fernmelde-Praxis 1968 t. 45 nr 8, s. 295-315.



Rys.1. Urządzenie typu LVA 29901 do karbowania rur



Rys.2. Pokarbowana rura
z tworzywa sztucznego



Rys. 3. Zasada rozmieszczenia rur w studni kablowej.

TRWAŁOŚĆ PRZEWODÓW TORÓW NAWIETRZNYCH

Opracował J. Staniek na podstawie artykułu Chodouňsky J.: Životnost vodičů nadzemních tratí. Československe Spoje 1967, nr 1, s. 20-23.

Niewiele uwagi poświęcano dotychczas przyczynom zmniejszającym trwałość przewodów telekomunikacyjnych torów nawiętrznych. Ograniczenie trwałości przewodów wywiera jednak wpływ na gospodarkę narodową, którego zasięgu nawet sobie nieraz nie uświadamiamy. Obecnie w CSRS znajduje się w eksploatacji około 300000 km symetrycznych torów nawiętrznych. Jeżeli tylko w 20% tych torów skróci się ich trwałość o dwa lata, koszty ich odbudowy wyniosą około 15 milionów koron rocznie. Suma ta nie obejmuje jeszcze dodatkowych strat, powstających wskutek wyeliminowania z eksploatacji torów uszkodzonych w liniach międzymiastowych, które też nie są małe. Chodzi o poważny, zasługujący na uwagę problem.

Kilka przyczyn składa się na obniżenie trwałości przewodów. Należy podkreślić, że nie wszystkie wpływy są do tąd znane. Omówimy więc tylko te najważniejsze.

Jedną z najbardziej znanych to klęski żywiołowe, niezależnie czy spowodowane oblodzeniem czy wichurą. Docho dzi wtedy do dodatkowego obciążenia przewodów, powodującego ich pękanie. Klęski żywiołowe mają zawsze zasięg lokalny. Jeżeli jednak tory buduje się zgodnie z odpowied-

nimi przepisami, powinny one przetrzymać wszystkie wpływy atmosferyczne na przestrzeni co najmniej pięciu lat. Uszkodzenie przewodów z powyższych przyczyn nie powinno wystąpić częściej niż raz na 10 lat i to jeszcze na bardzo ograniczonych obszarach. Przy częstszych uszkodzeniach przyczyn należy szukać w nieprzestrzeganiu przepisów budowlanych lub zaistnieniu innych wpływów (korozja, obciążenie dynamiczne) mających znaczny udział przy uszkodzeniu przewodów.

Poważną przyczyną skrócenia żywotności przewodów jest korozja. Pod tym pojęciem rozumiemy zazwyczaj korozję spowodowaną wpływami atmosferycznymi, chociaż tak samo dużą rolę odgrywa tu korozja międzykrystaliczna wskutek drgań i zmęczenia materiału, które będą jeszcze dalej przedmiotem rozważań przy omawianiu znaczenia wibracji przewodów na ich trwałość.

Wskutek korozji atmosferycznej cierpią najbardziej przewody stalowe, natomiast jej oddziaływanie na przewody brązowe i stopy aluminiowe jest znikome. Szybkość korozji atmosferycznej uzależniona jest od rodzaju atmosfery. Dla średnio agresywnego środowiska atmosferycznego (lasy, środowisko górskie i wiejskie w wilgotnych okolicach wszystkich stref klimatycznych) podaje się dla stali 15 $\mu\text{m}/\text{rok}$, dla cynku 1 $\mu\text{m}/\text{rok}$, brązu 0,3 $\mu\text{m}/\text{rok}$, stopu aluminium 0,01 $\mu\text{m}/\text{rok}^{-1}$, zaś dla bardzo agresywnego środowiska atmosferycznego pod względem korozji (atmosfera wielkich miast, okręgi przemysłowe) przyjmuje się ogólnie dziesięciokrotnie wyższe wartości. Do zerwania przewodów w normalnych warunkach atmosferycznych docho-

dzi w chwili, w której wytrzymałość przewodów obniży się wskutek zmniejszenia ich przekroju o 40% wartości pierwotnej. Przy przewodach stalowych o średnicy 2 mm w bardzo agresywnym środowisku korozyjnym dochodzi do zerwania już po dwu latach, zaś dla przewodów o średnicy 3 mm wystarczy okres 3 do 4 lat. O wiele wcześniej występuje przekroczenie granicznej wartości zwisu przewodu, dochodzi do trwałego przedłużania się przewodów i konieczności ich wymiany. Trwałość przewodów stalowych można przedłużyć przez pocynkowanie ich warstwą o grubości co najmniej 240 g/m^2 . Warstwa cynkowa przedłuża trwałość przewodów stalowych w bardzo agresywnym środowisku korozyjnym średnio o 3 lata, w atmosferze średnioagresywnej nawet o 30 lat. Dlatego więc do zerwania przewodów nie powinno dojść wcześniej niż za 4 do 6 lat, w atmosferze zaś średnioagresywnej korozji w ogóle nie powinno zaliczać się do przyczyn, powodujących pękanie przewodów. Wiemy jednak, że w rzeczywistości tak nie jest. Oprócz korozji działają bowiem i inne czynniki, które skracają trwałość przewodów.

Spośród nich należy wymienić zmienne naprężanie przewodów pod wpływem wiatru, powodującego ich drgania zarówno w płaszczyźnie poziomej, jak i pionowej. Oba rodzaje drgań wywołane są innymi przyczynami, mają różne natężenia i częstotliwości.

Drgania przewodów w płaszczyźnie pionowej (brzęczenie przewodów) powstają w naprężonym przewodzie pod wpływem równomiernego prądu powietrza, płynącego z szybkością 0,5 do 5 m/s, kiedy prąd ten staje się nieregularny i po-

woduje powstawanie wirów. Opływowa warstwa powietrza odrywa się na przemian pod przewodem i nad nim, wytwarzając w ten sposób szereg regularnych wirów. Opływ powietrza staje się w ten sposób nieregularny, cyklicznie powstające siły poprzeczne powodują drganie przewodu. Częstotliwość zmian wzrasta z szybkością wiatru, maleje z średnicą przewodu. Jej wartość utrzymuje się dla powszechnie używanych przewodów w granicach 20 do 600 Hz. Wartość siły skrośnej poprzecznej, będącej źródłem drgań wymuszonych, podaje następujące równanie:

$$P = \frac{\rho v^2 d}{2g} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}} \right], \quad (1)$$

gdzie P równa się sile działającej na 1 m przewodu;

ρ - gęstość powietrza $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$;

v - szybkość wiatru $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$;

d - średnica przewodu $[\text{m}]$;

g - stała $[9,81 \text{ m/s}^2]$.

Drgania przewodu utrzymują się w przypadku, gdy częstotliwość siły wymuszającej, tj. wirów powietrznych, jest równa pewnej własnej częstotliwości pobudzanego układu, czyli przewodu, albo k -tej wielokrotności jego podstawowej częstotliwości. W przypadku rezonansu amplituda drgań osiąga największą wartość zgodnie z równaniem

$$A_{k \text{ maks.}} = \frac{6,95 P}{q b \sqrt{k(\Omega_k^2 - b^2)}} [\text{m}] \quad (2)$$

gdzie:

P - siła działająca na przewód wg (1);

q - ciężar 1 m przewodu [kG/m];

b - stała tłumienia [rad/s];

ρ_k - częstotliwość drgań własnych przewodu w przypadku rezonansu z częstotliwością siły wymuszającej rad/s;

k - stosunek częstotliwości siły wymuszającej do częstotliwości podstawowej przewodu.

Gdy przewód równocześnie wydłuży się o

$$\Delta a = k \pi A_k \text{ maks. [m]} \quad (3)$$

i w ten sposób powstaje dodatkowa składowa naprężenia przewodu o wartości:

$$\sigma_m = \frac{\Delta a}{a} E \text{ kG/mm}^2 \quad (4)$$

gdzie:

Δa - wydłużenie przewodu zgodnie z (3);

a - długość przęsła między słupami [m];

E - moduł sprężystości [kG/mm²].

Drgania przewodów w płaszczyźnie poziomej powstają pod wpływem ich wahań na skutek uderzeń wiatru. Szybkość wiatru nad ziemią przestaje być od pewnej wartości granicznej stała i szybko się zmienia. Powstają w ten sposób regularne uderzenia, utrzymujące przewody w stałym drganiu. Ilość drgań w minucie określa równanie:

$$n = \frac{189,2}{a} \sqrt{\frac{Tg}{zq}} \quad [1/\text{min}] \quad (5)$$

gdzie:

- a - długość przęsła [m] ;
- T - naprężenie przewodu kG ;
- z - przeciążenie przewodu ;
- q - ciężar 1 m przewodu [kG/m] ;
- g - stała [9,81 m/s²].

Podczas drgań przewodu powstaje dodatkowa składowa zmienna naprężenia o amplitudzie:

$$\sigma_v = \sigma_1 \frac{f_v}{f_1} \quad [\text{kG}/\text{mm}^2] \quad (6)$$

gdzie:

- σ_1 - naprężenie w stanie normalnym [kG/mm²] ;
- f_1 - przegięcie przewodu w stanie normalnym [m] ;
- f_v - przegięcie przewodu podczas uderzeń wiatru [m].

Amplituda składowej zmiennej naprężenia może, przy bardzo intensywnych uderzeniach wiatru kilkakrotnie przekroczyć naprężenie normalne.

Jeżeli przewody przez dłuższy czas obciążane są zmiennymi siłami, powstającymi w następstwie drgań zarówno w płaszczyźnie pionowej jak i poziomej, wtedy do ich zerwania dochodzi nawet w przypadku znacznie mniejszego obciążenia, niż odpowiadającego trwałej wytrzymałości statycznej. Świadczy to o zmęczeniu materiału. Największą

dopuszczalną amplitudę naprężenia zmiennego jako funkcji ilości cykli oddziaływań na materiał podaje krzywa Wohlera, której przebieg przedstawia rys. 1^{x)} dla różnych rodzajów materiałów. Zmęczenie materiału przejawia się zwłaszcza w przypadku aluminium i jego stopów. Dopuszczalna amplituda zmiennego obciążenia spada po 10^8 cyklach do jednej czwartej trwałej wytrzymałości statycznej. Najmniejszą amplitudę naprężenia, przy którym praktycznie nie dochodzi do zmęczenia materiału, nazywamy granicą zmęczenia. Dla aluminium i jego stopów granica ta nie występuje jednak wyraźnie. Należy przypuszczać, że nawet przy zaistnieniu bardzo małych naprężeń - przy dużej ilości cykli obciążających dochodzi do zmęczenia i uszkodzenia materiału.

Amplituda dodatkowego obciążenia zmiennego odgrywa decydującą rolę przy ustalaniu trwałości przewodów; na trwałość mają jednak wpływ następujące czynniki:

a. Obróbka powierzchniowa. Stan powierzchni ma bardzo duży wpływ na zmęczenie materiału i na trwałość, gdyż na powierzchni lub tuż pod nią powstają pęknięcia, spowodowane zmęczeniem. Najbardziej uwydatniają się ostre nacięcia, na przykład ślady od kleszczy i innych narzędzi. Granica zmęczenia przewodów w ten sposób uszkodzonych obniża się do 50-80% pierwotnej wartości.

b. Wpływ temperatury. Zmiany temperatury w zakresie -25° do 40° nie mają większego znaczenia na granicę zmę-

^{x)} Wszystkie rysunki są zamieszczone na końcu artykułu.

czenia. Temperatura wywiera na przewody wpływ raczej pośredni w związku z oddziaływaniem na zmianę średniego naprężenia (patrz również pkt. d).

c. Częstotliwość zmian napięć. Ma ona dla trwałości przewodów z większości metali nieduże znaczenie, chociaż przy niższych częstotliwościach trwałość nieznacznie się zmniejsza.

d. Wartość naprężenia średniego. Jeżeli w naprężeniu średnim przeważa składowa rozciągająca, granica zmęczenia obniża się. Stosunek naprężenia średniego do największej amplitudy dopuszczalnej można określić na podstawie diagramu Smitha. Diagram w uproszczonej formie przedstawia rys. 2.

e. Wpływ korozji. Równocześnie działające naprężenia zmienne i korozja w środowisku agresywnym obniżają krzywą Wühlera. Zarazem okazuje się wtedy, że materiał traci określoną granicę zmęczenia, bo krzywa ta stale opada; ustalić można tylko przejściową granicę zmęczenia korozyjnego, będącą miejscem umownych wartości dla pewnej liczby cykli. W efekcie dochodzi do destrukcji materiału nawet przy bardzo małych naprężeniach i nie można ustalić granicy, zapewniającej nieograniczoną trwałość przy równoczesnym oddziaływaniu zmiennego obciążenia i korozji. Przebieg krzywych Wühlera w środowisku agresywnym zaznaczono na rys. 1 linią przerywaną.

Oporność na zmęczenie obniża również korozja międzykrystaliczna. Powstaje ona w miejscach, gdzie powierzchnie drutu wiązałkowego i przewodu przylegają do siebie.

Warunkiem uszkodzenia jest, aby amplituda drgań, działających na powierzchnie przylegające, osiągnęła minimalną wartość, przy której elastyczność i giętkość materiału nie mają znaczenia. Dla stali, na przykład, minimalna amplituda wynosi $3 \cdot 10^{-4}$ mm. Proporcjonalnie do amplitudy drgań wzrasta zakres uszkodzeń.

Dla lepszej ilustracji wpływu drgań przewodów na ich trwałość można przytoczyć następujący przykład. Zgodnie z danymi Instytutu Hydrometeorologicznego występują na obszarze państwa najczęściej wiatry o szybkości 2 do 5 m/sek. W granicach tych właśnie wartości występują w przewodach w płaszczyźnie pionowej drgania, które mają duży wpływ na trwałość przewodów. Dla bliższego wyjaśnienia tego wpływu obliczymy zmienną składową obciążenia dynamicznego przewodów ze stopów aluminium. Przy przeciętnej wartości rozpiętości przęsła, tj. 40 m, szybkości wiatru 3,5 m/sek, średnicy przewodu 4 mm i naprężenia w przewodzie $2,24 \text{ kg/mm}^2$, występującym przy przeciętnej temperaturze $+10^{\circ}$ można stwierdzić, iż w przypadku rezonansu amplituda pulsującej składowej osiąga wartość $+ 2,3 \text{ kg/mm}^2$. Na podstawie rys. 1 można wykazać, iż amplituda o wartości $+ 3 \text{ kg/mm}^2$ nie ma wpływu na trwałość przewodu, gdyż wartość ta przecina krzywą, którą przedstawia linia ciągła, w punkcie dla liczby drgań 10^{12} , odpowiadającej okresowi 100 lat. Jeżeli jednak powierzchnia przewodu została uszkodzona przez nacięcie lub korozję, granica zmęczenia spada i trwałość przewodu skraca się do jednej dziesiątej roku. Nawet gdyby amplituda była mniejsza, z uwagi na to, iż w obliczeniu uwzględni-

liśmy wartość dla rezonansu, znaczenie drgań i wpływ stanu powierzchni przewodów na ich trwałość stają się oczywiste. Tą samą żywotnością w przybliżeniu odznacza się przewód, którego powierzchnia została dotknięta korozją. Tylko przewody brązowe, których granica zmęczenia nie ulega zmianom pod wpływem środowiska agresywnego, wytrzymują drgania bez uszkodzeń.

Dla objaśnienia niektórych przyczyn uszkodzeń przewodów ze stopu aluminium należy jeszcze zbadać rozkład temperatury wzdłuż przewodu o promieniu r i przewodności cieplnej λ w środowisku o temperaturze zerowej. Jeżeli na jednym końcu przewodu utrzymuje się temperatura t_0 , wtedy w miejscu odległym o x temperatura przewodu wynosić będzie:

$$t = t_0 \cdot e^{-x \sqrt{\frac{2\alpha}{\lambda r}}}, \quad (7)$$

gdzie α oznacza współczynnik przejścia; dla bezwietrza $\alpha = 3$ do $10 \text{ kcal} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$; dla prądu powietrza $\alpha = 10$ do $500 \text{ kcal} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$; λ - przewodność cieplna; dla aluminium $\lambda = 0,50 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{sek}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$; r - promień przewodnika.

Zależność $\frac{t}{t_0}$ dla przewodów ze stopu aluminium o średnicy 4 mm i dla $\alpha = 10 \text{ kcal} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$ przedstawia rys. 3. Z rysunku tego wypływa wniosek, iż temperatura spada do połowy swej wartości w odległości 15 cm od cieplejszego końca przewodu.

W przypadku ogrzania przewodu ze stopu aluminium w

przybliżeniu do punktu topnienia (658°) wytrzymałość przewodu gwałtownie spada. Rys. 4 przedstawia wyniki pomiarów, dotyczących zależności między wytrzymałością przewodów a temperaturą oraz czasem ogrzewania. Jak wynika z rysunku, przy ogrzewaniu drutu w ciągu 1 minuty do temperatury 500° spada jego wytrzymałość do 33% pierwotnej wartości.

Niekorzystny wpływ zmniejszenia się wytrzymałości przewodu pod wpływem jego ogrzania uwydatnia się na przykład w miejscach połączeń przewodów ze stopu aluminium, przymocowanych na izolatorach dwuszyjkowych.

W miejscach połączeń podłącza się również kable jednożyłowe. Uszkodzenia występujące w tych miejscach poddano analizie. Kabel podłącza się w następujący sposób: koniec przewodu długości około 4 cm należy zgiąć, oczyścić i pocynować. Następnie żyłę kabla nawija się w tym miejscu na przewód i zalutowuje.

Przez cały czas ww. operacji montażowej przewód ogrzewany jest co najmniej w ciągu jednej minuty do temperatury 400° . Ponieważ przewody w miejscu połączenia owinięte są taśmą izolacyjną, co powoduje ich izolację cieplną, można przypuszczać, iż tę samą temperaturę posiada również pętla na szyjce izolatora. W tej sytuacji, zgodnie z rys. 3, wytrzymałość przewodu spada do 40% pierwotnej wartości. Największe obciążenie przewodu zaistnieje w miejscu jego styku z izolatorem.

Granica zmęczenia, po nagraniu przewodu wynosi $2,8 \text{ kg/mm}^2$; jeżeli zaś przy -25° i szybkości wiatru $7,5 \text{ m/s}$ średnie naprężenie przewodu osiągnie wartość

10,1 kG/mm², wtedy maksymalne napężenie w pętli wynosić będzie 7,5 kG/mm², co z kolei prowadzi do obniżenia granicy zmęczenia do wartości 1 kG/mm². Przy amplitudzie składowej zmiennej w pętli o wartości $\pm 2,3$ kG/mm² trwałość przewodu nie przekroczy okresu 36 dni, podczas których istniałyby wymienione warunki atmosferyczne. Przy nadmiernym obciążeniu przewodów trwałość ich jeszcze bardziej ulega zmniejszeniu wobec czego do ich zerwania wystarcza jeden silniejszy podmuch wiatru. W przypadku nadmiernego obciążenia przewodów (wartość przekracza 16 kG/mm²) przewody pękają też w następstwie oddziaływania sił statycznych (dotyczy to na przykład oblodzenia), jak również drgania przewodów mogą skrócić ich żywotność do kilku miesięcy.

Przy wystąpieniu rezonansu, do pęknięcia przewodów dochodzi w przeciągu kilku sekund. Sytuację pogarszają mechaniczne uszkodzenia, do których mogło dojść w czasie montażu.

Sposób montażu przewodu na izolatorze dwuszyjkowym przedstawia rys. 5. Z obu stron przewody zakończone są pętlami wiązałkowymi, tworzącymi sztywną ramę o wierzchołkach ABCD.

Przy powstaniu drgań na skutek oddziaływania wiatru dochodzi zarówno w płaszczyźnie pionowej jak i poziomej do wychylenia punktów A i B z ich położenia równowagi oraz do ich przesunięcia względem sztywnego odcinka BC. Przy przesunięciu punktu A do miejsca A' długość odcinka ulegnie skróceniu o

$$\Delta x = x - x' = x(1 - \cos \alpha), \quad (8)$$

gdzie α to kąt odchylenia przewodu zgodnie z rys. 6 i 7.

Z przesunięciem punktu A o Δx do punktu A' powstaje moment

$$M = \frac{3 \cdot E \cdot I \cdot \Delta x}{l^2} \quad (9)$$

w związku z czym naprężenie w punkcie B wynosić będzie

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{1,5 \cdot E \cdot d \cdot \Delta x}{l^2} \quad (10)$$

gdzie E - moduł sprężystości;

d - średnica przewodu;

Δx - wartość przesunięcia punktu A zgodnie z (8);

l - długość odcinka AB.

Identyczne naprężenie będzie występowało w punkcie A, w którym działa ten sam moment w odwrotnym kierunku. Ta sama zależność występuje też na odcinku CD.

Kąt odchylenia przewodu α obliczyć można z pierwszej pochodnej równania, określającego odchylenie przewodu w punkcie jego przymocowania. Odchylenie przewodu w płaszczyźnie pionowej, zgodnie z rys. 6, oblicza się wg

$$y = A_{km} \sin \frac{k \pi x}{a}$$

zaś styczna w punkcie $x = \phi$ będzie miała kierunkową

$$\operatorname{tg} \alpha = y' = \frac{A_{km} \pi k}{a} = \frac{\sigma_m}{E} \quad (11)$$

gdzie

A_{km} - największa amplituda odchylenia przewodu;

k - liczba półfal;

a - rozpiętość przęsła;

σ_m - dodatkowe naprężenie zmienne zgodnie z (4);

E - moduł sprężystości.

Odchylenie przewodu w kierunku poziomym, zgodnie z rys. 7, oblicza się wg wzoru

$$y = \frac{x^2 \cdot p_v}{2 T}$$

Styczna w punkcie $x = \frac{a}{2}$ ma kierunkową

$$\operatorname{tg} \alpha = y' = \frac{a \cdot p_v}{2 \cdot T} = \frac{4 \cdot f_d}{a} \quad (12)$$

gdzie

a - rozpiętość przęsła;

p_v - siła parcia wiatru na 1 m przewodu;

T - poziome naprężenie w przewodzie;

f_d - odchylenie przewodu w czasie uderzenia prądu powietrznego.

Przy odchyleniu przewodu w kierunku poziomym występuje dodatkowe jego obciążenie w kierunku skręcania. W tym czasie, kiedy oś odcinka BC pozostaje przy odchyle-

niu równoległa do osi przewodu, skręca się przekrój prętu w punkcie A o kąt α .

W ten sposób moment skrętu

$$M_k = \frac{\pi \cdot d^4 \cdot G \cdot \alpha}{32 l}, \quad (13)$$

gdzie G to współczynnik sprężystości poprzecznej. Największe naprężenie poprzeczne osiąga wartość

$$\tau_{\text{maks}} = \frac{5 \cdot M_k}{d^3} \quad (14)$$

a naprężenie wynikowe

$$\sigma_w = \sqrt{\sigma^2 + \frac{E}{G} \tau^2} \quad (15)$$

Do równania (15) podstawiamy zamiast σ wartość obliczoną wg równania (10). Bardziej szkodliwe okazują się drgania w płaszczyźnie poziomej. Wówczas obciążenie w narożach osiąga bardzo duże wartości. Przykładowo: przy długości przęsła 50 m i temperaturze $+10^\circ$ naprężenie wynikowe w punkcie A i B równa się $5,1 \text{ kg/mm}^2$.

W następstwie lutowania końców przewodów spada wytrzymałość jednostkowa do 12 kg/mm^2 , równocześnie maleje także granica zmęczenia, która jest bardzo mała w miejscach, w których przewody uszkodzono kleszczami. Trwałość pętli zmniejsza się do kilku miesięcy.

Podsumowując powyższe stwierdzenia należy dla przedłużenia trwałości przewodów poczynić następujące kroki:

1. Troskliwie odbierać druty przewodowe. Jakość drutu określona jest odpowiednimi normami, których dotrzymywania należy ściśle przestrzegać. Powierzchnia drutu nie może być uszkodzona, ochronna warstwa z cynku na przewodach stalowych musi dobrze przylegać do drutu i uszczelniać połączenie.

2. Przy transporcie i magazynowaniu przewodów należy zapewnić ochronę ich powierzchni przed mechanicznym uszkodzeniem. Dlatego zaleca się szczególną ostrożność przy pracach montażowych. Przewody stalowe nie mogą być magazynowane na przestrzeni otwartej z uwagi na osady, które wraz z wilgocią powoduje w miejscach styku poszczególnych zwojów drutu szybko przebiegającą korozję. Magazynowanie przewodów powinno mieć miejsce w pomieszczeniach suchych i chronionych od kurzu.

3. Przed montażem przewodów należy sprawdzić, czy w czasie ich magazynowania materiał nie został uszkodzony. Uszkodzone przewody należy zwrócić. W trakcie montażu trzeba chronić materiał przed tarciem na konstrukcjach stalowych; dla przewodów brązowych oraz ze stopu aluminium należy użyć w czasie montażu podstawek drewnianych; to samo dotyczy zresztą i przewodów stalowych, u których uszkodzenie warstwy cynkowej powoduje obniżenie ich trwałości co najmniej o trzy lata.

4. Przewody na maszty należy wciągać według tablic montażowych przy użyciu miernika siły. Przy nadmiernym naprężaniu przewody pękają w trakcie eksploatacji przy znacznie mniejszych obciążeniach niż przewiduje norma.

5. Dla zmniejszenia szkodliwego wpływu wiatru w przypadku przewodów ze stopu aluminium lub stali należy przestrzegać, aby już w trakcie projektowania trasy przebiegu linii uwzględnić kierunki silnych wiatrów w terenach otwartych, a szczególnie w terenach górskich, gdzie intensywność wiatrów w wyższych regionach znacznie przekracza siłę wiatru na nizinach.

Dla zmniejszenia wpływu czynników obniżających granicę zmęczenia należy chronić powierzchnię przewodów ze stopu aluminium i stali za pomocą cienkiej warstwy z polietylenu lub polichlorku winylu o ile można opanować dany proces technologiczny. Warstwa ochronna mogłaby również chronić przewody przed uszkodzeniami mechanicznymi i lepiej zabezpieczać materiał przed korozją.

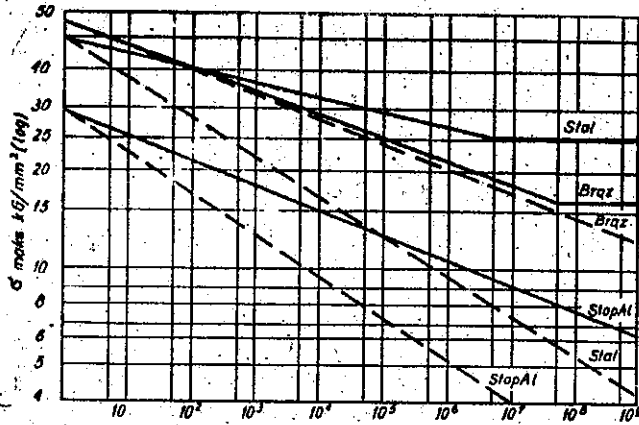
Ażeby wykluczyć korozję międzykrystaliczną w miejscach przymocowania przewodów do izolatorów, można zastosować w tych miejscach na przewodach specjalne rurki z polietylenu. Prewencja taka dla przewodów ze stopu aluminium jest konieczna.

Nie zaleca się łączenia przewodów ze stopu aluminium na izolatorach dwuszyjkowych zarówno ze względu na konserwację, jak i zmienne obciążenie przewodów w pętli. Obciążenie to można zmniejszyć przez zastosowanie pętli o kształcie koła o odpowiednie dużym promieniu. Również spawanie przewodów na gorąco nie jest korzystne z punktu widzenia obniżenia trwałości przewodów. Najkorzystniejsze jest łączenie przewodów aluminiowych za pomocą prasowania na zimno, jednak ten sposób łączenia jest trudny w realizacji ze względów technologicznych.

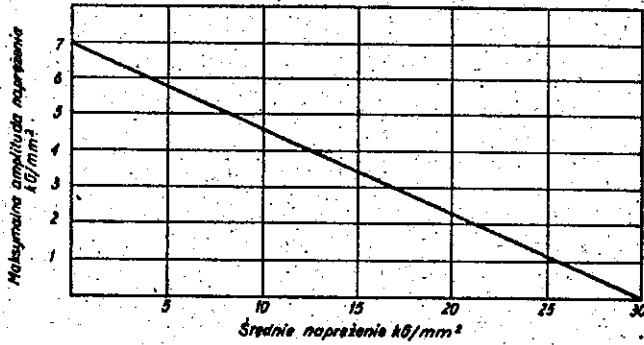
Chociaż na dłużej nie przewiduje się stosowania przewodów aluminiowych dla torów napowietrznych, poświęcono im w pracy niniejszej więcej miejsca z uwagi na ich dotychczasowe szerokie zastosowanie.

Przy połączeniach kabli jednożyłowych z przewodami aluminiowymi zaleca się, aby wolne końce miały co najmniej długość 20 cm. Przewód na tym odcinku powinien być odizolowany i bez warstwy ochronnej. Spawanie należy przeprowadzać szybko.

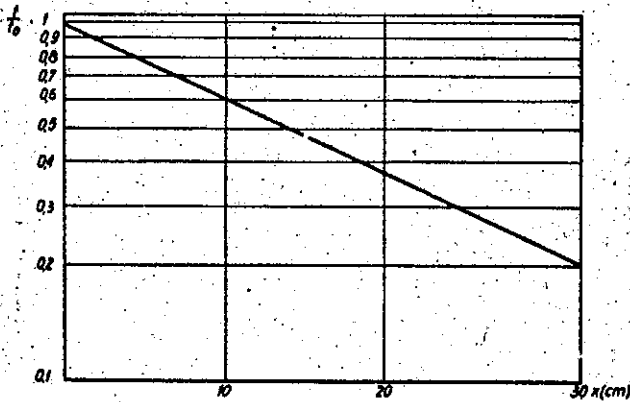
Praca niniejsza przedstawia pierwszą poważną próbę teoretycznej analizy bardzo aktualnego zagadnienia, jakim niewątpliwie jest trwałość napowietrznych linii telekomunikacyjnych. Przedstawione wzory i krzywe mogą się stać punktem wyjściowym do dalszych badań i prac teoretycznych w poszczególnych laboratoriach resortu łączności. Na uwagę zasługuje zwłaszcza zagadnienie korozji przewodów linii napowietrznych w różnych środowiskach i warunkach atmosferycznych oraz realizacja poszczególnych praktycznych wniosków, wpływających z niniejszej pracy.



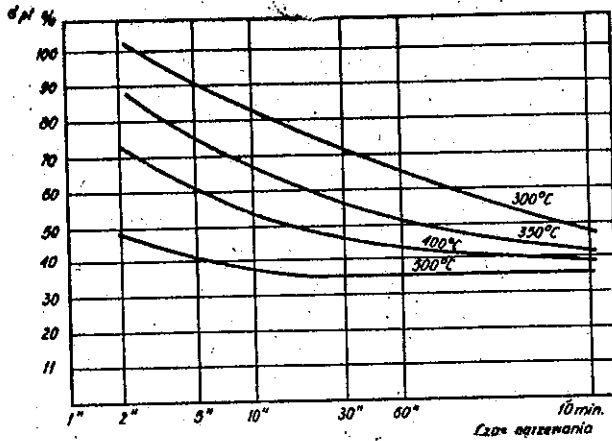
Rys. 1. Liczba cykli obciążających log N



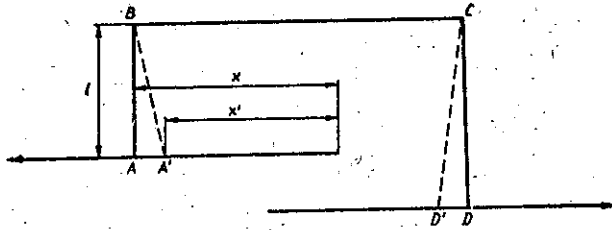
Rys. 2. Diagram Smitha



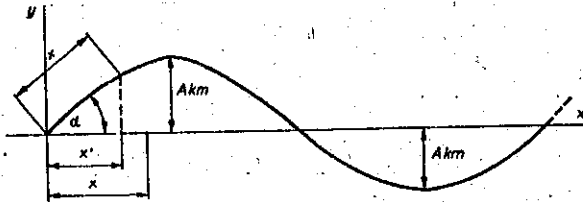
Rys. 3. Rozkład temperatury wzdłuż przewodu ze stopu aluminium



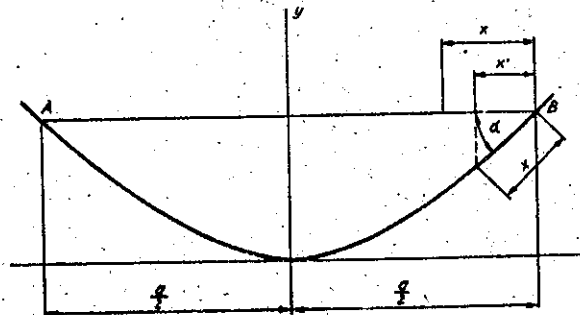
Rys. 4. Wytrzymałość przewodów ze stopu aluminium w zależności od temperatury i czasu ogrzewania



Rys. 5. Schemat złączenia przewodów na izolatorze dwuszyjkowym



Rys. 6. Krzywa odchylenia drgającego przewodu



Rys. 7. Krzywa odchylenia przewodu pod wpływem wiatru

SPOSÓB UŁOŻENIA KABLI TELEFONICZNYCH W STUDNIACH KABLOWYCH

Opracował A. Moniuszko na podstawie artykułu:
H. Klett: Das Lagern von Fernmeldekabeln in
Kabelschächten, Fernmelde-Praxis, 1966 t. 43
nr 13, s. 526-532.

Istotnym elementem kanalizacji kablowej są budowane w odpowiednich odstępach studnie kablowe. Ich rozmieszczenie uwarunkowane jest przebiegiem kabla telefonicznego, tj. zmianą kierunku jego trasy w płaszczyźnie pionowej lub poziomej, odgałęzieniami kanalizacji, a także długościami odcinków fabrykacyjnych układanego kabla.

Wśród studni kablowych rozróżnia się studnie przelotowe dla ułatwienia przeciągania kabli oraz studnie złączowe. W pierwszych kable przechodzą przelotem, w drugich studniach wykonywane są złącza przelotowe, kondensatorowe, montowane są zespoły pupinizacyjne lub przegrody gazoszczelne. Dla kabli wieloparowych studnie przelotowe mają długość ok. 1,90 m, zaś studnie złączowe - ok. 3,00 m. Długości studni zdarzają się jednak czasem znacznie większe, jak np. studni wprowadzeniowych i studni na dużych skrzyżowaniach kanalizacji kablowej. Szerokości studni kablowych wynoszą zwykle 1,20 m i 1,50 m. Budowanie studni o większych szerokościach napotyka już duże trudności ze względu na znaczne zagęszczenie różnych instalacji podziemnych, jak np. kabli elektroenergetycznych, wodociągów, gazociągów, rurociągów ciepło-

wniczych, obcych kabli telekomunikacyjnych i in. Ponadto, aby nie rozkopywać kosztownych nawierzchni dróg jezdnych, dąży się do ulokowania możliwie wielu urządzeń podziemnych pod chodnikami. Z reguły szerokość chodnika od krawędzi zewnętrznej do granicy działki wynosi 2,25 m, a na tej odległości od drogi ruch kołowy wpływa już mniej lub bardziej szkodliwie na różne urządzenia podziemne. Dlatego studnie kablowe buduje się raczej dłuższe niż szersze. W studniach musi być jednak do dyspozycji tyle miejsca, aby po zamocowaniu w niej wszystkich urządzeń można było wykonywać prace bezpiecznie i bez zakłócenia eksploatacji kabli.

Kable i złącza układane są na wspornikach kablowych, umocowanych na szynach wspornikowych. Wsporniki kablowe nr 32 dostarczane są w 3 długościach. Wytrzymałość wsporników, zwłaszcza długich, jest niedostateczna do układania na nich ciężkich kabli i dużych złączy. Należy ponadto uwzględnić bardzo duże różnice w wytrzymałości umocowania wsporników. Można to łatwo zauważyć z rys. 1^{x)}. W niesprzyjających okolicznościach bolce mocujące mogą być nawet obcinane. Niedogodności tej można w większości przypadków tanio i łatwo uniknąć przez zastosowanie kątowników podtrzymujących, które mogą być przyspawane do zwykłych, będących w handlu wsporników, przez każdego ślusarza za niewielką opłatą. Wsporniki nr 32 są przewidziane tylko do poziomego układania kabli. Przy ukośnym, często nieuniknionym, prowadzeniu kabli krawę-

x) Wszystkie rysunki są zamieszczone na końcu artykułu.

dzie wsporników "piłują" kabel, narażając go na uszkodzenie.

Wszystkim tym wadom można zapobiec przez zastosowanie specjalnej szyny mocującej i odpowiednio do niej przystosowanych wsporników kablowych. Okazała się wystarczająca szyna o wymiarach 44x22x3 mm. Została ona odpowiednio wbetonowana w ścianę studni (rys. 2). Użykuje się dzięki temu powiększenie przestrzeni w studni o 8 cm po obu jej stronach, ponieważ o tyle wystają dotychczasowe szyny wspornikowe.

Na rysunku 3 przedstawiona jest konstrukcja wsporników, które mogą być wykonywane o długościach 40, 60 i 80 cm. Podtrzymują one kabel pewnie w dowolnym położeniu i kierunku (rys. 4), na wysokości ustawianej w sposób dowolny, bezstopniowo (rys. 5). Szyny mocujące wypełnione są tworzywem piankowym i umieszczone w oszalowaniu. Tworzywo piankowe zapobiega zanieczyszczeniu i zapchaniu wnętrza szyny mocującej betonem, przy jego ubijaniu. Wsporniki, zakładane w szyny mocujące, przytwierdzone są śrubami kłamrowymi, np. M12x35. Sposób ten okazał się bardzo dobry w wielu studniach kablowych sieci miejscowej, jak również w studniach złączowych kanalizacji podziemnej (rys. 6a i 6b).

W celu późniejszego montowania szyn mocujących zarówno w studniach betonowych jak i murowanych najlepiej jest użyć specjalnych kołków metalowych, zaklinowanych w ścianie studni (tzw. dybli), w które wkręcane są śruby mocujące szyny (rys. 7, 8a i 8b). Na konstrukcjach stalowych, które często są nie do uniknięcia w stud-

niach specjalnych, można również instalować szyny mocujące, zależnie od potrzeby (rys. 9), przy czym jest tu bez znaczenia czy konstrukcja stalowa mocowana jest tylko w dnie studni od dołu, czy tylko od góry, czy też zarówno od dołu jak i od góry. Wsporniki stalowo-betonowe, które jeszcze obecnie są dostarczane do studni, montowanych z elementów prefabrykowanych, są bardzo niepopularne wśród kolumn układających i montujących kable w kanalizacji. Wsporniki te są ciężkie, nieporęczne, zajmujące dużo miejsca. Ich zamocowanie jest często niewystarczające przy większych obciążeniach. Stosowanie wsporników mocowanych do szyn jest możliwe bez zmiany konstrukcji studni kablowej, co pozwala na korzystanie ze wszystkich ich zalet. W celu zamocowania wsporników w szczelinach betonowych elementów prefabrykowanych studni kablowej wystarczają zwykle, dostępne w handlu tzw. śruby podsadzane z czworokątną podkładką i takim samym otworem (rys. 10).

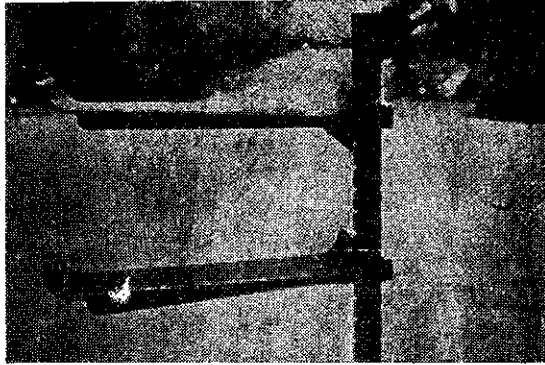
Przytoczone tu opisy i rysunki wskazują, że kable w studniach mogą być w każdym wypadku tak ułożone, aby nie były narażone na ewentualne uszkodzenia, a więc aby pracowały niezawodnie.

W polskiej sieci miejscowej kable układane są w studniach na wspornikach kablowych typu WS. Wsporniki te wykonywane są wg normy BN-65/9378-30 w dwóch wielkościach: jako wsporniki dwukablowe do umocowania na nich dwóch kabli oraz jako wsporniki trzykablowe do umocowania trzech kabli. Wsporniki te mocowane są do rur wsporni-

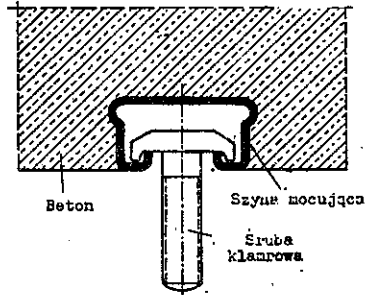
kowych, wykonywanych indywidualnie, o odpowiednio dopasowanej wysokości dla danej studni.

Konstrukcja wsporników polskich jest nieco odmienna od rozwiązania niemieckiego. Są one mianowicie wyposażone w kabłąkowane uchwyty, pozwalające na trwałe zamocowanie układanych kabli. Nie mogą one być jednak mocowane w położeniu ukośnym, tak jak na to pozwala nowe rozwiązanie wsporników niemieckich. Wspornik dwukablowy WS2 - polskiej konstrukcji - przedstawiony jest na rys. 11.

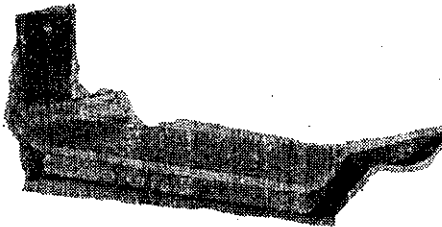
Wydaje się, że choć wsporniki polskie nie są tak uniwersalne jak wprowadzane obecnie nowe wsporniki w sieci niemieckiej, to jednak przeniesienie ich na nasz teren napotkałoby pewne trudności. Trudności te to przede wszystkim brak odpowiednich elementów, dostępnych na rynku. Np. szyny mocujące o zaproponowanym przekroju (rys. 8) nie są w Polsce produkowane, a indywidualne ich wykonywanie znacznie podrożyłoby koszt wsporników. Śruby mocujące o których mowa w artykule, są w Polsce znormalizowane; np. śruba kłamrowa (rys. 2) odpowiadałaby śrubie wg PN/M-82512, zaś śruba podsadzana (rys. 10) ma swój odpowiednik wg normy PN-59/M-82406.



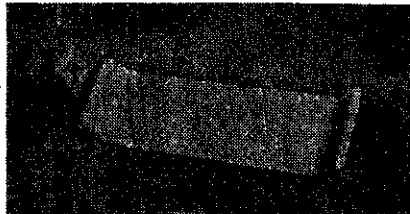
Rys.1. Wspornik kablowy nr 32 na szynie wspornikowej nr 32:
u góry - wspornik kablowy z przyspawanym kątownikiem pod-
trzymującym; u dołu - wspornik zwykły



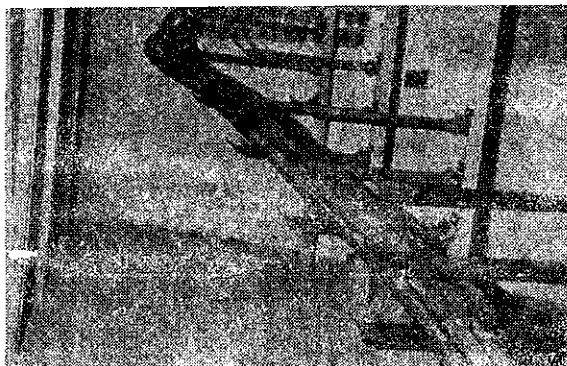
Rys. 2. Wbetonowana wspornikowa szyna mocująca



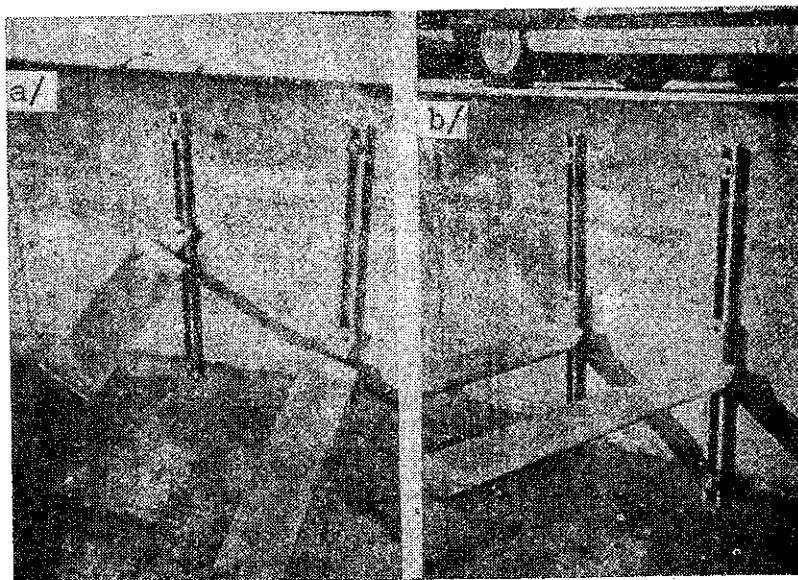
Rys. 3. Wspornik do szyny mocującej



Rys.4. Wspornik na szynie mocującej w położeniu ukośnym



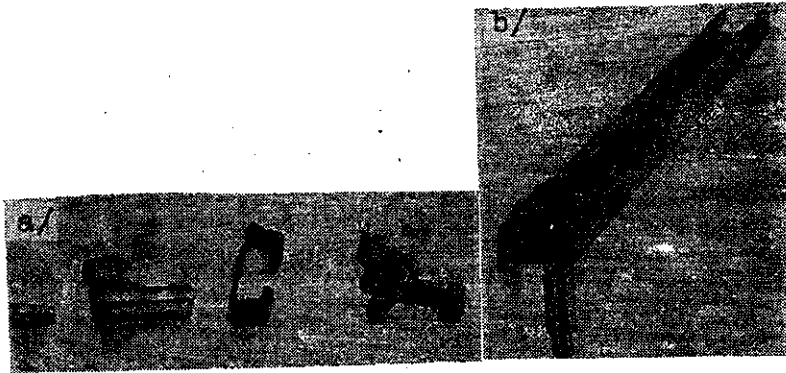
Rys. 5. Ukośne prowadzenie kabli na wspornikach przytwierdzonych do szyny mocującej



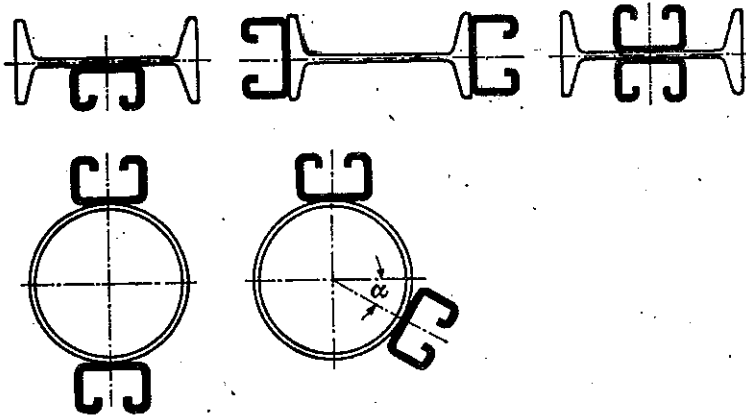
Rys. 6. Szyny mocujące zamocowane w ścianie studni:
a/ ze wspornikami w położeniu ukośnym, b/ ze wspornikami w położeniu poziomym



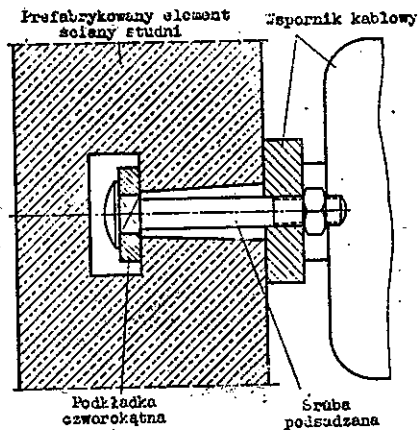
Rys. 7. Metalowy kołek /z klinem/ do mocowania szyn na ścianie betonowej



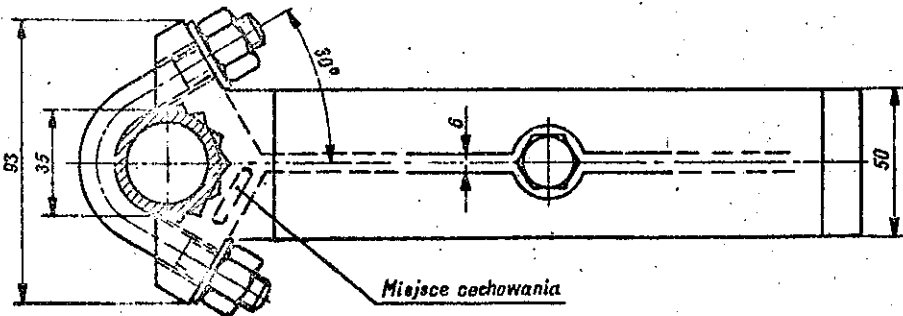
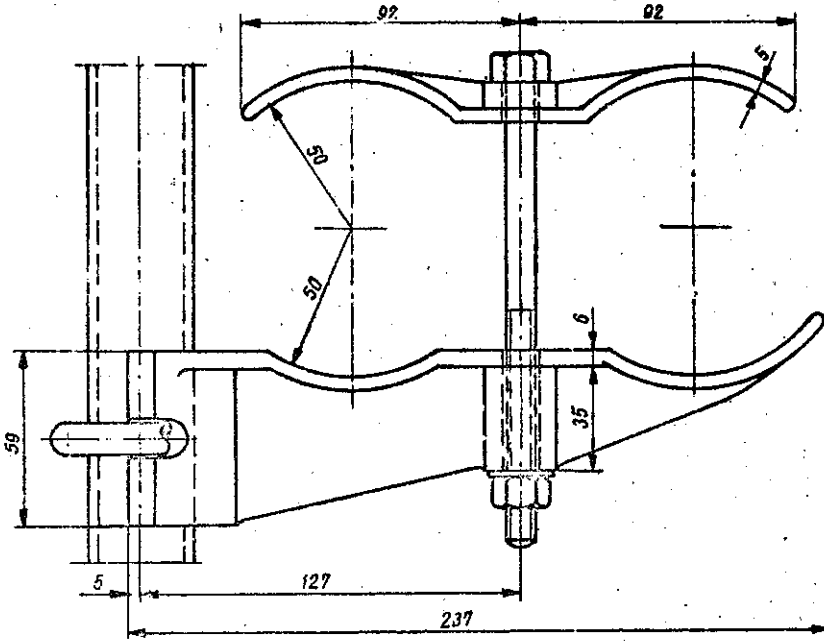
Rys. 8a. Szyna mocująca przytwierdzona metalowymi kołkami na tynku; b/ szyna mocująca i kołek metalowy



Rys. 9. Umieszczenie szyn mocujących na metalowych konstrukcjach wsporczych



Rys. 10. Zamocowanie wspornika na ścianie studni z elementów prefabrykowanych



Rys. 11. Wspornik dwukablowy WS2

UKŁADANIE KABLI POD DROGAMI KOMUNIKACYJNYMI /LĄDOWYMI/ BEZ MECHANICZNEGO ZABEZPIECZANIA

Opracował A. Moniuszko na podstawie artykułu
Löwe H.: Erdkabelverlegung unter Verkehrswe-
gen (ohne Gewässer) ohne Kabelschutz, Der
Fernmelde-Praktiker, 1966 t. 6 nr 11, s.257-
-261.

1. WSTĘP

W artykule opisano sposoby układania kabli pod drogami komunikacyjnymi (za wyjątkiem przejść podwodnych), czyli pod tzw. "obiektami" bez potrzeby zabezpieczania kabli przed uszkodzeniami mechanicznymi.

Niemieckie (NRD) przepisy budowy linii kablowych zalecają zabezpieczenie kabli w przejściach pod drogami przez układanie ich w kanalizacji kablowej betonowej, z rur stalowych lub azbestocementowych. Chociaż zabezpieczanie kabli blokami betonowymi jest najtańsze, jednakże wykonywanie budowy tego rodzaju zabezpieczeń jest ograniczone do przypadków, kiedy roboty drogowe są w toku lub gdy zbudowane drogi nie mają twardej nawierzchni. Rury azbestocementowe są zbyt drogie i dlatego oplaca się je stosować tylko wtedy, gdy dostępna jest dostateczna ilość rur odpadowych, o obniżonej cenie. Z tego powodu dawniej z reguły pod drogami zaciągano kable do rur stalowych, po uprzednim wywierceni otworów pod drogą za pomocą urządzeń mechanicznych.

2. CEL STOSOWANIA RUR OCHRONNYCH DLA KABLI POD DROGAMI

Kablowe rury ochronne (tzw. rury obiektowe) mają za zadanie:

- 1) zabezpieczyć drogę komunikacyjną przed uszkodzeniami, które mogłyby powstać przy wykonywaniu otworów za pomocą urządzeń mechanicznych,
- 2) zapewnić swobodę ruchu na drodze,
- 3) potanieć przyszłą rozbudowę podziemnej sieci telekomunikacyjnej,
- 4) uchronić kabel przed mechanicznymi uszkodzeniami,
- 5) zapewnić szybsze usuwanie uszkodzeń kabla.

Od 1964 r. były prowadzone badania, mające na celu wyjaśnienie, w jakim zakresie uzasadnione jest stosowanie rur ochronnych dla kabli, a także jakie są możliwości zwiększenia wydajności pracy przy budowie przejść kabli doziemnych pod drogami.

3. ZABEZPIECZENIE DROGI KOMUNIKACYJNEJ PRZED SZKODAMI POWODOWANYMI PRZEZ OTWORY WYKONYWANE POD NIĄ

Przy wszelkich metodach układania kablowych rur ochronnych muszą być wykonywane w ziemi otwory o średnicy większej niż średnica rury w celu zmniejszenia tarcia przy wciąganiu jej do otworu i dla pomieszczenia złączy rur. Większa średnica elementów łączących rury

(złączy) wynika z tego, że rury muszą mieć dostateczną grubość ze względu na ciśnienie wywierane na powierzchnię tych elementów i ich ścieranie, przede wszystkim przez ostre kamienie, jak również z powodu dużych tolerancji zewnętrznej średnicy końców rur i wewnętrznej średnicy elementu łączącego. Tak więc wolna przestrzeń między rurą a gruntem w wywierconym otworze może osiągać do 64% przekroju otworu, tj. do $50,5 \text{ cm}^2$. Uwidocznione jest to na rys. 1 i w tabl. 1.

Wiercenie takich otworów za pomocą przenośnego urządzenia typu KS 244 przez wkręcanie świdra w grunt przy obsuwającej się ziemi, a zwłaszcza w gruntach gliniastych, jest bardzo trudne. Zastosowanie natomiast urządzeń drążących ziemię metodą uderzeniową, jak np. za pomocą urządzenia typu SB 20, typu "Pionjör" lub typu "Kret" pozwala na łatwiejsze wykonywanie otworów metodą przebijania^{x)}.

Niestety nie można nawet w przybliżeniu ocenić, w jakim zakresie mechanicznie wykonane pod drogą otwory są wyłącznymi przyczynami uszkodzeń dróg lub też przyspieszają powstawanie tych uszkodzeń. Można jednak przyjąć, że otwory wykonywane metodą drążenia nie powodują uszkodzeń dróg.

Jednakże drążenie otworów, zwłaszcza kilku równoleg-

^{x)} W dalszej części artykułu wykonywanie otworów w ziemi za pomocą świdrów, wiertel itp. nazywane będzie wierceniem, wykonywanie zaś za pomocą przebijaków pneumatycznych zwane będzie drążeniem.

T a b l i c a 1

Wielkości wolnych przestrzeni powstałych po wierceniu i ułożeniu rur.

Rodzaj mechanicznego urządzenia - sposób budowy	Średnica wierceniowego otworu D_B mm	Średnica zewnętrzna rury d_A mm	Wolna przestrzeń	
			przekrój cm^2	procent wierceniowego otworu %
Urządzenie SB 20 - wciąganie /wpychanie/ rur, drażnienie	130	108	41,0	30,7
	95	76	25,7	36,1
Urządzenie "Kret" - zaciąganie /za "Kretem"/ rur, drażnienie -	100	76	33,5	42,4
	100	60	50,5	64,0
Urządzenie "Kret" - wciąganie /wpychanie/ rur przy statycznym drażnieniu, drażnienie -	88	76	15,5	25,4
	88	60	32,5	53,3
Urządzenie "Kret" - wbijanie rur, drażnienie -	80	80	0	0
	76	76	0	0
	60	60	0	0
	40	40	0	0
Urządzenie "Pionjër" - wbijanie rur, drażnienie	40	40	0	0
	30	30	0	0
Przenośne urządzenie KS 244. - wydobywanie materiału wiertniczego	150	134	36,0	20,3
	150	108	85,5	48,2
	100	76	33,5	42,4

łych, w niewielkiej od siebie odległości lub na niewielkiej głębokości, może spowodować powstawanie wypukłości lub pęknięć nawierzchni drogi, uwidaczniających się natychmiast lub po kilku dniach. Drażenie otworów w gruncie wpływa na jego spęistość, ponieważ grunt wokół drażonego otworu ulega ściśnięciu pod wpływem działania sił promieniowych.

Drezdeński Instytut Budownictwa i Mechaniki Budowlanej udzielił informacji, pozwalających na określanie dopuszczalnej liczby drażonych równolegle otworów i ich maksymalnych średnic w zależności od rodzaju gruntu i głębokości, na której wykonywane jest drażenie:

"Jeśli na przykład średnica obszaru oddziaływania wywołwanego roztlaczaniem gruntu o charakterze piaszczystym wynosi 1,6 m, przy krążeniu otworu o średnicy do 300 mm na głębokości 1 m, to na powierzchni drogi mogą wystąpić pofalowania. Jeżeli powierzchnia drogi jest z materiału spoistego, wówczas pory istniejące w gruncie najczęściej wypełnione są wodą i w zasadzie teoretycznie jest niemożliwe wykonanie otworów bez spowodowania uszkodzeń na powierzchni drogi. W praktyce przy stosowaniu tej metody bardzo często napotyka się grunt spulchniony poprzednimi robotami ziemnymi, a więc bardziej porowaty. Z tych względów jest zbędne szukanie ogólnie obowiązujących zasad; jest znacznie sensowniejse wykorzystanie doświadczeń zebranych przy wykonywaniu drażeń".

Dlatego Laboratorium Budownictwa Łączności przekazało przedsiębiorstwom następujące zalecenia:

- a) warstwa gruntu nad kanalizacją powinna wynosić 1,20 m,
- b) liczba równolegle prowadzonych ochronnych rur kablowych w odstępach mniejszych niż 200 mm przy średnicy znamionowej rur 70 mm nie powinna przekraczać 4, zaś przy średnicy 100 mm nie powinna przekraczać 2.

Należy także wziąć pod uwagę, że w niektórych przypadkach pomimo maksymalnego obciążenia urządzenia drążącego nie można dokończyć rozpoczętego drążenia. W tabl. 2 podane są osiągalne naciski na jednostkę powierzchni.

Z tych powodów należy wykonywać drążenia o możliwie najmniejszej średnicy otworu. Średnice te powinny być dobrane do zewnętrznych średnic kabli i powinny umożliwiać łatwe wciąganie kabla. Ze względu jednak na trudności związane z zaopatrzeniem i magazynowaniem asortymentu rur ochronnych ograniczono do średnic: $1 \frac{1}{2}$ " , 2" , $2 \frac{1}{2}$ " i 100 mm. Wykorzystanie przekrojów rur o tych średnicach podane jest na rys. 2 i w tabl. 3.

Teoretycznie najbardziej korzystne byłoby zrezygnowanie z rur kanalizacyjnych. Wiąże się to jednak z wieloma nowymi problemami, które należy rzeczowo rozważyć, np. problem rytmiczności przebiegu wykonawstwa, sposobu drążenia dodatkowego otworu dla wciągnięcia kabla przy dużym natężeniu ruchu i dużym obciążeniu komunikacyjnym, jak również problem opracowania odpowiednich elementów do wciągania i zabezpieczania kabla przed uszkodzeniem go nadmierną siłą rozciągającą, stosowaną przy wciąganiu.

T a b l i c a 2

Zestawienie uzyskiwanych ciśnień przy drażeniu urządzeniami mechanicznymi

Rodzaj mechanicznego urządzenia	Wytwarzany przez urządzenie nacisk ton	Średnica zewnętrzna elementu łączącegogo lub rury mm	Cisnienie kg/cm ²
Urządzenie SB 20	20	130	150
		95	281
		108	218
		76	440
		60	702
Urządzenie "Kret"	2,5-4,5	100	31,7-57,0
		88	41,0-73,8
		80	49,5-89,1
		76	55,0-98,8
		60	87,8-158
		40	199-358
Urządzenie "pionjär"	2,5	75	56,2
		60	87,8
		40	199

T a b l i c a 3

Zakres stosowania kablowych rur ochronnych o różnych średnicach /aż do optymalnego wykorzystania przekroju rury/

Wewnętrzna średnica rury mm	Średnica żył kabla ziemnego mm	Liczba par w kablu	Zewnętrzna średnica kabla mm	Wykorzystany przekrój rury %
40 / 1 1/2 /	0,5	20	21,6	29,2
		50	27,4	47,0
		100	33,4	69,9
	0,8	20	26,2	43,0
		30	28,7	51,6
50 / 2" /	0,5	50	27,4	29,9
		100	33,4	44,4
		150	38,6	59,6
	0,8	20	26,2	27,3
		50	32,2	41,4
		100	40,4	65,1
70 / 2 1/2 /	0,5	20	21,6	9,5
		50	27,4	15,3
		100	33,4	22,8
		150	38,6	30,6
		300	49,1	49,5
	0,8	20	26,2	14,0
		50	32,2	21,2
		100	40,4	33,4
		150	48,7	48,4
		200	52,9	59,8
100	0,5	20	21,6	4,7
		50	27,4	7,5
		100	33,4	11,1
		150	38,6	14,9
		250	45,9	21,1
		500	60,3	36,4
		800	75,2	55,3
	0,8	20	26,2	6,9
		50	32,2	10,3
		100	40,4	16,4
		150	48,7	23,7
		250	58,8	34,6
		500	76,3	58,1

Problem drażenia gruntu za pomocą wbijania w grunt stalowych rur ochronnych udało się rozwiązać przy współpracy z PRL i przy wykorzystaniu szwedzkich doświadczeń. Rury są wbijane, jak pokazano na rys. 3, za pomocą "Kreta" lub "Pionjera".

W przyszłości jest technicznie całkiem możliwe rozwiązanie wciskania rur kanalizacyjnych za pomocą urządzenia drażącego SB 20, bez uprzedniego wiercenia. Dzięki tej nowej technologii praca została znacznie usprawniona.

Reasumując można stwierdzić, że mechaniczne zabezpieczenie kabli metodą wykonywania drażeń pod drogami będzie uzasadnione ekonomicznie i technicznie ze względu na możliwość osiągnięcia następujących korzyści:

- 1) możliwość zastosowania mniejszej średnicy rur ochronnych niż dotychczas,
- 2) wyeliminowanie powstawania przy drażeniu pustych przestrzeni w gruncie, dzięki wbijaniu lub wciskaniu rur ochronnych w grunt,
- 3) możliwość zrezygnowania z rur ochronnych.

4. ZAPEWNIENIE SWOBODNEGO RUCHU ULICZNEGO NA DRÓGACH

Gospodarcze znaczenie wykonywania drażeń podziemnych na skrzyżowaniach kabli z drogami jest bezsporne ze względu na możliwość ograniczenia do minimum przypadków rozkopywania powierzchni dróg, uniknięcie powstawania szkód na drogach komunikacyjnych, a zwłaszcza ze wzglę-

du na zmniejszenie konieczności stosowania objazdów. Stwierdzono, że przy dzisiejszym ruchu kołowym w dużym mieście objazd o długości 1 km pochłania co najmniej 200 roboczogodzin pojazdów na jeden dzień i ponad 1200 l materiałów pędnych.

5. ZMNIEJSZENIE KOSZTÓW PRZYSZŁEJ ROZBUDOWY PODZIEMNEJ SIECI TELEKOMUNIKACYJNEJ

Ocena trzeciej funkcji rur ochronnych, to jest możliwości potanienia przyszłej rozbudowy podziemnej sieci telekomunikacyjnej, jest problematyczna. Nie ma obecnie żadnych wytycznych projektowania, dotyczących wyboru średnicy znamionowej rur ochronnych. Podczas gdy jedni projektanci zalecają rurę o średnicy 100 mm, inni przewidują zastosowanie dwóch rur o średnicy 70 mm. Prowadzi to, jak widać z tabl. 3, w przeważającej liczbie przypadków do nie dającego się usprawiedliwić nadmiernego nakładu materiałów.

Zmniejszenie kosztów można uzyskać również innymi drogami, jak np. dzięki zrezygnowaniu z rur kanalizacyjnych, przez wybór mniejszej średnicy lub wybór innego materiału na rury.

Jeżeli w przyszłości równoległe do ułożonego już bez rur ochronnych kabla konieczne będzie wykonanie drugiego otworu, należy przy wierceniu z usuwaniem ziemi z wydrażonego otworu w gruncie zachować minimalny odstęp bezpieczeństwa wynoszący 5 cm na metr + 30 cm, a przy drażnieniach - jako minimalny odstęp należy przyjąć poło-

wę średnicy obszaru oddziaływania drażenia, około 50 cm. Jest to wymaganie, które na ogół łatwe jest do spełnienia. Jeżeli układana jest kanalizacja na przyszłość, powinna być ona wodoszczelna, to znaczy zabezpieczona przed zamulaniem. Wymaganie to może być spełnione przez zastosowanie rur z utwardzonego polichloroku winylu, które są ze sobą w czasie budowy kanalizacji sklejane, przez stosowanie rur gwintowanych lub rur łączonych przez wciskanie (jako elementami łączącymi). Przy zastosowaniu urządzenia do drażenia typu SB 20, jest bardziej celowe ze względów ekonomicznych ułożenie rury kanalizacyjnej rezerwowej od razu przy pierwszym drażeniu gdyż koszty materiałów na kanalizację z rur są niższe niż koszt powtórnego zastosowania urządzenia drażącego, niższe są także koszty wykonania wykopów budowlanych przy rozbudowie sieci kablowej. W dodatku zużycie materiału przy zastosowaniu dwóch zamiast jednej rury ochronnej może być zmniejszone; jednak nie przy stosowaniu jak dotychczas rur tylko o średnicach znamionowych 70 mm i 100 mm. Przy dwóch rurach o średnicy 70 mm koszty na materiał powiększyłyby się w stosunku do kosztu jednej rury o średnicy 100 mm o 1,10 marki za metr. Jeśli więc wiadomo, że w kanalizacji z rury o średnicy 70 mm może być ułożony kabel miejscowy goły 200-parowy z żyłami 0,8 mm, wtedy jest uzasadnione na przyszłość zastosowanie dodatkowej 1 $\frac{1}{2}$ " rury dla małoparowych kabli.

Reasumując można stwierdzić, że:

1/ ze względu na swobodę budowy i docelowej rozbudowy

sieci nie ma żadnej uzasadnionej konieczności układania rur ochronnych,

- 2) należy odejść od starych, sztywnie ustalonych średnic znamionowych 70 i 100 mm,
- 3) przy przebijaniu gruntu urządzeniami drążącymi o małych średnicach celowe jest wciąganie rury rezerwowej (za pomocą dwururowej głowicy),
- 4) układane rury ochronne należy zabezpieczać przed zamulaniem.

6. ZABEZPIECZANIE KABLI PRZED USZKODZENIAMI MECHANICZNYMI

Ważniejszym zagadnieniem do rozwiązania jest pytanie, czy rury ochronne mogą lepiej zabezpieczyć kabel przed uszkodzeniami mechanicznymi i czy usuwanie uszkodzeń kabli jest szybsze.

O zakresie występowania uszkodzeń kabli, wywołanych przyczynami związanymi ze stosowaniem kablowych rur ochronnych, informują statystyki. Chodzi tu o uszkodzenia wywołane naciskiem lodu, przebiciami napięciowymi, jak również uszkodzenia powłok na końcach rur. Nie można jednak określić, w jakim stopniu rury ochronne ochroniły kabel od uszkodzeń mechanicznych. Uzasadnienie przyszłego układania kabli doziemnych pod drogami bez zabezpieczenia mechanicznego, polegające na porównaniu z mechanicznym układaniem kabli ziemnych przez koparkę-układacz mechaniczny w gruntach niezupełnie pozbawionych ka-

mieni, nie jest całkiem niesłuszne. W wieku łopat, rury kanalizacyjne mogły stanowić skuteczną mechaniczną ochronę kabla, w wieku zaś maszyn budowlanych - nie. Obecnie trzeba z kablem przezornie wchodzić w głąb gruntu. Dzięki głębszemu układaniu kabli zostanie rozwiązany szereg innych problemów. Po pierwsze na głębokościach większych niż 1 m nie występują żadne uszkodzenia kabli przez ciśnienie lodu, a po drugie siły działające na kabel i pochodzące od obciążeń spowodowanych ruchem kołowym i od nacisku ziemi są względnie małe, jak to widać z rys. 4. Ciśnienie powierzchniowe na kabel ziemny np. na głębokości 1,20 m, gdy nawierzchnia uliczna nie jest wykonana jako sklepienie nośne, wynosi według normy TGL 10167, ok. $0,4 \text{ kg/cm}^2$. Nacisk tego rzędu na kabel nie mógł powodować spłaszczenia ołowianej powłoki, zmniejszającego trwałość kabla. Z drugiej strony, jeżeli będą stosowane rury ochronne, można grubość ich ścianek zmniejszyć, biorąc pod uwagę mały nacisk i małe zagrożenie korozyjne na tej głębokości. W przypadku jednak, gdy rury będą ściskane lub uderzane, muszą one mieć odpowiednią wytrzymałość mechaniczną, aby nie zostały zdeformowane. Poza tym na mniejszych głębokościach mogą być układane rury ochronne z tworzyw termoplastycznych.

Reasumując można stwierdzić, że:

- 1) zabezpieczenie kabli przed mechanicznymi uszkodzeniami na głębokości 1,20 m jest wystarczające również bez rur ochronnych,
- 2) własność płynięcia ołowiu wymaga, aby przy głębokoś-

ciach układania kabla do 1,20 m i ponad 1,50 m był on zabezpieczony przed naciskiem spowodowanym ruchem kołowym lub naciskiem gruntu,

- 3) do zabezpieczenia kabli wystarczające są rury ochronne z tworzyw sztucznych.

7. ZAPEWNIENIE SZYBKIEGO USUWANIA USZKODZEŃ

Pojęcie "szybki" jest względne, Czas, jaki upływa od chwili wystąpienia uszkodzenia kabla do chwili jego usunięcia, uzależniony jest od bardzo wielu czynników, takich jak: warunki atmosferyczne, koncentracja uszkodzeń w czasie i danym obszarze podczas różnych pór roku, rodzaj gruntu i jego wilgotność, jakość robót budowlanych, sposób magazynowania kabla, rodzaj kabla i rok jego ułożenia, przejście kabla przez obce obiekty, wyposażenie kolumny pomiarowej, kwalifikacja pracowników służby pomiarowej i ich miejsce stacjonowania, sposób lokalizacji uszkodzenia, jak również długość i stan drogi do miejsca uszkodzenia.

Ze względu na liczbę uszkodzeń kabla pod drogami nie ma żadnych wątpliwości co do zaniechania na przyszłość ochrony rurowej. Tego rodzaju uszkodzenia są, w porównaniu z pozostałymi uszkodzeniami kabli, odżywiście bardzo rzadkie, bowiem skrzyżowania podziemne z drogami nie są typowym miejscem montażu, a kable leżą w obrębie zabezpieczonym przed wilgocią, pod nawierzchnią uliczną.

W przypadku uszkodzenia kabla trzeba rozstrzygnąć, czy można się będzie pogodzić z prowizoryczną wstawką

kabla, aby ominąć uszkodzony odcinek kabla do czasu wykonania drugiego wiercenia dla wciągnięcia zastępczego odcinka kabla; należy też sprawdzić, czy w możliwie najkrótszym czasie, maksymalnie w ciągu 30 minut, może być wykonane drażenie przy długości wiercenia 10 m.

Co do tego, czy większość wypowiada się za oszczędnością w stosowaniu kanalizacji, nie osiągnięto dotychczas w zespołach roboczych jednomyślności. Istnieje wprawdzie całkowita zgodność, że będzie można brać pod uwagę daleko idącą oszczędność w stosowaniu rur ochronnych, uzyskując w ten sposób rocznie setki tysięcy marek oszczędności na materiałach i robociźnie, jeżeli na kablach będzie zastosowana obserwacja ciśnieniowa.

Reasumując można powiedzieć, że:

- 1) głównym kryterium oceny postawionego zagadnienia jest zabezpieczenie jak największej ciągłości ruchu telekomunikacyjnego we wszystkich gałęziach sieci,
- 2) przez odrzucenie środków zabezpieczających kable przy wykonywaniu skrzyżowań z drogami nie może wzrosnąć liczba uszkodzeń w odniesieniu do 1 kilometra linii,
- 3) przy rozwiązywaniu zagadnienia należy uwzględnić ważne, techniczno-organizacyjne przesłanki.

8. PRZEDSIĘWZIĘCIA DLA SYSTEMATYCZNEJ, DALEKO IDĄCEJ OSZCZĘDNOŚCI RUR OCHRONNYCH PRZY SKRZYŻOWANIACH

KABLI Z DROGAMI

W celu uzyskania właściwego rozwiązania tego skomplikowanego zagadnienia trzeba nie tylko wysokiego poczucia

odpowiedzialności społecznej, oceny naukowych badań i trzeźwych ekonomicznych obliczeń, lecz także stopniowego potwierdzania badań i praktyki oraz podejmowania bieżących przedsięwzięć w celu szybkiego obniżania dotychczasowego nakładu materiałów i robocizny.

Laboratorium zakładowe podjęło dlatego na szeroką skalę badania tego zagadnienia w sieci miejscowej w trudnych warunkach fizyczno-geograficznych przy współpracy z przedsiębiorstwami budowlanymi łączności w Cottbus, Halle, Karl-Marx-Stadt, Lipsku i Neubrandenburgu. W szczególności zostały podjęte następujące prace doświadczalne.

1. Przedsiębiorstwa Budowlane Karl-Marx-Stadt i Lipsk ułożyły kabel miejscowy bez rur kanalizacyjnych tam, gdzie może być zachowana głębokość ułożenia kabla ziemnego (pod ulicami) 1,20 m, a grunt w wykonywanym wykopie zawiera mało kamieni. Przedsięwzięcie to zostało umieszczone w Planie Nowej Techniki, ekonomiczne korzyści szczegółowo wyliczone, dokładne usytuowanie kabla bez rur ochronnych na skrzyżowaniu z drogą ujęto w kartotece (w paszportyzacji). W ciągu dalszych 10 lat zbierane będą obserwacje, dotyczące uszkodzeń tego kabla.

2. Zgodnie z umowami z Przedsiębiorstwami Budowlanymi Cottbus, Halle i Neubrandenburg będą opracowywane w laboratorium zakładowym metody wciągania rur kanalizacyjnych, wodoszczelnych, z utwardzonego polichlorku winylu, o średnicy 70 mm, wciągania 2" i 2 $\frac{1}{2}$ " rur gwintowanych, jak również wbijania wodoszczelnych rur stalo-

wych o średnicy wewnętrznej $1 \frac{1}{2}$ " , 2" i $2 \frac{1}{2}$ " oraz o średnicy 70 mm i 80 mm. Będą także wdrażane w praktyce metody wciągania rur z utwardzonego polichloroku winylu. Wykonane odcinki kanalizacji ujęto w kartotece, przy czym będą one następnie co pięć lat kontrolowane.

Niezależnie od tego, zdaniem autora, następujące przedsięwzięcia powinny być zatwierdzone przez Ministerstwo Poczty i Telekomunikacji NRD, a ich przeprowadzenie powinno być obowiązkowo nakazane:

1. Norma TGL na rury kanalizacyjne powinna być uzupełniona. Należy dopuścić rury kanalizacyjne, stalowe lub z tworzyw sztucznych, o średnicach znamionowych $1 \frac{1}{2}$ " , 2" , $2 \frac{1}{2}$ " 80 mm i 100 mm. Projektanci powinni być poinstruowani, że maksymalna średnica przewidywanej na zapas dla rozbudowy sieci kanalizacji powinna być tak dobrana, aby uwzględnione było wielokrotne wykorzystanie kabli w końcowym etapie rozbudowy sieci.

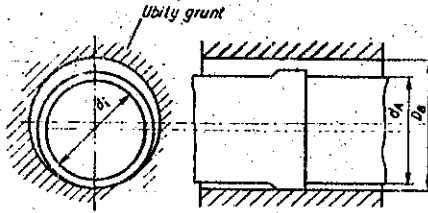
2. Konieczne badania oraz próby urządzeń i metod pomiarowych w celu zastosowania techniki obserwacji ciśnieniowej powinny być szybko przeprowadzone, a niezbędna tu pracochłonność (robocizna) powiększona. Zdaniem Laboratorium Zakładowego Budownictwa Łączności powinno być jak najszybsze wprowadzenie techniki obserwacji ciśnieniowej. Powinny być też zorganizowane w urzędach najdalej idące prace, mające na celu uzyskanie szerokich doświadczeń w zastosowaniu obserwacji ciśnieniowej w kablach telekomunikacyjnych.

3. Należy poruczyć Instytutowi Poczty i Telekomunika-

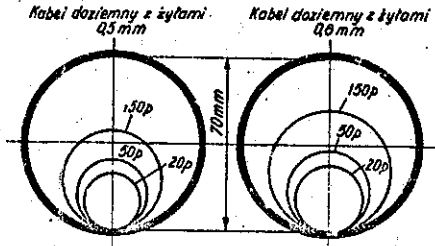
cji (IPF) ustalenie dopuszczalnego ciśnienia gazu w kablach w zależności od jego konstrukcji.

4. Instytut (IPF) wspólnie z projektantami opracuje wytyczne co do sposobów zabezpieczania kabli na skrzyżowaniach pod drogami.

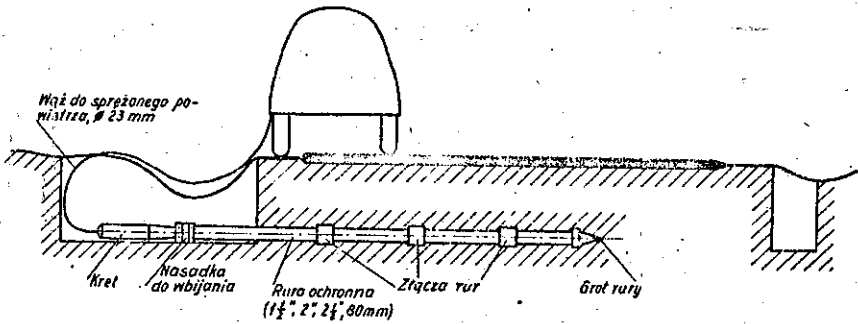
Problem jak najdalej idącej oszczędności rur ochronnych nie może być rozwiązany jednym pociągnięciem pióra. Należy jednak przekonująco udowodnić, że świadomi odpowiedzialności projektanci mają możliwość znacznego obniżenia nakładów na przejścia pod drogami przez wybór mniejszej średnicy rury ochronnej i przez wiążące zalecanie metod, zwiększających wydajność pracy.



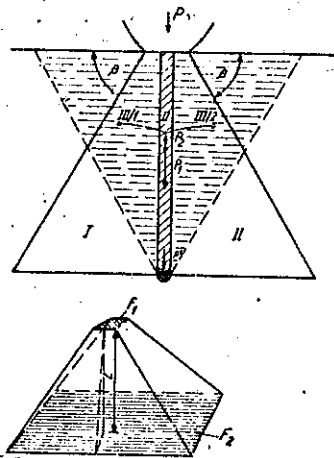
Rys. 1. Wolna przestrzeń między otworem wydrążonym o średnicy 130 mm a rurą o średnicy 100 mm



Rys. 2. Wykorzystanie przekroju rur ochronnych



Rys. 3. Drażenie bez tworzenia się wolnych przestrzeni - wbijanie rur ochronnych



Rys. 4. Siły działające na kabel $\beta 60^\circ$
 P - obciążenie ruchu drogowego, P_1 - nacisk, będący częścią P, zależny od głębokości, P_2 - nacisk bocznych warstw gruntu w zależności od kąta obsuwania się ziemi, F_1 - powierzchnia obciążenia ruchu drogowego, F_2 - powierzchnia obciążenia ruchu drogowego na głębokości 1 m. L - głębokość ułożenia kabla

NOWY SPRZĘT DO ZACIĄGANIA KABLI DO KANALIZACJI KABLOWEJ

Opracował A. Moniuszko na podstawie artykułu
K. Yamazaki: New rodding tool for laying cable
in conduit. Japan Telecom. Rev. 1967 t. 9 nr 3,
s. 101-105.

1. WSTĘP

Jako sprzęt do zaciągania kabli do otworów kanalizacji kablowej, a także do kontroli i czyszczenia tych otworów używano drążków bambusowych (lub drewnianych), lekkich prętów żelaznych oraz stalowych linek przeciągowych (strun). Jednakże sprzęt ten ma wiele niedogodności, a wydajność pracy przy zaciąganiu kabli jest mała.

Stosowane zwykle drążki bambusowe muszą być wyciągane wzdłuż drogi, co staje się coraz trudniejsze z powodu wzrastającego z roku na rok ruchu kołowego.

Nowy sprzęt do zaciągania kabli nie ma tych niedogodności i pozwala na znaczne zwiększenie szybkości pracy (od 4 do 20-krotnie). Metoda ta nie wymaga żadnych źródeł mocy. Sprzęt jest prosty, tani i łatwy w obsłudze.

Co roku w Japonii układane są przez NTT (Nippon Telegraph and Telephone Public Corporation) duże ilości kabli (ok. 5000 km) oraz kanalizacji kablowej (16000 km otworów kanalizacyjnych). Włączając w to prace eksploatacyjne (remonty, konserwacje) stanowi to ponad 21000 km

otworów, w których prowadzi się różnego rodzaju prace.

Dzięki użyciu nowego sprzętu można oczekiwać zaoszczędzenia ok. 360 mln jenów (1 mln dolarów) oraz ok. 300 tys. roboczodni.

W artykule opisano konstrukcję, sposób posługiwania się i wydajność nowego sprzętu.

2. OPIS SPRZĘTU

2.1. Konstrukcja

Nowy sprzęt do zaciągania kabli do kanalizacji składa się z rur przeciągowych A i B oraz stalowego bębna ze stojakiem. Proponowane rury przeciągowe mają spełnić zadania dotychczas stosowanych także w Polsce linek przeciągowych oraz drążków kanalizacyjnych kablowych. Rura A o długości 160 m składa się z dwóch polietylenowych rur o różnych wymiarach: rury o średnicy 10 mm i długości 40 m oraz rury o średnicy 13 mm i długości 120 m. Obie rury połączone są ze sobą. Rura przeciągowa B ma średnicę 10 mm, długość 60 m i wykonana jest również z polietylenu. Oba końce rur A i B mogą być zaopatrzone w metalowe końcówki: haki lub nakładki (kapturki). Metalowe haki są dwu rodzajów: trójhakowe i czterohakowe, które można łatwo razem łączyć (rys. 1a)^{x)}. Metalowe haki służą do łączenia w otworze kanalizacyjnym rur przeciągowych, które są wsuwane z obu końców ciągu kanalizacyj-

^{x)} Wszystkie rysunki są zamieszczone na końcu artykułu.

nego w przypadku, gdy długość ciągu przekracza 160 m lub gdy utrudnione jest przeciąganie rur z jednego końca ciągu kanalizacyjnego z powodu zanieczyszczenia otworu błotem, z powodu krzywizny odcinka ciągu kanalizacji lub innych przeszkód. Nakładki metalowe stosowane są tam, gdzie przeciąganie rur może się odbywać z jednego końca ciągu kanalizacyjnego. Ponieważ nakładka zakończona jest kulisto, przeciąganie rur jest łatwiejsze niż przy użyciu haków.

Polietylenowe rury przeciągowe do zaciągania kabli nawinięte są na bębny. Na rys. 1b jest przedstawiony taki bęben z nawiniętą rurą, zaopatrzoną w metalowe końcówki. Stojak bębnowy można składać jak widać na rys.2, uzyskując w ten sposób uchwyt do toczenia bębna.

2.2. Sposób posługiwania się sprzętem

Bęben z rurą przeciągową ustawia się blisko wejścia do studni kablowej. Jeden robotnik wsuwa rurę do otworu kanalizacyjnego w studni, podczas gdy drugi rozwija rurę z bębna, podając ją do studni (rys. 3). Szybkość rozwijania rury regulowana jest hamulcem na bębnie. Jeżeli zaciąganie kabli odbywa się sukcesywnie w kolejnych odcinkach kanalizacji kablowej, rurę przeciągową można wsuwać w następne odcinki kanalizacji w kolejnych studniach. Po zakończeniu zaciągania kabla rurę nawija się z powrotem na bęben. Jeżeli dokonuje się kontroli nowo ułożonej kanalizacji kablowej wielootworowej, można w studni zmienić kierunek przeciągania rury, jak to widać

po prawej stronie rys. 3. Przyspiesza to znacznie wykonywanie prac. Jeżeli ciąg kanalizacyjny jest dłuższy niż 160 m lub przeciąganie rury jest utrudnione z powodu zanieczyszczeń lub nieregularności w kanalizacji, rurę przeciągową A wsuwa się tak daleko jak tylko jest to możliwe, a z drugiej strony wsuwa się rurę przeciągową B lub drugą rurę A i łączy się je w otworze kanalizacji.

3. WYDAJNOŚĆ PRACY

W celu przeanalizowania wydajności pracy przy zastosowaniu opisywanego sprzętu wygodnie jest porównać ją z wydajnością przy stosowanej poprzednio metodzie zaciągania kabli do kanalizacji za pomocą drążków bambusowych. Ponieważ wydajność pracy przy zastosowaniu poprzedniej metody zależy od liczby łączonych drążków bambusowych, liczby otworów w kanalizacji i sekcji, w które zaciąga się kabel, konieczne jest zbadanie wydajności pracy w większej skali, tj. na długim odcinku kanalizacji kablowej, aby uzyskać wyniki przeciętne.

3.1. Metoda zaciągania kabli za pomocą nowego sprzętu

Doświadczalne prace przy użyciu nowego sprzętu wykonywane były na ok. 70 odcinkach. Czas zaciągania rur przeciągowych wynosił 3-4 minuty na 100 m lub 5-6 minut na 100 m, włączając w to czas przygotowania do pracy. Przy pracach wykonywanych przez 3 ludzi wydajność wyno-

siła: 5 min x 3 ludzi = 15 roboczominut na 100 m długości kahalizacji.

3.2. Metoda zaciągania kabli za pomocą drążków bambusowych

Przypadek 1:

Pracowało 5 ludzi

Długość sekcji 116 m

Konieczny czas pracy 14 min.

Stąd wydajność pracy wyniesie

$$14 \times 5 \times \frac{100}{116} = 60 \text{ roboczominut (100 m długości kahalizacji.)}$$

W tym przypadku łączono w miejscu pracy 3 zestawy drążków bambusowych.

Przypadek 2:

Pracowało 5 ludzi

Długość sekcji 119,5 m

Konieczny czas pracy 72 min.

Stąd wydajność pracy

$$72 \times 5 \times \frac{100}{119,5} = 300 \text{ roboczominut/100 m długości kahalizacji.}$$

W tym przypadku łączono w miejscu pracy 25 zestawów drążków bambusowych. Do połączenia ze sobą dwóch sąsiednich drążków potrzeba 2 minut. Jeżeli przeciąganie drąż-

ków przez otwory kanalizacyjne wykonywane jest kolejno przez wiele sekcji (odcinków) kanalizacji kablowej, wydajność pracy wzrasta.

4. OKREŚLENIE RODZAJU RUR PRZECIĄGOWYCH

4.1. Badania wstępne

Przy rozwiązywaniu konstrukcji nowego sprzętu postawiono następujące wymagania:

- 1) duża wydajność pracy,
- 2) łatwa obsługa,
- 3) możliwość stosowania bez potrzeby korzystania z energii elektrycznej,
- 4) niewrażliwość na uszkodzenia,
- 5) niskie koszty.

Sądzone, że największe szanse spełnienia tych wymagań mają długie pręty lub rury nawinięte na bębny. Z wielu rodzajów rur, drutów stalowych i prętów wybrano rury z polichlorku winylu (PCW) i polietylenu (PE), które poddano badaniom. Ze wstępnych badań uzyskano następujące wyniki:

1. Przejechanie ciężkimi samochodami rur z polichlorku winylu prawie nie wpłynęło na nie, zaś na rurach polietylenowych powstały małe wgłębienia od żwiru na drodze. Prawie nie było żadnych zmian średnic obu rur.
2. Siła sprężystości rur z polichlorku winylu przy zgięciu jest większa niż rur polietylenowych. Dla-

tego długość przetykania rur polichlorowinyłowych może być większa niż polietylenowych, jednakże te ostatnie są łatwiejsze w użyciu.

3. Rury polietylenowe są lżejsze niż rury z polichlorku winylu (ciężar właściwy polietylenu wynosi 0,95, a polichlorku winylu 1,4).
4. Graniczna długość przetykania rur wzrasta w zimie od 10 do 20%, gdy materiał rur staje się sztywniejszy.
5. Graniczne długości przetykania różnych rur w kanalizację żeliwną o średnicy 75 mm przy normalnej temperaturze podane są w tabl. poniżej.

T a b l i c a

Graniczna długość przetykania rur

Wewnętrzna średnica rury mm	Grubość rury mm	Graniczna długość przetykania m	Najmniejszy promień krzywizny cm	Wytrzymałość na rozciąganie przy 15°C kg/cm ²
PE 10	3,5	70 ~ 90	70	212,5
PE 13	4,5	90 ~ 110	90	212,5
PCW 10	2,5	90 ~ 110	120	500
PCW 13	2,5	105 ~ 125	150	500

4.2. Najdogodniejsze długości rur przy łączeniu rur o różnych rozmiarach

Wyniki wstępnych badań wykazały, że graniczne długości przetykania którejkolwiek z pojedynczych rur są mniejsze niż aktualne rozpiętości kanalizacji między studniami. Dlatego prowadzono dalsze badania w celu wydłużenia granicy możliwości przetykania rur przez zastosowanie różnych ich rozmiarów.

Przy przetykaniu giętkich rur przez otwór kanalizacyjny siła potrzebna do przetykania jest początkowo proporcjonalna do długości. Jednak gdy długość rury bardziej wzrośnie, rura zaczyna się giąć, opór tarcia zaczyna gwałtownie rosnać i wreszcie staje się niemożliwe dalsze wpychanie rury do kanalizacji.

Graniczna długość przetykania zależy od materiału i wymiarów rur, temperatury, stanu kanalizacji itp. Rury o dużych wymiarach (grubsze) wymagają większych sił do przepychania, lecz mogą sięgnąć na większe odległości niż rury o małych wymiarach (cieńsze), ponieważ o dużych wymiarach są cięższe, ale mniej giętkie. Przy normalnych temperaturach granice przetykania rur PCW są większe niż rur PE.

Jeżeli do kanalizacji kablowej wsuwane są połączone razem rury o różnych wymiarach, przy czym część rury cienkiej usytuowana jest na przodzie, można osiągnąć znacznie większe odległości niż przy jakiegokolwiek pojedynczej rurze jednego wymiaru.

Rysunek 4 pokazuje typowy przebieg charakterystyki siły potrzebnej do przetykania rur w funkcji ich długości. Krzywe (a) i (b) są odpowiednio charakterystykami $F = f(L)$ rur o małych i dużych wymiarach. Przy kombinacji rur dwóch różnych rozmiarów największą długość przetykania można uzyskać wtedy, gdy długość rury cienkiej równa się L_A . W tym przypadku zależność $F = f(L)$ przebiega jak krzywa (c), gdzie granica przetykania wynosi $L_D = L_A + L_C - L_B$.

W celu znalezienia najdogodniejszej kombinacji długości poszczególnych rozmiarów rur wykonano próby w następujących warunkach:

1. Rodzaje rur kanalizacyjnych

- a) kanalizacja z rur żeliwnych, długość 131,5 m,
- b) kanalizacja ze stalowych rur, w ochronie jutowej, długość 166,8 m,
- c) kanalizacja z rur PCW, długość 153,1 m.

2. Rodzaje rur przeciągowych

- a) rury PE o średnicy 10 mm,
- b) rury PE o średnicy 13 mm,
- c) rury PCW o średnicy 10 mm,
- d) rury PCW o średnicy 13 mm.

Z prób można było wyciągnąć następujące wnioski:

1. Współczynnik tarcia zależy od rodzaju materiałów. Nachylenie prostoliniowej części charakterystyki $F = f(L)$ zależy od ciężaru rury, jakkolwiek ogólny charakter krzywej jest prawie niezmienny.

2. Wymagana siła do przepychania rur polietylenowych na jednostkę długości jest mniejsza niż w przypadku rur polichlorowinyłowych.

3. Kombinacja różnych rozmiarów rur polietylenowych pozwala na osiągnięcie większych odległości niż kombinacja rur polichlorowinyłowych, ponieważ różnica nachylenia krzywych $F = f(L)$ dla rur PCW o średnicach 10 mm i 13 mm jest większa niż dla rur PE.

Rysunek 5 przedstawia charakterystyki $F = f(L)$ dla rur PE w kanalizacji z rur żeliwnych, w której graniczna długość przetykania jest najmniejsza.

Jak podano wyżej, graniczna długość przetykania rur polietylenowych jest raczej mała w porównaniu z długością przetykania rur polichlorowinyłowych, a koszt jest stosunkowo duży, jednakże mają one następujące zalety:

- 1) pozwalają na mały promień zginania i na stosowanie bębnow do nawijania o małej średnicy,
- 2) są łatwe w użyciu,
- 3) wymagana siła do przepychania jest mała,
- 4) charakterystyki temperaturowe są dobre.

Blatego rury polietylenowe zostały zastosowane jako rury do przeciągania. Długości rur zostały dobrane wg danych z rys. 5: rura A składa się z 40 m rury PE o średnicy 10 mm i 120 m rury PE o średnicy 13 mm, a rura B jest to 60 m rura PE o średnicy 10 mm.

Zakres zastosowania rur A i B zależy od rozpiętości kanalizacji między studniami i dobierany jest jak pokazano w tabl. 2.

Zakres zastosowania rur przeciągowych PE

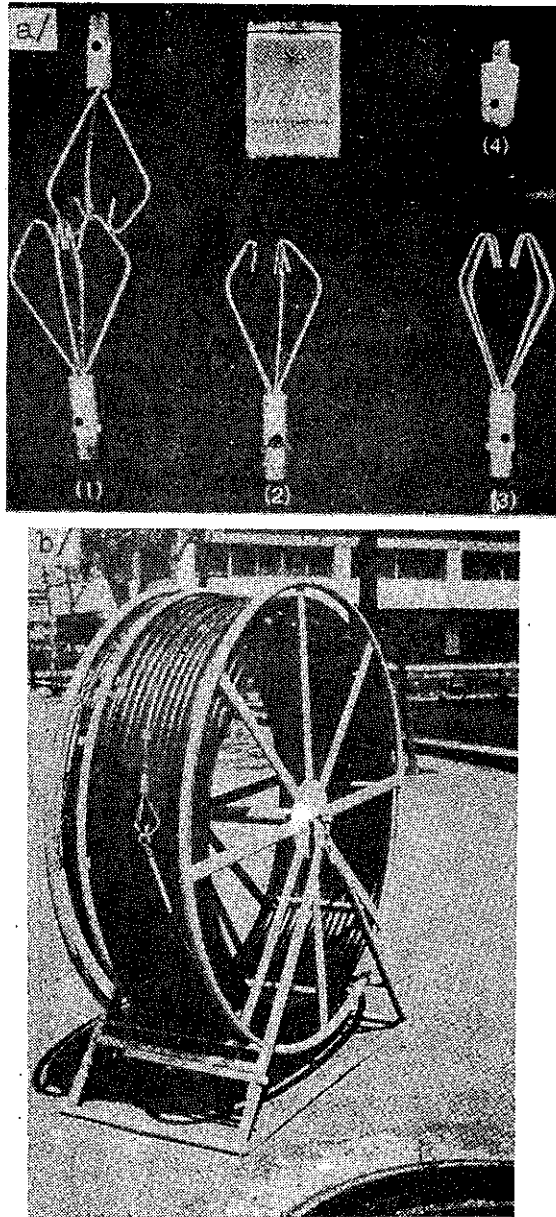
Rozpiętość kanalizacji m	Należy stosować rury
60 lub mniej	B
40 do 160	A
120 do 220	A + B
160 do 320	A + A

Przez wybór odpowiedniej rury lub ich kombinacji, można przeciągać je przez większość kanalizacji.

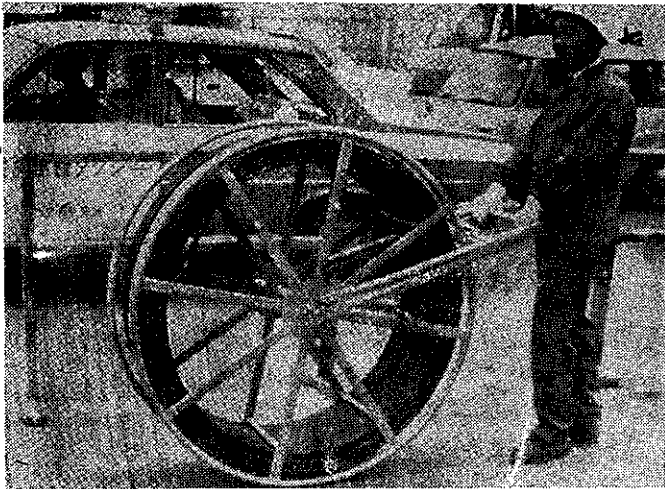
5. WNIOSKI

Nowy sprzęt do zaciągania kabli do kanalizacji spełnia w dostatecznym stopniu postawione wymagania. Konstrukcja jego jest bardzo prosta, jest łatwy w użyciu i może być stosowany prawie do wszystkich prac w kanalizacji kablowej. Ponieważ praca tą metodą wymaga mało miejsca na drogach, a bębny z rurami mogą być łatwo przetaćzane z miejsca na miejsce, metoda ta jest wygodna do stosowania nie tylko w zatłoczonych przestrzeniach wielkomiejских, ale i na wsiach, ponieważ nie wymaga żadnych źródeł mocy.

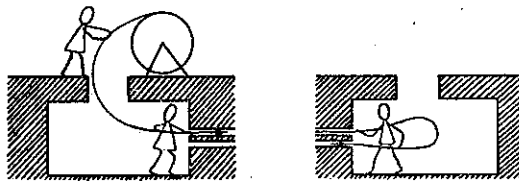
Z powodu wielu zalet nowy sprzęt szybko wypiera dotychczas stosowane bambusowe tyczki przeciągowe.



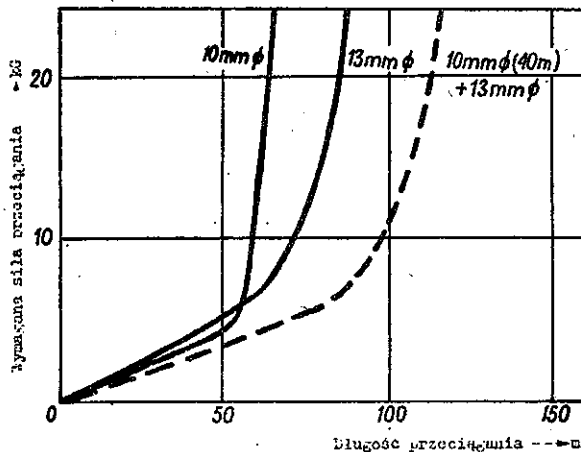
Rys. 1. Sprzęt do zaciągania kabli w kanalizacji kablowej:
 a/ metalowe haki i nakładka: 1/ metalowe haki połączone ra-
 zem, 2/ hak potrójny, 3/ hak poczwórny, 4/ nakładka /kaptu-
 rek/; b/ bęben z rurą przeciągową



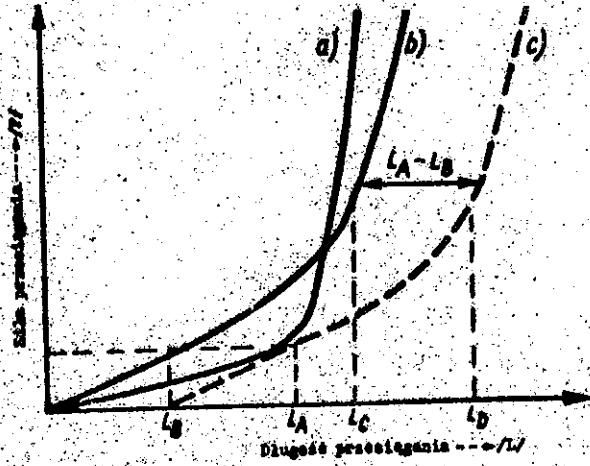
Rys. 2. Przetaczanie bębna z rurą



Rys. 3. Przeciąganie rur w kanalizacji wieloizworowej



Rys. 4. Charakterystyka siły przeciągnięcia w zależności od długości rur plastikowych, a/ rura o małych rozmiarach, b/ rura o dużych rozmiarach, c/ kombinacja rur



Rys. 5. Charakterystyka siły przeciągania rury polietylenowej przez kanalizację z rur żeliwnych

PRZYSZYNEK DO OPTYMALIZACJI SIECI LINII TELEKOMUNIKACYJNYCH

Opracował W. Majewski, sen. na podstawie artykułu H. Kremer: Zur Planung optimaler Linien-netze im Fernmeldewesen, Zeitschrift für das Post und Fernmeldewesen 1966, t. 18 nr 23, s. 859-862.

1. UWAGI OGÓLNE

Na skutek rozwinięcia się usług telekomunikacyjnych o zasięgu światowym (wybieranie zdalne, telex, transmisja danych) planowanie ekonomicznych i sprawnych sieci telekomunikacyjnych nabiera wielkiego znaczenia, a to z następujących powodów:

a) sieci pochłaniają największą część nakładów inwestycyjnych na telefonizację,

b) charakter stochastyczny ruchu telekomunikacyjnego powoduje, że sieci przy ruchu automatycznym szybkim mogą być tylko mało wykorzystywane, wskutek czego koszty własne połączeń bywają często bardzo wysokie.

W przypadku ruchu ręcznego sieci telekomunikacyjne można było wykorzystywać lepiej. Poza tym pracownicy telekomunikacyjni zestawiający łącza, mogli ingerować w przypadkach trudności w uzyskaniu połączeń i realizować połączenia drogami określonymi. Przy ruchu automatycznym wyższy niż poprzednio poziom wszystkich urządzeń jest

zatem warunkiem dla zadowalającej realizacji ruchu. Oznacza to, że tłumienność odbiesienia zestawu łączy może tylko bardzo rzadko przekraczać ustalone wymagania, a straty ruchu lub czas oczekiwania powinny być małe nawet w godzinie największego ruchu.

Spełnienie tych wymagań powoduje często dodatkowe wysokie koszty. Obok optymalnego prowadzenia linii w sieciach telekomunikacyjnych ważny jest również optymalny podział dopuszczalnej tłumienności i dopuszczalnych strat ruchu (plan transmisji i plan strat) na poszczególne odcinki drogi połączeniowej.

2. NAKŁADY NA SIEĆ

Jak wiadomo, przez większe wiązki można, wobec przypadkowości ruchu telefonicznego, załatwić ruch znacznie większy niż przez wiązki mniejsze [1].

Należy wobec tego dążyć zawsze do łączenia strumieni ruchu we wspólne wiązki. Uzyskane w ten sposób oszczędności spowodowane mniejszą liczbą potrzebnych łączy należy jednak porównać ze stratami na skutek powiększenia długości łączy (obejścia) i liczby organów łączeniowych (stopnie wybierania i urządzenia do wyboru dróg łączeniowych). Poza tym część strumieni ruchu może być załatwiana innymi drogami (przelewy z dróg skrośnych na inne drogi skrośne albo na drogę numerów kierunkowych), a przez to mogą być zaoszczędzone łączy i organy łączeniowe (stopnie wybierania).

Zagadnienie optymalizacji tego rodzaju sieci łączy

jest podobne do optymalizacji sieci linii. Jednak ze względu na to, że optymalna sieć linii jest podstawą do badania optymalnej sieci łączy, sieć linii powinna być rozpatrzona w pierwszej kolejności, jakkolwiek w niewielkim stopniu wpływają na nią liczby łączy.

Również w odniesieniu do linii ważne jest, ze względu na duże koszty stałe linii, grupowanie wiązek łączy w możliwie małej liczbie linii. Powstające przy tym korzyści należy również porównać ze stratami spowodowanymi przez obojętne.

Istnieje więc dający się rozwiązać problem optymalizacji, przy którym pomiędzy dwoma przypadkami granicznymi, minimalną siecią linii (najmniejsze nakłady stałe) i minimalną siecią łączy (najmniejszy udział nakładów zmiennych) istnieje optymalna sieć linii z minimalnym całkowitym nakładem.

Nakłady k_{ij} na budowę odcinka linii (od i do j) mogą być dostatecznie dokładnie wyrażone wzorem empirycznym [3], [5] i [6]:

$$k_{ij} = a_{ij} l_{ij} + b_{ij} p_{ij} l_{ij} + c_{ij} p_{ij} \quad (1)$$

w którym:

a_{ij} - podstawowy koszt budowy odcinka linii wyrażony w DM/km; w przypadku linii kablowych podziemnych zależy on głównie od kosztu ułożenia linii (kategoria gruntu, rodzaj nawierzchni), a w przypadku linii radiowych - od kosztów wież stacji przekaźnikowych; poza tym koszty linii kablowych ziemnych

i linii kanałowych łącznie z narzutem na kanalizację są zwykle takie same, co zmniejsza liczbę jednostkowych wskaźników kosztów podstawowych potrzebnych przy planowaniu;

l_{ij} - długość odcinka linii w kilometrach;

b_{ij} - koszt jednostkowy łącza (kanału) wyrażony w DM/kmłącze (DM/kmkanal); w przypadku łączy kablowych nośnych i łączy radiowych koszty te są praktycznie stałe, a w przypadku łączy naturalnych zależą od wielkości pozostających do dyspozycji tłumienności i od długości odcinka, ponieważ dla uzyskania dostatecznie małej tłumienności odcinka należy albo zastosować wzmacniaki, albo ułożyć kabel o większej średnicy żył; w przypadku łączy niewzmacnianych wobec prostej zależności między kosztami jednostkowymi a tłumiennością toru można obliczyć potrzebną średnicę żył, a zatem i koszty z optymalnego podziału tłumienności [3];

P_{ij} - liczba łączy; przy przekroczeniu pewnego minimalnego natężenia ruchu (jak to ma zawsze miejsce w wiązkach skrośnych ze względów ekonomicznych) można przyjąć zależność liniową między ruchem oferowanym a liczbą łączy [7], przy czym liczba łączy potrzebna do załatwienia tego ruchu zależy jeszcze od dopuszczonych strat;

c_{ij} - koszt zakończenia łącza (kanału) wyrażony w DM/łącze (DM/kanal); ten składnik kosztu, obejmujący wy-

posażenie na końcach łącza oraz zakończenia kabla i przypadające organy łączeniowe, jest dla określonej sieci prawie stały.

Całkowity nakład K sieci telekomunikacyjnej otrzymuje się z równania (1) przez sumowanie nakładów na wszystkie zrealizowane odcinki.

3. MOŻLIWE FORMY SIECI LINII

W przypadku sieci telekomunikacyjnej regularnej przyjmuje się, że każdy abonent uczestniczący w ruchu telekomunikacyjnym może uzyskać połączenie z każdym innym abonentem, inaczej mówiąc, że sieć musi być zupełna. W założeniu, że każdy abonent może być nadawcą i odbiorcą ruchu (źródła ruchu i spływ ruchu) oraz że każdorazowo w połączeniu uczestniczy nie więcej niż dwóch abonentów (nie uwzględnia się urządzeń telekonferencyjnych itp.) możliwe jest między n punktami ruchu (źródła i spływy ruchu) istnienie n^2 strumieni ruchu¹⁾; zasada ta dotyczy nie tylko ruchu między abonentami, ale również ruchu między centralami telefonicznymi. Powyższe strumienie ruchu można przedstawić w postaci macierzy kwadratowej. Spośród nich n strumieni ruchu wzdłuż przekątnej macierzy wyrażają ruch wewnętrzny i nie mają wpływu na sieć telekomunikacyjną. Ponieważ strumienie ruchu w obu kierunkach są załatwiane zwykle po tych samych liniach,

¹⁾ Liczba kombinacji drugiego rzędu z powtórzeniami i z uwzględnieniem położenia.

można nałożyć je na siebie (odbicie lustrzane macierzy wzdłuż głównej przekątnej).

Pozostaje wówczas najwyżej $\frac{1}{2} n (n-1) = \binom{n}{2}$ możliwych połączeń¹⁾ między centralami, które dają się zapisać w postaci macierzy trójkątnej i określają maksymalną sieć linii (pełny wielobok). Z drugiej strony, ponieważ do połączenia n punktów ruchu potrzeba co najmniej $n-1$ odcinków, taka liczba odcinków tworzy sieć minimalną.

Ze względów technicznych i ekonomicznych sieci telekomunikacyjne zawierają zwykle więcej odcinków, niż występuje w sieci minimalnej. Teoretycznie mogą być stosowane wszystkie formy sieci zawarte między siecią minimalną a maksymalną, w praktyce jednak większość sieci zbliża się do sieci minimalnej.

Ogólna możliwa liczba wszystkich form sieci łącznie z siecią minimalną i maksymalną wyraża się liczbą kombinacji, przy których sieć składa się z każdej liczby k odcinków ograniczonej zależnością

$$\frac{1}{2} n (n-1) \geq k \geq n-1$$

Zakładając dla uproszczenia rachunków

$$\frac{1}{2} n (n-1) = N$$

¹⁾ Liczba kombinacji drugiego rzędu bez powtórzeń (a więc bez ruchu wewnętrznego) i bez uwzględnienia położenia (a więc z połączeniem obu kierunków ruchu).

szukana liczba form sieci¹⁾ wynosi

$$\frac{N(N-1)(N-2)\dots(N-k+1)}{1 \cdot 2 \cdot 3 \dots k} = \binom{N}{k} \quad (3)$$

Pomiędzy tymi formami sieci występują jednak sieci niezupełne, tj. takie, które nie łączą z sobą wszystkich punktów ruchu. Najprostszym przykładem tego jest sieć zawierająca $n = 4$ punkty ruchu ($N = 6$) i $k = 3$ odcinki.

W sieci tej istnieje

$$\binom{N}{k} = \frac{N(N-1)(N-2)}{1 \cdot 2 \cdot 3} = 20$$

form sieci, w czym znajdują się 4 sieci niezupełne, a w każdej z nich 3 punkty ruchu są połączone z sobą w trójkącie, a czwarty punkt jest izolowany. Tego rodzaju sieci nieregularne, w których dla połączenia k punktów potrzeba co najmniej k odcinków, muszą być odrzucone jako niezupełne.

Jest to mianowicie $\binom{k+1}{m}$ zamkniętych m -kąatów. Do tego dochodzą m -kąaty z jedną przekątną. Ponieważ liczba boków $(m-1)$ - kąata wynosi $\binom{m-1}{2}$, należy liczbę m -kąatów pomnożyć jeszcze przez $\binom{m-1}{2}$, aby możliwości te również wyłączyć. Podobnie mogą wystąpić $(m-2)$ - kąaty z dwiema przekątnymi o liczbach boków w każdym równych $\binom{m-2}{2}$ itd.

¹⁾ Liczba kombinacji rzędu k bez powtórzeń (a więc bez ruchu wewnętrznego) i bez uwzględnienia położenia (a więc z połączeniem obu kierunków ruchu).

Ogólna liczba niezupełnych form sieci, jakie należy odrzucić, a które mogą występować w postaci co najwyżej $\frac{1}{2} (n-1) (n-2) = \binom{n-1}{2}$ - kątów, wynosi każdorazowo

$$\binom{n}{m} \sum_{x=1}^{m-2} \binom{m-x}{2} \quad (4)$$

Ogólna liczba sieci zupełnych wynosi zatem

$$\sum_{k=n-1}^N \left[\binom{N}{k} - \sum_{m=3}^{\binom{n-1}{2}} \binom{k+1}{m} \cdot \sum_{x=1}^{m-2} \binom{m-x}{2} \right] \quad (5)$$

Jak widać, przy większej liczbie punktów ruchu przeliczenie wszystkich zupełnych form sieci jest niemożliwe, ponieważ

- liczba możliwych form sieci rośnie bardzo szybko;
- liczba sieci niezupełnych, które należy odrzucić wzrasta również szybko, a ich wyszukanie powoduje duże trudności rachunkowe.

Już przy $n = 5$, a więc $N = \binom{n}{2} = 10$ i wartościach k wynoszących od $k = n-1 = 4$ aż do $k = N = 10$ włącznie, a więc: 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 - liczby możliwych form sieci wynoszą: $210+252+210+120+45+10+1 = 848$, od których należy odrzucić liczbę form niezupełnych: $10+20+20+60+60 = 170$.

¹⁾ Wzór nasuwa pewne wątpliwości, co jednak nie wpływa na słuszność dalszych rozważań (przyj. oprac.).

Pozostaje zatem prawie 700 form zupełnych, z których należałoby wybrać formę optymalną. Przy $n = 4$, a więc $N = 6$ i $k = 3, 4, 5, 6$ odpowiednie liczby form sieci wynoszą 42, 4 i 38; wynika stąd, że szybko rosną liczby sieci, które należy zbadać.

Widać więc, na jakie trudności natrafia planowanie ekonomicznych sieci i jak bogate doświadczenie powinien mieć inżynier planista, aby uzyskać rozsądne rozwiązania. Najczęściej będzie on musiał ustalać w przybliżeniu częściowe optima dla poszczególnych płaszczyzn sieci w nadziei, że całość sieci złożona z częściowych optimów nie odbiegnie zbyt daleko od rozwiązania optymalnego. Ułatwieniem jest tu względnie płaski, jak wiadomo z doświadczenia, kształt krzywej nakładów w sąsiedztwie minimum, tak że przy niepewnych danych wyjściowych wystarcza zwykle osiągnięcie rozwiązania zbliżonego do optymalnego. Możliwość uzyskania ogólnego rozwiązania byłaby jednak cenną pomocą.

4. PRZYBLIŻONE OBLICZENIE SIECI OPTYMALNYCH

Dotychczas uzyskane wyniki (równanie 5) dowiodły, że nawet przy zastosowaniu szybkich elektronicznych maszyn cyfrowych nie ma możliwości wyznaczenia sieci optymalnej w sposób ogólny przez obliczenie i porównanie nakładów na wszystkie możliwe sieci zwykle. Pozostaje tylko próba określenia najpierw rozwiązania wyjściowego, a następnie stopniowe jego poprawianie.

Ponieważ istnieje tylko jedna sieć maksymalna, wyda-

wałoby się właściwie przyjąć ją jako rozwiązanie wyjściowe, a następnie opuszczając stopniowo boki z tworzącego ją wieloboku zupełnego zbliżać się do rozwiązania optymalnego. Ze względu jednak na to, że jak wykazały dotychczasowe doświadczenia, rozwiązania optymalne są zbliżone do sieci minimalnej, operacje rachunkowe na tej drodze byłyby również zbyt pracochłonne.

Należy więc najpierw skonstruować sieć minimalną. Ponieważ jednak liczba sieci minimalnych jest rzędu $\binom{N}{n-1}$, analiza ich przy dużej liczbie punktów ruchu przez rachunkowe porównanie sieci zupełnych również nie jest praktycznie możliwa; liczba zupełnych sieci minimalnych wynosi przy $n = 4$ tylko $20-4 = 16$, ale przy $n = 5$ już $210 - (10+20) = 180$. Należy zatem spróbować określić rozwiązanie wyjściowe inną przybliżoną metodą.

Rapp [6] zaproponował przyjąć jako rozwiązanie wyjściowe najkrótszą sieć minimalną, którą, metodą wskazaną przez Prima [4], można łatwo skonstruować albo obliczyć rachunkowo. Jednak w tym przypadku nastąpiłaby minimalizacja tylko ogólnej długości linii, a więc pierwszych składników z równania (1). Sposobem tym można uzyskać dostatecznie dokładne rozwiązanie wyjściowe tylko przy względnie małych drugich składnikach w równaniu (1).

Natomiast suma trzecich składników z tego równania jest prawie stała, ponieważ suma łączy ze wszystkich wiązek jest wartością stałą tak długo, dopóki przez dzielenie ruchu (wiązki skrośne) i scalanie ruchu (współ-

ne drogi połączeniowe) nie zmieni się liczba potrzebnych łączy bez zmiany natężenia ruchu. Tego rodzaju zagadnienia powstają dopiero przy planowaniu sieci łączy, chociaż oddziałują wstecz na sieć linii.

Na skutek niezmienności sumy trzecich składników z równania (1) można skonstruować inną sieć minimalną, składającą się z odcinków linii o największych liczbach łączy przy niezmiennej ogólnej liczbie łączy. Można to wykonać formalnie przez łatwe uogólnienie i odwrócenie metody Prima [4], przy czym liczby łączy są przedstawione jako "długości krawędzi" grafu, a z ich pomocą można określić "sieć minimalną" z "najdłuższymi krawędziami".

Jak łatwo się przekonać, wszystkie odcinki, które występują w obu sieciach minimalnych są również odcinkami optymalnej sieci minimalnej, ponieważ jakiegokolwiek inne ich przebiegi powiększyłyby wielkość pierwszych oraz/albo drugich składników równania (1), podczas gdy trzeci składnik pozostaje bez zmiany.

W ten sposób można łatwo ustalić część optymalnej sieci minimalnej. Teoretycznie zresztą obie sieci minimalne (z najkrótszymi odcinkami linii i z największymi liczbami łączy) niekoniecznie mają odcinki wspólne. Ponieważ jednak natężenie ruchu telefonicznego w wysokim stopniu zależy od odległości [2] i [3], należy w tych samych warunkach oczekiwać między bliskimi punktami ruchu większych liczb łączy, niż między punktami oddalonymi. Można zatem przyjąć, że na ogół udaje się uzyskać tym sposobem wspólne fragmenty sieci (złożone z jednego

lub większej liczby odcinków) należące do sieci optymalnej.

Dla porównania wskazane jest obliczyć całkowite nakłady na obie sieci - z najkrótszą długością linii i z największymi liczbami łączy. W tym celu należy skierować łączy p_{ij} we wszystkich możliwych relacjach na odcinki należące do sieci minimalnych. Na tej podstawie ustala się również nakłady na poszczególne odcinki przy należne do obu sieci. Pierwsze przybliżenie w stosunku do rozwiązania wyjściowego można uzyskać przez każdorazowe wybieranie takich odcinków między wspólnymi fragmentami obu sieci, które wymagają najmniejszych nakładów. Formalnie można stosować tę metodę, nawet gdy nie istnieją wspólne fragmenty obu sieci. Należy wówczas przyjąć jako pierwsze przybliżenie rozwiązania wyjściowego taką sieć, która powoduje najmniejsze nakłady ogólne. Ze względu na jednoznaczność tej metody wyboru można ją łatwo zaprogramować dla elektronicznych maszyn cyfrowych.

Pierwsze przybliżenie rozwiązania wyjściowego można poprawić przez niewielką zmianę fragmentów nie zaliczanych do optymalnych w ten sposób, że dla położonych w pobliżu fragmentów sieci (wybranych z macierzy linii) o takich samych długościach i liczbach łączy oblicza się nakłady i każdorazowo przyjmuje do rozwiązania odcinki, powodujące najmniejsze nakłady. Ponieważ rozwiązanie wyjściowe optymalizuje się później przez włączanie nowych odcinków wieloboku, do dalszych obliczeń wystarcza zwykle pierwsze przybliżenie, jeżeli z innych względów (u-

stalanie optymalnych punktów węzłowych lub podział tłumienności) większa dokładność rozwiązania wyjściowego nie jest konieczna.

Optymalne rozwiązanie wyjściowe określa sieć podstawową, ważną dla dalszych prac przy planowaniu. W sieci tej wyznacza się punkty węzłowe oraz - jeżeli jest to wskazane ze względów łączeniowych - punkty węzłowe drugiego rzędu. Optymalnymi punktami węzłowymi są zawsze takie punkty ruchu, w których schodzi się większość łączy [3]. Można również przy łączach nie wzmacnianych i znanej zależności między kosztami a tłumiennością wyznaczyć optymalny podział tłumienności. W tym celu, wychodząc z punktu węzłowego, należy rozdzielić dopuszczalną tłumienność na poszczególne odcinki odpowiednio do liczb łączy [3] w każdym odcinku.

Obie te możliwości wykazują, jak korzystne jest skonstruowanie najpierw sieci podstawowej, nawet gdy poprzednio sieć taka na podstawie dawniejszych rozwiązań, dotyczących planu numeracji, lokalizacji central tandemowych w sieciach miejskich albo central międzymiastowych, została już zatwierdzona. Ponieważ jednak każde nowe planowanie o większym zakresie musi stawiać pod znakiem zapytania dawniejsze rozwiązania oraz - gdy z uwzględnieniem wszystkich czynników jest to bardziej ekonomiczne - musi brać pod uwagę możliwość zmiany struktury sieci, wskazane jest również w tych przypadkach ustalać najpierw sieć podstawową tak, jak przy planowaniu nowej sieci.

Po zaprojektowaniu sieci podstawowej i ustalaniu punktów węzłowych oraz składników zmiennych (b) nakładów na każdy odcinek na podstawie dokonanego podziału tłumienności można stopniowo przybliżać się do sieci optymalnej przez wprowadzanie nowych odcinków do wieloboku sieci. W praktyce istnieją zwykle niektóre dodatkowe odcinki, które dogodnie jest prowadzić jako wydzielone linie (linie między centralami rejonowymi a centralą tandemową w sieciach miejskich, linie wzdłuż dróg numerów kierunkowych w sieci dalekosiężnej itp.), wprowadzając je najpierw do układu. Dla rozbudowanej w ten sposób sieci linii należy znów określić liczby łączy w poszczególnych odcinkach oraz ogólny nakład na budowę sieci. Następnie należy stopniowo wprowadzać dalsze odcinki między odosobnionymi punktami ruchu, tj. punktami, mającymi dotychczas tylko jedno połączenie, a innymi punktami ruchu, określać zmienione przez to liczby łączy i obliczać ogólne nakłady. Zaleca się rozpocząć to postępowanie od odcinków najkrótszych, prowadząc je tak długo, aż nakłady ogólne przestaną maleć. Następnie należy uwzględnić odcinki między sąsiadującymi punktami węzłowymi.

Wskazane jest podzielić do obliczeń składniki nakładów na odcinki linii na dwie części (1), a mianowicie

$$a \cdot l_{ij} \quad (6)$$

i

$$(b \cdot l_{ij} + c) \cdot p_{ij} \quad (7)$$

Wielkość (6) jest stała dla każdego odcinka, a wielkość (7) zmienia się tylko w stosunku do przyłączanych lub odłączanych łączy.

Ponieważ każdy krok obliczenia obejmuje tylko niewiele odcinków, spowodowane w nim zmiany nakładu ogólnego mogą być bezpośrednio porównywane bez każdorazowego obliczania całości nakładów, co umożliwia łatwą ocenę, czy dany krok daje jeszcze zmniejszenie nakładów.

W ten sposób można zbliżyć się do optymalnej sieci linii, nie należy jednak zaniedbywać badania, czy wyniki obliczeń są zbieżne i czy nie rozpatruje się na próżno dróg oczywiście nieprzydatnych.

Dokładniejsze dane, jakie odcinki należy uwzględnić, można uzyskać między innymi w taki sposób, że dodatkowo wyznacza się w obu sieciach minimalnych wszystkie odcinki lub "brzezi", które powodują zwiększenie długości linii, lub zmniejszenie liczby łączy o 10 do 20% w stosunku do sieci minimalnych, i wychodzą z tego samego punktu ruchu. Te odcinki, zwłaszcza gdy są wspólne dla obu sieci minimalnych, mogą być najpierw przyjęte do obliczeń tak jak odcinki sieci minimalnych.

Należałoby jeszcze zbadać, czy przy stopniowym zwiększaniu podanej wyżej różnicy procentowej nie uzyskaloby się rachunku iteracyjnego, zbieżnego z dostateczną pewnością i łatwego do programowania. Rachunek taki można by zastosować między innymi już przy planowaniu sieci podstawowej.

5. PROJEKTOWANIE SIECI O MAKSYMALNEJ NIEZAWODNOŚCI

Niezależnie od sieci optymalnych ekonomicznie ważne są w specjalnych przypadkach sieci o bardzo dużej niezawodności albo też sieci optymalne ekonomicznie z dodatkowymi wymaganiami odnośnie niezawodności. Jeżeli prawdopodobieństwa uszkodzenia poszczególnych odcinków (w_{ij}) - zależne od sposobu budowy, warunków lokalnych itd. - są znane, niezawodność całej sieci wyraża się zgodnie z prawem Prima wzorem

$$W = 1 - \prod_{ij} (1 - w_{ij}) \quad (8)$$

W osiąga minimum, gdy $\sum_{ij} w_{ij}$ jest najmniejsza. Należy zatem dla ustalenia sieci o największej niezawodności określić najkrótszą sieć minimalną z grafu prawdopodobieństw uszkodzeń uważanych za "brzegi grafu".

6. UWAGI KOŃCOWE

Niestety wszystkie dotychczasowe badania wykazały, że brak jest ogólnych rozwiązań optymalizacji sieci. Należy zatem posługiwać się metodami przybliżonymi, które ze względu na dużą ilość obliczeń powinny dać się zaprogramować dla elektronicznych maszyn cyfrowych, o ile mają być w praktyce użyteczne.

W niniejszym artykule przedstawiono próbę wykorzystania jako rozwiązanie wyjściowe obok najkrótszej sieci

minimalnej [4] i [6] również sieć z największymi liczbami łączy na poszczególnych odcinkach. Ponieważ odcinki należące do obu sieci stanowią jednoznacznie część optymalnej sieci podstawowej, otrzymuje się dokładne rozwiązanie częściowe, które może być ewentualnie rozszerzone jedną z dwóch podanych w artykule metod optymalizacji. Podobnie z sieci podstawowej można utworzyć sieć optymalną, stosując dwie różne metody kolejnych przybliżeń.

Nie wiadomo jednak, czy metody te są dogodne do obliczeń, zbieżne i jednoznaczne. Byłoby zatem wskazane badać tego rodzaju zagadnienia, aby planowanie sieci międzycentralowych wielkich miast i sieci międzymiastowych, dla których nie ma dotychczas wyraźnych i jednoznacznych metod planowania, oprzeć na ścisłych podstawach.

WYKAZ LITERATURY

1. Jensen A.: The life and work of A.K. Erlang. Trans. Danisch. Acad. Techn. Sciences, Kopenhaga 1948.
2. Jipp A.G.W.: Berechenbare Grössen in der Volks- und Verkehrswirtschaft, Monachium 1962.
3. Kremer H.: Ortsnetzplanung, Berlin 1963.
4. Prim R.C.: Shortest connection networks and some generalizations, Bell Techn. Journ. 1967 nr 6, str.1389.
5. Rapp Y.: The economic optimum in urban telephone network problems, Ericsson Technics 1950 nr 49.

6. Rapp Y.: Planning of junction network in a multi exchange area, Ericsson Technics 1964 nr 1, str. 77 i 1965 nr 2, str. 187.
7. Theissen E.: Rechenplan und Rechenprogramm für die numerischen Berechnungen bei der Planung von Ostnetzen auf einem elektronischen Rechenautomaten, Technische Bericht der FTZ der DBP.

