

1 9 7 1

Nr 6 4

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

WARSZAWA — MIEDZESZYN

BIBLIOTEKA
Instytut Łączności
Warszawa

PROBLEMY

ŁĄCZNOŚCI



MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

BIBLIOTEKA
Instytut Łączności

PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI

ROK 11

WARSZAWA 1971

NR 64

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

Branżowy Ośrodek
Informacji Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej

Redakcja Problemów Łączności

Redaktor Naczelny - mgr inż. Jerzy Rutkowski

Redaktorzy działów:

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

Adres Redakcji:

Instytut Łączności
Branżowy Ośrodek Informacji
Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej
Warszawa-Miedzeszyn, ul. Szachowa 1

NA PRAWACH RĘKOPISU - DO UŻYTKU SŁUŻBOWEGO

Egz. Nr 31

Redaktor: J. Borkowska

Montaż tekstu: I. Kosieniec

Dział Wydawniczy Instytutu Łączności
Format B5. Nakład 790. Wpłynęło do
Działu Wydawniczego 21.06.1971 r.
Druk ukończono w sierpniu 1971 r.

PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI

LECH ŻOŁĄTKOWSKI

KABLE O IZOLACJI PAPIEROWEJ I POWŁOCE POLIETYLENOWEJ

SPIS TREŚCI

	Str.
1. Wstęp	1
2. Konstrukcja powłok kabli	3
3. Materiały stosowane na powłoki polietylenowe z metalową zaporą przeciwwilgociową	19
3.1. Taśma metalowa pokryta warstwą tworzywa termoplastycznego	19
3.2. Polietylen	24
4. Ocena trwałości kabli z powłoką polietylenową i zaporą przeciwwilgociową pod względem przenikania wilgoci	30
5. Wyniki badań eksploatacyjnych	44
6. Montaż kabli o powłokach polietylenowych z barierą przeciwwilgociową z taśmy aluminiowej	46
7. Zakończenie	47

Lech Żołątkowski

KABLE O IZOLACJI PAPIEROWEJ
I POWŁOCE POLIETYLENOWEJ

1. WSTĘP

Niedostateczna ilość oraz wysoka cena ołowiu zmusiły w wielu krajach konstruktorów kabli do opracowania nowych typów powłok, wykonanych z materiałów innych niż ołów i dostępnych na rynkach.

Jedne z pierwszych prób opracowania nowej powłoki zostały przeprowadzone przez firmę Bell System już w 1930 r., której wprowadzenie nie udało się w tym czasie opracować powłoki nadającej się do zastąpienia powłoki ołowianej, ale udało się natomiast opracować ekran z falowanej taśmy aluminiowej, wykorzystany potem przy następnych konstrukcjach powłok. Dalsze próby umożliwiło dopiero pojawienie się na rynku w 1946-1947 r. polietylenu i polichlorku winylu, które wykorzystano do nowych konstrukcji powłok, dorównujących obecnie pod wieloma względami powłokom ołowianym i pod niektórymi względami nawet je przewyższających.

Konstrukcje te są na ogół dość złożone i składają się przeważnie ze szczelnych lub prawie szczelnych ekranów, wykonanych z różnego rodzaju metali, oraz z powłok z po-

lietylenu lub polwinitu, zabezpieczających ekrany przed korozją. W niektórych rozwiązaniach powłoka wewnętrzna z polietylenu chroni kabel również przed zawilgoceniem w przypadku uszkodzenia powłoki zewnętrznej.

Rozwój konstrukcji powłok z materiałów innych niż ołów, używanych do zabezpieczenia ośrodków kabli z żyłami izolowanymi papierem, oraz zastosowanie różnych rodzajów powłok zależnie od warunków eksploatacyjnych zostały właśnie omówione w następnych rozdziałach tego artykułu. Ponadto omówiono własności i metody badań materiałów stosowanych w kraju do konstrukcji powłok kabli miejskich, przeznaczonych do układania w kanalizacji teletechnicznej, oraz metodę montażu tych kabli. Prototypy powyższych kabli, wyprodukowane przez wytwórnie krajowe w 1968-1970 r., poddane są obecnie próbnej eksploatacji, a badania tych kabli przeprowadzane są okresowo przez laboratoria Dyrekcji Okręgowych Poczty i Telekomunikacji.

Taką konstrukcję kabli uznano w wielu przypadkach za najwłaściwszą, ponieważ izolowanie papierem jest obecnie najtańsze i umożliwia uzyskanie mniejszych średnic zewnętrznych kabli z torami o określonej pojemności skutecznej niż przy izolowaniu polietylenem i zwłaszcza polwinitem, którego przenikalność dielektryczna jest znaczna. Uzyskanie kabli o możliwie małych średnicach ma przy tym szczególne znaczenie w przypadku kabli kanalizacyjnych o dużej liczbie wiązek.

2. KONSTRUKCJA POWŁOK KABLI

Znaczenie poszczególnych własności powłok kabli z żyłami izolowanymi papierem podano w tabl. 1, z której wynika, że materiał powłoki powinien odznaczać się m.in. małą przenikalnością pary wodnej. Żaden jednak ze stosowanych obecnie materiałów plastycznych nie charakteryzuje się nieprzenikalnością pary wodnej, przy czym przenikanie wilgoci do wnętrza kabla przez powłokę z materiału plastycznego jest proporcjonalne do różnicy ciśnień pary wodnej we wnętrzu kabla i na zewnątrz.

W przypadku kabli z żyłami izolowanymi papierem wysuszonym można przyjąć, że ciśnienie pary wodnej w ośrodku kabla jest początkowo bardzo małe, w związku z czym ilość pary wodnej przedostającej się przez powłokę do wnętrza kabla będzie proporcjonalna początkowo tylko do ciśnienia pary wodnej w środowisku, w którym znajduje się kabel. Wilgoć przedostająca się do wnętrza kabla jest absorbowana przez papier, wobec czego ciśnienie pary wodnej w kablu zwiększa się najpierw bardzo nieznacznie, lecz z upływem czasu prędkość przenikania pary wodnej do wnętrza kabla będzie jednak powoli zmniejszała się wobec coraz większej zawartości wilgoci w izolacji papierowej. To zawilgocenie izolacji ogranicza oczywiście bardzo czas eksploatacji kabla, przy czym, na przykład, według badań przeprowadzonych w Anglii z kablem kanalizacyjnym 54-parowym, mającym ośrodek owinięty dwoma warstwami papieru o grubości około 0,05 mm i polietylenową powłokę o grubości około 2,5 mm, napełnionym su-

Znaczenie własności powłok kabli
z żyłami izolowanymi papierem

<u>Oznaczenia zastosowane w tablicy</u>			
000 bardzo ważna własność			
00 ważna własność			
0 bardzo mało ważna własność			
— nieistotna własność			
W ł a s n o ś ć	Kabel kanali- zacyjny	Kabel ziem- ny	Kabel napo- wietrz- ny
1	2	3	4
Giętkość i odporność na uderzenia w temperaturze od -40°C do $+40^{\circ}\text{C}$	00	00	000
Mała przenikalność pary wodnej	000	000	000
Odporność na starzenie pod wpływem światła	0	00	000
Odporność na korozję naprężeniową	000	00	000

1	2	3	4
Odporność na starzenie pod wpływem podwyższonej temperatury	0	0	00
Odporność na działanie niskiej temperatury	00	00	00
Odporność na zniekształcenie pod wpływem stałego nacisku	00	00	00
Odporność na ścieranie	00	0	000
Mały współczynnik tarcia tworzywo sztuczne - tworzywo sztuczne oraz tworzywo sztuczne - wyroby betonowe lub ceramiczne	00	-	-
Odporność na działanie czynników chemicznych, jak kwasów, olejów, nafty itd.	00	00	-
Duża przewodność elektryczna /ekranowanie/	00	00	00
Odporność powłoki na uszkodzenia spowodowane prądami indukowanymi w czasie wyładowań atmosferycznych	0	000	00

1	2	3	4
Duża rezystywność skrośna	—	—	—
Mała rezystywność zewnętrznej powłoki polietylenu, zabezpieczającej uzbrojenie lub ekran przed korozją	—	00	—
Mała wartość przenikalności dielektrycznej	—	—	—
Niepalność	—	—	—
Łatwość wykonywania złączy	000	000	000

chym powietrzem o nadciśnieniu około $0,7 \text{ kp/cm}^2$, stwierdzono, że po 10 latach pracy nastąpiło w nim zmniejszenie oporu izolacji między każdą żyłą i trzema pozostałymi żyłami czwórki z wartości $24000 \text{ M}\Omega \cdot \text{km}$ do wartości $3200 \text{ M}\Omega \cdot \text{km}$.

Tak więc widać, że nawet polietylen, który jest jednym z materiałów mało przepuszczających wilgoć, nie nadaje się sam na powłoki kabli, ponieważ 10-letni okres eksploatacji jest za krótki. Ponadto, aby uzyskać taki czas eksploatacji, kabel musi być stale suszony strumieniem suchego powietrza, co jest bardzo kłopotliwe, zwłaszcza

cza w rozgałęzionych i skomplikowanych sieciach miejskich, a poza tym powłoki wykonane z samego materiału termoplastycznego nie chronią torów kablowych przed zakłóceniami oraz wyładowaniami atmosferycznymi. Zastosowanie zaś na powłoki kabli samych metali, jak aluminium lub stal, również nie gwarantuje dostatecznego okresu eksploatacji, ponieważ metale te, nie zabezpieczone odpowiednimi osłonami, ulegają za szybko korozji.

W związku z tym w wielu krajach opracowano powłoki wielowarstwowe, składające się z warstw metalu oraz tworzywa termoplastycznego, dla których obecnie przyjęta nazwa powłoki termoplastyczne czy polietylenowe nie jest odpowiednia, ponieważ właściwą powłokę, nie dopuszczającą wilgoci do wnętrza kabla lub ją ograniczającą, stanowią w tych rozwiązaniach warstwy metalowe, podczas gdy pokrywająca metal warstwa tworzywa sztucznego zabezpiecza warstwy metalowe przed korozją.

Najwcześniej zamiast powłok ołowianych stosowane były powłoki z nawiniętych na ośrodek kabla spiralnie i z małym skokiem taśm metalowych, pokrytych następnie szczelną warstwą tworzywa termoplastycznego. Wadami takich powłok były jednak:

- mała skuteczność ekranowania przed polami elektromagnetycznymi,
- niemożność uzyskania ekranu o małym oporze elektrycznym,
- duża pracochłonność wykonywania powłoki,
- znaczna przenikalność pary wodnej,

a zaletą tylko możliwość stosowania do owijania ośrodka kabla taśmami maszyn używanych powszechnie do produkcji kabli. Niektórzy konstruktorzy próbowali przy tym polepszyć współczynnik ekranowania przez owijanie ośrodka kabla dwoma identycznymi taśmami, nawiniętymi w przeciwnych kierunkach; taki ekran może być jednak uważany jedynie za namiastkę prawidłowo wykonanego ekranu, ponieważ giętkość kabla z tego rodzaju ekranami jest bardzo mała.

W 1947 r. firma Bell System opracowała prototyp powłoki typu Alpeth, która nie ma wad powłok z ekranami nawijanymi spiralnie i znakomicie nadaje się do masowej produkcji. Powłoka ta składa się z falowanej wstępnie taśmy aluminiowej o grubości około 0,2 mm, ułożonej wzdłuż kabla, której szew wzdłużny z zakładką jest uszczelniony specjalnie opracowaną masą. Sama falowana poprzecznie taśma aluminiowa pokryta jest zaś mieszaniną gumy z asfaltem w celu wypełnienia wgłębień, a na warstwę asfaltu wytłoczona jest warstwa polietylenu, zastępowana w okresie późniejszym w niektórych przypadkach warstwą z polwinitu. Ten typ powłoki był jednak uważany również za niedoskonały, ponieważ poprzez szew, mimo uszczelnienia go różnego typu masami, do wnętrza kabla przedostawała się wilgoć, która powodowała pogorszenie oporu izolacji żył, co z kolei powodowało pogorszenie parametrów elektrycznych kabla.

Dopiero w 1950 r. została opracowana przez firmę Bell System powłoka prawie nie przepuszczająca wilgoci, o nazwie Stalpeth, która stała się w USA i wielu innych

krajach zasadniczą powłoką kabli z żyłami izolowanymi papierem. W powłoce tej falowana taśma aluminiowa o grubości 0,2 mm, nałożona na ośrodek kabla wzdłuż jego osi i zwinięta w cylinder ze szwem, stanowi ekran elektrostatyczny, a nałożona następnie na taśmę aluminiową falowana taśma stalowa także o grubości 0,2 mm, pokryta stopem ołowiu z cyną i z zalutowanym szwem, chroni kabel przed wilgocią, uszkodzeniami mechanicznymi i zakłóceniami pochodzącymi od pól elektromagnetycznych. W celu zabezpieczenia taśmy stalowej przed korozją pokrywa się ją z kolei plastyczną mieszaniną gumy z asfaltem, a potem wytłoczoną warstwą polietylenu o dużym ciężarze cząsteczkowym i małej gęstości. Dokładne zalutowanie szwu jest wprawdzie trudne do osiągnięcia, ale plastyczna mieszanina z gumy i asfaltu zmniejsza w znacznej mierze ilość wilgoci, która przedostaje się do wnętrza kabla przez niedostatecznie szczelnie zalutowany szew, dzięki czemu, poza uszkodzeniami spowodowanymi pęknięciami zewnętrznej powłoki polietylenowej, właściwości eksploatacyjne kabli z tego typu powłoką, układanych w kanalizacji, można przyjąć za bardzo dobre.

Podobnego typu powłokę opracowała również jedna z firm niemieckich, która zastosowała spawanie w sposób ciągły taśm ze stali i aluminium, co umożliwiło uzyskanie szczelnych szwów. Metodę tę przejęło wiele wytwórni kabli w USA i kilku krajach europejskich, przy czym w NRF stosuje się już od 17 lat kable z takimi powłokami, korzystnymi dzięki dużej wytrzymałości na zgniatanie,

przy grubości ścianek od 0,3 do 0,6 mm, zwłaszcza w kablach z parami współosiowymi.

Powłoki aluminiowe spawane stosuje się, gdy zachodzi konieczność ekranowania przed polami elektrycznymi lub gdy pożądana jest duża przewodność powłoki kabla, przy czym grubość falowanych powłok aluminiowych wynosi od 0,5 do 1,5 mm, a powłok gładkich od 0,9 do 1,65 mm. Oba te typy powłok mają zawsze wewnętrzną osłonę ochronną wielowarstwową o grubości 1,3 mm, składającą się na przemian z warstw tworzyw sklejających i taśm, a na osłonie tej wytłoczoną osłonę zewnętrzną z polietylenu o grubości od 1,3 do 2,5 mm, zależnie od średnicy kabla.

Dla kabli układanych w ziemi firma Bell System opracowała powłoki o nazwach PAP oraz PASP, które okazały się niezbędne do zabezpieczenia kabla przed zawilgoceniem w przypadku przebić zewnętrznej powłoki polietylenu przez wyładowania atmosferyczne. Aby zabezpieczyć kabel przed zawilgoceniem w takim przypadku, pod metalowe ekrany, na ośrodek kabla, wytłacza się dodatkową warstwę polietylenu, która chroni również tory kablowe przed przepięciami spowodowanymi wyładowaniami atmosferycznymi. Tak więc powłoka typu PAP jest wykonana w sposób podobny do powłoki typu Alpeth, lecz ma na ośrodku najpierw wytłoczoną warstwę polietylenu /P/, na którą jest nałożony ekran aluminiowy /A/ i druga warstwa polietylenu /P/. Powłoka typu PASP składa się natomiast z wytłoczonej na ośrodek kabla warstwy polietylenu /P/, ekranu aluminiowego /A/, stalowej taśmy /S/ i drugiej

warstwy z polietylenu /P/, wytłoczonej na taśmę stalową.

W celu zabezpieczenia ośrodka kabla przed wyładowaniami atmosferycznymi opracowano również inną metodę wykonywania powłok [2], [3], polegającą na zastąpieniu zewnętrznej powłoki z polietylenu warstwą wytłoczoną z materiału plastycznego przewodzącego. Według informacji opublikowanych przez Northen Electric Company [2] ułożono już znaczną ilość takich kabli, które były przedmiotem badań porównawczych z kablami o powłoce zewnętrznej z tworzywa nieprzewodzącego, wykazujących, że pierwsze kable ulegają znacznie rzadziej uszkodzeniom wskutek wyładowań atmosferycznych oraz że lokalizacja uszkodzeń tych kabli jest znacznie łatwiejsza.

Badaniom poddano różne kable, o pojemności od 25 do 200 par, z żyłami o średnicach 0,90 mm oraz 0,65 mm, których ośrodki owinięto jedną taśmą z tworzywa termoplastycznego lub taśmą z mieszaniny kauczuku i tworzywa termoplastycznego, ułożoną wzdłuż kabla, i które miały ekran z taśmy aluminiowej o grubości 0,22 mm, w większości przypadków falowanej poprzecznie. Zewnętrzna powłoka z materiału przewodzącego miała opór rzędu $100 \Omega \cdot \text{cm}$ oraz była wykonana z mieszaniny kopolimeru etylenu z akrylanem etylu i sadzy w ilości do 50%, nadającej się do wytłaczania oraz odznaczającej się dobrą wytrzymałością na rozciąganie, elastycznością przy niskich temperaturach i dobrą odpornością na korozję naprężeniową. Pod powłoką zewnętrzną nie dano przy tym substancji uszczel-

niającej, ponieważ nie można było uzyskać takiego materiału o zadowalającej przewodności elektrycznej.

Kable te zostały zainstalowane w rejonach, w których liczba dni burzowych wynosiła 20-30 w ciągu roku /w Polsce wynosi ona od 12 do 30 [6]/, tj. w tych rejonach, w których występowały częste uszkodzenia wskutek wyładowań atmosferycznych dawniej ułożonych kabli. Podczas całego okresu badań zanotowano tylko dwa przypadki uszkodzeń badanych kabli na bardzo ograniczonej długości, podczas gdy kable z powłoką z tworzyw nieprzewodzących, zainstalowane w tych samych rejonach lub ułożone równolegle do badanych kabli albo połączone z nimi w szereg, ulegały w tym czasie typowym uszkodzeniom, o charakterze punktowych przebiegów, rozmieszczonych na dużej długości.

Należy jednak zwrócić uwagę, że w przypadku kabli z powłoką z materiału przewodzącego, ułożonych w terenie, w którym występują prądy stałe o dużym natężeniu, mogą powstać takie zjawiska niekorzystne, jak w przypadku kabli o powłokach ołowianych z osłoną z przesyconej juty lub innego materiału przewodzącego.

Kilka lat temu na rynku pojawiła się taśma metalowa pokryta jednostronnie lub dwustronnie polietylenem albo kopolimerami etylenu, odznaczająca się doskonałą przyczepnością do wewnętrznej lub zewnętrznej powierzchni polietylenowej powłoki. Ponieważ pokrycie taśmy metalowej kopolimerami etylenu zabezpiecza ją przed korocją, a ponadto powłoka z przyklejoną do niej taśmą skutecz-

nie chroni ośrodek kabla przed zawilgoceniem i wzmacnia wytrzymałość taśmy, firma Bell System wykorzystwała więc taśmę aluminiową pokrytą kopolimerami etylenu do dodatkowego zabezpieczenia przed wilgocią ośrodka kabla z powłoką typu PASP, w wyniku czego powstał w ten sposób nowy typ powłoki wielowarstwowej APASP, w której do wewnętrznej powłoki polietylenowej jest przyklejona aluminiowa taśma pokryta kopolimerem etylenu, ze szwem również sklejanym za pomocą kopolimeru etylenu.

Ponadto, ponieważ polietylen jest materiałem palnym, dla kabli układanych w budynkach i wszędzie tam, gdzie istnieje niebezpieczeństwo pożaru, opracowano jeszcze powłoki typu Alvyn i Stalvyn. Powłoka typu Alvyn ma taką samą konstrukcję jak powłoka typu Alpeth, w której zamiast polietylenu na zewnętrzną warstwę zastosowano jednak polwinit, a powłoka typu Stalvyn różni się od powłoki Stalpeth także taką samą zmianą. Aby ekrany metalowe miały dobrą przyczepność do powłoki z polwinitu, opracowano w tym celu specjalne kleje, którymi pokrywa się taśmy przed ich ułożeniem na ośrodku kabla.

W wielu rejonach świata, jak na przykład w USA na wschód od Missisipi, polietylenowa powłoka jest niszczona przez susły i inne gryzonie, w związku z czym kabli o powłokach tego typu nie można stosować w tych rejonach. Dlatego też stosuje się w nich dodatkowe osłony ochronne w postaci obwoju papierem z włókna sizalowego i następnie taśmami stalowymi o grubości 0,25 mm, nawiniętymi spiralnie, na które nawija się dodatkowo jedną lub dwie

warstwy juty, przesycając wszystkie te warstwy starannie asfaltem.

W niektórych krajach występuje ponadto niszczenie powłok polietylenowych przez termyty i inne owady, które w pewnych rejonach Australii występują w takiej ilości, iż rozważano możliwość zaprzestania układania kabli o powłokach z tworzyw sztucznych. Dopiero opanowanie techniki wytłaczania na powłokę z tworzywa termoplastycznego cienkiej warstwy poliamidu /nylonu/, który nie jest niszczone przez termyty, zabezpieczyło kable przed tego rodzaju uszkodzeniami.

Inną od opisanych powyżej konstrukcję powłok kabli miejscowych zastosowano w Anglii w 1961 r. W kablach tych ośrodek owinięto spiralnie taśmą aluminiową o grubości 0,05 mm, pokrytą z jednej strony cienką warstwą polietylenu, która była nawinięta na ośrodek kabla stroną pokrytą polietylenem na zewnątrz. Na taśmę wytłacza się następnie powłokę polietylenową o grubości 2,5 mm, która w czasie wytłaczania przykleja się do warstwy polietylenu pokrywającego taśmę aluminiową, spełniającą w tej konstrukcji rolę zapory przeciwwilgociowej oraz ekranu. Zastosowanie metalowej taśmy przyklejonej do wewnętrznej strony polietylenowej powłoki kabla zmniejszyło 20-krotnie ilość wilgoci przenikającej przez powłokę do wnętrza w porównaniu z ilością wilgoci, która by mogła przeniknąć przez polietylenową powłokę bez zapory.

Taka konstrukcja zapory przeciwwilgociowej była jednak w pewnych przypadkach przyczyną pęknięć powłok poli-

etylenowych wskutek powstałych w nich naprężeń, w związku z czym we wrześniu 1963 r. przystąpiono do badań kabli z zaporą przeciwwilgociową z taśmy aluminiowej, nałożonej na ośrodek wzdłuż osi kabla i ze szwem na zakładkę. Taśma ta, przed nałożeniem na ośrodek kabla, została również pokryta polietylenem i ułożona na ośrodku w taki sposób, iż strona pokryta polietylenem była zwrócona na zewnątrz. Na taśmę aluminiową wytłoczono następnie powłokę z polietylenu, która podczas wytłaczania przyklejała się do warstwy polietylenu pokrywającej taśmę aluminiową.

Przeprowadzone badania wykazały, że współczynnik zmniejszenia ilości pary wodnej przepuszczanej przez powłokę jeszcze bardziej poprawił się w przypadku tych kabli i wynosił od 50 do 100 oraz że naprężenia w powłoczce zmniejszyły się, a tory kablowe zostały lepiej zaekranowane przed wpływami zewnętrznych pól elektrycznych. Dlatego też w październiku 1963 r. postanowiono w Anglii, że od kwietnia 1964 r. kable miejscowe o pojemności powyżej 100 par będą wykonywane tylko w powłokach o tej konstrukcji i będą miały żyły izolowane papierem, a poza tym w końcu 1965 r. wprowadzono na zapory przeciwwilgociowe taśmę aluminiową o grubości 0,153 mm, pokrytą warstwą polietylenu, dzięki czemu opór elektryczny powłok kablowych jest taki sam, jak opór powłok ołowianych, co w pewnych przypadkach ułatwia lokalizację uszkodzeń powłok.

W Polsce, w 1969-1970 r., wytwórnice krajowe wykonały również kilka prototypów kabli miejskich o pojemności

do 50 par w powłokach polietylenowych z przyklejoną do wewnętrznej strony powłoki taśmą aluminiową, a w roku obecnym ma być wyprodukowana większa seria tych kabli. Odcinki prototypowe są ułożone przeważnie w kanalizacji i zachowanie się ich w terenie jest systematycznie sprawdzane przez Instytut Łączności oraz Laboratoria Okręgowych Dyrekcji Poczty i Telekomunikacji. Część tych odcinków została ułożona również bezpośrednio w ziemi.

W 1963 r. została przedstawiona propozycja zastosowania do produkcji kabli kopolimeru etylenu, mającego wyjątkowe właściwości adhezyjne, w gatunku Zetabon firmy Dow Chemical Co., który miał służyć do przyklejania metalowej taśmy do powłoki polietylenowej i do uszczelniania szwu na zakładkę taśmy metalowej. Pierwsza zastosowała ten kopolimer firma General Cable Cooperation, która wykonała kabel o powłoce znanej pod nazwą Qualpeth FPA i uruchomiła produkcję tych kabli na skalę przemysłową, po czym obecnie już wiele wytwórni produkuje kable z zaporami przeciwwilgociowymi przyklejanymi kopolimerem do powłoki polietylenowej. Niektóre z nich świadomie zastosowały kopolimery o mniejszej przyczepności do taśm metalowych, dzięki czemu jest łatwiejszy montaż kabli, ponieważ łatwiej jest oderwać powłokę od zapory, podczas gdy inne wytwórnie zastosowały kopolimery o doskonałej przyczepności do zapór metalowych, dzięki czemu mogą one produkować kable o dużych średnicach z gładkimi, nie falowanymi ekranami /zaporami/, które można zginać wielokrotnie bez obawy powstawania fałd na powłoce.

Właściwości powłoki polietylenowej wytłoczonej na zaporę wykonaną z taśm pokrytych kopolimerem etylenu różnią się pod dwoma zasadniczymi względami od właściwości powłoki polietylenowej wytłoczonej na zaporę wykonaną z taśmy pokrytej polietylenem:

- kopolimery, którymi pokryte są taśmy, mają mianowicie większą przyczepność do metali niż do polietylenu, dzięki czemu po oderwaniu polietylenowej powłoki metalowa zapora w dalszym ciągu jest zabezpieczona przed korozją, podczas gdy po oderwaniu powłoki od zapory pokrytej polietylenem polietylen z zapory pozostaje na powłoce zewnętrznej,
- przyczepność kopolimerów pokrywających taśmy zostaje zachowana nawet po zanurzeniu taśmy w wodzie o temperaturze do 100° , podczas gdy warstwa polietylenu traci swoją przyczepność do taśmy metalowej w krótkim czasie, nawet w temperaturze pokojowej.

Tak więc, rozpatrując rozwój konstrukcji powłok, można stwierdzić, że w ostatnich latach wprowadzono wiele poniższych ulepszeń:

- a/ polepszone własności mechaniczne powłok przez zastosowanie odpowiednich materiałów,
- b/ zmniejszono przenikalność pary wodnej przez powłoki,
- c/ uzyskano lepszą szczelność zapór ze szwem lutowanym lub spawanym,
- d/ polepszone zabezpieczenie kabli przed korozją,

a ponadto okazało się, że przyklejenie do zapory powłoki zwiększa jej odporność na pękanie wskutek naprężeń i działania różnych środowisk, w których jest ułożony kabel.

Wadą najnowszych konstrukcji, w których zastosowano taśmę metalową pokrytą kopolimerami, jest tylko jej większa cena niż normalnych taśm stosowanych na ekrany, co, jak wydaje się, można będzie jednak w przyszłości zrównoważyć przez następujące dodatkowe oszczędności przy produkcji powłok przyklejanych do zapór:

- wyeliminowanie falowania zapór w kablach o średniej liczbie par,
- zwiększenie stopniowania grubości powłok w zależności od przekroju kabla,
- zmniejszenie grubości powłok,
- zastosowanie na szeroką skalę żył aluminiowych.

Przewiduje się również nowe rozwiązania powłok kabli ziemnych, przy czym w USA panuje pogląd, że konieczne jest stosowanie powłoki wewnętrznej z polietylenu, zabezpieczającej ośrodek kabla w przypadku uszkodzenia powłoki zewnętrznej.

3. MATERIAŁY STOSOWANE NA POWŁOKI POLIETYLENOWE Z METALOWĄ ZAPORĄ PRZECIWWILGOCIOWĄ

3.1. Taśma metalowa pokryta warstwą tworzywa termoplastycznego

Do pokrywania taśm metalowych stosowanych na zapory przeciwwilgociowe, przyklejone do powłok polietylenowych, stosuje się polietylen lub kopolimery etylenu o własnościach podanych w tabl. 2, które pod niektórymi względami różnią się od siebie. I tak polietylen ma słabą przyczepność do metalu, znacznie mniejszą niż kopolimery etylenu, i w związku z tym, gdy taśma metalowa jest pokryta jednostronnie polietylenem, nie można uzyskać sklejenia szwu zapory nawiniętej na zakładkę. Przeciwnie, kopolimery etylenu, stosowane do pokrywania taśm metalowych mają doskonałą przyczepność do metalu i nawet gdy taśma jest pokryta jednostronnie kopolimerem, można bez trudu uzyskać przez podgrzanie sklejenie zakładki zapory, dzięki czemu otrzymuje się mniejsze przenikanie pary wodnej do ośrodka kabla. Ponadto taśmy pokryte kopolimerem etylenu, dzięki dobrej przyczepności kopolimeru oraz dużej odporności na wilgoć, lepiej chronią taśmę metalową przed korozją.

Według wymagań Administracji Pocztowej Brytyjskiej siła odrywająca taśmę aluminiową od powłoki polietylenowej nie powinna być mniejsza niż 0,65 kG w przypadku taśmy metalowej o grubości 0,15 mm i 0,71 kG w przypad-

ku taśmy o grubości 0,3 mm i szerokości 1 cm. Natomiast w przypadku taśmy aluminiowej produkcji USA, o grubości 0,203 mm, pokrytej obustronnie lub jednostronnie kopolimerem etylenu o grubości $0,058 \pm 0,01$ mm, minimalna siła oderwania taśmy od powłoki kabla wynosi 0,63 kG /średnia około 0,74 kG/ na 1 cm szerokości taśmy, co w rzeczywistości jednak obrazuje siłę niezbędną do oderwania warstwy kopolimeru etylenu od powłoki polietylenowej, ponieważ po oderwaniu zapory od powłoki kopolimer pozostaje na taśmie metalowej.

T a b l i c a 2

Własności kopolimeru etylenu na taśmy
do zapór przeciwwilgociowych

W ł a s n o ś ć	Metoda badań	Wartość
Wskaźnik płynięcia, G/min	ASTM-D1238	5,0
Ciężar właściwy, G/cm ³	ASTM-D1505	0,930
Wytrzymałość na rozciąganie, kG/cm ²	ASTM-D412	246
Wydłużenie przy zerwaniu, %	ASTM-D412	600
Wytrzymałość elektryczna, V/0,025 mm	ASTM-D149	5000
Przenikalność dielektryczna przy 50 MHz	ASTM-D150	2,41
Współczynnik stratności przy 50 MHz	ASTM-D150	0,0017

Aby można było określić przyczepność warstwy kopolimeru etylenu do taśmy metalowej, dwie taśmy trzeba więc skleić ze sobą w specjalnym urządzeniu zapewniającym otrzymanie dostatecznego nacisku i odpowiedniej temperatury podczas zgrzewania warstw kopolimeru ze sobą. W takich warunkach minimalna wartość siły niezbędnej do oderwania dwóch sklejonych na gorąco taśm wynosi 1,8 kG, a wartość średnia 2,7-2,8 kG na 1 cm szerokości taśmy [11].

Ponadto trzeba zaznaczyć, że na taśmy pokryte kopolimerem nie ma żadnego działania woda o temperaturze pokojowej w ciągu 8000 godzin oraz woda o temperaturze 80° w ciągu 2500 godzin. Natomiast większość taśm aluminiowych pokrytych polietylenem ulega uszkodzeniu w ciągu dość krótkiego czasu po umieszczeniu ich w wodzie nawet o temperaturze pokojowej.

W toku produkcji kabli z zaporami przeciwwilgociowymi z taśm pokrytych tworzywem termoplastycznym zachodzi często konieczność ich łączenia, które musi być wykonane w możliwie krótkim czasie, aby uniknąć przerwy lub zwolnienia procesu wytłaczania powłoki kabla. Trudności wynikające z pokrycia taśmy metalowej tymi tworzywami uniemożliwiają przy tym zautomatyzowane łączenie, jakie bywa stosowane przy łączeniu zwykłych ekranów z taśmami nie pokrytymi, wobec czego przy łączeniu taśm pokrytych tworzywem termoplastycznym stosuje się zwykle pojemnik z odpowiednim zapasem taśmy, z którego maszyna czerpie taśmę, gdy koniec jej jest łączony z inną taśmą. Pokrycie

z tworzywa usuwa się z końców łączonych taśm przez wypalenie, po czym ich końce przycina się ukośnie, nakłada na zakładkę i spawa lub lutuje, aby uzyskać dobrą wytrzymałość mechaniczną połączenia oraz ciągłość elektryczną ekranu. Po połączeniu, na taśmy, w miejscu usunięcia tworzywa sztucznego, nakłada się folię z kopolimeru o grubości około 0,12 mm, którą zgrzewa się na gorąco z metalem, a w celu uniknięcia przyklejenia się kopolimeru do przyrządu nagrzewającego między uchwytem przyrządu i warstwą kopolimeru umieszcza się taśmę z teflonu lub poliestru.

W firmie Dow Chemical Company opracowano inną, ciekawą metodę łączenia taśm pokrytych kopolimerami polietylenu, według której górną powierzchnię kończącej się taśmy posypuje się miłkim proszkiem /o średnicy ziaren około 0,07 mm/ stopu magnezu o zawartości około 43% aluminium, po czym nakłada się na nią nową taśmę i zgrzewa się je pod ciśnieniem. Ochłodzenie zgrzewanych taśm musi nastąpić przed odjęciem szczęk przyrządu zgrzewającego, aby miejsce połączenia było chłodzone pod ciśnieniem.

W wyniku takiego łączenia otrzymuje się, zależnie od ilości użytego proszku stopu, opór połączenia jak w tabl. 1, podczas gdy opór taśmy aluminiowej nie łączonej wynosił $2 \cdot 10^{-5}$ omów/cm. Wartość oporu połączenia nie zmieniła się według badań laboratoryjnych w ciągu dwóch lat.

Zastosowanie taśm pokrytych kopolimerami polietylenu ma również szerokie zastosowanie przy montażu złączy u-

szczelnianych kitem epoksydowym [12] oraz złączy kabli w powłokach z tworzyw termoplastycznych, opracowanych we Francji.

T a b l i c a 3

Opór połączenia taśm o szerokości 62 mm
przy zakładzie 50 mm

Próbka	Ilość proszku stopu Mg-Al	Opór połączenia
Nr	mG/cm ²	omy
1	0,9	0,030
2	2,3	0,0034
3	4,6	0,00084
4	9,6	0,0027
5	18,5	0,00080
6	37,0	0,00056

3.2. Polietylen

Na powłoki kablowe stosowano do 1953 r. polietylen wysokociśnieniowy o wskaźniku płynięcia 7, a w latach 1953-1961 polietylen o wskaźniku płynięcia 2. Ponieważ ten polietylen był jednak za mało odporny na korozję naprężeniową, powłoki niektórych kabli produkowano z polietylenu z dodatkiem 10% poliizobutyleny wielkocząsteczkowego, który od roku 1962 zastąpiono polietylenem o wskaźniku płynięcia 0,3, a w niektórych krajach nawet o wskaźniku płynięcia 0,1. Im mniejszy jest bowiem wskaźnik płynięcia /i tym samym im większy jest ciężar cząsteczkowy/, tym lepsze są własności mechaniczne polietylenu, a mianowicie wytrzymałość na rozciąganie, wydłużenie przy zerwaniu oraz udamność z karbem i bez karbu, a także odporność na korozję.

Jednakże odporność na korozję naprężeniową w dużej mierze zależy nie tylko od ciężaru właściwego i średniego ciężaru cząsteczkowego /wskaźnik płynięcia/, lecz również od rozrzutu ciężarów cząsteczkowych w polietylenie, którego nie można określić w prosty sposób, wobec czego oprócz wymagań na ciężar właściwy i wskaźnik płynięcia konieczne jest również ustalenie oddzielnych wymagań na odporność materiału na korozję naprężeniową, przyjętych u nas w kraju według doświadczeń Brytyjskiej Administracji Pocztovej [5], [10] i omówionych, wraz z badaniami innych własności, w wymaganiach na powłoki kabli opracowanych przez Instytut Łączności [11].

W wymaganiach tych ustalono m.in., że na powłoki należy stosować polietylen wysokociśnieniowy, a więc polietylen o mniejszym ciężarze właściwym $/0,91-0,94 \text{ G/cm}^3/$, choć polietylen o większym ciężarze właściwym ma większą wytrzymałość na rozciąganie niż polietylen o małym ciężarze właściwym. Wadą polietylenu o dużym ciężarze właściwym /niskociśnieniowego/ jest bowiem duży jego moduł elastyczności wzdłużnej i związana z tym sztywność, wymagająca nawijania na bębny o znacznie większych średnicach, a ponadto polietylen o dużym ciężarze właściwym jest droższy. Porównanie własności polietylenu wysokociśnieniowego i niskociśnieniowego podano w tabl. 4 [15].

T a b l i c a 4

Własności polietylenów
o małym i dużym ciężarze właściwym

Własność polietylenu	Polietylen o małym ciężarze właściwym	Polietylen o dużym ciężarze właściwym
1	2	3
Ciężar właściwy, G/cm^3	0,910-0,925	0,924-0,965
Maksymalna temperatura pracy, °C	80-100	-

1	2	3
Minimalna temperatura pracy, °C	-60	-
Temperatura mięknięcia, °C	94-110	-
Temperatura łamliwości, °C	-20 do -70	-35 do -75
Wytrzymałość na rozciąganie, kG/cm ²	92-162	162-365
Moduł elastyczności przy rozciąganiu, kG/cm ²	1340-2740	6320-12000
Granica płynności przy rozciąganiu, kG/cm ²	84,5-113	225-310
Wydłużenie przy zerwaniu, %	100-600	40-300
Twardość Brinella /3 kG, 1,5 mm/	1,55-1,95	-
Absorpcja wody /24 h/, %	mniej niż 0,01	mniej niż 0,01
Przepuszczalność wilgoci g/m ² /1 mm/24 h	0,053	0,012
Współczynnik rozprzestrzeniania płomienia, cm/min	2,8	2,3
Wytrzymałość elektryczna, kV/mm	45-57	50-70
Rezystywność skrośna, omy·cm	10 ¹⁷ -10 ¹⁹	10 ¹⁵ -10 ¹⁶

1	2	3
Rezystywność powierzchniowa, omy	$10^{14}-10^{17}$	$10^{14}-10^{15}$
Przenikalność elektryczna przy 60 Hz i 23°C	2,28-2,32	2,25-2,32
Przenikalność elektryczna przy 10^6 Hz i 23°C	2,28-2,32	2,25-3,38
Tangens kąta stratności przy 60 Hz i 23°C	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^{-4}$
Tangens kąta stratności przy 10^6 Hz i 23°C	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$

Oprócz podatności polietylenu na korozję naprężeniową ujemną jego cechą jest wrażliwość na działanie światła, które katalizuje utlenianie polietylenu tlenem powietrza już w temperaturze pokojowej i powoduje zmianę różnych własności tworzywa. Ta wrażliwość polietylenu na działanie tlenu i światła zmusza do stosowania środków, które powstrzymują utlenianie, czyli antyutlenia-czy, na przykład podanych w normie brytyjskiej B.S. 3412:1966, przeznaczonych specjalnie na powłoki kablowe /tabl. 5/.

Jedynym jednakże właściwym środkiem zabezpieczającym polietylen przed szkodliwym działaniem światła jest dodatek sadzy w ilości od 1% do 3% części wagowych, która nadaje niestety powłóce czarne, nie zawsze pożądane zabarwienie. Ilość dodanej sadzy i jej dyspersja mają przy

tym bardzo duży wpływ na skuteczność zabezpieczenia polietylenu przed działaniem światła, w związku z czym w normach i wymaganiach na polietylen z dodatkiem sadzy dokładnie określa się badania dotyczące zawartości sadzy i jej dyspersji [10], [11]. Wadą polietylenów z dodatkiem sadzy jest ich większa o 20% cena niż polietylenu bez dodatku sadzy.

T a b l i c a 5

Antyutleniacze stosowane do polietylenu
na powłoki kablowe

Rodzaj antyutleniacza	Zawartość, %		Metoda badań
	co najmniej	co najwyżej	
NN'-dwo-2-naftylo-p-fenyleneodwuamina	0,1	0,3	BS-2782 Metoda 405B
4,4'-tio-dwo-/6-III rz. butylo-m-krezol/	0,05	0,3	BS-2919/1968 Appendix B
dwo [2-hydroksy-5-metylo-3-/1-metylo-cykloheksylo/fenylo] metan	0,1	0,3	BS-2919/1968 Appendix C
2,6-dwo III rz. butylo-p-krezol	0,2	0,3	BS-2919/1968 Appendix D
1,1,3-trój-/5-III rz. butylo-4-hydroksy-2-metylofenylo/butan	-	0,3	BS-2919/1968 Appendix E

Obecnie wytwórcy produkują wiele gatunków polietylenu i w celu zorientowania odbiorców podają w swoich katalogach, oprócz własności polietylenów, również wskazówki, na jakie wyroby najlepiej nadają się produkowane przez nich gatunki. Jednakże wybór gatunku polietylenu tylko z danych katalogowych jest ryzykowny, ponieważ istnieją niekiedy tendencje do sprzedaży surowca bez względu na jego jakość, a ponadto istnieją duże rozbieżności między poglądami wytwórci i użytkowników kabli odnośnie stosowania poszczególnych gatunków polietylenu. I tak między innymi różnice poglądów mogą występować z tego powodu, iż powłoki kablowe stosowane przez różne firmy mogą różnić się konstrukcją, w związku z czym wymagania na polietylen przeznaczony do produkcji powłok typu PAP, PASP lub MP mogą różnić się od wymagań na polietylen przeznaczony do produkcji powłok z zaporą przeciwwilgociową przyklejoną do powłoki polietylenowej.

W związku z tym firma Bell System przeprowadziła badania dotyczące możliwości stosowania polietylenów o dużym i małym ciężarze właściwym na powłoki nałożone na ekrany stalowe, stwierdzając, że oba te rodzaje polietylenów nadają się do tego celu, choć firma ta stosuje obecnie do tego polietylen taki jak na inne wyroby, a mianowicie polietylen o małym ciężarze właściwym. Natomiast firma Rural Electrification Administration /REA/ - USA wymaga na powłoki zewnętrzne kabli ziemnych typu PAP, PASP oraz MP polietylen o dużym ciężarze właściwym, podczas gdy w Anglii na powłoki kablowe z metalową za-

porą przeciwwilgociową przyklejoną do powłoki stosuje się polietylen o małym ciężarze właściwym [10].

Ponieważ u nas w kraju nie mamy w tym zakresie własnych doświadczeń, a przewiduje się w kraju produkcję kabli również w powłokach polietylenowych z zaporami przeciwwilgociowymi przyklejonymi do polietylenowych powłok, postanowiono, aby obecnie na powłoki kabli stosować polietylen spełniający wymagania stawiane przez Administrację Pocztową Brytyjską [10]. Zgodnie z tymi wymaganiami na powłoki kablowe powinien być stosowany polietylen o dużym ciężarze cząsteczkowym i ciężarze właściwym od 0,916 do 0,924 G/cm³, a więc polietylen wysokociśnieniowy o wskaźniku płynięcia nie przekraczającym 0,3. Ponadto polietylen ten powinien mieć dodatek antyutleniacza i powinien być odporny na korozję naprężeniową, a gdy powłoka kabla jest narażona na działanie światła, polietylen musi zawierać dodatek równomiernie zdyspergowanej sadzy w ilości $2,5 \pm 0,5\%$ w stosunku wagowym. Metody badań tego gatunku polietylenu oraz powłok kablowych z niego wyprodukowanych zostały ustalone w wymaganiach opracowanych przez Instytut Łączności [11].

4. OCENA TRWAŁOŚCI KABLI Z POWŁOKĄ POLIETYLENOWĄ I ZAPORĄ PRZECIWWILGOCIOWĄ POD WZGLĘDEM PRZENIKANIA WILGOCI

Ponieważ u nas w kraju wykonano już prototypy kabli z żyłami izolowanymi papierem i w powłoce polietyleno-

wej z przyklejonymi do nich aluminiowymi zaporami przeciwwilgociowymi, interesujące jest oszacowanie czasu, w ciągu jakiego kable te można będzie eksploatować. Sprawa powyższa staje się przy tym coraz ważniejsza, ponieważ w najbliższej przyszłości ma być uruchomiona produkcja seryjna takich kabli.

Jak podano w rozdziale poprzednim, przez każdą powłokę z tworzywa termoplastycznego, mającą nawet zaporę przeciwwilgociową, przenika bowiem pewna ilość wilgoci, która, przedostając się do ośrodka kabla, powoduje pogorszenie oporności izolacji żył kablowych, wskutek czego po pewnym czasie kabel nie nadaje się do eksploatacji ze względu na pogorszenie parametrów torów /rys. 1/x/ [6]. Szybkość, z jaką pogarsza się w funkcji czasu oporność izolacji kabli zależy od ilości wilgoci przedostającej się przez powłokę kabla, ilości papieru w kablu, wilgotności względnej powietrza w kablu oraz wilgotności względnej otoczenia, w którym pracuje kabel, a drogę, którą przedostaje się wilgoć przedstawiają rys. 2-4.

Ilość wilgoci przenikającej przez powłokę kabla można obliczyć z niżej podanych zależności, przedstawionych na 15 Sympozjum przewodów i kabli w Atlantic City - USA w 1966 r. I tak strumień wilgoci przenikającej przez powłokę, w której zapora nie jest do niej przyklejona, można określić z następującego wzoru:

 x/ Rysunki są zamieszczone na końcu artykułu.

$$F_0 = \frac{\pi \cdot d}{S} /p_1 - p_2/ \quad /1/$$

w którym

F_0 - strumień wilgoci przenikającej przez powłokę w cm^3/s na jednostkę długości kabla,

P - stała przenikalności wilgoci tworzywa powłoki w cm^3/s przy różnicy ciśnień na powierzchniach powłoki, wynoszącej 1 mm Hg,

S - grubość powłoki w cm,

p_1 oraz p_2 - ciśnienia pary przenikającej przez powłokę, występujące na powierzchni zewnętrznej i wewnętrznej powłoki, wyrażone w mm Hg,

d - średnica powłoki w cm.

Wielkość strumienia substancji F_1 , przenikającej przez część powłoki z przyklejoną zaporą, lecz z nie sklejonym szwem jak na rys. 4a, można zaś określić ze wzoru:

$$F_1 = P \frac{\pi \lambda}{H(\lambda)} /p_1 - p_2/ \quad /2/$$

w którym $\lambda = \frac{L}{S}$, a L i S oznaczają wymiary podane na rys. 4a.

We wzorze tym

$$H / \lambda / = \int_0^a \frac{1}{z^3} \text{th } z \sin^2 \lambda z \, dz,$$

gdzie z jest zmienną niezależną, przy czym jeżeli $S \ll L$, to $H/\lambda/$ dąży do $\frac{\pi \lambda}{2}$, a wtedy

$$F_1 = \frac{P \cdot 2L \cdot /p_1 - p_2/}{S}, \quad /3/$$

wobec czego, jeżeli $2L = \pi d$, wzór /3/ staje się identyczny ze wzorem /1/.

Funkcję $H/\lambda/$ obliczono za pomocą elektronicznej maszyny cyfrowej i przedstawiono na rys. 5, z którego widać, że w zakresie $0,001 \leq \lambda \leq 0,05$ wartość funkcji $H/\lambda/ = 2,53 \lambda^{1,83}$.

Gdy szew na zakładkę jest sklejonny /rys. 4b/, strumień wilgoci przenikającej przez taki szew wynosi:

$$F_2 = P /p_1 - p_2/ \frac{2t}{l} \quad /4/$$

gdzie

$2t$ - grubość warstwy sklejującej szew, w cm,

l - szerokość zakładki, w cm.

Jeżeli do podanych wyżej wzorów wstawi się z kolei wartości występujące w praktyce, będzie można wtedy oszacować współczynnik zmniejszenia przenikalności pary wodnej, czyli stosunek ilości wilgoci, która przedostałaby się przez powłokę bez przyklejonej do niej zapory, do ilości wilgoci, która przedostanie się przez powłokę z przyklejoną do jej wewnętrznej powierzchni zapórą metalową. I tak przyjmując, że do powłoki jest przy-

klejona metalowa zapora, której zakładka na szwie nie jest sklejona, oraz że $S = 1 \div 2,5$ mm, $d = 1,3 \div 50$ mm i $2L = 0,025 \div 0,1$ mm, otrzymuje się, iż $\lambda = \frac{L}{S}$ zmienia się w granicach od 0,005 do 0,05, wobec czego H/λ będzie zmieniać się od 0,00015 do 0,015. Stąd można obliczyć, że F_0/F_1 zmienia się od 18 do 180 oraz że średnia wartość współczynnika zmniejszenia wynosi około 50.

Gdy natomiast zakładka szwu jest sklejona, ale powłoka kabla nie jest przyklejona do metalowej zapory, przyjmuje się, że $2t$ zmienia się w granicach od 0,025 mm do 0,1 mm, a l wynosi od 6,3 do 12,5 mm, otrzymuje się, że F_0/F_2 zmienia się w granicach od 2000 do 30000 oraz że średnia wartość współczynnika zmniejszenia wynosi około 8000. Jeżeli zaś polietylenowa powłoka jest wytłoczona na zaporę, która nie jest do niej przyklejona i nie ma zaklejonego szwu, ocenia się, że współczynnik zmniejszenia może w najlepszym przypadku osiągnąć wartość 2. Ponadto współczynnik ten może jeszcze bardziej ulec zmniejszeniu po manipulacjach kablem, zwłaszcza gdy zapora jest wykonana z cienkiej taśmy.

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że dobrze sklejona zakładka na szwie daje znacznie lepsze zabezpieczenie przed przenikaniem wilgoci niż zapora tylko przyklejona do powłoki kabla. Jeżeli jednak powłoka kabla nie jest przyklejona do zapory, a szew na całej długości jest należycie uszczelniony, wilgoć, która przedostaje się przez powłokę polietylenową, może wtedy wędrować pod nią i przy natrafieniu na niedostatecznie szczelne

miejsce w szwie dostać się do wnętrza kabla w znacznych ilościach. Tak więc najlepszym rozwiązaniem jest, gdy powłoka polietylenowa jest przyklejona do metalowej zapory i szew jest sklejony.

Do oceny czasu, w ciągu jakiego można eksploatować kable z żyłami izolowanymi papierem o powłokach z tworzyw sztucznych, nie wystarcza jednak znajomość tylko współczynnika zmniejszenia przenikania pary wodnej, ponieważ niezbędna jest jeszcze do tego znajomość współczynnika przenikalności pary wodnej przez materiał, z którego jest wykonana powłoka. W związku z tym wyniki pomiarów przenikalności pary wodnej przez polietylen, przeprowadzonych przed 1957 r., zostały zrekapitulowane przez Myersa i współpracowników [7], którzy wykazali, że między ocenami tego współczynnika występowały jednak różnice rzędu 100%, co było wynikiem różnic grubości badanych próbek, morfologii polietylenów /procentowej zawartości fazy krystalicznej/, przebiegu obróbki cieplnej próbek i temperatury pomiaru. Ponieważ większość tych badań dotyczyła ponadto folii, ich wyniki odzwierciedlały przenikalności wilgoci przez powłoki polietylenowe, których grubość dochodzi niejednokrotnie do 5 mm, i dlatego też w Anglii badania te powtórzono na powłokach kablowych, z których wyjęto ośrodek kabla.

Pomiary przenikalności pary wodnej przez powłoki bez metalowej zapory przeciwwilgociowej względnie z zaporą z taśmy nawiniętej spiralnie na ośrodek kabla przeprowadzono za pomocą zestawu, podanego schematycznie na

rys. 6, składającego się z 16 oddzielnych obwodów, przez które przepuszczano zawilgocone powietrze z powłoki kablowej zanurzonej w wodzie o temperaturze 15° . Powietrze zawilgocone przez parę wodną przedostającą się poprzez badaną powłokę kabla było przepuszczane przez osuszniaki, wykonane z rurek szklanych o kształcie litery U i napełnionych materiałem pochłaniającym wilgoć, a następnie wtlaczane ponownie pompką uszczelnioną rtęcią do badanej powłoki. W celu ustalenia ilości wilgoci przechodzącej przez powłokę ważono w określonych odstępach czasu umieszczony w osuszniakach materiał pochłaniający wilgoć, przy czym w czasie badania zawilgocenia materiału pochłaniającego wilgoć powietrze z badanej powłoki kabla było przepuszczane przez inne osuszniaki, wchodzące w skład zestawu pomiarowego.

Do przeprowadzenia badań przenikalności pary wodnej poprzez powłoki z zaporą przeciwwilgociową z taśmy metalowej nałożonej na ośrodek wzdłuż kabla i przyklejonej do wewnętrznej powierzchni polietylenowej powłoki, układ ten jednak nie nadawał się ze względu na za małą dokładność, z jaką można było określić niewielkie ilości pary dyfundującej przez ten typ powłoki. Dlatego też do badań tych użyto miernika opracowanego przez Keidela i następnie ulepszonego przez Stilla i Cluleya, mającego sondę składającą się z dwóch platynowych drucików nawiniętych spiralnie na rdzeń z teflonu równoległe do siebie w taki sposób, iż platynowe druciki, pokryte mieszaniną kwasu fosforowego z gliceryną, nie stykają się ze

sobą. Całość jest umieszczona w rurce szklanej, przez którą przepływa strumień badanego powietrza, w wyniku czego wilgoć zostaje zaabsorbowana przez kwas fosforowy, którym pokryty jest teflonowy rdzeń z nawiniętymi spiralami z drucików platynowych, a ponieważ między drutami przyłożone jest stałe napięcie, wilgoć pochłonięta przez kwas fosforowy ulega rozkładowi wskutek elektrolizy na tlen i wodór. Osuszone powietrze oraz powstałe w wyniku elektrolizy tlen i wodór są następnie kierowane, poprzez miernik natężenia strumienia gazu, do atmosfery.

Zawartość pary wodnej ustala się z prawa Faradaya i z pomiaru natężenia prądu elektrycznego niezbędnego do elektrolizy pary wodnej przepuszczanej wraz z powietrzem przez sondę, a dzięki temu, że napięcie przyłożone do elektrod jest stabilizowane, wskaźniki prądu są przecelowane w taki sposób, iż wskazują bezpośrednio w częściach wagowych zawartość wilgoci w strumieniu powietrza o określonym natężeniu. Przy badaniu przepuszczalności pary wodnej przez powłoki, wskazania miernika zawartości wilgoci ustalały się na ogół dopiero po upływie paru dni, po czym strumień powietrza, pobierany z butli, kierowano bezpośrednio - poprzez susznik - do sondy miernika i dalej przez miernik natężenia strumienia powietrza do atmosfery. Z różnicy odczytów zawartości wilgoci, otrzymanych z tych dwóch pomiarów, ustalano ilość pary wodnej przepuszczanej przez badaną powłokę kabla.

Wyniki przeprowadzonych pomiarów zestawiono w tabl. 6, w której zastosowano następujące oznaczenia: Pe - polietylen bez dodatku sadzy, Pe + S - polietylen z dodatkiem 2,5% sadzy, Kop - kopolimer etylenu, śrub. - zapora przeciwwilgociowa z taśmy aluminiowej nawiniętej śrubowo na ośrodek kabla i przyklejonej do wewnętrznej powierzchni powłoki, wzdl. - zapora z taśmy aluminiowej nałożonej wzdłużnie na ośrodek wzdłuż kabla i przyklejonej do powłoki, bez - powłoka bez zapory przeciwwilgociowej, 1 - metoda polegająca na przepuszczaniu gazu przez suszniki i określaniu wilgoci przepuszczonej przez powłokę z przyrostu ciężaru materiału osuszającego, 2 - metoda polegająca na pomiarze zawartości wilgoci za pomocą opisanego wyżej miernika. Z wyników tych i przeprowadzonych w okresach późniejszych, w których poziom produkcji kabli ustalił się, można stwierdzić, że współczynnik zmniejszenia przenikania pary wodnej przy zastosowaniu zapory przeciwwilgociowej z taśmy aluminiowej nawiniętej spiralnie na rdzeń kabla z nie sklejoną zakładką wynosi około 20, a współczynnik przy zaporze przeciwwilgociowej z taśmy ułożonej wzdłuż kabla od 80 do 100. Należy przy tym zwrócić uwagę, że przenikalność pary wodnej poprzez powłokę z zaporą przeciwwilgociową zależy w bardzo dużej mierze od dokładności, z jaką taśma aluminiowa została przyklejona do powłoki, gdyż nawet bardzo drobne usterki /patrz pomiary kabli 100- i 200-parowych/ jak zmarszczki taśmy lub niedokładne przyklejenie taśmy w pobliżu szwu, powodują duże pogorszenie wartości współczynnika zmniejszenia przenikania pary wodnej przez powłokę.

Przenikalność pary wodnej przez polietylenowe powłoki kablowe

Liczba par w kablu	Materiał powłoki	Rodzaj zapory	Średnica kabla	Grubość powłoki	Metoda badań	Temperatura kabla	Przenikalność wilgoci w ciągu tygodnia	Współczynnik przewodności pary wodnej przez powłokę	Zmniejszenie przewodności pary wodnej	Współczynnik zmiany szklenia	Uwagi
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
384	Fe+S	bez	57	3,5	1	15	1,305	1,04	-	-	-
384	Fe+S	grub.	-	-	1	15	0,0458	-	96,5	28	-
384	Fe	bez	57,3	3,7	1	15	1,252	1,082	-	-	-
384	Fe	grub.	57,1	3,92	1	15	0,0425	-	96,7	29	-
542	Fe	bez	68	3,48	1	15	1,172	0,95	-	-	-
542	Fe	grub.	69	3,94	1	15	0,0491	-	95,6	24	-
104	Fe	bez	32,5	2,92	1	15	0,760	1,33	-	-	-
104	Fe	grub.	32,5	2,900	2	14	0,0328	-	95,6	2,4	-
504	Fe	bez	62,5	3,22	1	15	1,403	0,98	-	-	-
504	Fe	grub.	62,2	3,12	1	17	0,0426	-	82,0	33	-
400	Fe	wzdł.	58,4	3,3	1 1 2	16	0,0088	-	99,3	142	-
96	Kop	wzdł.	31,4	2,54	1 1 2	16	0,0154	-	98,0	49	-
100	Fe	wzdł.	19,3	2,28	2	15	0,00458	-	94,0	17	Taśma nie przyklejała na brzożach
200	Fe	wzdł.	29,7	2,8	2	15	0,1705	-	84,0	6,3	-
100	Fe	wzdł.	30,3	2,54	2	15	0,0181	-	98,3	62	Stew z zamrzo-
100	Fe	wzdł.	28,7	1,83	2	15	0,0249	-	98,3	58	kami

Znając powyższy współczynnik, ilość wilgoci przenikającej przez powłokę kabla w ciągu określonego czasu, zawartość wilgoci w papierze izolującym żyły w wyprodukowanym kablu oraz zawartość wilgoci w papierze w końcu okresu eksploatacyjnego kabla, można bez trudu określić czas eksploatacji kabla, czyli ustalić jego trwałość. I tak zawartość wilgoci w papierze ośrodka dobrze wysuszonego kabla wynosi około 1%, a po nałożeniu powłoki, gdy kabel zostanie ochłodzony do temperatury pokojowej, od 1 do 2%, podczas gdy wilgotność względna powietrza w kablu wynosi od 2,5 do 3%, co odpowiada oporności izolacji żył od 30 do 100 tys. $M\Omega \cdot km$ /patrz wykres na rys. 1/. Jeżeli zaś założymy, że kabel będzie eksploatowany do czasu, aż oporność izolacji zmniejszy się do 1000 $M\Omega \cdot km$, to w końcu eksploatacji zawartość wilgoci w papierze izolacyjnym wyniesie 5%, a wilgotność względna powietrza w kablu będzie równa 4%.

Na maksymalny czas eksploatacji ma wpływ również stosunek masy papieru w kablu do powierzchni powłoki. Stosunek ten jest korzystniejszy w przypadku kabli o dużej liczbie par i w związku z tym trwałość tych kabli jest większa niż kabli o mniejszej liczbie par, przyjmując, że porównywane kable mają takie same średnice żył i są izolowane papierem o takiej samej grubości.

W celu zorientowania się o trwałości eksploatacyjnej kabli podano poniżej przykłady oszacowania trwałości dwóch typów kabli o powłokach polietylenowych bez zapory przeciwwilgociowej, przyjmując, że zawartość wilgoci

w izolacji papierowej wyprodukowanego kabla wynosi 1% oraz że zawartość wilgoci w izolacji papierowej w końcu okresu eksploatacyjnego nie może przekroczyć 5%, co odpowiada oporności izolacji 1000 M Ω ·km. Dane dotyczące ciężaru papieru w kablu przyjęto przy tym według I.C. Harrisona [5].

Przykład 1

104-parowy kabel bez zapory przeciwwilgociowej, z żyłami o średnicy 0,9 mm, izolowanymi papierem:

- ciężar papieru w kablu o długości 100 m = 24000 G,
- przyrost zawartości wilgoci w papierze w okresie eksploatacji kabla 5% - 1% = 4%,
- ciężar wody zaabsorbowanej przez papier w okresie eksploatacji 24000 G · 4% = 960 G,
- przenikalność wilgoci przez powłokę o grubości 2,5 mm odcinka kabla o długości 100 m, przyjmując, że przenikalność ta jest odwrotnie proporcjonalna do grubości powłoki /patrz tabl. 6/

$$0,760 \cdot \frac{2,92}{2,50} = 0,886 \text{ G/tydzień,}$$

- czas eksploatacji kabla

$$\frac{960}{52 \cdot 0,886} = 21 \text{ lat}$$

Przykład 2

542-parowy kabel bez zapory przeciwwilgociowej, z żyłami o średnicy 0,9 mm, izolowanymi papierem:

- zawartość wilgoci w papierze w wyprodukowanym kablu wynosi 3,5%, co odpowiada oporności izolacji 10 000 MΩ · km,
- zawartość wilgoci w papierze w końcowym okresie eksploatacji wynosi 5%, co odpowiada oporności izolacji 1000 MΩ · km,
- przyrost procentowy zawartości wilgoci w papierze w czasie eksploatacji 5% - 3,5% = 1,5%,
- ciężar papieru w kablu o długości 100 m = 125 000 G,
- ciężar wody zaabsorbowanej w czasie eksploatacji

$$125\ 000 \cdot 1,5\% = 1875\ \text{G}$$

- przenikalność wilgoci przez powłokę o grubości 2,5 mm odcinka kabla o długości 100 m /z tabl. 6/

$$1,172 \frac{3,84}{2,5} = 1,63\ \text{G/tydzień},$$

- czas eksploatacji kabla

$$\frac{1875}{52 \cdot 1,63} = 22\ \text{lata}$$

Z podanych przykładów widać, że trwałość kabli z powłokami wykonanymi tylko z tworzyw termoplastycznych /na przykład polietylenu/ jest za mała i aby zwiększyć ją, powłoki kabli muszą mieć zapory przeciwwilgociowe, ograniczające ilość wilgoci przenikającej przez powłokę kabla do jego ośrodka. Już zastosowanie zapory przeciwwilgociowej nawet z taśm metalowych nawiniętych spiralnie na ośrodek kabla i przyklejonych do wewnętrznej powierzchni powłoki zmniejsza bowiem 20-krotnie ilość wilgoci przenikającej przez powłokę i umożliwia osiągnięcie czasu eksploatacji możliwego do przyjęcia, choć zastosowanie takiego typu powłoki jest jednak niepożądane, ponieważ w powłoce z polietylenu powstają wtedy naprężenia i przy nieostrożnym obchodzeniu się z kablem mogą powstać pęknięcia powłoki.

Jeszcze lepsze wyniki, zarówno ze względu na wytrzymałość powłoki jak i ze względu na przenikalność wilgoci przez powłokę, można osiągnąć przez wykonanie zapory przeciwwilgociowej z taśmy metalowej nałożonej z zakładką wzdłuż osi kabla i przyklejonej do wewnętrznej powierzchni powłoki, ponieważ w tym przypadku można osiągnąć współczynnik zmniejszenia przenikania pary wodnej rzędu od 80 do 100, co znacznie przedłuża czas eksploatacji kabli ponad wymagany przez eksploatację. Gdy zaś zakładka na szwie ekranu jest sklejona, otrzymuje się współczynnik zmniejszenia przenikania pary wodnej od 2000 do 30 000, a jego średnią wartość rzędu 8000 przy starannym wykonaniu powłoki, co wprawdzie nie jest bez-

względnie konieczne w przypadku kabli pracujących w pasmie małych częstotliwości, lecz otwiera możliwości produkcji kabli zasilających z żyłami izolowanymi polietylenem piankowym, pracujących w pasmie nawet rzędu 200 MHz [8].

5. WYNIKI BADAŃ EKSPLOATACYJNYCH

Ponieważ w kraju ułożono do tej pory zaledwie kilka kilometrów kabli telekomunikacyjnych w powłokach polietylenowych z przyklejonymi do nich ekranami z taśm aluminiowych, nie można było zebrać dotąd - ze względu na krótki okres ich eksploatacji i niewielką ilość - danych o uszkodzeniach powłok i porównać częstość występowania uszkodzeń z częstością występowania uszkodzeń kabli o powłokach ołowianych. I tak dotychczas wystąpiło tylko jedno pęknięcie powłoki z polietylenu o wskaźniku płynięcia 2, nie odpornego na korozję naprężeniową, które powstało na łuku kabla w odległości około 1 m od złącza.

Z braku własnych doświadczeń trzeba więc podać wyniki badań przeprowadzonych w Anglii [4], według których kable o powłokach z tworzyw termoplastycznych, ułożone w kanalizacji i eksploatowane w warunkach podobnych do warunków, w jakich eksploatuje się kable o powłokach ołowianych, wykazują znacznie mniejszy współczynnik uszkodzeń. Współczynnik uszkodzeń kabli o powłokach ołowianych wynosi mianowicie 0,43 uszkodzenia na kilometr w

ciągu roku, a ten sam współczynnik dla kabli o powłokach polietylenowych wynosi tylko 0,16 uszkodzeń na kilometr w ciągu roku, przede wszystkim dzięki wyeliminowaniu uszkodzeń spowodowanych korozją naprężeniową i pękaniem powłok. Dlatego też właśnie powłoki polietylenowe z barierą przeciwwilgociową z taśmy aluminiowej przyklejonej do wewnętrznej powierzchni powłoki zastosowano w Anglii zarówno w kablach z żyłami izolowanymi papierem, jak i w kablach o większej liczbie par z żyłami izolowanymi polietylenem.

Tam gdzie kable niszczone są przez termyty i mrówki, zastosowano nałożenie na powłokę polietylenową cienkiej warstwy 0,75 mm poliamidu /nylonu/, która zabezpiecza całkowicie kable przed owadami. Stwierdzono również, że pokrycie wewnętrznej powłoki polietylenowej taśmą mosiężną o grubości 0,1 mm, na którą wytłoczono dodatkową warstwę polietylenową, także chroni powłokę wewnętrzną przed niszczeniem przez owady, lecz taki sposób zabezpieczenia kabla jest jednak za kosztowny.

Przeprowadzono poza tym próby nasycenia ziemi, w której kabel jest układany, różnymi środkami owadobójczymi, co zabezpiecza kabel na kilka lat. Prócz tego próbowano zabezpieczać kable przed owadami przez pokrycie powłok bitumem, które w niektórych przypadkach okazało się skuteczne, a w innych wręcz przeciwnie.

Stwierdzono również, że można w znacznym stopniu uniknąć uszkodzeń kabli przez gryzienie przez zakopanie na większych głębokościach kabli i ubicie dokoła kabla

ziemi w taki sposób, aby przylegała ona ściśle do powłoki kabla. Więcej informacji na temat zabezpieczenia kabli można znaleźć w różnych publikacjach oraz w tomie IX Księgi Białej CCITT, wydanej w 1969 r.

6. MONTAŻ KABLI O POWŁOKACH POLIETYLENOWYCH Z BARIERĄ PRZECIWWILGOCIOWĄ Z TAŚMY ALUMINIOWEJ

Dużym utrudnieniem przy wprowadzaniu do eksploatacji kabli o powłokach polietylenowych było łączenie powłok polietylenowych z osłonami złączy. W tym celu w różnych krajach opracowano rozmaite metody montażu kabli o takich powłokach, lecz żadna z nich nie jest tak łatwa, jak metoda stosowana przy montażu kabli o powłokach ołowianych.

Stosowane dawniej w Anglii metody montażu kabli o powłokach polietylenowych zostały opisane w kilku publikacjach krajowych [16] [17] [20].

Jedną z tych metod stosuje się obecnie u nas w kraju do montażu kabli o powłokach polietylenowych i z żyłami izolowanymi papierem, przy czym metoda ta polegająca na uszczelnianiu przestrzeni między powłoką kabla i osłoną złącza kitem o osnowie żywicy epoksydowej, została wprowadzona w budownictwie łączności przez Centralne Laboratorium Budownictwa Łączności [12]. Jednocześnie Centralne Laboratorium Budownictwa Łączności opracowało instrukcję wciągania kabli o powłokach polietylenowych do kana-

lizacji oraz instrukcję montażu głowic na tych kablach [12].

7. ZAKOŃCZENIE

Rozpatrując wymagania stawiane tworzywom sztucznym na powłoki kablowe, można stwierdzić, że pod niektórymi względami są one znacznie większe niż wymagania stawiane tworzywom sztucznym stosowanym na izolację żył. W przypadku tworzyw na powłoki mają przy tym mniej ze znaczenie ich własności elektryczne, a większe niektóre własności fizyczne i fizyko-chemiczne.

Z kolei można by zastanowić się, czy zastosowany na powłoki polietylen jest materiałem najodpowiedniejszym, ponieważ przy porównywaniu własności polietylenu o małym ciężarze właściwym z własnościami polwinitu nie widać wyraźnej korzyści osiągananej przez zastosowanie na powłoki polietylenu. I tak pod względem elastyczności i wytrzymałości na uderzenia przy niskich temperaturach polietylen przewyższa wprawdzie zwykły polwinit, lecz przez zastosowanie odpowiednich plastyfikatorów można uzyskać polwinit również zachowujący się doskonale przy niskich temperaturach. Także pod względem przenikalności wilgoci polietylen jest o rząd wielkości lepszy niż polwinit, ale żaden z tych materiałów nie może być stosowany na powłoki kabli z żyłami izolowanymi papierem bez dodatkowych zapór przeciwilgociowych.

Pod względem odporności na starzenie się materiału pod wpływem światła oba te materiały mają zadowalającą odporność, gdy są użyte na powłoki kabli układanych w ziemi lub w kanalizacji kablowej. Oba te materiały mogą być również stosowane na powłoki kabli narażonych na działanie światła po dodaniu do nich odpowiedniej ilości sadzy i oba odznaczają się także dostateczną odpornością na starzenie pod wpływem temperatury.

Pod względem odporności na pękanie spowodowane korozją naprężeniową do pewnego czasu polwinit miał wyraźną przewagę nad polietylenem, która jednak zniknęła po opracowaniu odpowiednich gatunków polietylenu. Z punktu widzenia pełzania polietylen ma zaś niewielką przewagę nad polwinitem, ale opinia ta jest oparta na za małej liczbie obserwacji, przeprowadzonych w Anglii na kablach ułożonych w kanalizacji.

Pod względem odporności na ścieranie polwinit bezwzględnie przewyższa dawniej stosowane polietyleny o dużym wskaźniku płynięcia i przewyższa również polietylen stosowany obecnie. Można by przy tym sądzić, bez zebrania większej ilości doświadczeń, że kable o powłokach z polwinitu bez trudu wciąga się do kanalizacji kablowej, ale jest nieprawdopodobne, aby pod tym względem polwinit dorównywał polietylenowi. Ponadto polietylen jest niewątpliwie bardziej odporny na działanie różnych czynników chemicznych oraz biologicznych.

Aż do chwili obecnej powłoki kablowe z polietylenu i polwinitu nie mogą być łączone z taką łatwością, jak są

łączone powłoki ołowiane, jakkolwiek trudność łączenia powłok kablowych z polietylenu została w znacznym stopniu usunięta dzięki opracowaniu metody uszczelniania złączy za pomocą kitu o osnowie z żywicy epoksydowej, nadającej się również do łączenia powłok z polwinitu, po zamianie taśmy metalowej pokrytej kopolimerem etylenu na taśmę metalową pokrytą polwinitem. Wprawdzie ta ostatnia taśma metalowa może ulec łatwiej uszkodzeniu wskutek przegrzania jej w czasie montażu złącza, ale za to powłoki z polwinitu można łączyć również za pomocą klejów.

Jeżeli wziąć pod uwagę podane wyżej argumenty, nie ulega wątpliwości, że dawniej polietylen musiał być uznany za materiał bardziej odpowiedni na powłoki niż polwinit, przy czym decyzja zastosowania polietylenu na powłoki kablowe, powzięta w 1950 r., była uwarunkowana głównie tym, że atrakcyjne właściwości polietylenu nie zależały od dodawania innych składników jak w przypadku polwinitu, a ponadto w tym czasie wskutek niewłaściwych dodatków własności polwinitu były nieodpowiednie, co w znacznym stopniu poderwało zaufanie do tego materiału. Prócz tego w tym okresie zaczęto stosować na większą skalę kable z żyłami izolowanymi polietylenem, a zastosowanie powłok polietylenowych umożliwiło uzyskanie dłuższego okresu eksploatacji takich kabli.

Decyzja zastosowania polietylenu na powłoki kabli z żyłami izolowanymi papierem została ostatecznie podjęta w Anglii z chwilą wynalezienia przez P.W. Glovera, pra-

cownika British Post Office, i opracowania wraz z Hooperem z United Telephone Cables Ltd. w 1958 r. powłok kablowych z polietylenu z przyklejoną do nich barierą przeciwwilgociową z aluminiowej taśmy pokrytej polietylenem, stosowanej na opakowania materiałów wodochłonnych. Gdyby jednak w tym okresie na rynku pojawiła się najpierw taśma pokryta polwinitem, to nie wiadomo, czy nie zostałaby wówczas podjęta decyzja produkcji kabli o powłokach z polwinitu, zwłaszcza że w tym czasie pojawiły się na rynku gatunki polwinitu dorównujące pod względem własności polietylenowi.

Obecnie decyzja stosowania polietylenu na powłoki kabli jest uzasadniona w dużej mierze tym, że użytkownicy kabli, którzy od wielu lat stosują kable o powłokach polietylenowych, mają sieć z tych kabli silnie rozbudowaną, a z punktu widzenia eksploatacji i montażu nie jest korzystne, aby w sieci istniały kable o powłokach z różnych materiałów. Ponadto obecnie ceny polietylenu obniżyły się i są tego samego rzędu co ceny polwinitu, uwzględniając różnice ich ciężaru właściwego.

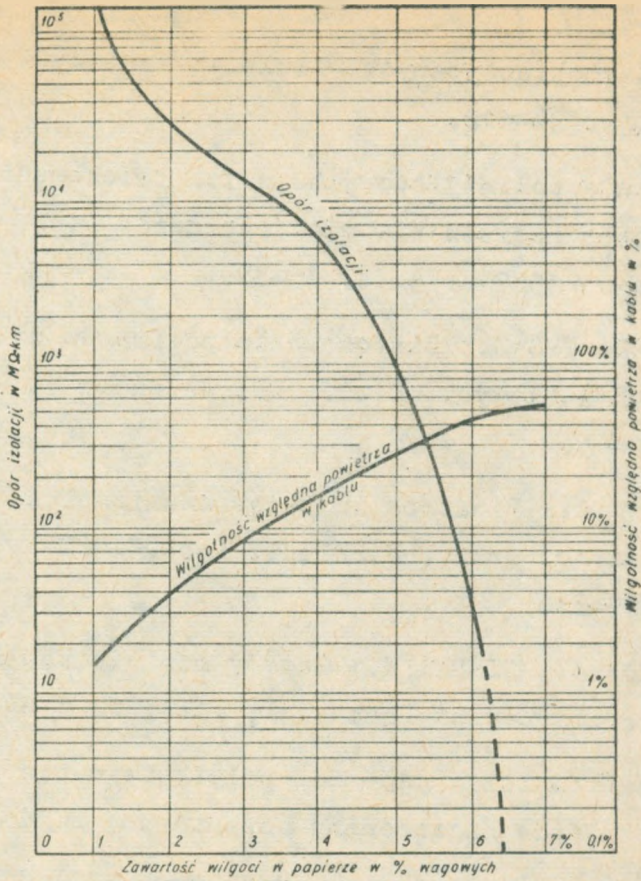
W wielu krajach polwinit jest stosowany natomiast na powłoki kabli napowietrznych ze względu na jego większą odporność na ścieranie, a ponadto jest on stosowany również na powłoki kabli układanych w budynkach, ponieważ polietylen jest materiałem palnym, podczas gdy polwinit, po dodaniu odpowiednich składników, jest materiałem nie podtrzymującym palenia.

WYKAZ LITERATURY

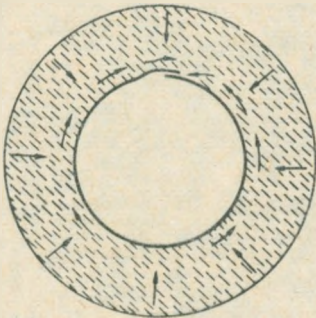
1. HORN F.W.: Use of plastics in telecommunication cables in the United States. Trans. J. Plast. Inst. 1967 t. 35 nr 120, s. 815-821.
2. CCITT. Enveloppes de câbles en matière plastique conductrice. Livre blanc 1969 t. 9, Question 3/VI, Annexe 5.
3. WARGOTZ B.: Preparation and evaluation of conductive polyethylenes. Trans. J. Plast. Inst. 1967 t. 35 nr 120, s. 783-791.
4. WALTERS I.R., WARD W.C.: Service requirements and fault incidence in the field. Part 2. Historical and field experience. Trans. J. Plast. Inst. 1967 t. 35 nr 119, s. 725-728.
5. HARRISON I.C.: Service requirements and fault incidence in the field. Part 3. Materials aspects. Trans. J. Plast. Inst. 1967 t. 35 nr 119, s. 727-743.
6. PUCHALSKI T.: Ochrona telekomunikacyjnych linii kablowych przed oddziaływaniem elektryczności atmosferycznej oraz linii elektroenergetycznych i elektrofrakcyjnych prądu stałego. Centralny Ośrodek Badań i Rozwoju Techniki Kolejnictwa, Warszawa 1960.
7. Specification MT 134 for polythene cable sheaths. Post Office Engineering Department, London 1967, June.

8. ŻOŁĄTKOWSKI L.: Rozwój konstrukcji powłoki kabli telekomunikacyjnych. Kablarz 1968 nr 3, s. 46.
9. BOJARSKI J., LINDEMAN J.: Polietylen. Warszawa WNT, 1963.
10. Specification for polythene for cable sheaths M 1322. Post Office Engineering Department, London 1966.
11. Wymagania techniczno-eksploatacyjne na wyposażone w aluminiową zaporę przeciwwilgociową polietylenowe powłoki kabli telekomunikacyjnych. Instytut Łączności, Warszawa 1970.
12. Instrukcja montażu telefonicznych kabli miejscowych o izolacji papierowo-powietrznej i powłoce polietylenowej z zaporą przeciwwilgociową /XTKM/. Zjednoczenie Budownictwa Łączności, Warszawa 1970.
13. CCITT. Renseignements fournis à la Commission d'études VI pendant la période d'études 1964-1968. Livre blanc 1969 t. 9, Question 4/VI, Annexe 6.
14. COGSWELL F.N., LAMB P.: The mechanism of melt distortion. Trans. J. Plast. Inst. 1967 t. 35 nr 120, s. 823-830.
15. CLARK F.M.: Insulating materials for design and engineering practice. Wiley, New York.
16. DMOWSKI E., PAKOCA K., ŻOŁĄTKOWSKI L.: Złącza kabli telekomunikacyjnych o izolacji i powłoce z materia-

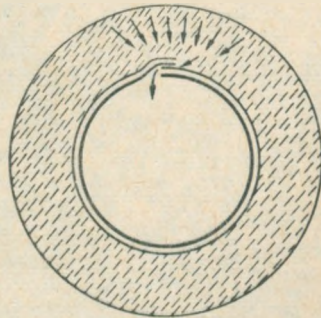
- łów termoplastycznych. Biuletyn kablowy 1964 t. 8 nr 4, s. 94-112.
17. Łączenie polietylenowych powłok telekomunikacyjnych sposobem nagrzewania elektrycznego. Biul. ZBŁ 1967, Warszawa 1967 nr 4, s. 35-38.
 18. GRYGOŁAYTYS S.: Zastosowanie polimerów do łączenia powłok kablowych. Biul. ZBŁ, Warszawa 1969 nr 2, s. 40-45.
 19. WARD W.C.: Plastics in telecommunication. cables-jointing. Trans. J. Plast. Inst. 1967 t. 35 nr 167, s. 825-830.
 20. SZPEJN J., SIKORA W.: Metody montażu kabli plastikowych. Instytut Łączności, Warszawa 1969.
 21. Specification MT 134 for polythene cable sheaths. Post Office Engineering Department, London 1967, June.



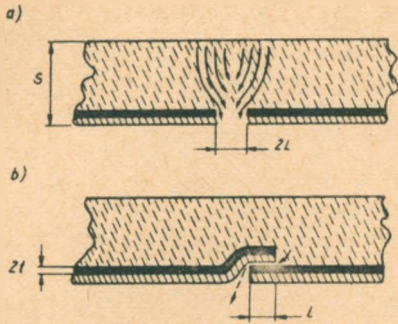
Rys. 1. Zależność oporu izolacji od wilgotności izolacji i wilgotności względnej powietrza w 125-parowym kablu o średnicy żył 0,5 mm, przy temperaturze 17°



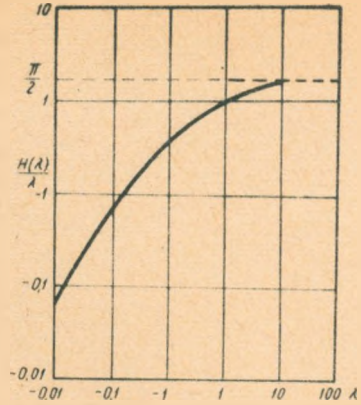
Rys. 2. Przenikanie wilgoci przez powłokę z ekranem nie przyklejonym do powłoki



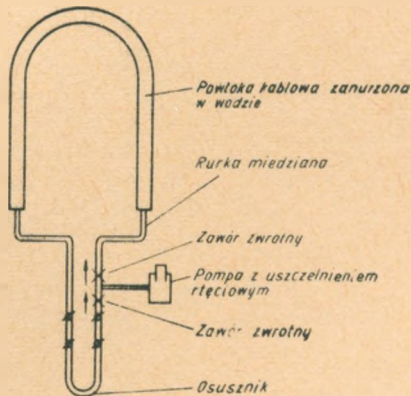
Rys. 3. Przenikanie wilgoci przez powłokę z ekranem przyklejonym do powłoki



Rys. 4. Droga przenikania wilgoci przez szew nie skleiony /a/ i skleiony /b/



Rys. 5. Wykres funkcji $\frac{H(\lambda)}{\lambda}$



Rys. 6. Schemat zestawu do pomiaru przenikalności pary wodnej przez powłoki bez zapory przeciwwilgociowej

