

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
WARSZAWA-MIEDZESZYN

INSTITUT
Instytut Łączności
Nr _____
PROBLEMY

ŁĄCZNOŚCI

144

1976

MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI

ROK 16

WARSZAWA 1976

NR 144

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

Branżowy Ośrodek
Informacji Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej

Redakcja Problemów Łączności

Redaktor Naczelny - dr inż. Krystyn Plewko

Redaktorzy działów:

mgr inż. Władysław Cetner, doc. 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

Redaktor: J. Borkowska

Montaż tekstu: B. Drabik

Dział Wydawniczy Instytutu Łączności
Format B5. Nakład 668. Wpłynęło do
Działu Wydawniczego 29.10.1975 r.
Druk ukończono w lutym 1976 r.

PROBLEMY ŁĄCZNOŚCI

Krzysztof Wcisły

KIERUNKI ROZWOJU SYSTEMÓW TELETRANSMISYJNYCH

SPIS TREŚCI

	Str.
1. Wstęp	1
2. Kierunki rozwoju telekomunikacji w wybranych krajach	10
2.1. Wprowadzenie	10
2.2. Francja [14]	12
2.3. Szwajcaria [15]	16
2.4. Stany Zjednoczone	19
2.5. Republika Federalna Niemiec [21]	23
2.6. Szwecja	26
2.7. Wielka Brytania	27
2.8. Włochy [31]	38
3. Porównanie analogowych i cyfrowych systemów teletransmisyjnych	43
3.1. Zagadnienia ogólne	43
3.2. Teletransmisja cyfrowa na mikrofalowych liniach radiowych [28], [33]	48
3.3. Teletransmisja cyfrowa na kablach	51
4. Środki teletransmisyjne w przyszłości	61
4.1. Falowody	61
4.2. Światłowody	65
Wykaz literatury	67

KIERUNKI ROZWOJU SYSTEMÓW TELETRANSMISYJNYCH

1. WSTĘP

Formułowaniem obiektywnych praw rządzących zachodzącymi w procesie produkcji i podziału zjawiskami społecznymi zajmuje się w ogólnej postaci ekonomia polityczna, zaś w postaci szczegółowej - ekonomiki branżowe.

Jedną z ekonomik branżowych jest ekonomika telekomunikacji, której przedmiotem jest badanie zarówno roli telekomunikacji w gospodarce narodowej, jak i prawidłowości rządzących jej rozwojem. Brak badań w tej dziedzinie prowadzić może do niedocentowania i degradacji roli telekomunikacji w gospodarce narodowej oraz, w rezultacie, do relatywnego niedorozwoju tego działu łączności. Z kolei, z zapóźnienia w rozwoju telekomunikacji w stosunku do poziomu rozwoju społeczno-gospodarczego kraju, mogą wynikać bezwzględne i względne straty dla gospodarki kraju.

Straty bezwzględne powstają w rezultacie marnotrawstwa środków ludzkich i rzeczowych, spowodowanego brakiem sieci telekomunikacyjnej lub jej wadliwym funkcjonowaniem. Według obliczeń przeprowadzonych w latach sześćdziesiątych w Związku Radzieckim, na uzyskanie połączeń i dojście abonentów do aparatów telefonicznych traciło się tam setki tysięcy roboczogodzin w ciągu doby. Podwojenie gęstości telefonicznej /liczby aparatów telefonicznych na 100

mieszkańców/ doprowadziłoby do zmniejszenia podanych wyżej strat mniej więcej czterokrotnie. Przykładem strat bezwzględnych wynikających z nie rozwoju telekomunikacji mogą być także straty spowodowane opóźnieniem zawiadomienia o awarii, klęsce żywiołowej, braku surowców do produkcji itp.

Mianem strat względnych można określić utratę relatywnych korzyści, które można by osiągnąć, gdyby sieć telekomunikacyjna funkcjonowała prawidłowo. Dowodem wyjątkowego znaczenia telekomunikacji w procesie wzrostu gospodarczego są wyniki badań przeprowadzonych w Związku Radzieckim, które wykazały, że w Stanach Zjednoczonych w okresie 1947-1964 produkcja rolna wzrosła o 41,8%; w tym samym czasie zużycie usług łączności przez rolnictwo zwiększyło się 79 razy, a energii elektrycznej - 5,5 raza, natomiast wykorzystanie środków transportu zmniejszyło się o 12,5%. Amerykańskie hutnictwo żelaza zwiększyło swoją produkcję w latach 1947-1964 2 razy, podczas gdy zużycie przez nie usług łączności wzrosło 5,5 raza, a transportu 2,2 raza [1].

Ostatnie lata były okresem niezwykle szybkiego postępu technicznego w dziedzinie telekomunikacji. Powstała łączność satelitarna. Powszechne zastosowanie znalazła radiokomunikacja ruchoma. Wprowadzana jest automatyzacja łączności telefonicznej w relacjach międzymiastowych i międzynarodowych. Do celów telekomunikacji wykorzystywane są coraz to nowe, wyższe zakresy częstotliwości. Analiza programów prac naukowo-badawczych z dziedziny telekomunikacji, uwieńczonych już pewnymi sukcesami, prowadzi do wniosku, że również w bliższej i dalszej przyszłości spodziewać się należy kontynuacji rewolucji naukowo-technicznej w tej dziedzinie. Chodzi tu m.in. o radiodyfuzję satelitarną, upow-

szechnienie falowodów i światłowodów, masowe stosowanie central elektronicznych i techniki cyfrowej, komputeryzację telekomunikacji, wreszcie - zastosowanie wielu nowych końcowych urządzeń abonenckich. Te urządzenia i systemy, umożliwiające m.in. realizację telefonicznych i telewizyjnych połączeń konferencyjnych, skrócone wybieranie, przerzucanie połączeń, automatyczne kierowanie wywołań, wykorzystanie banków informacji i komputerów do rozwiązywania na bieżąco zadawanych programów, przyczyniać się będą do coraz powszechniejszego ich wykorzystania zarówno w celu usprawnienia działalności gospodarczej, jak i do celów rozrywki i wypoczynku.

Telekomunikacja stanowi obecnie istotny czynnik dynamizujący lub, w przypadku niedorozwoju, hamujący tempo wzrostu gospodarczego. Można stwierdzić, iż była ona dotychczas w Polsce wykorzystywana w niedostatecznym stopniu w celu intensyfikacji wzrostu gospodarczego. Tymczasem tempo rozwoju telekomunikacji w wielu krajach rozwiniętych gospodarczo jest szybsze niż w Polsce, mimo znacznie wyższego poziomu wyjściowego w tych krajach, co prowadzi do wzrostu zapóźnienia naszego kraju w tej dziedzinie. Wyrażając nadzieję, iż rozwój telekomunikacji w Polsce zostanie zdynamiczowany, podkreślić należy konieczność jak najbardziej efektywnego wydatkowania nakładów na ten cel, czemu służyć powinny m.in. prace z dziedziny ekonomiki telekomunikacji.

Planując systemy telekomunikacyjne można w dzisiejszych czasach dokonywać wyboru spośród różnych urządzeń i technik. Jednakże każde urządzenie i każda technika charakteryzuje się pewnymi określonymi cechami użytkowymi, które, w zależności od potrzeb, mogą być bardziej lub mniej pożądane. Oznacza to, iż optymalne bę-

dzie to rozwiązanie, tzn. wybór tej techniki lub tego urządzenia, które w największym stopniu realizuje założony cel z określonego punktu widzenia. W praktyce bowiem ze wzrostem cech dodatnich związany jest zazwyczaj wzrost cech niepożądanych /np. poprawa parametrów technicznych pociąga za sobą wzrost kosztów/. Wówczas należy kierować się zasadą, która mówi, iż za najbardziej efektywny należy uznać ten wariant, który przy danych nakładach zapewnia największy efekt lub który przy żądanych efektach realizowany jest za pośrednictwem najmniejszych nakładów [2].

Cele mogą być narzucone /sztywne/ oraz ustalane podczas wyboru /elastyczne/. Planujący system telekomunikacyjny nie ma wpływu na cele narzucone - są one dla niego ograniczeniami, które musi uwzględnić w swoim postępowaniu. Cele ustalone podczas planowania mają zgoła inny charakter - są one określane właśnie przez projektującego system i wyrażają jego preferencje.

Jeśli wymagania odbiorcy bądź zleceniodawcy systemu teletransmisyjnego mogą być zrealizowane za pomocą różnych rozwiązań technicznych, to głównym czynnikiem, za pomocą którego dokonuje się wyboru jednego z nich, powinna być analiza ekonomiczna.

W większości opracowań zachodnich analizę ekonomiczną utożsamia się z porównaniem kosztów realizacji substytucyjnych rozwiązań lub z wielkością możliwego do osiągnięcia zysku [3], [4], [5], [6]. W jednym z opracowań radzieckich [2] podkreśla się natomiast, że efektywność nowej lub udoskonalonej techniki przesyłania informacji określa się drogą porównania ogólnonarodowego efektu, osiągniętego w rezultacie jej zastosowania, z nakładami niezbędnymi dla wprowadzenia i eksploatacji tej techniki. Efekt rozumiany jest tutaj bardzo szeroko i oznacza dowolny pożądany wy-

nik zastosowania nowej techniki. Efektem mogą więc być zarówno nakłady inwestycyjne zaoszczędzone w wyniku zastosowania tańszej choć spełniającej te same wymagania techniki, jak i polepszone warunki pracy. Pojęcie efektu może również odnosić się do polepszenia technicznych charakterystyk systemów łączności /odporności na zakłócenia, niezawodności aparatury i in./, a także do przedsięwzięć mających na celu wzrost bezpieczeństwa pracy.

Szczególnie istotną rolę w procesie rozwoju telekomunikacji odgrywa planowanie. Proces opracowywania planu powinien odbywać się dwutorowo poprzez budowę planu operatywnego oraz planu perspektywicznego. Plan operatywny, który jest zbiorem wzajemnie uzgodnionych decyzji dotyczących działania gospodarczego, ma ograniczony horyzont czasowy. Plan perspektywiczny ma znacznie dłuższy horyzont czasowy. W jego ramach dokonuje się z jednej strony przewidywań dotyczących ogólnego kierunku rozwoju procesów niezależnych, mających wpływ na określoną dziedzinę działalności gospodarczej, z drugiej zaś strony plan perspektywiczny wyraża wybrany program rozwoju tej dziedziny w przyszłości.

Planowanie perspektywiczne w dziedzinie telekomunikacji ma szczególnie istotne znaczenie i musi być powiązane z wszechstronnym poznaniem przyszłych potrzeb gospodarki narodowej i ludności w dziedzinie środków i usług łączności. Po ustaleniu czynników, które będą wpływać na wzrost zapotrzebowania na usługi łączności, należy opracować na ich podstawie naukowo uzasadnione normy zapotrzebowania na środki i usługi telekomunikacji w długim okresie czasu, zróżnicowane według usług i środków łączności, rodzajów zapotrzebowania, rejonów kraju i okresów planowych [8].

Jak podkreślają źródła radzieckie [8], obecna praktyka planowania nie uwzględnia w zadowalającym stopniu perspektywicznych potrzeb społecznych na środki i usługi sektora telekomunikacji. Planowanie nie sprzyja, jak dotąd, przyspieszonemu rozwojowi łączności, w rezultacie czego dystans pomiędzy popytem na usługi tej dziedziny gospodarki narodowej a podażą zmniejsza się bardzo powoli, a w różnych dziedzinach i grupach łączności nawet się powiększa.

Znaczenie planowania perspektywicznego w dziedzinie telekomunikacji wypływa między innymi z faktu, iż programy rozwoju telekomunikacji realizowane są w ciągu dziesiątków lat, w związku z czym muszą opierać się na stałych, niezmiennych podstawach, gdyż ciągłe zmiany uniemożliwiają osiągnięcie maksymalnych efektów. W Wielkiej Brytanii podkreśla się nawet, że ujemny wpływ na rozwój telekomunikacji wywierają zmiany parlamentu i rządu. Wybrani przywódcy kraju realizują bowiem w czasie swej kadencji własną koncepcję rozwoju łączności, gdy tymczasem rozwój ten przebiega harmonijnie w ciągu długiego, a nie kilkuletniego okresu czasu [9].

Duże znaczenie w procesie planowania rozwoju telekomunikacji zajmują prognozy. Opracowywanie prognoz jest ważnym środkiem pozwalającym na określenie możliwych wariantów rozwoju łączności oraz jej działów w przyszłości i dokonanie naukowo uzasadnionego wyboru. Źródła radzieckie podkreślają konieczność powiązania długoterminowych planów rozwoju telekomunikacji z planami pięcioletnimi oraz powiązania planów z dziedziny łączności z planami rozwoju innych dziedzin [8]. Aktualnie Ministerstwo Łączności

ZSRR opracowuje plan długoterminowy rozwoju telekomunikacji na 15 lat /1976-1990/.

W literaturze podkreśla się, iż w dziedzinie telekomunikacji zawsze do planowania przywiązywano większą wagę niż w większości innych dziedzin. Według jednego ze źródeł brytyjskich [10] plany w dziedzinie telekomunikacji dzieli się następująco:

- | | |
|--------------------------------|-------------------------|
| - plan operacyjny | - horyzont - 2 lata |
| - plan inwestycyjny | - horyzont - 5 lat |
| - plan rozwoju telekomunikacji | - horyzont - 10 lat |
| - studia perspektywiczne | - horyzont - ok. 30 lat |

Jeszcze dłuższy horyzont czasowy mają plany rozwoju telekomunikacji opracowywane w Australii. Plan dotyczący tylko telefonii - the Community Telephone Plan 1960 - obejmuje okres do 2010 roku, natomiast plan dotyczący innych niż telefonia służb telekomunikacyjnych - the National Telecommunications Plan - będzie obejmował okres do roku 2020 [11]. Wydaje się, iż nawet tak długi horyzont czasowy jest uzasadniony. Wielodekadowy plan rozwoju telekomunikacji nie tylko ułatwia podejmowanie bieżących decyzji inwestycyjnych, ale także umożliwia dostatecznie wczesną rozbudowę aparatu produkcyjnego, który produkować będzie urządzenia niezbędne dla rozwoju łączności w przyszłym okresie. Jednocześnie dzięki istnieniu wieloletniego planu można uniknąć nieskoordynowanego rozwoju sieci telekomunikacyjnej, łatwiej jest doprowadzić do standaryzacji urządzeń i do wdrażania postępu technicznego.

Jeśliby przyjąć tezę, iż rozwój telekomunikacji w różnych krajach jest taki sam /funkcje opisujące podstawowe zależności są takie same/ tylko przesunięty w czasie, można by to zjawisko wyko-

rzystać do celów prognostycznych. Zwłaszcza w krajach o zbliżonym poziomie rozwoju sił wytwórczych można zaobserwować, iż podstawowe kierunki rozwoju telekomunikacji, na przykład wprowadzanie nowych systemów lub technik teletransmisyjnych, realizowane są w większości tych krajów choć w niejednakowym okresie. W związku z powyższym wydaje się, iż celowe będzie zapoznanie się z prognozami rozwoju systemów teletransmisyjnych w kilku wybranych krajach o wysokim poziomie rozwoju łączności. Stąd też celem niniejszej pracy jest przedstawienie wyników badań prowadzonych za granicą, dotyczących pewnego wycinka ekonomiki telekomunikacji, określanego mianem ekonomiki systemów teletransmisyjnych. Szczególnie wyeksponowane zostały ekonomiczne aspekty teletransmisji cyfrowej. Należy jednak pamiętać o tym, iż w żadnym przypadku nie należy przenosić automatycznie na grunt krajowy szczegółowych wyników badań prowadzonych w innych krajach, jeśli posługiwano się w nich kosztami. Użyteczne jest natomiast dokładne zapoznanie się z wykorzystanymi metodami badawczymi, a także z ogólnymi wynikami badań, dotyczącymi tendencji rozwojowych i relacji pomiędzy badanymi wartościami, chociaż i w tych przypadkach należy do studiowanych materiałów podchodzić w sposób krytyczny.

Materiał przedstawiony w niniejszym opracowaniu zgrupowany został w trzech rozdziałach. Przedmiotem pierwszego rozdziału jest przegląd podstawowych tendencji w zakresie rozwoju i wykorzystania środków teletransmisyjnych w wybranych krajach. Wychodząc z założenia, że realizowane i planowane przez administracje łączności zmiany w strukturze systemów i technik teletransmisyjnych w narodowych sieciach telekomunikacyjnych poprzedzone

zostały studiami techniczno-ekonomicznymi alternatywnych rozwiązań niejako pośrednio stwierdzić można, które techniki i systemy są obecnie najbardziej efektywne. Jak już podkreślono, szczególny nacisk położony został na ocenę efektywności systemów cyfrowych. Najpełniejszy wyraz znalazło to w kolejnym rozdziale, poświęconym ekonomicznym aspektom transmisji analogowej i cyfrowej oraz perspektywom wykorzystania obu tych technik w przyszłości. W ostatnim rozdziale przedstawione zostały materiały dotyczące techniczno-ekonomicznych zagadnień związanych z zastosowaniem falowodów i światłowodów.

Materiały zgrupowane w poszczególnych częściach pracy nie wyczerpują z pewnością zagadnień sformułowanych w tytułach i ze swej istoty są fragmentaryczne. Zakres poszczególnych rozdziałów uzależniony został od dostępności literatury na dany temat i dlatego nie wyczerpują one tematyki omawianego zagadnienia, a raczej relacjonują częściowo usystematyzowany zbiór publikacji poświęconych omawianemu zagadnieniu.

Zapoznając się z niniejszym opracowaniem należy pamiętać o tym, że ma ono charakter ekonomiczny oraz że posługiwano się niejednolitymi, pod względem terminologii, materiałami źródłowymi.

Autor chciałby także wyrazić podziękowanie za życzliwą pomoc w zrozumieniu niektórych zagadnień technicznych doc. mgr inż. Adamowi Moniuszce, adj. mgr inż. Jerzemu Szpejnowi, adj. mgr inż. Edwardowi Dumani i adj. inż. Władysławowi Sikorze, zaznaczając jednocześnie, iż jakiegokolwiek niedociągnięcia w niniejszej pracy obciążają wyłącznie autora.

2. KIERUNKI ROZWOJU TELEKOMUNIKACJI W WYBRANYCH KRAJACH

2.1. Wprowadzenie

Ostatnio pojawia się coraz więcej opracowań poświęconych kierunkom rozwoju telekomunikacji w przyszłości [12], [13]. Oczywiście największą wartość mają nie futurologiczne wizje skomputeryzowanej przyszłości, lecz opracowania oparte na solidnych rozważaniach naukowych. Z tych ostatnich na szczególną uwagę zasługują opracowania, w których wnioski oparto na analizie kierunków prac naukowo-badawczych aktualnie prowadzonych. Opracowanie nowej techniki lub systemu z dziedziny telekomunikacji trwa wiele lat, podjęcie przemysłowej produkcji i wprowadzenie nowego rozwiązania do eksploatacji również zajmuje znaczny okres czasu, a przy tym odbywa się zazwyczaj stopniowo. Idea łączności satelitarnej powstała w połowie lat czterdziestych^{1/}, zrealizowana zaś została dopiero w latach sześćdziesiątych. Od wielu już lat mówi się o łączności na falach świetlnych, ale realizacja tej koncepcji nie nastąpi najprawdopodobniej w bieżącej dekadzie.

Zapoznając się jednak z programami badań realizowanymi w różnych krajach, z planami perspektywicznymi rozwoju łączności opracowywanymi przez administracje najwyższej rozwiniętych państw świata, a tym bardziej z kierunkami zmian struktury produkcyjnej, zachodzącymi lub planowanymi w przemyśle wytwarzającym środki

^{1/} Twórcą idei łączności za pomocą sztucznych satelitów ziemi jest Arthur C. Clarke. Swoją koncepcję przedstawił on w opublikowanym w 1945 roku artykule pt. "Extra-terrestrial Relays".

łączności, można określić z dużym prawdopodobieństwem trendy rozwoju łączności na wiele lat naprzód. Nie oznacza to oczywiście, że nauce nie są znane ślepe uliczki, że prognozy nie bywają błędne, albo że wszystkie wybudowane fabryki znajdują zbyt dla swoich wyrobów, jednak są to raczej dość rzadkie przypadki, a poza tym z całą pewnością taniej kosztuje błąd popełniony przez innych.

Najwięcej kontrowersji, zwłaszcza jeśli chodzi o problem efektywności i terminu ewentualnego wprowadzenia do eksploatacji, powstaje wokół następujących rozwiązań z dziedziny telekomunikacji:

- radiodyfuzji satelitarnej,
- komutacji elektronicznej,
- transmisji danych,
- transmisji cyfrowej w torach radiowych i kablowych,
- wykorzystania falowodów i światłowodów,
- wielu nowych końcowych urządzeń abonenckich.

Centralnym zagadnieniem we wszystkich przypadkach nie jest udzielenie odpowiedzi na pytanie, czy któraś z powyższych idei zostanie w ogóle urzeczywistniona, ale kiedy jej realizacja będzie ekonomicznie uzasadniona, czyli po prostu: kiedy będzie się opłacać. Zbyt wczesne zastosowanie nowej techniki prowadziłoby do strat wynikających z zaangażowania zbyt dużych nakładów na jej rozwój w stosunku do potrzeb /np. gdyby ktoś zaproponował masowe wprowadzenie w Polsce w ciągu kilku najbliższych lat wideotelefonów/. Również ze stratami, często bardzo groźnymi, bo mającymi ogólnospołeczny charakter, połączone jest zbyt późne wprowadzenie nowej techniki co uniemożliwia niekiedy obniżkę kosztów jednostkowych /np. brak szerokopasmowych środków teletransmi-

syjnych/ lub odbija się niekorzystnie na konsumentach usług łączności /np. brak automatyzacji telefonicznego ruchu międzymiastowego/.

Dość trudno byłoby przeprowadzić analizę efektywności zastosowania określonej techniki w warunkach polskich. Można jednak wykorzystać rezultaty takich analiz wykonanych za granicą. Zakładając, że decyzje dotyczące rozwoju telekomunikacji podejmowane są tam w oparciu o rachunek ekonomiczny, wystarczy zapoznać się z realizowanymi w innych krajach programami w dziedzinie łączności.

2.2. Francja [14]

We Francji wykorzystywane są zarówno analogowe jak i cyfrowe systemy teletransmisyjne.

Jeśli chodzi o systemy analogowe, to są aktualnie produkowane i wykorzystywane w sieci francuskiej systemy teletransmisyjne umożliwiające uzyskanie do 2700 kanałów telefonicznych /12 MHz/ w kablu i 1800 kanałów telefonicznych w linii radiowej. Dwa systemy o większej krotności są opracowywane. Pierwszy z nich to system kablowy o pasmie 60 MHz, który miał być wypróbowany w terenie w 1974 roku, wprowadzony zaś do eksploatacji w 1976 roku. Drugim systemem jest dysponujący 2700 kanałami telefonicznymi system radiowy, pracujący w zakresie 6425-7125 MHz. Próby tego systemu przewidziane są na rok 1975, a produkcja od 1976 roku.

Dużo uwagi poświęca się we Francji systemom do transmisji cyfrowej, których rozwój odbywa się w sposób planowy. W kraju tym jest jednocześnie rozwijana produkcja nowoczesnego sprzętu tele-

transmisyjnego przeznaczonego dla systemów cyfrowych o modulacji impulsowo-kodowej /PCM/. W tablicach 1 i 2 zestawiono istniejące bądź znajdujące się w trakcie opracowywania cyfrowe systemy teletransmisyjne. W tablicy 1 podane są główne parametry systemów kablowych, a w tablicy 2 - systemów radiowych.

Spośród systemów teletransmisyjnych kablowych na uwagę zasługuje system TN-2, który ma być wprowadzony do eksploatacji w 1976 roku. Będzie on wytwarzany za pomocą nowoczesnej techniki przy niższych kosztach. System TN-2 o krotności 120, po próbach w obrębie Paryża i na prowincji, będzie wprowadzany we wszystkich sieciach miejscowych^{x/}. Systemy o przepływnościach binarnych 26 Mbit/s i 52 Mbit/s są opracowywane jako systemy regionalne o długości kilkudziesięciu kilometrów. Mają one pełnić rolę systemów przejściowych - do czasu wprowadzenia systemu o przepływności 140 Mbit/s.

Przechodząc do omówienia teletransmisyjnych systemów radiowych, należy zwrócić uwagę na fakt występującego w sieci francuskiej zatłoczenia w pasmie 2 GHz. W związku z tym, aktualnie wykorzystywane w sieciach miejscowych systemy FHD 22 i FHD 28, o przepływności 2 i 8 Mbit/s, uzupełnione zostaną nowym systemem FLD 15 pracującym w zakresie 15 GHz. System 2x19 Mbit/s używany jest w liniach specjalnych do transmisji danych, a także w pewnych przypadkach w sieciach regionalnych, w których zastąpiony będzie systemem FH 664 N o podwyższonej przepływności /52 Mbit/s/. W zakresie 13 GHz opracowywany jest system o nazwie "Pharaon urban" dla sieci miejskich, zwłaszcza o układzie gwiazdowym, w których centrala węzłowa znajdująca się w centrum jest połączona

^{x/} Wg artykułu [14]: "for local links".

Parametry istniejących i opracowywanych francuskich kablowych cyfrowych systemów teletransmisyjnych

Nazwa systemu	TN-1	TN-2	26 Mbit/s	52 Mbit/s	140 Mbit/s
Przeplwywność binarna / w Mbit/s	2,048	8,448	25,8735	51,747	prawdopodobnie 103,264
Liczba kanałów telefonicznych w torze	30	120	360	720	1920
Środek transmi- syjny	zwyczajny kabel o torach symetrycz- nych	specjalny ka- bel o torach symetrycz- nych	para współ- osiowa 1,2/4,4 mm	para współ- osiowa 1,2/4,4 mm	para współosiowa 1,2/4,4 mm lub 2,6/9,5 mm
Odległość pomię- dzy wzmacniaka- mi. Długość odcinków regeneratorowych	zależy od typu kabla; ogólnie - wartość nominalna: 1,8 km, lecz ze znacznym zakresem automa- tycznej korekcji re- gulacji wzmacności	4 km ± 400 m	3 km ± 100 m /tak samo jak w systemie 6 MHz/	2 km ± 50 m /tak samo jak w systemie 12 MHz/	2 km w kablu 1,2/4,4 mm i około 4,5 km w kablu 2,6/9,5 mm
Data wprowadze- nia do eksploata- cji	pierwsza generacja: 1971 druga generacja: 1976	1976 / próby polowe: 1974/	1975 /próby polowe: 1974/	1975 /próby polowe: 1974/	1977 /próby polowe: 1975/

Źródło: [13]

T a b l i c a 2

Parametry istniejących i opracowywanych francuskich radiowych cyfrowych systemów teletransmisyjnych

Nazwa systemu	FHD 22	FHD 28	2x19 Mbit/s	FH 664 N	Pharaon urban	FLD 15
Częstotliwość nośna	2,1-2,3 GHz	2,1-2,3 GHz	7,425-7,725 GHz	7,425-7,725 GHz	12,75-13,25 GHz	14,4-14,5 oraz 15,25-15,35 GHz
Przepływność binarna i liczba kanałów w torze	2 Mbit/s / 30 kanałów telef. /	8 Mbit/s / 120 kanałów telef. /	38 Mbit/s / 540 kanałów telef. /	52 Mbit/s / 720 kanałów telef. /	52 Mbit/s / 720 kanałów telef. /	2 lub 8 Mbit/s / 30 lub 120 kanałów telef. /
Maksymalna liczba torów w pojedynczej linii	6	6	3	3	6	8
Odległość między stacjami regeneracyjnymi / w km/	30 lub 50	50	50	50	25	20 do 30
Modulacja	amplitudy ON-OFF	4-fazowa	4-fazowa	4-fazowa	4-fazowa	2-fazowa
Data wprowadzenia do eksploatacji	w użyciu	w użyciu	w użyciu	1976 / próby polowe: 1975/	1976 / próby polowe: 1975/	1975 / próby polowe: 1974/

Źródło: [13]

z wieloma centralami tranzytowymi na przedmieściach. Przepływność tego systemu, podobnie jak systemu FH 664 N, ma wynosić 52 Mbit/s, co umożliwi jednoczesną realizację w jednym torze 720 kanałów telefonicznych. Ponieważ linia radiowa pracująca w systemie "Pharaon urban" może być wyposażona w 6 torów, a na każdym z nich można uzyskać 720 kanałów telefonicznych, przeto maksymalna pojemność takiej linii wyniesie ponad 4 tysiące kanałów telefonicznych.

Porównując dane z tablicy 1 i tablicy 2 z podanymi wcześniej danymi dotyczącymi transmisji analogowej, odnieść można wrażenie, że transmisja cyfrowa będzie stosowana we Francji w zasadzie w sieciach miejscowych lub regionalnych do przesyłania niezbyt dużych strumieni informacji. Tak jednak nie jest. Dla celów dalekosiężnej transmisji cyfrowej planuje się wykorzystanie w sieci francuskiej systemów falowodowych, które doprowadzić mają do obniżki kosztów linii teletransmisyjnych o dużej krotności. System, który ma być wprowadzony do eksploatacji około 1980 roku, umożliwi jednoczesną realizację około 140000 międzymiastowych rozmów telefonicznych.

We Francji zostało także zaproponowane wykorzystanie do transmisji sygnałów w zakresie do 60 MHz kabli współosiowych z parami o zwiększonych średnicach, tj. 3,7/13,5 mm w celu zachowania dotychczasowego odcinka wzmacniakowego o długości 2 km [41].

2.3. Szwajcaria [15]

W sieci szwajcarskiej ze względów ekonomicznych wykorzystywane są aktualnie następujące systemy teletransmisyjne, w zależności od długości linii:

- telefonia naturalna na kablach symetrycznych	0 ... 10 km
- 30-krotne systemy PCM	10 ... 30 km
- analogowe systemy nośne z odstępem kanałowym 6 kHz ,	30 ... 50 km
- analogowe systemy nośne z odstępem kanałowym 4 kHz	50 ... 700 km

Systemy PCM z 30+2 kanałami są używane w coraz większym stopniu w liniach międzycentralowych. Jednak, jeśli nie ma specjalnych zabezpieczeń, systemy cyfrowe powodują zakłócenia w muzycznych programach radiofonicznych dostarczanych przewodowymi łączami radiofonicznymi z central miejscowych do odbiorców za pomocą łączy abonenckich.

W Szwajcarii prowadzone są prace w związku z planem budowy sieci cyfrowej PCM, która umożliwi zintegrowanie różnych usług, jak np. telefonii i transmisji danych. Celem długofalowym jest stopniowe zastąpienie obecnej sieci telefonicznej przez zintegrowaną sieć cyfrową. Pierwszą fazą rozwoju jest model systemu, którego uruchomienie planowane jest na rok 1975.

Podkreśla się zalety całkowicie zintegrowanej cyfrowej sieci telekomunikacyjnej. Sieć taka pozwala przede wszystkim na osiągnięcie korzyści ekonomicznych; poza tym zapewnia np. lepszą jakość transmisji mowy, umożliwia realizację komutowanych łączy transmisji danych o prędkości 64 kbit/s.

W Szwajcarii szeroko rozpowszechniona jest dzisiaj transmisja danych poprzez komutowaną sieć telefoniczną, w 1980 roku oczekiwana jest liczba 10000 abonentów w tej służbie. W tym samym roku 50% danych transmitowanych będzie z prędkością 200 bit/s, 35% z

prędkością 2400 bit/s, 12% z prędkością 9600 bit/s i zaledwie 3% z największą prędkością 48000 bit/s.

Pierwsza na małą skalę sieć PCM, która będzie przenosiła niezbędne strumienie bitów danych pomiędzy głównymi miastami zostanie zbudowana w najbliższej przyszłości. Będzie ona także wykorzystywana do transmisji rozmów telefonicznych, jeśli znajdzie to uzasadnienie ekonomiczne. Ze względów ekonomicznych preferowana jest integracja służb. Przeprowadzono analizę ekonomiczną takiej sieci, przeznaczonej do transmisji danych przy wykorzystaniu istniejących kabli symetrycznych o wiązkach dwuparowych DM. Wykazały one, że dla przepływności binarnej ponad 2,4 kbit/s, koszt wprowadzenia 30-kanalowego systemu PCM stanowi obecnie zaledwie 1/3 kosztu systemu nośnego. System PCM jest także opłacalny dla telefonii. W związku z tym budowa sieci zostanie zapoczątkowana głównie dla telefonii, a dopiero w okresie późniejszym sieć ta przejmie transmisję danych.

Poniżej omówione jeszcze zostaną pokrótce przewidywane kierunki zmian w wykorzystaniu poszczególnych środków teletransmisyjnych w sieci szwajcarskiej.

W sieci dalekosiężnej nie przewiduje się budowy nowych kabli symetrycznych dla małej częstotliwości. Istniejące kable tego typu będą jednak wykorzystywane dla pierwszych systemów cyfrowych wprowadzanych do sieci. Nie przewiduje się również budowy nowych symetrycznych kabli nośnych. Kable współosiowe 2,6/9,5 mm będą budowane w niektórych przypadkach do transmisji systemów 12- i 60 MHz. Dość intensywnie mają być wprowadzane do eksploatacji kable współosiowe 1,2/4,4 mm: przewiduje się, że co roku będzie układanych ok. 100 km nowych kabli tego typu /z dziesięcio-

ma parami współosiowymi/ dla systemów 6 i 12 MHz. W dziedzinie linii radiowych, za pomocą których realizowanych jest aktualnie w Szwajcarii ok. 20% łączy dalekosiężnych, przewiduje się budowę co roku do dwóch nowych systemów, realizujących 2700 kanałów każdy.

W dziedzinie kabli międzycentralowych przewidywane są nowe kable symetryczne małej częstotliwości o wiązkach gwiazdowych; planuje się również uruchamianie co roku ośmiu 30-kanałowych systemów PCM na istniejących kablach symetrycznych oraz trzech systemów nośnych C 6.

Studiowany będzie także nowy mikrowymiarowy kabel współosiowy /0,65/2,8 mm/ o izolacji z polietylenu piankowego.

2.4. Stany Zjednoczone

Pokazanie głównych kierunków rozwoju systemów teletransmisyjnych w Stanach Zjednoczonych, a tym bardziej kierunków prac naukowo-badawczych i rozwojowych jest niezwykle trudne. Wynika to z faktu, że w USA, odmiennie niż w Europie, rozwój sieci telekomunikacyjnej realizowany jest przez szereg, nierzadko konkurujących ze sobą, towarzystw.

W związku z powyższym zostaną przedstawione dwa nowe systemy teletransmisyjne, które powstały w ramach jednej tylko firmy, lecz o światowej renomie - The Bell System. Systemami tymi są: opracowywany aktualnie cyfrowy radiowy system teletransmisyjny oraz kablowy analogowy system teletransmisyjny.

Nowy system radiowy, nad którym prowadzone są prace w Bell Laboratories [16], ma wchodzić w skład rozrastającej się cyfrowej

sieci telekomunikacyjnej. Przepływność binarna wynosi 274 Mbit/s i jest tak dobrana, aby możliwe było łączenie nowo opracowywanego systemu teletransmisyjnego z również znajdującymi się w fazie przygotowań: kablowym systemem cyfrowym T4 i systemem falowdowym. System radiowy będzie pracować w zakresie 18 GHz i umożliwi jednoczesną transmisję do 28224 rozmów telefonicznych. System ten jest systemem średniego zasięgu i obsługiwać ma główne arterie telekomunikacyjne obszarów silnie zurbanizowanych. Rozpoczęcie jego handlowej eksploatacji planowane jest na początek 1976 roku.

Drugim z prezentowanych systemów jest kablowy nośny system teletransmisyjny L5 [17]. Jest to system szerokopasmowy, oparty na elementach półprzewodnikowych, umożliwiający uzyskanie 10800 kanałów telefonicznych w normalnowymiarowym kablu współosiowym typu 2,6/9,5 mm. Alternatywnie, w wybranych grupach trzeciego stopnia mogą być z dużą prędkością transmitowane sygnały cyfrowe.

Warto, na przykładzie nośnych kablowych systemów teletransmisyjnych, które powstały w Bell Laboratories, prześledzić ich rozwój oraz dostrzec współzależność, jaka występuje pomiędzy nieustanną poprawą parametrów technicznych kolejnych generacji tych systemów i efektywnością ekonomiczną. W tablicy 3 zestawiono niektóre dane charakteryzujące cztery systemy typu "L". Szczególnie istotne są dane dotyczące liczby kanałów telefonicznych przypadających na pary współosiowe w poszczególnych systemach, a także liczb par współosiowych i całkowitych liczb kanałów uzyskiwanych w kablu. Niestety brak jest danych dotyczących kosztów jednostkowych tych kabli, np. kosztów inwestycyjnych na jedną milę. Wszystkie te o wysokiej jakości i dużej krotkości dalekosiężne systemy te-

letransmisyjne oparte są na torach współosiowych o wymiarach 2,6/9,5 mm. Jak to wynika z tablicy 3, w ciągu 33 lat krotność systemu współosiowego zwiększyła się 22,5 raza z 480 do 10800 kanałów i przesądzony jest jej dalszy wzrost. Blisko sześciokrotnie powiększyła się też liczba par umieszczanych we wspólnej powłoce kablowej, co przyniosło w rezultacie olbrzymi wzrost liczby rozmów telefonicznych, które można jednocześnie transmitować za pośrednictwem pojedynczego kabla.

Według źródeł amerykańskich [18] główną część kosztów systemu współosiowego stanowią koszty tzw. "zewnętrzne": kabel, jego ułożenie, prawo korzystania z drogi oraz budynki, włączając w to naziemne i podziemne konstrukcje, stanowiące obudowę wzmacniaków. Po poniesieniu tej przeważającej części kosztów, bardzo opłacalne z ekonomicznego punktu widzenia staje się opracowanie takich urządzeń, elektronicznych systemu, które zapewniłyby maksymalne wykorzystanie kabla. Wprowadzane więc były kolejne generacje wzmacniaków, nowe koncepcje i bardziej doskonałe technologie, co, wraz ze skróceniem odcinków pomiędzy wzmacniakami, umożliwiło nieustanne zwiększanie krotności systemu. Zwiększenie ilości możliwych do jednoczesnej transmisji rozmów telefonicznych na parze współosiowej prowadziło z kolei do obniżki kosztów przypadających na jeden milokanał. Dalsze obniżki kosztów były możliwe dzięki wykorzystaniu kabli z większą ilością jednostek współosiowych w jednej obudowie.

W Stanach Zjednoczonych prowadzone są dalsze prace [16], mające na celu zwiększenie krotności linii teletransmisyjnych, m.in. poprzez zastosowanie systemów falowodowych umożliwiających jednoczesną transmisję ćwierć miliona rozmów telefonicznych. Dąże-

T a b l i c a 3

Ewolucja współosiowych nośnych systemów teletransmisyjnych /Bell System/

Nazwa systemu	Rok wprowadzenia do eksploatacji	Krotność / w liczbie kanałów telefonicznych/		Typowych jednostek współosiowych w jednej obudowie /rur/	Przybliżona odległość pomiędzy wzmacniakami /w milach/
		na 2 pary współosiowe	na kabel ^{1/}		
L 1	1941	720 ^{2/}	720	4	8
L 3	1953	1860	2160	8	4
			5580	9300	
L 4	1967	3600	32400	20	2
L 5	1974	10800 ^{3/}	108000	22	1

Źródło: [18]

1/ Dwie pary współosiowe zarezerwowane na wypadek awarii.

2/ Początkowo 480 kanałów na 2 pary współosiowe, lecz obecnie szeroko wykorzystywany dla 600 kanałów.

3/ Prowadzone są prace mające na celu zwiększenie krotności systemu L 5 do 13200 kanałów telefonicznych na 2 pary współosiowe lub 132000 na 22-parowy kabel.

nie do zwiększenia krotności linii teletransmisyjnych spowodowane jest z jednej strony dążeniem do obniżki kosztów jednostkowych, a z drugiej - nieustannym przyrostem trafiku. Trafik telefoniczny w liniach dalekosiężnych Bell System wzrasta w tempie ok. 12% rocznie, a tempo wzrostu transmisji danych jest nawet jeszcze szybsze.

Można odnieść wrażenie, że preferowanym typem transmisji w Stanach Zjednoczonych jest transmisja cyfrowa [19], a nawet zarysowuje się tendencja do nastawiania się na budowę całkowicie cyfrowej sieci telekomunikacyjnej. Jak podkreślają źródła brytyjskie [20], w USA opracowana została centrala elektroniczna przeznaczona do instalacji w dalekosiężnej sieci międzymiastowej. Zastąpienie wszystkich międzymiastowych central telefonicznych typu "crossbar" centralami elektronicznymi planowane jest przed końcem wieku.

Wprowadzając cyfrowe systemy teletransmisyjne, Stany Zjednoczone A.Pn. dążą do integracji techniki teletransmisyjnej i telekomutacyjnej, co rozwiązuje zagadnienie opłacalności wprowadzania elektronicznych central telefonicznych, oraz do integracji różnych służb telekomunikacyjnych.

2.5. Republika Federalna Niemiec [21]

W Republice Federalnej Niemiec, podobnie jak i w większości innych krajów, wykorzystywane są obecnie systemy teletransmisyjne radiowe jak i kablowe oraz stosowana jest transmisja cyfrowa i analogowa.

Na niższych stopniach sieci jest stosowany aktualnie system teletransmisyjny cyfrowy z modulacją impulsowo-kodową - PCM-30. System ten pracuje z przepływnością 2,048 Mbit/s. W 1975 roku oczekiwany jest system drugiego rzędu zwielokrotnienia, tj. $1/4 \times 2,048$ w system PCM-120, pracujący z przepływnością 8,448 Mbit/s. Dla tego systemu opracowany został nowy kabel symetryczny, który będzie także wykorzystywany przez następny w hierarchii sy-

stem PCM 480. Rozstawienie wzmacniaków wynosi w tym kablu 4 km w przypadku systemu PCM-120 i około 2 km dla systemu PCM-480. Prowadzone są także badania nad wykorzystaniem istniejących kabli symetrycznych i współosiowych do celów transmisji cyfrowej ze średnią i dużą przepływnością. Ze względów technicznych i ekonomicznych dzisiejsze pary symetryczne i współosiowe nie są dogodne do transmisji strumieni informacji z przepływnością 8 Mbit/s i 34 Mbit/s. Aktualnie znajduje się w produkcji 80-parowy kabel przeznaczony do transmisji cyfrowej. Składa się on z ośmiu pęczków, z których każdy ma po pięć czwórek gwiazdowych. Kabel ten umożliwi uzyskanie 12000 cyfrowych kanałów telefonicznych dla obu kierunków transmisji. Planowane są dalsze typy kabli z 20 i 40 parami oraz, jeśli to będzie możliwe, z odgalezianiem kanałów PCM.

Jeśli chodzi o teletransmisję nośną, prowadzone są w RFN prace nad systemem o pasmie do 60 MHz. Przeznaczony on jest, jak wiadomo, do uzyskania 10800 kanałów telefonicznych lub odpowiadającej im liczby kanałów wideofonicznych na dwóch parach współosiowych. Pierwsze systemy tego typu wprowadzone zostaną prawdopodobnie do eksploatacji przez Deutsche Bundespost w 1975 roku.

W 1971 roku został zaprojektowany dalekosiężny kabel Kx Fk 32c, posiadający 12 par współosiowych o wymiarach 2,6/9,5 mm i umożliwiający uzyskanie 64800 kanałów telefonicznych. Kabel ten wykorzystywany jest początkowo przy odległości między wzmacniakami wynoszącej 4,65 km, przez system nośny V 2700 o szerokości pasma do 12 MHz. System ten może być zamieniony na system nośny V 10800 /w którym odległość pomiędzy wzmacniakami wynosić będzie 1,55 km/, co umożliwi znaczne zwiększenie przepustowości

głównych arterii dalekosiężnych i przybliżenie jej do dolnej granicy przepustowości systemów falowodowych. Zakłada się instalację co roku ok. 500 km dalekosiężnego kabla szerokopasmowego Kx Fk 32c. Prowadzone są też prace nad falowodami, chociaż Deutsche Bundespost nie jest jeszcze ostatecznie przekonana o ekonomicznej opłacalności ich wykorzystania.

Całkowita długość linii radiowych w Republice Federalnej Niemiec wynosiła w 1974 r. ok. 78500 km. Z liczby tej ok. 45190 km przypadało na telefoniczne systemy nośne i ok. 33310 km na systemy telewizyjne. W sieciach regionalnych i dalekosiężnych wykorzystywane są urządzenia do jednoczesnej transmisji 12, 120, 300, 900 /960/ lub 1800 rozmów telefonicznych. W najbliższych latach planuje się wprowadzenie nowych urządzeń do teletransmisji radiowej w pasmie 6 GHz i 11 GHz odpowiednio dla 2700 oraz 1800 kanałów telefonicznych /lub jednego kanału telewizyjnego/.

Planuje się także wykorzystanie jeszcze wyższych zakresów częstotliwości z myślą o transmisji cyfrowej. W niedalekiej przyszłości zapoczątkowane zostaną eksperymentalne transmisje cyfrowe z przepływnością 8,488 Mbit/s, co umożliwi realizację 120 kanałów telefonicznych. Trochę później będzie realizowanych 480 kanałów telefonicznych przy przepływności ok. 34 Mbit/s. Rozważa się również wykorzystanie zakresu 20 GHz do transmisji bardzo szerokiego pasma. Podkreśla się, że jeden kanał linii radiowej, przy przepływności binarnej wynoszącej ok. 500 Mbit/s, stworzyłby możliwość uzyskania ponad 7500 kanałów telefonicznych.

Warto także dodać, że transmisja danych, wprowadzona w sieci telefonicznej RFN w 1975 roku, ostatnio rozwija się bardzo

szybko. Według danych z 1974 roku do publicznej sieci komutowanej było przyłączonych 5700 modemów, a stopa wzrostu w 1972 roku wynosiła 60%.

2.6. Szwecją

Szybki rozwój w dziedzinie systemów teletransmisyjnych widoczny jest w Szwecji. W 1972 roku Szwedzka Administracja Telekomunikacji wprowadziła do eksploatacji, bodajże jako pierwsza na świecie, nowy system nośny umożliwiający uzyskanie 10800 kanałów telefonicznych [22]. Transmisja realizowana jest za pośrednictwem dwóch par współosiowych z górną granicą częstotliwości ok. 60 MHz. Kabel ułożony został na długości 90 km. Jego wykorzystanie znacznie zwiększyło przepustowość szwedzkiej sieci telekomunikacyjnej, lecz podkreśla się, iż wprowadzenie tego kabla nie zamknie nieustannie postępującego procesu wzrostu krotności kablowych linii teletransmisyjnych. Już obecnie studiuje się systemy analogowe o szerokości pasma ok. 200 MHz.

Alternatywnym rozwiązaniem, jeśli chodzi o zwiększenie krotności powyżej krotności systemu 60 MHz, jest wprowadzenie szerokopasmowych systemów cyfrowych. Aktualnie prowadzone są w Szwecji prace nad takimi systemami. Przypuszcza się, że w przyszłości będą istniały systemy cyfrowe o wielkiej krotności na kablach współosiowych.

Warto przy okazji nadmienić, iż w szwedzkiej firmie Ericsson studiuje się transmisję cyfrową za pomocą modulacji impulsowo-amplitudowej PAM, /w odróżnieniu od powszechnie stosowanej modulacji impulsowo-kodowej PCM/[23]. Dowodzi się ponadto [24], [25],

że system hybrydowy, w którym wykorzystywane byłyby wzmacniaki cyfrowe i analogowe, jest bardziej atrakcyjny pod względem ekonomicznym od "czystego" systemu cyfrowego^{1/}.

2.7. Wielka Brytania

Wielka Brytania jest krajem, w którym do transmisji cyfrowej przywiązuje się szczególnie dużą wagę. Zdając sobie sprawę z tego, że przyszłość należy do transmisji cyfrowej, a nawet - do zintegrowanej cyfrowej sieci telekomunikacyjnej, Anglicy z wrodzoną systematycznością i konsekwencją przystąpili do jej realizacji.

Wszystko zaczęło się właściwie w 1967 roku, kiedy to powołana została Grupa Specjalna do spraw sieci międzymiastowej Zjednoczonego Królestwa /UKTTF/, opracowująca plany rozwoju tej sieci od 1975 roku do końca wieku [20]. UKTTF wydała szereg zaleceń. Jednym z podstawowych było zalecenie wprowadzenia jako długofalowego celu działania, całkowicie cyfrowej transmisji i komutacji od central miejscowych do central końcowych międzymiastowej sieci telefonicznej. Drugim było zalecenie opracowania tak szybko, jak to tylko będzie możliwe, cyfrowych systemów teletransmisyjnych o dużej krotności i wprowadzania ich do sieci w sposób planowy tak szybko, jak tylko odpowiednie systemy z technicznego i ekonomicznego punktu widzenia będą pożądane. UKTTF postulowała także, aby do cyfrowych urządzeń telekomutacyjnych mogły być przyłączane zarówno cyfrowe, jak i analogowe /FDM/ systemy liniowe.

^{1/} Kwestia ta będzie jeszcze omawiana w następnym rozdziale.

Cyfrowa transmisja sygnałów mowy wykorzystywana jest przez Post Office już od 1968 roku, kiedy to zostały wprowadzone pierwsze 24-kanalowe systemy teletransmisyjne o modulacji impulsowo-kodowej /PCM/. Przy wykorzystaniu tych systemów realizowane są łącza międzycentralowe i międzymiastowe na odległość od ok. 16 do ok. 40 km, za pośrednictwem istniejących kabli akustycznych. Dla systemów cyfrowych z szeregu par zostały usunięte cewki pu-pinizacyjne i zastąpione regeneratorami cyfrowymi pracującymi z przepływnością 1,536 Mbit/s. Tego rodzaju zwielokrotnienie linii umożliwia uzyskanie dodatkowych kanałów, które można otrzymać w sposób bardziej ekonomiczny na te odległości w porównaniu z alternatywą układania nowych kabli akustycznych [26]. Co roku kupowanych jest około 1000 systemów.

Jasne jest, że w długim okresie będzie miał miejsce trend ku ogólnemu wykorzystaniu cyfrowej transmisji i komutacji i to nie tylko w Wielkiej Brytanii, ale i w innych krajach. Podstawowy format strumienia cyfrowego, w który pierwotne urządzenia wielokrotne przemieniają analogowe sygnały mowy i towarzyszących informacji sygnalizacyjnych, musi więc być taki sam bez względu na miejsce zastosowania. W wielu opracowaniach angielskich [2], [26], [9], [27] podkreśla się bardzo silnie znaczenie standaryzacji formatów strumieni cyfrowych - w blisko- i dalekosiężnych naroc... ych oraz międzynarodowych systemach teletransmisyjnych oraz w systemach telekomutacyjnych - w tym celu, aby rozwój sieci cyfrowej przebiegał w sposób systematyczny, harmonijny i przy możliwie niskich kosztach. A właśnie standaryzacja urządzeń umożliwia ich produkcję w długich seriach i dzięki temu obniża koszty jednostkowe. Standaryzacja urządzeń ułatwia też eksploatację i prowadzi do

spadku jej kosztów, gdyż nie trzeba wykorzystywać wielu różnorodnych przyrządów kontrolno-pomiarowych, a także gromadzić dużego zapasu zróżnicowanych części zamiennych lub długo czekać na ich nadejście. Jednocześnie liczebność i koszty szkolenia personelu obsługującego mniej typów urządzeń mogą być niższe. Standaryzacja w skali międzynarodowej umożliwia specjalizację i produkcję na eksport, a więc jeszcze dalej posuniętą obniżkę kosztów, a zarazem wyższą jakość wytwarzanych urządzeń i szybsze wprowadzenie postępu technicznego.

Studia prowadzone przez CEPT^{1/} i CCITT^{2/}, w których Wielka Brytania brała aktywny udział, zakończyły się wyznaczeniem systemu PCM 30/32 jako grupy pierwotnej systemu PCM [26]. Podstawowym cyfrowym modułem, przyjętym także przez Post Office, zarówno dla teletransmisji jak i dla telekomutacji jest ok. 2 Mbit/s. Ramki czasu podzielone są na 32 "szczeliny": 30 z nich przeznaczonych są do przesyłania sygnałów mowy, a pozostałe 2 dla sygnałów towarzyszących. Ostatecznie w Europie będzie obowiązywać hierarchia grup sygnału cyfrowego przedstawiona w tablicy 4.

Na początku 1971 roku wykorzystanie transmisji cyfrowej w Wielkiej Brytanii było w znacznej mierze ograniczone do systemów 24 i 30-kanalowych na istniejących kablach międzycentralowych,

^{1/} European Conference of Postal and Telecommunications Administrations /Europejska Konferencja Administracji Poczтовых i Telekomunikacyjnych/

^{2/} Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique /Międzynarodowy Komitet Doradczy Telegraficzny i Telefoniczny/

Europejska hierarchia systemów cyfrowych

Grupa	Przepływność binarna w Mbit/s	Odpowiednie liczby kanałów telefonicznych
Pierwsza	2,048	30
Druga	8,448	120
Trzecia	34,368	480
Czwarta	139,264	1920

Źródło: 9 i 27

co okazywało się interesujące z ekonomicznego punktu widzenia. Dalsze wprowadzanie transmisji PCM było hamowane przez trudności związane z przejściem z transmisji PCM na FDM oraz w związku z dużą szerokością pasma wymaganą dla cyfrowych kanałów telefonicznych [28]. Obecnie są już opracowywane nowe urządzenia, przy czym grupa pierwotna będzie wyłącznie 30-kanałowa. W sieci brytyjskiej, jak już wspomniano, wykorzystywane są jednak jeszcze systemy PCM pracujące z przepływnością 1,5 Mbit/s, przenoszące jednocześnie 24 rozmowy telefoniczne na odległość ok. 30 km [27]. Istniejące systemy 24-kanałowe pozostaną jeszcze w użyciu. Nowe urządzenia będą wykorzystywane, podobnie jak stare połączenia międzycentralowe i na krótkie połączenia międzymiastowe.

Opracowywane są także systemy o większej krotności do zastosowania na dłuższych trasach, zarówno w liniach radiowych jak i kablowych, początkowo dla przepływności 120 Mbit/s, a potem dla przepływności jeszcze większych [20].

Według najnowszych informacji [27], w Wielkiej Brytanii odda-

no do próbnej eksploatacji pomiędzy Guildford i Portsmouth linio-
wy system teletransmisyjny o przepływności binarnej wynoszącej
120 Mbit/s. Wybudowany został przez firmę Standard Telepho-
nes and Cables i stanowi pierwszy krok brytyjskiego Post Office
w budowie cyfrowej sieci międzymiastowej zdolnej do przenosze-
nia różnorodnego trafiku. Nowy system umożliwia uzyskanie 1680
kanałów telefonicznych lub jednego kanału telewizji kolorowej, lub
14 kanałów wideofonicznych, lub 224 kanałów radiowych. Można
także realizować przesyłanie kombinacji różnego rodzaju trafiku
w granicach określonych pojemnością systemu. W kilkudziesięcio-
milowym systemie cyfrowym sygnały PCM transmitowane są na
dwóch parach współosiowych, wchodzących w skład ośmioparowe-
go kabla. Kabel ten nie został specjalnie skonstruowany do trans-
misji cyfrowej, lecz jest wykorzystywany do transmisji analogo-
wej o szerokości pasma 12 MHz. W systemie PCM odległość mię-
dzy regeneratorami i wzmacniakami i zasilanie energią elektryczną
są identyczne jak dla systemu 12 MHz. Jak stwierdzają źródła bry-
tyjskie, 78 regeneratorów pomiędzy Guildford i Portsmouth zainsta-
lowano w istniejących stacjach wzmacniakowych. W celu zapewnie-
nia maksymalnej odległości pomiędzy regeneratorami i wyelimin-
owania składowej stałej z sygnału, informacje binarne przesyłane
z przepływnością 120 Mbit/s zamieniane są na 90 Mbodowy kod
pseudoternarny, składający się z trzech poziomów napięcia: +6 V,
0 i -6 V.

W związku z tym co powiedziano wyżej na temat dążenia Angli-
ków do stworzenia jednolitych zasad rozwoju sieci cyfrowej, tro-
chę dziwi fakt opracowania systemu pracującego z przepływnością
120 Mbit/s, gdyż przepływność ta nie pokrywa się z żadną z wyty-

powanych przepływności /por.: tablica 4/. Wybór przepływności 120 Mbit/s być może można wytłumaczyć tym, że prace nad tym systemem, które przecież rozpocząć się musiały od wyboru jego parametrów, z których przepływność binarna ma zasadnicze znaczenie, zapoczątkowane zostały kilka lat temu, jeszcze przed ostatecznym ustaleniem hierarchii grupowych obecnie zalecanych. O słuszności tej tezy świadczyć mogą także przyszłe plany Post Office, w których zakłada się wykorzystanie, do teletransmisji w liniach radiowych i kablach współosiowych, przepływności ok. 140 Mbit/s. Ta sama przepływność lub jej wielokrotność będzie również wykorzystana w falowodach i światłowodach. Przewiduje się [9], że systemy teletransmisyjne o przepływności binarnej 140 Mbit/s lub jej wielokrotności będą prawdopodobnie realizowane za pośrednictwem:

- a/ linii radiowych 11 GHz i 19 GHz,
- b/ światłowodów,
- c/ falowodów 30-100 GHz o średnicy 50 mm,
- d/ kabli współosiowych.

Możliwości wykorzystania falowodów i światłowodów, w przypadku których z reguły stosuje się modulację cyfrową, znajdują się w trakcie intensywnych badań [9], [20]. W Wielkiej Brytanii podkreśla się, że kluczem do redukcji kosztów transmisji jest efektywne wykorzystanie technik cyfrowych.

W związku z tym, że przyjmuje się, iż całkowicie cyfrowa sieć międzymiastowa dałaby znaczne korzyści ekonomiczne w porównaniu z technikami obecnie istniejącymi i mogłaby przynieść korzyści w zakresie usług, studiuje się celowość wprowadzenia w mię-

dzymiasutowych centrach telekomutacyjnych komutacji cyfrowej.

W przypadku modulacji PCM próbkuje się amplitudę kształtu fali mowy w bardzo niewielkich odstępach i koduje każdą próbkę za pomocą kodu binarnego, a następnie transmituje w postaci strumienia nieciągłych bitów, bitów z wielu różnych równoczesnych połączeń przeplatanych w kolejności czasowej na pojedynczym torze. Następnym etapem, po wprowadzeniu transmisji cyfrowej, było zbadanie możliwości łączenia kanałów cyfrowych w tandemie bez przemiany na formę analogową w łącznicy pośredniej. To jednak wymaga przełączania czasowo podzielonych bitów reprezentujących daną, konkretną rozmowę przez centrale z podziałem czasowym. Obecnie zainstalowane są na próbę w Londynie dwie eksperymentalne centrale z podziałem czasowym. Jest to jeszcze jeden przykład dowodzący tego, że w Wielkiej Brytanii w sposób planowy i kompleksowy podchodzi się do budowy całkowicie cyfrowej sieci telefonicznej. Nie jest to oczywiście rezultat obecnie panującej mody, lecz wynik solidnych kalkulacji ekonomicznych. Studia prowadzone przez UKTTF przewidują, że dzięki wykorzystaniu cyfrowej transmisji i komutacji, koszty sieci międzymiastowej łączącej centrale główne zostaną znacznie zmniejszone. W związku z tym w Wielkiej Brytanii prowadzone są zakrojone na szeroką skalę prace badawcze, rozwojowe i wdrożeniowe, których rezultatem mają być różnorodne urządzenia i systemy do transmisji cyfrowej.

Interesujące są rezultaty badań ekonomicznych przeprowadzonych przez UKTTF, dotyczących kosztów wykorzystania sieci międzymiastowej w 1986 roku w zależności od typu transmisji i komutacji [20]. Założone zostały trzy sytuacje modelowe. W wariancie

pierwszym założono, że w 1986 roku całość transmisji realizowana będzie przy wykorzystaniu nośnych systemów częstotliwościowych FDM oraz że będzie stosowana wyłącznie komutacja przestrzenna. Dla wariantu drugiego przyjęto, iż transmisja będzie w 100% cyfrowa, natomiast komutacja, podobnie jak w wariacie pierwszym, będzie przestrzenna. Wreszcie w wariacie trzecim założono, że zarówno transmisja jak i komutacja będą miały charakter cyfrowy. Następnie dla tych trzech hipotetycznych sytuacji oszacowano roczne koszty wykorzystania sieci międzymiastowej. Wyniki badań przedstawiono graficznie na rys. 1^{x/}. Z rysunku tego wynika, że najwyższe koszty wykorzystania sieci międzymiastowej miałyby miejsce w przypadku, gdyby wykorzystywana była wyłącznie transmisja analogowa i komutacja przestrzenna. Koszty aż prawie dwukrotnie niższe przewidywane są dla sieci całkowicie cyfrowej. Jak widać z wykresu, koszty sieci w wariacie drugim, choć znacznie wyższe niż dla sieci całkowicie cyfrowej, są jednak niższe niż dla sieci, w której wykorzystywana byłaby transmisja FDM i centrale z komutacją przestrzenną. Oznacza to, że, jak przewiduje UKTTF, można osiągnąć oszczędności kosztów, wykorzystując cyfrową raczej niż analogową transmisję w połączeniu z mającą aktualnie miejsce komutacją przestrzenną. Założone warianty mają oczywiście charakter modelowy, wyidealizowany. W rzeczywistości, do czasu wybudowania sieci całkowicie cyfrowej, będzie istniała sieć mieszana, w której wykorzystywane będą różne rodzaje transmisji i komutacji. Rozwiązania modelowe pozwalają jednak na wyodrębnienie głównych czynników mających wpływ na badane

^{x/} Rysunki są zamieszczone na końcu artykułu.

zjawisko. W rozważanym przypadku czynnikiem wpływającym na obniżkę rocznych kosztów wykorzystania sieci międzymiastowej jest wprowadzenie całkowicie cyfrowej transmisji i komutacji, lub przynajmniej samej transmisji cyfrowej.

Na marginesie powyższych rozważań interesujące są przewidywane w Wielkiej Brytanii zmiany w strukturze użytkowania central różnych systemów do lat dziewięćdziesiątych [29]. /rys. 2/. Jak wynika z tego rysunku, w miarę upływu lat dokonywać się będzie nieustanny wzrost ogólnej pojemności central elektronicznych, jednocześnie stale zmniejszać się będzie ogólna pojemność central systemu Strowger. Ogólna pojemność central systemu crossbar ma początkowo wzrastać, a następnie - mniej więcej od początku lat osiemdziesiątych - utrzymywać się na niezmiennym poziomie. Jak widać z wykresu, w badanym okresie będzie się ponadto dokonywał stały wzrost łącznej pojemności central. Przewiduje się, że pod koniec badanego okresu ogólna pojemność central elektronicznych będzie większa od ogólnej pojemności central systemów crossbar i Strowger, z tendencją do całkowitego wyeliminowania tych ostatnich^{1/}.

Źródła angielskie wskazują na to, że całkowicie cyfrowa sieć międzymiastowa poza korzyściami ekonomicznymi, które można dzięki niej osiągnąć, ma duże znaczenie dla szybkiej transmisji danych, umożliwiając jej realizację od urządzenia końcowego do urządzenia końcowego [20]. Popyt na usługi świadczone przez Post

1/ Przewiduje się, że w Stanach Zjednoczonych na przełomie wieku będą już wyłącznie pracowały centrale elektroniczne.

Office w zakresie transmisji danych w sieci komutowanej rozwijał się jednak w Wielkiej Brytanii wolniej niż oczekiwano. Kilka przedsięwzięć związanych z transmisją cyfrową, mimo znacznych nacisków na ich wprowadzenie, zakończyło się niepowodzeniem [30]. Usługi, określane mianem Datel 300, 400 i 48000 oraz "nocna linia", dzięki której użytkownicy mogli realizować nieograniczoną liczbę połączeń krajowych w nocy za ryczałtową opłatą roczną, nie rozwinęły się, ponieważ popyt na nie był niższy niż oczekiwano. Jak się stwierdza, dostępność usług nie stworzyła w tym przypadku na nie popytu. Podkreśla się istnienie swojego rodzaju paradoksu mającego miejsce w planowaniu cyfrowej sieci przeznaczonej do transmisji danych: jeśli ma ona rozległy zasięg geograficzny, nakłady na taką sieć przewyższają korzyści, jakie uzyskuje się dzięki niej w porównaniu z siecią analogową. Jednakże atrakcyjność sieci cyfrowej przeznaczonej do transmisji danych zmniejsza się, jeśli jest ona ograniczona tylko do gęsto zaludnionych części kraju. Warto chyba także odnotować przewidywane koszty budowy central cyfrowych dla transmisji danych. Przewiduje się, że budowa 20 takich central pochłonęłaby 200 roboczol lat i kosztowałaby od 70 do 100 milionów funtów.

Z tych obszernych rozważań poświęconych teletransmisji i telekomutacji cyfrowej w Wielkiej Brytanii nie wynika jednak wcale, że Post Office całość swoich rocznych nakładów inwestycyjnych, wynoszących obecnie około 700 milionów funtów, przeznacza na rozwój technik cyfrowych. Aktualnie planuje się na przykład wprowadzenie na pewnej liczbie międzymiastowych tras telekomunikacyjnych 60 Milz kablowych systemów współosiowych. Wykorzystane będą 18-parowe kable o wymiarach 2,6/9,5 mm. Każde dwie pary

kabla umożliwią uzyskanie 10800 kanałów, co dla całego kabla da w sumie ponad 100000 kanałów [9].

Praktycznym rezultatem stałego wzrostu pojemności linii teletransmisyjnych jest w Wielkiej Brytanii, podobnie jak i w innych krajach, stała obniżka przeciętnego kosztu na dodatkowe kanały w sieciach międzymiastowej i międzycentralowych. Na rys. 3 przedstawiono nakłady inwestycyjne na urządzenia liniowe w sieciach międzymiastowych i międzycentralowych na jednostkę zrealizowanego trafiku, jakie ponoszono w przeciągu ponad pięćdziesięciu lat. Liniami przerywanymi zaznaczono przewidywany kierunek dalszych zmian badanych wielkości. Linia górna obrazuje całkowite koszty telekomutacji /włączając w to koszt telefonistek/ przypadające na jeden erlang^{1/}, zaś linia dolna - koszty liniowe /między-miastowe i międzycentralowe/ również przypadające w funtach na jeden erlang. Rysunek pokazuje efekt bardzo znaczącego napływu środków inwestycyjnych w ciągu dwóch dekad, w związku z rozwojem kabli współosiowych. Od mniej więcej 1950 roku ma miejsce postępujący spadek kosztów teletransmisji w miarę intensyfikacji postępu technologicznego najpierw w systemach międzymiastowych, a następnie międzycentralowych. Jak stwierdzają źródła brytyjskie [9], to zmniejszenie kosztów, wraz z wprowadzeniem automatycznego ruchu międzymiastowego^{2/} i w konsekwencji oszczędności siły

^{1/} Erlang, erl - jednostka średniego natężenia ruchu telefonicznego równa natężeniu takiego ruchu, w którym istnieje średnio jedno połączenie; Leksykon naukowo-techniczny. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne 1972, s. 116.

^{2/} Automatyczny ruch międzymiastowy wprowadzono po raz pierwszy w Wielkiej Brytanii w 1958 roku, a automatyczny ruch międzynarodowy - w 1963 r. [20].

roboczej były podstawową przyczyną postępującego spadku opłat za międzymiastowe rozmowy telefoniczne.

Pokazana na rysunku 3 tendencja do obniżki jednostkowych kosztów telekomutacji ma również bardzo istotne znaczenie, co związane jest z nieustannym wzrostem udziału nakładów na wyposażenie central. Zaobserwowaną tendencję przedstawiono na rys. 3a. Jak wynika z tego rysunku, nakłady na urządzenia centralowe wynoszą już obecnie ok. 30% nakładów na centrale i systemy teletransmisyjne, przy czym udział nakładów na systemy teletransmisyjne stale zmniejsza się [9].

2.8. Włochy [31]

We Włoszech została zrealizowana sieć linii radiowych pracujących w zakresie 4,6 - 7 GHz, z maksymalną krotnością do 2700. Zrealizowana została również sieć kabli współosiowych, wyposażonych w systemy FDM 12 MHz, o krotności 2700. Włochy kierują się aktualnie ku szerokiemu wykorzystaniu nowego typu mikrowymiarowego kabla współosiowego o wymiarach 0,65/2,8 mm, w miejsce kabli symetrycznych lub małowymiarowych kabli współosiowych o wymiarach 1,2/4,4 mm. Kabel taki zaplanowany został do transmisji cyfrowej, ale jest bardzo dogodny także do analogowej transmisji wizji w strefach lokalnych.

Nowe linie telefoniczne mogą być realizowane przy wykorzystaniu różnych systemów; obecnie we Włoszech są to systemy następujące:

a/ kable symetryczne akustyczne;

- b/ 12 + 12-krotne systemy FDM na kablach symetrycznych;
- c/ 30-krotne systemy PCM /o przepływności binarnej ok. 2 Mbit/s/ na kablach symetrycznych lub 13 GHz liniach radiowych wykorzystujących modulację ON-OFF;
- d/ 120-krotne systemy PCM /pracujące z przepływnością około 8 Mbit/s/ na mikrowymiarowych kablach współosiowych 0,65/2,8 mm, z odległościami między regeneratorami wynoszącymi 4 km;
- e/ 480-krotne systemy PCM /pracujące z przepływnością około 34 Mbit/s/na mikrowymiarowych kablach współosiowych, z odległościami między wzmacniakami wynoszącymi 2 km, lub na liniach radiowych przy wykorzystaniu modulacji PSK /kluczowanie przesuwem fazy/. Systemy takie będą już wkrótce wprowadzone i umożliwią realizację 11 520-kanalów na 48-parowych mikrowymiarowych kablach współosiowych;
- f/ 960-krotne systemy FDM /o szerokości pasma ok. 4 MHz/ na liniach radiowych, wykorzystujące modulację częstotliwości /FM/. Jeśli te systemy analogowe na liniach radiowych mają stan częstotliwości pośredniej na obu końcach, to mogą być łatwo przekształcone w systemy cyfrowe poprzez zamianę modemu FM na modemy PSK dla przepływności binarnej wynoszącej ok. 34 Mbit/s;
- g/ 2700-krotne systemy FDM / o szerokości pasma ok. 12 MHz/ na małowymiarowych kablach współosiowych 1,2/4,4 mm, z odległościami między wzmacniakami wynoszącymi 2 km;

h/ 10800-krotne systemy FDM /o szerokości pasma ok. 60 MHz/
z odległościami między wzmacniakami wynoszącymi 1,55 km
/systemy takie już wkrótce będą wprowadzone/.

Obecnie wybór systemu teletransmisyjnego który ma być wprowadzony opiera się na szacunkach ekonomicznych. Jak się podkreśla, największe korzyści osiągnięto poprzez szerokie wprowadzenie systemów PCM na istniejących liniach także w tym celu, aby stopniowo przekształcić sieć analogową w sieć cyfrową. Włochy są więc zaangażowane w realizację zintegrowanej sieci cyfrowej przystosowanej do transmisji różnego rodzaju sygnałów.

W związku z powyższym należy nieco szerzej omówić rozwój cyfrowych systemów teletransmisyjnych we Włoszech. Pierwsze systemy PCM na parach symetrycznych były badane w tym kraju od 1962 roku. Realizację cyfrowego systemu teletransmisyjnego średniej krotności /o' przepływności ok. 8 Mbit/s/ na liniach międzymiastowych średniej długości przy wykorzystaniu kabli współosiowych rozpoczęto w 1967 r. Główne parametry tego systemu wybrane zostały na podstawie studium optymalizacyjnego. Są one następujące: średnice pary współosiowej - 0,65/2,8 mm, odległość pomiędzy regeneratorami dla przepływności wynoszącej około 8 Mbit/s - 4 km oraz dla przepływności około 34 Mbit/s - 2 km. Zestawienie podstawowych parametrów cyfrowych systemów teletransmisyjnych, wykorzystywanych obecnie we Włoszech lub znajdujących się jeszcze w fazie opracowania bądź projektu podano w tabl. 5.

We Włoszech prowadzone są także badania nad cyfrowym systemem telekomutacyjnym. Skonstruowano już kilka eksperymentalnych urządzeń [32].

We Włoszech duże znaczenie przywiązuje się do ekonomicznej analizy efektywności wykorzystania różnych systemów teletransmisyjnych. Przeprowadzono na przykład badanie ekonomicznie opłacalnych odległości zastosowania systemów cyfrowych. Ekonomicznie opłacalny zakres wykorzystania określonego systemu teletransmisyjnego wyrazić można za pomocą następującej zależności:

$$L_{\min} \leq x \leq L_{\max}$$

gdzie:

L_{\min} - minimalna odległość, na jaką opłaca się stosować system danego typu,

L_{\max} - odległość maksymalna,

x - faktyczna długość linii teletransmisyjnej.

Wykazano, że we Włoszech dla kablowych systemów PCM $L_{\min} \approx 10 \pm 15$ km, co stanowi wynik porównania kabli symetrycznych akustycznych i 30-krotnych systemów PCM, natomiast $L_{\max} \approx 80$ km, jako wynik porównania 2700-krotnych systemów FDM na kablach współosiowych i systemów PCM na mikrowymiarowych kablach współosiowych. Wyższa wartość L_{\max} /co najmniej dwa razy większa/ zostanie osiągnięta w niedalekiej przyszłości poprzez wykorzystanie 480-krotnych systemów PCM na kablach mikrowymiarowych /por. tablicę 5/. Wprowadzenie technik cyfrowych do sieci ma miejsce wówczas, gdy istnieje wiele odległości, dla których wprowadzenie PCM jest ekonomicznie korzystne. Jednakże, jak się podkreśla, istnieją istotne względy przemawiające za wprowadzeniem systemów teletransmisji PCM nawet wówczas, gdy nie daje to bezpośrednich korzyści ekonomicznych. Z jednej strony za

T a b l i c a 5

Wykorzystywane i planowane cyfrowe systemy teletransmisyjne we włoskiej sieci telekomunikacyjnej

Przepływność binarna Mbit/s	Środek teletransmisyjny	Odległość pomiędzy wzmacniakami /km/	Rok wprowadzenia do próbnej eksploatacji
0,064	kabel symetryczny	≤ 8	w użyciu
2 x 0,064	grupa FDM /60-108 kHz/	jeszcze nie określona	1974
2,048	kabel symetryczny	≤ 3	w użyciu
2,048	linia radiowa 13 GHz	~ 20	w użyciu
2,048	FDM /ponad 12 MHz/	~ 100	1974
8,448	mikrowymiarowy kabel współosiowy /0,65/2,8 mm/	4	w użyciu
2 x 8,448	linia radiowa 13 GHz	~ 20	w użyciu
2 x 8,448	4 MHz grupa FDM /312-4028 kHz/	jeszcze nie określona	1974
~34	mikrowymiarowy kabel współosiowy /0,65/2,8 mm/	2	1974
~34	linia radiowa 13 GHz	~ 20	1974
~140	małowymiarowy kabel współosiowy 1,2/4,4 mm/	2	1975
2 x ~140	linia radiowa 18 GHz	~ 5	1978
~560	kabel współosiowy 2,6/9,5 mm falowód światłowod	1,55	1978
			1978

Źródło: [31]

wprowadzeniem systemów PCM nawet na krótsze odległości przemawiają względy jakości telefonii, zwłaszcza zmniejszenie tłumienności. Z drugiej strony przyspieszenie wprowadzenia łączy cyfrowych na dłuższe odległości związane jest z transmisją sygnałów innych niż sygnały telefoniczne.

Oczekuje się, że dalekosiężna sieć cyfrowa poprawi również sytuację w dziedzinie transmisji danych. Aktualnie do transmisji danych wykorzystywane są analogowe kanały telefoniczne i realizowane są bezpośrednie połączenia od punktu do punktu przy wykorzystaniu systemów dwutorowych oraz możliwy jest dostęp do normalnej komutowanej sieci telefonicznej /jednotorowej/. W przypadku połączeń dwutorowych mogą być stosowane modemy pracujące z przepływnością do 9,6 kbit/s, natomiast w systemach jednotorowych maksymalna przepływność jest zazwyczaj ograniczona do 1,2 kbit/s, a poza tym występują tam jeszcze inne ograniczenia. Do czasu realizacji dalekosiężnej sieci cyfrowej stosowana jest więc dwutorowa sieć analogowa.

3. PORÓWNANIE ANALOGOWYCH I CYFROWYCH SYSTEMÓW TELETRANSMISYJNYCH

3.1. Zagadnienia ogólne

Wprowadzenie nowej techniki lub systemu musi wynikać z przesłanek ekonomicznych. Można kierować się, co prawda, względami natury technicznej, np. poprawą jakości transmisji lub dążeniem do poprawy warunków i bezpieczeństwa pracy, jednak w przypadku teletransmisji cyfrowej pierwszoplanowe znaczenie ma czynnik eko-

nomiczny. Wybór techniki PCM związany jest bowiem z poważnymi nakładami, które będą musiały podlegać amortyzacji przez wiele lat, a nastawienie się na budowę zintegrowanej sieci telekomunikacyjnej pociągnie za sobą nie tylko trwałe zmiany w strukturze tej sieci, ale również w strukturze asortymentowej aparatu wytwórczego, produkującego środki łączności, a nawet w tematyce prac naukowo-badawczych.

W wielu krajach przeprowadzane były badania efektywności ekonomicznej wprowadzenia technik cyfrowych, o czym wspomniano w poprzednim rozdziale, jednak poza ogólnymi stwierdzeniami na temat wyników tych badań brak jest materiałów bardziej szczegółowych. Wynika to z dwóch faktów. Po pierwsze studia ekonomiczne prowadzone są zazwyczaj przez specjalnie w tym celu powołane komisje lub grupy robocze, a rezultaty ich prac przedstawiane są często w formie raportów adresowanych do określonego, a nie szerokiego, odbiorcy; /jest nim zazwyczaj narodowa administracja łączności/. Po drugie, jakiegokolwiek badania ekonomiczne powinny być dokonywane z punktu widzenia określonej administracji ze względu na konieczność posługiwania się cenami, stopą procentową, warunkami dostaw, kosztami transportu i robót ogólnych, kosztami eksploatacji /co związane jest z ceną siły roboczej na danym rynku, ceną energii elektrycznej itd./. W związku z powyższym nie można, o czym już wspomniano, przyjąć wyników badań ekonomicznych przeprowadzonych za granicą, tak, jak można np. przyjąć wyniki badań technicznych. Z tego właśnie względu trudno jest w literaturze natrafić na artykuł, w którym szeroko omawiano by ekonomiczne aspekty systemów PCM, gdyż jedynym adresatem zaleceń wpływających ze studiów przeprowadzonych w danym kraju, na te-

mat celowości wykorzystania techniki cyfrowej w porównaniu z analogową, może być administracja tego właśnie kraju. Na tej podstawie można sformułować wniosek, iż w każdym kraju zainteresowanym wprowadzeniem techniki cyfrowej powinny być prowadzone badania ekonomicznej celowości takiego przedsięwzięcia.

Porównania analogowych i cyfrowych systemów teletransmisyjnych z technicznego punktu widzenia są dostępne w literaturze [28], [33]. Na marginesie wielu artykułów o charakterze technicznym podawane są informacje ekonomiczne. Będą one przytoczone w niniejszym rozdziale, aczkolwiek nie w sposób systematyczny, umożliwiając udzielenie odpowiedzi na wszystkie podstawowe pytania związane z ekonomiczną efektywnością systemów PCM.

W większości opracowań wykorzystanych w poprzednim rozdziale, w których omawiano główne kierunki rozwoju telekomunikacji w poszczególnych krajach, przewijało się jedno bardzo ważne stwierdzenie: planując rozwój sieci telekomunikacyjnej powszechnie zakłada się stopniowe przekształcenie tej sieci, która ma jeszcze głównie analogowy charakter, w sieć cyfrową. Budowę zintegrowanej w zakresie technik /teletransmisja i telekomutacja/ sieci cyfrowej przyjmuje się jako długofalowy cel działania. I chociaż brak jest oficjalnych wyników badań, to jednak fakt podjęcia decyzji co do budowy sieci cyfrowej przez szereg krajów może skłaniać do wyciągnięcia wniosku, iż przebudowa sieci analogowej w cyfrową jest zjawiskiem obiektywnym, wynikającym z wyższej efektywności ekonomicznej i technicznej użytkowania sieci cyfrowej.

Warto, w związku z powyższym, przytoczyć najczęściej podnoszone zalety systemów cyfrowych i te ich cechy charakterystyczne, które przemawiają za upowszechnieniem systemów cyfrowych zarów-

no w krótkim jak i w długim okresie czasu oraz zarówno z punktu widzenia ekonomicznego, jak i technicznego.

Pierwszym argumentem przemawiającym za upowszechnieniem teletransmisyjnych systemów cyfrowych jest elastyczność ich wykorzystania. Systemy cyfrowe stwarzają możliwość przesyłania sygnałów telefonicznych, telegraficznych, telewizyjnych, teledydacyjnych itp. w jednym strumieniu cyfrowym, tj. realizują tzw. integrację służb [28], [31], [33].

Po drugie, wykorzystanie teletransmisji cyfrowej prowadzi do poprawy jakości telefonii ze względu na znaną odporność tych systemów na szумы i zakłócenia, które poniżej pewnego ich poziomu nie dodają się w miarę wzrostu odległości [28].

Trzecim czynnikiem, który można uznać za przemawiający za wprowadzeniem teletransmisji cyfrowej jest przewidywane wprowadzenie w dalszej przyszłości systemów transmisyjnych o wielkiej krotkości - falowodów i światłowodów. Prawie na pewno systemy te będą wykorzystywały techniki cyfrowe i w związku z tym będą najlepiej współpracowały z systemami cyfrowymi mniejszej krotkości [34]. Te przewidywania przemawiają za wprowadzeniem w odległej przyszłości całkowitej cyfrowej sieci telekomunikacyjnej. W Stanach Zjednoczonych Am. Pn. przepływności binarne znajdujących się w opracowaniu cyfrowych systemów transmisyjnych radiowych i kablowych są dobierane do przepływności opracowywanych falowodów. Przewiduje się, że te systemy w pewnych przypadkach będą stanowić odgałęzienia systemów falowodowych.

Czwartym argumentem przemawiającym za wprowadzeniem systemów cyfrowych jest ich wyższa efektywność, w porównaniu z systemami analogowymi, ze względu na ich zdolność do realizacji

handlowej transmisji danych. Należy podkreślić, że gwałtownie wzrastające potrzeby w zakresie transmisji danych przyspieszyły wprowadzanie systemów hybrydowych, które przenoszą rozmowy telefoniczne w postaci analogowej, a dane w postaci cyfrowej. Dzięki temu transmisja danych odbywa się w ekonomicznej cyfrowej formie, zamiast w nieefektywnej formie analogowej. Systemy hybrydowe są rozwiązaniem pośrednim, które istnieje będzie w okresie przejściowym od sieci analogowych do zintegrowanych sieci cyfrowych [33].

Jeszcze jedną zaletą systemów cyfrowych są niskie koszty komutacji strumienia cyfrowego [28].

Wprowadzenie systemów cyfrowych nie jest, oczywiście, związane wyłącznie z korzyściami. Systemy te mają również poważne wady. Wprowadzanie transmisji PCM hamowane jest przez dużą szerokość pasma wymaganą dla kanałów telefonicznych PCM oraz przez problemy związane z przejściem z transmisji cyfrowej na transmisję analogową.

Dla długiego okresu czasu [34] nie jest trudno wykazać znaczne oszczędności kosztów i inne korzyści, które można osiągnąć, jeśli transmisja PCM połączona jest z cyfrową komutacją, lub gdy znaczna część informacji występuje w postaci cyfrowej. Podstawowym pytaniem, które należy sobie postawić, nie jest więc pytanie, czy transmisja ma być cyfrowa czy raczej analogowa, lecz pytanie: w jaki sposób, w oparciu o jakie zasady należy stosować transmisję cyfrową, aby przyniosła ona jak największe korzyści i w minimalnym stopniu wpłynęła ujemnie na istniejące i powstające radiowe systemy analogowe [33].

3.2. Teletransmisja cyfrowa na mikrofalowych liniach radiowych [28], [33]

Początkowo była wykorzystywana duża liczba systemów pierwszego rzędu zwielokrotnienia 24 i 30-krotnych.

W celu uzyskania większej liczby kanałów w grupie opracowano 96-kanałowe systemy drugiego rzędu o przepływności binarnej 6,3 Mbit/s. Podkreśla się, że wykorzystywanie linii radiowej do przesyłania mniej niż 24 kanałów jest nieekonomiczne.

Zainteresowanie wzbudzały także radiowe cyfrowe systemy mikrofalowe o bardzo dużej krotności. Systemy takie mogą być zdolne do pracy z przepływnością binarną wynoszącą 500 Mbit/s, co umożliwia uzyskanie 7500 kanałów telefonicznych lub czterech kanałów telewizji kolorowej. Systemy te mogłyby być wykorzystane do odgałęziania dalekosiężnych systemów falowodowych lub jako niezależne systemy teletransmisyjne.

Ponieważ jednak do transmisji z przepływnością 500 Mbit/s wymagane jest szerokie pasmo częstotliwości, uniemożliwia to użycie aktualnie wykorzystywanych w łączności mikrofalowej zakresów poniżej 10 GHz /tzn. 2,4 i 6 GHz/. Z kolei z wykorzystaniem częstotliwości powyżej 10 GHz związane jest silne tłumienie spowodowane opadami deszczu. W związku z tym zjawiskiem zachodzi potrzeba zmniejszania odległości pomiędzy stacjami nadawczo-odbiorczymi, aż do ok. 4 km przy 40 GHz. Tak małe odległości pomiędzy stacjami są niemożliwe do przyjęcia w przypadku horyzontowych mikrofalowych systemów radiowych FDM-FM, jeśli mają być przestrzegane zalecenia CCIR dotyczące poziomu szumu.

Powyższe spostrzeżenie prowadzi do wniosku, że horyzontowe systemy mikrofalowe pracujące w wyższych zakresach częstotliwości będą prawdopodobnie zasadniczo wykorzystywane do transmisji PCM lub innych systemów cyfrowych. Wykorzystanie mikrofalowej teletransmisji cyfrowej powinno więc być silnie preferowane powyżej 10 GHz, natomiast wykorzystanie teletransmisji FDM-FM, po przekroczeniu tej częstotliwości, będzie się stawało coraz trudniejsze.

Rozpatrując różnorodne aspekty rozwoju linii radiowych /wzrost krotkości, zatłoczenie, jakie zaczyna występować w tradycyjnie wykorzystywanych do transmisji mikrofalowej zakresach częstotliwości, wykorzystywanie coraz wyższych pasm częstotliwości, a także trudności propagacyjne - zwłaszcza powyżej 10 GHz/, można wysunąć tezę, iż teletransmisja analogowa na liniach radiowych będzie się rozwijała zasadniczo poniżej ok. 13 GHz, natomiast transmisja cyfrowa - powyżej tego zakresu częstotliwości. Ze względów, o których już była mowa, w wyższych zakresach preferowana jest transmisja cyfrowa. Z kolei rozwój teletransmisji PCM, a także ewentualnie i komutacji cyfrowej, nad czym pracuje się w wielu krajach, może ze względów ekonomicznych prowadzić do eliminowania transmisji analogowej.

W literaturze spotkać się można było z poglądem, iż przy częstotliwości powyżej 40 GHz wykorzystanie cyfrowych horyzontowych systemów mikrofalowych nie będzie możliwe. Tymczasem prowadzone są intensywne badania nad wykorzystaniem dla linii radiowych zakresu częstotliwości nawet ponad 100 GHz. Zostały także opracowane odpowiednie urządzenia /z reguły o modulacji cyfrowej/, które znajdują się już w eksploatacji [42]. Tak wysokie częstotliwo-

ści będą jednak prawdopodobnie stosowane również w systemach falowodowych. Można przewidzieć, że cyfrowe systemy mikrofalowe będą wykorzystywane w zakresie od 10 do 30 GHz w trzech niejako wersjach: jako systemy samodzielne, jako systemy odgałęziające dalekosiężne systemy falowodowe lub jako systemy łączące stacje satelitarne do sieci międzymiastowej.

! Częstym argumentem przeciwko systemom cyfrowym, o czym już wspomniano, jest zarzut, że potrzebują one bardzo szerokiego pasma. Możliwe jest jednak stosowanie takich rozwiązań technicznych, opisywanych w literaturze fachowej [28], że mikrofalowe systemy cyfrowe małej krotności /do 200 kanałów/ zajmować będą mniejsze pasmo niż mikrofalowe systemy analogowe.

Rozpatrując systemy o dużej krotności /2000 kanałów/, stwierdzić jednak należy, że systemy PCM zajmują około dwa razy szersze pasmo w porównaniu z odpowiadającymi im systemami FDM. Z drugiej jednak strony, w przypadku systemów o dużej krotności, systemy cyfrowe wymagają mniejszej mocy nadajnika niż systemy analogowe. Gdy dokonujemy więc porównania pomiędzy mikrofalowymi systemami PCM i FDM uwzględniającego zarówno wymaganą moc jak i szerokość pasma dla każdego systemu - występuje pomiędzy nimi minimalna różnica.

W literaturze podkreśla się także, że w systemach cyfrowych o małej pojemności, przenoszących kilka zwielokrotnionych grup 24 lub 30-krotnych, wykorzystanie pasma mikrofalowego może być bardziej ekonomiczne niż w systemach FDM-FM. Ma to bardzo duże znaczenie na przyszłość, kiedy to wystąpi jeszcze większy niedobór częstotliwości radiowych. W związku z tym bardzo ważne przy projektowaniu systemów teletransmisyjnych jest zapewnienie

jak największych korzyści płynących z danego przedsięwzięcia nie tylko z punktu widzenia efektywności inwestycji, ale także z punktu widzenia efektywnego /oszczędnego/ wykorzystania częstotliwości radiowych [36]. W związku z przewidywaną wyższą efektywnością wykorzystania pasma częstotliwości przez systemy PCM małej krotności w stosunku do systemów analogowych można oczekiwać, że systemy cyfrowe będą także wykorzystywane poniżej zakresu 10 GHz.

Na zakończenie należy wreszcie stwierdzić, że urządzenia radiowe do teletransmisji cyfrowej są potencjalnie tańsze niż odpowiadające im urządzenia radiowe do teletransmisji analogowej. Również krotnice PCM są tańsze niż krotnice FDM.

Przedstawione wyżej wnioski przemawiające za celowością wprowadzenia do eksploatacji cyfrowych radiowych systemów teletransmisyjnych nie mają jedynie znaczenia teoretycznego. Jak bowiem pokazano w poprzednim rozdziale, w wielu państwach prowadzone są badania nad radiowymi systemami cyfrowymi, a w niektórych - takie systemy znajdują się już w eksploatacji.

3.3. Teletransmisja cyfrowa na kablach

Podobnie jak w przypadku systemów radiowych, cyfrowe kablowe systemy teletransmisyjne o małej krotności /24 lub 30 kanałowe/ o modulacji impulsowo-kodowej /PCM/ są używane od kilku lat i ich wykorzystanie systematycznie wzrasta w wielu częściach świata. Systemy o trochę większej krotności zaczynają się dopiero pojawiać, natomiast systemy o bardzo dużej krotności znajdują się właściwie jeszcze w trakcie badań.

W tabelicy 6 zestawiono po cztery kable współosiowe z systemami analogowymi i cyfrowymi oraz podano główne parametry tych systemów. Na podstawie danych zawartych w tej tabelicy trudno jednak odpowiedzieć na pytanie, który z systemów - analogowy czy kablowy - jest bardziej opłacalny.

W związku z tym na rysunku 4 przedstawiono względne relacje typowych kosztów inwestycyjnych^{1/} dla różnych systemów przypadających na jeden kilometrokanal. Wartości podane na rysunku odnoszą się tylko do części liniowej systemów analogowych i cyfrowych na kablach współosiowych. Na rysunku zaznaczono za pomocą punktów wartości dla kabli, których opisy znajdują się w tabelicy 6. Jak widać z rysunku, systemy analogowe są, ogólnie rzecz biorąc, tańsze od systemów cyfrowych o tej samej lub zbliżonej liczbie kanałów telefonicznych. Ponadto można zaobserwować tendencję do stałej obniżki kosztów inwestycyjnych przypadających na jeden kilometrokanal wraz ze wzrostem krotności systemu. Zjawisko to odnosi się zarówno do systemów analogowych, jak i cyfrowych. Z wykresu widać jednak, że wraz z wprowadzaniem systemów o coraz większej krotności - coraz trudniej jest osiągnąć obniżkę nakładów przypadającą na jeden kilometrokanal. Być może jest to sygnał, że nadszedł już czas wykorzystania innego toru telekomunikacyjnego, np. toru falowodowego.

^{1/} Jak już podkreślono, porównując koszty systemów teletransmisyjnych należy oprócz kosztów inwestycyjnych uwzględnić także koszty eksploatacyjne, a nadto sprowadzić nakłady do określonego momentu czasowego. Gdy rozważane są jednak systemy, dla których nie oczekuje się większych różnic w kosztach eksploatacyjnych, można posłużyć się porównaniem nakładów inwestycyjnych przypadających na jeden kanal.

Tablica 6

Kable współosiowe dla systemów teletransmisyjnych analogowych i cyfrowych

	Szerokość pasma /MHz/	Liczba kanałów	Wymiary pary współ- osiowej mm	Odległość pomiędzy wzmacniakami km
Systemy analogowe	1,3	300	1,2/4,4	8
	4	960	1,2/4,4	4
	12	2700	1,2/4,4	2
	60	10800	2,6/9,5	1,5
	Przeptywność bi- narna /Mbit/s/	Liczba kanałów	Wymiary kabla mm	Odległość pomiędzy regeneratorami km
Systemy cyfrowe	34	480	0,7/2,9 CCITT	2
	120	1680	0,6/2,8	2
	420	5700	1,2/4,4	1
	800	11000	1,2/4,4 2,6/9,5	1,5

Źródło: [34]

Stosunkowo proste przypadki pojedynczych systemów od punktu do punktu wraz z przejściem wszystkich kanałów na częstotliwość akustyczną w zależności od długości drogi przedstawiono na rys. 3. Koszty określono dla kabla, wzmacniaków, multiplexerów i zestawów retransmisyjnych. Na rysunku linie ciągle odzwierciedlają koszty systemów cyfrowych, natomiast linie przerywane - koszty systemów analogowych. Jak widać, na krótsze odległości systemy PCM są tańsze, podczas gdy dla bardzo dużych odległości tańsze są systemy FDM. Na podstawie rys. 5 dokonać można jeszcze dwóch obserwacji. Po pierwsze, zauważalny jest wzrost kosztów przypadających na jeden kilometrokanal wraz ze wzrostem długości trasy. Po drugie, wraz ze wzrostem długości trasy zaobserwować można wzrost efektywności wykorzystania systemów o większej krotności. Oznacza to, że na znaczne odległości opłaca się wykorzystywać systemy o bardzo dużej krotności.

Na rysunku 6 przedstawiono porównanie kosztów, określonych na podstawie aktualnej wartości kosztów rocznych $PWAC^{1/}$, dla

^{1/} $PWAC$ - present worth of annual charge - aktualna wartość kosztów rocznych. Termin ten najprawdopodobniej odpowiada przytaczanemu w literaturze terminowi - present worth of annuity - aktualnej wartości renty $p/a/n$ określanemu w. rem

$$\frac{1+i/n-1}{i/1+i/n}$$

gdzie: i - stopa procentowa
 n - liczba okresów /zazwyczaj lat/

Współczynnik "wartości aktualnej" służy do zamiany kwoty, która ma być poniesiona w przyszłości na jej ekwiwalent w dowolnym wcześniejszym okresie. Obliczanie aktualnej wartości rocznych kosztów eksploatacyjnych ma na celu wyrażenie ich za pomocą ekwiwalentu w postaci jednej kwoty w okresie wcześniejszym. /Por. [37]/.

systemów cyfrowych i analogowych na kablach współosiowych, w funkcji rozmiarów trafiku i stopy jego przyrostu, dla dwóch różnych odległości. Koszty zawierają koszty krotnicy i sygnalizacji i obliczone zostały dla okresu 20 lat, przy założeniu 10% rocznej stopy przyrostu liczby łączy i 10% rocznej stopy procentowej. Pierwszy rysunek /a/ odnosi się do odległości 80 km, a drugi /b/ do odległości 300 km.

W praktyce wyizolowane połączenia od punktu do punktu zdarzają się rzadko. Większość systemów w liniowych zawiera mieszaninę łączy zakończonych częstotliwością akustyczną oraz grup i supergrup FDM, co w przypadku linii cyfrowych wymaga wzrostu nakładów na styki i trochę zmniejsza efektywność linii. Jednakże, dzięki ostrożnemu planowaniu styki FDM/PCM mogą być ograniczone do minimum, a ich koszty w znacznym stopniu przewyższone przez korzyści, jakie daje bezpośrednie połączenie pierwotnych systemów PCM.

Badania ekonomiczne wskazują na znaczne oszczędności, które mogą być osiągnięte jeżeli byłaby wprowadzona w typowych warunkach europejskich zintegrowana sieć cyfrowa. Przewiduje się rozwój systemów cyfrowych większej krotności, wykorzystujących kable współosiowe. Jasne jest i pokazane to zostało m.in. na rys.6, że systemy o dużej pojemności będą bardziej ekonomiczne na trasach o dużym ruchu. Wydaje się, iż dla tych tras, do realizacji przepływności wynoszącej kilka megabitów na sekundę, najbardziej nadaje się kabel o wymiarach 1,2/4,4 mm. Natomiast dla kabla o wymiarach 2,6/9,5 mm najbardziej ekonomiczna będzie prawdopodobnie przepływność wynosząca ok. 1 Gbit/s, chociaż aktualnie proponuje się przepływność wynoszącą ok. 800 Mbit/s.

Ostatnio wprowadzane są systemy nośne analogowe na kablach współosiowych o krotności 10800 kanałów telefonicznych. Jednakże, jak podkreślają źródła szwedzkie [22], istnieje częstotliwość, której nie można przekroczyć w kablu współosiowym, wykorzystując w postaci materiału izolacyjnego nieciągłe krążki. Ta częstotliwość graniczna wynosi kilka GHz, co wynika z faktu, iż para współosiowa jest filtrem dolnoprzepustowym. Sposobem umożliwiającym podwyższenie pojemności transmisyjnej ponad system 50 MHz jest wprowadzenie szerokopasmowych systemów cyfrowych. W różnych krajach prowadzone są badania nad takimi systemami, które w przyszłości prawdopodobnie spowodują wprowadzenie wielokanałowych systemów cyfrowych na kablach współosiowych.

Na zakończenie omawiania cyfrowych systemów kablowych warto jeszcze przedstawić ideę systemu, która pierwotnie została zaproponowana przez R.W. Changa i S.L. Freeny'ego [38], a potem rozwinięta przez dwóch Szwedów - T.H.E. Ericssona i U.J.S. Johanssona [24], [25]. Idea ta odnosi się do systemu hybrydowego, w którym wykorzystywane są zarówno wzmacniaki analogowe, jak i regeneratory cyfrowe.

Poniższe rozważania teoretyczne będą dotyczyły dalekosiężnego systemu cyfrowego pracującego z bardzo dużą przepływnością; jego schemat przedstawiony został na rys. 7. Przyczyną wykorzystania wzmacniaków i regeneratorów jest dążenie do obniżki kosztów systemu: regeneratory cyfrowe są znacznie bardziej efektywne, natomiast wzmacniaki analogowe są zazwyczaj tańsze. Zakłada się, że będzie miała miejsce modulacja impulsowo-amplitudowa PAM /w odróżnieniu od powszechnie stosowanej w transmisji cyfrowej modulacji impulsowo-kodowej PCM/.

Często używaną miarą służącą do określania techniczno-ekonomicznej efektywności systemu jest stosunek całkowitych kosztów systemu na jednostkę długości do przepływności binarnej. Wielkość ta, do minimalizacji której należy dążyć, wyrażona będzie za pomocą wyrażenia Q/R , gdzie R oznacza przepływność binarną, natomiast Q - całkowite koszty systemu na jednostkę długości, wyrażone wzorem [24]:

$$Q = \alpha + \frac{1}{a} - \frac{1}{d} \cdot \beta + \frac{1}{d} \gamma$$

gdzie:

- α - koszty kabla współosiowego na jednostkę długości,
- β - koszty jednostkowe wzmacniaka analogowego,
- γ - koszty jednostkowe regeneratora cyfrowego,
- a - odległość pomiędzy wzmacniakami analogowymi,
- d - odległość pomiędzy regeneratorami cyfrowymi.

Założono, że końcówka nadawcza składa się głównie z części nadawczej regeneratora cyfrowego, a końcówka odbiorcza - głównie z części odbiorczej regeneratora cyfrowego /por. rys. 7/; stąd - koszt urządzeń stacji końcowej będzie równy kosztowi jednego regeneratora cyfrowego. Dlatego właśnie współczynnik $\frac{1}{d}$ znajduje się przed parametrem γ .

Obliczenia ekonomiczne przeprowadzone zostały na podstawie kosztów kabla oraz wzmacniaków i regeneratorów przewidywanych około 1980 roku. Przedmiotem szczególnego zainteresowania jest związek pomiędzy kosztami systemu i jego niektórymi podstawowymi parametrami, takimi jak prędkość bitowa /związana z częstotliwością taktowania/, odległość pomiędzy wzmacniakami, rodzaj kabla i liczba poziomów sygnału.

Na rysunkach 8 i 8a przedstawione zostały przewidywane koszty wzmacniaków, w skład których wchodzi koszty wyposażenia elektronicznego, a także koszty mechaniczne i instalacyjne. Rysunek 8 obrazuje koszt wzmacniaka analogowego w zależności od prędkości bodowej, a na rys. 8a przedstawiono stosunek kosztu regeneratora cyfrowego do kosztu wzmacniaka analogowego α/β w zależności od prędkości bodowej. Jak widać, wraz ze wzrostem prędkości bodowej rosną również koszty wzmacniaków i regeneratorów, z tym że po przekroczeniu pewnej wartości prędkości bodowej koszty zaczynają zdążyć do nieskończoności.

Rozważania prowadzone są dla trzech rodzajów kabli współosiowych:

- dla par normalnowymiarowych - 2,6/9,5 mm,
- dla par małowymiarowych - 1,2/4,4 mm,
- dla par mikrowymiarowych - 0,65/2,8 mm.

W dalszym ciągu rozważań wykazano zależność pomiędzy całkowitymi kosztami systemu i wzajemnym stosunkiem kosztów regeneratorów cyfrowych i wzmacniaków analogowych. Jeśli koszty obu ich byłyby równe, wówczas nie zachodziłaby potrzeba instalowania wzmacniaków analogowych. Jeśli jednak wzmacniaki analogowe są tańsze od regeneratorów cyfrowych, to poprzez wykorzystanie obu typów wzmacniaków można doprowadzić do obniżki całkowitych kosztów systemu w porównaniu z kosztami systemu, w którym byłyby wyłącznie regeneratory cyfrowe. Dla przykładu można podać, że jeśli w kablu małowymiarowym oprócz regeneratorów cyfrowych zostałyby zainstalowane także wzmacniaki analogowe, tańsze od tych pierwszych np. 5 razy, to całkowite koszty takiego systemu

byłyby o ok. połowę niższe niż koszty systemu wyłącznie cyfrowego. Taka obniżka kosztów zostałaby osiągnięta, gdyby pomiędzy dwoma regeneratorami cyfrowymi zainstalowano około 100 wzmacniaków analogowych, choć należy pamiętać, iż realizacja linii, w której znajdowałoby się aż tak wiele wzmacniaków byłaby jednak dość trudna [25].

Na rysunku 9 przedstawiono efektywność systemu $/Q/R/$ w zależności od przepływności binarnej dla kilku określonych odległości pomiędzy wzmacniakami analogowymi $/a/$ dla kabla normalno-wymiarowego. Wybór odpowiedniej odległości pomiędzy wzmacniakami analogowymi, dla których założono współczynnik szumu równy 9 dB i moc wyjściową rzędu 0,05 W, jest bardzo ważny. Dla każdej określonej odległości pomiędzy tymi wzmacniakami istnieje taka przepływność, której nie należy przekraczać. Jak widać z rysunku, najniższe koszty całkowite systemu osiąga się przy stosunkowo niewielkich odległościach pomiędzy wzmacniakami analogowymi, choć zbytnie zmniejszanie tego dystansu będzie wpływało na efektywność rozwiązania w bardzo małym stopniu. Z drugiej strony, przy większych odległościach, po przekroczeniu pewnej określonej przepływności binarnej koszty systemu będą bardzo silnie wzrastały, ponieważ w celu zapewnienia odpowiedniej jakości transmisji trzeba będzie instalować więcej regeneratorów cyfrowych. Stwierdzono [25], że dla każdej określonej przepływności istnieje optymalna odległość pomiędzy regeneratorami.

Na kolejnym rysunku 10 przedstawiono efektywność systemu $/Q/R/$ w zależności od przepływności binarnej przy założeniu, że dla każdej przepływności wybrana została optymalna odległość pomiędzy regeneratorami. Krzywe wykreślono dla trzech wspomnianych

nych wyżej typów kabli, co pozwala określić, który kabel powinien być wykorzystywany z ekonomicznego punktu widzenia przy danej przepływności binarnej. Przy założeniu wykorzystywania kodu o ośmiu poziomach sygnału $|k|=8$ okazuje się, że kabel mikrowymiarowy powinien być wykorzystywany przy małych przepływnościach, kabel małowymiarowy - w granicach od ok. 300 Mbit/s do około 1,5 Gbit/s, a kabel normalnowymiarowy - przy największych przepływnościach binarnych [25].

Na rysunku 11 przedstawiono efektywność systemu /Q/R/ w zależności od przepływności binarnej dla kilku określonych liczb poziomów kodu. Jak widać z wykresu, koszty systemów, w których założono kody 4, 8 lub 16-poziomowe są zbliżone, natomiast koszty kodu binarnego są znacznie większe.

Na podstawie tego, co powyżej powiedziano, przystąpić można do określenia podstawowych parametrów systemu dla przełomu lat siedemdziesiątych i osiemdziesiątych. Do poniższych danych, określonych w [25], podchodzić jednak należy z dużą ostrożnością ze względu na dość znaczną zawartość pierwiastka niepewności. Rozmiary pary współosiowej: 1,2/4,4 mm. Wybrany został kabel małowymiarowy ze względu na to, iż jest on optymalnym rozwiązaniem dla znacznego zakresu przepływności binarnych /por. rys. 10/. Nominalna przepływność binarna: 1,8 Gbit/s. Realna przepływność będzie niższa ze względu na sygnalizację, synchronizację itp. Prędkość bodowa: 600 MBd. Jak się podkreśla, prędkość bodowa powinna być wybrana na tak wysokim poziomie, jaki tylko możliwy jest z technologicznego punktu widzenia.

Liczba poziomów kodu: 8. System kodowania wielopoziomowy zwią-

zany jest z niższymi kosztami w porównaniu z systemem binarnym. Odległość pomiędzy wzmacniakami analogowymi: 0,7 km. Liczba wzmacniaków analogowych pomiędzy dwoma regeneratorami cyfrowymi: ok. 40.

Mimo przytoczonych wyżej licznych zalet systemu hybrydowego w porównaniu z systemem wyłącznie cyfrowym można mieć pewne obawy, czy system ten rzeczywiście znajdzie szerokie zastosowanie w związku z dość dużym już rozpowszechnieniem w świecie cyfrowych systemów PCM.

4. ŚRODKI TELETRANSMISYJNE W PRZYSZŁOŚCI

4.1. Falowody

Wybieganie w przyszłość jest w rozważaniach ekonomicznych w pełni uzasadnione. Działalność ludzka ma charakter ciągły i nie kończy się wraz z upływem jakiegoś umownego okresu czasu. Zapewnienie równomiernego rozwoju poprzez elastyczne powiązanie ze sobą kolejnych okresów planistycznych, kształtowanie bieżącej działalności pod kątem nie tylko aktualnej, ale także i przyszłej możliwości wykorzystania jej rezultatów, zabezpieczenie się przed ryzykiem wynikającym z niepewności związanej z przyszłością - oto główne argumenty przemawiające za wybieganiem myślą w przyszłość.

Prognozowanie ma kapitalne znaczenie dla działalności naukowo-badawczej. Trafne i wczesne określenie przyszłych kierunków rozwoju sił wytwórczych pozwala na zaangażowanie potencjału naukowo-badawczego w tych dziedzinach, gdzie da to największe efek-

ty, a następnie wykorzystanie wyników badań w działalności gospodarczej. Należy pamiętać, iż w obecnych czasach jednym z głównych czynników wzrostu gospodarczego, a w rezultacie także standardu życia, jest - tworząca podstawy postępu technicznego - działalność naukowo-badawcza. Zwiększenie jej efektywności osiągnąć można poprzez prace prognostyczne.

Aktualnie uważa się, że przyszłość środków teletransmisyjnych związana jest z zastosowaniem falowodów i światłowodów. Warto więc zapoznać się z kierunkami badań w tej dziedzinie.

Stany Zjednoczone [16]

W Stanach Zjednoczonych firma the Bell System prowadzi badania dalekosiężnego systemu falowodowego, który pracować będzie w zakresie fal milimetrowych. Każdy falowód będzie mógł transmitować jednocześnie 250000 rozmów telefonicznych. Prace nad systemami falowodowymi, które mają być wprowadzone do eksploatacji w latach osiemdziesiątych, prowadzone są w celu stworzenia takich środków technicznych, które pozwolą na zaspokojenie wciąż wzrastającego popytu na usługi w dziedzinie telefonii i transmisji danych.

Francja [14]

Podobnie jak w Stanach Zjednoczonych, również we Francji planuje się wykorzystanie w sieci telekomunikacyjnej w relacjach dalekosiężnych systemów falowodowych. Celem tego przedsięwzięcia jest osiągnięcie obniżki kosztów linii dalekosiężnych o dużej pojemności łączy już w pierwszej połowie lat osiemdziesiątych. System falowodowy będzie w stanie realizować 7200 kanałów akustycznych na jeden tor, w sumie - około 140000 kanałów.

W omawianym systemie zostanie zastosowany spiralny falowód o średnicy 50 mm z ekranem, o promieniu zakrętów nie mniejszym niż 100 m. Wzmacniaki mają być rozmieszczone co ok. 20 km. Pierwsza próba falowodu odbyła się w 1971 roku na 10-kilometrowym odcinku w pobliżu Paryża z jednym torem o przepływności binarnej 10⁸ Mbit/s. Druga próba przeprowadzana jest na 15-kilometrowym odcinku z torem o przepływności 580 Mbit/s, a trzecia na długości ok. 100 km, planowana jest na 1976 rok, również z torem o przepływności 580 Mbit/s. Przewiduje się, że system będzie mógł być wprowadzony do eksploatacji około 1980 roku.

Wielka Brytania [9]

Także w Wielkiej Brytanii falowody znajdują się w trakcie intensywnych badań. Planuje się wykorzystanie falowodu TE₀₁ o średnicy 50 mm /30-100 GHz/. Systemy falowodowe znajdują najprawdopodobniej zastosowanie w dalekosiężnych, dobrze zabezpieczonych szlakach telekomunikacyjnych kraju.

Warto w tym miejscu zwrócić uwagę na pewne cechy charakterystyczne związane z planowanym zastosowaniem falowodów. Po pierwsze, należy odpowiedzieć na pytanie dlaczego systemy falowodowe są tak intensywnie badane i jakie korzyści ma przynieść wprowadzenie ich do eksploatacji. Wydaje się, że są dwie przyczyny tego zjawiska. Z jednej strony dążenie do wykorzystania systemów teletransmisyjnych o ogromnej krotkości wynika ze stałego wzrostu popytu na usługi telekomunikacyjne i przykład nawet najbardziej rozwiniętych państw świata dowodzi, że popyt ten będzie wzrastał nadal. Związane to jest z dużym znaczeniem, jakie ma szerokie wykorzystanie najnowocześniejszych środków łączności

dla poprawy efektywności produkcji, obrotu towarowego, działalności banków, administracji państwowej, rolnictwa i in. Wzrasta także wykorzystanie środków łączności przez ludność w celach prywatnych. Jak podają niektóre źródła [36], ograniczone środki mogą doprowadzić do tego, że jeszcze bardziej pożądane będzie zastąpienie transportu ludzi do centrów informacji poprzez transmisję informacji do ludzi w ich domach lub do centrów lokalnych, co przyniesie w rezultacie zapotrzebowanie na zwiększoną szerokość pasma. W telekomunikacji jutra częstotliwości radiowe muszą być przede wszystkim zarezerwowane dla służb ruchomych, więc kabel /lub falowód/ musi zastąpić radio wszędzie tam, gdzie możliwe jest wykorzystanie stałych połączeń. Przyniesie to w rezultacie dalsze zwiększenie zapotrzebowania na łącza w zamkniętych środkach teletransmisyjnych. Z drugiej strony, dążenie do wykorzystania systemów teletransmisyjnych o ogromnej krotkości wiąże się z dążeniem do osiągnięcia obniżki kosztów jednostkowych. Jeśli bowiem dla nowego systemu teletransmisyjnego przyrost kosztów całkowitych /inwestycyjnych i eksploatacyjnych/ jest mniejszy niż przyrost liczby łączy, to koszt jednostkowy w nowym systemie będzie niższy niż w starym systemie.

Drugą cechą charakterystyczną związaną z planowanym wprowadzeniem falowodów do eksploatacji jest zamierzenie wykorzystania ich w sieciach dalekosiężnych. Związane to jest najprawdopodobniej z wynikami analiz techniczno-ekonomicznych.

Trzecią wreszcie cechą charakterystyczną falowodów jest ich prawie na pewno cyfrowy charakter. Świadomość tego faktu ma duże znaczenie dla aktualnych kierunków rozwoju sieci telekomunika-

cyjnej. W wielu opracowaniach [28], [34] podkreśla się, iż jest to istotny czynnik przemawiający za wprowadzeniem transmisji cyfrowej na liniach radiowych i kablowych, pracujących z mniejszą prędkością. W wielu krajach, jak już podkreślano, za długofalowy cel działania uważa się budowę zintegrowanej całkowicie cyfrowej sieci telekomunikacyjnej. Przyjęcie takiego perspektywicznego założenia umożliwi takie dobranie parametrów systemów aktualnie wprowadzanych do eksploatacji, aby jak najlepiej odpowiadały one parametrom systemów falowodowych i sprzyjały ich efektywnemu współdziałaniu.

Systemy falowodowe zostaną prawdopodobnie wprowadzone do eksploatacji na początku lat osiemdziesiątych.

4.2. Światłowody

Przeprowadzenie wstępnych prac nad światłowodami w 1966 roku przypisuje się Kao i Hockmanowi ze Standard Telecommunications Laboratories w Wielkiej Brytanii. Choć jest to więc dziedziną powstała bardzo niedawno, w wielu krajach prowadzone są intensywne prace naukowo-badawcze nad światłowodami. O tym, że badania te są prowadzone z powodzeniem świadczyć mogą pierwsze eksperymentalne transmisje informacji za pomocą światłowodów. Już obecnie rozważa się możliwość ekonomicznej alternatywy: światłowód czy przewody miedziane lub kable współosiowe.

Współczynnik przepuszczania światła produkowanych światłowodów jest niezwykle wysoki. Światłowody mają ponadto bardzo zwartą budowę - zazwyczaj średnica ich wynosi 0,15 mm. Ponieważ szkło nie przewodzi elektryczności, włókna szklane stanowią jedno-

częściej izolację i zabezpieczają między innymi przeciwko zakłóce-
niom radiowym i wpływom elektromagnetycznym [39].

Firma Electro-Optical Product Division z Roanoke /Wirginia/,
zakomunikowała o pomyslnym wyprodukowaniu światłowodu z czys-
tego kwarcu. Tłumiennosc nowego światłowodu wynosi jedynie 4 dB
na kilometr przy dlugosci fali rownej 0,85 μm oraz 2 dB dla fali o
dlugosci 1,06 μm [40]. Wspomniana firma otrzymała ostatnio zamó-
wienie od amerykanskiej marynarki wojennej na opracowanie i pro-
dukcję dlugiego lekkiego kabla z włókna optycznego do wykorzysta-
nia w systemach telekomunikacyjnych na lądzie i na morzu. W Ka-
nadzie demonstrowano już przesyłanie kolorowych sygnałów telewi-
zyjnych przy wykorzystaniu światłowodów.

Źródła brytyjskie [9] podkreślają, że systemy światłowodowe
okazą się szczególnie atrakcyjne w sieciach międzycentralowych
dla krótszych połączeń. Rozwiązanie to może okazać się bardzo
korzystne, jeśli dalszy wzrost popytu na usługi związane z trans-
misją danych i przesyłaniem sygnałów telewizyjnych spowoduje za-
potrzebowanie na systemy o większej szerokości pasma w miejskich
i podmiejskich sieciach rozdzielczych.

Pomimo wzrastającego zainteresowania światłowodami jako roz-
wijającą się techniką, można mieć poważne obawy co do tego, czy
zostaną one w bliskiej przyszłości wykorzystane na skalę handlo-
wą. Jak na razie nie istnieje duży rynek zbytu na światłowody i w
związku z tym, że cena zależy od wolumenu produkcji nie będą one
jeszcze przez wiele lat produktem masowym. Powszechnie uważa
się, że praktyczne wykorzystanie światłowodów będzie miało miej-
sce dopiero w połowie lat osiemdziesiątych [40]. Z drugiej jednak
strony wielu autorów wskazuje na możliwość wcześniejszego wej-

ścia światłowodów do eksploatacji i wzrostu ich konkurencyjności w stosunku do innych środków transmisji informacji [39], [40].

Przed wszystkim światłowody mogą się okazać relatywnie tańsze i może powstać na nie zapotrzebowanie w wyniku zmian kosztów materiałów używanych do produkcji różnych środków teletransmisyjnych, wynikających ze względnej ograniczoności zasobów miedzi i obfitości piasku. Ponadto, już w niedalekiej przyszłości może powstać zapotrzebowanie na światłowody wykorzystywane dzięki ich szczególnym zaletom /izolacja elektryczna, duża szerokość pasma i in./ do celów naukowo-badawczych.

Mimo wielu zalet, które mają falowody i światłowody, trudno jest jeszcze dzisiaj określić koszty systemów wykorzystujących te środki teletransmisji. Można chyba jednak wysunąć tezę, iż dzięki niespotykanym dotychczas w teletransmisji parametrom, jakimi charakteryzują się falowody i światłowody, okażą się one na tyle efektywne, że znajdą w przyszłości powszechne zastosowanie w sieciach telekomunikacyjnych.

WYKAZ LITERATURY

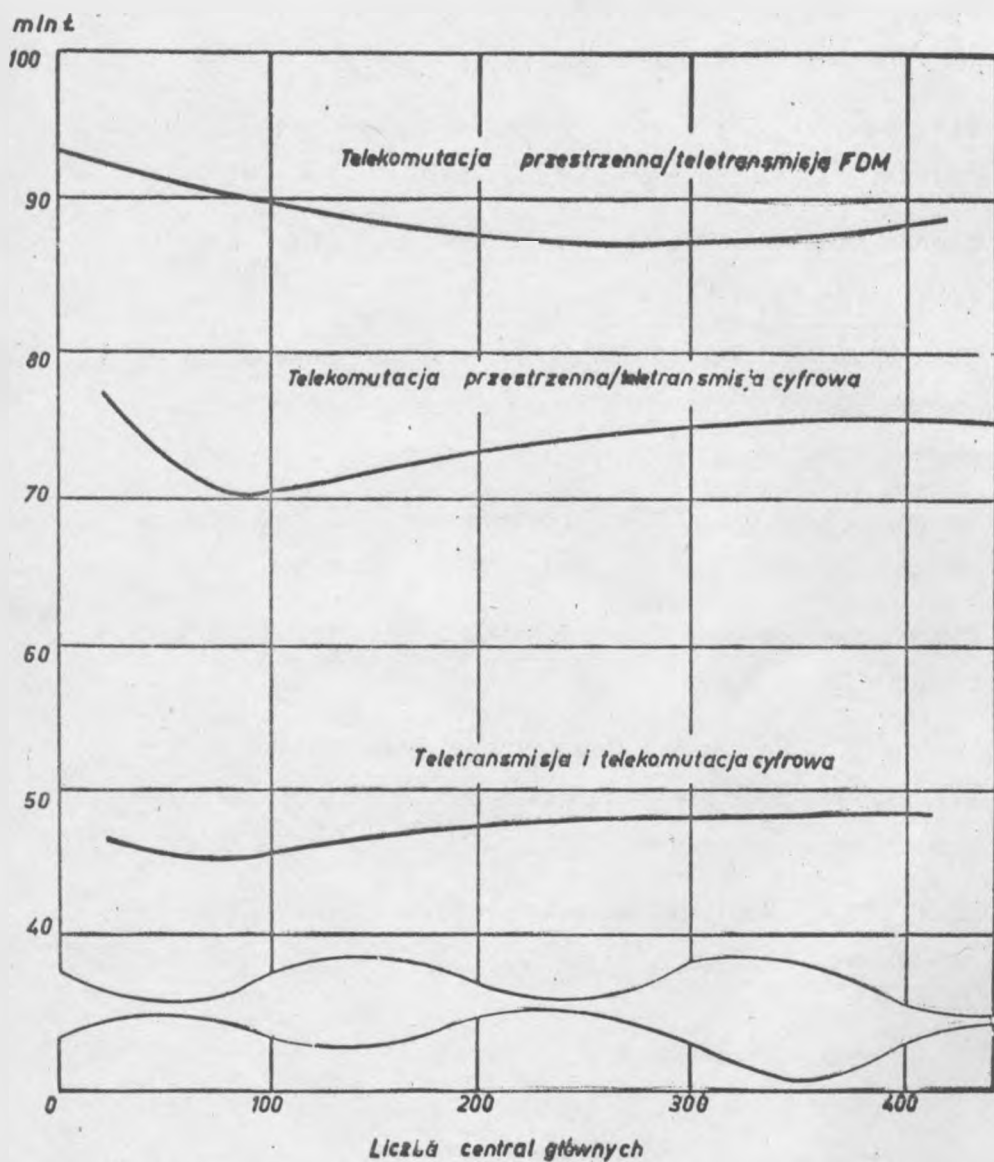
1. Voronov B. A. : K voprosu o potreblenii produkcii svjazi. Vest. Svjazi 1969 t. 29 nr 8, s. 24-26.
2. Jurlov F. F. : O tehniko-ekonomičeskoj effektivnosti sistem poredači informacii. Radiotekhnika 1974 t. 29 nr 2, s. 8-11.
3. Chipp R. D., Cosgrove T. : Economic analysis of communication systems. IRE Trans. Commun. Systems 1962 t. CS-10 nr 4, s. 416-421.

4. Cosgrove T., Chipp R.D.: Economic consideration for communication. IEEE Trans. Commun. Technol. 1968 t. COM-16 nr 4, s. 513-525.
5. CCITT: Draft reply to question 3 GAS/5. GAS/5-No. 29-E. W: Special Autonomous working party No. 5 - Contribution No. 29. Geneva: ITU 1971, s. 37.
6. Economic studies and comparisons. W: Economic and technical aspects of the choice of transmission systems. Geneva: ITU 1969.
7. Cuccia C.L.: Comparative costs of telecommunication systems. TCS Telecommunications 1971 t. 5 nr 10, s. 22-44.
8. Višnevskij L.A.: O soversenstvovanii perspektivnogo planirovanija. Vest. Svjazi 1973 t. 33, s. 37-38.
9. Merriman J.H.H.: Engineering innovation in a service industry: Post Office Telecommunications. Proc. IEE 1975 t. 122 nr 1, s. 1-16.
10. Grover K.C.: Planning for growth and change. Post Office Telecommun. J. 1972 t. 24 nr 2, s. 7-9.
11. Post office down under. Post Office Telecommun. J. 1972 t. 24 nr 2, s. 24-26.
12. Busignies H.: The future of telecommunications and their influence on mankind. Telecomm. J. 1971 t. 38 nr 4, s. 203-209.
13. Jacobeaus C.: Trends of development in telecommunications. Telecomm. J. Australia 1974 t. 24 nr 1, s. 3-10.

14. Job F., Duquesne J.F., Pinet A., Profit A.J.C., Thue M.P.: New telecommunication systems under development in France. IEEE Trans. Commun. 1974 t. COM-22 nr 9, s. 1481-1491.
15. Bachmann A.E.: Developments of communication in Switzerland. IEEE Trans. Commun. 1974 t. COM-22 nr 9, s. 1447-1455.
16. Bell develops new digital radio transmission system. Commun. News 1974 t. 11 nr 12, s. 8.
17. Kelcourse F.C., Heer F.J.: L5 coaxial-carrier transmission system. Overall description and system design. Bell Syst. Tech. J. 1974 t. 53 nr 10, s. 1901-1933.
18. L5 coaxial-carrier transmission system. Foreword. Bell Syst. Tech. J. 1974 t. 53 nr 10, s. 1897-1899.
19. Kwan R.K.: Advances in digital radio systems. IEEE Trans. Commun. 1973 t. COM-21 nr 2, s. 147-151.
20. Pearman D.: Trunk calls bit by bit. Post Office Telecommun. J. 1974 t. 26 nr 3, ss. 4-7.
21. Dingeldey R.: Present state and trends of public communications in the Federal Republic of Germany. IEE Trans. Commun. 1974 t. COM-22 nr 9, s. 1456-1467.
22. Ernbo A.: Coaxial cable for high frequency telecommunication systems. Ericsson Rev. 1974 t. 51 nr 3, ss. 70-79.
23. Zetterberg L.H.: Communications research in Sweden. IEEE Trans. Commun. 1974 t. COM-22 nr 9, s. 1493-1498.

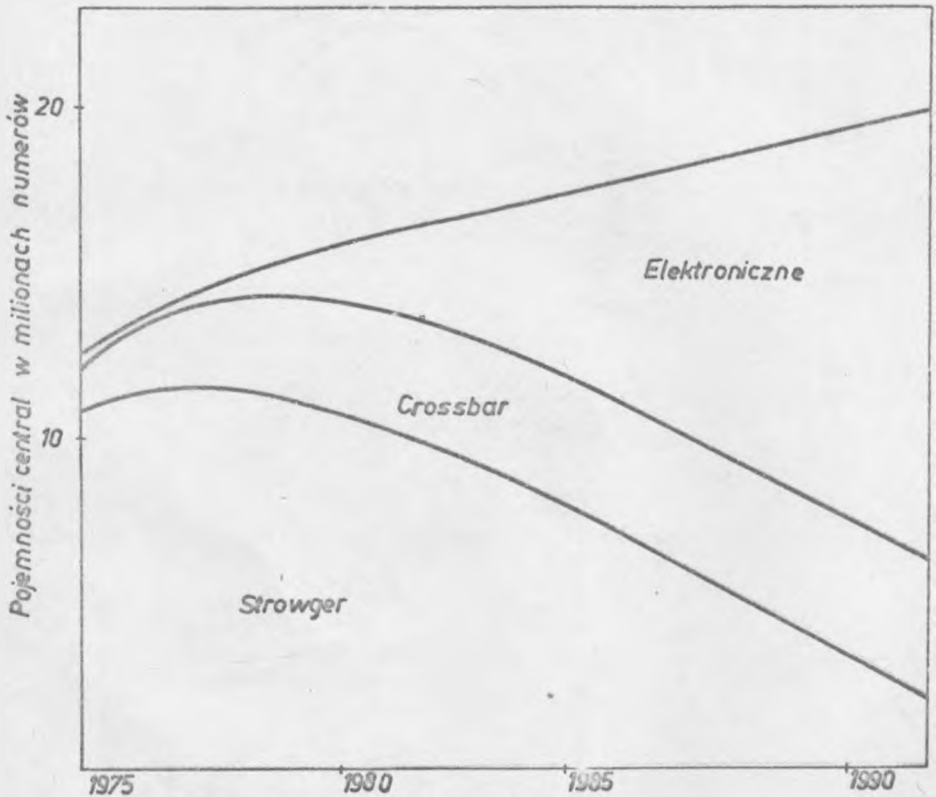
24. Ericsson T., Johansson V.: Digital transmission over coaxial cables. Ericsson Tech. 1971 t. 27 nr 4, s. 191-272.
25. Ericsson T., Johansson V.J.S.: High - capacity digital line links. IEEE Trans. Commun. 1973 t. COM-21 nr 6, s. 680-686.
26. Simpson W.G.: A step up in digital capacity. Post Office Telecommun. J. 1974 t. 26 nr 3, ss. 8-9.
27. High capacity p.c.m. system. Wireless World 1975 t. 81 nr 1470, s. 92.
28. Allen S.G.: A comparison of P.C.M. and F.D.M.-F.M. Microwave Radio Systems. Radio electron. Eng. 1971 t. 41, nr 5, s. 195-205.
29. Crooks K.R.: Exchange modernisation - steering towards the decision. Post Office Telecommun. J. 1974 t. 26 nr 3.
30. Slow growth in demand for digital services. Electron. Eng. 1974 t. 46 nr 562, s. 9.
31. Gili A., Paladin G.: Present status and expected development of the Italian Telecommunication Network. IEEE Trans. Commun. 1974 t. COM-22 nr 9, s. 1469-1479.
32. Perucca G.: An experimental digital switching system. CSELT Rapporti Tecnici 1974 t. 2 nr 3, s. 9-19.
33. Boxall F.S.: Digital transmission via microwave radio. Telecommunications 1972 t. 6 nr 4, s. 17-61, nr 5, s. 41-54.
34. Collier M.E.: High-capacity transmission systems for toll networks. IEEE Trans. Commun. 1974 t. COM-22 nr 11. s. 1881-1885.

35. Gusjatinskij I. A. , Pirogov A. A. : Radiosvjaz' i radioveščanie. Moskva: Sovetskoe Radio 1974, s. 1974.
36. Pedersen G.V.C. : Trends in the development of telecommunications. Post Office elect. Eng. J. 1975 nr 4, s. 194-195.
37. Economic and technical aspects of the choice of transmission systems. Geneva: ITU 1969.
38. Chang R.W. , Freeny S.L. : Hybrid digital transmission systems - Part 1: Joint optimization of analog and digital repeaters . Bell Syst. tech. J. 1968 t. 47 nr 8, s. 1663-1686.
39. Ferguson R. : Optical fibre transmission - a commercial technology. Canadian Electron. Eng. 1974 t. 18 nr 12, s. 18.
40. Fibre losses reduced to new low. Canadian Electron. Eng. 1974 t. 18 nr 12, s. 19-20.
41. Mathieu R. , Payant A. : Une nouvelle paire coaxiale de 3,7/13,5 mm pour les transmissions à très grand nombre de voies. Cables et Transm. 1974 t. 28 nr 1, s. 75-94.
42. Vizel' A. A. : Radiolinii milimetrovogo diapazona. Zarub. Radioelektron. 1975 nr 3, s. 49-53.



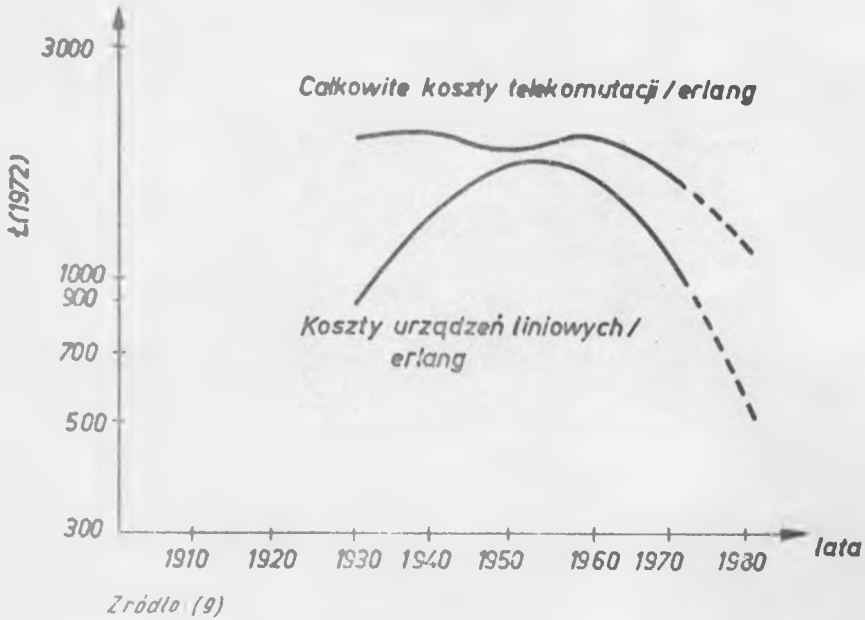
Źródło (20)

Rys. 1. Porównanie rocznych kosztów wykorzystania brytyjskiej sieci międzymiastowej w 1986 roku



Źródło: (29)

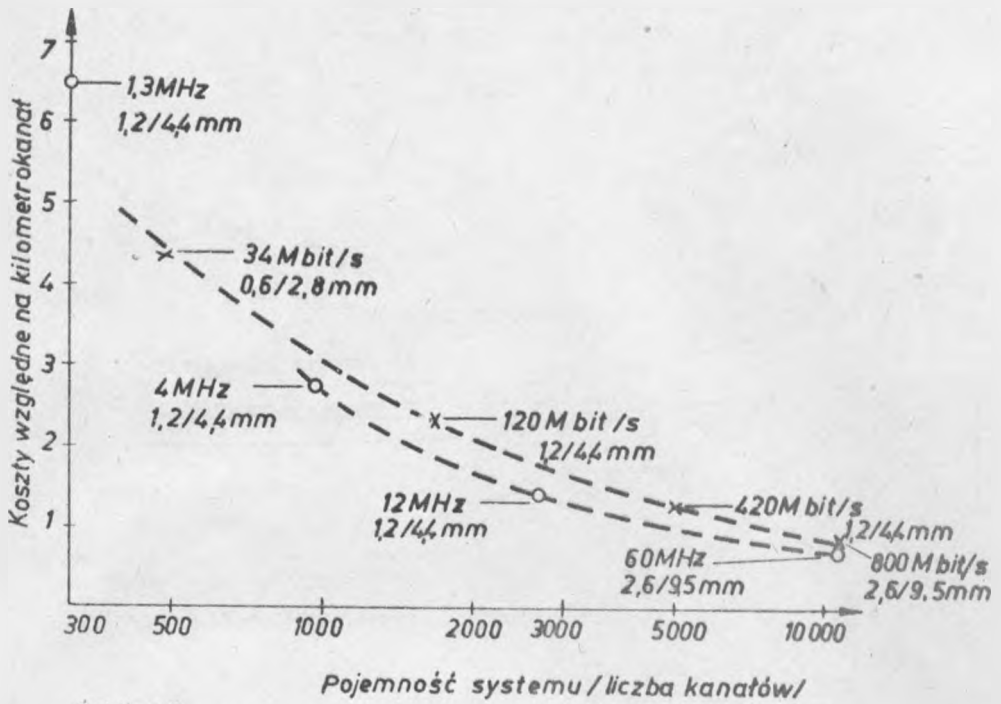
Rys. 2. Przewidywane zmiany w strukturze użytkowania różnych systemów central telefonicznych w Wielkiej Brytanii



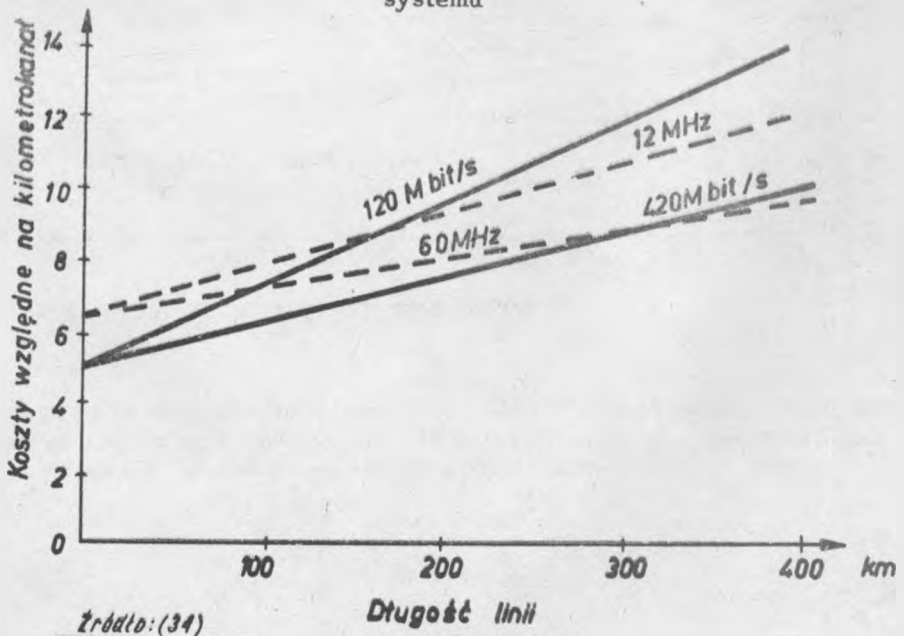
Rys. 3. Koszty na jednostkę zrealizowanego *rafiku /dla sieci brytyjskiej/



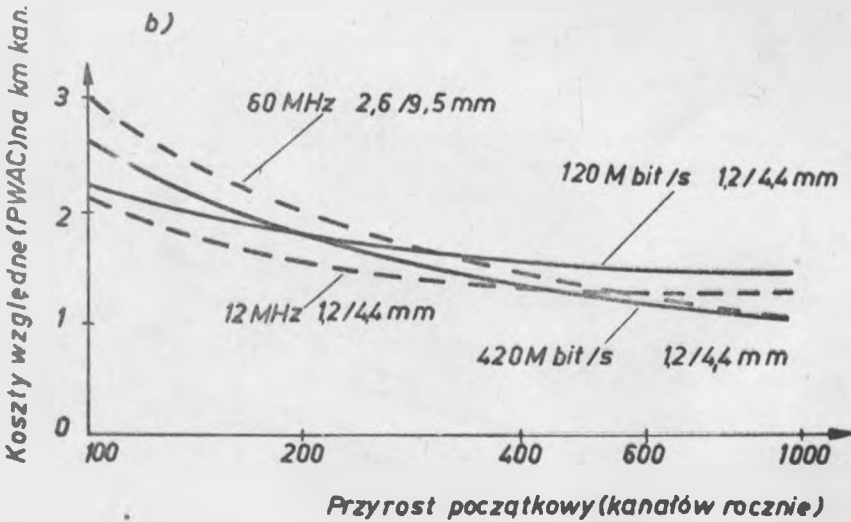
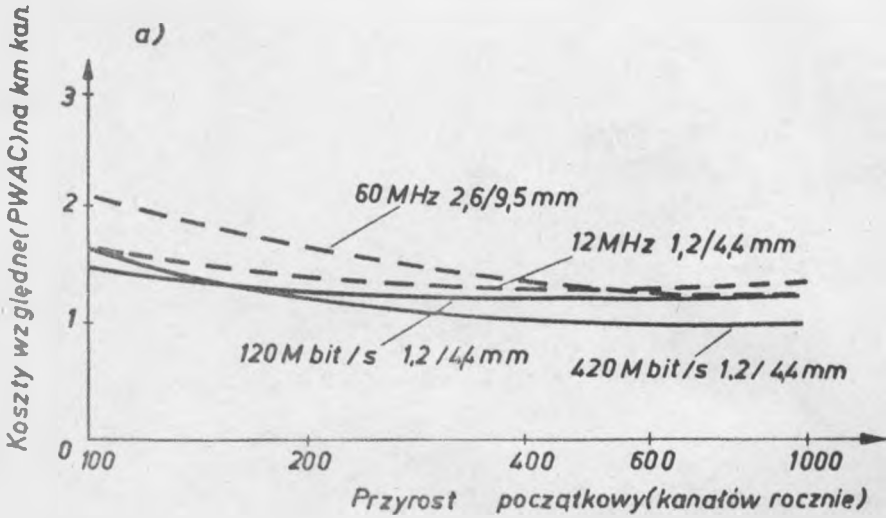
Rys. 3a. Struktura nakładów na centrale i systemy teletransmisyjne



Rys. 4. Względne koszty inwestycyjne, przypadające na jeden kanał dla analogowych i cyfrowych systemów kablowych w zależności od krotności systemu

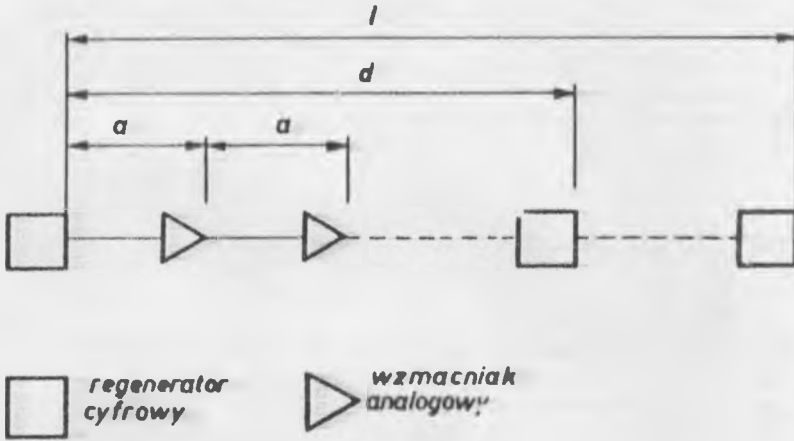


Rys. 5. Względne koszty inwestycyjne przypadające na jeden kanał dla analogowych i cyfrowych systemów kablowych w funkcji długości drogi



Źródło: (34)

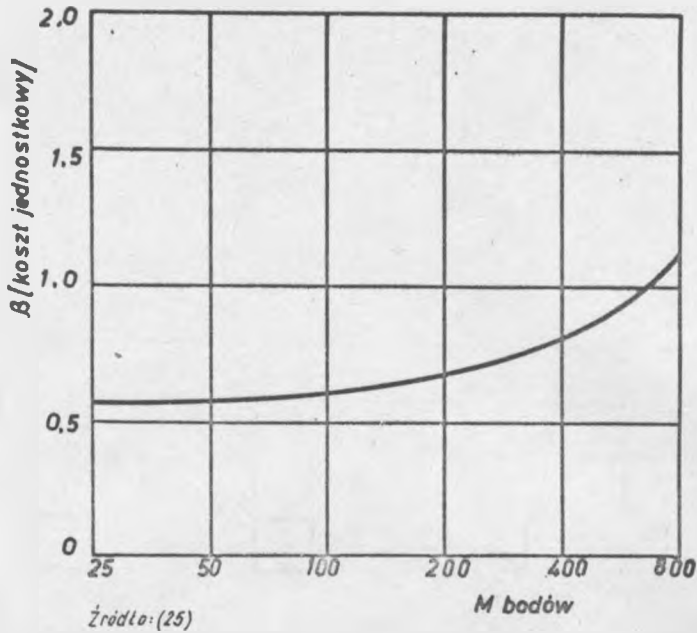
Rys. 6. Względne koszty PWAC wraz z kosztami multipleksersa i sygnalizacji przypadające na jeden kanał dla analogowych i cyfrowych systemów współosiowych dla odległości: a/ 80 km, b/ 300 km



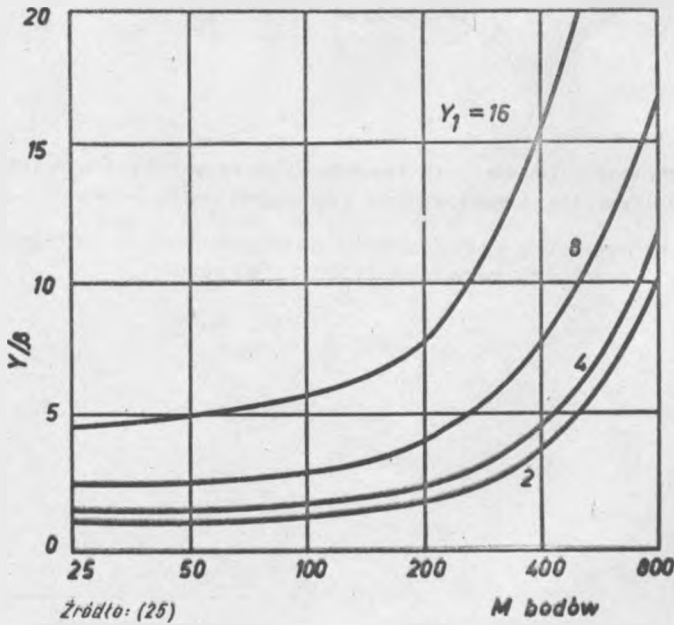
Zródło: (24)

Rys. 7. Schemat cyfrowej linii transmisyjnej, w której wykorzystywane są wzmacniaki analogowe i regeneratory cyfrowe

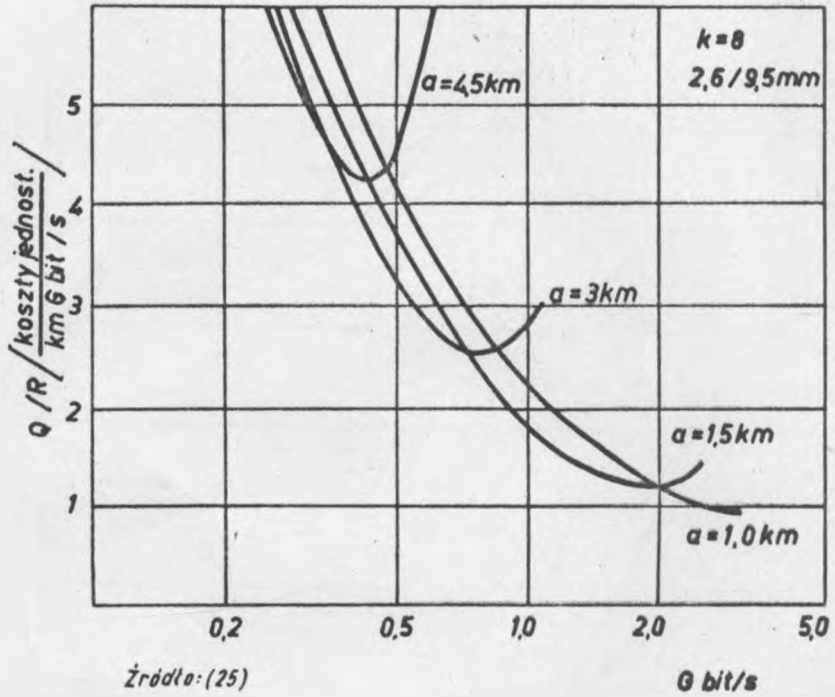
a - odległość pomiędzy wzmacniakami analogowymi, d - odległość pomiędzy regeneratorami cyfrowymi



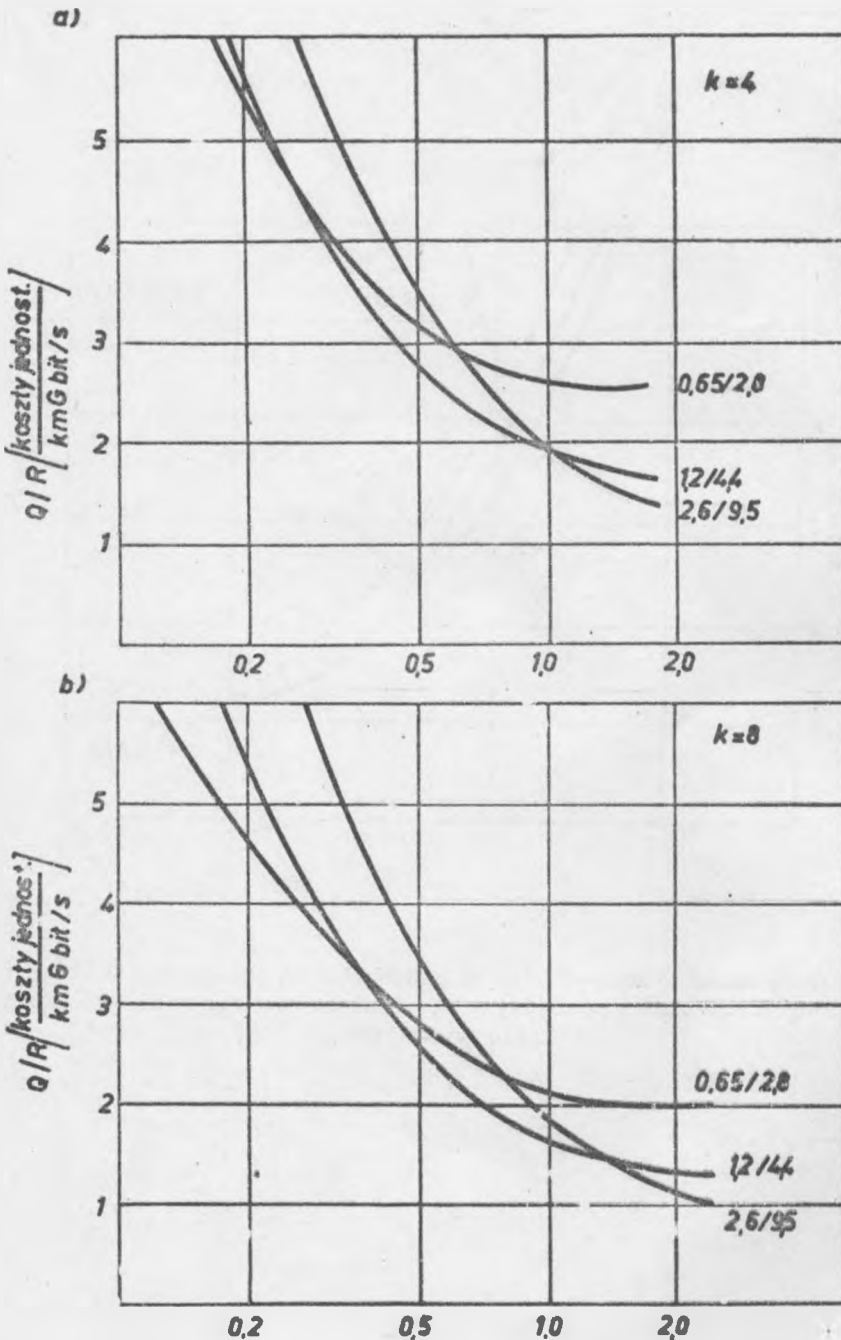
Rys. 8. Koszt wzmacniaka analogowego w zależności od prędkości bodowej



Rys. 8a. Stosunek kosztu regeneratora cyfrowego do kosztu wzmacniaka analogowego w zależności od prędkości bodowej

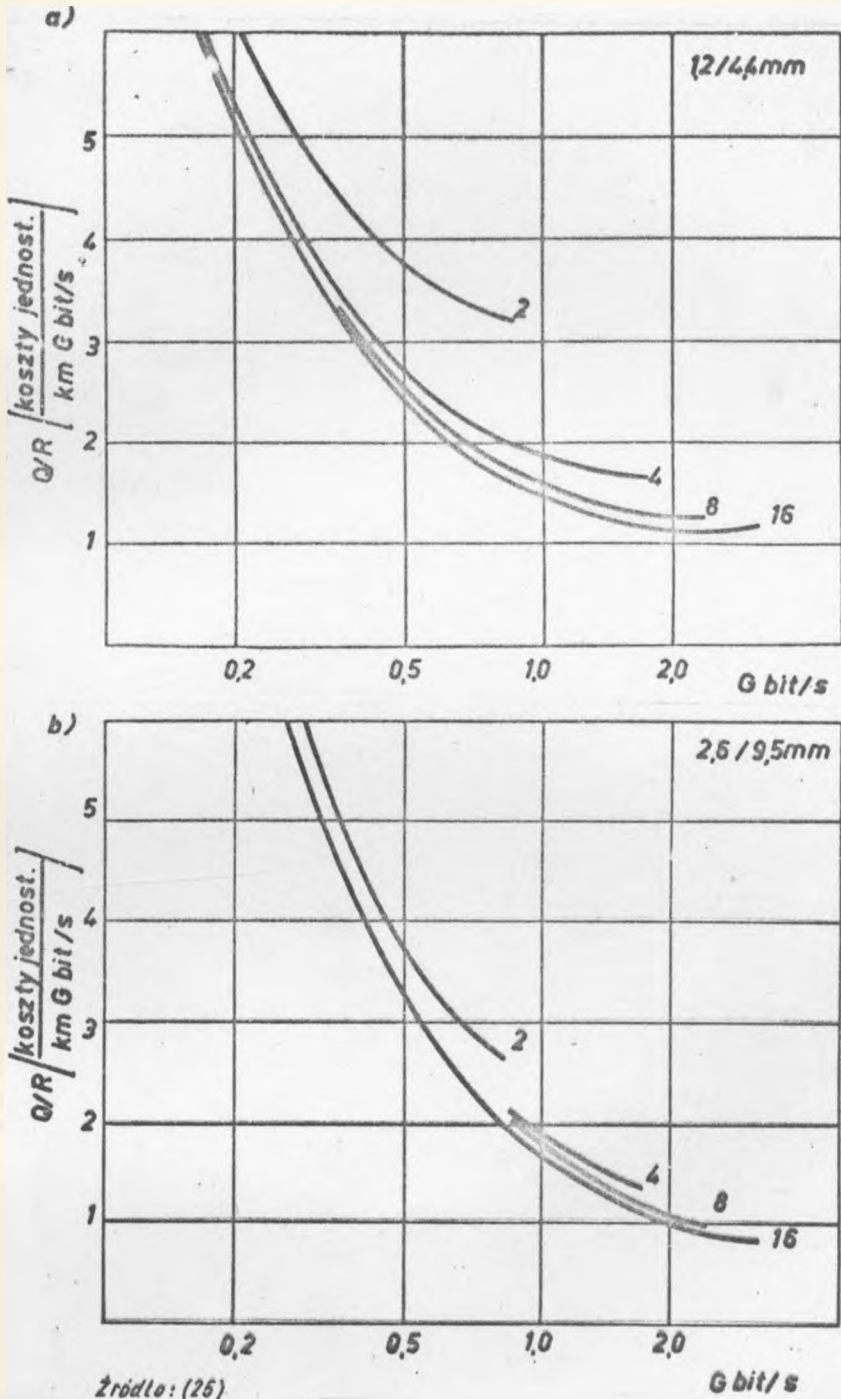


Rys. 9. Efektywność systemu Q/R w zależności od przepływności binarnej dla określonych odległości pomiędzy wzmacniakami analogowymi, dla kabla normalnowymiarowego



Źródło: (25)

Rys. 10. Efektywność systemu Q/R w zależności od przepływności binarnej /odległość pomiędzy wzmacniakami - zoptymalizowana/ dla trzech typów kabli oraz dla dwóch różnych ilości poziomów sygnału: a/ 4, b/ 8



Rys. 11. Efektywność systemu Q/R w zależności od przepływności binarnej dla różnych liczb poziomów sygnału, dla dwóch rodzajów kabli: a/ małowymiarowego - 1,2/4,4 mm, b/ normalnowymiarowego - 2,6/9,5 mm

