



INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

Zakład Teletransmisji i Technik Optycznych (Z-14)

Analiza nowych rozwiązań technicznych
szerokopasmowych światłowodowych sieci
dostępowych FTTH i FTTx
oraz współzależności między inwestycjami w sieci tego
typu, a regulacjami prawnymi

Praca Nr 14300017

Warszawa, grudzień 2007

Analiza nowych rozwiązań technicznych szerokopasmowych światłowodowych sieci dostępowych FTTH i FTTx oraz współzależności między inwestycjami w sieci tego typu, a regulacjami prawnymi

Praca Nr 14300017

Słowa kluczowe: sieci dostępowe, dostęp szerokopasmowy, sieci światłowodowe, FTTH, FTTC, PON, włókno światłowodowe, włókno mikrostrukturalne, kabel światłowodowy, regulacje telekomunikacyjne, sieć telefoniczna

Kierownik pracy: dr inż. Krzysztof Borzycki

Wykonawcy pracy: dr inż. Krzysztof Borzycki

mgr inż. Olga Bolszo

st. tnk. Jerzy Molga

mgr inż. Mariusz Zdanowicz

Kierownik zakładu: doc. dr hab. Marian Marciniak

Spis treści

1. Wprowadzenie	3
1.1. Dostęp szerokopasmowy – niezbędna infrastruktura	3
1.2. Punkt wyjścia i uwarunkowania ekonomiczne	3
2. Motywy budowy sieci FTTx.....	6
2.1. Nowe usługi w sieciach szerokopasmowych	6
2.2. Dostęp dla usług nowej generacji	7
2.3. Technologie dostępu szerokopasmowego.....	8
2.4. Ograniczenia wprowadzane przez sieć telefoniczną	10
2.5. Szerokopasmowe sieci dostępowe	13
3. Rozwiązania techniczne sieci FTTx.....	16
3.1. Definicje	16
3.2. Sieci FTTH	18
3.3. Sieci FTTB	21
3.4. Sieci FTTN / FTTC	22
3.5. Niestabilność technologiczna	23
3.6. Włókna i kable światłowodowe dla sieci FTTx	24
3.6.1. Wymagania i warunki pracy.....	24
3.6.2. Włókna jednomodowe tolerujące zginanie	25
3.6.3. Kable światłowodowe dla sieci abonenckich	29
3.6.4. Włókna i kable POF	30
4. Uwarunkowania regulacyjne i społeczne budowy sieci FTTx.....	32
4.1. Polityka regulacyjna UE a inwestycje	32
4.2. Dostęp dla operatorów alternatywnych w sieciach FTTx	37
4.3. Wykluczenie cyfrowe.....	38
4.4. Radiofobia	39
5. Perspektywy budowy sieci FTTx w kraju	39
6. Literatura.....	40

1. Wprowadzenie

1.1. Dostęp szerokopasmowy – niezbędna infrastruktura

Nowoczesne sieci telekomunikacyjne stanowią obecnie kluczowy element infrastruktury technicznej każdego państwa budującego gospodarkę opartą na wiedzy oraz jeden z podstawowych atutów konkurencyjnych w epoce globalizacji i informatyzacji.

Większość innych rodzajów narodowej infrastruktury technicznej, takich jak sieci drogowe, kolejowe, energetyczne, porty, lotniska itp. powstawała przez długi okres czasu (25-100 lat) w oparciu o względnie niezmiennie zasady i stopniowo ewoluujące technologie. Sieci telekomunikacyjne, a zwłaszcza teleinformatyczne wyróżniają się na tym tle dużą zmiennością standardów technicznych i szybkim starzeniem moralnym większości inwestycji poczynionych wcześniej. Przykłady przestarzałych moralnie technologii wycofanych lub wycofywanych niedawno z branży telekomunikacyjnej to m.in. analogowe sieci międzymiastowe i miejskie z kabli współosiowych, analogowe systemy komórkowe, cyfrowe systemy komutacyjne z podziałem czasowym, sieci teleinformatyczne z kabli współosiowych i sieci ISDN.

W początkowej fazie podobnego „skoku” technologicznego znajdują się sieci dostępowe, budowane przed około 120 lat (w Polsce od 1881 r.) przeważnie z kabli zawierających pary izolowanych przewodów miedzianych $\varnothing 0,4-1,0$ mm i przewidziane dla dostarczania analogowych usług głosowych o użytecznym paśmie częstotliwości zaledwie 3,4 kHz, przy długości przyłącza abonenckiego najczęściej do 10-15 km. Infrastruktura tego typu, kosztowna w budowie i utrzymaniu, ale trwała (30-80 lat) i względnie niezawodna jest już przestarzała moralnie, gdyż zmienia się zestaw usług oczekiwanych przez klientów.

Miejsce usług głosowych, telefaksów, dostępu wdzwanianego i usług ISDN-BR o paśmie częstotliwości nie przekraczającym 100 kHz, z okresowym jedynie wykorzystaniem łącza zajmuje dostęp szerokopasmowy do internetu, cyfrowe usługi wizyjne (z HDTV włącznie), transfer plików, głównie metodą P2P, przy objętości pojedynczego pliku z filmem fabularnym bliskiej 1 GB, gry sieciowe i inne usługi cyfrowe wymagające posiadania łącza stałego o przepływności do abonenta w granicach 1-100 Mbit/s. Dla rozpowszechnienia się i sukcesu handlowego usług internetowych HDTV o przepływności kanału w granicach 10-25 Mbit/s będzie niezbędne wprowadzenie po 2010 r. jako standardu dostępu abonenckiego o przepływności 50-100 Mbit/s.

Transmisja o tej szybkości po kablach telefonicznych z parami przewodów miedzianych jest możliwa przy wykorzystaniu standardów VDSL2+ (52 Mbit/s) i LAN 100BaseT (100 Mbit/s). Niestety, jest to możliwe przy długości łącza nie przekraczającej 100-500 m, zależnie od przekroju żył, poziomu zakłóceń w sieci i jakości kabla. Zasadnicze zwiększenie przepływności łączy abonenckich wymaga więc radykalnego ich skrócenia lub zupełnej eliminacji kabli miedzianych i wprowadzenia w ich miejsce kabli światłowodowych. Oba rozwiązania oznaczają radykalną zmianę zasad budowy sieci dostępowej oraz wymianę większości jej elementów na nowe, a w związku z tym szybką utratę przydatności i wartości handlowej przez infrastrukturę tradycyjną.

Dla kraju takiego jak Polska, nie posiadającego kompletnej sieci stałej z kabli miedzianych, w którym gęstość linii abonenckich wynosi zaledwie 30% zamiast typowej dla krajów rozwiniętych 50-70%, ta konieczność ponownej budowy sieci dostępowej zgodnej z nowymi wymaganiami stanowi unikalną okazję do „przeskoczenia” zapóźnień inwestycyjnych i wyrównania punktu startu. Doświadczenie z wielu dziedzin gospodarki uczy, że okazje tego rodzaju pojawiają się bardzo rzadko i wymagają zdecydowanej reakcji.

1.2. Punkt wyjścia i uwarunkowania ekonomiczne

Stopień rozwoju i dostępności szerokopasmowych usług telekomunikacyjnych w kraju jest obecnie zdecydowanie niezadowolający, odzwierciedlając niską zamożność społeczeństwa. Dane statystyczne publikowane przez OECD [1], przedstawione w tabeli 1 oraz na rys. 1-2,

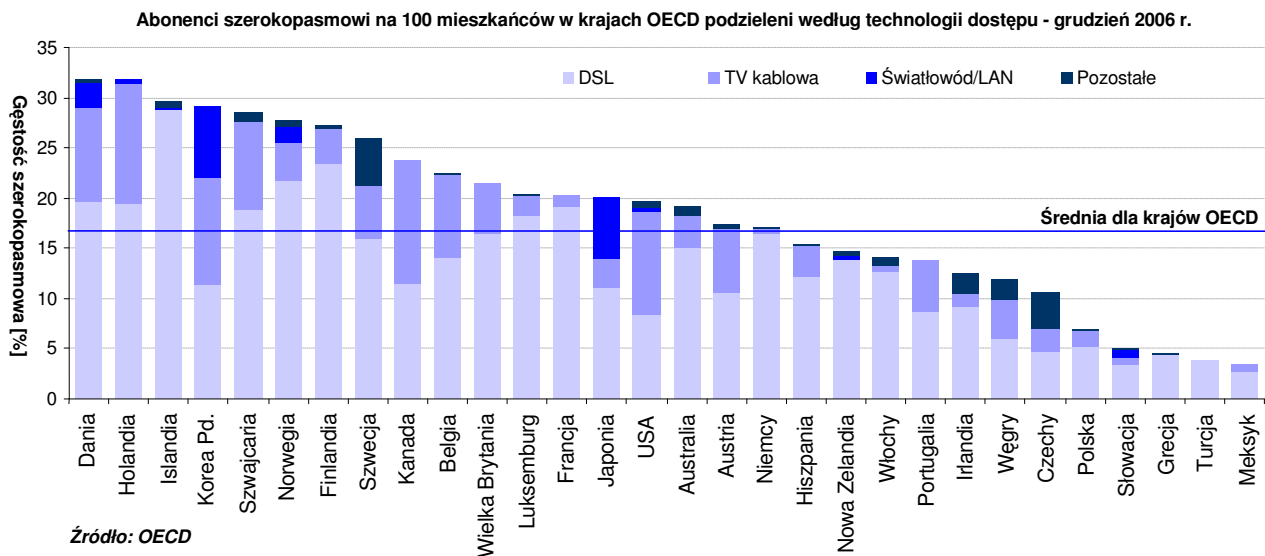
wyraźnie sytuują Polskę oraz inne kraje postkomunistyczne i rozwijające się razem w najniższej grupie. To wskazuje, że podstawową przyczyną przewagi zamożniejszych państw OECD jest wyższy poziom nakładów inwestycyjnych, które doprowadziły do zbudowania obecnie eksploatowanej i adaptowanej dla dostępu szerokopasmowej infrastruktury.

Tabela 1 Gęstości abonentów szerokopasmowych i dochód narodowy w krajach OECD.

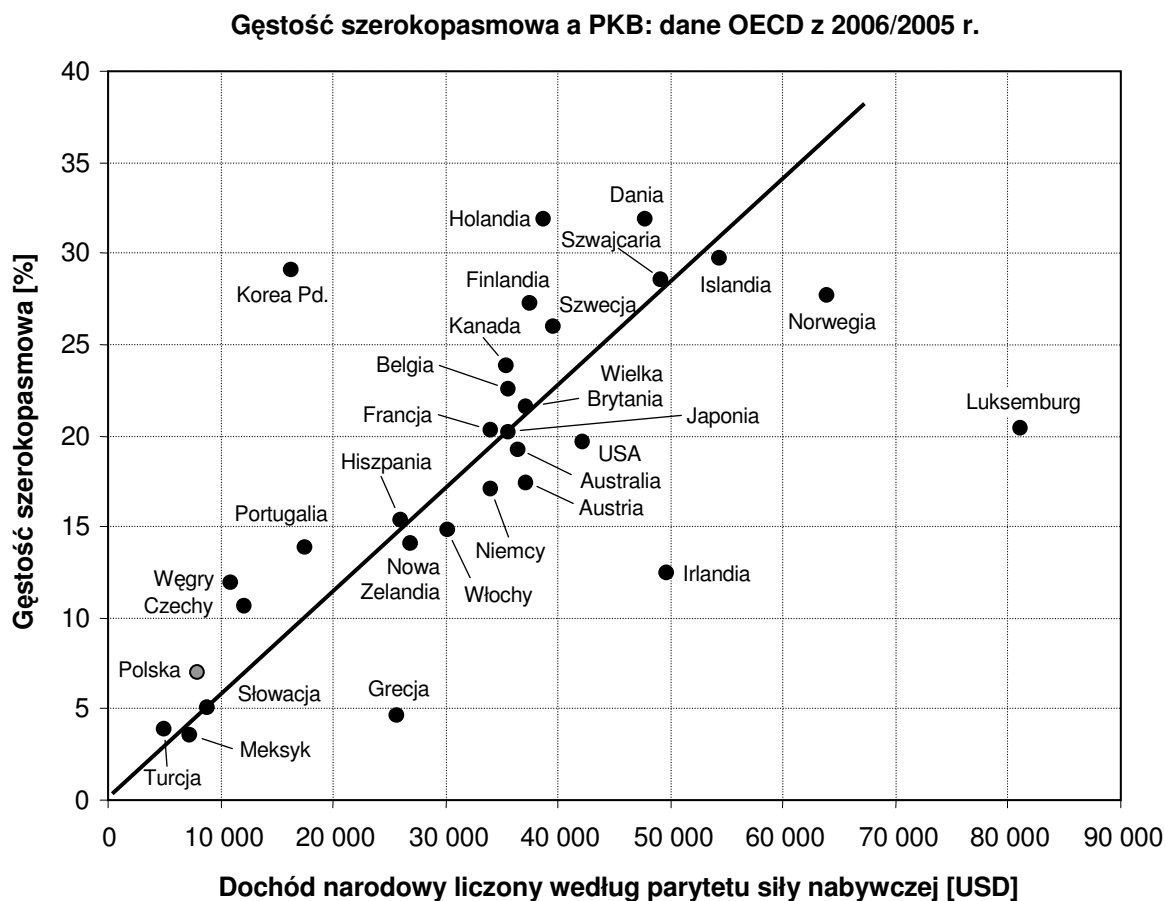
Państwo	Gęstość abonentów szerokopasmowych stałych w grudniu 2006 r. [%]	PKB na osobę według parytetu siły nabywczej w 2005 r. [USD]
Dania	31,9	47 732
Holandia	31,8	38 739
Islandia	29,7	54 322
Korea Południowa	29,1	16 309
Szwajcaria	28,5	49 154
Norwegia	27,7	63 961
Finlandia	27,2	37 454
Szwecja	26,0	39 591
Kanada	23,8	35 479
Belgia	22,5	35 588
Wielka Brytania	21,6	37 207
Luksemburg	20,4	81 061
Francja	20,3	34 090
Japonia	20,2	35 606
USA	19,6	42 177
Australia	19,2	36 481
Austria	17,3	37 248
Niemcy	17,1	33 969
Hiszpania	15,3	26 080
Włochy	14,8	30 267
Nowa Zelandia	14,0	26 881
Portugalia	13,8	17 590
Irlandia	12,5	49 629
Węgry	11,9	10 941
Czechy	10,6	12 119
Polska	6,9	7 916
Słowacja	5,1	8 811
Grecja	4,6	25 733
Turcja	3,8	5 045
Meksyk	3,5	7 383
OECD - średnia	16,9	

Uwagi:

- Za dostęp szerokopasmowy uznano łącze o przepływności minimum 256 kbit/s do abonenta.
- Liczby w tabeli są sumą danych dla wszystkich technologii dostępu stałego.
- Według raportu UKE [2] gęstość abonentów szerokopasmowych (144 kbit/s) wynosiła 5,23%.



Rys. 1. Porównanie gęstości abonentów szerokopasmowych w krajach OECD z podziałem na używane technologie dostępu.



Rys. 2. Współzależność gęstości abonentów szerokopasmowych i realnego dochodu narodowego na jednego mieszkańca w krajach OECD.

Istnienie prawie proporcjonalnej zależności między poziomem dochodu narodowego, a liczbą użytkowników nowoczesnych i dość drogiej usług teleinformatycznych (rys. 2) jest oczywiste. Kiedy w zglobalizowanej gospodarce są dostępne wszędzie te same technologie i sprzęt po zbliżonych cenach, a konsumenci i firmy wydają podobną część wolnych środków

finansowych na usługi danego rodzaju, poziom dochodu narodowego określa wprost wydatki konsumentów i biznesu na usługi szerokopasmowe i związane z nimi (handel internetowy) oraz przychody operatorów budujących sieci. Rys. 2 ujawnia kilka odstępstw od tej reguły:

- Wyższą - prócz Słowacji gęstość szerokopasmową w nowych krajach UE, także w Polsce, co jest interesujące wobec narzekania na politykę cenową i inwestycyjną TP S.A.
- Wyjątkowe rozpowszechnienie usług szerokopasmowych w niezbyt zamożnej Korei Południowej, która zdecydowanie wyprzedziła USA, Japonię i Niemcy.
- Zapóźnienie Irlandii, Norwegii i Grecji – ta ostatnia wypada gorzej od Polski i Słowacji.
- Dość niską gęstość dostępu szerokopasmowego w USA, kraju tradycyjnie bardzo z informatyzowanym i stanowiącym chłonny rynek dla nowinek technicznych.

Widać też nieskuteczność „strategii lizbońskiej” UE, mającej uczynić gospodarkę unijną „najbardziej konkurencyjną na świecie”. Po upływie 2/3 planowanego czasu realizacji (2000-2011) konkurencyjność krajów UE w rozpatrywanej tu dziedzinie nie odbiega od średniej dla innych państw OECD. Stawiane za wzór sukcesy krajów północnej Europy w budowie społeczeństwa informatycznego wynikają z ich ogólnej zamożności.

Podziw budzi natomiast program budowy sieci szerokopasmowych w Korei Południowej, zwłaszcza w porównaniu do osiągnięć członków UE o podobnej zamożności – Grecji i Portugalii. Można spotkać pogląd, że wyjątkowe nasycenie rynku koreańskiego jest związane z traktowaniem go przez miejscowe koncerny elektroniczne jako salonu wystawowego i poligonu doświadczalnego. Na pewno, ale dlaczego podobnych wyników nie ma w Japonii i USA?

2. Motywy budowy sieci FTTx

2.1. Nowe usługi w sieciach szerokopasmowych

Szerokopasmowy dostęp stały zaowocował pojawieniem się wielu usług konsumenckich wcześniej niemożliwych lub zupełnie nieopłacalnych. Do najważniejszych z nich należą:

1. Internetowe usługi telewizyjne (IPTV), włącznie z HDTV; uważane przez operatorów telekomunikacyjnych za konkurencję dla telewizji naziemnej, kablowej i satelitarnej oraz wypożyczalni dysków DVD. Przechodzenie nadawców na standard cyfrowy daje okazję dla wprowadzenia alternatywnych metod dystrybucji programów i nowych kanałów telewizyjnych dla węższych grup odbiorców, rozsyłanych wyłącznie przez internet.
2. Interaktywne gry sieciowe dla dużych grup (MM-RPG), np. World of Warcraft.
3. Wizjotelefonii internetowa, np. Skype Video.
4. Radiofonia internetowa.
5. Zdecentralizowana wymiana plików między użytkownikami sieci (*peer-to-peer*, p2p). Ruch p2p to obecnie 30-70% transferu danych w sieci i szybko rośnie z powodu wymiany plików wideo w formacie .divx (500-1000 MB dla filmu o standardowej rozdzielczości i długości 90 minut), zastępujących pliki audio .mp3 (2-20 MB) w roli dominującej treści.
6. Dystrybucja oprogramowania przez Internet, włącznie z obrazami ISO kompletnych dysków instalacyjnych (do 3-4 GB), a także masowe rozsyłanie uaktualnień oprogramowania - systemów operacyjnych, programów antywirusowych, odtwarzaczy multimedialne, przeglądarek internetowych. Często wykorzystuje się tu technologię p2p.
7. Serwisy wymiany treści multimedialnych (audio, foto, wideo) od użytkowników, np. YouTube, Flickr, Galeria Interia.
8. Internetowa sprzedaż plików audio i wideo (mp3.pl, melo.pl, iTunes, amazon.com).
9. Serwisy społecznościowe (MySpace, Facebook, Grono) i „światy wirtualne” (SecondLife).
10. Dostęp do bibliotek elektronicznych, w tym filmów, książek i dokumentów, encyklopedii (Wikipedia, Wikimedia) i serwisów edukacyjnych.

11. Tworzenie i utrzymywanie kopii rezerwowych danych użytkownika na zdalnych serwerach ISP [2]; oferowane pojemności dochodzą do 100 GB.
12. Poczta elektroniczna z załącznikami o dużych rozmiarach i utrzymywanie skrzynek pocztowych na wyniesionych serwerach (Gmail – do 3 GB).

Wymagane parametry łącza abonenckiego: przepływność, dobowy transfer danych i opóźnienia transmisyjne stawiane przez poszczególne usługi są bardzo różne, ale dla pełnego zaspokojenia potrzeb wymagającego gospodarstwa domowego należy spełnić wszystkie.

Niezbędna przepływność łącza jest dyktowana przez usługi wizyjne, osiągając 2-6 Mbit/s dla każdego odbieranego sygnału SDTV (576x720 pikseli lub podobnej) o jakości identycznej z telewizją naziemną i 10-20 Mbit/s dla sygnału HDTV 1080p (1080x1920 pikseli). Usługi wizyjne rozsiewcze są też wrażliwe na zmienne opóźnienia transmisyjne, a buforowanie sygnału bardzo uciążliwe dla użytkownika. W grach sieciowych MM-RPG nie dopuszcza się przerw i opóźnień, gdyż czas reakcji uczestnika decyduje o wyniku.

Usługi (3-4) mają niższą przepływność strumienia danych: 16-200 kbit/s, ale również wymagając transmisji w czasie rzeczywistym.

Odmienne, usługi (5-12) potrzebują niezawodnego transferu danych o wielkiej objętości, a tolerują zmienną szybkość transmisji i opóźnienia. Miesięczny transfer danych generowany przez aplikacje p2p oraz telepracę taką jak wymiana grafiki komputerowej, edycja filmów czy skład czasopism w skrajnych przypadkach osiąga 100-1000 GB. Użytkownicy generujący taki ruch są przez wielu ISP odłączani lub przepływności ich łączy redukowane, nawet jeśli ISP oficjalnie deklaruje brak limitów transferu [3].

Ściągnięcie pliku o objętości 6 GB, która odpowiada zawartości dysku DVD z filmem fabularnym w ciągu 1 h lub 2 h wymaga łącza o przepływności do abonenta odpowiednio 13,3 Mbit/s i 6,7 Mbit/s, podobnej jak dla usług wizyjnych strumieniowych.

Dystrybucja programów TV wiąże się z przekazem podobnej objętości danych. Przesyłanie programu TV o przepływności 3 Mbit/s przez 4,5 h dziennie - średni czas oglądania TV deklarowany w Polsce w 2006 r. oznacza miesięczny transfer równy 186 GB; przy oglądaniu programu HDTV 12 Mbit/s w identycznym wymiarze czasu już 746 GB.

Usługi telewizyjne polegają na rozsyłaniu ograniczonej liczby identycznych strumieni danych do dużej liczby użytkowników; operator dokonuje grupowania ruchu wizyjnego na krawędzi sieci i silnie obciążone są tylko segmenty bliskie użytkownikom końcowym. Zainteresowanie klientów usługami „video na życzenie”, generującym ruch nie poddający się grupowaniu pozostaje na razie niewielkie.

Nie ma tej możliwości w przypadku p2p i innych zastosowań z pp. 5-11, z wyjątkiem częściowo p. 1, gdyż ruch do i od każdego użytkownika jest unikalny i często wymieniany z użytkownikami oddalonymi geograficznie. Ruch ten silnie obciąża sieć szkieletową i połączenia międzyoperatorskie, a nie przynosi przychodów za dodatkowe usługi. Powyższe tłumaczy wyjątkową skłonność ISP do blokowania i limitowania ruchu p2p oraz żądań, by firmy świadczące usługi sieciowe związane z transferem dużych ilości danych, np. Google lub Joost ponosiły część kosztów rozbudowy ich sieci.

2.2. Dostęp dla usług nowej generacji

Przy szacowaniu przepływności łącza abonenckiego trzeba uwzględnić, że gospodarstwo domowe może posiadać szereg urządzeń przyłączonych do sieci takich jak PC, laptop/PDA, telewizor, cyfrowy rejestrator TV i zestaw audio oraz korzystać z wielu usług równocześnie. Parametr ten można oszacować sumując strumienie poszczególnych usług jak niżej:

Tabela 2 Zestawienie przepływności strumieni usług dla użytkowników mieszkaniowych

Usługa	Liczba kanałów	Przepływność kanału	Przepływność łączna
---	---	Mbit/s	Mbit/s
Transmisja programu HDTV w czasie rzeczywistym	2	12	24
Ściąganie dużych plików (p2p, zakup multimediiów)	2	15	30
Radio internetowe	2	0,5	1
Przeglądanie sieci, e-mail	1	10	10
Gra sieciowa MM-RPG	1	5	5
Telepraca	1	10	10
Zdalne kopie danych i multimediiów	1	10	10
Pozostałe (telefon, uaktualnianie systemu itp.)	2	2	4
Razem – szczytowe obciążenie łącza do abonenta			94

Pełne zaspokojenie potrzeb telekomunikacyjnych, zawodowych i rozrywkowych dużego i zamożnego gospodarstwa domowego w oparciu o rozwiązania wprowadzane obecnie wymaga łącza stałego o trwałej przepływności 50-100 Mbit/s. Większość klientów nie jest zwykle, choćby z powodu ograniczonych zasobów finansowych i stylu życia, zainteresowana najbardziej wydajną i kosztowną opcją dostępu, jednak infrastruktura telekomunikacyjna powinna być dostosowana do jej zaoferowania każdemu.

Nowe typy usług, na przykład telewizja cyfrowa porównywalna ze standardem kinowym 4k (4096 x 2160), usługi „tele-obecności”, gry połączone z transmisją wizyjną HDTV bądź obrazem trójwymiarowym mogą wymagać łącza domowego nawet 500 Mbit/s. Scenariusz taki jest możliwy do masowej realizacji przed 2020 r.

W kwietniu 2005 r. City Telecom (HK) Ltd. z Hongkongu wprowadził do oferty symetryczne łącza FTTH 1000 Mbit/s, wcześniej w listopadzie 2004 r. NTT wprowadził analogiczną usługę w Japonii, używając technologii GE-PON, za opłatą 5500 JPY (\approx 125 PLN) miesięcznie.

Nieco trudniejsze jest oszacowanie przepływności łącza w kierunku zwrotnym. Spośród usług z tabeli 2, ruch prawie symetryczny generują: p2p, telepraca i wymiana danych użytkownika do składowania na serwerach ISP lub portalu. Proporcje zależą zasadniczo od sposobu korzystania z sieci. Ruch generowany przez użytkownika p2p nie abonującego usług telewizyjnych i mało „surfującego” po internecie jest prawie symetryczny, natomiast amator TV internetowej i serwisów płatnych praktycznie tylko ściąga dane z sieci.

Koszt obsługi klienta pierwszego typu jest dla operatora zdecydowanie wyższy z powodu większego obciążenia sieci szkieletowej przy braku wpływów za usługi dodatkowe, stąd stopień symetrii łącza wydaje się ważnym kryterium różnicowania ofert i cen dostępu.

Powstaje pytanie, które z technologii dostępu abonenckiego mogą te wymagania spełnić i są warte wprowadzenia jako standard dla budowy sieci dostępowej nowej generacji.

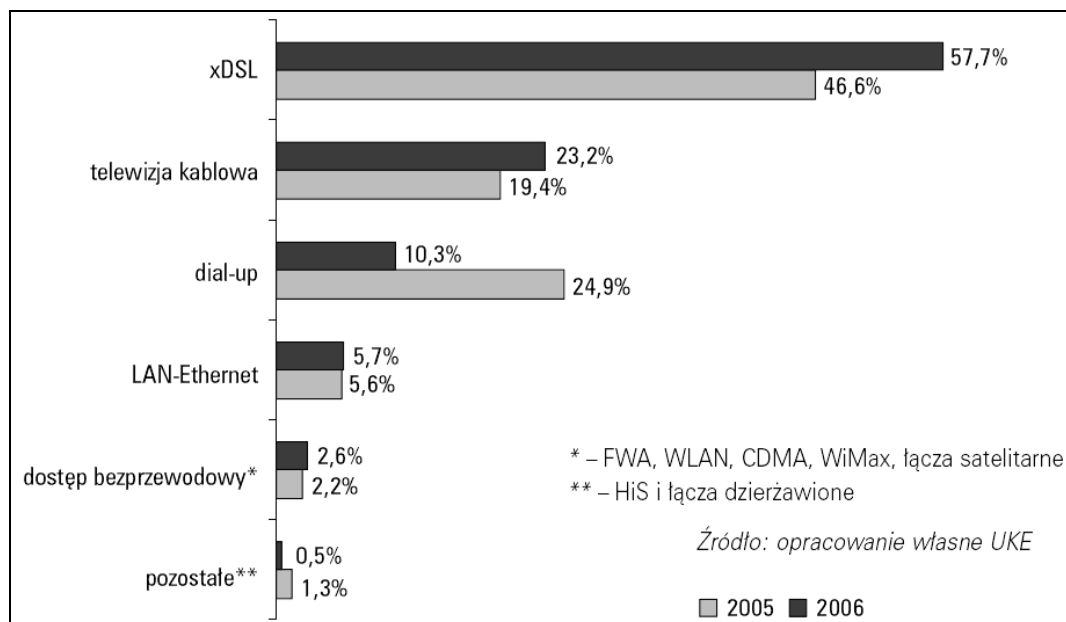
2.3. Technologie dostępu szerokopasmowego

Szerokopasmowy dostęp dla abonentów mieszkaniowych i małych firm (ang. *Small Office / Home Office* - SOHO) może być realizowany przy użyciu wielu odmiennych technologii:

- Sieci telefonicznej z kabli miedzianych i modemów DSL (*Digital Subscriber Line*),
- Sieci telewizji kablowej zbudowanych z kabli współosiowych,
- Sieci LAN budowanych z kabli symetrycznych w budynkach wielorodzinnych,
- Sieci światłowodowo-miedzianych (*Fiber To The Curb/Building* – FTTC/FTTB),

- Sieci światłowodowych (*Fiber To The Home - FTTH*),
- Systemów radiowych, przede wszystkim WiFi, WiMax i 3G - HSDPA,
- Transmisji po przewodach energetycznych niskiego napięcia (*Digital Power Line - DPL*),
- Dostępu satelitarnego za pośrednictwem satelitów geostacjonarnych.

Struktura technologii dostępu jest bardzo różna w poszczególnych krajach (rys. 1), zależąc m.in. od gęstości zaludnienia, stopnia urbanizacji i polityki regulacyjnej, która długo faworyzowała w USA i Wielkiej Brytanii operatorów telewizji kablowej.



Rys. 3. Struktura techniczna dostępu do Internetu w Polsce według raportu UKE [4].

W kraju od 2004 r. dominuje dostęp stały; udział dostępu wdzwanianego (dial-up) spadł na początku b.r. poniżej 10%. UKE [4] nie podaje struktury dostępu szerokopasmowego, a jedynie dostępu stałego o wszystkich szybkościach, które w Polsce zaczynają się od 115 kbit/s (HiS firmy Ericsson, oferowana przez TP jako usługa SDI). Dane z tabeli 3 wskazują, że mamy do czynienia z ustabilizowanym duopolem DSL – TVK, nieco naruszonym przez sieci osiedlowe LAN. Udział nowych metod dostępu, jak FTTH, PLC i satelitarny można pominąć. Szeroko promowany i szybki w instalacji dostęp radiowy wykazuje faktycznie najwyższą dynamikę wzrostu, lecz jego popularność pozostaje niewielka.

Tabela 3 Rozpowszechnienie stałego dostępu szerokopasmowego (≥ 144 kbit/s) w Polsce z podziałem na technologie dostępu. Dane UKE [4], grudzień 2006 r.

Technologia dostępu	Liczba użytkowników [tys.]	Gęstość użytkowników [%]	Udział w rynku [%]	Wzrost w latach 2005-2006 [%]
xDSL po linii telefonicznej	1860	4,88	64	49
Sieć TV kablowej (TVK)	755	1,98	26	45
Sieć LAN / Ethernet	165	0,43	6	46
Dostęp radiowy	75	0,20	3	70
Pozostałe łącznie z SDI	15	0,04	1	-45
Dostęp stały ogółem	2903	7,61	100	44
Dostęp szerokopasmowy	1995	5,23	----	96

Do powstania takiej struktury dostępu i jej stabilizacji doszło, ponieważ:

- Niska zamożność społeczeństwa skłania klientów do szukania najtańszych ofert,
- Polityka regulacyjna UKE jest zorientowana na zmuszanie operatorów i ISP do obniżania cen bez względu na realia biznesowe i potrzeby modernizacji sieci (patrz p. 5.1),
- Operatorzy redukują koszty unikając budowy nowej infrastruktury, wprowadzania nie sprawdzonych rozwiązań oraz problemów z uzyskiwaniem pozwoleń i protestami ekologów przeciwko budowie obiektów radiowych sugerującymi „liczne sygnały o masowych zachorowaniach (szczególnie dotyczy chorób nowotworowych) i zgonów przy stacjach bazowych telefonii komórkowej” [5],
- Masowy dostęp do Internetu jest oferowany na bazie infrastruktury istniejących sieci telefonicznych, TV kablowej i komórkowych jako usługa uzupełniająca.
- Usługi transmisji danych w sieciach ruchomych, przede wszystkim oparte na standardach EDGE (sieci GSM) i HSDPA (sieci 3G), obecnie kosztowne i z opłatami proporcjonalnymi do objętości przesyłanych danych są traktowane przez klientów jako osobna, specjalna kategoria dostępu do Internetu, a nie zamiennik usług oferowanych przez sieci stałe.

Dostęp radiowy i budowa LAN to w kraju raczej „wypełniacze” pojawiające się tam, gdzie brak dostępu xDSL lub TVK bądź jego jakość i ceny są nie do przyjęcia.

Sieć LAN zbudowana z tanich kabli symetrycznych kategorii 5 i z dosyć światłowodowym do bloków mieszkalnych (FTTB) może zapewnić dostęp 100 Mbit/s przy wykorzystaniu rozwiązań przejętych z biurowych sieci LAN i bez modemów abonenckich. Takie LAN są rozpowszechnione w Szwecji (firma Bredbandsbolaget). Ponieważ stanowią infrastrukturę budowaną od nowa, w kraju brak inwestorów skłonnych do realizacji podobnych projektów na dużą skalę.

Sytuacja zmienia się od 2007 r. dzięki projektom inwestycyjnym nastawionym na likwidację wykluczenia cyfrowego obszarów wiejskich, w dużym stopniu finansowanych z funduszy unijnych. Spośród tych przedsięwzięć można wymienić:

- Małopolską Sieć Szerokopasmową (MSS) [6],
- Sieć Szerokopasmową Polska Wschodnia (SSPW) [7,8],
- Budowę miejskich sieci WiFi i WiMax, m.in. w Rzeszowie i Lublinie.

Projekty te, na razie dotyczące budowy infrastruktury sieci szkieletowej i regionalnej oraz obiektów budowlanych dla sieci dostępowych (kanalizacja kablowa, maszty radiowe itp.) zwiększą udział dostępu bezprzewodowego, gdyż zakłada się wprowadzenie na obszarach wiejskich sieci WiMax w paśmie 3,6-3,8 GHz. Ich realizacja oznacza przyznanie, że polityka regulacyjna UE zniszczyła podstawy ekonomiczne rozwoju stałych sieci dostępowych i trwałe przerzucenie na podatnika - obecnie głównie zagranicznego, później polskiego większości kosztów inwestycyjnych. Ujmuje to jasno cytat z dokumentu UKE [8]:

„...według informacji operatorów, inwestycje na terenach nie objętych obecnie dostępem szerokopasmowym (najczęściej tereny słabo zaludnione lub zamieszkałe przez ludność o niskich dochodach) nie mają uzasadnienia ekonomicznego na warunkach komercyjnych. W tej sytuacji znaczna część mieszkańców województw Polski Wschodniej nie ma, i bez podjęcia interwencji publicznej nie będzie miała, możliwości taniego dostępu do nowoczesnej infrastruktury szerokopasmowej, a przez to jest zagrożona wykluczeniem cyfrowym.”

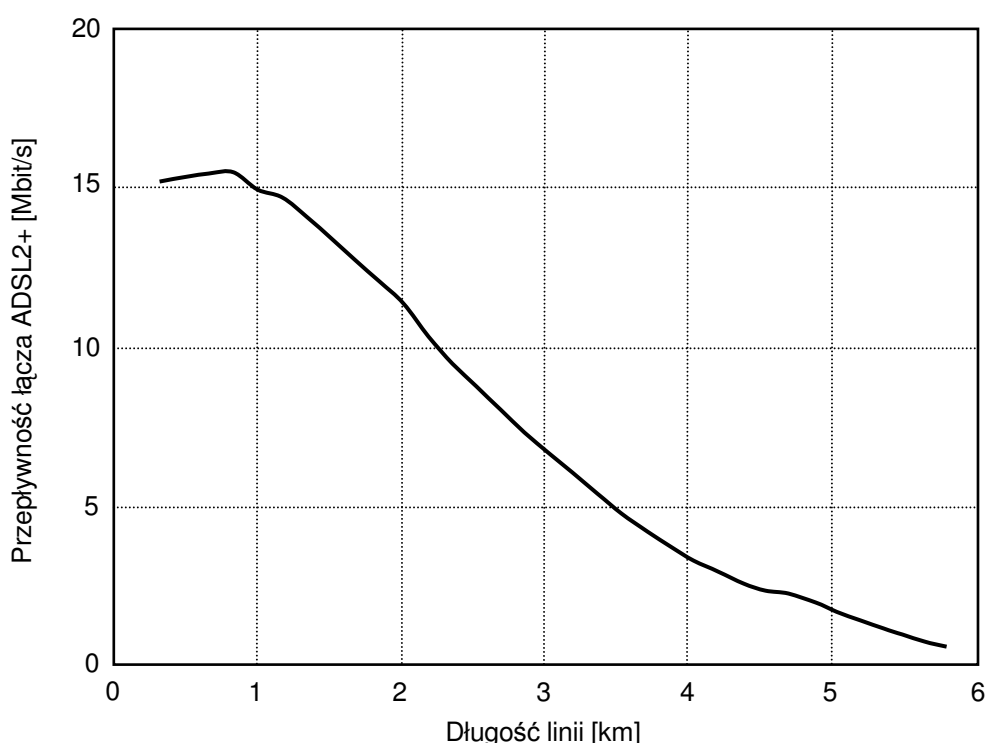
2.4. Ograniczenia wprowadzane przez sieć telefoniczną

Ponieważ najbardziej rozpowszechnioną techniką dostępu szerokopasmowego w Polsce i większości innych krajów UE jest DSL (w kilku wersjach) wykorzystująca jako medium przyłącza telefoniczne zbudowane z kabli miedzianych symetrycznych, należy rozpatryć jej przydatność dla dostarczania klientom usług wymienionych w p. 2.1.

Sieć kablowa zbudowana dla usług głosowych odznacza się dużym zróżnicowaniem długości przyłączy między przełącznicą główną centrali (MDF), a posesją abonenta,

parametrów używanych kabli takich jak średnica i skok skrętu przewodów oraz rodzaj izolacji a także częstą obecnością w jednym przyłączy sekcji wykonanych z kabli różnego typu i odgałęzień wprowadzających odbicia. W efekcie część przyłączy abonenckich ma parametry – przede wszystkim charakterystyki przeników (NEXT i FEXT) i tłumienności nieodpowiednie dla transmisji sygnałów cyfrowych o wysokiej przepływności i szerokości pasma zwiększonej do nawet 2,2 MHz (ADSL2+), 8,8 MHz (VDSL2+ 52Mbit/s) i 17,7 MHz (VDSL2+, 100 Mbit/s).

Modemy xDSL dopasowują charakterystykę sygnału do parametrów linii, m.in. przez podział pasma transmisyjnego na segmenty i blokowanie tych, w których wykryto zakłócenia lub wysokie tłumienie sygnału, ale zabieg ten proporcjonalnie redukuje przepływność łącza. W sieci z dużą liczbą czynnych urządzeń xDSL podstawowym ograniczeniem przepływności i niezawodności eksploatacyjnej usług szerokopasmowych są przeniki sygnałów z innych przyłączy przechodzących przez ten sam kabel, których poziom szybko wzrasta z długością przyłączy. Na rys. 4 przedstawiono średnie przepływności łącza z modemami ADSL2+ (ITU-T G.992.5) w funkcji ich długości pochodzące z pomiarów w Wielkiej Brytanii.

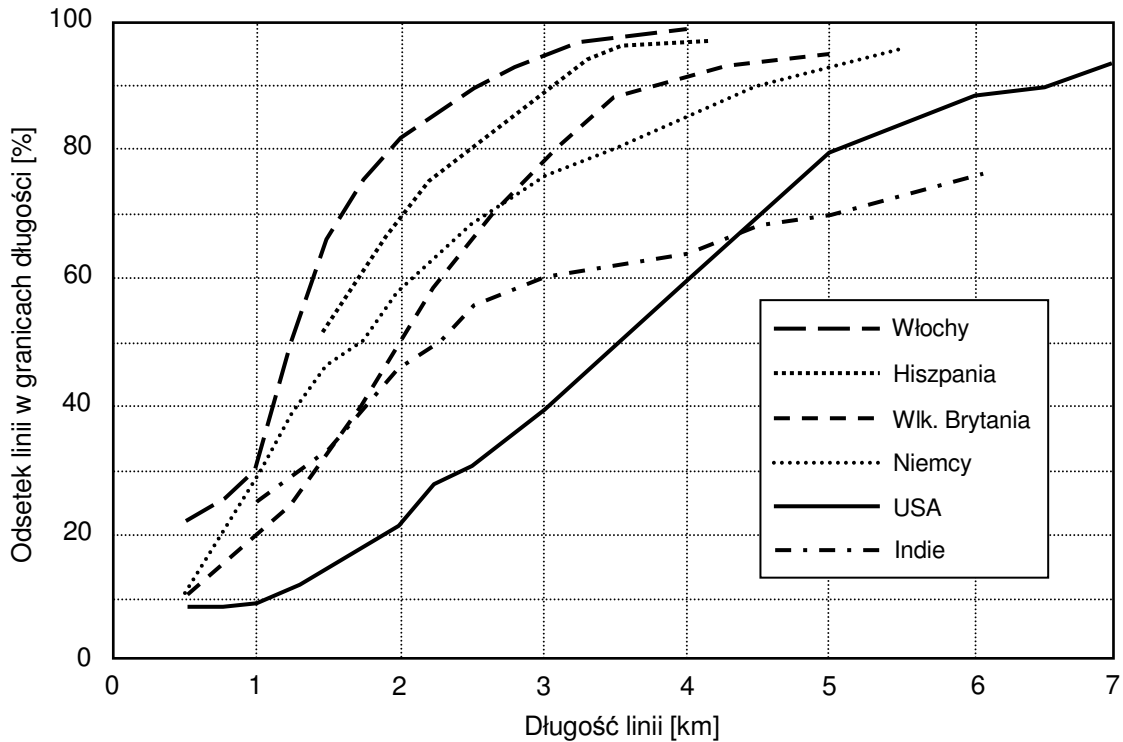


Rys. 4. Przepływność łącza abonenckiego ADSL2+ w funkcji długości linii. Dane z pomiarów wykonanych w sieci British Telecom [8].

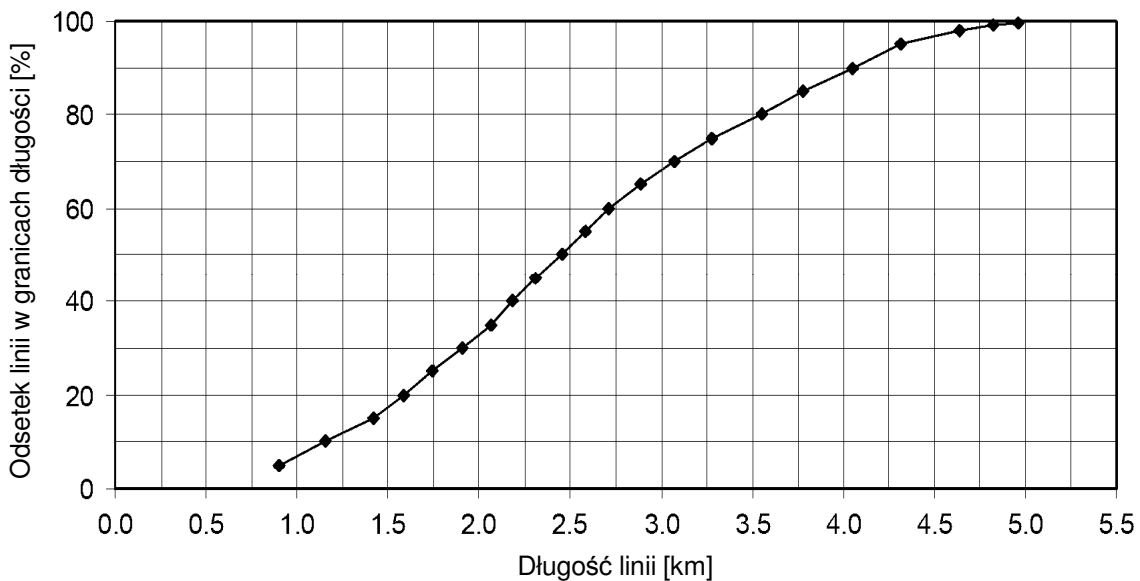
Zasięg transmisji 15 Mbit/s wynosi 1-1,2 km. Przy dłuższych przyłącach obserwuje się stopniowy spadek przepływności i coraz silniejszą jej zależność od zakłóceń. Niższa od deklarowanej i niestabilna przepływność, a nawet okresowe blokowanie łącza to główny przedmiot skarg użytkowników obsługiwanych za pomocą technologii DSL. Zasięg modemów VDSL (ITU-T G.993.2) o przepływności do abonenta 52,8 Mbit/s i szerokości pasma 8,832 MHz po parze przewodów o $\varnothing 0,5$ mm wynosi tylko 300-500 m.

Długość przyłączy miedzianego stanowi główne kryterium jego przydatności dla usług szerokopasmowych. Przepływność łącza DSL długości 5-6 km leży w pobliżu dolnej granicy określonej przez UKE, OECD i FCC na 144-256 kbit/s. Taki dostęp nie odpowiada współczesnym wymaganiom: usługi wizyjne o standardowej rozdzielczości z kompresją MPEG2 wymagają przepływności 2-6 Mbit/s i sieci z przyłączyami nie dłuższymi niż 3-3,5 km.

Rozkłady długości przyłączy w sieciach kilku krajów przedstawiają rys. 5-6. Nie mamy danych sieci TP, ale powinny być one zbliżone do tych z Hiszpanii i Wielkiej Brytanii.

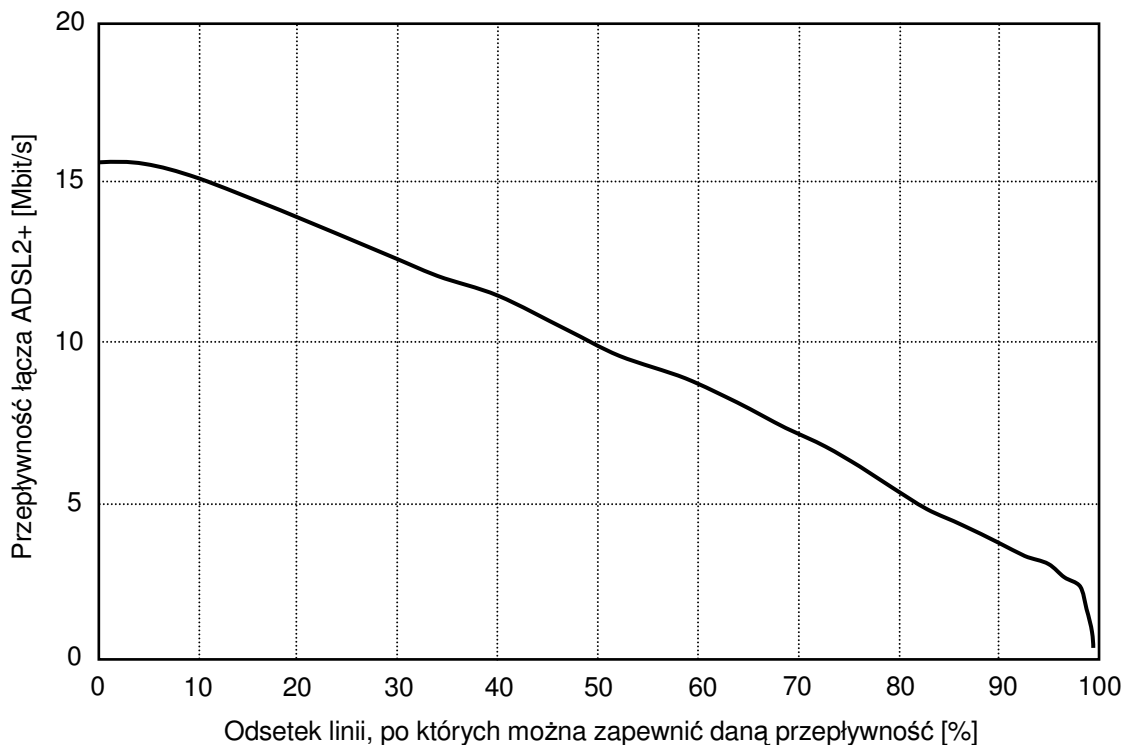


Rys. 5. Długości linii abonenckich w sieciach wybranych krajów. Dane firmy Alcatel [9].



Rys. 6. Rozkład długości linii abonenckich w sieci British Telecom [10]

Rys. 5-6 ujawniają, że zaawansowane usługi szerokopasmowe są niedostępne dla znacznej części użytkowników. Dane z pomiarów łączy ADSL2+ w sieci BT (rys. 7) pokazują, że około 20% gospodarstw domowych w Wielkiej Brytanii nie można zapewnić przepływności 5 Mbit/s niezbędnej dla usług wizyjnych i są one objęte „wykluczeniem szerokopasmowym”. Odsetek ten spada w krajach gęsto zaludnionych i silnie zurbanizowanych (Włochy, Holandia, Japonia, Korea Południowa, Singapur), np. poniżej 4% we Włoszech (rys. 5).



Rys. 7. Dostępność usług szerokopasmowych w technologii ADSL2+ w sieci abonenckiej BT. Dane z pomiarów linii centrala – posesja abonenta. [10]

Sieci telefoniczne pozwalają dostarczyć usługi HDTV (15 Mbit/s, $L \leq 1$ km) dla 10% abonentów w Wielkiej Brytanii i 30% we Włoszech. W kraju problem wykluczenia szerokopasmowego jest ostrzejszy; gęstość telefoniczna sieci stałej wynosi 30% (i spada) wobec 96% dla sieci GSM (2006 r.)[4], które przechwytyją abonentów usług głosowych, ale nie zapewniają dostępu szerokopasmowego o parametrach wymienionych wyżej.

Sieci komórkowe 3G umożliwiają szybki dostęp HSDPA, oferowany na małą skalę w Polsce, ale osiągnięcie deklarowanej przepływności (w kraju 3,6 Mbit/s) wymaga przebywania użytkownika w pobliżu stacji bazowej i ograniczonej liczby użytkowników w obrębie komórki. To wyklucza znane z usług głosowych zastąpienie sieci stałej.

Bardziej perspektywiczne są sieci dostępne WiFi i WiMax, budowane jako sieci nakładkowe w miastach i oferujące darmowe usługi dla użytkowników nomadycznych i sporadycznych lub jako podstawowe sieci dostępne na obszarach wiejskich [8].

2.5. Szerokopasmowe sieci dostępne

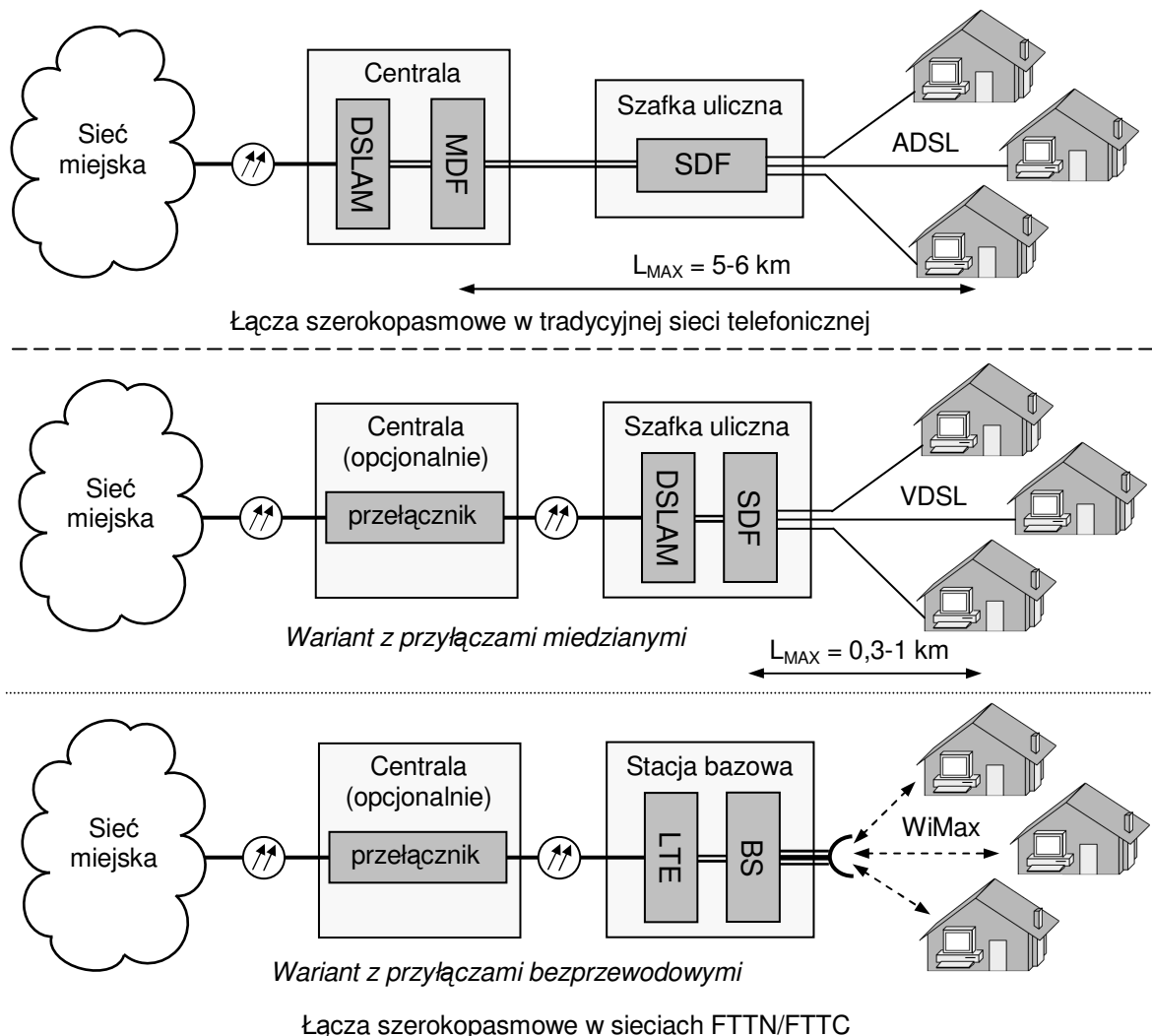
Rozwiązaniem problemu niekompatybilności istniejącej sieci telefonicznej z dostępem szerokopasmowym jest alternatywnie:

- a) skrócenie przyłączy miedzianych do 300-1000 m, zależnie od wymaganej przepływności,
- b) usunięcie kabli miedzianych z sieci dostępowej i zastąpienie ich przez:
 - światłowody (sieci FTTH), lub
 - systemy mikrofalowe (WiMax, WiFi, 3G).

Wariant (a) znany jako FTTN (*Fiber To The Node*) pozostawia wykorzystanie modemów xDSL kolejnych generacji u abonentów i okablowania miedzianego u abonenta, oraz dalsze użytkowanie fragmentów sieci kablowej znajdujących się odpowiednio blisko abonentów, jeśli ich stan techniczny odpowiada zaostrożonym wymaganiom.

Centrale zostają zastąpione przez jednostki wyniesione instalowane w szafach ulicznych (sieć FTTC) lub budynkach wielorodzinnych (sieć FTTB), obsługujące mniejszą liczbę

abonentów (≈ 200) przez krótkie przyłącza miedziane bez odgałęzień. Jednostki są połączone z siecią światłowodami. Reszta sieci miedzianej i związane wyposażenie centralowe ulegają likwidacji. Budynek centrali mieszczą w razie potrzeby wyposażenie służące do grupowania (agregacji) sygnałów usług, nadzoru sieci oraz ewentualnie dostępu dla operatorów alternatywnych, ale przeważnie stają się zbędne.



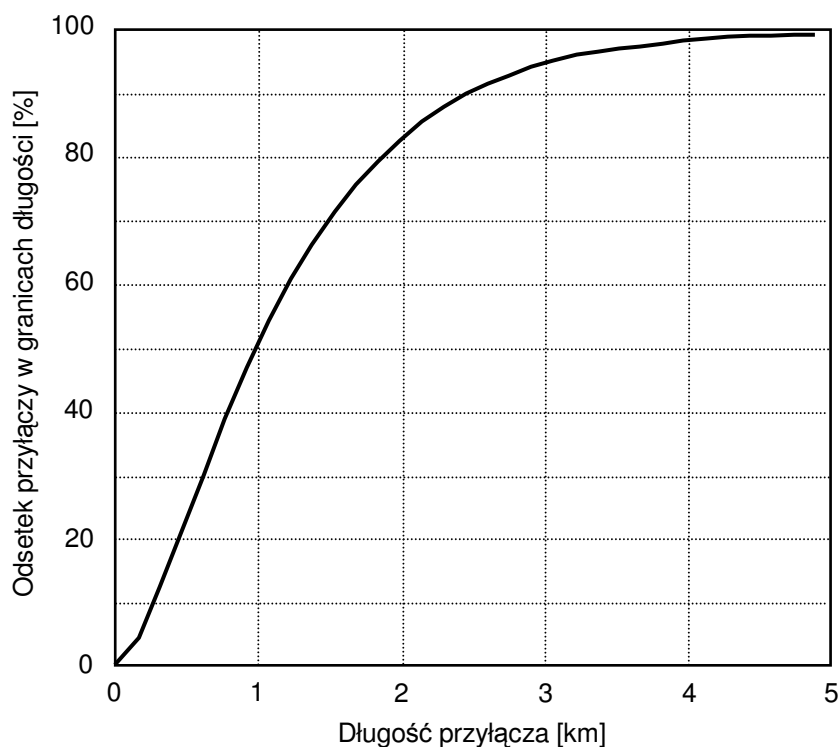
Rys. 9. Porównanie struktur szerokopasmowych sieci dostępowych.
Uwaga: istnieje szereg wariantów różniących się szczegółowymi rozwiązaniami.

Zmiany te powinny zmniejszyć awaryjność i koszty utrzymania sieci dzięki:

- redukcji długości kabli miedzianych i liczby ich uszkodzeń,
- wprowadzeniu protekcji i zdalnego nadzoru łączy do jednostek wyniesionych,
- braku problemów z korozją i zakłóceniami,
- wprowadzeniu transmisji w standardzie IP zamiast TDM (sieć dostępową NGN),
- zwolnieniu części miejsca w kanalizacji kablowej i sprzedaży zbędnych kabli na złom,
- sprzedaży zbędnych budynków centrali i działek oraz redukcji personelu.

Wyniesione moduły systemu komutacyjnego i krotnice abonenckie dołączone do centrali kablem światłowodowym znano wcześniej (pierwsza instalacja w Polsce -1982 r.), ale długości przyłączy były nadal dostosowane do wąskopasmowych usług głosowych i ISDN – rys. 10 i 5.

Skrócenie przyłączy oznacza wzrost liczby jednostek wyniesionych, najczęściej w szafkach ulicznych i problemy z lokalizacją oraz zasilaniem urządzeń w sytuacjach awaryjnych.



Rys. 10. Rozkład długości przyłączy z przewodami $\varnothing 0,4$ mm (AWG 26) wychodzących z koncentratorów wyniesionych. Dane z USA - 1990 r. [11].

Segment miedziany FTTB można zbudować jako LAN z kabli symetrycznych kategorii 5 lub 6. Sieci tego typu mają obecnie przepływność do 100 Mbit/s. Nadają się tylko dla bloków mieszkalnych, gdyż długość przyłącza jest ograniczona do 100 m, a typowe kable LAN nie nadają się do instalacji na zewnątrz ze względu na brak uszczelnienia, ograniczony zakres temperatur pracy, niską wytrzymałość mechaniczną i brak szczelnej powłoki. Nie trzeba modemów abonenckich xDSL, gdyż każdy komputer osobisty ma wbudowany port LAN.

Z powodu względnej prostoty i niskich kosztów budowy sieci FTTC/FTTB, zainteresowanie operatorów zasiedziały jest duże. W Europie sztandarowym przykładem jest Deutsche Telekom (DT), który w 2006 r. rozpoczął budowę sieci FTTC z przyłączami VDSL 52 Mbit/s o przeciętnej długości kabli 300 m, przewidzianej dla usług Triple-Play (TV + internet + telefon). DT planuje transfer do niej ponad 10 mln swych klientów w 40 największych miastach Niemiec za sumę około 3 mld EUR [12], instalując w tym celu 74000 nowych szaf ulicznych i układając 18000 km kabli światłowodowych [13]. Holenderski operator KPN planuje pełne przejście na standard NGN-FTTC i likwidację większości tradycyjnych central do 2010 r. Telefonica (Hiszpania) przewiduje że w latach 2006-2010 r. zapewni 60% jej abonentów dostęp VDSL 52 Mbit/s. Realizacja tych i podobnych projektów jest zagrożona przez poważne problemy regulacyjne [9,12], przedstawione w rozdziale 5.

Operatorzy alternatywni i samorządy, budujący własne sieci szerokopasmowe od zera, wybierają na ogół wariant (b), pozbawiony infrastruktury miedzianej. Budowę sieci FTTH wybrał też Orange (France Telecom) we Francji, gdyż jego istniejąca sieć dostępowa ma zbyt długie przyłącza miedziane od szaf ulicznych do abonenta - przeciętnie 700-800 m.

Kwestia: światłowód czy system radiowy do abonenta pozostaje otwarta. Nowe systemy 4G-LTE oferują przepływności do 100 Mbit/s [14], a Fixed WiMax (IEEE 802.16-2004) do 70 Mbit/s. W warunkach miejskich przewagę ma dostęp światłowodowy, pozbawiony problemów z propagacją fal radiowych, ograniczonymi zasobami widma i protestami mieszkańców (p. 5.4).

3. Rozwiązania techniczne sieci FTTx

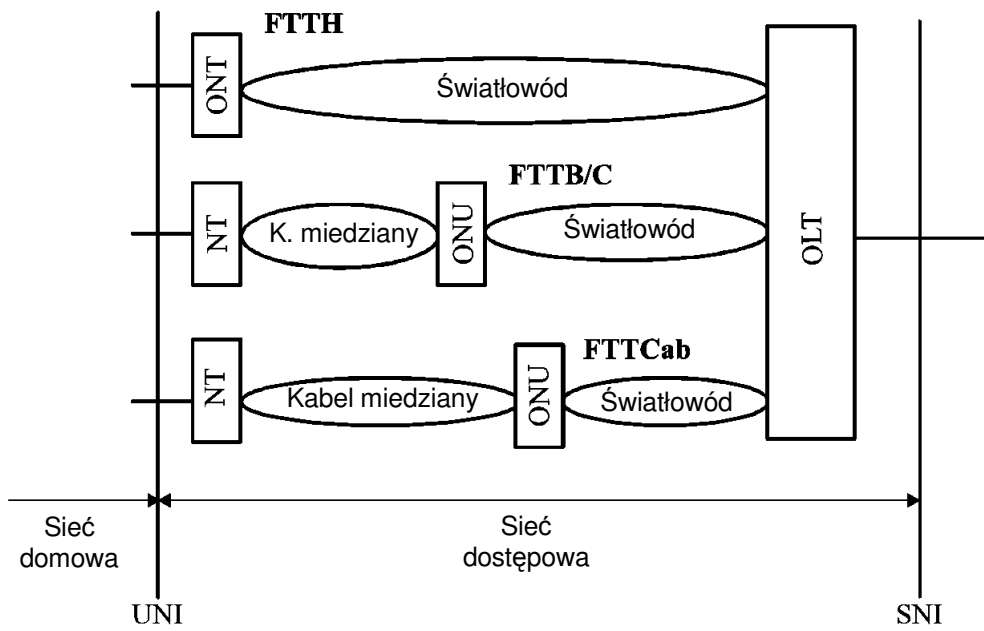
3.1. Definicje

Mianem FTTx tym określa się bardzo zróżnicowaną grupę technologii dostępowych wykorzystujących włókna światłowodowe jako medium do budowy przyłącza abonenckiego lub jego części [15]. Nie zalicza się do nich rozwiązań bazujących na optycznej transmisji w ośrodku otwartym, używanych w LAN i połączeniach urządzeń peryferyjnych, np. IrDA.

Poniżej znajduje się zestawienie najbardziej znanych rozwiązań i ich nazw:

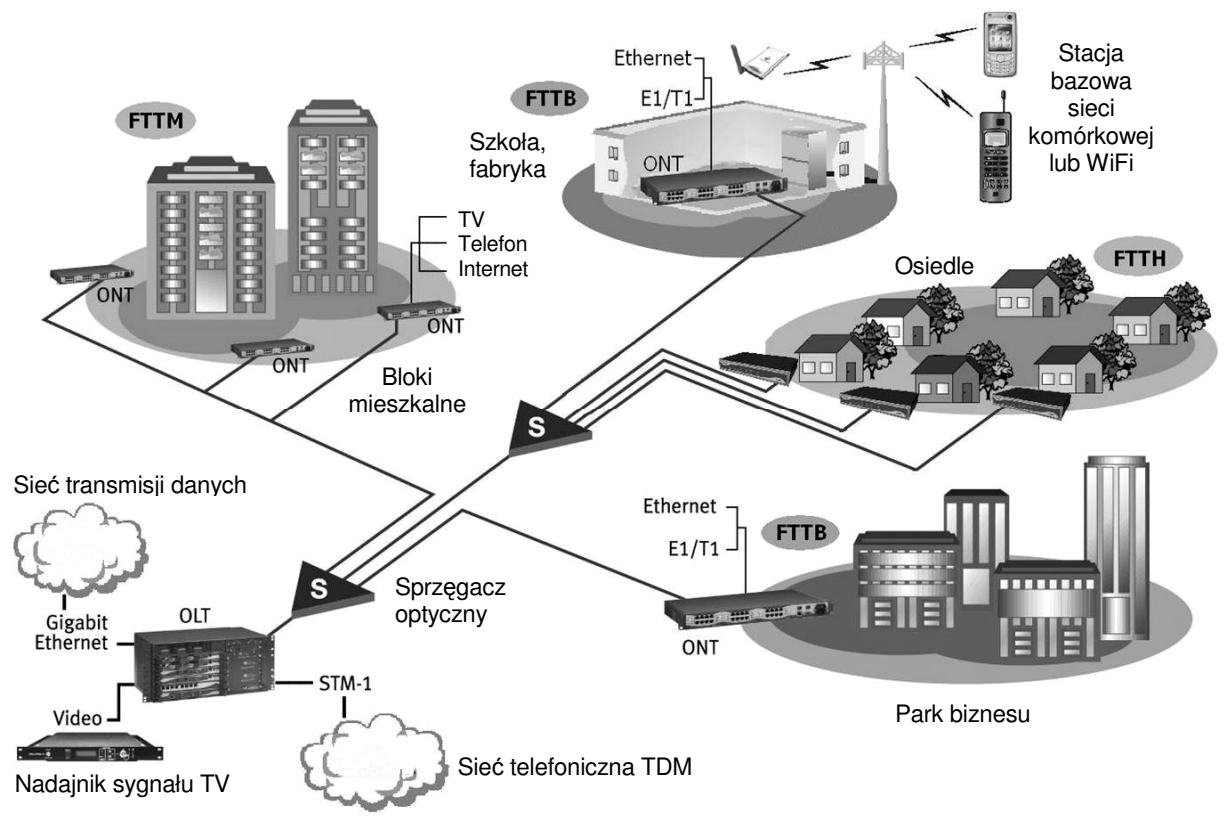
- FITL (*Fiber In The Loop / światłowód w linii abonenckiej*): ogólne określenie światłowodowej sieci abonenckiej,
- FTTH (*Fiber To The Home / światłowód do domu*): sieci z przyłączami światłowodowymi do posesji abonenta, bez segmentów z innym medium transmisyjnym. Alternatywny termin: FTTP (*Fiber to the premises*),
- FTTB (*Fiber To The Building / światłowód do budynku*): sieć z łączami światłowodowymi do budynków, wewnątrz których użyte jest inne medium transmisyjne. Dotyczy to zwykle budynku mieszkalnego wielorodzinnego z okablowaniem miedzianym (telefonicznym i TV kablowej), lub biurowego, dysponującego systemem informatycznym, siecią LAN z kabli symetrycznych i ewentualnie wewnętrzną centralą telefoniczną (PABX),
- FTTM (*Fiber To The Multi-Dwelling Unit / światłowód do budynku wielorodzinnego*): wersja sieci FTTB, z przyłączem światłowodowym do bloku mieszkalnego.
- FTTC (*Fiber To The Curb (Cabinet) / światłowód do szafki ulicznej*): sieć z łączami światłowodowymi do szaf ulicznych, do których abonent jest przyłączany krótkim kablem miedzianym, np. przez modem VDSL. Spotyka się też skrót FTTCab,
- FTTP (*Fiber To The Pedestal / światłowód do fundamentu (szafki ulicznej)*): inne określenie sieci FTTC/FTTCab.
- FTTN (*Fiber To The Node / światłowód do węzła*): sieć z łączami światłowodowymi do jednostek (węzłów) wyniesionych, do których abonent jest przyłączany krótkim kablem miedzianym. Alternatywna nazwa z identycznym skrótem: *Fiber to the Neighborhood*,
- PON (*Passive Optical Network / pasywna sieć optyczna*): sieć FTTH, w której włókno z wychodzące urządzenia centralowego (OLT) rozgałęzia się za pomocą sprzęgaczy na max. 32 włókien prowadzonych do urządzeń u abonentów (ONT),
- WDM-PON (*Wavelength Division Multiplexing Passive Optical Network / pasywna sieć optyczna ze zwielokrotnieniem falowym*): sieć, w której każdy użytkownik ma przedzieloną inną długość fali. Wszystkie kanały optyczne są na wyjściu OLT początkowo prowadzone jednym włóknem, a następnie rozgałęziane za pomocą demultipleksera falowego.
- B-PON (*Broadband Passive Optical Network / szerokopasmowa pasywna sieć optyczna*): starsza wersja PON, o przepływności do 1244 Mbit/s w kierunku do abonentów i do 622 Mbit/s w kierunku zwrotnym, znormalizowana w zaleceniu ITU-T G.983 [16],
- G-PON (*Gigabit Passive Optical Network / gigabitowa pasywna sieć optyczna*): PON z przepływnością do 2488 Mbit/s w obu kierunkach, objęta zaleceniem ITU-T G.984 [17],
- GE-PON (*Gigabit Ethernet Passive Optical Network / pasywna sieć optyczna Gigabit Ethernet*): PON ze standardem transmisji Ethernet i przepływnością do 1 Gbit/s w obu kierunkach, objęta normą IEEE 802.3:2005 [18].
- E2P (*Ethernet Point-to-Point*): Sieć światłowodowa ze standardem transmisji Ethernet i strukturze gwiazdy, z indywidualnymi połączeniami do użytkowników bez rozgałęziania.

Ogólną architekturę sieci FTTx i nazewnictwo urządzeń aktywnych przedstawia rys. 11 pochodzący z zalecenia ITU-T G.983 [16].



Rys. 11. Architektura sieci FTTx według ITU-T G.983/G.984. Oznaczenia elementów:

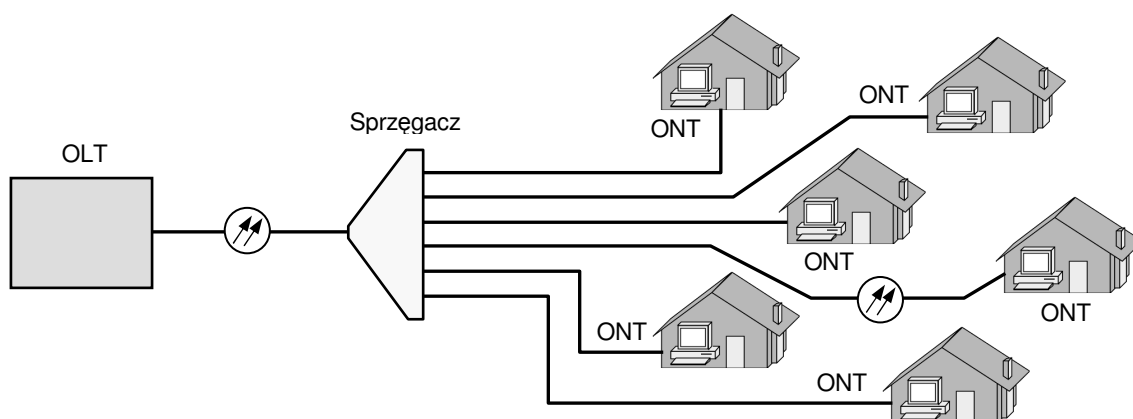
ONU	Optical Network Unit	Światłowodowa jednostka sieciowa
ONT	Optical Network Termination	Światłowodowe zakończenie sieciowe
OLT	Optical Line Termination	Zakończenie linii światłowodowej
NT	Network Termination	Zakończenie sieciowe



Rys. 12. Typowa konfiguracja sieci FTTH/B/M [19].

3.2. Sieci FTTH

Dominującym rozwiązaniem jest sieć bazująca na infrastrukturze kablowej z pasywnym rozgałęzieniem włókien światłowodowych (rys. 13). Usunięcie z tego segmentu urządzeń aktywnych eliminuje problemy związane z zasilaniem urządzeń wyniesionych, zawodnością aparatury w warunkach skrajnych temperatur (w kraju przede wszystkim uszkodzenia akumulatorów w temperaturach poniżej -20°C) oraz ich wymianą w przypadku przejścia na nowy standard transmisji, gdyż sieć pasywna jest „przezroczysta”. Rozgałęzianie wprowadza tłumienie (18-21 dB przy współczynniku 1:32) i zmusza do instalacji w OLT wzmacniaczy optycznych EDFA dla kanału telewizyjnego 1550 nm.



Rys. 13. Topologia sieci PON.

Transmisja sygnałów do abonenta w sieciach B-PON i G-PON odbywa się pojedynczym włóknem jednomodowym o nieprzesuniętej dyspersji, znormalizowanym w zaleceniu ITU-T G.652 [20], przy użyciu zwielokrotnienia falowego (WDM), według planu długości fal poniżej:

- 1490 nm: transmisja cyfrowa do abonenta,
- 1310 nm: kanał zwrotny,
- 1550 nm: przesył do abonenta usług telewizyjnych z modulacją analogową (opcjonalny).

Długości fal dla transmisji do abonenta i z powrotem w sieci GE-PON to odpowiednio 1550 nm i 1310 nm. Trzeci kanał nie występuje, a sygnały TV są przesyłane tylko cyfrowo.

Kanały cyfrowe są dzielone pomiędzy wszystkich użytkowników przyłączonych do odgałęzień tego samego światłowodu wychodzącego z urządzenia centralowego. Przy współczynniku podziału 1:32 oznacza to efektywne przepływności dla użytkownika sieci B-PON, G-PON lub GE-PON w granicach 20-100 Mbit/s. Przy mniejszej liczbie użytkowników przepływności odpowiednio wzrastają, do maksymalnie 1 Gbit/s. Problem dzielenia pojemności nie występuje w sieci E2P z dedykowanymi włóknami do każdego użytkownika, lecz rozwiązanie takie jest generalnie uważane za zbyt kosztowne.

Przeływności kanałów optycznych w sieci G-PON według ITU-T G.984 [17].

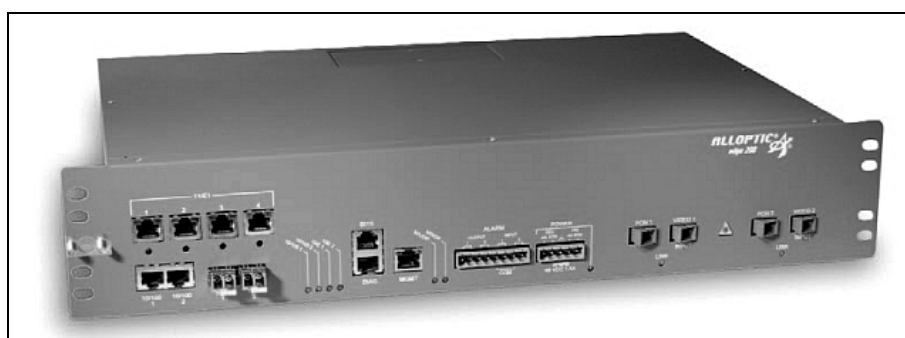
Przeływność w kierunku do abonenta [Mbit/s]	Przeływność w kierunku zwrotnym [Mbit/s]	Proporcja
1244,16	155,52	8:1
1244,16	622,08	2:1
1244,16	1244,16	1:1
2488,32	155,52	16:1
2488,32	622,08	4:1
2488,32	1244,16	2:1
2488,32	2488,32	1:1

Rozgałęzianie światłowodu wychodzącego z OLT (rys. 12-13) może być wielostopniowe, co pozwala na optymalizację zużycia kabli i osprzętu; połączenia optyczne z grupą ONT mają strukturę drzewiastą. Producenci oferują do tego celu sprzęgacze 1x2, 1x4, 1x8, 1x16 i 1x32.

Istnieją wersje sieci PON z gęstym zwielokrotnieniem falowym (*Dense Wavelength Division Multiplexing* - DWDM) lub zgrubnym zwielokrotnieniem falowym (*Coarse Division Multiplexing* – CWDM), oznaczane jako WDM-PON, w których każdy użytkownik ma przydzieloną swoją długość fali i pełną przepływność strumienia cyfrowego. Architektura taka wymaga droższych podzespołów, ale zapewnia wyższą i niezależną od liczby czynnych użytkowników szybkość dostępu oraz, co ważne dla operatora, dobrą skalowalność kosztów wyposażenia aktywnego w OLT [21]. Odpowiednie urządzenia w wersji CWDM z 8 kanałami są dostępne komercyjnie [22,23].



Rys. 14. Urządzenie centralowe Alloptic Edge2000 mieszczące 16 OLT dla sieci GE-PON. [24]



Rys. 15. OLT dla sieci GE-PON (Alloptic Edge200) [24].

Długości przyłączy w sieci G-PON i B-PON są ograniczone w standardach do 20 km, zarówno przez budżet mocy optycznej jak i dopuszczalne różnice opóźnień transmisyjnych dróg optycznych między OLT a ONT. Specjalne wersje urządzeń pozwalają ten zasięg

wydłużyć do 30 km, a nawet ponad 100 km. Znika najbardziej dotkliwe ograniczenie znane z sieci xDSL przedstawione w rozdziałach 2.4-2.5.

Montowane na posesji abonenta światłowodowe zakończenie sieciowe (ONT) współpracuje ze wszystkimi urządzeniami telekomunikacyjnymi, informatycznymi i audiowizualnymi w domu, stąd jest wyposażone w dość bogaty zestaw interfejsów. Do dystrybucji sygnałów usług cyfrowych w mieszkaniu rozpatruje się wykorzystanie okablowania światłowodowego z włóknami POF, co przedstawiono w rozdziale 4.4. Obecnie typowy zestaw obejmuje interfejsy dla kabli miedzianych, w liczbie 1-4 szt. każdy [22-26]:

- LAN 10/100BaseT ze złączami RJ45 dla przyłączenia komputerów osobistych, napędów dyskowych, odtwarzaczy DVD lub BD i innych podobnych urządzeń,
- T1 lub E1 (1,5/2 Mbit/s) dla central PABX itp. (w ONT dla klientów biznesowych),
- Analogowe POTS ze złączami RJ11 dla aparatów telefonicznych i faksów,
- Współosiowe 75 Ω dla przyłączenia odbiornika TV, nagrywarki DVD lub magnetowidu.

ONT dla abonentów mieszkaniowych mają często atrakcyjną i łatwą do czyszczenia obudowę z tworzywa sztucznego (rys. 16); wersje przeznaczone głównie dla firm i pracujące w sieci FTTB mają czysto funkcjonalną formę (rys. 17), czasem do montażu w stojaku.



Rys. 16 ONT mieszkaniowe: Fujikura FNP6010 (z lewej) [25] i Terawave TW-124G [26].



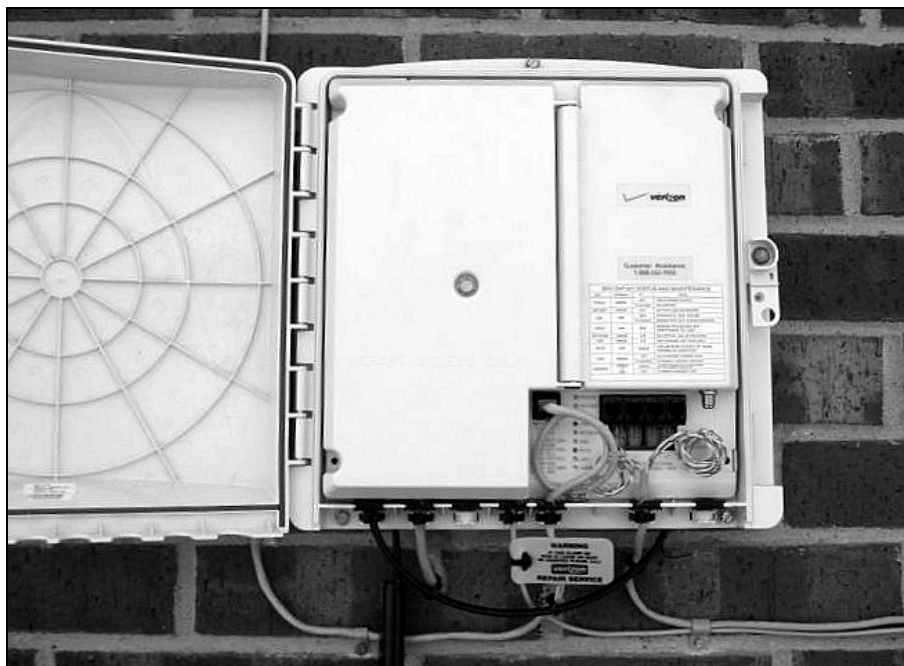
Rys. 17. ONT GE-PON firmy Alloptic dla klientów biznesowych: Xgen8000 z portami 1000FX i 10/100BaseT (z lewej) i Xgen1000 z 4 portami 10/100BaseT (z prawej) [24].

ONT dla sieci GE-PON zapewniających usługi 1 Gbit/s [23, 25,26] mają interfejsy danych:

- Symetryczne 1000BaseT,
- Światłowodowe 1000FX (ONT dla większych firm).

Część ONT zapewnia usługi VoIP z aparatów analogowych. W sieci Verizon FiOS (USA) są używane ONT z cyfrowym interfejsem wizyjnym HDMI dla usług wizyjnych HDTV.

W przypadku instalacji ONT w domkach jednorodzinnych lub małych firmach najbardziej popularny jest montaż na ścianie, także na zewnątrz budynku (rys. 18), co ułatwia dostęp do urządzenia dla napraw, ale wystawia je na działanie skrajnych temperatur.



Rys. 18. ONT naścienna z otwartą pokrywą. Wersja używana w sieci Verizon FiOS (USA).

ONT wymagają zasilania, którego nie można zapewnić zdalnie z centrali z powodu braku połączenia kablem miedzianym i dość wysokiego poboru mocy nawet przez urządzenia dla konsumentów (15-30 W). ONT zapewnia usługi telefoniczne, które muszą działać w warunkach awaryjnych. Typowe rozwiązanie to zasilane sieciowe z podtrzymaniem przez hermetyczny akumulator ołowiowy; najczęściej 12 V – 5 Ah, którego pojemność wystarcza na 2-4 h pracy ONT. Trwałość akumulatora umieszczonego w budynku wynosi około 5 lat, po czym jego wymiany musi dokonać użytkownik.

3.3. Sieci FTTB

Infrastruktura pasywna sieci FTTB i FTTM są w zasadzie identyczne jak w sieci FTTH. Podstawowa różnica dotyczy interfejsów od strony użytkowników. W wariantcie FTTM z łączem światłowodowym do budynku wielorodzinnego (lub użytkowego mieszczącego małe firmy i sklepy), ONU musi zapewnić odpowiednio dużą liczbę portów telefonicznych i transmisji danych (rys. 19). Nie dotyczy to wyjścia sygnału TV 50-870 MHz, ponieważ w budynku mieszkalnym na ogół istnieje już okablowanie wspólne z rozgałęźnikami i filtrami.



Rys. 19. ONU GE-PON Optimate 1000NT firmy FlexLight z 24 interfejsami 10/100BaseT oraz protekcją łącza światłowodowego dla budynków biurowych i wielorodzinnych [23].

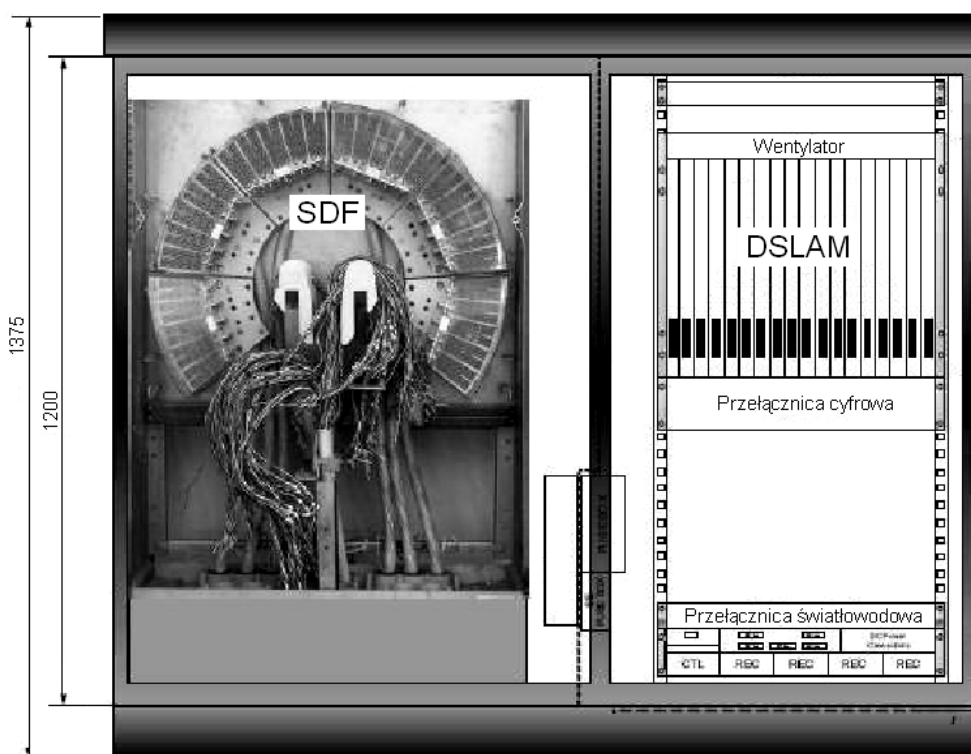
Wersja ONT dla dużych i średnich biur lub przedsiębiorstw z zasady współpracuje z systemem informatycznym i centralą abonencką (PABX), a podstawowe interfejsy niezbędne w tym celu to E1 (2 Mbit/s) do centrali telefonicznej oraz Ethernet do serwera – te ostatnie zarówno w wersji symetrycznej jak i optycznej, do 1 Gbit/s włącznie. Analogowe interfejsy telefoniczne i telewizyjne mają drugorzędne znaczenie lub nie ma ich wcale.

Pojedyncze łącze w sieci FTTB obsługuje dużą liczbę użytkowników i jego uszkodzenie wiąże się z wysokimi stratami, w związku z czym ONT dla tych celów mają zdublowany interfejs sieciowy z protekcją łącza w konfiguracji 1+1. Budynek jest przyłączony do sieci za pomocą dwóch kabli światłowodowych prowadzonych alternatywnymi drogami i stanowiących części dwóch nakładających się podsieci PON. Kiedy wymagana jest bardzo wysoka niezawodność (zwykle uszkodzenia kabli stanowią 90-95% całości awarii), można zastosować dwie OLT, z których każda zasila swoją podsieć PON.

Zasilanie ONT w dużym budynku biurowym odbywa się najczęściej napięciem przemiennym poprzez urządzenia zasilania bezprzerwowego UPS, także scentralizowane. Używanie indywidualnych akumulatorów nie zawsze jest praktykowane z powodu wysokiego poboru mocy w ONT z dużą liczbą interfejsów, który np. w urządzeniu z rys. 19 wynosi 100 W.

3.4. Sieci FTTH / FTTC

Powody, dla których buduje się hybrydowe światłowodowo-miedziane sieci tego typu oraz ich strukturę przedstawiono w rozdziale 2.5. Charakterystycznym elementem sieci FTTC jest jednostka wyniesiona, na ogół instalowana w szafie ulicznej (rys. 20), zawierająca koncentrator cyfrowych linii abonenckich DSL (*Digital Subscriber Line Access Multiplexer - DSLAM*) oraz przełącznicę par miedzianych do abonentów (*Sub-loop Distribution Frame - SDF*).



Rys. 20. Typowa szafa uliczna dla sieci FTTC z przyłączami VDSL2+ [27].

DSLAM jest połączony z centralą i ew. innymi obiektami, np. stacją czołową TV satelitarnej za pomocą kabli światłowodowych (2 pary włókien w każdej relacji z protekcją). Urządzenie to dokonuje konwersji strumieni cyfrowych na format DMT używany w przyłączach z parami przewodów miedzianych, np. VDSL2+ oraz koncentracji i komutacji ruchu.

DSLAM, zależnie od gabarytów, mają pojemności w granicach 24-1080 linii abonenckich xDSL [28-31]. Większe urządzenia mają budowę modułową, z wymiennymi pakietami zakończeń linii cyfrowych i analogowych [28-30] i operator może dokonywać stopniowej migracji abonentów od usług wąskopasmowych do szerokopasmowych. Pojedynczy pakiet ma pojemność 24-72 portów VDSL2+; oferowane są także pakiety zakończeń ADSL2+, ADSL2 i SHDSL. Największy producent to chińska firma Huawei Technologies.

Łączy do jednostki wyniesionej to najczęściej Gigabit Ethernet 1 Gbit/s lub STM-16/64.

Jednostka wyniesiona obsługuje przeciętnie 200 abonentów w promieniu 200-500 m i obszar zaledwie 0,2-1 km². To oznacza, że rozwiązania FTTC nadają się w zasadzie wyłącznie dla miast i wymagają instalacji dużej liczby szaf ulicznych, w przeciwieństwie do FTTH, w której średnica obszaru obsługiwanego przez OLT dochodzi do 12-15 km.

Szafa uliczna wymaga zasilania z sieci energetycznej, a dla zabezpieczenia pracy po jego odcięciu przeważnie mieści baterię akumulatorów ołowiowych 48 V. Te ostatnie w polskich warunkach klimatycznych stanowią słaby punkt sieci z ulicznymi jednostkami wyniesionymi, ulegając szybkiej degradacji w warunkach silnych mrozów. Alternatywnie, DSLAM może być zainstalowany w budynku wielorodzinnym [31], stanowiąc element sieci FTTB/FTTM.

Zaletą szaf ulicznych z DSLAM jest łatwy dostęp do wyposażenia dla serwisantów, wadą – trudności ze znalezieniem miejsca i uzyskaniem pozwoleń, gdyż pobór mocy 1-1,5 W na zakończenie VDSL2+ zmusza do stosowania hałaśliwych wentylatorów.

3.5. Niestabilność technologiczna

Szybki postęp techniczny i istnienie różnych standardów FTTH/FTTx pociągają za sobą:

- starzenie moralne infrastruktury, już nie odpowiadającej aktualnym wymaganiom,
- ryzyko inwestycyjne, związane z długim okresem zwrotu nakładów na budowę sieci stałej.

Problemy te są dobrze znane m.in. z informatyki i telefonii komórkowej, gdzie tradycyjnym rozwiązaniem jest wymiana komputerów, okablowania strukturalnego, aparatów komórkowych czy wyposażenia stacji bazowych co 2-5 lat. Warunki to odpowiednio krótki okres amortyzacji oraz łatwość wymiany przestarzałych elementów na nowe. Żaden z tych warunków nie jest spełniony w przypadku pasywnej infrastruktury stałej sieci telekomunikacyjnej, której:

- instalacja jest pracochłonna, kosztowna i uciążliwa dla otoczenia (uzyskiwanie pozwoleń, roboty ziemne i budowlane, przerwy w świadczeniu usług, wizyty monterów u klientów),
- okres amortyzacji ustalony przez przepisy jest długi (15-25 lat),
- stopa zysku z eksploatacji jest niska - zaledwie 3% dla sieci TP według audytu z 2007 r.

Ostrzeżeniem przed pochopnym wyborem niestabilnej technologii są losy sieci OPAL (*Optical Passive Access Line* lub *Optische Anschlussleitung*), zbudowanej przez Deutsche Telekom (DT) w latach 1991-96, głównie na terenach dawnej NRD. Sieć OPAL zapewniała 2 mln abonentów wąskopasmowe usługi telefoniczne i miała przeważnie strukturę FTTB/FTTC; był to pierwszy duży projekt tego rodzaju na świecie. Nie jest oczywiście kompatybilna ze standardami xDSL, które DT przyjęła dla dostępu szerokopasmowego na pozostałych obszarach Niemiec w 1999 r., rezygnując z dalszej rozbudowy sieci OPAL [32].

W związku z wysokimi kosztami budowy, regulator ustalił dla operatorów alternatywnych stawki za dostęp do sieci FTTB prawie 3-krotnie wyższe niż do sieci miedzianej, odpowiednio 66,98 DM i 25,60 DM w 2001 r. [32]. Powstało „OPAL-getto” [33] bez konkurencji i szerokopasmowego dostępu do internetu, które po 2000 r. „otwarto” ... budując sieć z tradycyjnych kabli miedzianych.

Problem dotyczy też obecnie najnowszego wariantu sieci FTTC z przyłączami VDSL2+, których przepływność do 52 Mbit/s raczej nie wystarczy za 5-10 lat – patrz rozdział 2.2.

Jeśli nie dojdzie w tym czasie do opracowania nowej wersji technologii DSL o wyższych parametrach, operator może być zmuszony do bardzo kosztownej konwersji sieci FTTH na

FTTH w wariacie PON lub WDM-PON, wymieniając prawie nowe przyłącza miedziane na światłowodowe, usuwając za szaf DSLAM i MDF, a na ich miejsce montując sprzęgacze, multiplexery WDM (w sieci WDM-PON) i przełącznicę światłowodową. Pewnym pocieszeniem będzie zniknięcie wtedy problemów z zasilaniem i chłodzeniem urządzeń.

3.6. Włókna i kable światłowodowe dla sieci FTTx

3.6.1. Wymagania i warunki pracy

Okablowanie światłowodowe w sieciach FTTx dzieli się na trzy segmenty:

- a) dosyłowy – od jednostki wyniesionej do szkieletu sieci,
- b) dystrybucyjny - od jednostki wyniesionej do posesji abonenta (tylko w sieci FTTH),
- c) wewnątrz posesji abonenta (tylko w sieci FTTH).

Segment (a) nie różni się zasadniczo od standardowej infrastruktury światłowodowej sieci miejskich i strefowych, za wyjątkiem dość wysokiej przepływności łączy. Przy podłączeniu do jednostki wyniesionej 200 abonentów z dostępem stałym 100 Mbit/s i współczynnikiem obciążenia 20% (duży ruch p2p bez limitów), ruch w łączy dosyłowym osiąga 4 Gbit/s; to zmusza do instalacji urządzeń 10 Gbit/s.

Długości łączy dosyłowych nie przekraczają 20 km i zbędna jest kompensacja dyspersji lub używanie włókien NZ-DSF w łączach 10 Gbit/s; wystarczają włókna o nieprzesuniętej dyspersji zgodne z zaleceniem ITU-T G.652 [18]. Liczba włókien zależy głównie od wymogów regulacyjnych: o ile dosył z sieci danego operatora wymaga 2-4 włókien, na dołączenie każdego operatora alternatywnego do jednostki wyniesionej [9] trzeba 2 dalszych.

Budowa dużej liczby łączy do szaf ulicznych i budynków mieszkalnych skłania do poszukiwania szybkich i tańszych metod instalacji kabli, alternatywnych względem dominującego w Europie układania w teletechnicznej kanalizacji podziemnej. Instalacje napowietrzne, typowe w Japonii, Korei Pd., Chinach i USA są wrażliwe na uszkodzenia i wandalizm oraz nieestetyczne i trudno spodziewać się ich upowszechnienia w kraju. Rozwiązania zagraniczne opisywane w literaturze obejmują:

- układanie kabli światłowodowych w kanalizacji ściekowej [13] lub ciepłowniczej,
- stosowanie mikrokabli wdmuchiwanymi i mikrokanalizacji,
- układanie mikrokabli w nawierzchni dróg lub pod chodnikiem, bez kanalizacji,
- podwieszanie kabli światłowodowych do przewodów energetycznych.

Większość powyższych rozwiązań testowano i oferowano w Polsce, ale żadne nie doczekało się szerokiej akceptacji. Zbudowana przez EI-Net w 1998 r. sieć strefowa długości około 240 km z kablami podczepianymi do przewodów linii energetycznych średniego napięcia była bardzo awaryjna i została zdemontowana, co dało zniechęcający przykład.

Segment (b) wyróżnia się:

- wysoką docelową liczbą przyłączy, w początkowym okresie nieprzewidywalną,
- częstymi przyłączeniami (i odłączeniami) użytkowników, co musi odbywać się tanio.

Kable miejskich sieci FTTH w Europie będą najprawdopodobniej instalowane tylko w kanalizacji podziemnej, gdyż z powodu pracochłonności i wysokich kosztów naprawy w porównaniu do kabli miedzianych priorytet ma niezawodność sieci. Dużą zaletą kabli światłowodowych jest nieatrakcyjność dla złodziei, gdyż nie zawierają metali kolorowych. Usunięcie kabli miedzianych z sieci zlikwiduje więc plagę kradzieży i związanych uszkodzeń.

Dla zastąpienia istniejącej sieci dostępowej będą potrzebne kable o wysokiej liczbie włókien światłowodowych, w granicach 100-1000, o niewielkiej średnicy i ułatwionym montażu. Warunki te najłatwiej spełnić wprowadzając taśmy światłowodowe i suche uszczelnienie ośrodka optycznego, technologie dotychczas w kraju nie używane (rys. 30).

Oslony złączowe oprócz odpowiednich pojemności, muszą być przystosowane do wykonywania licznych odgałęzień i częstego otwierania, mając uszczelnienie mechaniczne. Powinny umożliwiać montaż rozgałęziaczy optycznych (*splitter*) dla sieci PON, multiplekserów i filtrów dla sieci ze zwielokrotnieniem falowym (WDM) i złączy rozłącznych. Jedną z rozpatrywanych opcji dostępu dla operatorów alternatywnych [9] przewiduje połączenia z ich sieci do rozgałęziaczy optycznych w sieci PON, co zdecydowanie podwyższy częstotliwość otwierania osłon i może obniżyć niezawodność sieci. W tej sytuacji korzystne jest wyposażenie osłon w czujniki otwarcia, zawilgocenia i ew. innego rodzaju dla monitoringu sieci.

Przełącznice światłowodowe dla sieci FTTH nie wymagają radykalnie zmienionych rozwiązań, poza kwestiami oznakowania i katalogowania przyłączy - zwłaszcza rozgałęzianych oraz dostępu dla operatorów alternatywnych, z podziałem na strefy dla poszczególnych firm.

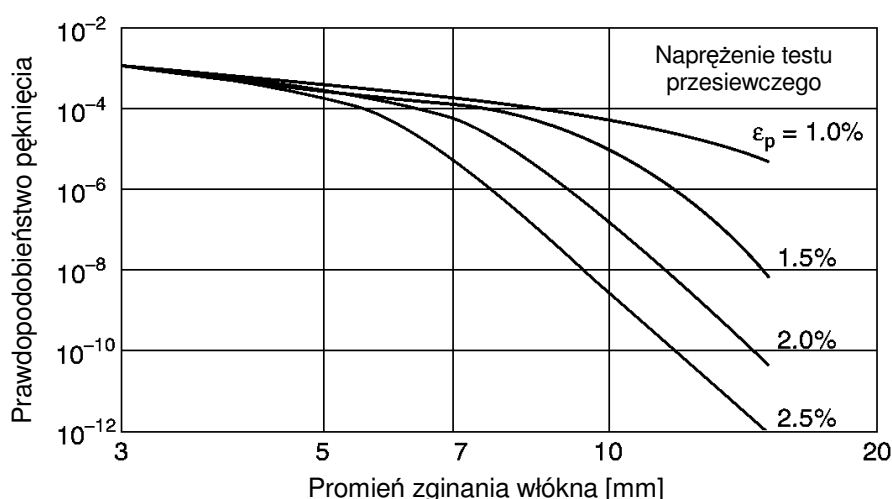
Segment (c) jest odległy od dotychczasowej praktyki, nawet z sieci LAN, ponieważ:

- klient nie toleruje „zaśmiecania” mieszkania widocznymi kablami i osprzętem; kable powinny być cienkie, mało widoczne i trudnopalne. Kable są często prowadzone wokół mebli, pod wykładziną, zginane, zwijane i ściskane jak zwykle przewody telefoniczne.
- instalacja musi być szybka, na przykład przez mocowanie odsłoniętych kabli do ściany czy boazerii klamerkami, zszywkami lub klejem; często jest wykonywana przez pracowników słabo znających specyfikę okablowania światłowodowego,
- połączenia są krótkie (5-50 m); tłumienność i dyspersja mają minimalne znaczenie.
- metraż zużywanych kabli jest minimalny, można wprowadzić wyroby dość drogie i nietypowe, jeśli to obniży koszty robocizny i podwyższy niezawodność sieci.

Tutaj właśnie pojawiły się specjalnie opracowane konstrukcje włókien światłowodowych.

3.6.2. Włókna jednomodowe tolerujące zginanie

Standardowe włókna jednomodowe o nieprzesuniętej dyspersji, znormalizowane w zaleceniu ITU-T G.652 wymagają zachowania minimalnego promienia gięcia 25-40 mm, by uniknąć ucieczki promieniowania z rdzenia i wzrostu tłumienności, gdyż prowadzenie światła w włóknie jest prowadzeniem słabym, zapewnionym przez niewielką różnicę współczynników załamania rdzenia i płaszczka: 0,3-0,5%. Promień zginania ograniczony poziomem naprężeń w szkłe i pokryciu ścisłym włókna jest mniejszy: 6-10 mm (rys. 21), przy założeniu że długość włókna narażonego na zginanie w całym przyłączy nie przekracza 5-10 m [34,35].



Rys. 21. Ryzyko uszkodzenia 250 zwojów włókna $\varnothing 0,125$ mm w czasie 20 lat [35].

Naprężenie powstające w zginanym włóknie opisuje wzór [34]:

$$\sigma_{\max} = \frac{E_1 \cdot d_1}{2r_g} \quad (1)$$

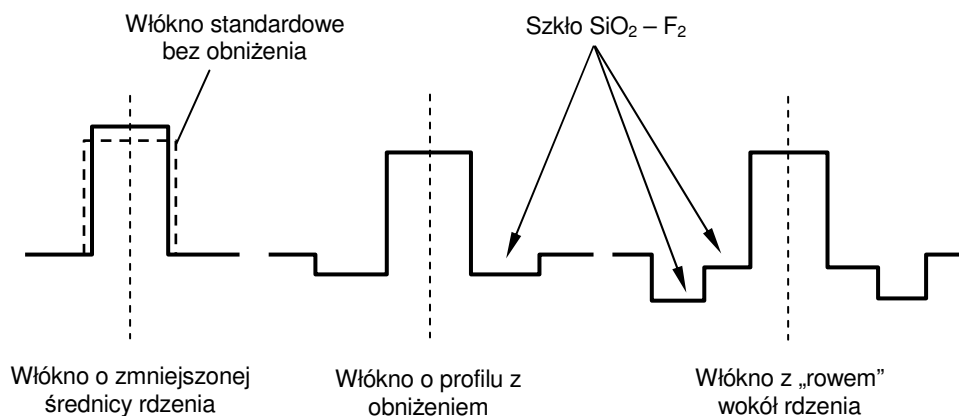
w którym: σ_{\max} - najwyższa wartość naprężenia występująca na powierzchni włókna, d_1 - średnica włókna szklanego, E_1 – moduł sprężystości szkła, r_g – promień zginania włókna.

Zgięcie włókna o średnicy 0,125 mm na promieniu 6,25 mm wprowadza naprężenie 0,69 GPa, równe przykładanemu podczas testu przesiewczego.

Dla instalacji FTTH w budynkach mieszkalnych potrzebne są kable niewrażliwe na ciasne zgięcia i zgniatanie, przykładowo od postawienia mebla na kablu lub zaciśnięcia obejmą do mocowania. Odporność na zgniatanie może zapewnić budowa kabla (p. 4.3), natomiast ograniczenie strat wywołanych zgięciami wymaga włókien jednomodowych nowego typu. Rozwiązania wprowadzane w tym celu są bardzo zróżnicowane, należą do nich:

- 1) włókna o zoptymalizowanej konstrukcji (wymiary, profil refrakcyjny) i konwencjonalnej budowie, zgodne z zaleceniem ITU-T G.652.D [36-39],
- 2) włókna o konwencjonalnej budowie i technologii wytwarzania, ale o parametrach niezgodnych z zaleceniem ITU-T G.652, m.in. o małej średnicy pola modowego (*Mode Field Diameter* - MFD) i nieco przesuniętej charakterystyce dyspersji [40],
- 3) włókna z barierą mikro- lub nanostrukturalną blokującą ucieczkę promieniowania [40-44].

Zaletę włókien (1), przedstawionych na rys. aa stanowi niski koszt produkcji i w zasadzie pełna kompatybilność transmisyjna i montażowa ze standardowymi włóknami jednomodowymi. Wyroby z grupy (2) często wymagają nietypowych programów dla wykonywania złączy spawanych, starty połączeń z włóknami innych typów są stosunkowo wysokie, a pomiary reflektometryczne utrudnione wskutek przesunięć charakterystyk i problemów z oceną strat złączy. Problem ten dotyczy również włókien z „rowem” wokół rdzenia (*Trench Assisted Fiber*), wykonanym ze szkła silnie domieszkowanego łatwo dyfundującym w czasie spawania fluorem.



Rys. 22. Profile refrakcyjne włókien jednomodowych tolerujących zginanie [36,37,40].

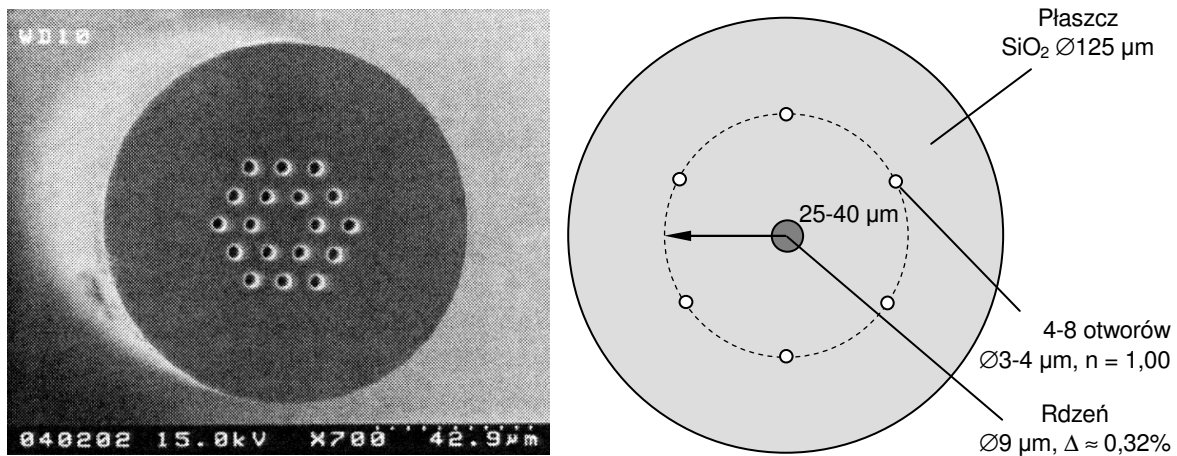
Włókna z grup (1) i (2) znormalizowano w zaleceniu ITU-T G.657 [45] jako kategorie G.657.A i G.657.B. Wymagania dla strat spowodowanych makrozgięciami są następujące:

Parametr	ITU-T G.657.B			ITU-T G.657.A	
Promień zginania [mm]	15	10	7,5	15	10
Liczba zwojów	10	1	1	10	1
Straty max., $\lambda = 1550$ nm [dB]	0,03	0,10	0,50	0,25	0,75
Straty max., $\lambda = 1625$ nm [dB]	0,10	0,20	1,00	1,00	1,50

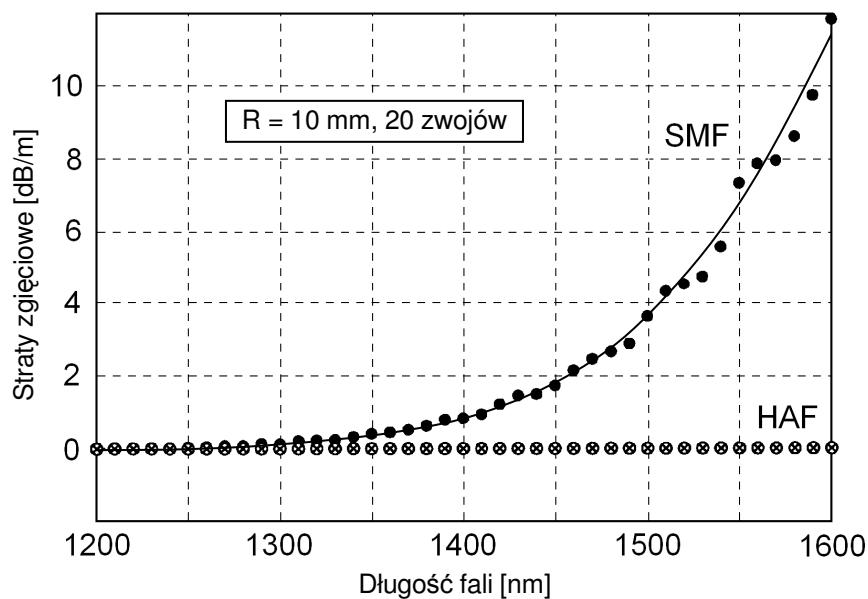
Stabilność tłumienności włókna w warunkach zginania i innych szkodliwych oddziaływań mechanicznych, na przykład docisku włókna do ścianek tuby w mikrokablu rośnie stopniowo w grupach (1), (2) i (3). Włókna mikrostrukturalne, z których HAF (rys. 23) użyto w sieciach FTTH w Japonii, generalnie należą do kategorii G.657.B, dla której zalecenie ITU-T nie określa wymagań dotyczących dyspersji chromatycznej i polaryzacyjnej.

Spawanie włókien HAF wymaga kontrolowanego ogrzewania dość szerokiej strefy wokół właściwego złącza w celu łagodnego zaciśnięcia otworów bez deformacji rdzenia. MFD włókna HAF jest w tym stanie podobna jak zwykłego włókna jednomodowego [F6], co umożliwia ich niskostratne łączenie, ale tylko za pomocą specjalnie opracowanych zgrzewarek.

Efektywność działania bariery mikrostrukturalnej z otworkami (HAF) lub warstwami o grubości nanometrowej tworzącymi zwierciadło dielektryczne (prawdopodobna zasada budowy włókna Corning ClearCurve [26]) jest bardzo wysoka, praktycznie likwidując ucieczkę promieniowania z rdzenia nawet w warunkach odkształceń bliskich niszczącym (rys. 24,27).

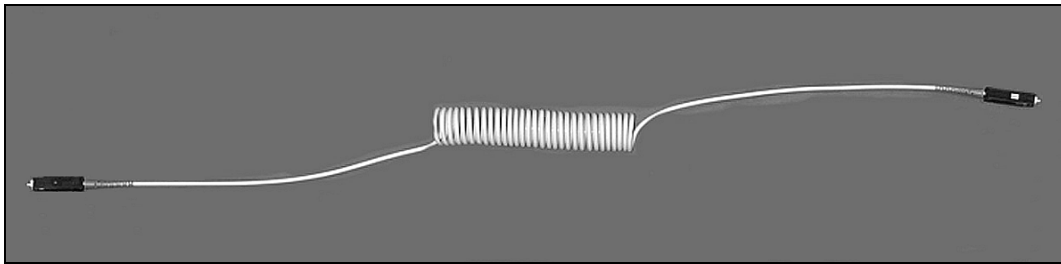


Rys. 23. Budowa włókna z barierą otworkową (*Hole Assisted Fiber - HAF*): pojedynczą (z prawej) [42] i podwójną (z lewej) [43].

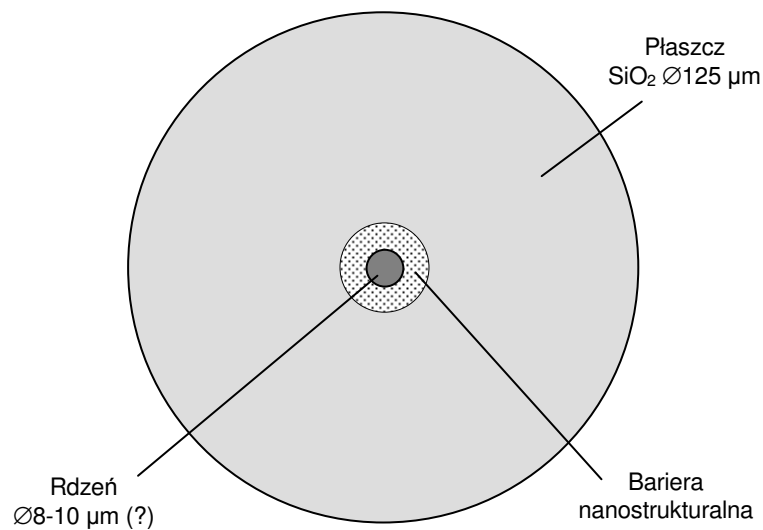


Rys. 24. Charakterystyki strat zgięciowych 6-otworkowego włókna HAF z rys. 23 i standardowego włókna o nieprzesuniętej dyspersji (SMF) [42].

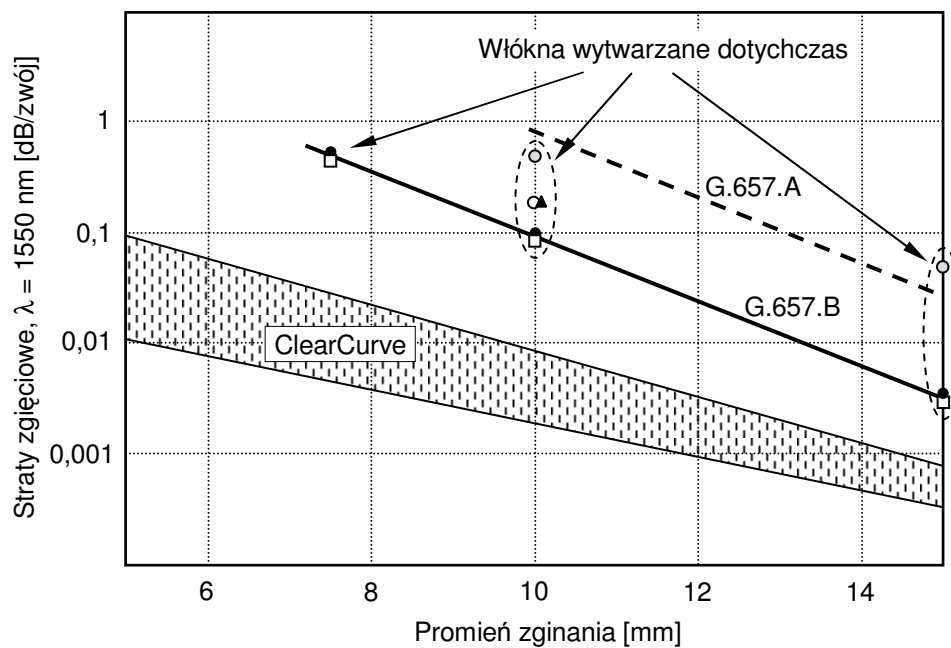
Włókna HAF umożliwiły wykonanie pierwszego użytecznego sznura zwijanego:



Rys. 25. Sznur światłowodowy zwijany z włóknem HAF i ze złączami MT. Średnica kabla 2 mm, średnica części zwijanej 14 mm. Opracowanie NTT [35].



Rys. 26. Prawdopodobna budowa włókna jednomodowego Corning ClearCurve [44].



Rys. 27. Charakterystyki strat zgięciowych włókna Corning ClearCurve i innych włókien tolerujących zginanie wytwarzanych w 2007 r. Dane firmy Corning [44].

Bardzo stabilna tłumienność włókien G.657.B jest, paradoksalnie, krytykowana przez część ekspertów [36], ponieważ brak łatwo wykrywalnego za pomocą reflektometru wzrostu tłumienności ($\geq 0,2$ dB) uniemożliwia efektywną diagnostykę i lokalizację uszkodzeń w sieci: pierwszym skutkiem zbyt ostrego zgięcia będzie najprawdopodobniej pęknięcie włókna.

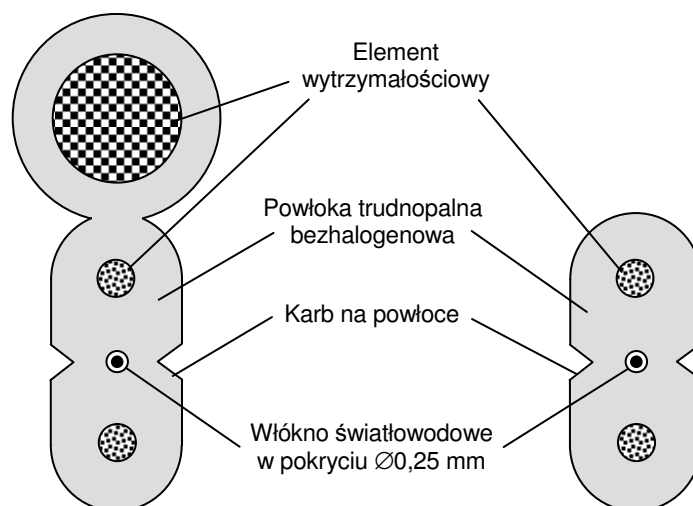
Kolejny problem to brak możliwości wykonania zakończeń bezodbiornych, koniecznych m.in. dla pomiarów reflektancji złączy oraz likwidacji artefaktów reflektometrycznych („duchów”) tradycyjną metodą zwijania włókna lub kabla na pręcie o średnicy 6-10 mm.

Niemożliwa jest ponadto identyfikacja czynnych włókien ITU-T G.657.B bez rozłączenia obwodu za pomocą przenośnych czujników wprowadzających zgięcie włókna lub kabla stacyjnego, a także łączenie ich za pomocą zgrzewarek wyposażonych w układ lokalnego sprzężenia optycznego LID (*Local Injection and Detection*). LID jest stosowany dla kontroli optymalnego centrowania łączonych włókien m.in. w znanych w kraju zgrzewarkach firmy Corning Cable Systems (dawniej RXS).

3.6.3. Kable światłowodowe dla sieci abonenckich

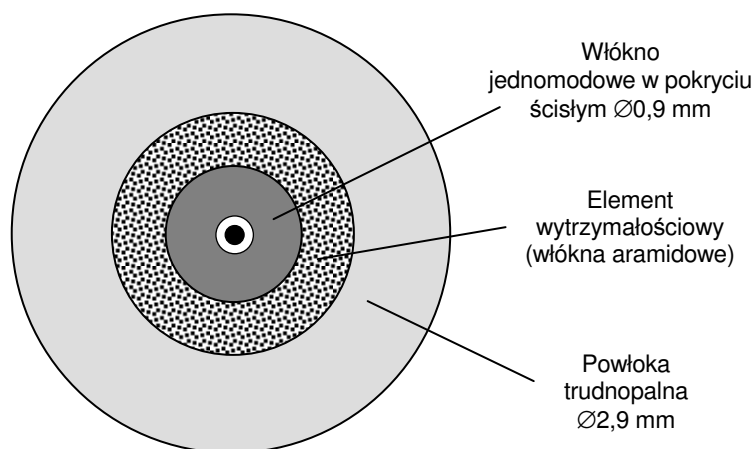
Oryginalne rozwiązania techniczne pojawiają się przede wszystkim w kablach dla przyłączy abonenckich. Należą do nich m.in. mikrokable, głównie z tubą centralną, gdzie główny kierunek rozwoju to zmniejszanie średnicy i masy w celu zaoszczędzenia miejsca w (mikro)kanalizacji kablowej i ułatwienia wciągania lub wdmuchiwanie. Próby wprowadzenia mikrokabli na rynek polski podejmowano od połowy lat 90-tych [46], ale z powodu wysokiej ceny nie znalazły większej liczby nabywców. Są używane w sieciach dostępowych FTTx kilku krajów zachodnioeuropejskich, jednak nie zostały znormalizowane przez IEC. Przykładem jest 12-włóknowy mikrokabel kanałowy z tubą centralną B-Lite Green UT SP1089 firmy Nexans o średnicy zaledwie 3,9 mm [47].

Warte wzmianki są nieznane w kraju kable używane przez operatora NTT (Japonia) dla przyłączy abonenckich, głównie napowietrznych [48,49], które są często mocowane do słupów i ścian budynków za pomocą klamer i zszywek, a w związku z tym narażone na długotrwałe działanie znacznych sił ściskających. Ośrodek optyczny zawierający 1-12 włókien jest umieszczony między sztywnymi prętami wzmacniającymi o większej średnicy, wykonanymi z laminatu szklanego lub aramidowego (rys. 28) i te ostatnie przenoszą całość obciążenia, a spłaszczenie kabla mieści się w bezpiecznych granicach. Karb powłoki umożliwia jej szybkie otwarcie dla wydobycia włókna światłowodowego.



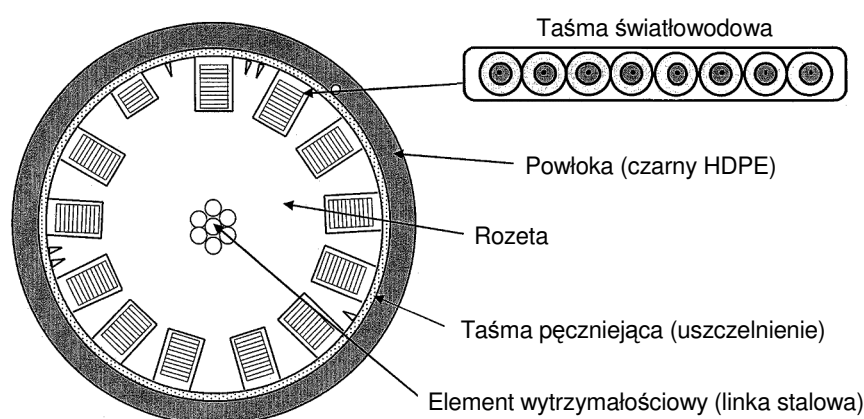
Rys. 28. Przekroje kabli 1-włóknowych firmy Furukawa dla instalacji FTTH [48].
Kabel przyłączeniowy samonośny (z lewej) i kabel wewnętrzny (z prawej).

Z kolei firma Corning przyjęła, że nowe włókna ClearCurve będą umieszczane w kablach stacyjnych o konwencjonalnej budowie i wymiarach (małogabarytowy $\varnothing 2,9$ mm, wzmocniony i wzdłużnie wodoszczelny $\varnothing 4,8$ mm), co pozwoli na ich montaż za pomocą obecnie używanych narzędzi i osprzętu bez potrzeby specjalnego szkolenia instalatorów.



Rys. 29. Małogabarytowy kabel stacyjny Corning ClearCurve [50].

Typową w Japonii konstrukcją kabla kanałowego o wysokiej pojemności, opracowaną przez NTT [51] przedstawia rys. 30. Kabel z ośrodkiem rozetowym zawiera 1000 włókien klejonych w taśmie 8-włóknowe, ma średnicę zewnętrzną 29 mm, masę jednostkową 610 kg/km i zgodny z obowiązującymi w kraju wymaganiami zakres temperatur pracy od -30°C do $+70^{\circ}\text{C}$.



Rys. 30. Kabel rozetowy 1000-włóknowy dla sieci FTTH [51].

3.6.4. Włókna i kable POF

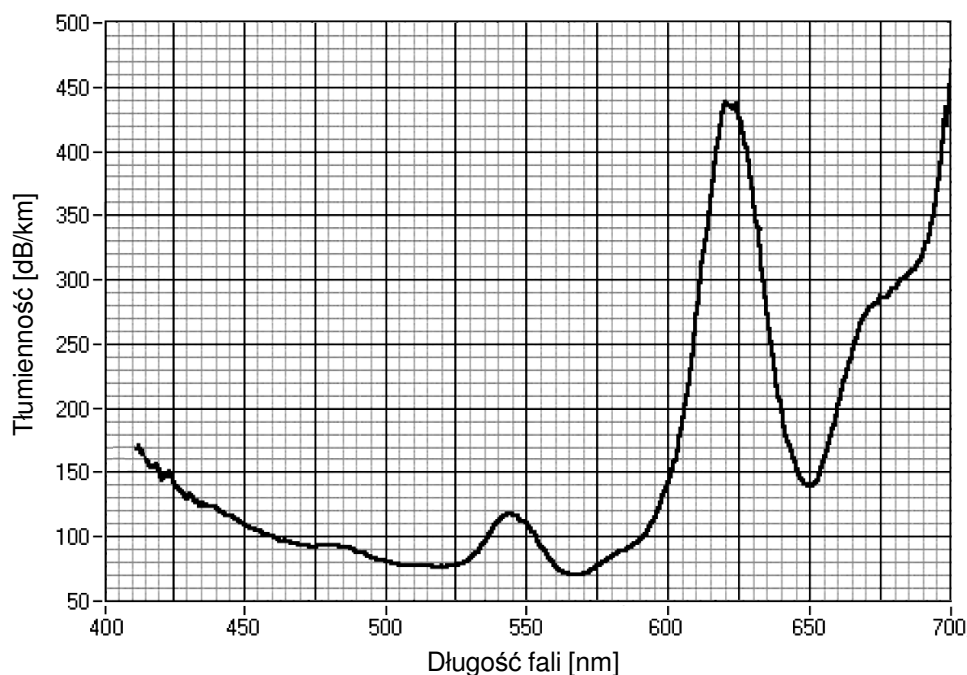
Alternatywą dla klasycznych jednomodowych włókien szklanych są wielomodowe włókna z tworzyw sztucznych (Plastic Optical Fiber – POF), o skokowym lub gradientowym profilu refrakcyjnym. Dokumenty IEC 60793-2-40 [52] wymienia szereg wersji POF oznaczanych jako A4a...A4h, o średnicach rdzenia w zakresie $62,5\text{-}1000\ \mu\text{m}$. Rdzeń POF jest najczęściej wytłaczany z polimetakrylanu metylu (PMMA).

Zginane lub zginiatane POF nie pęka, tylko ulega deformacji plastycznej i zachodzi ograniczony wzrost strat zamiast przerwania połączenia. Włókna wielomodowe o znacznej różnicy współczynników załamania zapewniają silne prowadzenie promieniowania i niskie straty mikro- oraz makrozgięciowe, co potwierdziły badania w 1L kabli POF dla zastosowań motoryzacyjnych. Aktualne wersje dokumentów IEC 60793-2-40 i 60793-2-41 [52,53] określają

dla wszystkich POF identyczne warunki badania strat wprowadzanych przez nawijanie na prowadnicę o promieniu 25 mm, co jest wymaganiem bardzo konserwatywnym.

POF o większych średnicach łatwo łączyć mechanicznie; cięcie odbywa się ostrym nożem, a tolerowany błąd centrowania włókien wynosi nawet $\pm 0,3$ mm.

Transmisja odbywa się w zakresie widzialnym przy długości fali bliskiej 650 nm, dla której dostępne są tanie źródła LED i LD oraz fotodiody krzemowe. Tłumienność włókna z PMMA dla długości fali 650 nm wynosi 120-300 dB/km [54], co ogranicza długość łącza do 50-150 m. Włókno takie ma najniższą tłumienność dla światła zielonego ($\lambda \approx 520/560$ nm)(rys. 31), ale brak odpowiednio wydajnych i tanich źródeł promieniowania.



Rys. 31. Typowa charakterystyka tłumienności włókna POF z rdzeniem z PMMA [54].

Dla sieci FTTH i LAN odpowiednie są przykładowo POF w wersji A4e [52], o średnicy rdzenia 0,5 mm i profilu gradientowym lub wieloskokowym. Ich minimalne pasmo transmisyjne ograniczone dyspersją modową wynosi 200 MHz dla odcinka długości 100 m.

Europejski projekt badawczy POF-ALL [54,55], uruchomiony w 2006 r. ma na celu opracowanie modemów dla transmisji sygnałów 100 Mbit/s na odległość około 100 m włóknem POF o średnicy rdzenia 1 mm i profilu skokowym, które jest tanie, wytrzymałe mechanicznie, proste w montażu i wypróbowane w sieciach samochodowych MOST 25 Mbit/s. Transmisja za pomocą światła widzialnego upraszcza montaż i naprawy sieci oraz usuwa problemy BHP związane z narażeniami wzroku na niewidzialne promieniowanie dużej mocy. Włókno takie ma szerokość pasma tylko 5-10 MHz*km [52], więc konieczne jest zastosowanie modulacji wielopoziomowej i kodu minimalizującego szerokość zajmowanego pasma.

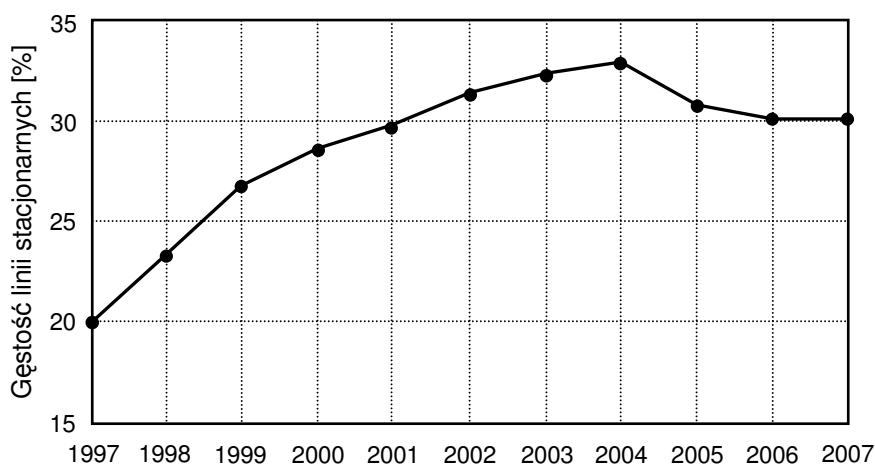
POF są niekompatybilne z włóknami jednomodowymi w sieci dosyłowej tworzącymi segmenty (a) i (b) opisane w rozdziale 3.6.1 i niezbędna jest instalacja aktywnych konwerterów sygnału w odległości nie większej niż 100-200 m od użytkownika, identycznie jak w LAN z kablami symetrycznymi kategorii 5 i 6. To ogranicza ich zastosowanie do bloków mieszkalnych, gęsto zaludnionych osiedli i wewnętrznych sieci domowych, łączących urządzenia audiowizualne, komputery, odbiorniki TV satelitarnej itp. W ostatnim przypadku domowa sieć światłowodowa może być połączona z siecią publiczną za pomocą innego medium, na przykład łącza radiowego WiMax.

4. Uwarunkowania regulacyjne i społeczne budowy sieci FTTx

4.1. Polityka regulacyjna UE a inwestycje

Sieci stałe i oferowane w nich usługi to sektor objęty we wszystkich rozwiniętych państwach szczególnym nadzorem i regulacjami prawnymi oraz bezpośrednią, administracyjną kontrolą działalności tzw. operatorów dominujących. Na regulatorów spada odpowiedzialność za stan rynku i rozwój infrastruktury technicznej, w szczególności kiedy ich decyzje – urzędowe ustalanie cen przy ignorowaniu kosztów i ryzyka inwestycyjnego, zakaz wprowadzania nowych usług przez operatora dominującego, przymusowy wynajem infrastruktury i utrzymywanie zbędnych obiektów itp. blokują inwestycje i wprowadzanie nowych technologii.

Regulatorzy w UE przyjęli model konkurencji usługowej, w której rozwój rynku mierzy się liczbą sprzedawców usług i spadkiem cen – elementami widocznymi dla konsumentów i wyborców, ignorując schowaną w tle monopolizację i dekapitalizację infrastruktury [56,57]. Operator dominujący reaguje na urzędowe, niskie stawki za dostęp do sieci tnąc inwestycje (rys. 32) i zatrudnienie, gdyż własna sieć stanowi odtąd źródło uciążliwych obciążeń i obowiązków, a nie atut w konkurencji. Mimo mnogości operatorów oferta detaliczna jest mało zróżnicowana, bazując na tym samej ofercie hurtowej od jednego dostawcy.



Rys. 32. Zmiany gęstości łączy stacjonarnych w Polsce w latach 1997-2007 [58].

Zakłada się, że po nieokreślonym czasie korzystania z sieci operatora zasiedziatego, operator alternatywny zbuduje własną, wspinając się po „drabinie inwestycyjnej” [57]. Tyle że korzystanie z sieci TP z 47% lub 53% upustem zawsze będzie tańsze, niż budowa. Odpada też ryzyko, że część zbudowanej sieci dostępowej pozostanie nie wykorzystana, szczególnie wskutek masowej w Polsce migracji klientów do sieci komórkowych.

Wspomniany model konkurencji pochodzi się z USA, gdzie w 1996 r. wprowadzono obowiązek udostępniania przez operatora zasiedziatego sieci dostępowej (ang. *unbundling*) według urzędowych stawek obliczanych według długoterminowych kosztów przyrostowych eksploatacji sieci w optymalnych warunkach (TELRIC). Został zarzucony w 2004 r., kiedy zastój inwestycyjny zmusił FCC do rezygnacji z „uwalniania” nowych światłowodowych sieci dostępowych. FCC pozostawiła obowiązek nieopłacalnego udostępniania sieci miedzianych, więc najwięksi operatorzy budujący sieci FTTH, Verizon i AT&T likwidują przyłącza miedziane u każdego klienta, który zamówił usługi dostarczane światłowodem [59].

Poza UE model konkurencji usługowej przyjęto w Australii i Nowej Zelandii. Kluczową metodą promowania konkurencji jest zmuszanie posiadaczy infrastruktury do jej wynajmu po stawkach nie uwzględniających poniesionych przez inwestora kosztów, przy czym regulatorzy posuwają się do odmowy uwzględniania kosztów udokumentowanych i zweryfikowanych, włącznie z... kosztami zakupu koncesji od państwa:

TelecomWeb

The Telecom Intelligence Group

Monday, November 27, 2006

EC Tells U.K. To Curb Rates With 'Inflated' 3G Costs

The European Commission (EC) today told the U.K. government that mobile operators' \$41.2 billion worth of expenditures on 3G wireless spectrum and license auctions in 2000 are "inflated" and shouldn't be included in the traffic-termination rates carriers want to charge each other.

Amid its ongoing disputes with European Union (EU) wireless carriers over rates, roaming and taxation (*Telecom Policy Report*, Sept. 9), the EC told the U.K.'s telecom regulator, the Office of Communications (*Ofcom*), it is concerned about proposed wholesale tariffs to be levied by the country's operators for terminating calls to customers. *Ofcom's* suggested methods of assessing the tariffs, according to the EC, "keep termination values higher than necessary due to 3G spectrum cost valuations which risk overestimating the costs." [...]

The EC maintains the mobile-termination-rate charges proposed by *Ofcom* disproportionately reflect historical 3G spectrum auction value, and they don't appear to reflect current value. As a result, the EC wants *Ofcom* to do a revaluation of 3G licenses. "I am concerned that *Ofcom's* approach to calculate 3G spectrum costs could hinder the movement towards lower mobile interconnection prices," said Viviane Reding, the EC's information society and media commissioner in a prepared statement. "The commission believes that such costs should not be calculated on the basis of prices paid during the spectrum auctions, which are in today's context inflated. Otherwise, distortions of competition and higher prices for mobile customers could be the result."

Koncesje 3G w UE kosztowały ponad 100 mld USD, ale operatorzy którzy zapłacili mają o tym drobiazgu zapomnieć, by usługi były tańsze.

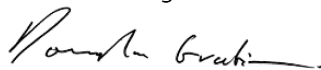
Australijski operator zasiedziały Telstra po rozmowach z regulatorem ACCC dotyczących stawek za dostęp anulował w sierpniu 2006 r. plany budowy sieci FTTH [60]:

Fibre-to-the-node talks discontinued

Following discussions this morning with the ACCC, Telstra accepts that its negotiations with the ACCC over a fibre-to-the-node broadband network have reached an impasse. Telstra sought an outcome that would assure Telstra shareholders that their investment in the network would not be used to subsidise network access by Telstra's competitors. The negotiations have not produced this outcome. The major stumbling block was the ACCC's unwillingness to recognise the actual costs that Telstra incurs in providing its services and, especially, the costs it incurs in providing services to rural, regional, and remote Australia. Until Telstra's actual costs are recognised and the ACCC's regulatory practices change, Telstra will not invest in a fibre-to-the-node broadband network.

Telstra will be briefing media and analysts on this announcement later this morning and will lodge a transcript of the briefing with the ASX when this becomes available.

Yours sincerely



Douglas Gratton
Company Secretary

Również British Telecom z powodu regulacji prawnych wykluczył budowę sieci FTTH:

BT to complete 21CN in 2011/12, rules out FTTH

By Anne Morris, Total Telecom

13 April 2007

Incumbent reveals up-to-date timetable, but slashes hopes of a national FTTH network for now.

BT this week gave an update on the progress of its 21st Century Network and said it expects the programme to be fully completed by the end of the U.K. incumbent operator's 2011/12 2011/12 financial year.

BT also ruled out the likelihood of it rolling out a national fibre-to-the-home access network in the near term, saying this is largely a market matter and would require investment by "UK plc". [...] BT's access division, Openreach, has rolled out a small-scale FTTH network in Kent, but Matt Beal, CTO of BT Wholesale, said this was a one-off opportunity to provide a network requested by one customer, in this instance Ebbsfleet Valley.

Beal added that BT has been trialing technologies for FTTH and fibre-to-the-kerb deployments since 2004. But he said in other countries where incumbents are planning FTTH or fibre-to-the-cabinet, the operators are being told they would not have to unbundle exchanges.

"We are not being given those assurances," said Beal. "If you have fibre, the unanswered question is how to allow LLU operators to continue. The unresolved question is LLU."

Polityka prowadzona w kraju jest podobna; wyniki też:

UKE chce bronić operatorów alternatywnych

Łukasz Dec 31-10-2007, ostatnia aktualizacja 31-10-2007 19:55

Urząd Komunikacji Elektronicznej odrzucił kalkulację kosztów działania, jakie przedstawiła Telekomunikacja Polska. Tym samym urząd uznał, że nie ma podstaw do podwyżki stawek, po jakich narodowy operator rozlicza się z konkurentami. Dzięki temu operatorzy alternatywni mogą proponować abonentom TP swoje usługi po atrakcyjnych cenach.



autor zdjęcia: Jerzy Dudek
źródło: Fotorzepa
Szefowa UKE Anna Streżyńska
+zobacz więcej

Od półtora roku UKE wydaje decyzje, dzięki którym operatorzy alternatywni (Netia, Tele2, GTS Energis) mogą konkurować z TP o jej własnych abonentów. Doprowadziło to do realnego spadku cen usług dostępu do Internetu i większego wyboru usług telefonicznych. Operatorzy alternatywni płacą TP hurtowe stawki za dostęp do jej abonentów i za świadczone im usługi. TP utrzymuje, że te stawki - narzucone decyzjami UKE - są zbyt niskie. Tak niskie, że w wielu przypadkach nie pokrywają kosztów, jakie ponosi operator. UKE twierdzi, że stawki zostały ustalone na odpowiednim poziomie, bo są adekwatne do hurtowych cen w innych krajach. Spór o to toczy się od wielu miesięcy.

Nowa bitwa rozpoczęła się latem, kiedy TP - zgodnie ze swoim obowiązkiem- przedstawił kalkulację kosztów swojego działania. Z tej kalkulacji wynika, że hurtowe stawki powinny być wyższe. Kalkulację zbadał niezależny audytor Ernst&Young i nie dopatrywał się uchybień. UKE jednak wysunęło własne zastrzeżenia i wczoraj poinformowało, że nie przyjmuje kalkulacji TP, jako w pełni wiarygodnej. Oznacza to, że urząd nie dopuści do zmian hurtowych stawek rozliczeniowych. [...]

Źródło : Rzeczpospolita

Dzięki polityce UKE operatorzy alternatywni po „drabinie inwestycyjnej” schodzą: budowali sieci (Netia, Dialog), teraz przechwytyują abonentów TP. Z dyskusji na forum internetowym:

Szybki internet tylko dla wybranych

Tp S.A. i możliwości techniczne.

(2007-10-11 13:11)
~durszlak

W mojej wioseczce wszędzie są telefony i neostrada. Ja pobudowałem się na nowo sprzedawanych działkach pod całkiem nowe osiedle. Chociaż wszędzie wokół są słupki TP to oczywiście TP powiedziała mi, że nie mają możliwości technicznych, żeby mnie podłączyć. Czyli poprostu nie chce im się dla na razie stojących na moim osiedlu 4 domów ciągnąć kabelka. Nie? To nie! Nigdy nie będą mieli u mnie swojego telefonu. Ja też potrafię być głupio uparty.

L... Re: Tp S.A. i możliwości techniczne.

(2007-10-11 13:48)

Czyli na "złość babci odmroziś sobie uszy".

~WIS

[Odpowiedz](#)

L... Re: Tp S.A. i możliwości techniczne.

(2007-10-11 15:05)

I teraz już nie doprowadzą kabelka, bo wtedy wdzięczni abonenci przepisaliby się do Tele 2 lub innego podobnego pasożyta. Masz konkurencję wykreowaną efekciarskimi działaniami UKE. koniecznie podziękuj Streżyńskiej.

~zero inwestycji

Perspektywy sektora telekomunikacyjnego w Polsce martwią już analityków:

Gazeta Prawna Nr 90 (1960) czwartek, 10 maja 2007 r. > Biznes

TELEKOMUNIKACJA JAK BĘDZIE WYGLĄDAŁA BRANŻA ZA KILKA LAT

Telekomy muszą inwestować albo grozi im zapaść

Jeśli operatorzy wstrzymają inwestycje, to sektor telekomunikacyjny czeka zapaść i głęboki spadek przychodów. Dlatego polskie firmy muszą wydawać kolejne miliony.

W gospodarce sektor telekomunikacyjny należy do najbardziej innowacyjnych. Jednak rosnącą konkurencja i regulacje wymuszają spadek cen usług i tym samym przychodów. [...]

Według firmy badawczej IDATE, są trzy scenariusze rozwoju branży w Europie do 2015 roku. Pierwszy scenariusz zakłada, że wartość rynku się podwoi, w drugim zwiększy się o ok. 30 proc., a w trzecim spadnie o ok. 30 proc. Każdy scenariusz jest ściśle związany z polityką regulacyjną i rolą sektora publicznego. [...]

Aby ziścił się optymistyczny scenariusz, europejskie regulacje muszą z jednej strony zwiększać konkurencję na rynku szerokopasmowego dostępu do internetu, a z drugiej zachęcać telekomy do inwestycji w sieci. Musi się też pojawić popyt na nowe usługi ze strony sektora publicznego.

Telekomy muszą zacząć inwestować w sieci nowej generacji (NGN), gdzie wszelkie usługi realizowane są w technologii IP. W tym scenariuszu minimalna prędkość szerokopasmowego internetu to 50 Mb/s. [...]

Telekomunikacja Polska nie podjęła jeszcze decyzji o tym, czy i kiedy zacznie inwestowanie w NGN. Prezes spółki Maciej Witucki nie odżegnuje się od takiej inwestycji, ale stawia wyraźny warunek, że sieć NGN musi być przez jakiś czas chroniona przed możliwością wykorzystania jej przez konkurencję. Na ten cel spółka będzie zapewne musiała wydać kilkanaście mld zł.

W scenariuszu pesymistycznym telekomy przyjmą postawę wyczekującą i wręcz zrezygnują z części z inwestycji, a winą obarczą regulatorów. W efekcie superszybki internet będzie tylko w wielkich miastach, a usługi będą skierowane głównie do klientów biznesowych.

Model „drabiny inwestycyjnej” jest dość często kwestionowany z powodu nieproporcjonalnie skromnych inwestycji nowych operatorów [61-63].

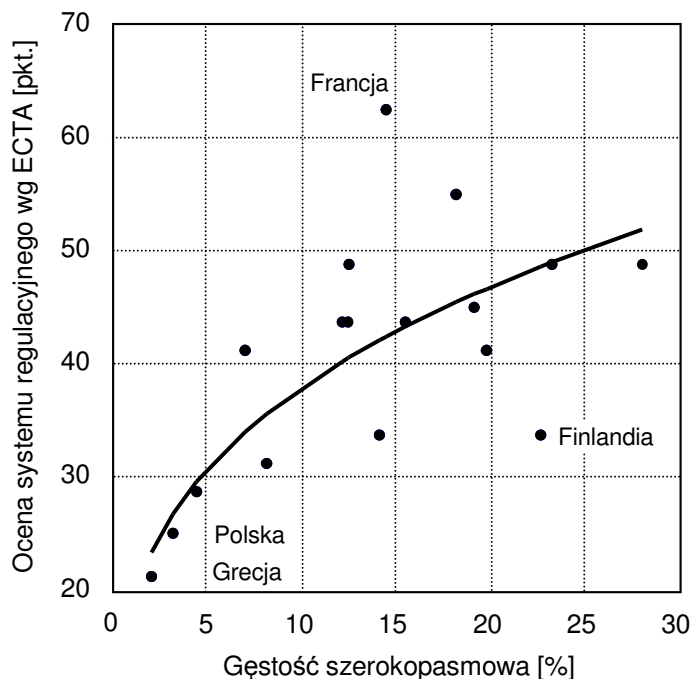
Warto dokonać oceny efektów gospodarczych polityki regulacyjnej w kraju. Realizowana obecnie strategia regulacyjna na lata 2006-2007 [64] ma przynieść klientom oszczędności szacowane na 1,582 mld PLN rocznie (str. 14), natomiast oszczędności już osiągnięte w latach 2004-2005 oszacowano na 1,106 mld PLN rocznie (str. 11).

TP SA w latach 2004-2005 zredukowała liczbę budowanych linii do około 0,3 mln rocznie, tj. 0,5 mln poniżej średniej z lat 1999-2003 i 0,7 mln poniżej maksimum z okresu przed przejściem kontroli przez FT. Przy szacunkowym koszcie budowy linii abonenckiej 2000 PLN (700-800 USD), tylko z tego tytułu operator dominujący „uwolnił się” od wydatków w granicach 1,0-1,4 mld PLN rocznie. Redukcja personelu o 15 000 osób przy kosztach na 1 zatrudnionego tylko 33 000 PLN/rok przynosi kolejne 0,5 mld PLN rocznie.

TP SA szacuje koszty budowy sieci dostępowej NGN na 15 mld PLN i odmawia ich poniesienia bez zmian regulacji (str. 40). Jeśli inwestycje odbędą się ze środków publicznych, pochłoną 10-letnie oszczędności z liberalizacji rynku telekomunikacyjnego.

Zamiast obiecywanego transferu zysków monopolisty do kieszeni klientów, zachodzi przejadanie środków, które normalnie są przeznaczone na odtwarzanie starzejącej się infrastruktury. Później konsumenci jako podatnicy będą wpłacać wszystkie uzyskane oszczędności państwu, które wyda je zastępując operatorów komercyjnych w roli inwestora. To oznacza upaństwowienie kosztów i prywatyzację zysków z działalności telekomunikacyjnej, przy czym duża część zysków jest transferowana za granicę. Transfery te są wyrównywane napływem środków z funduszy strukturalnych UE, ale tylko czasowo.

Po 10 latach regulowanej konkurencji (w Wielkiej Brytanii ponad 20, według 4 modeli: duopolu BT-Mercury, forsowania operatorów TV kablowej, uwolnienia pętli lokalnej i podziału BT) istnieje silne lobby broniące interesów nowych graczy, świadomych że bez przywilejów nie przetrwają [56]. Przykładu dostarcza Karta Ocen Polityki Regulacyjnej [65,66] wydawana przez Europejskie Stowarzyszenie Operatorów Konkurencyjnych (ECTA). Po skomplikowanej ocenie systemu regulacyjnego krajów UE pod kątem „przyjazności” dla operatorów alternatywnych, sporządzono m.in. rysunek, który ma wykazać silny i korzystny wpływ takich regulacji:



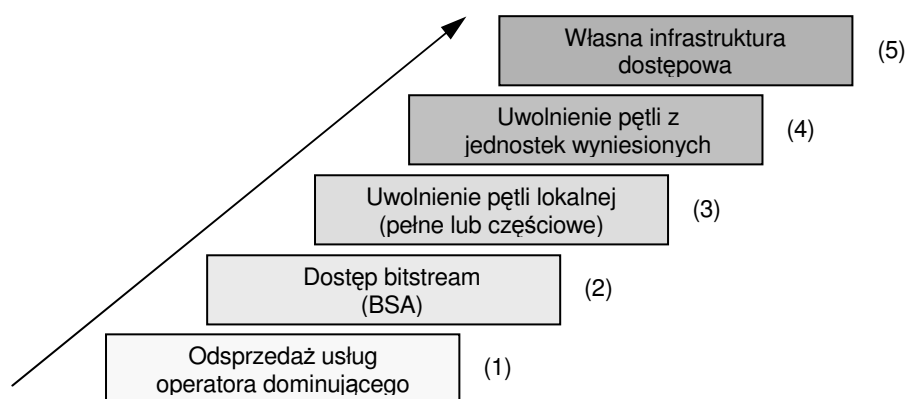
Rys. 33. Zależność między oceną przez ECTA regulacji dotyczących usług szerokopasmowych, a gęstością dostępu szerokopasmowego w krajach UE [65].

Porównanie z rys. 2 (str. 5) dowodzi, że dokładniejsze wyjaśnienie można uzyskać bez tworzenia skomplikowanej metodyki. Różnice gęstości między rys. 2 i 33 wynikają stąd, że rys. 33 pochodzi z wydania z 2006 r. [65] i bazuje na danych OECD z 2004 r., o rok starszych niż użyte dla opracowania rys. 2. W wydaniu z 2007 r. [66] takich analiz brak.

Poważnej oceny polityki regulacyjnej można oczekiwać w 2011 r., kiedy nadejdzie moment oceny wyników strategii lizbońskiej i porównania dostępu społeczeństw UE do usług szerokopasmowych z tym w Japonii, Singapurze (str. 41) czy Hongkongu.

4.2. Dostęp dla operatorów alternatywnych w sieciach FTTx

Zasada hurtowego dostępu do sieci operatora dominującego po urzędowych cenach, sformułowana dla tradycyjnej sieci telefonicznej, jest przenoszona przez regulatorów w większości krajów UE na sieci dostępowe FTTx [9,57]. Model „drabiny inwestycyjnej” pokazany na rys. 34 [9] zakłada, że operator alternatywny przechodzi stopniowo od sprzedaży usług operatora dominującego do posiadania własnej sieci dostępowej i oryginalnej oferty.



Rys. 34. Rozwój konkurencji w sieci stałej na zasadzie „drabiny inwestycyjnej” [9].

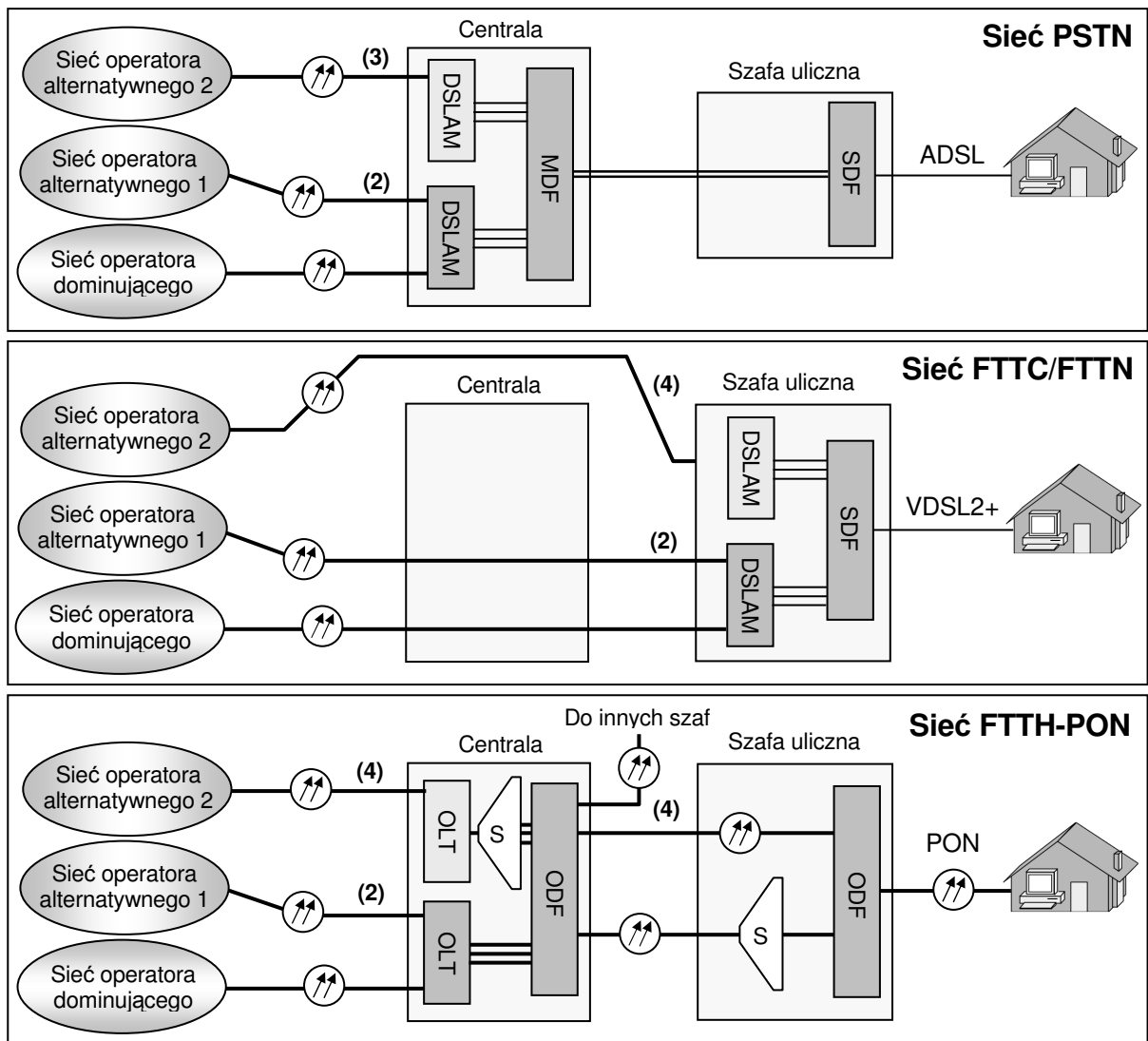
Abstrahując od poprawności tego modelu, rozpatrzmy poniżej problemy techniczne związane z jego realizacją w nowo budowanych sieciach szerokopasmowych FTTC i FTTH.

Całkowita (FTTH) lub częściowa (FTTB, FTTC) likwidacja sieci miedzianej przez operatora dominującego odcina dostęp konkurentom, którzy weszli na szczebel 2 lub 3, budując łącza do central i montując tam swe wyposażenie (kolokacja). W tym stadium znajdują się główni konkurenci TP SA oferujący szerokopasmowy dostęp do internetu (Netia, Exatel, Dialog).

W sieci FTTC/N/B analogiczny funkcjonalnie dostęp daje kolokacja na poziomie jednostki wyniesionej w szafce ulicznej lub budynku. Każdy operator alternatywny musi doprowadzić swe łącza cyfrowe (światłowodowe) do jednostki wyniesionej (rys. 35). Dostęp do sieci odbywa się poprzez DSLAM operatora dominującego (szczebel 2) lub własny DSLAM operatora alternatywnego przyłączony do wybranych par na SDF (szczebel 4).

Ponieważ wszyscy operatorzy muszą wyposażyć nowe obiekty, zmiana taka jest pozornie neutralna dla ich pozycji konkurencyjnej. Faktycznie, istnieje szereg ograniczeń utrudniających transfer operatorom alternatywnym o małym udziale na rynku:

- Operator alternatywny często nie ma na obszarze obsługiwanym z jednej szafy liczby klientów uzasadniającej instalację własnego sprzętu - małe DSLAM mają około 20 portów, czyli przy 200 abonentach przyłączonych do szafy musi przyciągnąć 5-10% z nich,
- Szafy uliczne mają bardzo mało miejsca na instalację dodatkowych urządzeń, a budowa dodatkowych napotyka na szereg ograniczeń,
- Budowa linii kablowych z obiektów operatora alternatywnego do jednostek wyniesionych jest kosztowna i czasochłonna (pozwolenia budowlane).



Rys. 35. Metody dostępu operatorów alternatywnych do sieci szerokopasmowych [9].
Klasyfikacja dostępu według rys. 34.

W tej sytuacji regulatorzy w państwach UE stawiają operatorom planującym budowę sieci FTTx dodatkowe warunki [9,12], obejmujące m.in.:

- Udostępnianie kanalizacji dla układania kabli konkurentów,
- Rezerwowanie miejsca i mocy w szafach ulicznych dla potrzeb kolokacji,
- Utrzymywanie starych obiektów i miedzianej sieci kablowej na użytek konkurentów pomimo, że operator dominujący już ich nie potrzebuje.

4.3. Wykluczenie cyfrowe

Sieci dostępowe NGN, jako kosztowne i oferujące usługi dla dość wymagającej klienteli, są i będą budowane przez operatorów komercyjnych na obszarach dających perspektywę sukcesu handlowego, więc wsie i małe miasta w „Polsce B” ich nie otrzymają. Tam pozostanie w najlepszym razie dostęp xDSL, w gorszym – radiowy i wdzwany, stąd umocni się „wykluczenie szerokopasmowe” części społeczeństwa i różnice międzyregionalne.

Przyjęte m.in. w Holandii przez CityNet Amsterdam [67], Islandii, Singapurze i Malezji [68], a rozpatrywana m.in. w Wielkiej Brytanii [69] powszechne (współ)finansowanie budowy sieci dostępowej FTTx ze środków państwa lub samorządów jest mało realne w kraju. Ponadto budowa lokalnych sieci FTTH lub WiFi i WiMax przez samorzady zamożniejszych miast pogłębia wykluczenie cyfrowe innych regionów nie mających środków na podobne inwestycje.

Nakazy, by TP inwestowała na nieatrakcyjnych terenach skończą się fiaskiem. W USA każda próba zmuszania operatora Verizon przez władze stanowe lub miejskie do budowy sieci FTTH w biednych dzielnicach, wiązania pozwoleń z dodatkowymi obowiązkami itp. kończy się w jeden sposób: inwestycje trafiają tylko tam, gdzie takich warunków nie ma.

4.4. Radiofobia

Spoleczeństwa ceniące wygodne życie wykazują podejście do niezbędnych, lecz uciążliwych dla otoczenia lub niezrozumiałych dla przeciętnego człowieka elementów infrastruktury określane skrótem NIMBY (*Not In My Backyard*) – „nie na moim podwórku”. Na czarnych listach sporządzanych przez ekologów i komitety protestacyjne figurują m.in. elektrownie atomowe (ale nikt nie chce żyć bez elektryczności), lotniska (ale każdy lubi wczasy za granicą), duża część fabryk (ale nikt nie lubi bezrobocia), spalarnie śmieci (ale każdy chce mieć czysto), stacje benzynowe i autostrady (ale prawie każdy chce mieć samochód) i – od około 2002 r. – „promieniujące” obiekty radiokomunikacyjne, przede wszystkim masowo budowane i widoczne stacje bazowe GSM [5] oraz (na razie rzadziej) WiFi i WiMax. Obiekty GSM i 3G były już w Wielkiej Brytanii i Irlandii wielokrotnie niszczone przez okolicznych mieszkańców [70], a budowa nowych wiąże się z uciążliwymi protestami i uzgodnieniami.

Brak dowodów na szkodliwe oddziaływanie nadajników stacji bazowych, ale obaw tych nie można lekceważyć, czego dowodzi los energetyki atomowej po 1979 r. Dla inwestorów planujących budowę sieci FTTx są one korzystne, utrudniając wprowadzanie konkurencyjnego dostępu radiowego i umożliwiając reklamowanie ich usług jako „ekologicznych”.

5. Perspektywy budowy sieci FTTx w kraju

Uwzględniając że:

- sieć dostępową nowej generacji (*Next Generation Network* – NGN) jest kosztowna,
- regulator rynku (UKE) znajduje się od 2004 r. w permanentnym konflikcie z TP,
- planowany na 2008 r. podział TP SA według nieznanych jeszcze zasad spowoduje odkładanie przez operatora wszelkich ważnych decyzji do czasu sfinalizowania podziału,
- rynek dostępu szerokopasmowego w Polsce odznacza się wyjątkową wrażliwością na ceny przy umiarkowanych wymaganiach co do parametrów i jakości usługi

najbardziej prawdopodobne jest odkładanie budowy sieci FTTx na dużą skalę przy równoczesnych przetargach TP z regulatorem. Operator wykorzysta prawdopodobnie jako dźwignię nacisku sytuację we Francji, gdzie France Telecom buduje od jesieni 2006 r. sieci FTTH oferujące dostęp 100 Mbit/s przy bardzo przychylnym podejściu lokalnego regulatora Arcep oraz w Niemczech, gdzie Deutsche Telekom po decyzji regulatora o przymusowym udostępnianiu elementów sieci FTTN [71] zawiesił jej budowę.

Inne firmy nie podejmą żadnych znaczących inwestycji oczekując że otrzymają tani dostęp do nowej sieci TP. Można natomiast oczekiwać, że ważniejsi operatorzy zbudują małe sieci doświadczalne, służące jako poligon do testowania usług (np. HDTV) oraz dla reklamy.

Paradoksalnie, opóźnienie może być korzystne, gdyż stopniowy wzrost oczekiwań klientów i informacje o doświadczeniach zagranicznych najprawdopodobniej pozwolą podjąć decyzję o budowie sieci FTTH, a nie tańszej i bazującej na lepiej znanych technologiach, lecz stanowiącej w dłuższej perspektywie pułapkę inwestycyjną sieci FTTN (rozdział 3.5).

W listopadzie 2007 r. TP poinformowała o decyzji budowy próbnej sieci FTTH na jednym osiedlu w Warszawie, która ma swym abonentom zapewnić dostęp 50 Mbit/s oraz usługi wizyjne [72]. Ocenę osiągnięć Polski i innych krajów UE w tym zakresie umożliwia komunikat o rozpisany przez rząd Singapuru przetargu na współfinansowaną przez państwo budowę sieci FTTH mającej zapewnić usługę powszechną 1000 Mbit/s. [73].

6. Literatura

- [1] *OECD Broadband Statistics to December 2006*; OECD Directorate for Science, Technology and Industry, 2007.
- [2] *BT Offers Free Backup with Digital Vault*; Datamonitor Computerwire, October 24, 2006.
- [3] C.Y. Johnson: *'Bandwidth hogs' finding the Internet has its limits*; The Boston Globe / International Herald Tribune, March 14, 2007.
- [4] *Raport o stanie rynku telekomunikacyjnego za 2006 rok*; Biuletyn UKE, sierpień 2007.
- [5] *Pismo protestacyjne przeciw stacji bazowej telefonii cyfrowej sieci Era nr 46277 - Wrocław Krzyki*; Społeczny Komitet Protestacyjny „NIE! DLA WIEŻY”, Wrocław, luty 2007. <http://www.iddd.de/umtsno/wroclaw/wroclawsztabowa30.htm>
- [6] S. Kopeć: *Małopolska Sieć Szerokopasmowa – Plan wdrażania projektu*, Urząd Marszałkowski Województwa Małopolskiego, czerwiec 2007.
- [7] W. Ortyl: *Sieć Szerokopasmowa Polski Wschodniej*, Ministerstwo Rozwoju Regionalnego, lipiec 2007.
- [8] *Projekt „Sieć Szerokopasmowa Polski Wschodniej”*; Urząd Komunikacji Elektronicznej (UKE), sierpień 2007.
- [9] *ERG Opinion on Regulatory Principles of NGA*, ERG(07) Rev.2, May 2007.
- [10] *Strategic Review of Telecommunications – Phase 2: Response to Ofcom*, Version 4.1 (Final), Critical Telecom Corporation, February 2005.
- [11] *Statistical Variables for Evaluating Compatibility of Remote Deployments*; Telcordia Technologies, T1E1.4/2001-132, May 2001.
- [12] K. von den Hoff, M. Dargue: *VDSL2 to Threaten European Local Loop Unbundlers*; CSMG Adventis, January 2007.
- [13] *Telecom Italia Group Next Generation Network - Meeting with European Authorities*; Telecom Italia, April 17, 2007.
- [14] *WiMax Killer?: 100 MB/s LTE Mobile Wireless Passes Key Test*; TelecomWeb, November 7, 2007.
- [15] *FTTH Council - Definition of Terms*, August 2006.
- [16] Zalecenie ITU-T G.983: *Digital sections and digital line system – Optical line systems for local and access networks: Broadband optical access systems based on Passive Optical Networks (PON)* (01/2005).
- [17] Zalecenie ITU-T G.984.1: *Digital sections and digital line system – Optical line systems for local and access networks: Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): General characteristics* (03/2003).
- [18] IEEE 802.3 Standard for Information technology - *Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements Part 3: Carrier sense multiple access with collision detection (CSMA/CD) access method and physical layer specifications* (12/2005).
- [19] *The First in GPON: FlexLight Networks Customer Presentation*, September 2005.
- [20] Zalecenie ITU-T G.652: *Characteristics of a single-mode optical fibre and cable* (06/2005).
- [21] C.-H. Lee, K.-M. Choi: *Fiber to the Home*, Proc. LEOS 2007, referat ThDD2, s. 937-938, Lake Buena Vista, FL, USA, October 21-25, 2007.
- [22] *Optimate 2500LT FlexLight's High Capacity GPON (ITU-T G.984) Optical Line Terminal*, FlexLight Networks, Inc.
- [23] *Optimate 1000 NT FlexLight's High Capacity GPON (ITU-T G.984) Small Business/Multi Dwelling Optical Network Terminal (ONT)*, FlexLight Networks, Inc.
- [24] Karty katalogowe urządzeń: *Edge2000, Edge200, Home4000, Xgen1000, Xgen8000*, Alloptic, Inc., 2006.

- [25] *Gigabit Ethernet PON (GE-PON) Solution*, AFL Telecommunications (08/2006).
- [26] *TW-124G ONTs GPON Optical network Terminals for Residential and SOHO Applications*, Terawave Communications (09/2006).
- [27] *ERG Opinion on Regulatory Principles of NGA*, Revision 2, European Regulatory Group, October 2007.
- [28] *IES-5000 / IES 5005 6.5U/4U IP DSLAM with DC Power*, ZyXEL Communications Corp. (07/2007).
- [29] *SURPASS hiX 56xx series – Carrier Ethernet IP DSLAMs*, Siemens, 2006.
- [30] *SURPASS hiX 56** IP-DSLAM*, SwjazinformService GmbH, 2006.
- [31] *Bitstorm-HP-160 VDSL2 High Performance IP-DSLAM*, Zhone Technologies, Inc. (09/2007).
- [32] P. Mühlbauer: *Die Glasfaser in ihrem Lauf ... hält DSL im Osten auf*, Telepolis, 12.02.2001. <http://www.heise.de/tp/r4/artikel/4/4885/1.html>
- [33] *Raus aus dem OPAL-Ghetto*, forum internetowe rosengart.de, April 2004. <http://www.rosengart.de/archives/000015.html>
- [34] P. Matthijsse, W. Griffioen: *Matching optical fiber lifetime and bend-loss limits for optimized local loop fiber storage*, Optical Fiber Technol., Vol. 11, s. 92-99, 2005.
- [35] K. Hiramatsu i in.: *Optical Fiber Curl Cord*, NTT Tech. Review, Vol. 3, No. 5, May 2005, s. 57-61.
- [36] J. George, D. Mazzaresse: *Video-optimized fiber is all about the bends*, Lightwave, July 2007, s. 13,16-18.
- [37] F. Wu i in.: *A New G.652D, Zero Water Peak Fiber Optimized for Low Bend Sensitivity in Access Networks*; 55th IWCS/ Focus Conference, November 12-15, 2006, Providence, RI, USA.
- [38] *AllWave FLEX Zero Water Peak Fiber*, OFS Furukawa, 2007.
- [39] *Corning SMF-28e XB Optical Fiber*, karta katalogowa PI1462, Corning, May 2007.
- [40] K. Himeno i in.: *Low Bending-Loss Single-Mode Fibers for Fiber-to-the-Home*; J. Lightwave Technol., Vol. 23, No. 11, 2005, s. 3494-3499.
- [41] K. Nakajima i in.: *Hole-Assisted Fiber Design for Small Bending and Splice Losses*, IEEE Photonics Technol. Letters, Vol. 15, No. 12, 2003, s. 1737-1739.
- [42] K. Nakajima i in.: *Hole-Assisted Single Mode Optical Fiber*, patent USA 7228040, June 2007.
- [43] Y. Tsuchida, K. Saitoh, M. Koshiba: *Bending-Insensitive Single-Mode Hole-Assisted Fibers with Reduced Splice Loss*, Proc. Conf. on Lasers & Electro-Optics (CLEO), referat CMV6, s. 384-386, Baltimore, USA, May 22-25, 2005.
- [44] *Corning ClearCurve Optical Fiber*, Corning Inc., September 2007.
- [45] Zalecenie ITU-T G.657: *Characteristics of a bending loss insensitive single mode optical fibre and cable for the access network* (12/2006).
- [46] K. Borzycki: *Mikrokable światłowodowe firmy Siemens dla sieci miejskich*, Przegląd Telekomunikacyjny + Wiadomości Telekomunikacyjne, Vol. 71, Nr 2/1998, s. 119-121.
- [47] *Nexans B-Lite Green UT SP1089 Microcable up to 12 Fibres*, Nexans, 2007.
- [48] I. Kobayashi: *Optical fiber cables for FTTH in Japan*; dokument roboczy ITU-T SG06-D28, September 2002.
- [49] *DC-1 Drop Cable*, Fujikura Ltd., 2003.
- [50] *ClearCurve™ Compact Drop Cable Product Specifications EVO-761-EN*, Corning Cable Systems, September 2007.
- [51] J. Kawataka i in.: *Novel Optical Fiber Cable for Feeder and Distribution Sections in Access Networks*, Journ. Lightwave Technol., Vol. 21, No. 3, March 2003, s. 789-806.

- [52] IEC 60793-2-40 Ed. 2.0: Part 40: *Product specifications - Sectional specification for category A4 multimode fibres* (12/2004).
- [53] IEC 60794-2-42 Ed. 1.0: *Optical fibre cables – Part 2-42: Indoor optical fibre cables – Product specification for simplex and duplex cables with A4 fibres* (12/2006).
- [54] *The POF-ALL Project: Plastic Optical Fiber Targets FTTH and Home Networks*, prezentacja projektu POF-ALL, September 2006. ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/ist/docs/directorate_d/cnt/press-release-pof-all-sept-2006_en.pdf
- [55] R. Gaudino: *Consumers wire up their homes with POF*, Fibre Systems Europe, November 2007, s. 18-20.
- [56] F. Kamiński: *Inwestycyjne aspekty regulacji konkurencji na rynku komunikacji elektronicznej w Unii Europejskiej*, Telekomunikacja i Techniki Informacyjne, Nr 1-2/2005, s. 3-22.
- [57] F. Kamiński: *Regulacja konkurencji na wokandzie Komisji Europejskiej*, Biuletyn Informacyjny IŁ, Nr 4/2007.
- [58] M. Duszak, M. Olender-Skorek, B. Bartoszewska: *Wielkość rynku telefonii stacjonarnej i zmiany jego struktury*, Przegląd Telekomunikacyjny, Vol. 80, Nr 11/2007, s. 928-931.
- [59] *California CLECs Launch Drive To Save Legacy Copper Lines*, TelecomWeb, July 16, 2007.
- [60] Komunikat prasowy Telstra Corporation Limited, Melbourne, 07.08.2006.
- [61] J. van Bogaert: *Europe puts FTTH firmly on the agenda*, FibreSystems Europe, November 2007, s. 11-12.
- [62] H. Tauber: *European FTTH: time for a last-minute equalizer?*, FibreSystems Europe, November 2005, s. 16-18.
- [63] J. Taaffe: *Changing Face*; Total Telecom Magazine, September 2007, s. 16-19.
- [64] *Strategia Regulacyjna 2006-2007*, Ministerstwo Transportu, maj 2006.
- [65] *ECTA Regulatory Scorecard 2006*, ECTA, November 2006.
- [66] *ECTA Regulatory Scorecard 2007*, ECTA, November 2007.
- [67] D. Chew: *European Telecoms - CityNet Amsterdam: Fibre-to-the-Home is becoming a reality*, ING Wholesale Banking, February 2006.
- [68] L.M. Keong: *Malaysia to get high-speed broadband*, BusinessWeek, October 8, 2007.
- [69] A. Walker, M. Taylor, V. Read: *Pipe Dreams? Prospects for next generation broadband deployment in the UK*, Broadband Stakeholders Group, 2007.
- [70] A. Freeman - *Addressing the Impact of EMF Concerns on Network Rollout in Europe*, Proc. GSM Europe - Electromagnetic Fields: From Bioeffects to Legislation, s. 45, Ljubljana, Slovenia, November 8-9, 2004.
- [71] *Regulatory order for access to local loop*, komunikat prasowy, Federal Network Agency (BnetzA), July 27, 2007.
- [72] T. Świderek: *TP oferuje pierwsze internetowe łącza o prędkości 50 Mb/s*, Gazeta Prawna Nr 221 (2091), 14 listopada 2007.
- [73] *Singapore Opens Bidding Battle For 1Gb/s NGN*, TelecomWeb, December 12, 2007.