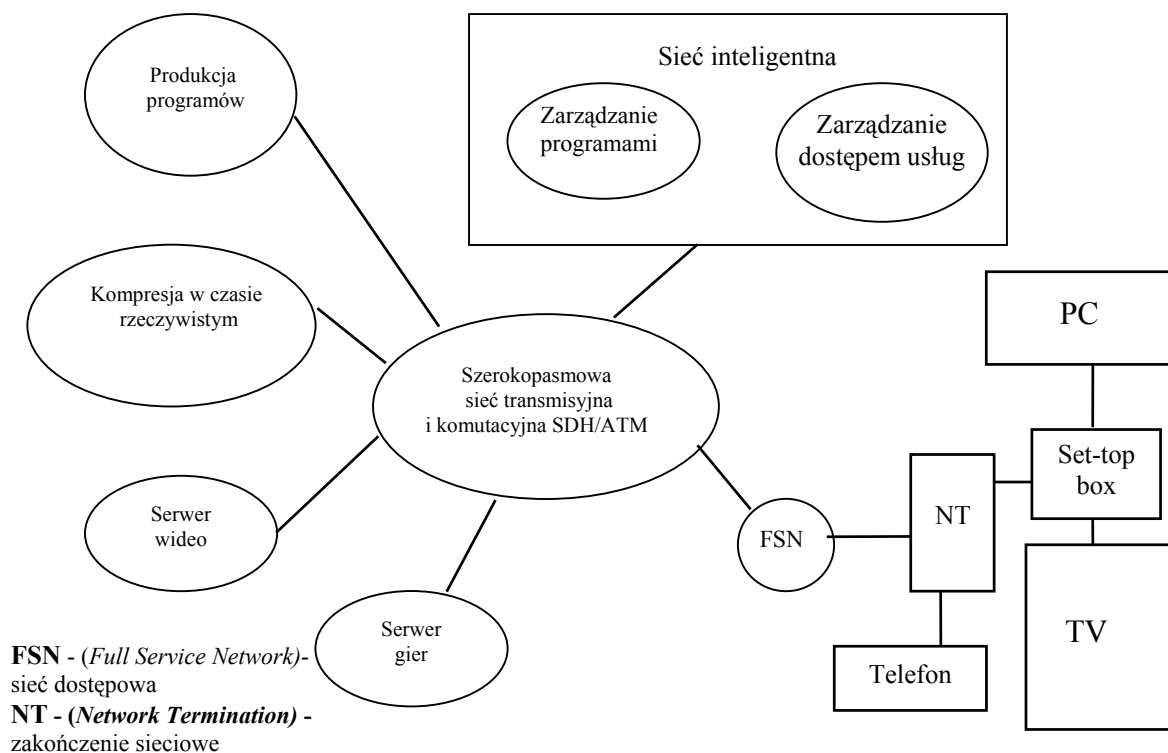


## Interaktywne szerokopasmowe sieci multimedialne

Obecnie istnieje kilka technicznych rozwiązań służących dostarczaniu szerokopasmowych interaktywnych usług multimedialnych do odbiorców indywidualnych i zbiorowych. Rozwiązania te wykorzystują różne media transmisyjne i różne sposoby przetwarzania sygnałów. Użytkownik korzysta z tych usług dzięki przyłączu końcowemu (ang. *set-top box*) współpracującemu z odbiornikiem telewizyjnym. Sieć taka powinna umożliwić koegzystencję oferowanych dotychczas



Rys 3.1 Architektura sieci multimedialnej [25]

usług analogowych z nowo wprowadzanymi cyfrowymi usługami wideo. (Rys.3.1)

Do systemów konkurujących ze sobą na polu szerokopasmowych interaktywnych mediów należą następujące sieci:

- **MMDS** *Multi-channel Multi-point Distribution System*, lub *Multichannel Multiplex Distribution System*
- **MVDS** *Microwave Video Distribution Services*
- **DTTB** *Digital Terrestrial Television Broadcasting System*
- **DBS** *Digital Broadcasting Satellite System*
- **HFC** *Hybrid Fiber Coax*
- **ADSL** *Asymmetrical Digital Subscriber Line*

- **APON**      *ATM Passive Optical Network*

### 3.2.1 Usługi i założenia techniczne

Usługi zostały podzielone na usługi dla indywidualnego odbiorcy i usługi profesjonalne. Do tych pierwszych należą:

- analogowa i cyfrowa telewizja programowa
- wizja lub wiadomości na żądanie (*Video/News On Demand*)
- dowolny wybór wizji (*Nearly Video On Demand*)
- gry lub oprogramowanie zdalnie ładowane do terminalu ( np. *Sega Channel*)
- usługi *On Line* ( np. dostęp do Internetu, dostęp do sieci LAN)
- zdalne nauczanie (np. zdalny trening lub praca).
- zakupy z domu
- dokonywanie operacji bankowych z domu
- uzyskiwanie połączeń telefonicznych i wideofonicznych
- usługi transakcyjne (np. *Minitel for France*)

Niektóre z tych usług potrzebują asymetrycznej przepływności (np. wizja na żądanie, zakupy z domu) a niektóre symetrycznej (np. telefoniczne, wideofoniczne, *On Line*). W kategorii usług profesjonalnych mieszczą się oczywiście te dostarczane odbiorcom indywidualnym. Zasadnicza różnica polega na większej przepływności przypadającej na użytkownika.

### 3.2.2 Technologia sieci MMDS

Sieć MMDS ( *Multichannel Multiplex Distribution System*) oparta jest na mikrofalowej technologii operującej w pasmach 2.5-2.7 GHz lub 3.6-3.8 GHz. Specyfikacja tego systemu opiera się na specyfikacji telewizji kablowej i nosi nazwę DVB-MC [43].

Tabela 1 Pojemności systemu MMDS dla sieci rozsiewczej [26]

Pasma częstotliwości	2.5-2.7 GHz	3.6-3.8 GHz
Standardowa modulacja analogowa	MABLR	MABLR
Pasma sygnału analogowego	7 dla systemu B/G 6 dla systemu M	8 dla systemu L
Standardowa modulacja cyfrowa	64-QAM (ETSI)	64-QAM (ETSI)
Typ kodowania zewnętrznego	RS(188-204)	RS(188-204)
Typ kodowania wewnętrznego	brak (ETSI) Viterbi (DAVIC)	brak (ETSI)
Pasma sygnału cyfrowego	8	8
Maksymalna pojemność Programów analogowych	28 dla systemu B/G 33 dla systemu M	24 dla systemu L
Maksymalna pojemność programów cyfrowych	96-192	96-192
Moc elektryczna na kanał	1-100 W	1 W
Pokrycie terenu <sup>1</sup>	10-50 km	8 km

<sup>1</sup>Pokrycie terenu obliczone jest dla 99.9% dostępności usług przy mocy wyjściowej podanej w tabeli

W sieci tej istnieją dwa sposoby na zrealizowanie toru zwrotnego dla usług interaktywnych. Pierwsza opcja (ang. *out band*) bazuje na wykorzystaniu innej sieci jako toru zwrotnego. Mogą do tego celu służyć np. sieci telefoniczne PSTN (ang. *Public Switched Telephone Network*) lub sieci GSM i DECT.

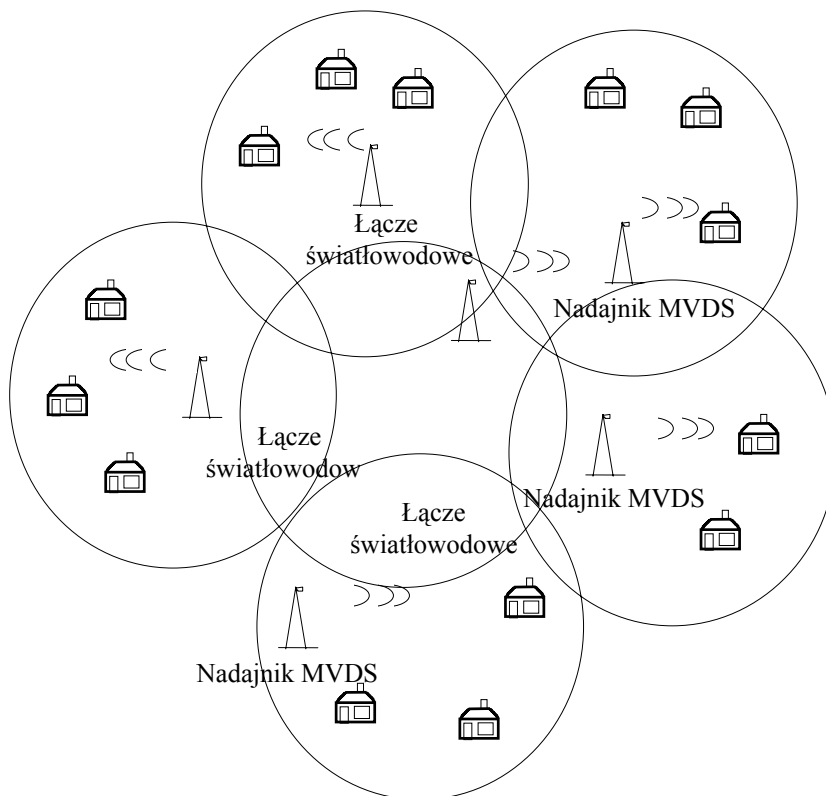
Drugi sposób (ang. *in band*) polega na zarezerwowaniu części dostępnego pasma w łączu rozsiewczym dla informacji zwrotnych. To rozwiązanie zyskało popularność dzięki implementacjom w projektach RACE DIMMP (europejski) i TeleTV (amerykański). Zwykle stosuje się duplexowanie częstotliwości, aby można było stosować tę samą antenę odbiorczą do nadawania sygnałów zwrotnych do ośrodka telewizyjnego.

Stosowana jest modulacja QPSK z kodem zewnętrznym Reed-Solomona, co zapewnia przepływność 10 Mbit/s dla kanału o szerokości 6 MHz. Całkowita przepływność tego systemu wynosi 20 Mbit/s. Łącze rozsiewcze stosuje tę samą

przepływność co kanał telewizji cyfrowej, tzn. 38 Mbit/s/kanał.

### 3.2.3 Technologia sieci MVDS

Sieć MVDS (*Microwave Video Distribution Services*) różni się od MMDS stosowanymi pasmami częstotliwości: 11.7-12.5 GHz, 27.5-28.35 GHz i 40.5-42.5



Rys. 3.2 Struktura sieci MVDS/MMDS [26]

GHz.

Architektura sieci MVDS wykorzystuje system wielokomórkowy. Każda komórka jest połączona ze stacją czołową MVDS. Można stosować dwa rodzaje sieci dosyłowych do komórek – światłowodowe lub przez nadajniki naziemne. (Rys.3.2)

Dane techniczne sieci MVDS dla dwóch najbardziej popularnych pasm częstotliwości pokazano w Tabeli 2.

Sieć MVDS jest brana pod uwagę jako rozwiązanie bardziej interaktywne niż sieć MMDS. Przy takiej samej przepływności i szerokości pasma kanału zwrotnego zapewnia 16 kanałów zwrotnych podczas gdy MMDS tylko 2. Tak więc dzięki sieciom MVDS/LMDS łatwiej jest zapewnić usługi symetryczne, które zwiększają liczbę dostępnych usług interaktywnych.

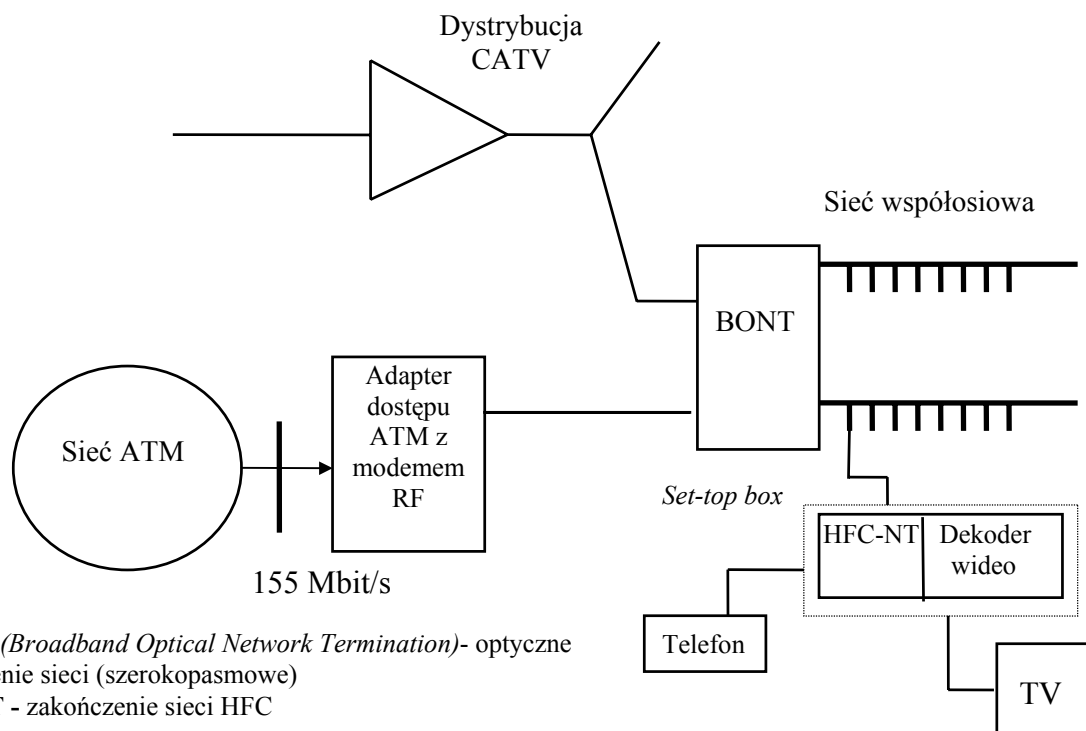
Tabela 2 Pojemności systemów MVDS/LMDS dla pasm częstotliwości 27 GHz i 40 GHz łączy rozsiewczych [26]

<b>Pasmo częstotliwości</b>	<b>27.5-28.35 GHz</b>	<b>40.5-42.5 GHz</b>
Standardowa modulacja analogowa	FM	FM
Pasmo sygnału analogowego	20	26
Standardowa modulacja cyfrowa	QPSK	QPSK
Typ kodowania zewnętrznego	RS(188-204)	RS(188-204)
Typ kodowania wewnętrznego	Viterbi 1 lub 2/3	Viterbi
Pasmo sygnału cyfrowego	36	36
Maksymalna pojemność programów analogowych	49	25 w paśmie 900 MHz
Maksymalna pojemność programów cyfrowych	294-392	150-200 w paśmie 900 MHz
Moc elektryczna na kanał	500 mW	200 mW
Obszar pokrycia	6 km	4 km

### 3.2.4 Technologia sieci HFC

Sieć HFC (*Hybrid Fiber Coaxial*) jest rozwiązaniem sieci przewodowej, która opiera się na architekturze systemu telewizji kablowej i wykorzystuje zbiorczą transmisję programów (Rys 3.3). Różnica pomiędzy nową siecią a starymi sieciami kablowymi polega na rozmieszczeniu węzłów, jakie tworzą się z połączeń światłowodów z odcinkami kabli współosiowych. Użytkownik może korzystać z informacji wideo przesyłanej w komórkach ATM, które są udostępnione przez sieć szerokopasmową z wykorzystaniem adaptera dostępu ATM. Adapter dostępu przygotowuje strumień informacji do przeniesienia przez 6 MHz kanał analogowy. Przygotowanie to polega na odtworzeniu strumienia transportowego MPEG-2 z komórek ATM i umieszczenie właściwych programów telewizyjnych we właściwych sygnałach wejściowych. Sygnały te są następnie przekształcane na 6 MHz sygnał analogowy w modemie RF.

Wszystkie sygnały do określonego użytkownika podlegają następnie multipleksowaniu z podziałem częstotliwości FDM. Wyposażenie optyczne nadajnika/odbiornika przenosi sygnał łączny z modemu RF do mieszkania użytkownika, gdzie jest on przekształcany na sygnał elektryczny i przesyłany dalej siecią współosiową. Terminal końcowy (ang. *set-top box*) umożliwia wybór właściwego kanału i dekodowanie programu.



Rys. 3.3 Architektura sieci HFC [25]

Komunikacja do użytkowników, schematy modulacji i kodowania wybrane zostały podobne jak dla systemu MMDS.

Wykorzystuje się modulację QAM i kodowanie *Reed-Solomona* RS (188-204, T = 8).

Tabela 3 Przepływności w sieciach kablowych [26]

Schemat modulacji	Zajmowane pasmo [MHz}	Prędkość znaków w kablu [Mbody/s]	Całkowita przepływność [Mbit/s]	Użyteczna przepływność [Mbit/s]
64-QAM	7.92	6.89	41.34	38.1
32-QAM	7.96	6.92	34.61	31.9
16-QAM	7.86	6.84	27.34	25.2

Większość sieci HFC ma tory abonenckie z pasmem 80 do 860 MHz wykonane z kabli współosiowych oraz tory zwrotne z pasmem od 5 do 65 MHz również z kabli współosiowych. Liczba gniazd końcowych użytkowników podłączonych do optyczno-elektrycznego węzła może wynosić 500. Zakładając, że taki węzeł stanowi nie tylko optyczno-elektryczny interfejs, ale także urządzenie komutujące, można przypuścić, że każdy zestaw 500 użytkowników ma dostęp do 60 kanałów cyfrowych.

Przewiduje się użycie trzech trybów transmisji do stacji czołowej (Tabela 4).

Tabela 4 Specyfikacja toru zwrotnego sieci kablowej wg ETSI [26]

Specyfikacja	Wybór lub wartości
Schemat modulacji	Różnicowo kodowana QPSK
Zakres częstotliwości	5-65 MHz
Schemat kodowania kanałowego	Reed-Solomon RS (59-53)
Szybkość transmisji	Stopień            Przepływność
	A                    256 kbit/s
	B                    1,544 Mbit/s
	C                    3,088 Mbit/s
Szerokość pasma kanału	Stopień            Szerokość pasma
	A                    200 kHz
	B                    1 MHz
	C                    2 MHz
Poziom przesyłanej mocy	85-122 dB $\mu$ V (75 $\Omega$ )

Przy zastosowaniu pasma częstotliwości 60 MHz, dostępnego dla toru zwrotnego, można uzyskać 30 kanałów zwrotnych dla usług interaktywnych.

Aby utrzymać takie widmo i taką wydajność przepływności po odcinku sieci złożonej z kabla współosiowego, należy zastosować szerokopasmowe, światłowodowe łącze zwrotne. To elektryczno-optyczne urządzenie zdolne jest przenieść sygnały z pasmem do 200 MHz. Oznacza to, że można włączyć w elektryczny tor zwrotny do węzła światłowodowego w sumie 2000 gniazd.

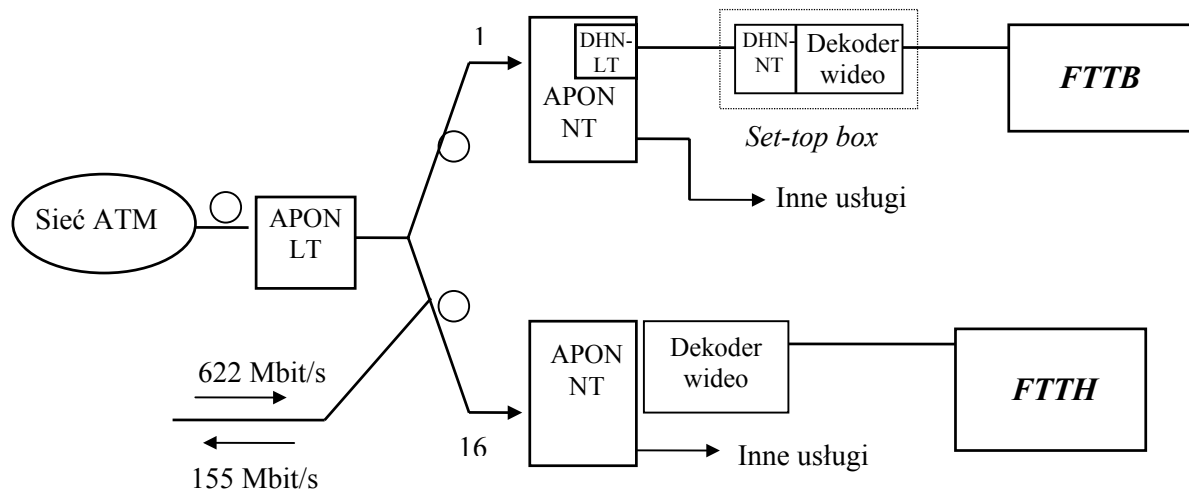
### 3.2.5 Technologia sieci APON

Koncepcja sieci APON bazuje na technologii FITL (ang. *Fiber In the Loop*). Podstawową zaletą tej koncepcji jest możliwość wykorzystania istniejącej infrastruktury sieci dostępowej, przy jednoczesnym zapewnieniu pasma wystarczającego do obsługi oferowanych usług. Taka sieć charakteryzuje się możliwością prostej rozbudowy i rekonfiguracji a zarazem stwarza podstawy do realizacji koncepcji w pełni światłowodowej sieci dostępowej [25].

Technologia FITL obejmuje następujące rozwiązania: światłowód do węzła FTTC (ang. *Fiber To The Curb*), światłowód w budynku FTTB (ang. *Fiber To The Building*), światłowód w mieszkaniu FTTH (ang. *Fiber To The Home*).

Różnice pomiędzy poszczególnymi rozwiązaniami wynikają z odległości, na jaką światłowód wnika w architekturę użytkownika.

Technologia FITL charakteryzuje się dużą niezawodnością i łatwością utrzymania, ponadto jest odporna na interferencje elektromagnetyczne. Informacja cyfrowa przesyłana jest z wykorzystaniem prostej i pewnej techniki kodowania w



**APON-LT** - zakończenie linii APON

**APON-NT** - zakończenie sieci APON

**DHN-LT** (*Digital Home Network - LT*) - zakończenie liniowe cyfrowego węzła dostępu

**DHN-NT** (*Digital Home Network -NT*) - zakończenie sieciowe węzła dostępu

Rys 3.5 Architektura sieci APON-FITL [25]

paśmie podstawowym. Architektura sieci przedstawiona jest na Rys. 3.5.

System przesyłania wykorzystuje optyczne zakończenia centralowe APON LT i sieciowe APON NT. Można więc wykorzystać te elementy do obsługi wielu abonentów. Abonenci dołączeni do odgałęzień światłowodów korzystają z pełnego duplexu po pasywnej sieci światłowodowej. Występujące w systemie opóźnienia transmisji i echa są małe i nie występuje konieczność stosowania tłumików echa.

### 3.2.6 Telewizja satelitarna – DBS (*Direct Broadcasting Satellite*)

Z tej formy usług korzysta w Europie do chwili obecnej ponad 17.5 mln widzów.

W telewizji satelitarnej jest stosowana modulacja QPSK a kodowanie kanałowe bazuje na kodzie zewnętrznym Reed-Solomona oraz na kodzie wewnętrznym Viterbiego z kilkoma szybkościami. Użyteczna przepływność zależy od sprawności kodu Viterbiego.



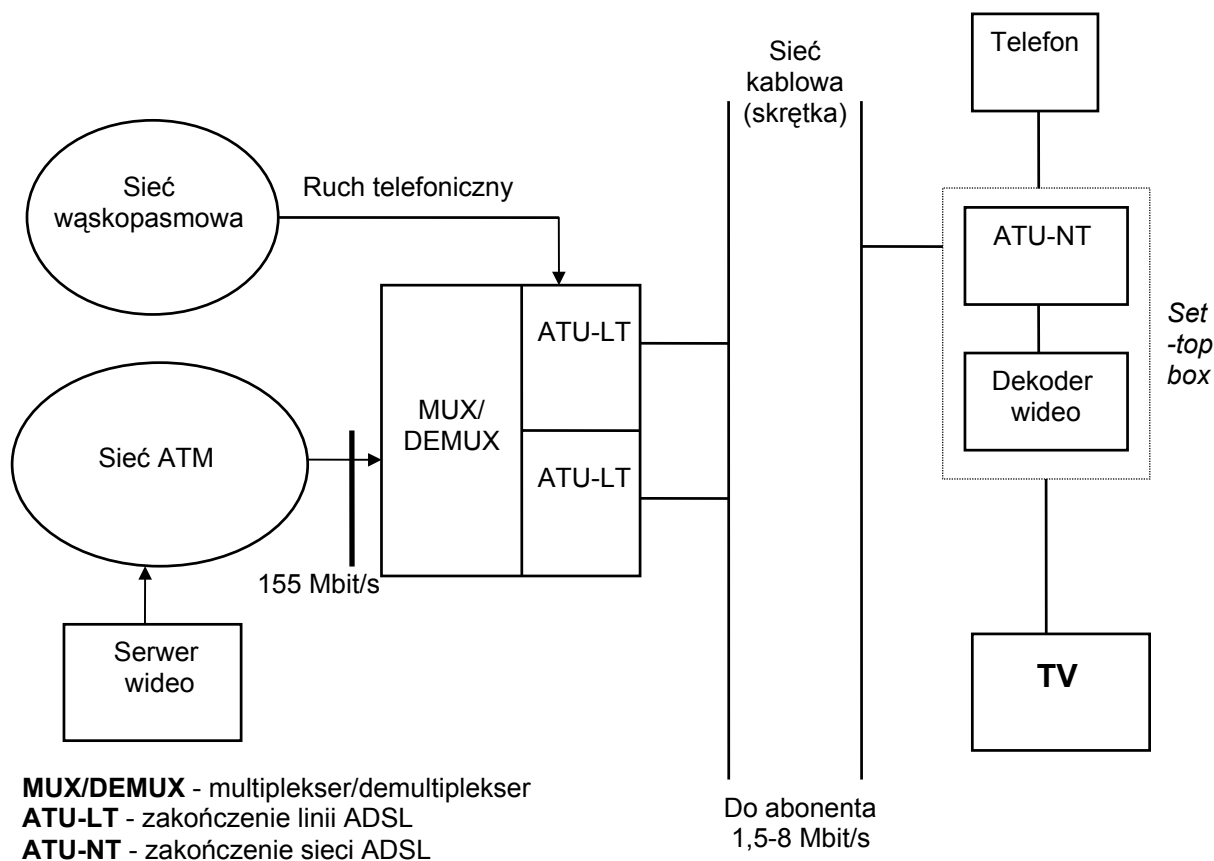
Tabela 5 Przykłady przepływności użytecznej w satelitarnej cyfrowej telewizji programowej[26]

Pasma 3 dB [MHz]	Prędkość transmisji znaków [Mbody/s]	Użyteczna przepływność dla kodu Viterbiego 2/3 [Mbit/s]	Użyteczna przepływność dla kodu Viterbiego 3/4 [Mbit/s]
54	42,2	51,8	58,3
46	35,9	44,2	49,7
40	31,5	38,4	43,2
36	28,1	31,7	38,9
27	21,1	25,9	29,2
26	20,3	25	28,1

Wadą tego rozwiązania są koszty dzierżawy przełączników satelitarnych, które mogą przesyłać sygnały z przepływnością 50 Mbit/s do użytkownika. Tor zwrotny wymaga jeszcze stałego połączenia z publiczną siecią telefoniczną.

### 3.2.7 Technologia sieci ADSL

Technologia ADSL (ang. *Asymmetric Digital Subscriber Line*) oznacza dostarczanie usług interaktywnych za pomocą medium w postaci skrętki parowej. Dzisiaj mówi się raczej o VDSL czyli szybszej wersji tej technologii. Są to sieci hybrydowe kablowo-światłowodowe, które zapewniają więcej kanałów, wyższej jakości, dla szerokopasmowych usług multimedialnych.



Rys.3.6 Architektura sieci wykorzystującej technologię ADSL [25]

Dzięki nowym rozwiązaniom można przesyłać informacje w paśmie od 0 do 2.5 MHz w sieci ADSL oraz od 0 do 30 MHz w zastosowaniach VDSL. W praktyce pojemność sieci ADSL ograniczona jest gaussowskim szumem białym.

Architektura sieci ADSL przedstawiona jest na Rys. 3.6. Zawiera ona interfejsy pozwalające na wymianę informacji pomiędzy użytkownikiem a siecią oznaczone jako ATU-NT (ang. *ADSL Terminating Unit- Network Termination*) i ATU-LT (*ATU -Line Termination*). Zapewnia to użytkownikowi dostarczenie usług oferowanych w sieci ATM. [25]

W sieci ADSL stosuje się kodowanie DMT (ang. *Discrete Multi-Tone*). W tym systemie wyróżniona jest pewna liczba subkanałów, z których każdy modulowany jest z wykorzystaniem innej częstotliwości nośnej w systemie QAM. Częstotliwości nośne powstają ze zwielokrotnienia częstotliwości podstawowej 4.3125 kHz. Dostępne spektrum częstotliwości zawiera się w zakresie ok. 20 kHz do 1.1 MHz. Najniższe częstotliwości nie są modulowane w celu uniknięcia interferencji ze zwykłymi usługami telefonicznymi.

Inna możliwość, to wykorzystanie techniki FDM (ang. *Frequency Division*

*Multiplexing*), jednakże technika DMT umożliwia uzyskanie większych przepływności ze względu na zdolność skutecznego dopasowania skomplikowanych charakterystyk skrętki parowej.

System ADSL oferuje przepływność w kierunku do abonenta pomiędzy 1,5 a 8 Mbit/s. Pasma w kierunku przeciwnym pozostaje w zakresie od 500 kbit/s do 2 Mbit/s. Parametry te zależą od wymiarów kabla i odległości między modemami.

Techniki ADSL wydają się być odpowiednie do dostarczenia szerokopasmowych usług interaktywnych. Główna wada to brak rozwiniętej sieci dostępu, które trzeba stosować, aby pokryć duże obsłużiwane obszary i uzależnienie pojemności kanału transmisyjnego od charakterystyki wykorzystywanej skrętki parowej. W początkowym okresie sieć ADSL testowano w zastosowaniach VOD (ang. *Video On Demand*). Obecnie istnieją tendencje, aby zastosować ją do szybkiego dostępu do Internetu i sieci lokalnej LAN.

### 3.2.8 Technologia sieci DTTB

Tryb przesyłania danych multimedialnych wykorzystujący cyfrową naziemną sieć telewizji programowej na falach UHF - DTTB (ang. *Digital Terrestrial Television Broadcasting System*) wykorzystuje modulację OFDM oraz wewnętrzne i zewnętrzne kodowanie protekcyjne.

Głównym ograniczeniem tutaj jest niewielka liczba dostępnych kanałów UHF. Obecnie można ich uzyskać tylko 6. Aby pozyskać więcej zasobów należy zrewidować plany pokrycia w pasmach UHF i VHF.

Założenie przeciętnej zdolności przepustowej 25 Mbit/s dla kanału 8 MHz oznacza, że całkowita osiągalna przepływność w kierunku użytkownika wynosi 150 Mbit/s. Jest to wartość niewystarczająca, aby zapewnić wysoką przepływność zastosowań interaktywnych dla dużej komórki UHF, która pokrywa olbrzymią liczbę potencjalnych użytkowników (np. 500 000) oczekujących na odbiór tych usług.

Opracowane zostały dwa projekty dotyczące specyfikacji na tor zwrotny naziemnej telewizji w zakresie UHF. Pierwszy z nich wykorzystuje możliwości lokalnej pętli komunikacyjnej znanej jako DECT (*Digital European Cordless Telephone*).

Tabela 6 Proponowane tryby nadawania w torze zwrotnym dla cyfrowej telewizji naziemnej

	Tryby nadawania			
	1	2	3	4
Całkowite pasmo kanału zwrotnego	1 MHz	1 MHz	1 MHz	1 MHz
Odstęp nośnej	500 Hz	1 kHz	4 kHz	16 kHz
Liczba nośnych	2000	1000	250	62

Czas trwania znaku	2,5 ms	1,25 ms	0,3125 ms	0,07815 ms
Czas trwania burstu	500 ms	250 ms	62,5 ms	12,625 ms
Schemat modulacji	D-QPSK	D-QPSK	D-8PSK	D-8PSK
Sprawność kodowania kanałowego	1/2	1/2	3/4	3/4
Całkowita przepływność na nośną [kbit/s]	0,368	0,736	6,736	26,994

Drugie proponowane rozwiązanie w ramach DVB-RC oparte jest na odstępach bezpieczeństwa częstotliwości, które istnieją wokół nadajników UHF. Wolne fragmenty widma mogą zostać wypełnione małymi kanałami interaktywnymi wewnątrz widma UHF. Zastosowanie odpowiedniej synchronizacji i techniki SFDMA (ang. *Synchronous Frequency Division Multiple Access*) umożliwia wielu użytkownikom dostęp do zasobów widma na tej samej powierzchni pokrycia jak uzyskuje się przy nadajniku UHF. System ten może używać istniejącej anteny UHF do nadawania informacji zwrotnych do głównego nadajnika albo oddzielnej anteny połączonej z modemem naziemnym. Grupa DVB-RC zaplanowała stosowanie czterech trybów nadawania które przedstawiono w Tabeli 6.

Dostępne przepływności wystarczające są jedynie do zagwarantowania usług asymetrycznych o małej przepływności (np. zakupy z domu, operacje bankowe). Przepływności toru zwrotnego nie są wystarczające do dostarczenia symetrycznych usług interaktywnych.

### 3.2.9 Terminale końcowe i serwery

Dzięki pracom normalizacyjnym prowadzonym przez ETSI wszystkie rodzaje terminali końcowych powinny być wkrótce dostępne.

Dla cyfrowych systemów satelitarnych i rozsiewczych torów kablowych na rynku można już spotkać dużo urządzeń kompatybilnych z DVB-ETSI z różnymi standardami sterowania dostępem (VIACCESS, MEDIAGUARD, IRDETO). Sieci MMDS i LMDS bazują na tych samych specyfikacjach, co sieci kablowe i satelitarne. Są także dostępne modemy MMDS i LMDS z takimi samymi opcjami sterowania dostępem. Technologia systemów ADSL jest już gotowa do wdrożenia. Jedyne medium, na którego rozwój trzeba poczekać, to cyfrowy system naziemny. Modemy torów zwrotnych dla wszystkich systemów oprócz ADSL są na etapie projektowania.

Jeśli chodzi o serwery wideo, to istnieją dwa podstawowe kierunki ich konstruowania. Pierwszy z nich próbuje utrzymać starą bazę danych starając się

poprawić parametry. Drugi z nowych serwerów zintegrowany został z mikroprocesorem, wyposażony w nowe konfiguracje z twardymi dyskami i właściwości komutacyjne ATM.

### **3.2.10 Porównanie systemów i wnioski**

Szerokopasmowe, interaktywne systemy przewodowe, takie jak HFC lub ADSL, są bardziej wydajne niż systemy bezprzewodowe. Wynika to z dostępności widma w architekturze HFC i stosowania rozwiązania „jedno łącze dla jednego użytkownika” w sieci ADSL. Te właściwości umożliwiają uzyskanie większych przepływności zarówno w łączach rozsiewczych, jak i dosyłowych.

Inne systemy wykorzystują część widma naziemnego, wskutek czego nie ma możliwości zajęcia szerszego pasma częstotliwości, niż jest to przydzielone. Stanowi to ograniczenie szerokopasmowych interaktywnych systemów bezprzewodowych. Jednakże techniki przewodowe są bardziej kosztowne niż bezprzewodowe.

Natomiast jeśli chodzi o urządzenia to systemy HFC i MMDS są rozwiązaniami, które wykazują najniższy stosunek kosztów do osiągnięć. DTTB może stanowić odpowiednią sieć do nadawania informacji z małą przepływnością, przy wykorzystaniu istniejących sieci. Pod względem kosztów i dostępności terminali końcowych, dobrze wypadają istniejące terminale systemów telewizji kablowej, MMDS i satelitarne.

Dla asymetrycznych, szerokopasmowych usług interaktywnych, wymagających małej przepływności, najbardziej optymalnymi pod względem pojemności, infrastruktury, kosztów i dostępności urządzeń są sieci DTTB i DBS. Jeśli chodzi o symetryczne, szerokopasmowe usługi interaktywne z dużą przepływnością, to sieci HFC i ADSL spełniają wszystkie wymagania techniczne jakie są niezbędne do dostarczenia takich usług.

