

POLITECHNIKA GDAŃSKA  
Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki

**Katedra Sieci Teleinformacyjnych**

LABORATORIUM  
**Systemy Telekomunikacyjne**

Ćwiczenie 6

**Dostęp do usług szerokopasmowych za pomocą systemów xDSL i PON**

Opracował: dr inż. Lech Smoleński

Gdańsk, Luty 2025

## 1. Cel ćwiczenia:

Porównanie technik realizacji dostępu do usług szerokopasmowych: w miedzianej sieci abonenckiej, przy pomocy pojedynczej pary symetrycznej i z wykorzystaniem pasywnej sieci optycznej. Ocena jakości typowych usług i ograniczeń szybkości transmisji w systemach ADSL i VDSL. Porównanie możliwości usługowych dostępu ADSL, VDSL i PON.

## 2. Zadania do wykonania

- 2.1. Zapoznać się programami udostępnianymi przez terminal komputerowy (użytkownika) do wykonania ćwiczenia (klient FTP, przeglądarka WWW, monitor transmisji) i lokalizacją interfejsów systemów dostępowych. Dołączyć terminal do interfejsu dla badanego systemu (w kolejnych punktach odpowiednio: ADSL, VDSL, PON).
- 2.2. Sprawdzić poprawność funkcjonowania usługi FTP poprzez system ADSL, przesyłając wybrane pliki w dół z serwera 1 a następnie z serwera 2 (z katalogu „**down\_FTP**”) do katalogu z prawem zapisu na lokalnym komputerze i w górę (do serwera – **koniecznie** do katalogu „**up\_FTP**”). Określić wartości liczbowe uzyskiwanej szybkości transmisji przy użyciu klienta FTP, dla kilku plików o różnych długościach i typach, przesyłanych od i do serwera FTP, wykorzystując odczyt z monitora transmisji (= wartości chwilowe i maksymalne przepływności) i klienta FTP (= wartość średnia przepływności).
- 2.3. Sprawdzić funkcjonowanie dostępu do serwera WWW (transmisja w dół) przy otwieraniu **bezpośrednio ze strony WWW (nie zapisywać plików na dysku przed otwarciem!)** dokumentów tekstowych (txt, doc, pdf), graficznych, audio i video dostępnych na serwerze WWW, ocenić ograniczenia dotyczące szybkości transmisji i jakość otrzymanych informacji z punktu widzenia użytkownika oraz przebieg wykresu czasowego przepływności wykorzystywanej w transmisji (obserwując monitor transmisji).
- 2.4. Określić liczbowo szybkości transmisji z serwera WWW poprzez system ADSL dla różnych dokumentów otwieranych ze strony WWW, korzystając z monitora transmisji (wartość szczytowa), porównać z wynikami dla klienta FTP (dla plików o takich samych nazwach). Dobrać objętość plików tak, aby czas transmisji wynosił od kilku do kilkadziesiąt sekund.
- 2.5. Sprawdzić funkcjonowanie usługi FTP poprzez system VDSL (**podobnie jak w p.2.2 i 2.3**), przesyłając pliki w dół i w górę. Określić wartości liczbowe szybkości transmisji przy użyciu klienta FTP, dla kilku plików o różnych długościach i typach, przesyłanych od i do serwera FTP, wykorzystując odczyt z monitora transmisji i klienta FTP.
- 2.6. Sprawdzić funkcjonowanie dostępu do serwera WWW poprzez system VDSL (**podobnie jak w p.2.4**). Określić liczbowo szybkości transmisji z serwera WWW dla różnych dokumentów otwieranych ze strony WWW, korzystając z monitora transmisji (wartość szczytowa), porównać z wynikami dla klienta FTP (dla plików o takich samych nazwach).
- 2.7. Sprawdzić funkcjonowanie usługi FTP poprzez system GEPON (**podobnie jak w p.2.2 i 2.3**), przesyłając pliki w dół i w górę. Określić wartości liczbowe szybkości transmisji przy użyciu klienta FTP, dla kilku plików o różnych długościach i typach, przesyłanych od i do serwera FTP, wykorzystując odczyt z monitora transmisji i klienta FTP.
- 2.8. Sprawdzić funkcjonowanie dostępu do serwera WWW poprzez system GEPON (**podobnie jak w p.2.4**). Określić liczbowo szybkości transmisji z serwera WWW dla różnych dokumentów otwieranych ze strony WWW, korzystając z monitora transmisji (wartość szczytowa), porównać z wynikami dla klienta FTP (dla plików o takich samych nazwach).

**UWAGA!** Po dołączeniu PC do systemu GEPON proces inicjalizacji transmisji (automatyczny) może trwać do kilku minut.

## 3. Sprawozdanie

Wykonać sprawozdanie zgodnie z załączonym wzorcem, zamieszczając wyniki liczbowe, obliczając

brakujące dane (dla małych czasów transmisji) i oceny zgodnie z p. 2.2 do 2.8.

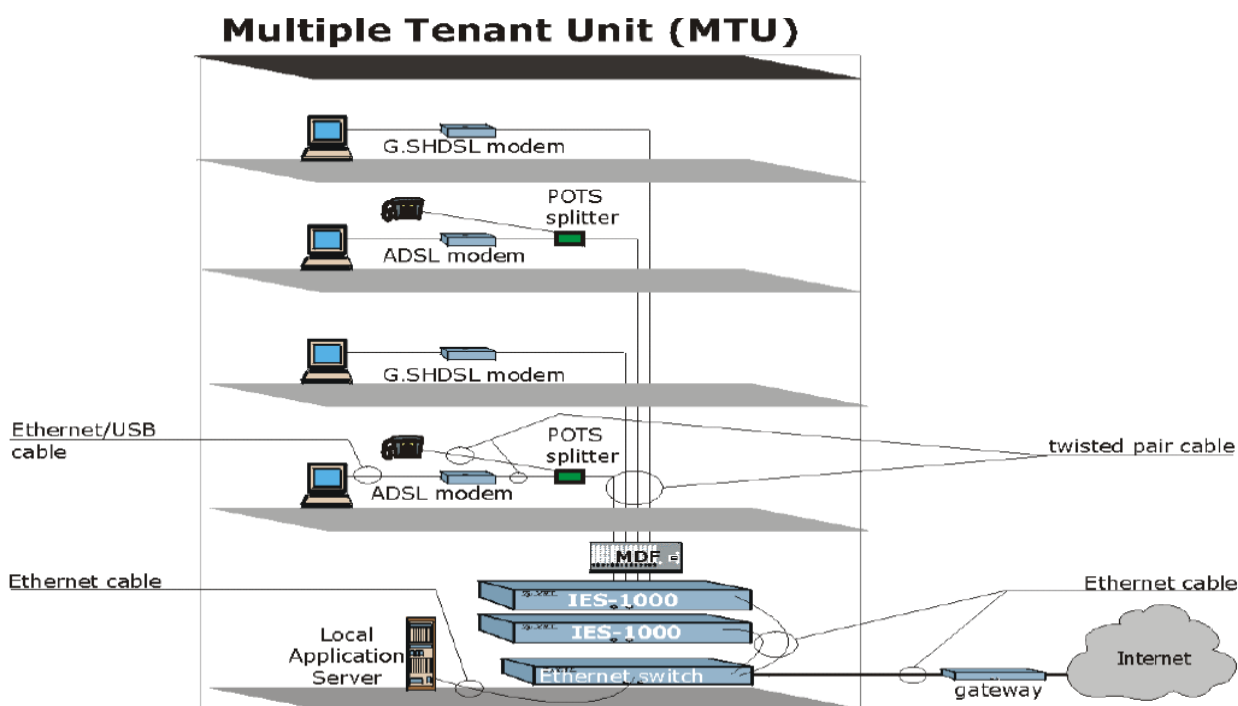
#### 4. Opis ćwiczenia

Usługi, których realizację powinna zapewniać obecnie sieć dostępową można podzielić na trzy podstawowe grupy:

- Usługi POTS/ISDN, wymagające kanałów o stałej przepływności przy symetrii transmisji w dwu kierunkach (od i do sieci), o przepływności nie przekraczającej 2 Mb/s (ISDN-PRA).
- Usługi transmisji danych, ze zmienną przepływnością i możliwą asymetrią kierunków transmisji, zwykle większa przepływność jest wykorzystywana od sieci do użytkownika.
- Usługi video i multimedialne, wykorzystujące transmisję w trybie komutacji pakietów (ATM lub IP), wymagające synchronizacji czasowej i QoS.

Zmiany wynikające z wprowadzania nowych usług szerokopasmowych prowadzą generalnie do zwiększenia zapotrzebowania na przepływność przez pojedynczego użytkownika, wzrostu udziału transmisji pakietowej i asymetrii transmisji pomiędzy kierunkami do i od sieci.

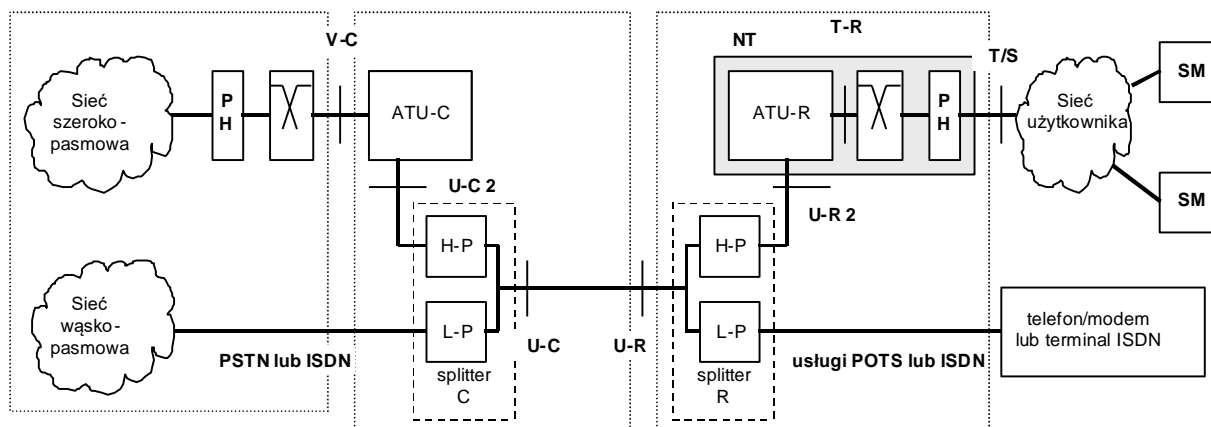
Najbardziej rozpowszechnione na obszarze dostępowym są miedziane linie symetryczne, przystosowane pierwotnie do transmisji analogowych sygnałów telefonicznych. W budowanych od podstaw sieciach dostępowych, opartych o technikę FITL, pary symetryczne są wykorzystywane na obszarze „ostatniej mili” (FTTC). W tym wypadku sieć miedziana jest jednorodna, zbudowana z par o jednakowej średnicy na całej długości i pomimo niewielkiej średnicy (typowo 0.5 mm) ma dobre parametry tłumieniowe, monotonicznie rosnącą z częstotliwością tłumienność i korzystne parametry przenikowe oraz odporność na zakłócenia zewnętrzne w związku z symetrią par. Pozwala to na maksymalne wykorzystanie możliwości transmisyjnych w standardzie ADSL.



Rys. 1. Przykład wykorzystania urządzeń xDSL w budynku z okablowaniem miedzianym.

W wypadku sieci dostępowych na obszarze wcześniej wykorzystywanym w analogowej sieci PSTN należy liczyć się ze zróżnicowanym stanem kabli i średnicą par symetrycznych, odczepami (ang. Bridged tapes), znacznym udziałem kabli o izolacji papierowej, zaburzeniami symetrii. Wpływa to niekorzystnie na parametry tłumieniowe (pofalowanie charakterystyki) i zmniejsza tłumienność przeniku. W efekcie gwarantowana transmisja ADSL o dobrej jakości będzie możliwa przy mniejszym maksymalnym zasięgu.

Modemy ADSL, zgodne ze standardem ITU-T G.991.1 wykorzystują technikę transmisji wielokanałowej DMT w pasmie częstotliwości do 1104 kHz, w którym można utworzyć do 255 kanałów FDM, o częstotliwościach nośnych ze skokiem  $\Delta f = 4.3125 \text{ kHz}$  ( $n \cdot \Delta f$ ,  $n = 1$  do 255). Minimalna wykorzystywana wartość  $n$  jest uzależniona od wybranych opcji, dotyczących usług współużytkujących linię transmisyjną i od techniki rozdziału kierunków transmisji (EC lub FDD). W każdym z kanałów, o użytecznej szerokości pasma ok. 4 kHz, jest przesyłany sygnał z modulacją amplitudowo-fazową o liczbie bitów na element zależnej od parametrów tego kanału. Stosunek sygnału do zakłóceń po stronie odbiornika jest zmienny w funkcji częstotliwości (z wartością  $n$  numeru kanału) i zależy od tłumienia sygnału użytecznego w linii transmisyjnej oraz od poziomu zakłóceń w pasmie danego kanału.



Rys. 2. Model odniesienia dla systemu ADSL w wersji G.992.1 [2]

W trakcie procesu inicjowania połączenia ADSL jest dokonywana estymacja charakterystyk linii transmisyjnej (tłumienności i poziomu zakłóceń) dla poszczególnych kanałów częstotliwościowych i określenie liczby bitów dostępnych do przesłania w ramce DMT, co z kolei pozwala określić czy dla żądanej przepływności binarnej możliwa jest transmisja w danej linii.

Tab. 1. Standaryzacja systemów ADSL i VDSL (przepływności i zasięgi przykładowe)

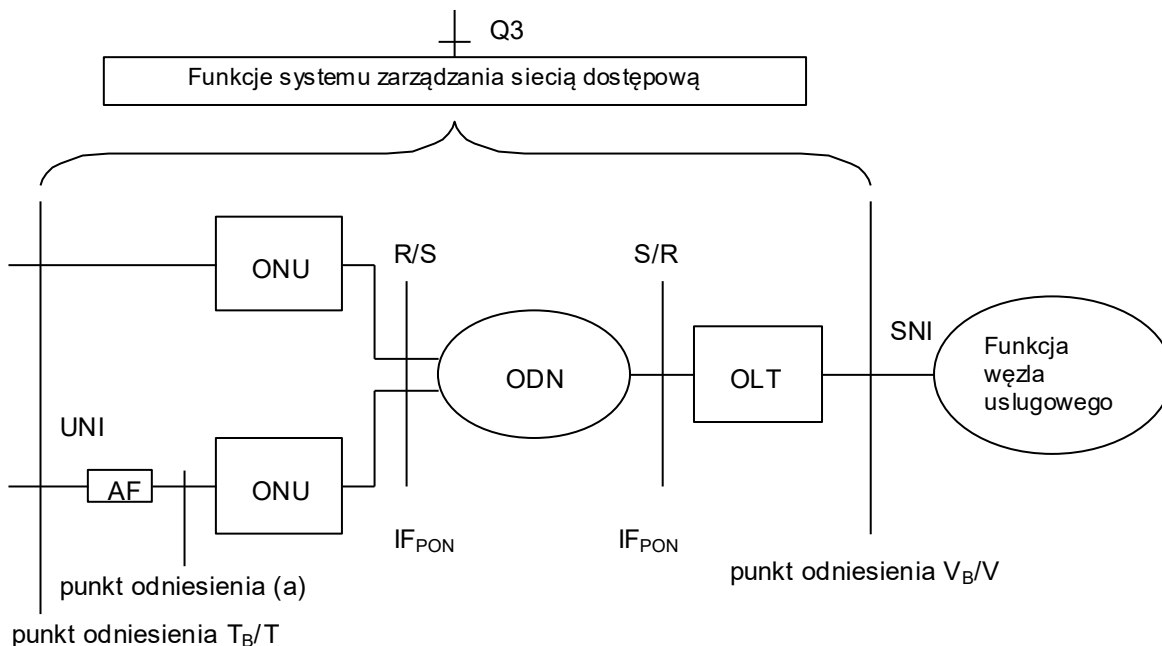
| Zalecenie<br>ITU-T | Nazwa<br>komercyjna | Max. częst.<br>pasma lin. | Max. przep.<br>„w dół” | Max. przep.<br>„w górę” | Zasięg<br>( $\Phi=0.5$ )<br>km | dla prze-<br>pływności<br>Mb/s |
|--------------------|---------------------|---------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
|                    |                     | MHz                       | Mb/s                   | Mb/s                    |                                |                                |
| G.992.1            | ADSL                | 1.1                       | 6.144                  | 0.64                    | 4.2                            | 0.576                          |
| G.992.2            | ADSL Lite           | 0.55                      | 1.536                  | 0.512                   | 4.2                            | 0.512                          |
| G.992.3            | ADSL2               | 1.1                       | 8.0                    | 0.8                     | 5.5                            | 0.288                          |
| G.992.4            | ADSL2 Lite          | 0.55                      | 1.536                  | 0.512                   | 4.2                            | 0.512                          |
| G.992.5            | ADSL2+              | 2.2                       | 16                     | 1.5                     | 5.5                            | 0.330                          |
| G.993.1            | VDSL(1)             | 12                        | 55                     | 15                      | 1.5                            | 4                              |
| G.993.2            | VDSL2               | 30                        | 100                    | 100                     | 1.5                            | 20                             |

Istotną cechą systemu jest możliwość równoczesnej transmisji po tej samej parze analogowego sygnału telefonicznego w pasmie naturalnym lub dla dostępu ISDN-BRA (punkt U). Wymaga to zastosowania rozdziału częstotliwościowego pasma przy pomocy rozdzielaczy zawierających filtry (splitterów) na końcach linii miedzianej - obu lub jednym (w wersji ADSL lite).

System VDSL2 wykorzystuje analogiczną technikę transmisji jak ADSL, ale w znacznie szerszym pasmie częstotliwości w linii, w wyniku czego pozwala na transmisję ze znacznie większymi szybkościami dla odległości rzędu kilkuset metrów. Dla odległości kilku kilometrów

uzyskiwane przepływności są zbliżone do wyników dla ADSL2. Przy odpowiedniej konfiguracji możliwa jest współpraca urządzeń ADSL i VDSL2.

Największe możliwości zwiększania przepływności w miarę wzrostu zapotrzebowania oferują rozwiązania oparte na transmisji optycznej na całym obszarze sieci dystrybucyjnej (FTTH/O), doprowadzające sygnał optyczny do ONU zlokalizowanego u użytkownika. Podobna budowa części optycznej sieci jest wykorzystywana w wypadku gdy do ONU będzie dołączonych wielu użytkowników przy pomocy linii miedzianych (FTTB lub FTTC). Sieć optyczna może być zrealizowana jako aktywna (zawiera multipleksery) lub pasywna, gdy na obszarze ODN występują jedynie pasywne rozdzielacze optyczne.



Rys. 3. Konfiguracja odniesienia dla pasywnej sieci optycznej (PON [ITU-T G.982]).

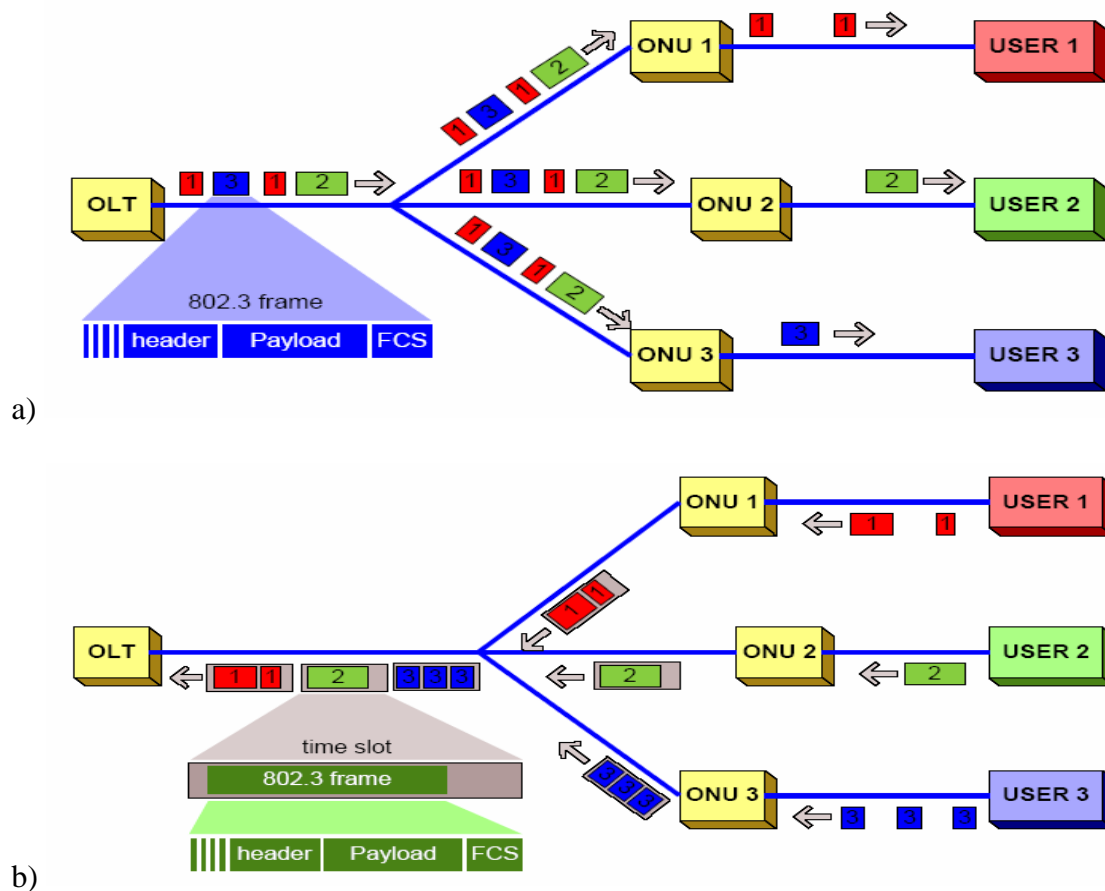
Jednym z rozwiązań typu FTTH, udostępniającym duże przepływności jest sieć dostępową GEAPON – pasywna sieć optyczna wykorzystywana dla wszystkich usług szeroko- i wąskopasmowych (również dla telefonii). Zaletami jej jest m.in. możliwość zwiększania przepływności w miarę wzrostu zapotrzebowania a wykorzystanie wyłącznie elementów pasywnych na obszarze ODN wpływa na uproszczenie zarządzania i zmniejszenie kosztów.

Konfiguracja odniesienia dla PON przewiduje, że optyczna sieć dystrybucyjna ODN udostępnia jedną lub więcej ścieżek optycznych pomiędzy OLT i jednym lub więcej ONU.

Transmisja w obu kierunkach może odbywać się w tym samym włóknie, z rozdziałem falowym kierunków. ODN w konfiguracji sieci pasywnej zawiera jedynie kable optyczne i pasywne rozdzielacze optyczne (splittery). W kierunku w górę wymagany jest protokół wielodostępu. W wypadku systemu GEAPON wykorzystywany jest mechanizm zwielokrotnienia i wielodostępu TDM/TDMA, dostosowany do transmisji pakietowej na bazie Ethernetu. Transmisja w górę i w dół odbywa się w różnych kanałach falowych CWDM (w górę 1310 nm, w dół 1490 nm).

W trakcie ćwiczenia badane są możliwości dostępu do wybranych usług z punktu widzenia użytkownika sieci dostępowej. System ADSL jest skonfigurowany dla udostępniania dwukierunkowego połączenia stałego do sieci wykorzystującej protokół internetowy (IP). Parametry przyjęte w procesie konfiguracji są niedostępne dla użytkownika.. Po stronie użytkownika jest dostępny modem ADSL (ATU-R) *AirLive*, który może być połączony z komputerem za pomocą interfejsu Ethernet. Modemy są dołączone linią dwuprzewodową do multipleksera dostępowego ADSL (DSLAM), który oprócz modemów ATU-C zawiera blok przełącznika ethernetowego (ethernet switch), pozwalający na połączenie portów poszczególnych użytkowników z siecią WAN lub serwerem usługowym. DSLAM pozwala też w wypadku typowego użytkownika sieci ISDN na

dołączenie do tej samej pary użytkownika, poprzez splitter, interfejsu dostępowego (punkt U) centrali PSTN/ISDN dla ISDN-BRA („Annex B”).

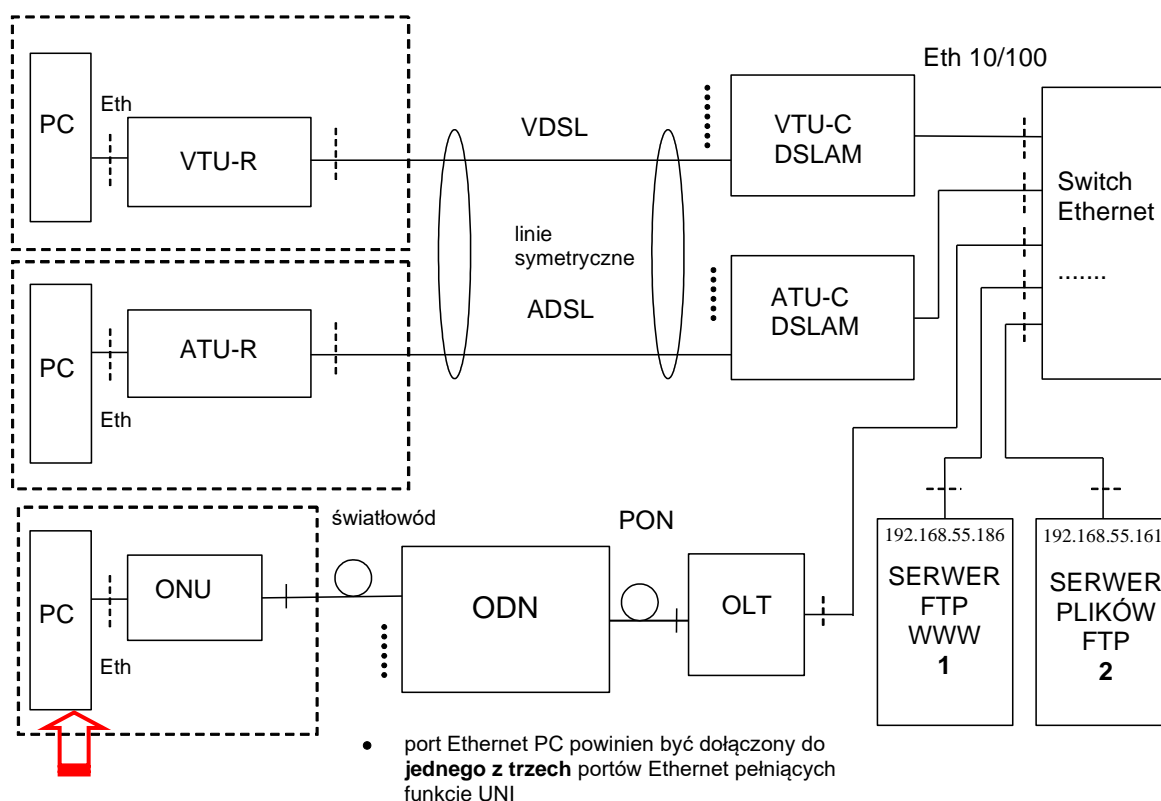


Rys. 4. Zasada funkcjonowania pasywnej sieci optycznej TDM/TDMA. a) zwielokrotnienie czasowe, b) wielodostęp czasowy.

Analogiczne połączenia komputer – VTU-R – linia VTU-C – serwer usługowy są zrealizowane dla systemu VDSL2 (VTU-R *Billion 8200*). Trzecim wariantem dostępu szerokopasmowego wykorzystywanym w laboratorium jest pasywna sieć optyczna. W tym wypadku komputer jest dołączony do jednego z ONU w pasywnej sieci optycznej w sali laboratoryjnej jest dostęp do portu GigaEthernet w tym ONU.

Układ połączeń dla sieci wykorzystywanej w laboratorium przedstawiono na rys. 5. Laboratoryjna sieć IP **nie jest dołączona do sieci publicznej (Internetu)**, można korzystać z komunikacji pomiędzy komputerem użytkownika „student1” i serwerem usługowym, na którym jest dostępny serwer plików, pozwalający na komunikację z klientem FTP w komputerze użytkownika oraz serwer WWW (HTTP), z którym użytkownik komunikuje się przy pomocy standardowej przeglądarki WWW, np. **Microsoft Edge**.

Na komputerze użytkownika jest dostępny prosty program monitorujący parametry transmisji, który pozwala na określenie aktualnej przepływności (chwilowej i maksymalnej) wykorzystywanej do transmisji w systemie xDSL (przez port Ethernet) i zmian przepływności w czasie dla przesyłanych plików. Uzyskana szybkość transmisji może być limitowana przez kanał wykorzystywany do transmisji (w tym przypadku system xDSL) lub przez źródło informacji (np. serwer). W przypadku sieci IP odczytana przepływność wynika z objętości i rozmieszczenia w czasie przesyłanych pakietów i nie musi odpowiadać przepustowości kanału, która stanowi wartość ograniczającą od góry uzyskiwane przepływności.



Rys. 5. Schemat blokowy laboratoryjnej sieci ADSL/VDSL/GEAPON. Serwery FTP/WWW:  
 SERWER 1 = 192.168.55.186, SERWER 2 = 192.168.55.161 (tylko FTP).

Transfer plików (FTP) jest usługą dogodną do określania możliwej do uzyskania szybkości transmisji i jej uzależnienia od kierunku przesyłu. Należy uruchomić po stronie użytkownika program klienta FTP (FileZilla). Przesyłanie plików z serwera „w dół” następuje z katalogu „./student1/down\_ftp” (**tylko do odczytu!!**), w którym są dostępne pliki testowe o różnej objętości i charakterze. Przesyłanie „w górę” należy przeprowadzić z komputera użytkownika do indywidualnego katalogu „./student1/up\_ftp” na serwerze dla konta „student1”. Jest możliwy dostęp do dwóch serwerów FTP o adresach **192.168.55.186** i **192.168.55.161**. Należy zwrócić uwagę na ewentualne różnice w przesyłaniu plików pomiędzy terminalem komputerowym i tymi serwerami.

Serwer WWW (**192.168.55.186**) w sieci laboratoryjnej pozwala użytkownikowi przeglądarki WWW na dostęp do plików tekstowych, graficznych, audio, video. Możliwa jest ocena szybkości i pewności dostępu do wybranych dokumentów oraz pomiar przepływności związanej z dostępem do danego dokumentu, przy pomocy programu monitorującego transmisję. Należy porównać realizację usługi WWW z usługą FTP pod względem szybkości przesyłania danych przez interfejs UNI.

Należy zwrócić uwagę, **czy plik jest pobierany bezpośrednio z serwera WWW** przy jego otwieraniu (informacja w oknie monitora transmisji). Korzystanie z pliku zapamiętanego w komputerze (cache) może być przyczyną błędnych wyników (**NIE należy zapisywać plików ze strony WWW przed otwarciem!**). W razie wątpliwości należy **wykasować pliki tymczasowe** przeglądarki WWW, zamknąć ją i ponownie otworzyć.

#### Literatura:

1. Papir Z., *Sieci dostępne dla usług szerokopasmowych – Tom 3*, Wydawnictwo Fundacji Postępu Telekomunikacji, Kraków 1997.
2. ITU-T Rec. G.992.1, *Asymmetric digital subscriber line (ADSL) transceivers*, 06/1999.
3. ITU-T Rec. G.992.2, *Splitterless asymmetric digital subscriber line transceivers*, 06/1999.
4. *ADSL2 and ADSL2PLUS – The new ADSL standards*, White paper, [www.dslforum.org](http://www.dslforum.org), 03/2003.

**Laboratorium Systemów Telekomunikacyjnych**

Studia Dienne Dwustopniowe - Inżynierskie

Semestr 6

Kierunek Inf; grupa dziek.: .....

Grupa laboratoryjna nr A B / .....

1. Imię Nazwisko: .....
2. Imię Nazwisko: .....
3. Imię Nazwisko: .....

Ćwiczenie 6:

**Dostęp do usług szerokopasmowych za pomocą systemów xDSL i PON**

1. Wyniki – opisy obserwacji i pomiarów

| Zadanie | Czynność | Wyniki obserwacji |
|---------|----------|-------------------|
|         |          |                   |

| do p.2.2      | serwer<br>nr | rodzaj pliku<br>(rozszerzenie) | objętość<br>[kB] | czas przesyłu<br>[s] | przepływność<br>(klient FTP) | przepływność<br>(monitor) |
|---------------|--------------|--------------------------------|------------------|----------------------|------------------------------|---------------------------|
| z<br>serwera  |              |                                |                  |                      |                              |                           |
|               |              |                                |                  |                      |                              |                           |
|               |              |                                |                  |                      |                              |                           |
|               |              |                                |                  |                      |                              |                           |
| do<br>serwera |              |                                |                  |                      |                              |                           |
|               |              |                                |                  |                      |                              |                           |
|               |              |                                |                  |                      |                              |                           |
|               |              |                                |                  |                      |                              |                           |



**do p.2.4**

| l.p. | rodzaj pliku | rozszerzenie | objętość [kB] | czas przesyłu[s] | przepływność[kb/s] |
|------|--------------|--------------|---------------|------------------|--------------------|
| 1.   |              |              |               |                  |                    |
| 2.   |              |              |               |                  |                    |
| 3.   |              |              |               |                  |                    |

| do p.2.5   | serwer nr | rodzaj pliku (rozszerzenie) | objętość [kB] | czas przesyłu [s] | przepływność (klient FTP) | przepływność (monitor) |
|------------|-----------|-----------------------------|---------------|-------------------|---------------------------|------------------------|
| z serwera  |           |                             |               |                   |                           |                        |
|            |           |                             |               |                   |                           |                        |
|            |           |                             |               |                   |                           |                        |
|            |           |                             |               |                   |                           |                        |
| do serwera |           |                             |               |                   |                           |                        |
|            |           |                             |               |                   |                           |                        |
|            |           |                             |               |                   |                           |                        |
|            |           |                             |               |                   |                           |                        |

**do p.2.6**

| l.p. | rodzaj pliku | rozszerzenie | objętość [kB] | czas przesyłu[s] | przepływność[kb/s] |
|------|--------------|--------------|---------------|------------------|--------------------|
| 1.   |              |              |               |                  |                    |
| 2.   |              |              |               |                  |                    |
| 3.   |              |              |               |                  |                    |

| do p.2.7   | serwer nr | rodzaj pliku (rozszerzenie) | objętość [kB] | czas przesyłu [s] | przepływność (klient FTP) | przepływność (monitor) |
|------------|-----------|-----------------------------|---------------|-------------------|---------------------------|------------------------|
| z serwera  |           |                             |               |                   |                           |                        |
|            |           |                             |               |                   |                           |                        |
|            |           |                             |               |                   |                           |                        |
|            |           |                             |               |                   |                           |                        |
| do serwera |           |                             |               |                   |                           |                        |
|            |           |                             |               |                   |                           |                        |
|            |           |                             |               |                   |                           |                        |
|            |           |                             |               |                   |                           |                        |

**do p.2.8**

| l.p. | rodzaj pliku | rozszerzenie | objętość [kB] | czas przesyłu[s] | przepływność[kb/s] |
|------|--------------|--------------|---------------|------------------|--------------------|
| 1.   |              |              |               |                  |                    |
| 2.   |              |              |               |                  |                    |
| 3.   |              |              |               |                  |                    |

2. Spostrzeżenia, uwagi i wnioski dotyczące realizacji dostępu do usług szerokopasmowych