



Mirosław PUC

# WSPOMAGANIE PROJEKTOWANIA OPTYCZNYCH SIECI DOSTĘPOWYCH W PROGRAMIE OPTSIM

### *Streszczenie*

*W artykule omówiony zostały podstawy optycznych sieci dostępowych. Wykonano symulacje sieci FTTH przy pomocy programu OptSim. Zasymlowano wpływ zwiększenia zasięgu i stopnia podziału sieci na jakość przesyłanego optycznego sygnału cyfrowego, którego miarą był współczynnik  $Q$  i elementowa stopa błędu BER. Zarówno wzrost zasięgu jak i wzrost podziału sieci degradują przesyłany sygnał optyczny, jednakże mieści się on w dopuszczalnych normach teletransmisyjnych.*

### WSTĘP

Jednym z kryteriów nowoczesnego, opartego na wiedzy społeczeństwa jest łatwy dostęp do Internetu. Wykluczenie cyfrowe w tym zakresie może polegać na braku infrastruktury dostępowej lub istnieniu infrastruktury o parametrach uniemożliwiających w pełni jej wykorzystanie. Z punktu widzenia odbiorcy końcowego, nowoczesne szerokopasmowe sieci dostępne zapewniają duże przepływności danych, rzędu kilkudziesięciu Mb/s. Takie parametry transmisyjne zapewniają sieci dostępne wykorzystujące światłowód jako medium transmisyjne. W ostatnim dziesięcioleciu nastąpił szybki rozwój technologii światłowodowych w zakresie sieci optycznych. Dynamicznie rozwijającą się technologią są pasywne sieci optyczne PON. Technologia PON polega na przesyłaniu informacji przez optyczną sieć dostępową bez użycia elementów aktywnych. W Polsce, w 2010 r. zaledwie 0,03% gospodarstw domowych mających dostęp do Internetu, miało go zapewniony za pomocą optycznych sieci dostępowych typu FTTH [5]. Jest to sieć całkowicie optyczna, w której światłowód jest doprowadzany bezpośrednio do odbiorcy końcowego.

Do symulacji zaprojektowanej, dostępowej sieci optycznej można wykorzystać program OptSim. Program ten umożliwia zaprojektowanie modelowej sieci, a następnie przeanalizowanie transmitowanego sygnału optycznego i określenie jego degradacji na podstawie analizy diagramu oka i pomiaru wskaźnika jakości  $Q$  oraz elementowej stopy błędu BER. W przypadku analizy sieci PON program OptSim umożliwia stwierdzenie poprawności założeń projektowych i określenie wpływu poszczególnych elementów sieci na jakość sygnału.

## 1. OPTYCZNE SIECI DOSTĘPOWE

Optyczne sieci dostępne ze względu na swoje zastosowanie nazywane są sieciami ostatniego kilometra. Ich zadaniem jest dołączenie użytkowników końcowych lub małych

sieci znajdujących się np. w budynkach wielorodzinnych, do dostawców usług internetowych ISP (ang. *Internet Service Provider*). Optyczne sieci dostępne zapewniają dostęp do sieci Internet użytkownikom z prędkościami maksymalnymi do sięgającymi setek Mb/s.

Wyróżniamy następujące rodzaje sieci optycznych:

- aktywne sieci optyczne AON (ang. *Active Optical Network*),
- pasywne sieci optyczne PON (ang. *Passive Optical Network*).

## 1.1. Aktywne sieci optyczne

Sieci aktywne AON różnią się od sieci pasywnych PON tym, iż sieć pasywna nie posiada wewnątrz sieci światłowodowej elementów aktywnych. Przesyłanie sygnałów realizowane jest poprzez pasywne elementy optyczne, do których można zaliczyć sprzęgacze. W sieciach aktywnych oprócz terminali od strony centrali OLT i od strony abonenta ONT/ONU występują aktywne węzły, są to terminale wyniesione ODT (ang. *Optical Distant/Distribution Termination*). Optyczne sieci aktywne najczęściej mają charakter dystrybucyjny. Do głównych funkcji terminali wyniesionych ODT należy:

- dokonanie zamiany sygnału optycznego na elektryczny O/E i sygnału elektrycznego na optyczny E/O,
- przegrupowanie ruchu w sieci,
- dokonanie zmiany protokołów obowiązujących w różnych częściach,
- redukcja traktów światłowodowych łączących jednostki OLT z światłowodowymi jednostkami sieciowymi.

## 1.2. Pasywne sieci optyczne

Pasywne sieci optyczne PON charakteryzują się tym, że do przesyłu informacji przez sieć nie są potrzebne elementy aktywne, czyli takie, które do swojej pracy potrzebują zasilania. Brak zasilania zmniejsza koszty budowy i eksploatacji sieci. Elementami wchodzącymi w skład pasywnych sieci optycznych są:

- światłowody,
- sprzęgacze optyczne (ang. *splitter*),
- złącza rozłączne,
- tłumiki optyczne.

Do głównych zalet optycznych sieci pasywnych można zaliczyć:

- małe tłumienie transmisyjne,
- występowanie aktywnych elementów jedynie na końcach sieci,
- rozdzielanie sygnału bez jego wzmacniania,
- współpraca wszystkich elementów sieci z jednomodowym światłowodem,
- małe zmiany tłumienności wtrąceniowej elementu podczas zamiany rozchodzenia się kierunku światła (zamiany wejścia z wyjściem).

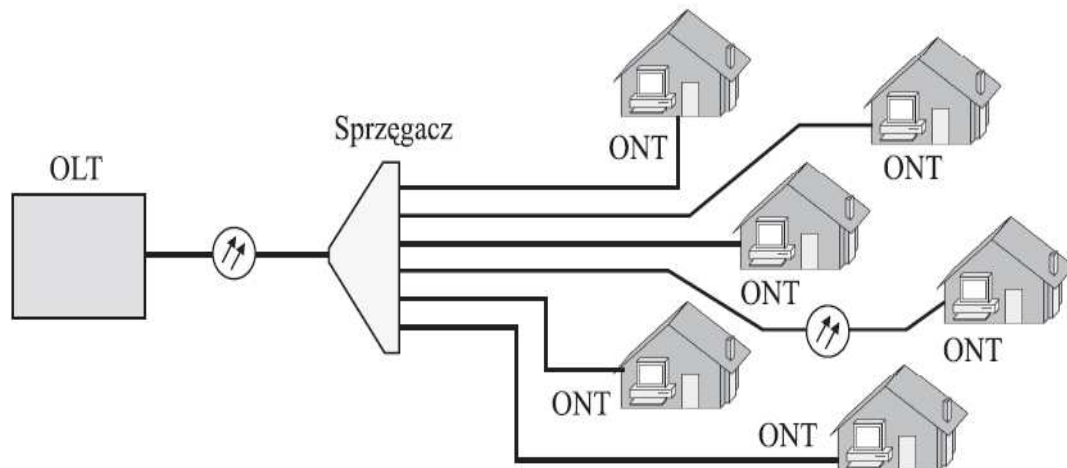
## 1.3. Dostępowe sieci optyczne typu FTTH

Sieć FTTH (ang. *Fiber To The Home*) jest siecią całkowicie optyczną. W technologii tej światłowód doprowadzany jest bezpośrednio do abonenta, co wiąże się z dużymi nakładami inwestycyjnymi wynikającymi z pracochłonnej i kosztownej instalacji. Mogą się one szybko zwrócić, gdyż dynamiczny wzrost zapotrzebowania na nowe usługi przez abonentów końcowych powoduje wzrost przepływności. Sieć FTTH oferuje użytkownikowi najlepsze możliwości pod względem przepustowości, ponieważ użytkownik posiada pełne pasmo światłowodu. Mimo iż jest to rozwiązanie najdroższe ze wszystkich światłowodowych

technologii dostępowych to jednak z perspektywy czasu to rozwiązanie może okazać się najbardziej opłacalnym i najbardziej bezpiecznym. Sieć FTTH w technologii PON charakteryzuje się brakiem elementów aktywnych, przez co wyeliminowany jest problem z zasilaniem urządzeń dystrybucyjnych oraz ich zawodnością w skrajnych temperaturach.

Sieć FTTH z pasywnym rozgałęzieniem włókien światłowodowych ogranicza:

- długości światłowodu,
- koszty instalacji.



**Rys. 1.** Sieć FTTH w technologii PON z pasywnym rozgałęzieniem:

OLT – zakończenie linii światłowodowej, ONT – zakończenie sieci światłowodowej

Źródło: [1]

W sieciach FTTH rozgałęzianie włókna wychodzącego z urządzenia OLT może być wielostopniowe. Optymalizuje to zużycie kabla światłowodowego i osprzętu. W wyniku zastosowania rozgałęziaczy optycznych połączenia optyczne z grupą urządzeń ONT mają wtedy strukturę drzewiastą. Używa się w tym celu rozgałęziaczy o stopniu podziału sygnałów od 1x 2 do 1x64. System FTTH wymaga także oprócz doprowadzenia światłowodu do abonenta opracowania specjalnej platformy, mogącej dostarczać usługi sieciowe.

## 2. SYMULACJA SIECI FTTH W PROGRAMIE OPTSIM

Do symulacji transmisji w systemie FTTH zastosowano program OptSim firmy RSoft Design Group. Program ten służy do projektowania oraz symulacji systemów komunikacji optycznej.

### 2.1. Opis symulacji

Założono, że symulowana będzie transmisja w systemie FTTH w kanale dosyłowym (ang. *downstream*) na długości fali 1490 nm wraz z nakładką „video”. W tym celu zaprojektowano urządzenie OLT będące nadajnikiem TX o przepływności 2,5 Gb/s.

Jest to nadajnik z modulatorem zewnętrznym optycznym Macha-Zehndera. Nadajnik ten składa się z następujących elementów:

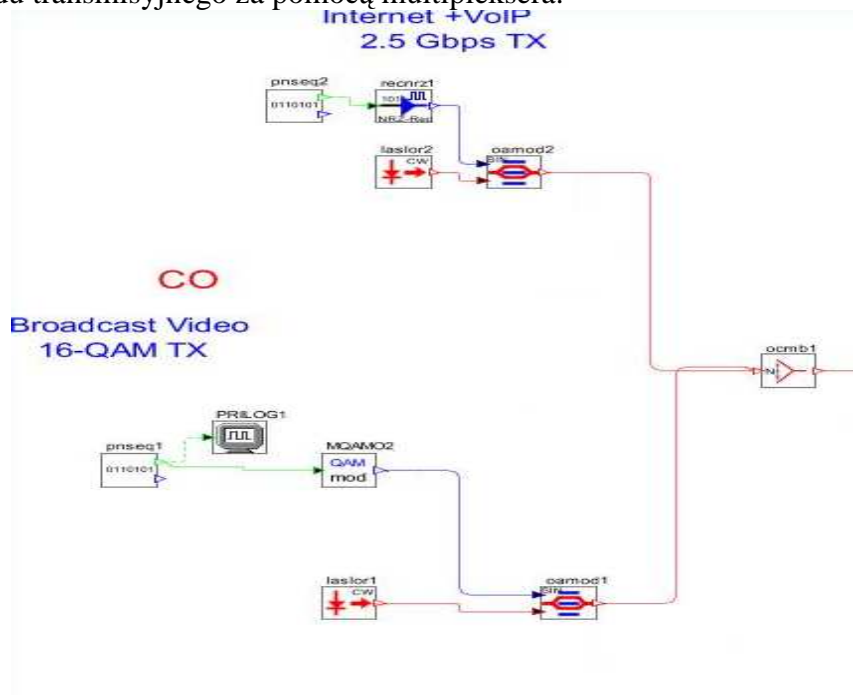
- generatora danych cyfrowych,

- sterownika modulatora,
- diody laserowej o pracy ciągłej,
- modulatora Macha-Zehndera.

Ponadto w zaprojektowanym systemie w urządzeniu OLT zastosowany został nadajnik sygnału wideo wykorzystujący modulację w systemie 16 QAM. Jest to nadajnik sygnału cyfrowego. Nadajnik sygnału telewizyjnego składa się z następujących elementów:

- generatora danych cyfrowych,
- modulatora QAM,
- diody laserowej o pracy ciągłej,
- modulatora Macha-Zehndera.

Sygnały z nadajnika TX oraz z nadajnika sygnału wideo zostały wprowadzone do światłowodu transmisyjnego za pomocą multipleksera.

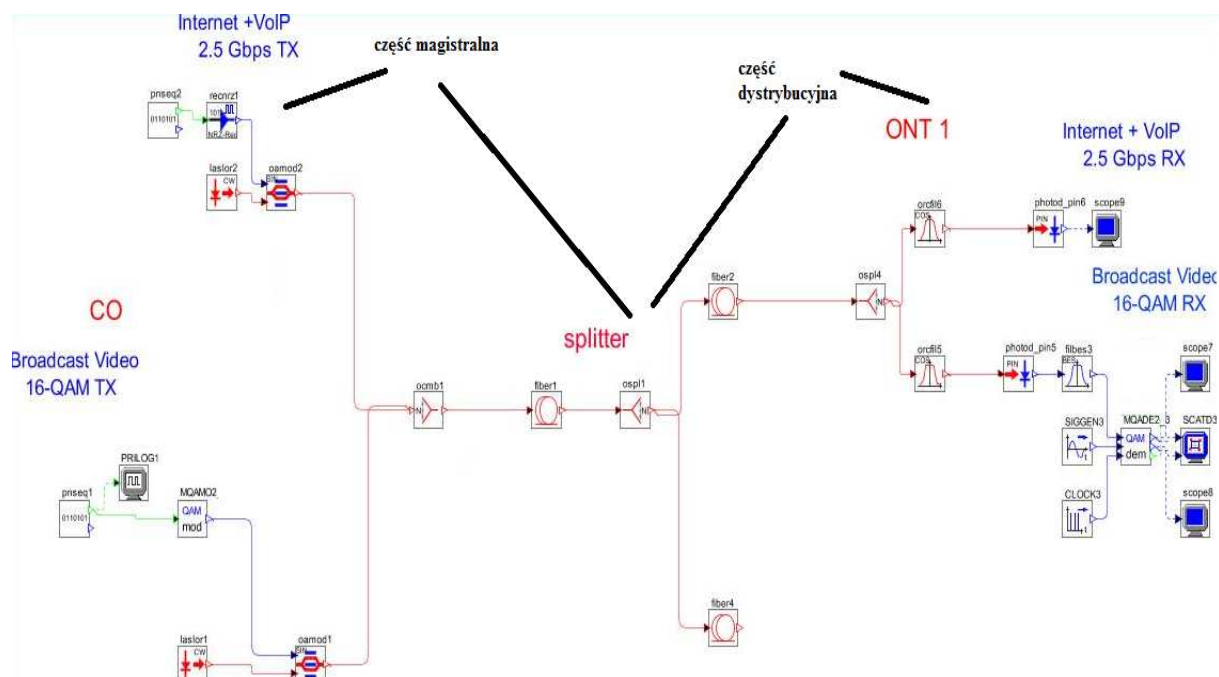


Rys. 2. Sprzężenie sygnałów transmisji danych oraz wideo

Optyczną sieć dostępową zaprojektowano dzieląc światłowód na dwie części:

- część magistralną: od urządzenia OLT do rozgałęziacza,
- część dystrybucyjną: od rozgałęziacza do urządzenia ONT.

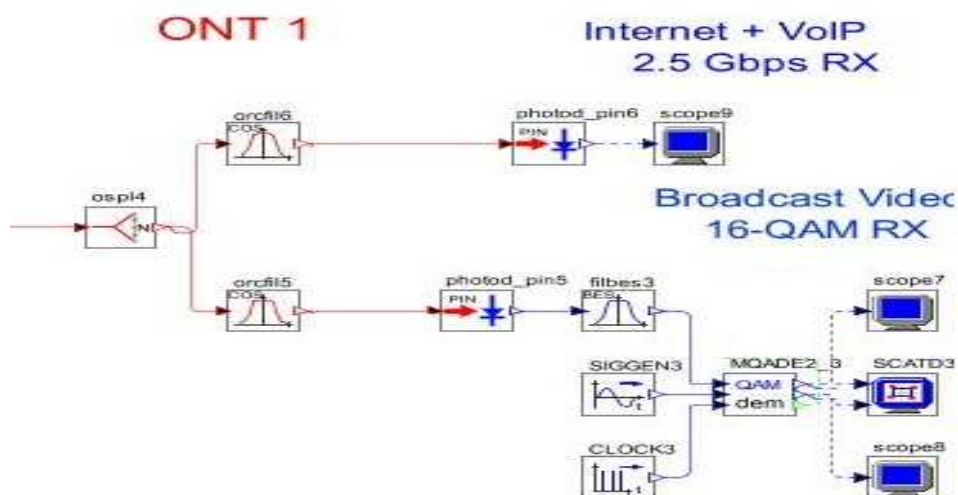
W symulacjach zgodnie z zaleceniami ITU-T G.652 w części magistralnej i dystrybucyjnej zastosowano światłowód SMF (ang. *Single Mode Fiber*) – jest to światłowód jednomodowy z nieprzesuniętą dyspersją [2].



Rys. 3. Schemat z podziałem optycznej sieci dostępczej

W odbiorniku ONT na wejściu umieszczono duplekser rozdzielający sygnał danych (Internet + VoIP) od sygnału wideo. Za duplekserem znajdują się dwa filtry optyczne, a za nimi w odbiorniku danych oraz w odbiorniku sygnału wideo umieszczono fotodetektor, którym jest fotodioda typu PIN. Dodatkowo w odbiorniku wideo za fotodetektorem znajdują się:

- filtr elektryczny Bessela,
- źródło sygnału sinusoidalnego,
- generator sygnału zegarowego,
- demodulator QAM.



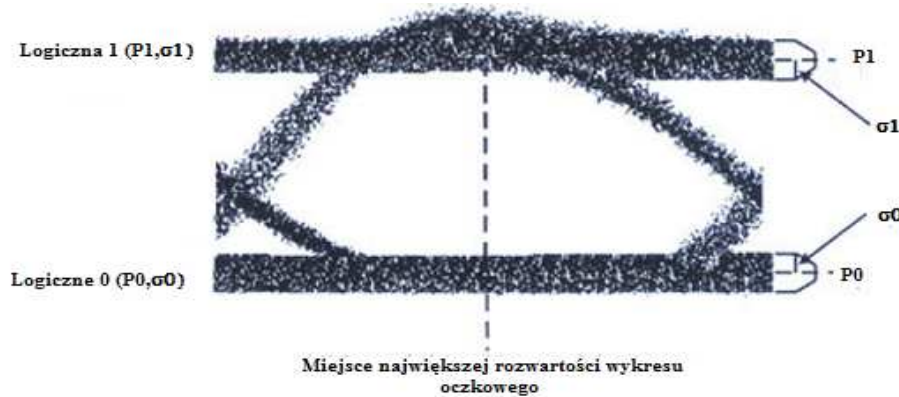
Rys. 4. Duplekser rozdzielający sygnał danych od sygnału wideo

## 2.2. Metody oceny transmisji optycznej

Do podstawowych metod oceny transmisji należy:

- analiza diagramu oka,
- pomiar współczynnika jakości Q,
- pomiar elementowej stopy błędów BER.

**Diagram oka** jest to nałożenie na siebie wszystkich trójelementowych możliwych kombinacji danych cyfrowych.



Rys. 5. Diagram oka z parametrami potrzebnymi do obliczenia współczynnika jakości Q

Źródło: [3]

**Parametr Q** określa jakość sygnału i jest wyrażony wzorem [3]

$$Q = \frac{P1 - P0}{\sigma1 + \sigma0},$$

gdzie:

P1 – wartość średnia sygnału przy logicznej „1”,

P0 – wartość średnia sygnału przy logicznym „0”,

$\sigma1$  – odchylenie standardowe wartości sygnału przy logicznej „1”,

$\sigma0$  – odchylenie standardowe wartości sygnału przy logicznym „0”.

**Elementowa stopa błędów** transmisji BER - określa prawdopodobieństwo wystąpienia przekłamania w strumieniu przesyłanych informacji. Współczynnik BER obliczany jest jako stosunek liczby bitów przekłamanych po stronie odbiorczej do całkowitej liczby bitów transmitowanych przez medium. Znając współczynnik jakości Q można oszacować współczynnik BER z następującej zależności [3]

$$BER = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{\exp\left(-\frac{1}{2}Q^2\right)}{Q}$$

## 2.3. Wpływ wybranych parametrów sieci FTTH na jakość przesyłanego sygnału optycznego

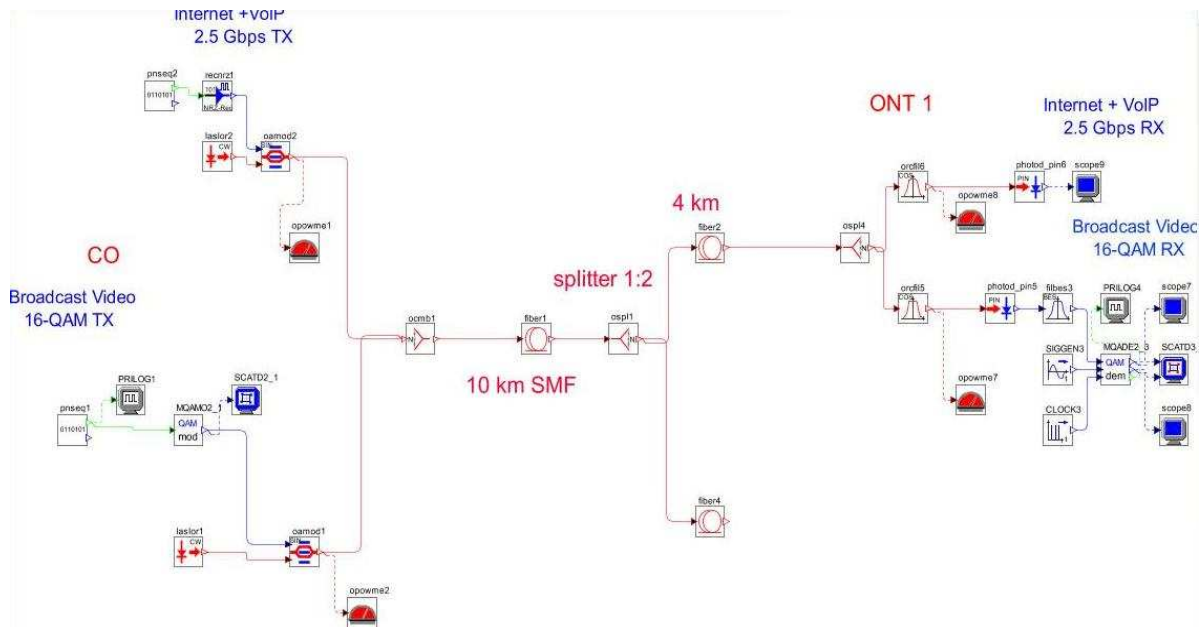
Wykonywane symulacje polegały na określeniu wpływu:

- stosunku podziału sygnału,
- zasięgu sieci,

na jakość przesyłanego sygnału w sieci pasywnej FTTH.

### 2.3.1. Wpływ stopnia podziału rozdzielacza optycznego

Wykonano symulacje, w których zmieniano stopień podziału sprzęgacza od 1:2 do 1:16. Zastosowanie rozdzielacza o większym podziale umożliwia podłączenie do sieci większej liczby abonentów. Arbitralnie założono, że część magistralna sieci FTTH od urządzenia OLT do sprzęgacza ma długość 10 km, zaś część dystrybucyjna od sprzęgacza do jednostki ONT ma długość 4 km.



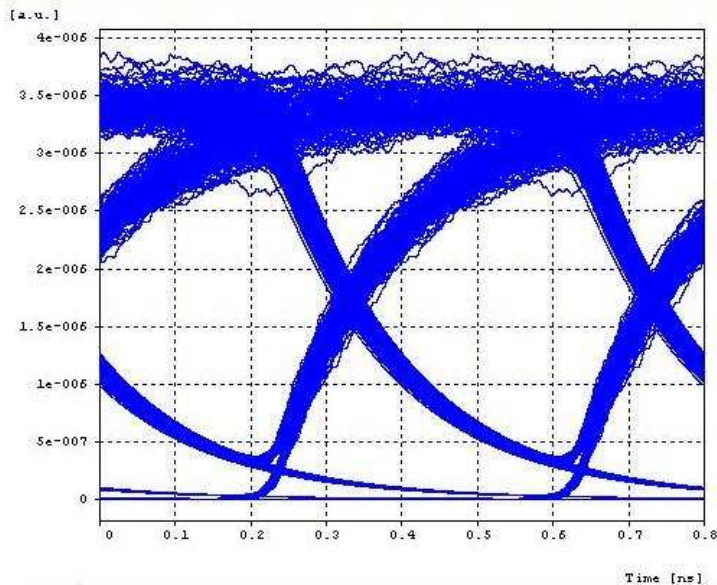
Rys. 6. Schemat systemu FTTH ze sprzęgaczem z podziałem 1:2

W wyniku przeprowadzonych symulacji otrzymano wartości elementowej stopy błędów BER oraz wartości współczynnika Q, które przedstawiono w tabeli nr 1.

Tab. 1. Pomiar stopy błędów BER współczynnika jakości Q w zależności od stopnia podziału

| Stopień podziału | Elementowa stopa błędów BER | Współczynnik jakości Q [dB] |
|------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 1:2              | $1,14 \cdot 10^{-27}$       | 20,85                       |
| 1:4              | $1,08 \cdot 10^{-26}$       | 20,53                       |
| 1:8              | $6,82 \cdot 10^{-24}$       | 20,02                       |
| 1:16             | $1,28 \cdot 10^{-20}$       | 19,36                       |

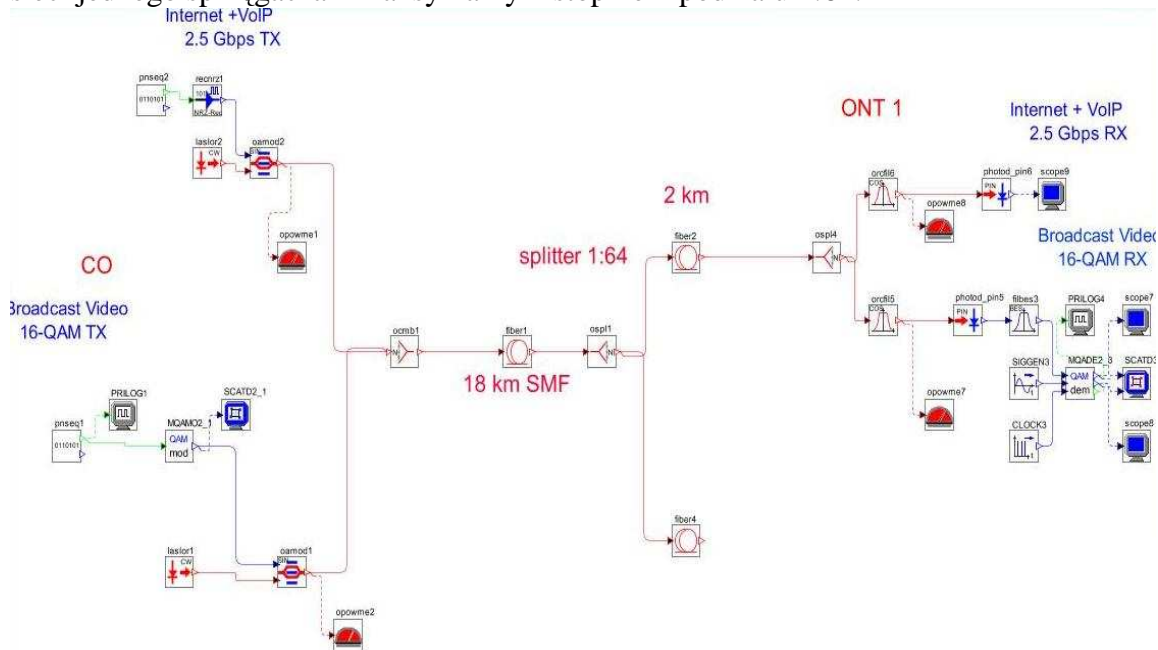




Rys. 7. Diagram oka dla symulacji ze sprzęgaczem ze stopniem podziału 1:16

### 2.3.2. Wpływ zasięgu sieci

Zostały wykonane symulacje, w których został zastosowany sprzęgacz z podziałem 1:64, natomiast odległości od urządzenia OLT do urządzeń ONT wynosiły odpowiednio 20; 10; 5; 2,5 kilometra (zasięg sieci FTTH). Do sieci może zostać podłączonych 64 użytkowników. Badanie to ma na celu pokazanie różnicy w jakości transmisji jaka zachodzi przy zmianie długości zasięgu sieci FTTH od 20 km do 2,5 km przy zastosowaniu w każdej z symulowanej sieci jednego sprzęgacza z maksymalnym stopniem podziału 1:64.



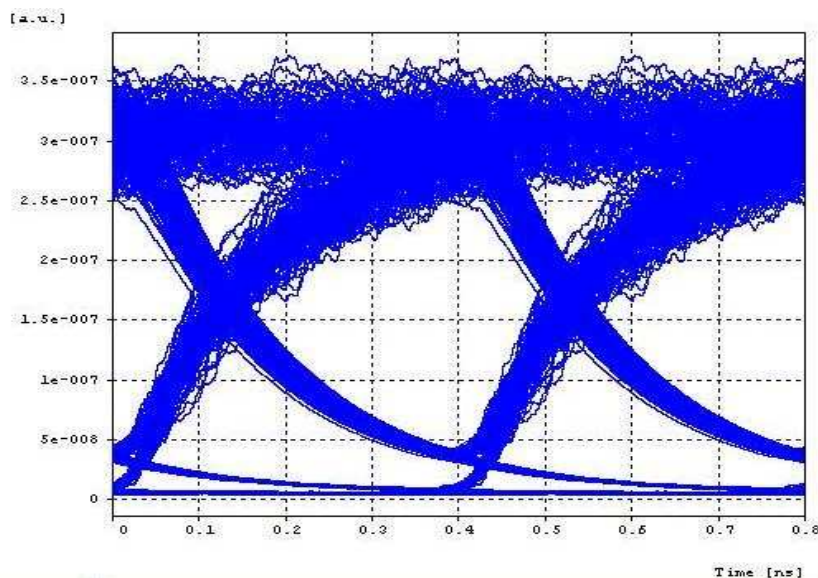
Rys. 8. Schemat systemu FTTH o zasięgu 20 km



W wyniku przeprowadzonych symulacji otrzymano wartości elementowej stopy błędów BER oraz wartości współczynnika Q, które przedstawiono w tabeli nr 2.

**Tab. 2.** Pomiar stopy błędów BER oraz współczynnika jakości Q w zależności od zasięgu

| Zasięg sieci [km] | Elementowa stopa błędów BER | Współczynnik jakości Q [dB] |
|-------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 20                | $4,46 \cdot 10^{-14}$       | 17,65                       |
| 10                | $1,12 \cdot 10^{-19}$       | 19,32                       |
| 5                 | $2,25 \cdot 10^{-25}$       | 20,15                       |
| 2,5               | $9,56 \cdot 10^{-27}$       | 20,58                       |



**Rys. 9.** Diagram oka dla symulacji systemu FTTH o zasięgu 20 km

### 2.3.3. Wnioski z symulacji

Wraz ze wzrostem stopnia podziału sprzęgacza, a co za tym idzie wzrostem tłumienności wtrąceniowej wzrasta elementowa stopa błędów od wartości  $1,14 \cdot 10^{-27}$  do wartości  $1,28 \cdot 10^{-20}$ , jednocześnie maleje współczynnik jakości Q od 20,85 dB do 19,36 dB. Oznacza to pogorszenie transmitowanego sygnału.

Jakość transmisji zmienia się w zależności od długości zasięgu sieci. W sieciach, w których dokonano symulacji zastosowano sprzęgacz z maksymalnym podziałem sygnału wynoszącym 1:64 jaki można zastosować w sieci FTTH GPON. Zasięg sieci zmieniano od 20 km do 2,5 km.

Sumaryczna długość światłowodu wpływa znacząco na jakość transmisji. Przy zasięgu równym 20 km zniekształcenia amplitudy sygnału są znaczące. Wraz ze zmniejszeniem zasięgu sieci FTTH następuje poprawa jakości transmisji. Elementowa stopa błędów BER maleje od wartości  $4,46 \cdot 10^{-14}$  do wartości  $9,56 \cdot 10^{-27}$ , jednocześnie wzrasta wartość współczynnika jakości Q od wartości 17,65 dB do 20,58 dB.

W obu symulacjach pogorszenie sygnału optycznego jest w granicach normy [4], która zakłada, że elementowa stopa błędów BER dla poprawnej transmisji powinna być mniejsza od  $10^{-12}$  zaś parametr Q nie powinien być mniejszy od 17 dB.

## PODSUMOWANIE

Rozwój szerokopasmowych sieci optycznych na danym terenie eliminuje wykluczenie społeczne. Zapewnia zrównanie szans w dostępie do infrastruktury teleinformatycznej oraz zapewnia rozwój społeczny. Podnosi atrakcyjność gospodarczą danego obszaru. Projektowanie sieci szerokopasmowych może być wspomagane przez zastosowanie programów symulacyjnych. Jednym z nich jest program OptSim. Pozwala on na przeanalizowanie wpływu różnych czynników na transmisję sygnału optycznego, może również wspomagać projektowanie sieci teleinformatycznych i zrozumienie procesów w nich zachodzących. Program OptSim może być stosowany w dydaktyce na uczelniach wyższych na kierunkach związanych z telekomunikacją.

## OPTICAL ACCESS NETWORKS DESIGNING USING THE OPTSIM SOFTWARE

### *Abstract*

*The article presents the basics of optical access networks. FTTH networks have been simulated using the OptSim software. The effect of increasing the reach and split size on the quality of the transmitted optical digital signal, has been simulated, resulting in the Q-Factor and BER (Bit Error Ratio). Both the increase the reach and growth of the network split size the optical signal transmitted, but it falls within acceptable teletransmission standards.*

## BIBLIOGRAFIA

1. Borzycki K.: *Światłowodowe sieci dostępne*. Telekomunikacja i Techniki Informacyjne 1-2/2008
2. ITU-T Recommendation G 652. *Characteristics of a single-mode fiber cable*. International Telecommunication Union, Geneva 2000.
3. Perlicki K.: *Pomiary w optycznych systemach telekomunikacyjnych*. WKiŁ, Warszawa 2002.
4. Siuzdak J.: *Systemy i sieci foniczne*. WKiŁ, Warszawa 2009.
5. Urząd Komunikacji Elektronicznej. [www.uke.gov.pl](http://www.uke.gov.pl)

### *Autor:*

**dr inż. Mirosław PUC** – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie,  
Katedra Telekomunikacji i Fotoniki