

TAŃCZĄCY Z FALAMI



Czyli **kolorowa** przyszłość sieci PON:
WDM PON, XG-PON, NGA, NG-PON, TWDM PON, WDM1r, CE_x, CEM_x, itp.

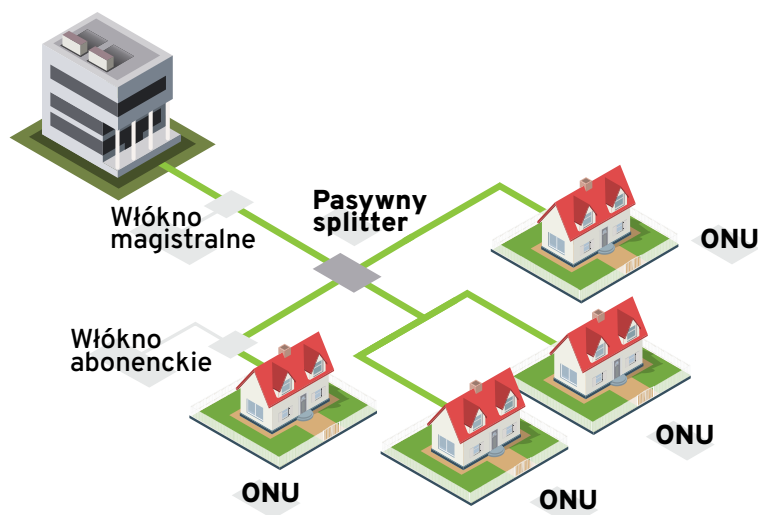




1. Stan obecny w optycznych sieciach dostępowych

Nie ulega wątpliwości, że czasy chwały miedzianych mediów transmisyjnych do budowy sieci telekomunikacyjnych, takich jak kabel koncentryczny bądź skrętka, bezpowrotnie minęły (mimo, że w wielu miejscach medium to wciąż opiera się, i jeszcze długo się będzie opierać, nieuchronnemu postępowi cywilizacyjnemu). Operatorzy telekomunikacyjni, chcący zapewnić swoim abonentom wysokiej jakości oraz niezawodny dostęp do nowoczesnych usług (telefonu, telewizji w jakości HD, szerokopasmowego Internetu, gier sieciowych i innych), muszą zwrócić się w kierunku sieci dostępowych nowej generacji NGA (ang. *Next Generation Access*) budowanych z wykorzystaniem światłowodów. W większości krajów dominującą technologią budowy optycznych sieci dostępowych okazały się sieci pasywne PON (ang. *Passive Optical Network*), budowane w topologii punkt-wielopunkt (Rys. 1). W takich sieciach jedynymi wykorzystywanymi urządzeniami aktywnymi są: urządzenie centralowe OLT (ang. *Optical Line Termination*) u operatora, oraz końcówka abonencka z portem liniowym ONT (ang. *Optical Network Termination*).

Nie bez znaczenia są również niższe koszty serwisowania sieci PON, która np. nie jest podatna na uszkodzenia po burzach. W sieciach PON część dystrybucyjna jest wspólna dla wszystkich abonentów. Jest w tym celu wykorzystywany magistralny odcinek włókna, który łączy urządzenie centralowe OLT oraz pasywny dzielnik (np. splitter PLC), za którym dopiero prowadzone są indywidualne dla każdego abonenta odcinki włókna. Dzięki wykorzystaniu pasywnych splitterów, do każdego portu OLT podłączyć można wielu abonentów. Ponieważ sieci PON posiadają odcinki sieci, które są wspólne dla wszystkich abonentów, oraz wykorzystują jedno włókno do zrealizowania transmisji duplexowej, konieczny jest rodzaj wielodostępu, umożliwiającego uzyskanie logicznej topologii punkt-punkt na fizycznej topologii punkt-wielopunkt. W obecnie implementowanych sieciach PON stosowany jest klasyczny wielodostęp z podziałem czasu. Dane przesyłane od OLT trafiają do wszystkich końcówek abonenckich ONT, gdzie następuje ich filtrowanie i wyodrębnienie ruchu dla niego przeznaczonego. Podczas komunikacji



Rys. 1. Schemat pasywnej sieci optycznej PON

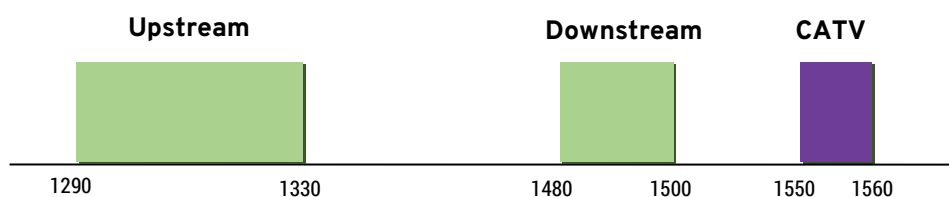
Wszystko co znajduje się pomiędzy OLT oraz ONT jest pasywne i nie wymaga zasilania. Z punktu widzenia operatora ma to wiele zalet. Podczas budowy bądź modernizacji sieci znikają problemy związane z koniecznością doprowadzenia zasilania do punktu dostępowego umieszczonego w skrzynce położonej w przystawowym szczerym polu. Niższe są koszty utrzymania sieci, bo przecież nie trzeba płacić rachunków za zużytą energię elektryczną.

w odwrotnym kierunku każdy abonent przesyła dane w określonej (przydzielonej przez OLT) szczelinie czasowej. Budowane obecnie sieci PON mogą wykorzystywać albo popularniejszy (i dający więcej możliwości) standard GPON, albo rzadziej spotykany standard GEPON.

2. GEPON vs GPON

Standard GEPON (ang. *Gigabit Ethernet Passive Optical Network*) został opracowany przez Amerykańskie Stowarzyszenie Inżynierów Elektryków i Elektroników IEEE. Jest on najczęściej implementowany w sieciach PON budowanych w Azji (Japonia, Korea Południowa, Chiny). W standardzie IEEE 802.3ah opisano optyczną sieć dostępową o strukturze punkt-wielopunkt. Dostępna jest symetryczna (równa w obydwóch kierunkach transmisji) przepustowość 1 Gbit/s. Dostępne pasmo może zostać podzielone pomiędzy co najmniej 32 abonentów, w standardzie 802.3ah nie określono maksymalnego współczynnika podziału (zazwyczaj jest to 1:64). W warstwie drugiej wykorzystywany jest protokół Ethernet, dobrze znany przez wszystkich (przynajmniej większość dobrych) administratorów sieci.

Dane w warstwie drugiej przesyłane są z wykorzystaniem protokołu GEM (ang. *GPON Encapsulation Method*). Dzięki temu, istnieje możliwość przenoszenia w sieci ruchu telekomunikacyjnego pochodzącego z różnych protokołów (np. ATM, SDH), a nie tylko ramek Ethernetowych, jak w przypadku standardu GEPON. Dodatkowo, w ramach GEM zawarte mogą być nadmiarowe dane naprawcze FEC (ang. *Forward Error Correction*), dzięki czemu, kosztem części dostępnej przepustowości, odbiornik jest w stanie naprawić przekłamane bity, będące efektem występowania błędów w transmisji. W celu zwiększenia bezpieczeństwa, przesyłane dane mogą zostać dodatkowo zabezpieczone 128-bitowym kluczem AES.



Rys. 2. Zajmowane zakresy długości fal w sieciach GEPON/GPON z zaimplementowaną nakładką RF (CATV).

Dla przesyłania sygnału od OLT do ONU (*downstream*) wykorzystywane są długości fal w zakresie 1480-1500 nm, w przeciwnym zaś kierunku 1290-1330 nm (dawniej 1260-1360 nm), co jest oczywiście prostą formą zwielokrotnienia WDM. Zakresy spektrum optycznego wykorzystywane w pasywnych sieciach optycznych zgodnych ze standardem GEPON przedstawiono schematycznie na powyższym rysunku (Rys. 2). Posiadający większe możliwości standard GPON (ang. *Gigabit Passive Optical Network*) został zaproponowany przez ITU-T i jest zdefiniowany w rekomendacjach serii G.984. Dane w sieci GPON mogą być przesyłane z symetryczną przepustowością 2.5 Gbps/2.5 Gbps, chociaż najczęściej dostępne jest pasmo asymetryczne: 2.5 Gbps *downstream* oraz 1.25 Gbps *upstream*. Dostępna przepustowość może być podzielona pomiędzy co najwyżej 128 abonentów. Maksymalny dystans pomiędzy OLT i ONU wynosi 60 km, przy czym odległość pomiędzy ONU podłączonymi na jednym porcie (tzw. rozpiętość sieci) nie może przekroczyć 20 km. W sieciach GPON budżet mocy wynosi typowo 28 dBm (klasa B+), może zostać zwiększony z wykorzystaniem specjalnych laserów do 32 dBm (klasa C+). Standard GPON wykorzystuje te same zakresy spektralne co GEPON (Rys. 2).

W sieciach PON pracujących z protokołem GPON bądź GEPON, oprócz przesyłania w postaci cyfrowej ruchu telekomunikacyjnego, istnieje również możliwość rozpowszechniania usługi telewizyjnej na dedykowanej długości fali, wykorzystując tzw. nakładkę RF (ang. *RF overlay*). W tej technologii konieczne jest stosowanie nadajnika CATV pracującego na długości fali 1550 nm oraz (najczęściej) wzmacniacza optycznego. Wprowadzenie sygnału CATV do włókna wymaga wykorzystania specjalnego multipleksera optycznego, czyli tripleksera. Jest on również niezbędny do demultipleksacji sygnału optycznego w miejscu zamieszkania abonenta. Zazwyczaj, triplekser jest wbudowany w końcówkę abonencką ONU, chociaż istnieje również możliwość jego instalacji wewnątrz puszkii abonenckiej.

Alternatywą dla nakładki RF jest wykorzystanie usługi IPTV (ang. *Internet Protocol Television*). Jest to technika, w której sygnał telewizyjny w postaci cyfrowej jest przesyłany w sieci PON z wykorzystaniem dobrze znanego protokołu IP. Do odbioru telewizji IPTV nie jest wymagany komputer, a jedynie dekoder STB (ang. *Set-top box*). Usługa IPTV oprócz rozpowszechniania sygnału TV, może zapewniać dostęp do nowoczesnych usług takich jak: wideo na żądanie VoD (ang. *Video on Demand*), czy też gry sieciowe.

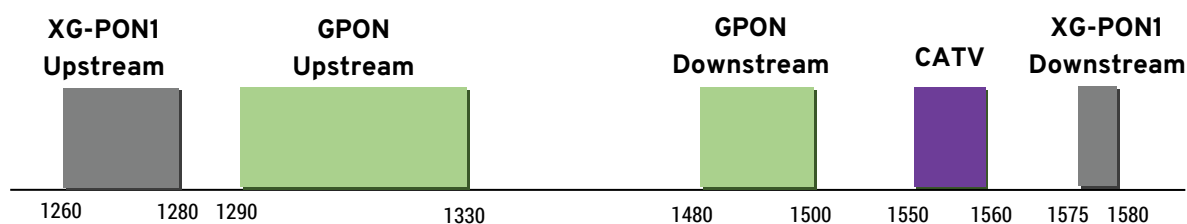
3. Quo vadis, PON?

Trzy długości fali dostępne w sieci GPON to zdecydowanie za mało, żeby było ciekawie. Dlatego też (jak również po to, by zapewnić jeszcze większą przepustowość sieci NGA), bardzo szybko rozpoczęto prace nad następcami standardów GPON i GEAPON. W 2009 uchwalono standard 10-EPON (IEEE 802.3av), będący następcą GEAPON'a. W jednym wariantcie tego standardu dostępna jest symetryczna przepustowość 10G/10G, w drugim zaś asymetryczna 10G/1G. Nowy protokół wykorzystuje inne długości fali niż GEAPON (1575-1580 nm *downstream* oraz 1260-1280 nm *upstream*), stąd zapewniona jest jego wsteczna kompatybilność. Koegzystencja w jednej sieci optycznej standardów GEAPON oraz 10-EPON wymaga zastosowania dodatkowego urządzenia, czyli pasywnego multiplexera (po stronie operatora telekomunikacyjnego) oraz demultiplexera (u abonenta).

W przypadku standardu GPON prace nad jego następcą po-

Żeby nie było za łatwo, w czerwcu 2016 ITU-T opublikowało rekomendację G.9807.1, w której opisano sieć XGS-PON o symetrycznej przepustowości 10G/10G. Formalnie, nie jest ona częścią standardu XG-PON, niemniej implementuje wymagania stawiane przed sieciami XG-PON2. Dla standardu XGS-PON nie wydzielono w spektrum optycznym nowych zakresów spektralnych, wykorzystuje on długości fali przeznaczone dla standardu XG-PON (ang. basic wavelength set) albo standardu GPON (ang. optional wavelength set). Oznacza to, że wzajemna koegzystencja w jednej sieci PON standardów GPON, XG-PON oraz XGS-PON nie jest możliwa (przynajmniej bez wykorzystania dodatkowego zwielokrotnienia w dziedzinie czasu).

W trakcie opracowywania standardu dla sieci NG-PON2 rozważano różne rozwiązania techniczne, z wykorzystaniem których możliwe będzie osiągnięcie docelowej przepustowości 160G/40G (*downstream/upstream*).



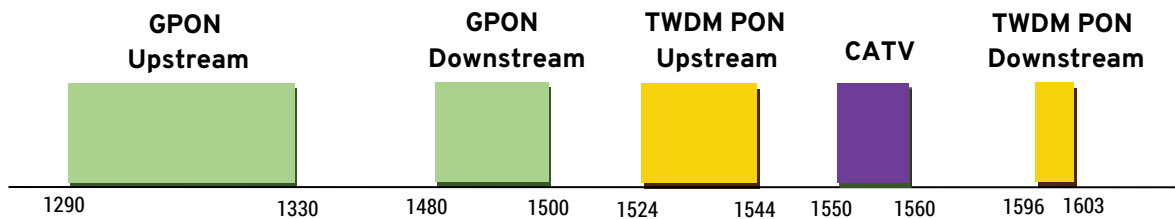
Rys. 3. Zajmowane spektrum optyczne w sieci pasywnej z zaimplementowanymi standardami GPON i XG-PON1, oraz nakładką RF, dla rozpowszechniania usługi telewizyjnej (CATV).

dzielono na dwa etapy, oznaczone NG-PON1 oraz NG-PON2. Przyjęto podejście oparte na ewolucji, a nie rewolucji. W pierwszej fazie (NG-PON1) skupiono się na zwiększeniu przepustowości sieci do 10 Gbit/s (dla co najmniej jednego kierunku), przy zachowaniu koegzystencji z istniejącymi sieciami GPON oraz maksymalnym wykorzystaniu dostępnej infrastruktury pasywnej. Z kolei sieci NG-PON2 mają początkowo umożliwić przesyłanie danych z przepustowością 40G/10G (*downstream/upstream*), docelowo ma ona wynosić aż 160G/40G.

W przypadku sieci NG-PON1, początkowo planowano opracowanie jednego standardu podzielonego na dwie kategorie prędkości: XG-PON1 (asymetryczne pasmo 10 Gbit/s *downstream* oraz 2.5 Gbit/s *upstream*) oraz XG-PON2 (symetryczne 10G/10G). Życie zweryfikowało te plany, ponieważ tylko XG-PON1 doczekał się oficjalnej standaryzacji ITU-T (opisano go jako XG-PON w rekomendacjach serii G.987), zaś XG-PON2 nadal czeka. Standardy GPON i XG-PON mogą pracować w jednej sieci pasywnej (Rys. 3), ponieważ nowy standard wykorzystuje inne zakresy spektralne niż GPON (1575-1580 nm *downstream* oraz 1260-1280 nm *upstream*), konieczne jest jedynie zastosowanie odpowiedniego filtra WDM.

Ostatecznie, wykorzystano bardzo dobrze znaną w telekomunikacji światłowodowej (i wspomnianą już kilkakrotnie) technikę zwielokrotnienia w dziedzinie długości fali WDM.

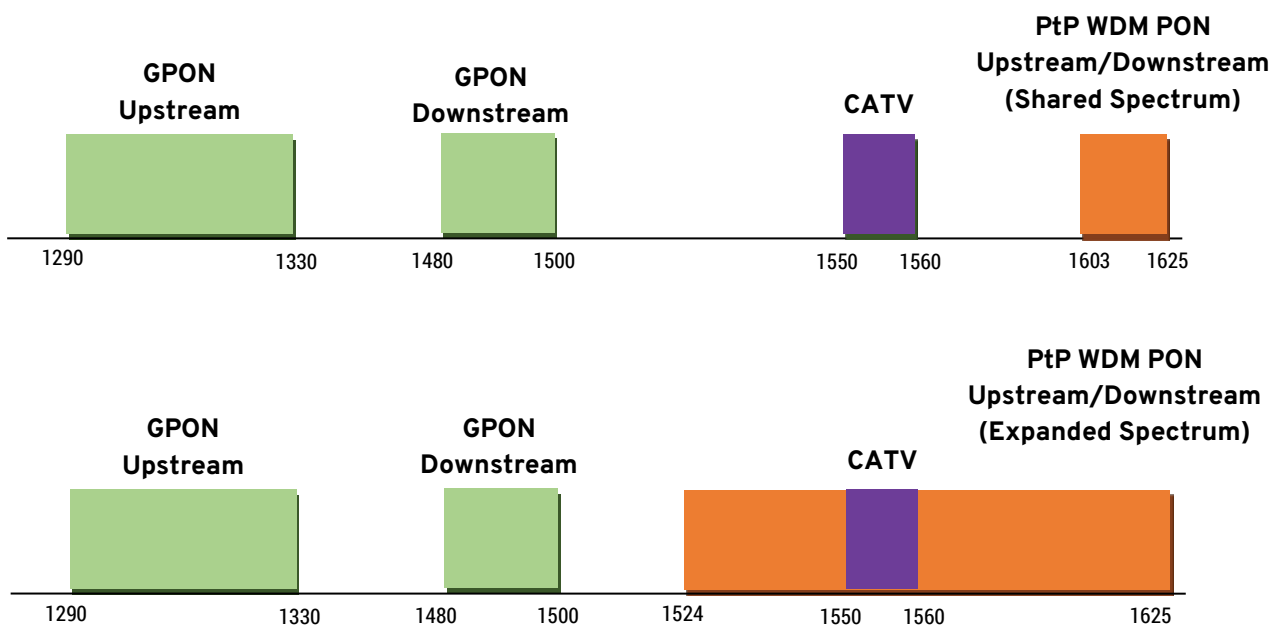
Sieć NG-PON2 opisano w serii rekomendacji ITU-T oznaczonych G.989. Maksymalna rozpiętość sieci wynosi 40 km (czyli dwa razy więcej niż GPON), przy podziale na co najmniej 64 abonentów. Transmisja jest realizowana za pomocą kilku par długości fali (typowo od 4 do 8), przy czym jedna z nich jest wykorzystywana do przesyłania danych od OLT do ONT (*downstream*), a druga w odwrotnym kierunku. Co ważne, nie wszystkie pary kanałów muszą zostać zaimplementowane w sieci w jednym czasie, istnieje możliwość ich „dokładania” w miarę wzrostu potrzeb na pasmo („pay as you grow”), co jest bardzo wygodne dla operatora telekomunikacyjnego. Ponadto, w każdym z kanałów transmisja może być realizowana z następującymi dostępnymi przepustowościami *upstream/downstream*): 10G/10G, 10G/2.5G oraz 2.5G/2.5G.



Rys. 4. Zajmowane spektrum optyczne w sieci pasywnej z zaimplementowanymi standardami GPON i NG-PON2 (TWDM PON) (opcja *Wide Range* dla transmisji *upstream*), oraz nakładką CATV.

Standard NG-PON2 wykorzystuje inne zakresy spektralne, niż protokoły GPON i XG-PON, stąd istnieje możliwość ich koegzystencji w jednej sieci pasywnej (Rys. 4). W przypadku techniki TWDM PON, transmisja w kierunku *downstream* realizowana jest w paśmie 1596-1603 nm. Z kolei dane w przeciwnym kierunku przesyłane mogą w jednym z trzech dostępnych pasm: 1524-1544 nm (opcja *Wide Range*), 1528-1540 nm (opcja *Reduced Range*) bądź 1532-1540 nm (opcja *Narrow Range*). W przypadku techniki PtP WDM PON (Rys. 5) transmisja może zostać zrealizowana w jednym z dwóch dostępnych zakresów spektralnych: 1603-1625 nm (opcja *Shared Spectrum*) bądź 1524-1625 nm (opcja *Expanded Spectrum*). Wybór pasma za-

w sieciach NG-PON2 zwiększenie dostępnej przepustowości uzyskano dodając do standardu XG-PON dodatkowe zwielokrotnienie w dziedzinie długości fali. Transmisja może zostać zrealizowana na dwa sposoby: z wykorzystaniem techniki TWDM PON bądź PtP WDM PON. W pierwszym przypadku, grupa kanałów jest współdzielona przez wielu abonentów, przy czym stosowany jest wielodostęp zarówno w dziedzinie czasu, jak i długości fali. Istnieje również możliwość zestawienia wirtualnego połączenia typu punkt-punkt (PtP WDM PON – *Point to Point WDM PON*), gdzie transmisja jest realizowana z wykorzystaniem kanału dedykowanego tylko dla danego ONU (niewspółdzielonego z innymi abonentami).



Rys. 5. Zajmowane spektrum optyczne w sieci pasywnej z zaimplementowanymi standardami GPON oraz NG-PON2 (PtP WDM PON) w wersji: a) *Shared Spectrum*, b) *Expanded Spectrum*.

leży od tego, czy w sieci PON zaimplementowany ma zostać tylko standard NG-PON2, czy też inne protokoły (np. XG-PON). Warto zwrócić uwagę, że w przypadku połączenia punkt-punkt nie ma rozróżnienia na pasmo *downstream* oraz *upstream*.

Implementacja standardu NG-PON2 w sieci pasywnej niesie ze sobą spore wymagania dla sprzętu aktywnego, dotyczy to zarówno OLT (nadawanie na różnych długościach fal w jednym czasie) jak i ONU („*colorless transceiver*” – z możliwością odbioru i nadawania w całym wyznaczonym paśmie).



4. GPON, NG-PON1, NG-PON2 - wzajemna koegzystencja

Sieci PON budowane są z wykorzystaniem kabli światłowodowych z włóknami: G.652.D (o zredukowanym pikowym wodnym) oraz coraz częściej G.657.A1 i A2 (o zredukowanym promieniu gięcia). Użyteczny zakres spektralny tych włókien obejmuje (co najmniej) długości fal 1270-1610 nm. Biorąc pod uwagę, że w sieci PON z zaimplementowanym protokołem GPON wykorzystywane są tylko zakresy 1290-1330 nm (*upstream*), 1480-1500 nm (*downstream*) oraz czasami 1550-1560 nm (nakładka RF dla usługi CATV), spektrum optycznego do zagospodarowania, jak już wspomniano powyżej, jest całkiem sporo.

W rekomendacji ITU-T G.984.5 zdefiniowano ponownie zakresy widma optycznego wykorzystywane w sieciach PON z protokołem GPON. Zakres długości fal wykorzystywany podczas komunikacji od OLT do jednostek abonenckich ONU (*downstream*) określono mianem pasma podstawowego (ang. *Basic Band*). Z kolei w paśmie wykorzystywanym podczas transmisji *upstream* wyróżniono trzy podzakresy o różnych szerokościach: 1260-1360 nm (ang. *Regular Band*), 1290-1330 nm (ang. *Reduced Band*) oraz 1300-1320 nm (ang. *Narrow Band*). Wyróżniono również nowe zakresy spektrum optycznego, określane mianem pasma rozszerzonego (ang. *Enhancement Band*). Nowe protokoły i usługi, wykorzystujące wspomniane poprzednio nowe zakresy spektralne mogą być zaimplementowane w sieci GPON dzięki zastosowaniu nakładki WDM. Wymaga to stosowania specjalizowanych multiplekserów i demultiplekserów xWDM (lub xPON) w sieci, przedstawionych poniżej. W rekomendacji ITU-T G.984.5 określa się je mianem elementów koegzystencji (ang. *Coexistence Element*). Warto zwrócić uwagę, w wielu przypadkach są to multipleksery trudne technologicznie, ze względu na wymagania zastosowania filtrów na nietypowe zakresy spektralne i dużą szerokość niektórych zakresów, przy jednoczesnym wąskim paśmie buforowym. Fakt, że niektóre protokoły do pracy duplexowej wymagają sumarycznego spektrum składającego się z dwóch rozdzielnych podpasem również nie ułatwia sprawy.

W rekomendacji ITU-T G.984.5 opisano kilkanaście przykładowych konfiguracji multiplekserów xWDM (xPON), co pozwala zabezpieczyć na przyszłość praktycznie wszystkie rozważane obecnie ścieżki ewolucji sieci PON. Dzięki stosowaniu multiplekserów xPON, w trakcie przyszłej rozbudowy i modernizacji istniejącej sieci GPON, operator telekomunikacyjny będzie miał możliwość elastycznego doboru interesujących go rozwiązań (np. dodania usługi CATV bądź kanału monitoringu OTDR lub wdrożenia 40G NG-PON2).

W rekomendacji ITU-T multipleksery xWDM podzielono na trzy grupy, w zależności od tego, jakie usługi bądź standardy są wspierane. Multipleksery **WDM1r** powinny być wykorzystywane w sytuacji, gdy w istniejącej sieci GPON planuje się w przyszłości wprowadzenie usług nowej generacji (takich jak np. rozpowszechnianie telewizji w jakości HD). Multipleksery **CEx** znajdują zastosowanie podczas wdrażania w sieci pasywnej nowych standardów NG-PON1 (XG-PON bądź XGS-PON) oraz NG-PON2. Z kolei najbardziej zaawansowane multipleksery **CEMx** umożliwiają przyszłe wdrażanie w sieci GPON zwielokrotnienia w dziedzinie długości fali, czyli standardu NG-PON2 (technika TWDM PON bądź PtP WDM PON). Schematy oraz podstawowe parametry multiplekserów xWDM zgodnych z wymaganiami rekomendacji ITU-T G.984.5 zestawiono na rysunkach i tabelach poniżej. Z kolei w tab.1 zestawiono ważniejsze rekomendacje ITU-T, z którymi warto się zapoznać (oczywiście dla usystematyzowania wiedzy) przed wdrożeniem w swojej sieci PON nowych protokołów bądź usług.

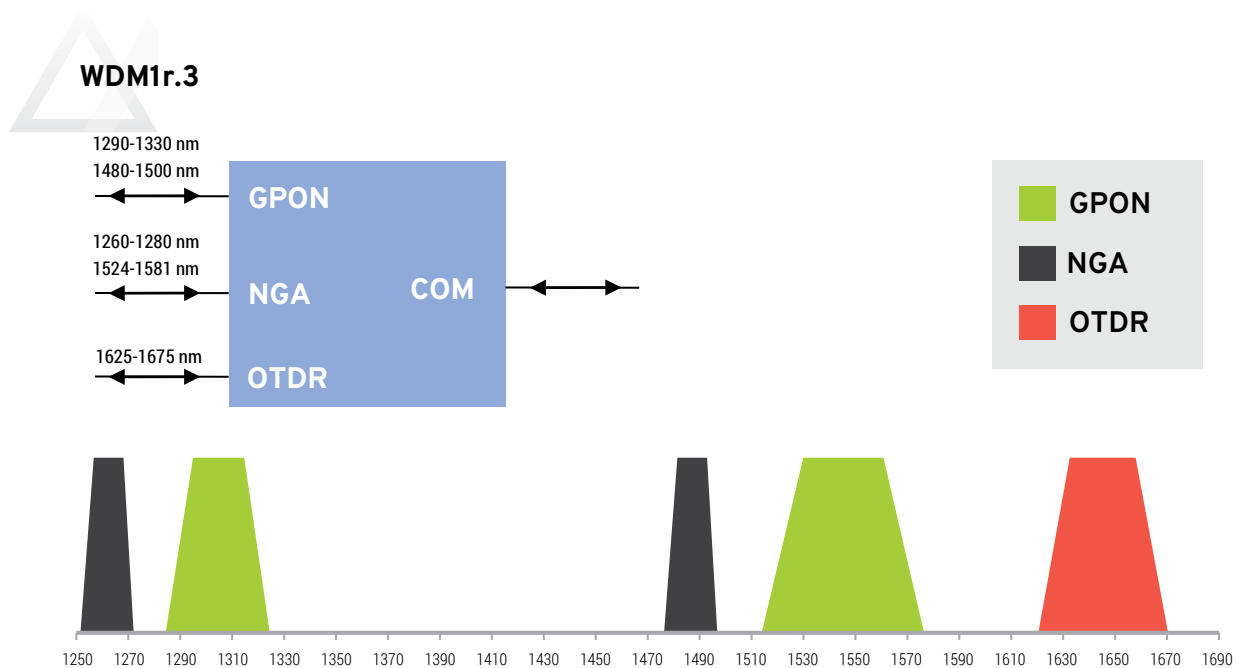
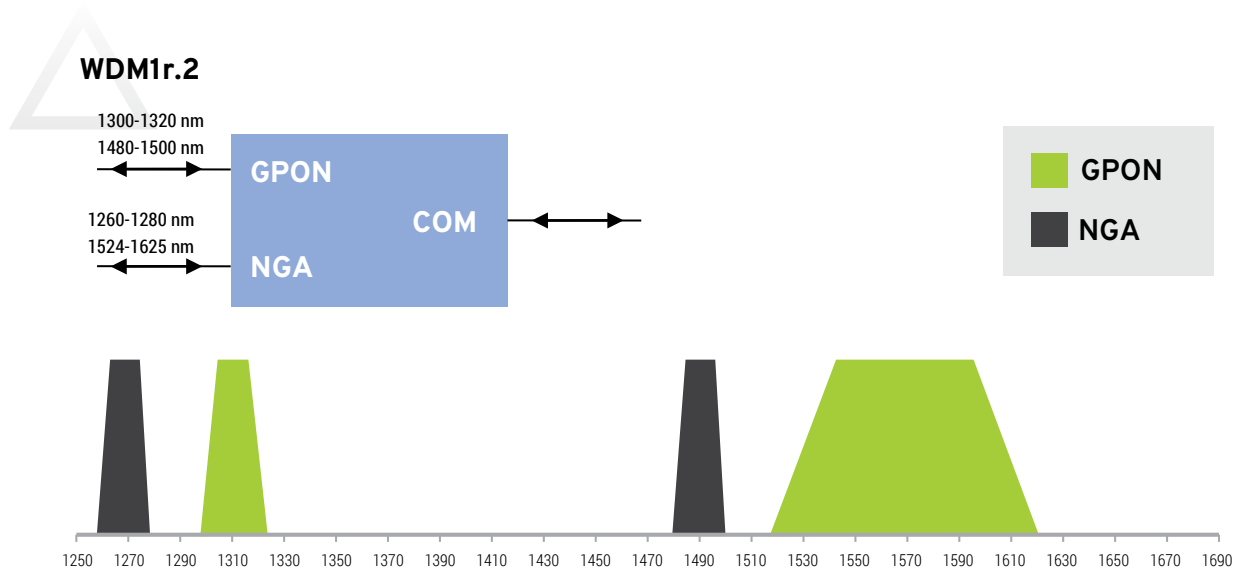
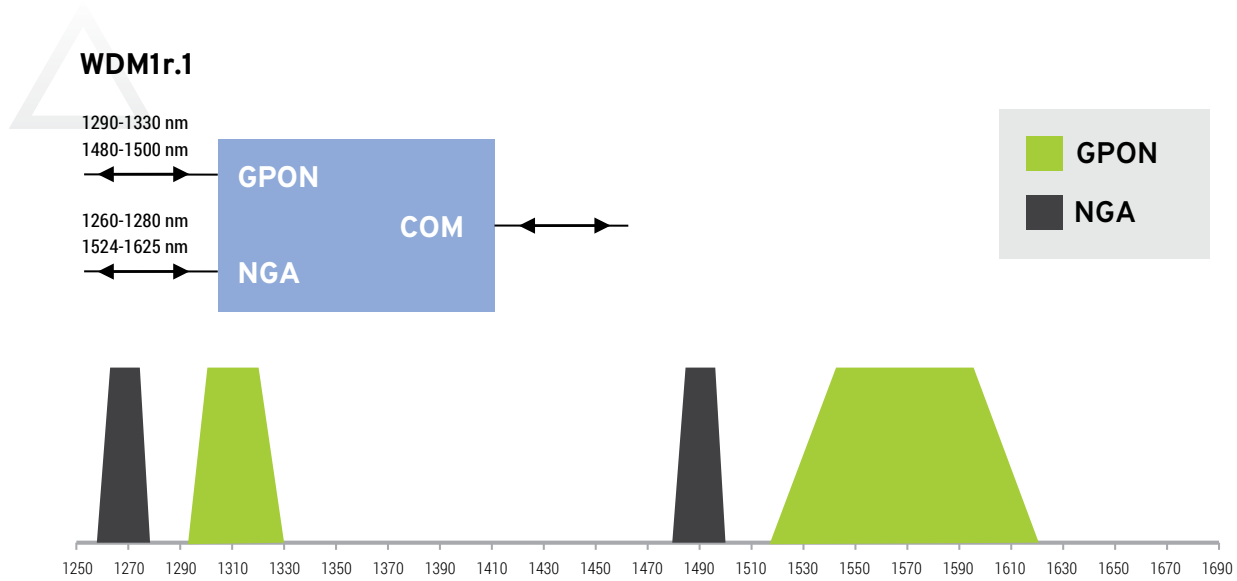
Multipleksery xWDM oraz xPON, zakończone dowolnym typem złącz światłowodowych oraz w szerokiej gamie obudów (ABS blackbox, moduły LGX, przetącznice PZXW), są dostępne w ofercie firmy Fibrain.

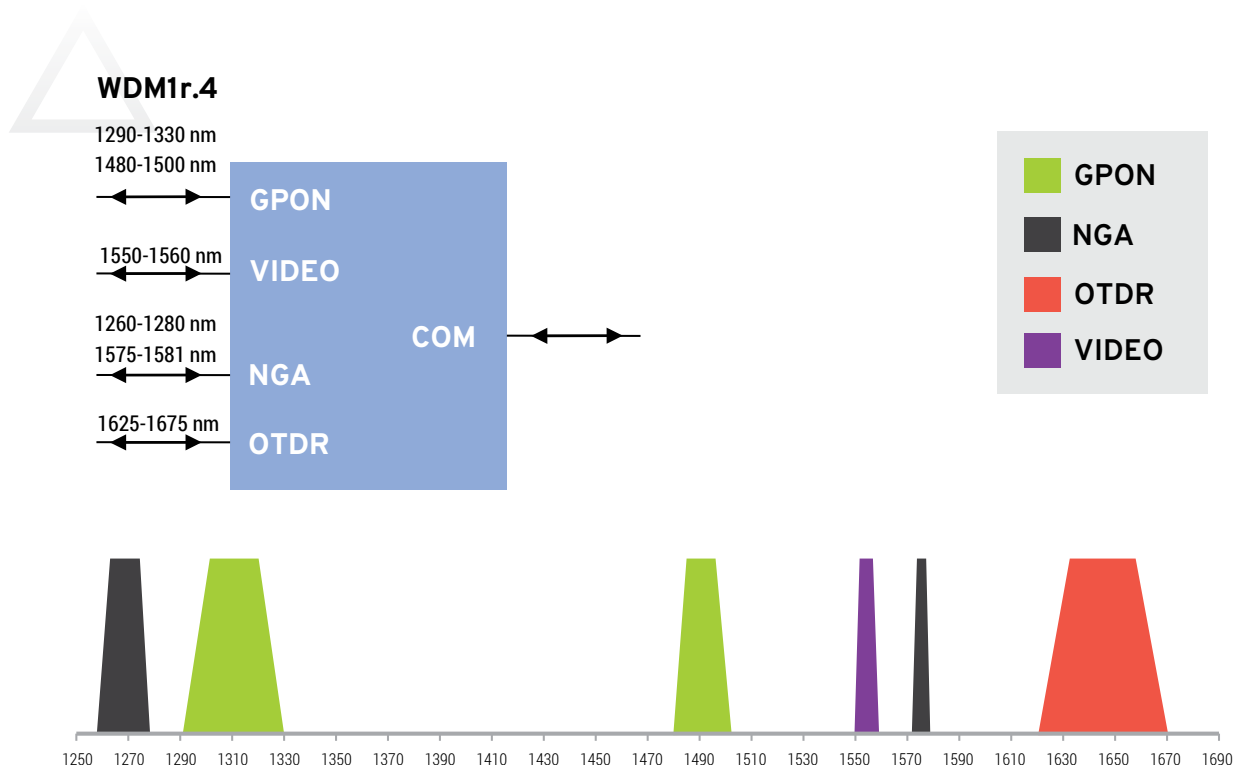


Zapraszamy na stronę z produktami xWDM/xPON w celu uzyskania dokładniejszych informacji.

Tab. 1. Wykaz ważniejszych rekomendacji ITU-T

Rekomendacja	Tytuł
G.984.1	Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics
G.984.2	Gigabit-capable Passive Optical Networks (G-PON): Physical Media Dependent (PMD) layer specification
G.984.5	Gigabit-capable passive optical networks (G-PON): Enhancement band
G.987.1	10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): General requirements
G.987.2	10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): Physical media dependent (PMD) layer specification
G.9807.1	10-Gigabit-capable symmetric passive optical network (XGS-PON)
G.989.1	40-Gigabit-capable passive optical networks (NG-PON2): General requirements
G.989.2	40-Gigabit-capable passive optical networks (NG-PON2): Physical media dependent (PMD) layer specification

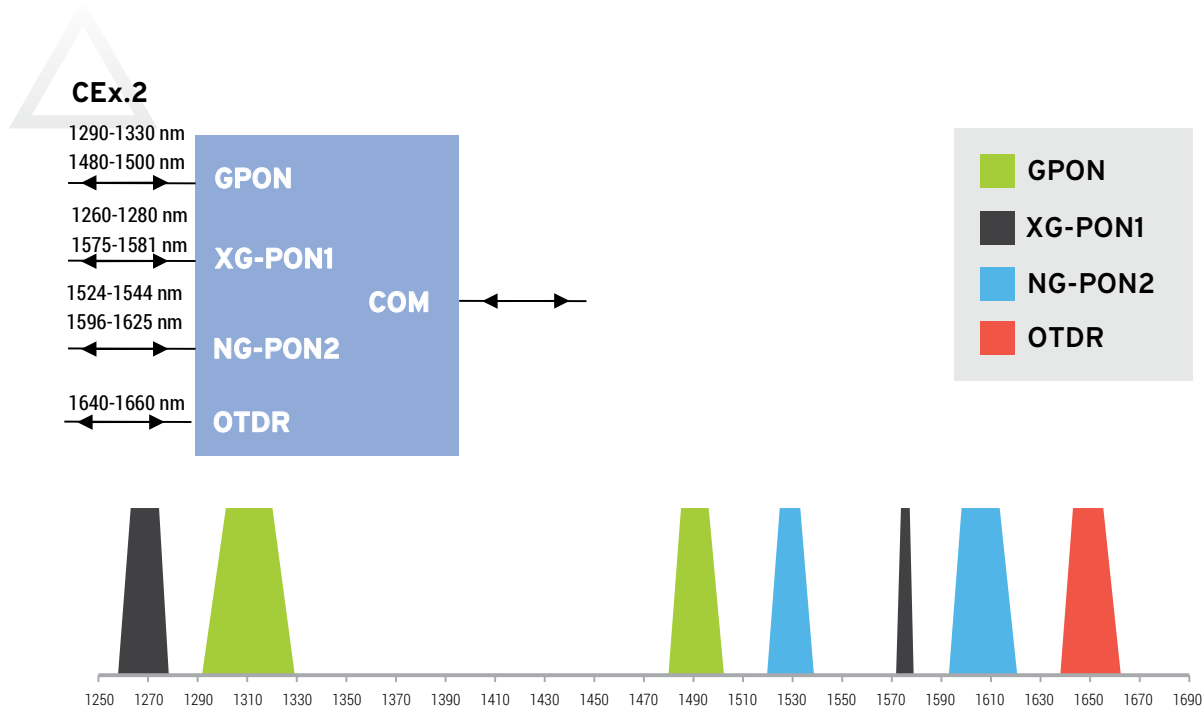
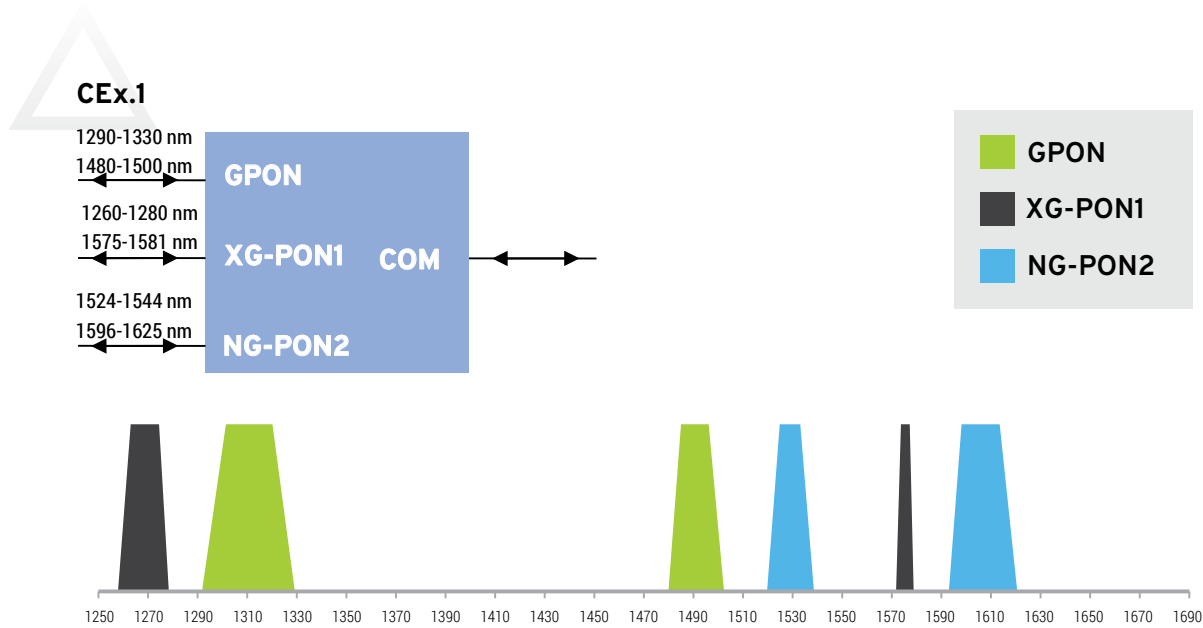




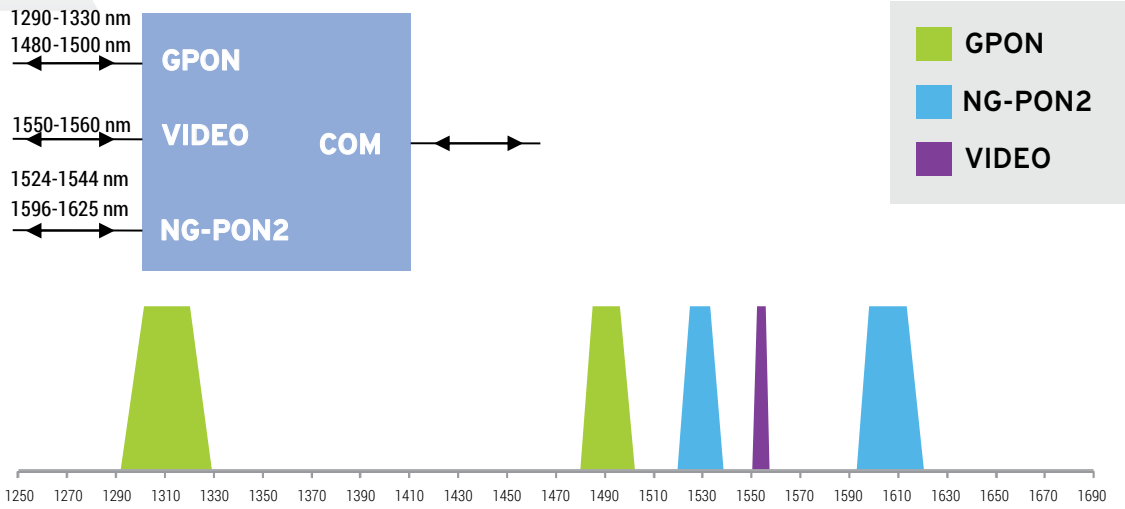
Parametry multiplekserów **WDM1r** (według rekomendacji ITU-T G.984.5):

Multiplexer	Protokół/usługa	Zakres	IL _{max} *
WDM1r.1	GPON	1290-1330 nm 1480-1500 nm	<0.8 dB
	NGA	1260-1280 nm 1524-1625 nm	<1.0 dB
WDM1r.2	GPON	1300-1320 nm 1480-1500 nm	<0.8 dB
	NGA	1260-1280 nm 1524-1625 nm	<1.0 dB
WDM1r.3	GPON	1290-1330 nm 1480-1500 nm	<1.0 dB
	NGA	1290-1330 nm 1480-1500 nm	<1.2 dB
	OTDR	1625-1675 nm	<1.1 dB
WDM1r.4	GPON	1290-1330 nm 1480-1500 nm	<1.0 dB
	NGA	1260-1280 nm 1524-1625 nm	<1.5 dB
	VIDEO	1550-1560 nm	<1.7 dB
	OTDR	1625-1675 nm	<1.1 dB

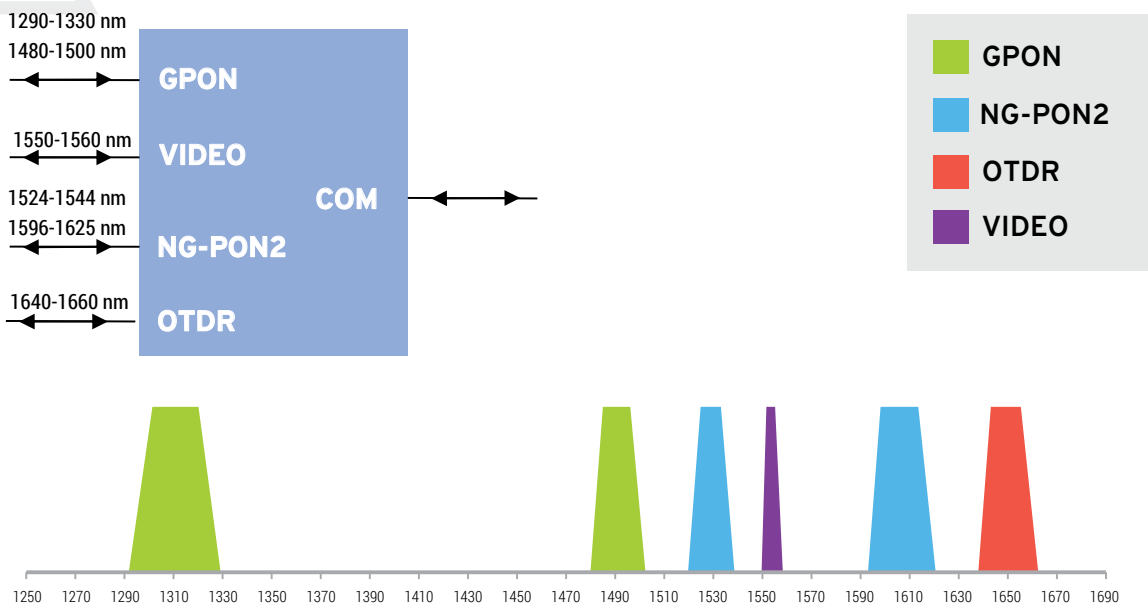
* - podane wartości dotyczą multiplekserów bez złączy



CEx.3



CEx.4

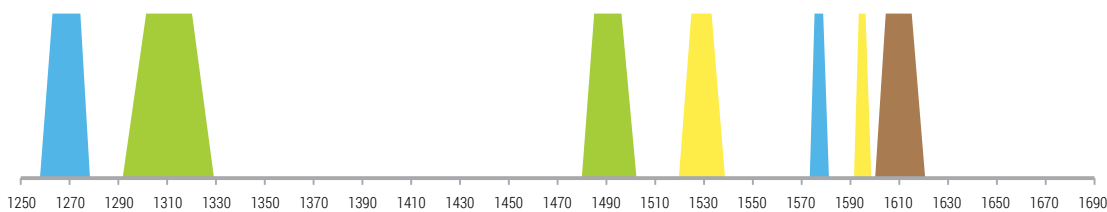
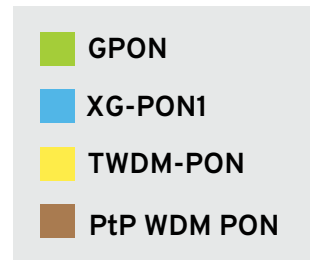
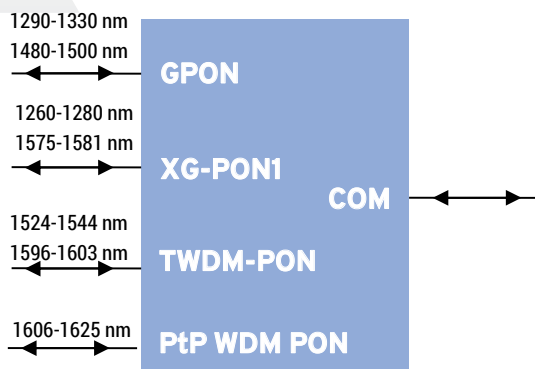


Parametry multiplexerów **CEx** (według rekomendacji ITU-T G.984.5):

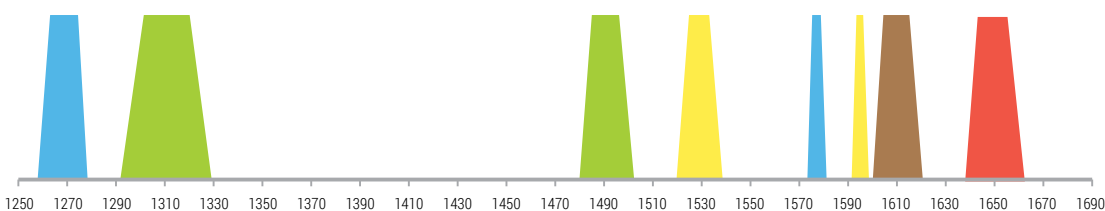
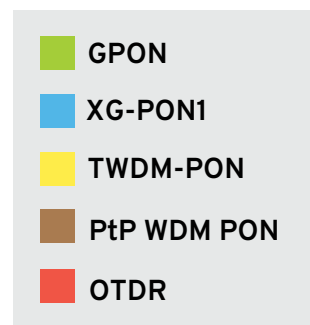
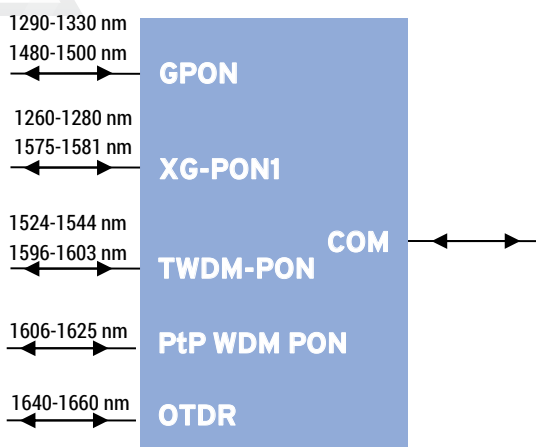
Multiplexer	Protokół/usługa	Zakres	IL _{max} *
CEx.1	GPON	1290-1330 nm 1480-1500 nm	<0.8 dB
	XG-PON1	1260-1280 nm 1575-1581 nm	<1.1 dB
	NG-PON2	1524-1544 nm 1596-1625 nm	<1.0 dB
CEx.2	GPON	1300-1320 nm 1480-1500 nm	<0.8 dB
	XG-PON1	1260-1280 nm 1575-1581 nm	<1.1 dB
	NG-PON2	1524-1544 nm 1596-1625 nm	<1.2 dB
	OTDR	1640-1660 nm	<1.4 dB
CEx.3	GPON	1290-1330 nm 1480-1500 nm	<0.8 dB
	VIDEO	1550-1560 nm	<0.8 dB
	NG-PON2	1524-1544 nm 1596-1625 nm	<1.0 dB
CEx.4	GPON	1290-1330 nm 1480-1500 nm	<0.8 dB
	VIDEO	1550-1560 nm	<1.0 dB
	NG-PON2	1524-1544 nm 1596-1625 nm	<1.1 dB
	OTDR	1625-1675 nm	<1.3 dB

* - podane wartości dotyczą multiplexerów bez złączy

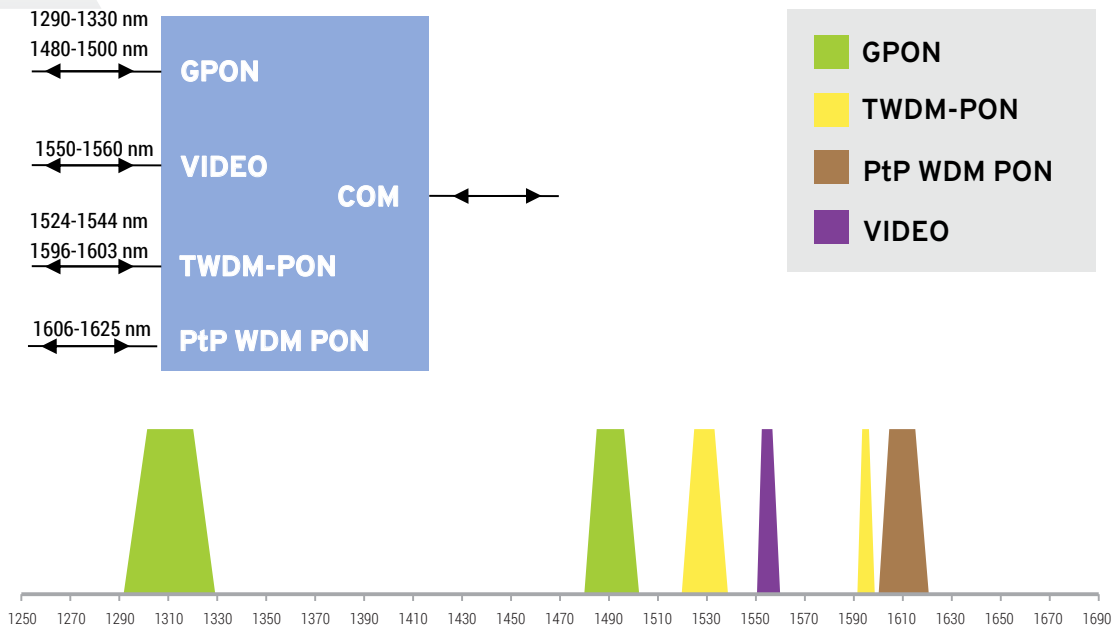
CEMx.1



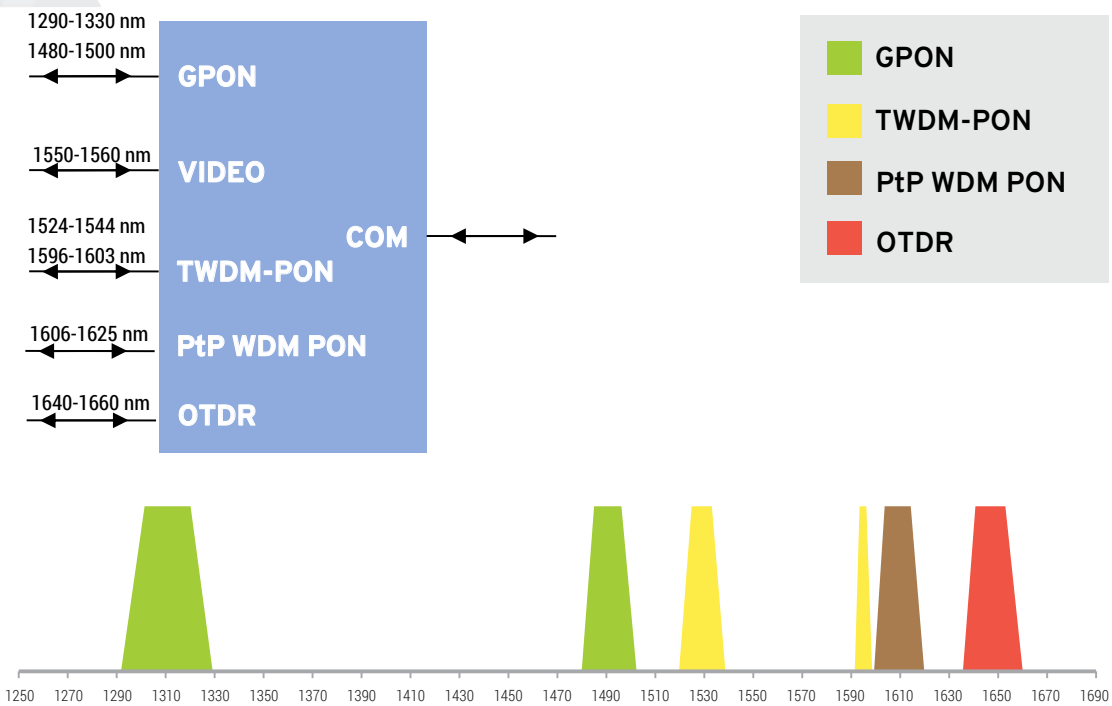
CEMx.2



CEMx.3



CEMx.4



Tab. 2. Parametry multiplexerów **CEMx** (według rekomendacji ITU-T G.984.5):

Multiplexer	Protokół/usługa	Zakres	IL _{max} *
CEMx.1	GPON	1290-1330 nm	<0.8 dB
	XG-PON1	1480-1500 nm	<1.1 dB
	TWDM-PON	1260-1280 nm	<1.2 dB
	PtP WDM PON	1575-1581 nm	<1.3 dB
CEMx.2	GPON	1290-1330 nm 1480-1500 nm	<0.8 dB
	XG-PON1	1260-1280 nm 1575-1581 nm	<1.1 dB
	TWDM-PON	1524-1544 nm 1596-1603 nm	<1.4 dB
	PtP WDM PON	1606-1625 nm	<1.3 dB
	OTDR	1640-1660 nm	<1.6 dB
CEMx.3	GPON	1290-1330 nm 1480-1500 nm	<0.8 dB
	VIDEO	1550-1560 nm	<1.2 dB
	TWDM-PON	1524-1544 nm 1596-1603 nm	<1.1 dB
	PtP WDM PON	1606-1625 nm	<0.9 dB
CEMx.4	GPON	1290-1330 nm 1480-1500 nm	<0.8 dB
	VIDEO	1550-1560 nm	<1.2 dB
	TWDM-PON	1524-1544 nm 1596-1603 nm	<1.3 dB
	PtP WDM PON	1606-1625 nm	<0.9 dB
	OTDR	1640-1660 nm	<1.5 dB

* - podane wartości dotyczą multiplexerów bez złączy