



Creating a brighter future

# FTTH Handbook

Wydanie 6

Komisja Realizacji i Eksploatacji

Data weryfikacji: 18.02.2014



**Fibre to the Home**  
Council **Europe**

---

# Zastrzeżenie

---

Informacje przedstawione w niniejszym dokumencie traktowane są jako podstawa do dyskusji.

Nie muszą one odzwierciedlać oficjalnego stanowiska FTTH Council Europe. Część treści może odzwierciedlać stanowisko członków FTTH Council Europe i/lub naszych partnerów.

Odniesienia do produktów, usług lub technologii nie stanowią i nie oznaczają ich poparcia, sponsorowania lub rekomendowania przez FTTH Council Europe.

Informacje przedstawiane są na zasadzie należytej staranności zawodowej. FTTH Council Europe nie składa gwarancji przydatności do konkretnego użytku. FTTH Council Europe nie przyjmuje odpowiedzialności za szkody lub straty wtórne, niezależnie od ich przyczyny.

FTTH Council Europe zastrzega, że wszelkie znaki towarowe są własnością poszczególnych właścicieli.

Więcej informacji oraz odpowiedzi na pytania można uzyskać, kontaktując się Michaelą Fischer, Project Managerem, FTTH Council Europe, pod adresem [michaela.fischer@ftthcouncil.eu](mailto:michaela.fischer@ftthcouncil.eu).

© FTTH Council Europe 2014  
Wettelijk Depot: D/2014/12.345/2



Niniejszy dokument jest licencjonowany na podstawie Creative Commons License 3.0 Attribution, Non-commercial, No Derivatives. Zgodnie z warunkami tej licencji, dokument można kopiować i przekazywać innym osobom, ale nie można go zmieniać, przekształcać ani rozwijać, lub też korzystać z niego w celach handlowych.

Wydania trzecie i czwarte opracowane przez **Pauline Rigby**, wydawcę kontraktowego.

Wydanie piąte i szóste zostało zweryfikowane i opracowane przez **Eileen Connolly Bull**, Connolly Communication AB.

# Podziękowania

---

Kompendium FTTH zostało opracowane przez FTTH Council Europe, w znacznym stopniu z wykorzystaniem wiedzy specjalistycznej firm członkowskich.

Dziękujemy niżej wymienionym osobom za poświęcony czas, wysiłek i wkład, oraz potwierdzamy ich prawa do oryginalnych materiałów i grafiki, uwzględnionych w niniejszym kompendium:

## Wydanie pierwsze do piątego

Wydania te zostały opracowane wspólnie przez wszystkich członków Komisji Realizacji i Eksploatacji, FTTH Council Europe.

## Wydanie szóste

**Rong Zhao**, Detecon (przewodniczący Deployment & Operations Committee); **Karin Ahl**, Rala; **Jeff Bygrave**, SpatialInfo; **Gabriela Ehrlich**, International Electrotechnical Commission; **Jan Dewinter**, TVC; **Albert Grooten**, Grooten FTTH Consultancy; **Mike Harrop**, Exfo; **Herbert Kopf**, Detecon; **Jerome Laferriere**, JDSU; **Raf Meersman**, Comsof; **Umberto Rossi**, przewodniczący IEC TC86 ; **José Salgado**, PT Inovacao; **Lars Züllig**, Huber+Suhner

Kompendium FTTH stanowi inicjatywę Komisji Realizacji i Eksploatacji, FTTH Council Europe. Projekt był koordynowany przez **Rong Zhao** i **Michaelę Fischer**, FTTH Council Europe.

# Słowo wstępne

---

Misją FTTH Council Europe jest wspieranie realizacji światłowodowych sieci dostępowych w gospodarstwach domowych i przedsiębiorstwach. Osiąga się to różnymi sposobami, ale kluczowy element naszej pracy stanowi edukacja, realizowana w szczególności przez nasze publikacje zawierające przykłady dobrej praktyki branżowej, która pozwala przyspieszyć wdrażanie tej doniosłej technologii.

Otoczenie, w którym działają operatorzy, inwestorzy i przedsiębiorstwa użyteczności publicznej jest trudniejsze niż kiedykolwiek i niezbędne jest dokonywane jak najlepszych wyborów technologicznych.

Nasze wskazówki mają służyć jako globalne forum wymiany doświadczeń i podejść, do którego dostęp mają również nowe podmioty na rynku i operatorzy alternatywni, których celem jest pobudzanie rozwoju w Europie sieci światłowodowych z prawdziwego zdarzenia.

Pierwsze wydanie Kompendium FTTH ukazało się w 2007 r. i od tego czasu było weryfikowane w celu aktualizacji treści i wyjaśnienia coraz bardziej skomplikowanych wyborów, przed jakimi stoją operatorzy. Niniejsze szóste wydanie obejmuje wszystkie aspekty sieci: od centrali po urządzenia u klienta; od sieci pasywnej po urządzenia aktywne.

Zachęcamy do przekazywania uwag i propozycji zmian w treści Kompendium. Na naszej stronie internetowej dostępne są dodatkowe obszernie materiały, studia przypadku, raporty i opinie.

FTTH Council Europe reprezentuje producentów światłowodów, kabli, urządzeń oraz firmy instalacyjne z całej Europy, a doświadczenie zebrane od ponad 160 członków rady sprawiają, że Kompendium zawiera neutralne informacje czerpiące z dobrej praktyki branżowej i praktycznych doświadczeń.

Pragnę wyrazić wdzięczność wobec wszystkich, którzy wnieśli wkład w stworzenie i ewolucję tego kompendium, jak również Komisji Realizacji i Eksploatacji, która opracowała i sformułowała ten kompleksowy i użyteczny dokument.



Karin Ahl, Prezes FTTH Council Europe



# Spis treści

Spis treści .....	5
1 Wprowadzenie .....	10
2 Opis sieci FTTH .....	11
2.1. Otoczenie sieci FTTH .....	11
2.2. Architektura sieci FTTx .....	13
2.3. Topologia i technologia FTTH .....	14
2.4. Warstwy sieci .....	15
2.5. Sieć otwarta .....	16
3 Projektowanie i inwentaryzacja sieci .....	18
3.1 Projektowanie sieci .....	18
3.2 „Paliwo” projektowania sieci: dane .....	19
3.2.1 Dane georeferencyjne .....	19
3.2.2 Reguły projektowania i specyfikacje materiałów .....	22
3.2.3 Koszty jednostkowe .....	22
3.3 Silnik projektowania sieci: narzędzia .....	22
3.4 Strategiczne projektowanie sieci .....	23
3.4.1 Gdzie wdraża się sieci FTTH? .....	24
3.4.2 W jakiej kolejności wdrażać podobszary sieci? .....	25
3.4.3 Jakie metody, komponenty i technologie zostaną zastosowane do budowy sieci? .....	25
3.5 Projekt zasadniczy sieci .....	26
3.5.1 Gdzie mają być zlokalizowane POP-y? .....	26
3.5.2 Gdzie zainstalować punkty koncentracji okablowania światłowodowego? ...	27
3.5.3 Które trasy okablowania obsługują poszczególne obszary dystrybucji i zasilania sygnałem? .....	27
3.5.4 Jakie jest oczekiwane zestawienie materiałów? .....	27
3.6 Szczegółowe projektowanie sieci .....	28
3.6.1 Dane szczegółowe .....	28
3.6.2 Inwentaryzacja .....	29
3.6.3 Generowanie projektów „wykonawczych” .....	30
3.6.4 Zarządzanie zadaniami .....	31
3.7 Inwentaryzacja sieci .....	32
3.7.1 Oprogramowanie .....	32
3.7.2 Zarządzanie procesami .....	32
3.7.3 Dokumentacja powykonawcza .....	33
4 Urządzenia aktywne .....	34
4.1 Pasywna sieć optyczna .....	34
4.1.1 Rozwiązania PON .....	35
4.1.2 Urządzenia aktywne PON .....	37
4.1.3 Zarządzanie szerokością pasma przepustowego .....	39
4.1.4 Zarządzanie oknami transmisyjnymi .....	40
4.2 Optymalizacja wdrożenia PON .....	40
4.3 Ethernet punkt-punkt .....	42
4.3.1 Rozwiązania Ethernet punkt-punkt .....	43
4.3.2 Technologie transmisji .....	44

4.3.3	Rozwiązania wideo oparte na RF .....	45
4.4	Urządzenia abonenckie.....	46
4.5	Rozwój technologii w przyszłości.....	47
4.5.1	Tendencje w zakresie szerokości pasma przepustowego w zastosowaniach domowych.....	47
4.5.2	Tendencje w zakresie szerokości pasma przepustowego w zastosowaniach biznesowych i mobilnych .....	47
4.5.3	Pasywne sieci optyczne .....	48
4.5.4	Technologie PON nowej generacji .....	49
4.5.5	Zastosowania technologii FTTH nowej generacji .....	53
4.5.5.1	CPRI backhaul .....	53
4.5.5.2	Sieci małokomórkowe .....	53
4.5.6	Podsumowanie .....	54
5	Współdzielenie infrastruktury .....	55
5.1	Modele biznesowe .....	55
5.2	Współdzielenie infrastruktury .....	55
6	Elementy infrastrukturalne sieci .....	57
6.1	Węzeł dostępowy.....	58
6.2	Okablowanie transportowe .....	60
6.3	Główny punkt koncentracji okablowania światłowodowego .....	60
6.4	Okablowane dystrybucyjne .....	61
6.5	Pomocniczy punkt koncentracji okablowania światłowodowego .....	62
6.6	Okablowanie przyłączeniowe.....	63
6.6.1	Kable instalowane bezpośrednio.....	63
6.6.2	Kable układane bezpośrednio w ziemi.....	64
6.6.3	Kable napowietrzne .....	64
6.6.4	Kable naścienne .....	64
7	Okablowanie światłowodowe wewnątrzbudynkowe.....	66
7.1	Model referencyjny okablowania „światłowód w domu” .....	67
7.2	Okablowanie pionowe .....	69
7.3	Okablowanie „światłowód w domu” – zagadnienia ogólne .....	70
7.3.1	Charakterystyka włókien .....	70
7.3.2	Kompatybilność spajania różnych typów włókien .....	70
7.3.3	Wymagania dotyczące promienia gięcia .....	70
7.3.4	Typ kabla .....	71
7.3.5	Kabel zewnętrzny.....	71
7.3.6	Kabel wewnętrzny.....	72
7.3.7	Kolorowe oznakowanie włókien .....	72
7.3.8	Okablowanie mikrokanalizacyjne do wdmuchiwania .....	72
7.3.9	Kable zawierające materiały palne .....	73
7.4	Wymagania ogólne dla BEP.....	73
7.4.1	Spojenia zgrzewane w BEP.....	73
7.4.2	Skrzynka przyłączeniowa w BEP .....	73
	74	
7.4.3	Kaseta spojeń.....	74
7.4.4	Umieszczenie BEP .....	75
7.5	Kondygnacyjny punkt rozdzielczy .....	76

7.6	Optyczne gniazdo telekomunikacyjne/abonenckie (OTO) .....	76
7.6.1	Typy włókien i charakterystyka połączeń w OTO .....	77
7.6.2	Optyczne złącza rozłączne .....	77
7.6.3	Spojenia .....	78
7.6.4	Lokalizacja OTO .....	79
7.6.5	Testowanie okablowania wewnątrzbudynkowego, połączenie BEP-OTO .....	80
7.7	CPE (SPE) .....	80
7.8	Wymagania ogólne dotyczące bezpieczeństwa .....	80
7.8.1	Bezpieczeństwo laserowe .....	81
7.9	Proces realizacji „światłowodu w domu” .....	81
7.9.1	Ogólne otoczenie „światłowodu w domu” .....	82
7.9.2	Akwizycja .....	82
	83	
7.9.3	Sprzedaż .....	84
7.9.4	Przygotowanie instalacji .....	85
7.9.5	Instalacja .....	86
8	Techniki realizacji .....	89
8.1	Infrastruktura kanałowa .....	89
8.1.1	Sieć kanałów .....	90
8.1.2	Typy rur kablowych .....	92
8.1.3	Typy kabli do prowadzenia w rurach .....	92
8.1.3.1	Instalacja kabla przez zaciąganie mechaniczne .....	93
8.1.3.2	Instalacja kabla przez zaciąganie pneumatyczne .....	94
8.1.3.3	Instalacja kabla przez zaciąganie hydrauliczne .....	94
8.1.4	Usuwanie rdzeni kabli .....	95
8.1.5	Komory dostępne i kablowe .....	95
8.1.6	Mufy kablowe .....	95
8.2	Mikrokanalizacja do wdmuchiwania i mikrokable .....	96
8.2.1	Rozwiązania mikrokanalizacyjne .....	96
8.2.2	Złączki i mufy w mikrokanalizacji .....	98
8.2.3	Mikrokable i wiązki światłowodów .....	99
8.2.4	Instalacja mikrokabla/zestawu światłowodów wdmuchiwanym .....	101
8.2.5	Komory dostępne i kablowe .....	101
8.2.6	Mufy do mikrokanalizacji .....	102
8.3	Kabel do układania bezpośrednio w ziemi .....	102
8.3.1	Opcje instalacyjne .....	102
8.3.2	Rodzaje kabli do układania bezpośrednio w ziemi .....	103
8.3.3	Ochrona odgromowa .....	103
8.3.4	Ochrona przed gryzoniami .....	103
8.3.5	Ochrona przed termitami .....	103
8.3.6	Komory dostępne i kablowe .....	103
8.3.7	Mufy kablowe do układania bezpośrednio w ziemi .....	103
8.4	Kable napowietrzne .....	104
8.4.1	Odporność infrastruktury słupowej na obciążenia .....	104
8.4.2	Rodzaje kabli napowietrznych .....	104
8.4.3	Osprzęt do mocowania kabli na słupach .....	106

8.4.4	Napinanie kabli .....	106
8.4.5	Mufy kabli napowietrznych.....	107
8.4.6	Inne uwagi dotyczące wdrożenia.....	107
8.5	Elementy sieci z fabrycznie wykonanymi złączami.....	107
8.6	Szafki uliczne .....	108
8.7	Inne opcje realizacji z wykorzystaniem służebności .....	110
8.7.1	Kable światłowodowe w kanałach burzowych i ściekowych .....	110
8.7.2	Kable światłowodowe w gazociągu .....	110
8.7.3	Kable światłowodowe w przewodach instalacji wodociągowej.....	111
8.7.4	Kanały i inne drogi wodne .....	111
8.7.5	Tunele podziemne i transportowe.....	111
9	Światłowody i zarządzanie światłowodami.....	113
9.1	Światłowody stosowane w FTTH .....	113
9.1.1	Podstawowe informacje o światłowodach.....	113
9.1.2	Światłowód jednomodowy .....	114
9.1.3	Światłowody wielomodowe gradientowe.....	115
9.1.4	Światłowód odporny na zginanie .....	115
9.2	Terminale sieci optycznej.....	116
9.2.1	Przełącznice światłowodowe .....	116
9.2.2	Szafki uliczne.....	118
9.3	Złącza, patchcordy i pigtaile .....	119
9.3.1	Popularne typy złączy .....	120
9.3.2	Tłumienność odbiciowa .....	124
9.3.3	Tłumienność wtrąceniowa .....	125
9.3.4	Straty zewnętrzne .....	125
9.4	Spajanie światłowodów .....	126
9.4.1	Zgrzewanie .....	127
9.4.2	Spajanie mechaniczne .....	127
	<b>Rys. 142. Spawarki mechaniczne.....</b>	128
9.5	Sprzęgacze światłowodowe .....	128
9.5.1	Sprzęgacz zgrzewany .....	128
9.5.2	Sprzęgacz planarny.....	129
9.6	Klasy jakości złączy światłowodowych .....	129
9.7	Wartości „każdy do każdego” .....	130
9.8	Wartości średnie .....	130
9.9	Specyfikacje producentów a realne warunki eksploatacji .....	132
10	Eksploatacja i konserwacja .....	133
10.1	Wskazówki dotyczące projektowania realizacji.....	133
10.1.1	Kontrola terenu i planowanie czynności instalacyjnych .....	133
10.1.2	Uwagi ogólne dotyczące zarządzania .....	133
10.1.3	Uwagi ogólne dotyczące bezpieczeństwa .....	133
10.1.4	Uwagi ogólne dotyczące obiektów i urządzeń .....	134
10.1.5	Uwagi ogólne dotyczące metod prowadzenia okablowania .....	135
10.2	Wytyczne eksploatacyjne i konserwacyjne .....	136
11	Wskazówki dotyczące testowania i pomiarów FTTH .....	138
11.1	Dbłość o złącza .....	138

11.1.1	Dlaczego ważne jest czyszczenie złącz? .....	138
11.1.2	Jakie są możliwe zanieczyszczenia? .....	138
11.1.3	Jakie elementy należy obejrzeć i wyczyścić? .....	141
11.1.4	Kiedy należy obejrzeć i wyczyścić złącze? .....	141
11.1.5	Jak sprawdzać złącza .....	141
11.1.6	Instrukcja kontroli .....	143
11.1.7	Narzędzia stosowane do inspekcji .....	143
11.1.8	Czyściki i narzędzia .....	144
11.2	Testowanie sieci FTTH w trakcie budowy .....	146
11.2.1	<b>Metoda 1: Użycie przyrządów do pomiaru strat mocy optycznej</b> .....	146
11.2.2	<b>Metoda 2: Reflektometria</b> .....	148
11.3	Raporty z aktywacji obsługi .....	156
12	Diagnostyka sieci FTTH .....	157
12.1	Problemy z okablowaniem w domu .....	157
12.1.1	<b>Problemy z linią telefoniczną</b> .....	158
12.1.2	<b>Identyfikacja problemów z okablowaniem Ethernet</b> .....	158
12.1.3	<b>Lokalizacja i rozwiązywanie problemów z kablami koncentrycznymi</b> .....	158
12.2	Podsumowanie oprzyrządowania do wykonywania testów optycznych .....	159
13	Przegląd normalizacji i terminologii FTTH .....	160
13.1	Wprowadzenie .....	160
13.2	Istotne prace i wytyczne normalizacyjne .....	161
13.2.1	<b>IEC TC 86, SC 86A, SC 86B, SC 86C</b> .....	161
13.2.2	<b>ISO/IEC JTC 1/SC 25</b> .....	162
13.2.3	<b>ITU</b> .....	162
13.2.4	<b>CENELEC</b> .....	162
13.2.5	<b>IEEE P802.3</b> .....	163
13.2.6	<b>Broadband Forum</b> .....	163
13.2.7	<b>ETSI</b> .....	163
13.2.8	<b>Inne grupy</b> .....	164
13.3	Zalecana terminologia .....	164
	Załącznik A. Wykaz norm i wytycznych związanych z FTTH .....	165
	Załącznik B. Gdybym miał zbudować FTTH dzisiaj... „10 najczęściej zadawanych pytań” .....	168
	Słowniczek .....	173

# 1 Wprowadzenie

---

Rozwiązania FTTH wykazały swoją pozycję jako lider rodziny NGA (Next Generation Access, dostęp nowej generacji) i stanowią doskonałą platformę szybkich i ultraszybkich technologii dostępowych. Z rozwiązań FTTH korzystają nie tylko stacjonarne sieci dostępne, ale również nowoczesne sieci bezprzewodowe, szczególnie te, które stawiają na zwiększenie zdolności *backhaul*. W odróżnieniu od rozwiązań opartych na przewodach miedzianych, projekty FTTH stoją przed różnorodnymi wyzwaniami, od planowania strategicznego po ostateczną eksploatację.

FTTH Council Europe publikuje szereg materiałów koncentrujących się na różnych aspektach. Kompendium FTTH przedstawia podstawowe informacje o FTTH, takie jak architektura, topologia i technologie, szczegółowe rozwinięcia różnych problemów technicznych oraz systematyzuje rozwiązania techniczne dotyczące planowania/projektowania, realizacji i eksploatacji.

Niniejsze opracowanie stanowi szóste wydanie kompendium. Z każdym wydaniem rośnie złożoność i szczegółowość materiału, w miarę jak rośnie zasób wiedzy, doświadczenia współpracowników i członków Rady oraz liczba udanych wdrożeń. Ciągłe powracającym wyzwaniem jest zebranie tej wiedzy i doświadczeń oraz omówienie sukcesów w ramach kompendium przy zachowaniu bezstronności Rady, co wymaga zaangażowania członków Komisji Wdrożeń i Eksploatacji.

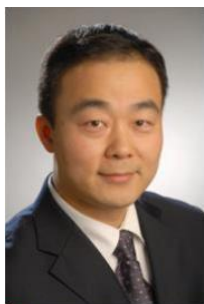
Członkowie Komisji Wdrożeń i Eksploatacji wprowadzili istotne ulepszenia w niemal wszystkich rozdziałach tego wydania. Zmiany są wynikiem szerokiego doświadczenia zawodowego i ukierunkowane są na zapewnienie jaśniejszej struktury, prezentację bardziej precyzyjnych definicji, aktualnych metodologii i nowoczesnych rozwiązań technicznych. Ponadto, bieżące wydanie zawiera dodatkowy rozdział poświęcony jednej z najważniejszych kwestii: normalizacji. Ponadto kompendium zawiera przegląd norm FTTH w różnych dziedzinach i po raz pierwszy opisuje procesy od Światłowodu do domu po obsługę klienta, usuwając wąskie gardło wdrożenia FTTH po stronie klienta.

Jednym z celów Rady jest utworzenie forum zawodowego promującego FTTH na podstawie przyjętych w skali międzynarodowej standardów, zaakceptowanych przez członków i będących dla nich wspólną wartością.

Kompendium może być wykorzystywane przez czytelnika jako podstawa do przekazania poglądów i opinii, których mogą być uwzględnione przez Komisję w kolejnych wydaniach.

Kompendium jest własnością wszystkich profesjonalistów w dziedzinie FTTH. Podstawowym celem, którego chcą się trzymać wydawcy jest możliwość nieustannego rozwoju z korzyścią dla wszystkich stron.

Rong Zhao, Przewodniczący Komisji Realizacji i Eksploatacji



## 2 Opis sieci FTTH

Sieć „światłowód do domu” (*fibre to the home*, FTTH) jest światłowodową siecią dostępową łączącą dużą liczbę użytkowników z punktem centralnym zwanym węzłem dostępowym lub punktem obecności (*point of presence*, POP). Każdy węzeł dostępowy zawiera urządzenia (aktywne) niezbędne do transmisji elektronicznej w celu udostępnienia abonamentowi aplikacji i usług drogą światłowodową. Każdy węzeł dostępowy połączony jest z większą siecią miejską lub regionalną.

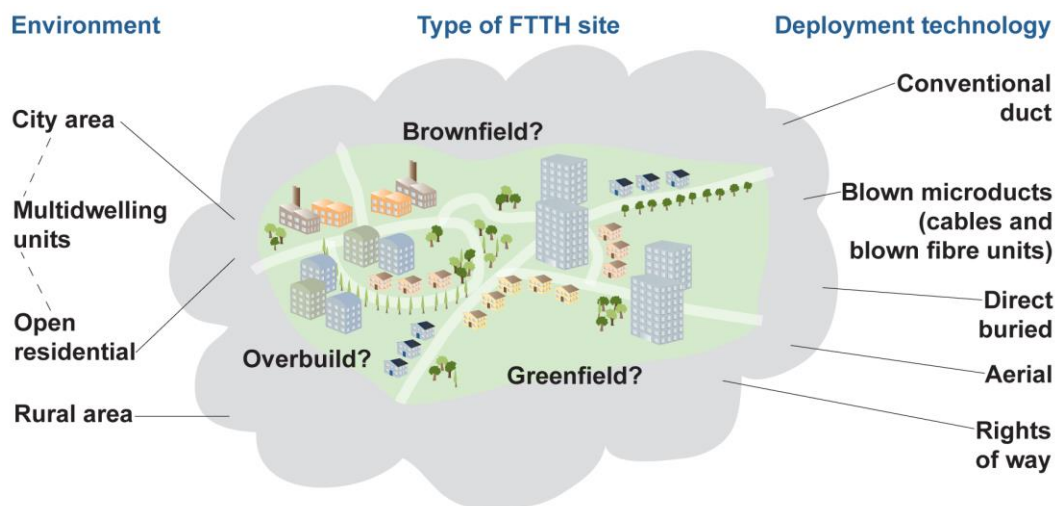
Sieci dostęgowe mogą być doprowadzone do następujących elementów:

- antena stacjonarnej sieci bezprzewodowej, na przykład bezprzewodowej sieci LAN lub WiMAX
- stacje bazowe sieci komórkowych
- abonenci w domach jednorodzinnych lub wielorodzinnych
- duże budynki, takie jak szkoły, szpitale i firmy
- podstawowe instalacje ochrony i monitoringu, takie jak kamery ochrony, alarmy ochrony i urządzenia kontrolne

Sieć FTTH może stanowić element szerszego obszaru lub sieci dostęgowej.

### 2.1. Otoczenie sieci FTTH

Poprowadzenie światłowodów bliżej abonenta może wymagać położenia infrastruktury światłowodowej na gruntach publicznych i/lub prywatnych oraz w obrębie nieruchomości publicznych i/lub prywatnych.



Rys. 1: Typ lokalizacji FTTH

Otoczenie fizyczne można z grubsza podzielić na następujące typy obszarów:

- miasto
- otwarte tereny zabudowane



- wieś
- pod względem typu i gęstości – domy jednorodzinne i wielorodzinne

Każde otoczenie fizyczne posiada odmienną gęstość zaludnienia abonentów (na km kw.), ale należy również uwzględnić różne warunki terenowe.

Charakter miejsca jest kluczowym czynnikiem ustalenia najbardziej odpowiedniej konstrukcji i architektury sieci. Wyróżnia się następujące typy sieci:

- Budowane od podstaw [greenfield] – sieć będzie instalowana jednocześnie ze wznoszeniem budynków
- Modernizowane [brownfield] – budynki już istnieją, ale istniejąca infrastruktura ma niski standard
- Uzupełniająca [overbuild] – uzupełnienie istniejącej infrastruktury

Sposób wdrożenia infrastruktury zależy przede wszystkim od następujących czynników:

- typ lokalizacji FTTH
- wielkość sieci FTTH
- początkowy koszt wdrożenia infrastruktury (nakłady inwestycyjne)
- koszty bieżące obsługi i utrzymania sieci (koszty operacyjne)
- architektura sieci, na przykład pasywna lub aktywna sieć optyczna
- warunki miejscowe, na przykład miejscowy koszt pracy, ograniczenia nałożone przez władze lokalne (kontrola ruchu) i inne czynniki

Wybór sposobu realizacji sieci światłowodowej determinuje nakłady inwestycyjne i koszty operacyjne, jak również poziom niezawodności sieci. Koszty te są optymalizowane poprzez wybór najbardziej odpowiedniego rozwiązania aktywnego z zastosowaniem najbardziej odpowiednich sposobów budowy infrastruktury. Sposoby te, przedstawione w dalszej części opracowania, obejmują:

- zwykły kabel poprowadzony w rurach kablowych
- kable i mikrorury wdmuchiwane
- kable układane bezpośrednio w ziemi
- kable napowietrzne
- rozwiązania wykorzystujące „inne służebności”

Podstawowe wymagania funkcjonalne sieci FTTH obejmują:

- dostarczenie każdemu abonentowi usług i treści w dużym pasmie przepustowym
- zaprojektowanie elastycznej architektury sieci umożliwiającej zaspokajanie przyszłych potrzeb
- bezpośrednie połączenie optyczne z każdym abonentem końcowym bezpośrednio do aktywnego urządzenia, zapewniające maksymalną dostępną pojemność w celu zaspokojenia przyszłego zapotrzebowania na usługi
- uwzględnienie potrzeb przyszłej modernizacji i rozbudowy
- minimalne zakłócenia podczas wdrażania sieci, po to, aby pobudzać akceptację sieci światłowodowych wśród właścicieli sieci oraz dostarczać korzyści abonentom FTTH

Podczas projektowania i budowy sieci FTTH pomocne jest zapoznanie się z wyzwaniami i kompromisami, przed jakimi stoją właściciele i operatorzy sieci. Niektóre wyzwania mogą skutkować konfliktem pomiędzy funkcjonalnością a ekonomią.

Przedsiębiorstwo budujące sieć FTTH musi przedstawić uzasadnienie rentowności projektu inwestycyjnego z właściwą proporcją nakładów inwestycyjnych i kosztów operacyjnych, która zapewnia generowanie przychodów. Dokładniejsza analiza głównych czynników wpływających na uzasadnienie inwestycji w sieci FTTH dostępna jest w opracowaniu FTTH Council Europe pt. *FTTH Business Guide [Wskazówki biznesowe dotyczące FTTH]*.

## 2.2. Architektura sieci FTTx

Istnieją odmiany wyżej wspomnianej podstawowej architektury sieciowej wyróżniane w zależności liczby światłowodów, położenia sprzęgaczy (rozwidleń) i koncentratorów. Wybór odpowiedniej architektury sieci często jest przedmiotem ożywionej debaty, ponieważ często nie istnieje wyraźny zwycięzca na dzisiejszym rynku: różne architektury zaspokajają różne potrzeby operatora oraz priorytety gospodarcze i techniczne.

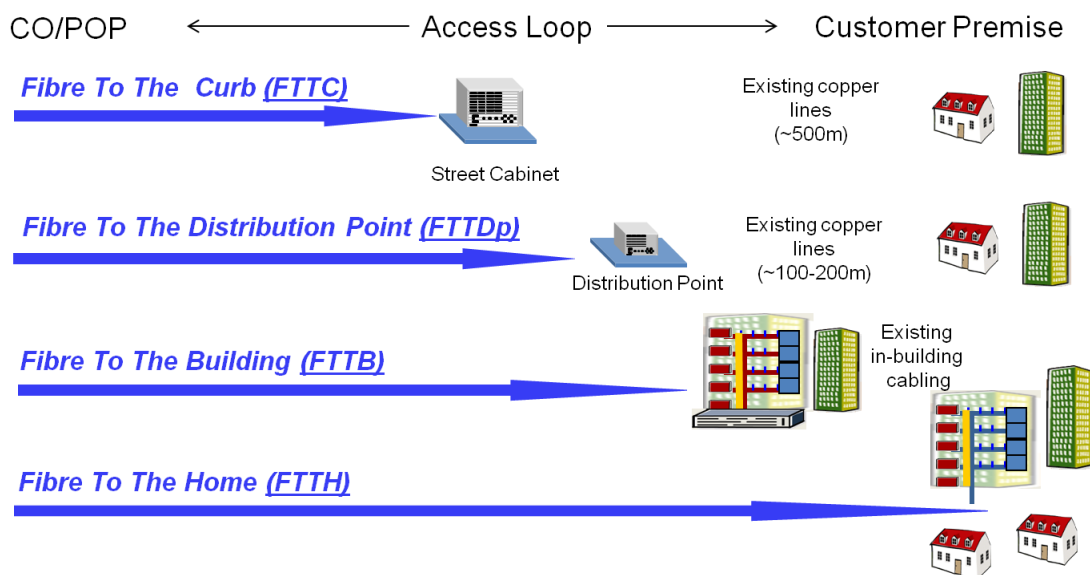
**Fibre to the home (FTTH)** – Każdy abonent podłączony jest dedykowanym światłowodem do portu w POP lub do pasywnego sprzęgacza (splittera) światłowodowego za pomocą wspólnego światłowodu łączącego POP, z użyciem przesyłu 100BASE-BX10 lub 1000BASE-BX10 w technologii Ethernet lub GPON (EPON) w przypadku topologii „punkt-wielopunkt”.

**Fibre to the building (FTTB)** – każda terminal optyczny w budynku (często umieszczony w piwnicy) połączony jest dedykowanym światłowodem z portem w POP lub sprzęgaczem światłowodowym wykorzystującym wspólny światłowód transportowy POP. Połączenia pomiędzy abonentami a przełącznicą budynkową nie są światłowodowe, ale mogą wykorzystywać drut miedziany i obejmować pewną postać przesyłu Ethernet dopasowanego do nośnika dostępnego w okablowaniu pionowym. W pewnych przypadkach przełącznice budynkowe nie są indywidualnie podłączone do POP, ale są połączone w strukturę łańcucha lub okręgu w celu wykorzystania istniejących światłowodów wdrożonych w danej topologii. Pozwala to również zaoszczędzić światłowody i porty w POP. Koncepcja skierowania światłowodu bezpośrednio do mieszkania z POP lub z użyciem sprzęgaczy światłowodowych bez stosowania przełączników w budynku prowadzi nas z powrotem do scenariusza FTTH.

**Fibre to the curb (FTTC)** – każdy przełącznik/ lub multiplexer dostępowy DSL (DSLAM), często spotykany w skrzynkach ulicznych, podłączany jest do POP za pomocą jednego światłowodu lub pary światłowodów, prowadząc zagregowany ruch w okolicy za pomocą gigabitowego Ethernetu lub 10-gigabitowego Ethernetu. Przełączniki w skrzynce ulicznej nie są optyczne – mogą być miedziane z użyciem wektorowania VDSL2 lub VDSL2. Architektura ta jest często nazywana „Aktywnym Ethernetem”, ponieważ wymaga aktywnych elementów sieciowych w terenie.

**Fibre to the Distribution Point (FTTDp)** – rozwiązanie to zaproponowano w ciągu ostatnich dwóch lat. Połączenie POP z Punktem Rozdzielczym za pomocą kabla optycznego, a następnie z Punktu Rozdzielczego do obiektu klienta za pomocą istniejącej infrastruktury miedzianej. Punkty Rozdzielcze mogą to być studzienki kablowe niewłazowe, skrzynki abonenckie na słupie lub mogą być położone w piwnicy budynku. Architektura może obsługiwać technologię VDSL lub G.Fast dla ostatniego krótkiego odcinka (*last mile*), zwykle poniżej 250 m.

W niniejszym kompendium skoncentrowano się jednak na wdrożeniach FTTH/B, ponieważ uważa się, że w długim okresie będzie to architektura preferowana ze względu na jej praktycznie nieograniczoną skalowalność.



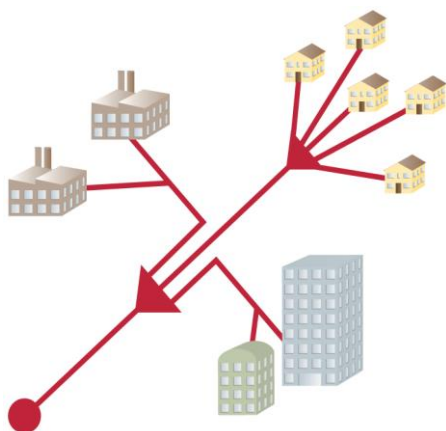
Rys. 2. Różne typy sieci FTTx.

## 2.3. Topologia i technologia FTTH

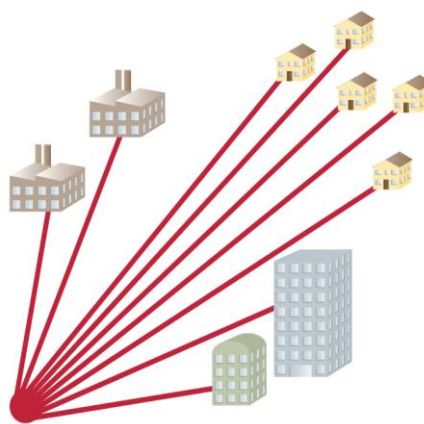
Architektura sieci oznacza konstrukcję sieci telekomunikacyjnej i stanowi podstawę do stworzenia specyfikacji sieci, od składników fizycznych po usługi. Sieć dostępową jest elementem sieci telekomunikacyjnej mającym bezpośredni kontakt z użytkownikiem końcowym.

W celu określenia współpracy infrastruktury pasywnej i aktywnej, istotne jest dokonanie wyraźnego rozróżnienia na topologie wykorzystywane do wdrożenia światłowodów (infrastruktura pasywna) oraz technologie wykorzystywane do przesyłu danych przez światłowody (urządzenia aktywne).

Najczęściej stosowanymi topologiami są topologia punkt-wielopunkt, która jest często łączona z technologią pasywnej sieci optycznej (PON) oraz topologia punkt-punkt, w której wykorzystuje się zwykle technologie przesyłowe Ethernet.



Rys. 3. Punkt-wielopunkt (P2MP)



Rys. 4. Punkt-punkt (P2P)

**Topologie punkt-wielopunkt (P2MP)** zakładają poprowadzenie pojedynczego światłowodu „transportowego” z centrali (lub POP) do punktu rozgałęzienia, a stamtąd układany jest do abonenta pojedynczy, dedykowany światłowód. W technologii pasywnej sieci optycznej, takiej jak GPON, wykorzystuje się w punktach rozgałęzienia pasywne sprzęgacze światłowodowe, a dane są szyfrowane, dzięki czemu użytkownicy otrzymują wyłącznie dane dla nich przeznaczone.

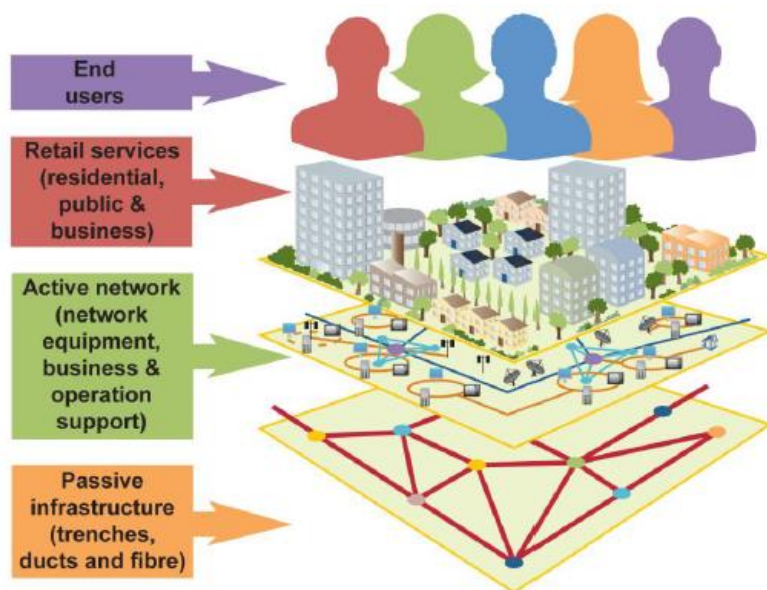
Technologia aktywnego Ethernetu również może być wykorzystywana do kontrolowania dostępu abonenta w topologii punkt-wielopunkt, wymagając umieszczenie w terenie przełączników sieci Ethernet. Każdy z klientów posiada logiczne łącze punkt-punkt, a użytkownik końcowy wysyła i odbiera wyłącznie dane dla niego przeznaczone.

**Topologie punkt-punkt (P2P)** zapewniają dedykowane światłowody pomiędzy Węzłem Dostępowym (lub POP) a abonentem. Każdy z abonentów posiada bezpośrednie połączenie z dedykowanym światłowodem. Droga od centrali (central office - CO) do klienta może składać się z kilku odcinków światłowodów połączonych spójniami lub złączami rozłączalnymi, ale stanowi ciągłą drogę optyczną od Węzła Dostępowego do mieszkania. Większość istniejących wdrożeń FTTH typu punkt-punkt wykorzystuje Ethernet, który może być łączony z innymi sposobami przesyłu w zastosowaniach biznesowych (np. Fibre Channel, SDH/SONET). Ta topologia może również obejmować technologie PON, jeżeli w Węźle Dostępowym umieszczone zostaną pasywne sprzęgacze światłowodowe.

Niezależnie od architektury sieciowej, istotne jest uwzględnienie sposobu, w jaki dana konstrukcja może wpłynąć na ewolucję sieci w przyszłości. Sieć FTTH jest inwestycją długoterminową, a oczekiwana żywotność i kabla w ziemi wynosi co najmniej 25 lat, jednak okres eksploatacji będzie prawdopodobnie znacznie dłuższy. Ze względu na to, że urządzenia aktywne będą w tym czasie modernizowane prawdopodobnie kilkakrotnie, powinno być możliwe dalsze wykorzystywanie istniejącej infrastruktury. Dlatego też decyzje podjęte na początku projektu FTTH będą miały długofalowe skutki.

## 2.4 Warstwy sieci

Sieć FTTH może składać się z szeregu różnych warstw: infrastruktury pasywnej obejmującej rury kablowe, światłowody, mufy i inne instalacje zewnętrzne; sieci aktywnej wykorzystującej urządzenia elektryczne; usługodawców detalicznych oferujących łącza internetowe i usługi zlecone, takie jak IPTV; i wreszcie użytkowników końcowych. Można wyróżnić jeszcze jedną warstwę: warstwę treści, która jest umieszczona nad warstwą usługodawców detalicznych i użytkowników końcowych. Można to wykorzystać handlowo przez tzw. dostawców treści „over the top”.



*Rys. 5. Warstwy sieci FTTH (źródło: Alcatel-Lucent).*

Przedstawiona struktura technologiczna wpływa na sposób organizacji i eksploatacji sieci FTTH. Na przykład:

**Infrastruktura pasywna** obejmująca elementy fizyczne wymagane do budowy sieci światłowodowej. Obejmuje światłowody włókniste, wykopy, kanały i słupy służące do ich poprowadzenia, mufy światłowodowe, przełącznice światłowodowe, panele krosowe, moduły przyłączeniowe itd. Jednostka odpowiedzialna za tę warstwę jest również zwykle odpowiedzialna za wyznaczanie trasy sieci, negocjacje służebności oraz wykonanie robót ogólnobudowlanych służących do poprowadzenia światłowodu.

**Sieć aktywna** dotyczy elektronicznych urządzeń sieciowych potrzebnych do eksploatacji infrastruktury pasywnej, jak również systemów wsparcia operacyjnego wymaganych do komercjalizacji łączności światłowodowej. Podmiot odpowiedzialny za tę warstwę projektuje, buduje i eksploatuje urządzenia aktywne sieci.

**Usługodawcy detaliczni** angażowani są wtedy, gdy gotowe będą warstwa pasywna i aktywna. To w tej warstwie zlokalizowane są i prezentowane konsumentom i firmom podstawowe usługi łączności internetowej i inne usługi zlecone, takie jak IPTV. Oprócz zapewnienia wsparcia technicznego, jednostka odpowiedzialna za tę warstwę odpowiedzialna jest również za pozyskiwanie klientów, strategie wdrożeń rynkowych i obsługę klienta.

Każda warstwa sieci posiada odpowiadającą jej funkcję. Właściciel sieci odpowiedzialny jest za pierwszą warstwę, choć może zlecić jej budowę podmiotowi zewnętrznemu. Operator sieci jest właścicielem urządzeń aktywnych, natomiast usługodawcy detaliczni obsługiwani są przez dostawcę Internetu (Internet service provider, ISP).

*Zob. również FTTH Business Guide, rozdz. 2*

## 2.5 Sieć otwarta

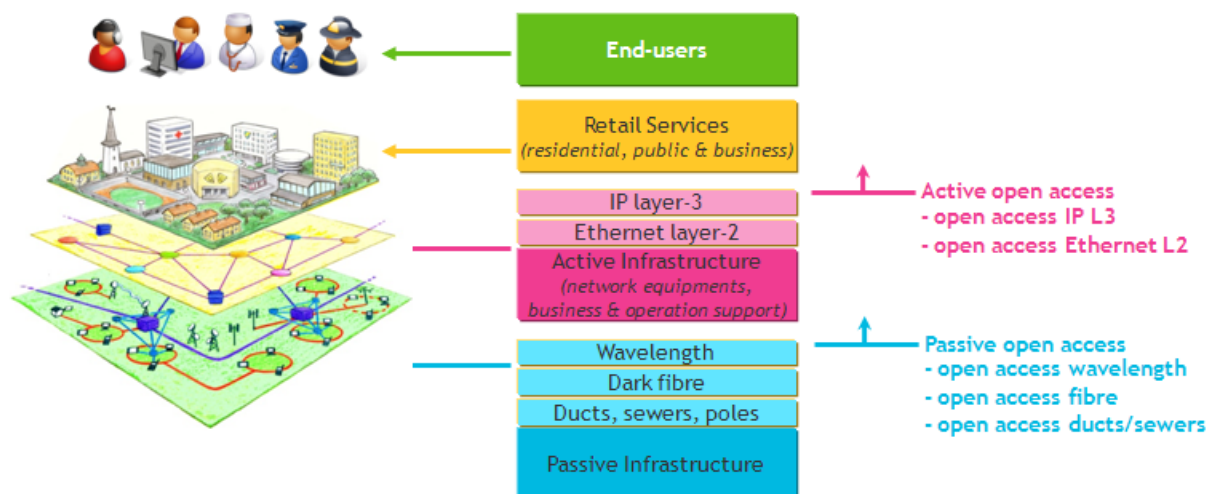
Określenie „otwarty dostęp” oznacza zasób udostępniany klientom innym niż właściciel na równych i niedyskryminacyjnych warunkach; innymi słowy, cena za dostęp jest taka sama dla wszystkich klientów i najlepiej poniżej ceny uzasadniającej koszt budowy odrębnej infrastruktury.



W kontekście sieci telekomunikacyjnych „otwarty dostęp” oznacza zwykle dostęp udzielany wielu usługodawcom hurtowym do lokalnej sieci dostępowej, umożliwiający im dotarcie do abonenta bez konieczności budowy nowej sieci światłowodowej. Struktura cen hurtowych jest przejrzysta i taka sama dla wszystkich usługodawców. Produkty hurtowe oferowane na różnych poziomach infrastruktury, w zależności od typu modelu otwartego dostępu:

**Pasywna infrastruktura otwartego dostępu**, jak rury kablowe, kanały ściekowe, słupy, światłowody ciemne i częstotliwości oferują operatorom telekomunikacyjnym możliwość udostępniania infrastruktury pasywnej i wdrożenie własnej infrastruktury obok infrastruktury usługowej.

**Aktywna infrastruktura otwarta**, taka jak warstwa 2 Ethernet i warstwa 3 IP, umożliwia usługodawcom oferowanie gospodarstwom domowym, firmom i podmiotom publicznym korzystanie ze wspólnej infrastruktury aktywnej budowanej przez właściciela infrastruktury pasywnej i eksploatowanej przez operatora infrastruktury aktywnej.



Rys. 6. Model otwartego dostępu (źródło: Alcatel-Lucent)

Zob. również FTTH Business Guide, rozdz. 2

## 3 Projektowanie i inwentaryzacja sieci

---

Duże inwestycje wymagają starannego planowania i projektowania, aby zminimalizować ryzyko finansowe. Dobry projekt i planowanie sieci są również kluczowe dla minimalizacji inwestycji i poprawy średniego zysku z podłączonego użytkownika. Innymi słowy, staranne planowanie może poprawić rentowność. Określenie „planowanie/projektowanie” często posiada różne znaczenia w zależności od miejsca, w jakim punkcie procesu oddawania sieci do eksploatacji się znajdujemy. Dlatego też w tym rozdziale proponuje się rozbić planowania/projektowania na kilka odrębnych faz oraz przedstawić pomocne informacje i wskazówki dotyczące głównych działań i celów poszczególnych faz. Staranne planowanie prowadzi do powstania ekonomicznej, elastycznej sieci, która może być skutecznie zrealizowana i obsługiwana w fazach od zaprojektowania po obsługę ruchu klientów i usług hurtowych.

### 3.1 Projektowanie sieci

Projektowanie dotyczy całego procesu przygotowań do wdrożenia sieci FTTH. Istnieją trzy wyraźnie wyodrębnione fazy, którymi są **projekt strategiczny**, następnie **projekt zasadniczy** oraz **projekt szczegółowy**. Fazy te można w skrócie scharakteryzować w sposób następujący:

- **Projekt strategiczny** skutkuje podjęciem dwóch podstawowych kategorii decyzji. Po pierwsze, jest to ogólna decyzja gospodarcza o tym, czy należy wdrożyć FTTH, a jeśli tak, to w jakim zakresie. Po drugie, podejmowane są podstawowe decyzje strategiczne np. o rodzaju realizowanej architektury oraz o rodzaju technologii kablowych i sposobach ich poprowadzenia.
- **Projekt zasadniczy** to faza, w której podejmowane są decyzje strukturalne dotyczące konkretnego planowania geograficznego. Decyzje te dotyczą lokalizacji funkcji sieciowych (punktów rozdzielczych, rozgałęzień itp. oraz konfiguracji połączeń (jaki obszar obsługuje dana lokalizacja), jak również sporządzenie wstępnego zestawienia materiałów, w tym długości instalowanych kabli i rur kablowych oraz ilości różnego rodzaju urządzeń. Celem jest wygenerowanie projektu sieci zakładającego najniższe koszty w granicach decyzji strategicznych podjętych w poprzedniej fazie planowania.
- **Projekt szczegółowy** jest końcową fazą planowania/projektowania, w której generowany jest projekt „wykonawczy”. Obejmuje ona opracowanie dokumentacji sieciowej, którą można przekazać działom projektowym lub zewnętrznym firmom budowlanym. Kolejnym wynikiem tej fazy planowania są szczegółowe informacje o połączeniach, takie jak plan spojeń, schemat oznakowania i połączenia mikrokanałowe.

Trzy wymienione fazy procesu projektowania następują zasadniczo jedna po drugiej. Może jednak zaistnieć potrzeba weryfikacji wcześniejszych decyzji w świetle nowych informacji. Na przykład zakładana lokalizacja POP może się zmienić już po wygenerowaniu projektu szczegółowego. W takim przypadku istotna jest możliwość powrotu na wcześniejszy etap procesu i weryfikacji wcześniejszych decyzji – najlepiej z wykorzystaniem oprogramowania zapewniającego wysoki stopień automatyzacji i optymalizacji. Wzajemne interakcje pomiędzy poziomami planowania/projektowania są



zatem istotne, umożliwiając istnienie płynnego i ciągłego sprzężenia zwrotnego pomiędzy projektem zasadniczym i szczegółowym sieci.

## 3.2 „Paliwo” projektowania sieci: dane

Aby możliwe było opracowanie dobrego projektu sieci, każda decyzja powinna opierać się na solidnych informacjach. Dlatego też ważne jest posiadanie dokładnych danych wejściowych, szczególnie danych georeferencyjnych dotyczących obszaru docelowego projektu.

Informacje te można następnie wykorzystać w oprogramowaniu do opracowania modeli różnych topologii sieci z użyciem różnych założeń, po to, by porównać scenariusze i wybrać najlepszy. Istnieją również narzędzia software'owe pomagające w wydajnym prowadzeniu budowy i tworzeniu dokumentacji szczegółowego projektu „wykonawczego”.

Rodzaj i dokładność potrzebnych danych może się różnić w zależności od etapu projektowania. Dane projektowe można podzielić na trzy podstawowe kategorie:

- dane georeferencyjne
- reguły projektowania i specyfikacje materiałów
- koszt jednostkowy

### 3.2.1 Dane georeferencyjne

We wszystkich fazach planowania należy uwzględniać cechy danego obszaru geograficznego. Do planowania potrzebne są dwa rodzaje georeferencyjnych danych wejściowych:

- Informacje o Punkcie Zapotrzebowania: chodzi o punkty geograficzne odzwierciedlające punkty końcowe sieci u klienta (mogą to być punkty dostępne do budynku, ale również obejmować skrzynki, anteny lub inne punkty wymagające połączeń światłowodowych na danym terenie).
  - Ważnym atrybutem może być też rodzaj klienta: należy rozważyć zaprojektowanie sieci mieszanej (na przykład połączenie architektury PON dla użytkowników indywidualnych z połączeniem P2P dla firm).
  - Podczas prawidłowego projektowania sieci ważnym aspektem jest liczba światłowodów, które mają dochodzić do poszczególnych punktów: na przykład należy przewidzieć odpowiednią liczbę światłowodów dla domu wielorodzinnego
- Informacje o trasie: dotyczą linii geograficznych wskazujących, gdzie można poprowadzić kable. Można rozważyć szereg możliwych tras:
  - Nowe trasy podziemne (wymagają wykonania wykopów). Można za ich pomocą obsłużyć niemal każdy obszar, pod warunkiem uzyskania zezwoleń. Informacje te można zasadniczo uzyskać z ogólnych informacji o topologii ulic, ponieważ większość wykopów będzie zlokalizowana pod chodnikami i ulicami
  - Można również wykorzystać istniejące elementy infrastruktury liniowej, których trasy można wygenerować z systemów dokumentacji geograficznej infrastruktury, wskazujące, które rury kablowe, kanały ściekowe i inne elementy infrastruktury liniowej dostępne są do instalacji

nowych kabli światłowodowych bez potrzeby wykonywania dodatkowych wykopów. Należy zweryfikować przestrzeń dostępną w tych rurociągach, aby zapewnić możliwość dodania nowych kabli

- Połączenia napowietrzne, czyli linie poprowadzone na słupach, wskazujące miejsca, w których można zainstalować kabel napowietrzny

Jeśli chodzi o informacje o trasie, minimalne potrzebne dane to informacje o topologii ulic. Dane te są dostępne dla większości obszarów. Typowymi dostawcami danych związanych z topologią ulic są dostawcy baz danych dużych systemów informacji geograficznej (GIS), stosowanych między innymi w systemach nawigacji drogowej. Dane te często są tożsame z danymi wyświetlanymi na stronach internetowych z mapami i planowaniem trasy, takich jak <http://maps.google.com>. Mogą istnieć alternatywni lokalni dostawcy danych. W niektórych regionach dobrym punktem wyjścia mogą być dane otwarte z OpenStreetMap, [www.openstreetmap.org](http://www.openstreetmap.org).



**Rys. 7. Przykładowy obraz z OpenStreetMap. © OpenStreetMap contributors, CC-BY-SA.**

Jeśli chodzi o punkty zapotrzebowania w sieciach FTTH i FTTB, niezbędne są informacje o położeniu poszczególnych budynków na danym obszarze. Dobrą opcją do rozważenia może być zakup danych adresowych od instytucji rządowej, ponieważ zapewnia to zasadniczo prawidłową składnię oraz najbardziej szczegółowe i aktualne informacje. Następnie adresy te mogą stanowić podstawową adresową bazę danych dla wszystkich powiązanych działów, w tym obsługi klienta, fakturowania i marketingu. Innymi źródłami informacji dla tego rodzaju informacji mogą być własne bazy danych klientów (w przypadku już działających usługodawców), komercyjne bazy danych GIS (obejmujące szeroki zakres danych szczegółowych: jednakże niektóre z nich mogą zawierać jedynie zakresy numerów domów w segmentach ulic albo też na odwrót: mogą obejmować dodatkowe szczegółowe dane geomarketingowe na poziomie indywidualnego adresu). W coraz większej liczbie regionów można również korzystać z danych otwartych, takich jak OpenStreetMap, do uzyskiwania informacji o lokalizacji budynków w danym regionie (jak zilustrowano na rysunku powyżej). W wielu przypadkach możliwa jest również identyfikacja budynków na podstawie obrazów satelitarnych oraz ręczne tworzenie punktów adresowych za pomocą odpowiednich narzędzi GIS. Metoda ta jest też powszechnie wykorzystywana do weryfikacji danych uzyskanych z każdego innego źródła. Aby poprawić jakość danych można w ten sposób łatwo dodawać pominięte budynki.

Prawdopodobnie najtrudniejszymi do uzyskania danymi są informacje o rodzaju budynku i liczbie gospodarstw domowych czy mieszkań w danym budynku. Na wczesnym etapie planowania, dane te można czasami uzyskać z informacji wyższego poziomu, takich jak zakresy numerów domów czy gęstość zaludnienia. Aby uzyskać dane bardziej szczegółowe, można się o nie zwrócić do miejscowego dostawcy energii elektrycznej lub zakładu komunalnego (na przykład o podanie liczby zarejestrowanych liczników energii elektrycznej w danym budynku). Jeżeli odpowiednie źródło informacji jest niedostępne, jedyną pozostającą opcją jest wizyta w poszczególnych budynkach i zliczenie mieszkań.

Dokładność wyników procesu planowania można zwiększyć, wykorzystując dodatkowe dane, takie jak:

- typ nawierzchni ulicy – może pomóc lepiej oszacować koszt wykonania wykopów; informacje te można również wykorzystać do ustalenia, czy w danym segmencie ulicy należy wykonać wykopy po jednej, czy po obu stronach.
- dostępność istniejącej i możliwej do wykorzystania infrastruktury, takiej jak słupy (w przypadku wdrożeń napowietrznych) czy możliwe do wykorzystania istniejące kanały, która pozwoliłaby obniżyć koszt wdrożenia.
- informacje o istniejącej infrastrukturze gazowej, elektrycznej, miedzianej w ulicach, które można wykorzystać do ustalenia przebiegu potencjalnych tras wtedy, gdy jest prawdopodobne uzyskanie zezwolenia na wykopy.
- odpowiednie lokalizacje punktów obecności (POP) lub punktu koncentracji okablowania światłowodowego (FCP).

Te dodatkowe dane mogą być trudniejsze do uzyskania i należałoby ocenić wysiłek niezbędny do uzyskania tych danych w świetle celów projektowania.

Niektóre dane szczegółowe można pominąć na wczesnym etapie i należy je wtedy oszacować. Niemniej jednak, ze względu na to, że na późniejszych etapach planowania potrzebne będą dokładniejsze dane i aby podejmować lepsze decyzje strategiczne i decyzje zasadnicze, zaleca się zbieranie wysokiej jakości danych również na wczesnych etapach.

Do projektu szczegółowego sieci potrzebne jest jak najwięcej informacji, w związku z czym może być wskazane poświęcenie pewnego czasu na sprawdzanie i „czyszczenie” danych, na przykład z użyciem zdjęć satelitarnych czy inwentaryzacji terenowej.

Szczególnym rodzajem informacji georeferencyjnych, istotnych tylko w fazie modelowania strategicznego, są tzw. dane geomarketingowe. Dane geomarketingowe dotyczą informacji umożliwiającego projektantowi uzyskanie orientacji co do potencjału rynkowego poszczególnych podobszarów. Odpowiednie informacje mogą obejmować:

- wyniki badań wskazujące na skłonność gospodarstw domowych do skorzystania z oferty FTTH
- określone typy klientów w poszczególnych regionach (na przykład młode rodziny z dziećmi, ludzie starsi itd.)
- dotychczasową historię nowych usług (szerokopasmowych) w określonych regionach (np. DSL czy telewizja cyfrowa)

Wszystkie te informacje można wykorzystać do adaptacji modelu w celu oceny największego potencjału klientów i przychodów w poszczególnych regionach. W połączeniu z informacjami o kosztach wdrożenia w poszczególnych regionach, dane te pomagają zoptymalizować strategię wyboru najbardziej atrakcyjnych terenów.

### 3.2.2 Reguły projektowania i specyfikacje materiałów

Materiały używane we wdrażaniu sieci FTTH opisano w innych rozdziałach Kompendium. Uwzględnia się je i wymiaruje we wszystkich fazach procesu planowania. Ważne jest uzyskanie szczegółowej charakterystyki materiału już na wczesnych etapach procesu projektowania, ponieważ szczegóły te mogą mieć istotny wpływ na wybór optymalnej topologii sieciowej, a tym samym na projektowanie strategiczne.

Materiały obejmują między innymi urządzenia aktywne (na przykład przełączniki Ethernet, terminale centralowe OLT i PON), jak i elementy pasywne (na przykład przełącznice światłowodowe, mufy światłowodowe, sprzęgacze PON, tradycyjne systemy rur kablowych lub mikrokanalizacji, kable i światłowody oraz terminale [FTU, *fibre termination unit*]).

Wychodząc ze specyfikacji sprzętowej, należy podjąć decyzję planistyczną określającą zestaw zasad projektowych, opisującą, jak materiał może być użyty i w jakiej konfiguracji sieciowej. Decyzja obejmuje następujące elementy:

- ocena liczby włókien potrzebnych w poszczególnych punktach zapotrzebowania
- rozmiar kabli i rur kablowych, które mają zostać zainstalowane na odcinkach: transportowym, dystrybucyjnym i przyłączeniowym;
- które (wtórne) kable i rury kablowe pasują do określonych pierwotnych rur kablowych (w zależności od średnicy zewnętrznej i wewnętrznej powiązanych składników łącza lub przyjętych reguł projektowych);
- urządzenia, np. sprzęgacze, które mogą zostać zainstalowane w budynkach, punktach rozdzielczych i/lub POP;
- pojemność światłowodów i/lub kabli doprowadzonych do określonej szafki lub mufy

### 3.2.3 Koszty jednostkowe

Jednym z głównych celów planowania/projektowania jest kontrola kosztów z uwzględnieniem ograniczeń i wymagań. Aby przeprowadzić je prawidłowo, konieczne jest posiadanie jasnego poglądu na temat kosztów wdrożenia i utrzymania sieci FTTH. Koszty obejmują:

- koszty pracy związanej z robotami ogólnobudowlanymi
- koszty materiałowe w rozbiciu na typy urządzeń
- koszty instalacji, testów i pomiarów
- koszty konserwacji sieci
- koszt zasilania elektrycznego urządzeń aktywnych
- koszty związane z utworzeniem i utrzymaniem POP, FCP
- koszty związane ze służebnościami

Obszary kosztów często rozróżnia się w zależności od tego, czy są to nakłady inwestycyjne (CAPEX) czy operacyjne (OPEX). Stosuje się też inne istotne kategorie: urządzenia aktywne i elementy pasywne; urządzenia zewnętrzne i okablowanie wewnątrz budynków; gospodarstwa domowe w zasięgu sieci i gospodarstwa domowe podłączone.

## 3.3 Silnik projektowania sieci: narzędzia

Niegdyś projekty sieci były generowane ręcznie poprzez rysowanie obiektów na mapach, najpierw na papierze, a następnie za pomocą klasycznych pakietów oprogramowania CAD (Computer Aided Design). Jednak samo projektowanie było w pełni ręczne i dlatego zarówno czasochłonne, jak i podatne na błędy. W rezultacie, wczesne etapy procesu projektowania były często pomijane lub traktowane jedynie jako pomoc teoretyczna lub statystyczna, a projektant koncentrował się bezpośrednio na fazie projektu szczegółowego.

Kolejną wadą tego podejścia było to, że projekt nie zawierał wcale lub zawierał niewielką ilość danych inteligentnych dotyczących składników sieci, ponieważ nie stała za nim żadna baza danych, co utrudniało wydajne użycie tych projektów na późniejszych etapach eksploatacji sieci, na przykład na potrzeby konserwacji.

Dziś wiele z tych problemów rozwiązywanych jest dzięki wykorzystaniu oprogramowania o prawdziwej orientacji geoprzestrzennej (GIS) do projektowania, dokumentowania i obsługi sieci. Oprogramowanie wiąże obiekt na mapie z obiektami z bazy danych, dzięki czemu możliwe jest śledzenie wszelkiego rodzaju danych o składnikach sieci.

Narzędzia projektowania FTTH znacznie usprawniają proces projektowania sieci nie tylko pod względem czasu (dzięki automatyzacji) i jakości projektów sieci (poprzez dedykowane modele danych), ale również pod względem powiązanych kosztów opracowania projektów (dzięki inteligentnym algorytmom optymalizacji kosztów).

Każda z wymienionych trzech faz procesu projektowania sieci posiada charakterystyczne wymagania co do proporcji pomiędzy szybkością a złożonością, obsługiwane przez dostępne oprogramowanie.

W pierwszej fazie projektowania sieci uwaga skupiona jest na prawidłowym oszacowaniu kosztów: jaki jest koszt na dany obszar, koszty w rozbiciu na podobszary itd. Narzędzia projektowania sieci muszą działać szybko, aby umożliwiała porównywanie różnych zasad projektowania dla dużych obszarów. Ze względu na znaczny wpływ decyzji strategicznych na uzasadnienie projektu, obliczenia muszą być na tyle dokładne, by można było wyciągać na ich podstawie racjonalne wnioski.

Podczas wykonywania projektu zasadniczego sieci zwiększa się zarówno poziom szczegółowości, jak i poziom optymalizacji kosztów. Wynikiem tej fazy jest projekt sieci wraz ze szczegółową kalkulacją kosztów materiałów, na podstawie których podejmowane są wszystkie decyzje strukturalne. Ponadto powstaje koncepcja sposobu budowy sieci. Wygenerowany projekt sieci musi być zoptymalizowany kosztowo. Proces projektowania zasadniczego ma zazwyczaj charakter interaktywny: użytkownik dodaje ograniczenia na podstawie terenowych informacji inwentaryzacyjnych, a następnie oprogramowanie oblicza na podstawie tych ograniczeń nowy optymalny projekt sieci.

Szczegółowe projektowanie sieci ma mniej wymagań związanych z automatyzacją. Na tym etapie projektant musi opracować projekt wykonawczy. Dlatego narzędzie musi być w stanie obsługiwać bardzo dokładne i szczegółowe specyfikacje sieci i prowadzenia kabli.

### **3.4 Strategiczne projektowanie sieci**

W pierwszej fazie planowania/projektowania podejmowane są doniosłe decyzje gospodarcze. Podstawowym pytaniem jest to, czy należy w ogóle inwestować w sieć FTTH.

Aby na nie odpowiedzieć, projektant musi znać dokładne koszty, nie tylko wdrożenia sieci, ale również aktywacji łącz abonenckich i utrzymania sieci przez okres jej eksploatacji, jak również realistyczne przewidywania co do popytu klientów na oferowane usługi i związane z tym przychody.

Istotne jest sporządzenie analizy kosztów na podstawie realnych danych kosztowych, ponieważ mogą istnieć różnice pomiędzy obszarami geograficznymi – nawet tymi o podobnej gęstości zaludnienia. W miarę możliwości należy unikać ekstrapolacji i korzystania z danych pochodzących z podobnych inwestycji.



Jeżeli zapadnie decyzja o realizacji inwestycji, powstaną dodatkowe pytania, takie jak:

- Gdzie sieć będzie zbudowana? (Określić zakres geograficzny inwestycji.)
- W jakiej kolejności wdrażać podobszary sieci? (Określić kolejność geograficzną wdrożeń.)
- Z jakich metod i technologii korzystać? (Określić reguły projektowania, komponenty, technologie.)

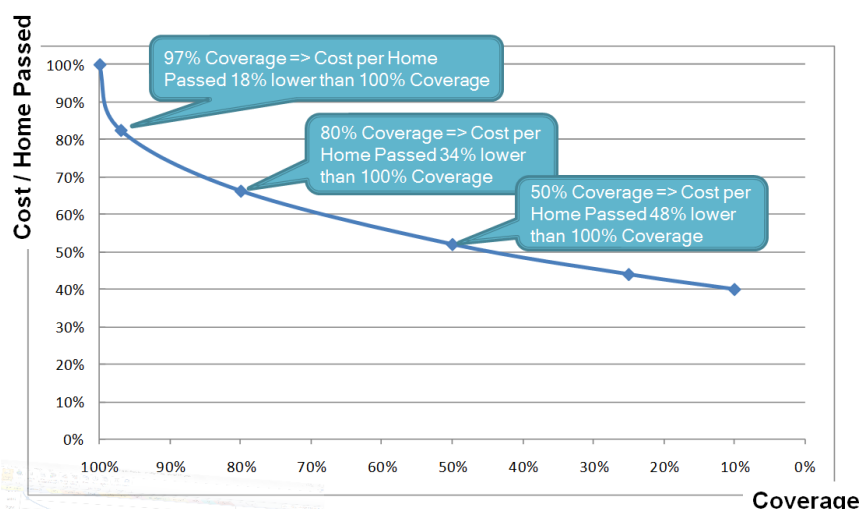
### **3.4.1 Gdzie wdraża się sieci FTTH?**

Na podstawie porównania różnych regionów pod względem wydatków i przychodów można podjąć decyzję o tym, gdzie należy wdrożyć sieć FTTH. W praktyce, podmioty inwestujące w FTTH posiadają różne profile. Inwestorzy prywatni kładą większy nacisk na wyniki finansowe, podczas gdy inwestorzy publiczni muszą równo obsłużyć wszystkich potencjalnych klientów, czasami rozproszonych na dużej powierzchni, i często rozważane jest wdrożenie ogólnokrajowe. Najlepiej byłoby uwzględnić zarówno interesy komercyjne, jak i dostępność usług.

Jeżeli skupiamy się wyłącznie na koszcie, istnieje zasadnicza zgoda co do tego, że istnieje wyraźny wpływ gęstości zaludnienia na średni koszt na gospodarstwo domowe w zasięgu sieci. Niemniej jednak, korzystanie wyłącznie z kryterium (średniej) gęstości zaludnienia w celu dokonywania porównań różnych obszarów pod względem ich atrakcyjności dla wdrożenia sieci FTTH może być złudne. Różnice pod względem gęstości zaludnienia na określonych ulicach lub obszarach z dużymi domami wielorodzinnymi może nadal skutkować różnicami kosztu przekraczającymi 40% pomiędzy dwoma obszarami o podobnej gęstości zaludnienia. Dlatego też zdecydowanie zaleca się przeprowadzenie szczegółowej oceny wszystkich potencjalnych obszarów zamiast stosować reprezentatywne obszary i ekstrapolacje.

Sporządzenie szczegółowej analizy zróżnicowania kosztu na gospodarstwo domowe budowy sieci FTTH na dużym obszarze pozwala uzyskać dane statystyczne o stosunku kosztu do zasięgu dla danego regionu. Jak zilustrowano na rysunku poniżej, średni koszt na gospodarstwo domowe w zasięgu sieci spada, jeżeli wykluczonych zostanie z wdrożenia najdroższych X% gospodarstw domowych. Jest to bardzo użyteczna informacja podczas analiz potrzeby finansowania publicznego na określonych obszarach, na przykład poprzez podział na podobszary białe, szare i czarne.

Na przykładzie poniżej zilustrowano sytuację dotyczącą konkretnego regionu obejmującego ponad 100 000 gospodarstw domowych stanowiących mieszankę obszarów wiejskich i miejskich. W tym przypadku wykluczenie z wdrożenia obszarów wiejskich może znacznie obniżyć koszt na gospodarstwo domowe w zasięgu sieci. Należy zauważyć, że krzywa ta może wyglądać bardzo różnie w różnych regionach.



**Rys. 8. Przykładowa krzywa stosunku kosztu do zasięgu: koszt na gospodarstwo domowe w funkcji procentu gospodarstw domowych w zasięgu sieci.**

Uwzględnienie danych geomarketingowych i porównanie różnych obszarów pod względem stosunku niezbędnych inwestycji (koszt na gospodarstwo domowe w zasięgu sieci) do oczekiwanych przychodów (związanych z oczekiwanym procentem gospodarstw domowych w zasięgu sieci, które zostaną do niej podłączone) pozwala udoskonalić klasyfikację obszarów. W kilku przypadkach uzyskano zwiększenie zwrotu z inwestycji rzędu 10%-20% po zastosowaniu kompleksowej oceny, o której mowa powyżej.

### 3.4.2 W jakiej kolejności wdrażać podobszary sieci?

Kiedy inwestycja FTTH obejmuje duży obszar geograficzny, proces budowy może zająć kilka lat. Im dłuższe są ramy czasowe wdrożenia, tym ważniejsze staje się ustalenie optymalnej kolejności wdrażania sieci na różnych podobszarach. Wybór tej kolejności zależy zwykle od szacowanego stosunku kosztów do przychodów. Dzięki ustaleniu właściwej kolejności można zmaksymalizować wskaźnik przyłączeń podczas początkowych wdrożeń, nie tylko poprzez zwiększenie początkowych przychodów, ale i maksymalizację pozytywnego przesłania, które można rozpowszechniać podczas przekonywania innych potencjalnych klientów i inwestorów w późniejszych fazach poprzez wykazanie wysokich wskaźników przyłączenia.

### 3.4.3 Jakie metody, komponenty i technologie zostaną zastosowane do budowy sieci?

Istnieje duży wybór technologii i komponentów, które można wykorzystać do budowy sieci FTTH. Najbardziej efektywną opcję można ustalić poprzez zastosowanie różnych reguł projektowania i ograniczeń charakterystycznych dla danego podejścia do rzeczywistej charakterystyki geograficznej regionu, a następnie porównanie z wynikami zapewniającymi osiągnięcie progu rentowności. Każda inwestycja będzie posiadała własny optymalny zestaw technologii, w zależności od miejscowej sytuacji, w tym lokalnej charakterystyki geograficznej, wymagań prawnych, sytuacji rynkowej i innych czynników.

W wielu przypadkach koszt nie jest jedynym kryterium. Aby podejmować prawidłowe decyzje na wczesnym etapie, istotne jest przeprowadzenie dogłębnej oceny różnych scenariuszy. Kluczowy jest, oczywiście, wpływ danego wyboru na łączny koszt wdrożenia, ale należy też uwzględnić inne aspekty, takie jak jakość, szerokość pasma przepustowego i niezawodność. Niezbędne wybory



są często dokonywane w oparciu o następujące pytanie: „Czy warto inwestować dodatkową kwotę w celu uzyskania dodatkowej jakości/szerokości pasma przepustowego/niezawodności?”

Oto możliwe opcje do rozważenia:

- Różne architektury (“x” w FTTx, zob. rozdz. 2),
- Różne technologie aktywne (PON w por. z Ethernet P2P czy hybrydowy, zob. rozdz. 4),
- Różne poziomy koncentracji światłowodów (zob. rozdz. 6),
- Różne metody wdrażania kabli (mikrokable w por. z okablowaniem konwencjonalnym, zob. rozdz. 8),
- Różne architektury sprzęgaczy (zob. rozdz. 6),
- Różne metody okablowania wewnątrz budynków (zob. rozdz. 7),
- Różne strategie udostępniania infrastruktury (zob. rozdz. 5)

### 3.5 Projekt zasadniczy sieci

Po określeniu zasięgu geograficznego inwestycji, uwaga skupia się na podejmowaniu szczegółowych decyzji dotyczących struktury sieci. Głównymi rezultatami tej fazy projektowania są racjonalne szacunki ilościowe związane z oczekiwaną inwestycją, decyzje o lokalizacji POP i FCP, decyzje łącznościowe (które miejsce obsługuje który obszar) i zestawienie materiałów.

Projekt zasadniczy sieci rozpoczyna się od ustalenia następujących informacji opartych na wynikach strategicznej fazy projektowania sieci:

- określenie obszaru projektowania
- reguły projektowania i materiały
  - architektura (P2P, PON, hybryda)
  - typ okablowania
  - strategia podłączania budynku (liczba światłowodów na budynek itd.)

W fazie projektowania zasadniczego należy odpowiedzieć na następujące pytania:

#### 3.5.1 Gdzie mają być zlokalizowane POP-y?

W przypadku skomplikowanych obszarów projektant musi podjąć decyzję o liczbie lokalizacji POP oraz o umiejscowieniu przełącznic i urządzeń aktywnych. Jeżeli wykorzystuje się kilka POP, projektanci muszą ponadto zdecydować, którzy klienci będą obsługiwani przed dane lokalizacji POP.

Nie istnieje zasadnicza reguła mówiąca o tym, ilu klientów jest w stanie obsłużyć pojedynczy POP. Ogólnie rzecz biorąc, im więcej klientów będzie obsługiwanych przez POP, tym większe korzyści skali pod względem zużycia energii, utrzymania i zdolności do koncentracji, jednak kable transportowe będą dłuższe, a tym samym droższe.

W przypadku mniejszych obszarów projektowania, na których potrzebny jest tylko jeden POP, jego lokalizację wybiera się zazwyczaj spośród wcześniej ustalonego, ograniczonego zestawu opcji. Jest ona zazwyczaj zależna od dostępności budynków na danym obszarze dla operatora. Niemniej jednak, zawsze warto poznać różnicę w kosztach wdrożenia pomiędzy lokalizacją dostępną, a idealną lokalizacją POP.

### **3.5.2 Gdzie zainstalować punkty koncentracji okablowania światłowodowego?**

Jednym z podstawowych zadań projektowania wysokiego poziomu jest wyznaczenie lokalizacji punktów koncentracji okablowania światłowodowego (ang. FCP). Projektant musi również zdecydować, które lokalizacje klientów zostaną podłączone do danego FCP, jak również rodzaje rozwiązań zarządzania światłowodami w poszczególnych FCP.

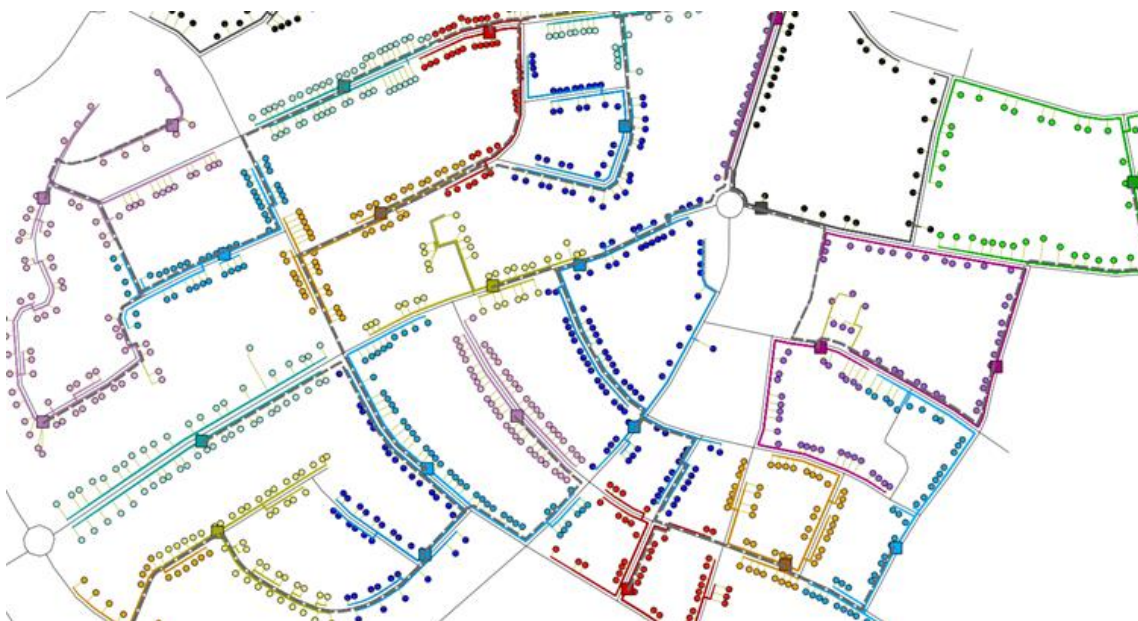
Decyzje te podlegają ograniczeniom wynikającym ze specyfikacji technicznej dostępnych rozwiązań zarządzania światłowodami, jak również liczby włókien w kablach i systemu rur kablowych. Optymalna lokalizacja z punktu widzenia kosztów może być w praktyce niedostępna. Niemniej jednak, zaleca się rozpoczęcie od lokalizacji optymalnych, a następnie znalezienie najbliższej praktycznej lokalizacji FCP, ponieważ może to przynieść znaczne obniżenie łącznych kosztów wdrożenia.

### **3.5.3 Które trasy okablowania obsługują poszczególne obszary dystrybucji i zasilania sygnałem?**

Należy ustalić trasy okablowania łączące POP, punkty rozdzielcze i obiekty klientów. Wykopy oraz układanie kabli i kanałów są wciąż bardzo drogie, więc wybór tras (czasem zwanych traktami) jest jedną z najważniejszych decyzji gospodarczych. Ważne jest maksymalne wykorzystanie istniejącej infrastruktury, takiej jak niewykorzystane kanały, w celu uniknięcia konieczności wykonywania wykopów i związanych z nimi kosztów. Należy również rozważyć scenariusze mieszane: układanie kabli w istniejących kanałach i rurach kablowych tam, gdzie są one dostępne oraz wykonywanie nowej kanalizacji i poprowadzenie kabli napowietrznych tam, gdzie nie ma kanałów i rur kablowych. W takiej sytuacji należy wyliczyć długość poszczególnych wariantów tras.

### **3.5.4 Jakie jest oczekiwane zestawienie materiałów?**

Po podjęciu decyzji o połączeniach należy również ustalić rodzaje instalacji okablowania i kanalizacji, jakie należy wykorzystać. Wraz z informacją o potrzebnych urządzeniach (takich jak mufy, sprzęgacze, przełączniki aktywne itd.), informacje te można wykorzystać do wygenerowania ogólnego zestawienia materiałów i ustalenia potencjalnych dostawców urządzeń. Ostateczne zestawienie materiałów, obejmujące szczegółowo wszystkie elementy, generowane jest w fazie projektowania szczegółowego.



*Rys. 9. Wynik projektowania zasadniczego – lokalizacje i obszary dystrybucji oznakowane kolorami*

Decyzje powyżej przedstawiono tak, jakby były decyzjami odrębnymi, ale w praktyce są one w dużej mierze od siebie zależne. Na przykład, podjęcie decyzji o tym, którzy klienci mają być obsługiwani przez dany POP ma bezpośredni wpływ na liczbę kabli instalowanych na danej trasie, a w związku z tym na to, czy istniejące rury kanałowe mają wystarczającą średnicę, aby pomieścić kable, czy też potrzebne są nowe wykopy.

Zdecydowanie zaleca się korzystanie ze zautomatyzowanego narzędzia projektowania zasadniczego, ponieważ jest ono w stanie obsłużyć wszystkie decyzje w ramach jednego etapu projektowania i optymalizacji. W takich warunkach projektant jest szefem podejmującym decyzje o parametrach i ograniczeniach projektowych. Zautomatyzowane narzędzie projektowania wysokiego poziomu wspiera projektanta w opracowaniu niskokosztowej sieci uwzględniającej wszystkie ograniczenia techniczne, w której wykorzystuje się w sposób optymalny istniejącą infrastrukturę.

### 3.6 Szczegółowe projektowanie sieci

Na tym etapie procesu projektowania wyniki projektowania zasadniczego przekształcane są na projekty „wykonawcze”. Obejmuje to sporządzenie projektu sieci o stopniu dokładności i szczegółowości wystarczającym do uzyskania wszystkich urzędowych zezwoleń i wygenerowania instrukcji roboczych. Należy również uwzględnić dodatkowe specyfikacje aspektów takich, jak łączność sieciowa (na poziomie pojedynczego światłowodu, kanału itd.) oraz oznakowanie.

#### 3.6.1 Dane szczegółowe

Wszystkie dane wykorzystane na poprzednich etapach projektowania powinny zostać wykorzystane w szczegółowym projekcie sieci, np. dane georeferencyjne dotyczące ulic, budynków, adresów mieszkań oraz inne istotne elementy ukształtowania terenu, jak również zestawienia możliwych do zainstalowania komponentów, koszty zakupu i instalacji. Ponadto, jako punkty wyjścia należy przyjąć decyzje strukturalne podjęte w fazie projektowania zasadniczego, w tym:

- liczbę i położenie geograficzne POP i FCP

- obszary obsługiwane przez poszczególne POP i FCP (np. oznaczone kolorami na Rys.)
- Wykorzystane trasy, w tym instalacje kablowe i kanały

Najlepiej, aby narzędzia software'owe oferowały odpowiednie funkcje eksportu i importu, aby ułatwić użycie rezultatów projektowania zasadniczego. Choć w ostatnich latach dokonał się znaczny postęp w dziedzinie interoperacyjności danych przestrzennych, każdy proces obejmujący import i eksport danych może prowadzić do utraty wierności danych. Aby tego uniknąć, niektóre programy do projektowania szczegółowego posiadają wbudowane interfejsy do projektowania zasadniczego, aby ułatwić ten istotny etap procesu i uniknąć niepotrzebnego powielania danych lub ich uszkodzenia.

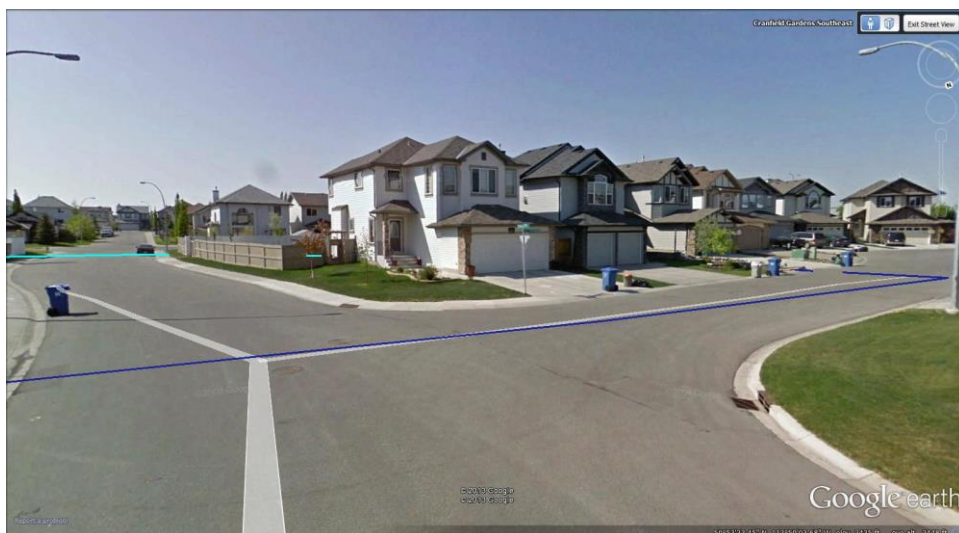
Ponadto warto znać dokładne specyfikacje kanałów, rur kablowych, kabli, światłowodów i łączników, aby uniknąć niekompatybilności różnych komponentów w procesie projektowania. Specyfikacje te obejmują, między innymi:

- znakowanie kolorami systemów rur kablowych i/lub mikrokanalów
- najmniejszy promień gięcia rur kablowych i kabli
- Postanowienia Normy Budowy Sieci, np. maksymalny dystans wdmuchiwanie czy minimalne parametry kabli.
- ograniczenia kompatybilności dla złącz, np. złącze APC nie pasuje do złącz PC
- kompatybilność średnicy pola modu na potrzeby spajania włókien i przeprowadzenia odbioru; należy zauważyć, jest można to w pełni osiągnąć poprzez prawidłowe wyspecyfikowanie włókna zgodnie z najnowszym zaleceniem ITU-T G.657 (wydanie 3, październik 2012 r.), które pozwala zapewnić tę kompatybilność dla wszystkich kategorii, w tym Kategorii B, poprzez ograniczenie dopuszczalnego zakresu średnic pola modu.

Oprócz szczegółowych danych dotyczących Instalacji Zewnętrznych (OSP), projekt musi także obejmować informacje niezbędne do wybudowania lub skonfigurowania Instalacji Wewnętrznych (ISP). Niektórzy operatorzy rozdzielają te dwa elementy na dwa odrębne „zadania”, ponieważ typy zasobów i czas realizacji OSP i ISP są często bardzo odmienne, choć czasami budowę Instalacji zewnętrznych i wewnętrznych traktuje się jako jedno zadanie. Projekty ISP mają tendencję do koncentracji na urządzeniach niezbędnych do świadczenia usługi, jednak uwzględnia się również infrastrukturę pomocniczą. W przypadku „światłowodu do domu”, aspekty ISP obejmują liczbę i lokalizację fizyczną kaset linii optycznych, przełączników drugiej warstwy oraz przełącznic światłowodowych, jak również fizyczną przestrzeń na szafy, zasilanie i chłodzenie niezbędne w budynku Centrali do obsługi nowych urządzeń.

### 3.6.2 Inwentaryzacja

Na etapie projektowania byłoby pożądaną, gdyby proponowane informacje o sieci mogły być prawidłowo powiązane ze współrzędnymi geograficznymi i narzędziami takimi jak Google Street View (rys. 10), w celu przeprowadzenia inwentaryzacji „zza biurka”. To ułatwia sprawdzenie ważnych danych: warunki nawierzchni drogowej, położenie drzew, typy ulic, itd. Jednak ze względu na to, że dane mapowe online nie zawsze są w pełni aktualne, można podjąć decyzję o przeprowadzeniu fizycznej wizyty na miejscu.



**Rys. 10. Inwentaryzacja „zza biurka” za pomocą Google Street View**

Niektórzy operatorzy zawsze przeprowadzają fizyczną wizytę na miejscu, aby zweryfikować proponowany projekt szczegółowy przed instalacją, natomiast inni polegają na badaniach zza biurka uzupełnionych o wyłącznie niezbędne wizyty na miejscu. Ogólnie rzecz biorąc, jest to kwestia stosunku kosztów do korzyści, a na decyzję o przeprowadzeniu pomiarów terenowych będą w pewnym stopniu wpływały następujące elementy:

- dokładność istniejących rejestrów infrastrukturalnych
- ilość i typ infrastruktury należącej do podmiotów zewnętrznych na danym obszarze
- uwarunkowania miejscowe, np. obszary chronione, przepisy o ruchu lub przepisy o zagospodarowaniu przestrzennym
- koszty instalacji, np. zmiany nawierzchni drogowej
- koszt podjęcia działań naprawczych w razie błędnego projektu lub instalacji
- czy w ramach projektowania zasadniczego przeprowadzono inwentaryzację w terenie

Aby uniknąć potencjalnych problemów z istniejącą infrastrukturą podziemną, narzędzia software'owe zazwyczaj obsługują import lub wyświetlanie informacji o infrastrukturze należącej do innych podmiotów obok proponowanego projektu. W niektórych państwach ilość informacji udzielanych przez podmioty zewnętrzne jest ograniczona prawem i często dotyczy tylko obecności sieci podziemnych, a nie typu lub ilości okablowania na danym terenie.

### **3.6.3 Generowanie projektów „wykonawczych”**

W fazie szczegółowego projektowania sieci generowane są projekty wykonawcze, które muszą być bardziej szczegółowe i dokładniejsze niż wynik projektowania zasadniczego sieci.

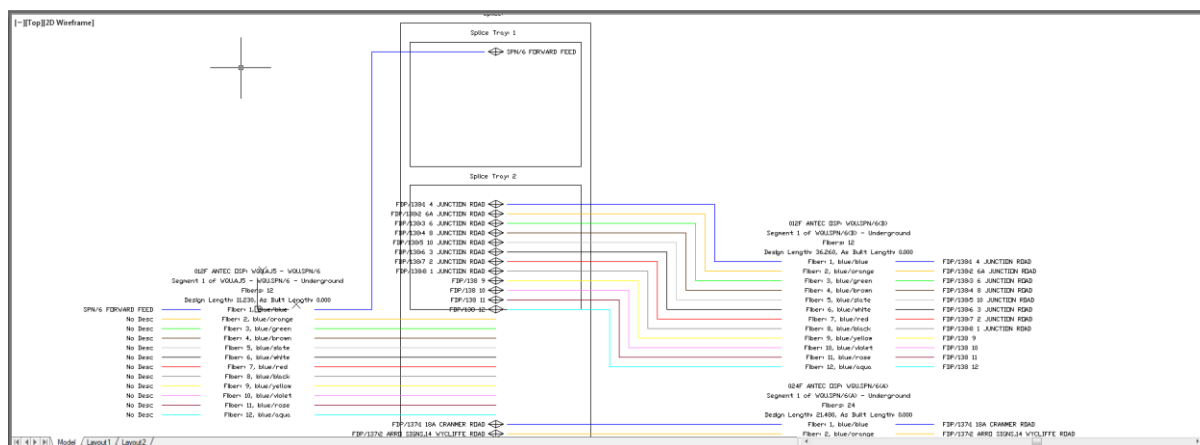
Generowanie projektów wykonawczych obejmuje:

- szczegółowe połączenia abonenckie: każde połączenie abonenckie (od ostatniego punktu rozgałęzienia w ulicy do punktu podłączenia w budynku) musi być dokładnie umiejscowione i śledzone.
- konfiguracja kabel/kanalizacja wtórna: dla każdego kabla, który nie jest kablem doziemnym i każdej rury kablowej wtórnej należy wskazać, do której rury kablowej pierwotnej ma być on wdmuchnięty lub zaciągnięty, np. wskazując kolor i oznakowanie systemu mikrorur.
- umiejscowienie łączników: dla każdego systemu rur kablowych należy wskazać położenie geograficzne połączenia jednej lub więcej tych rur (w szczególności w przypadku systemów



mikrokanałowych), jakiego rodzaju łącznikiem są one połączone i do jakiej rury innego systemu rur kablowych.

- oznakowanie: każdy komponent instalacji otrzymuje niepowtarzalne oznakowanie według spójnego, określonego przez użytkownika schematu, który umożliwi łatwe zlokalizowanie i identyfikację komponentu w projekcie.
- projekt światłowodów i spojeń: w ODF-ach, punktach koncentracji okablowania światłowodowego i, jeżeli stosowane jest konwencjonalne okablowanie, w innych punktach łączenia kabli niezbędne jest dokładne określenie, które pary światłowodów są ze sobą łączone i w której kasie spojeń będzie zlokalizowane złącze stałe.



**Rys. 11. Schemat spojeń światłowodów wskazujący kolory światłowodów, alokację i zakończenia.**

Powstała dokumentacja wykonawcza sieci obejmuje dokładne i kompletne informacje potrzebne do modernizacji, diagnostyki lub przywracania sieci:

- dokumentacja wykonawcza sieci
- dokumentacja POP-ów, w tym przestrzeni szaf oraz umiejscowienia urządzeń aktywnych i pasywnych
- wygenerowanie projektów z instrukcjami roboczymi w przypadku obiektów złożonych, takich jak ODF-y czy sprzęgacze światłowodowe
- raportowanie streszczeń ogólnych, wykazów materiałów, wykazów kosztów i wykazów światłowodów wdmuchiowanych
- wygenerowanie wykazu zakupów

### 3.6.4 Zarządzanie zadaniami

W odróżnieniu od wielu innych operacji we współczesnych sieciach telekomunikacyjnych, budowa sieci może zająć dużo czasu: miesiące albo nawet lata. Zwykle budowa dużych sieci dzielona jest na mniejsze projekty inwestycyjne (zadania), w związku z czym wielu dostawców PNI przyjęło podejście „długiej transakcji” lub podejście zadaniowe do tworzenia projektów szczegółowych. „Zadanie” można postrzegać jako zbiór wszystkich zmian wymaganych do zrealizowania modyfikacji sieci. Zadania mogą być małe, jak np. podłączenie nowego budynku do istniejącej sieci światłowodowej albo duże, jak na przykład budowa nowego obszaru obsługi FTTH.

W fazie projektowania szczegółowego szczególnie istotne jest to, by narzędzia planowania szczegółowego umożliwiały zarówno ręczne zmiany poszczególnych konfiguracji, jak i automatyzację masowych operacji na danych, które powinny być spójne w całym projekcie (np. nazewnictwo i oznakowanie urządzeń). Dysponowanie tą elastycznością poprawia jakość rezultatów, a jednocześnie pozwala zredukować koszty pracy związane z tworzeniem projektu szczegółowego.

## 3.7 Inwentaryzacja sieci

### 3.7.1 Oprogramowanie

Zmiana koncepcyjna z projektu dokumentującego sposób budowy sieci na projekt odzwierciedlający sieć taką, jak została rzeczywiście wykonana wpływa również na wymagania wobec danych i oprogramowania stosowanego do ich przetwarzania.

Oznacza to zwykle:

- zwiększony nacisk na jakość danych geoprzestrzennych w celu stworzenia oficjalnego rejestru lokalizacji rur kablowych/kabli.
- potrzebę posiadania oprogramowania do graficznej manipulacji i kontroli spójności projektowanej sieci.
- potrzebę posiadania technologii bazodanowej umożliwiającej dokumentowanie, eksploatację sieci, zarządzanie zmianami, diagnostykę problemów, obsługę klienta, marketing i rejestrację sieci.

W przypadku większości operatorów sieci telekomunikacyjnych, informacje te mogą zostać wytworzone w specjalistycznej aplikacji fizycznej inwentaryzacja sieci (ang. PNI) albo z niej przeniesione. PNI niemal zawsze jest zorientowana przestrzennie, a także zapewnia kompleksową obsługę zbierania atrybutów, raportowanie i wizualizację sieci dzięki wykorzystaniu nowoczesnego systemu bazodanowego. Niektóre bazy danych, takie jak Oracle czy Microsoft SQL, mają standardowo wbudowane poszczególne typy danych przestrzennych. Istnieją też dodatki stworzone przez podmioty zewnętrzne (np. ESRI ArcGIS Server), które mogą zostać wykorzystane do rozszerzenia zasobów danych innych niż przestrzenne o obsługę danych geograficznych. PNI różni się od czystego systemu opartego na GIS czy CAD tym, że oferuje wyrafinowane, uprzednio skonfigurowane modele danych telekomunikacyjnych i zachowania, które można wykorzystać do standaryzacji i weryfikacji szczegółowej dokumentacji sieciowej.

### 3.7.2 Zarządzanie procesami

Jak wynika z powyższych akapitów tego rozdziału, proces projektowania zasadniczego stanowi podstawę kolejnych procesów projektowania szczegółowego. Jednak fazy projektowania szczegółowego nie są końcem procesu – nic bardziej mylnego: budowa sieci nawet się jeszcze nie rozpoczęła. Kiedy wszystkie fazy projektowania szczegółowego zostaną zakończone, proces budowy i przekazania gotowej sieci do użytku przebiega zazwyczaj następująco:

- Zatwierdzenie finansowe
  - zgoda na realizację budowy na podstawie przedłożonego projektu
- Interakcje z łańcuchem dostaw
  - logistyka zamówień i dostawy na miejsce potrzebnych materiałów
- Interakcja z działem kadr, tj. zaangażowanie odpowiednich techników
- Faza robót budowlano-montażowych
  - budowa studzienek, słupów, kanalizacji podziemnej itd.
- Faza instalacji kabli
  - zaciąganie pneumatyczne/hydrauliczne lub mechaniczne kabli
- Faza łączenia światłowodów
  - spajanie światłowodów
  - łączenie złączami rozłącznymi w punktach elastyczności
- Cykl konsultowania odstępstw od projektu
  - czy dopuszczalne są odstępstwa od projektu w terenie, czy też wymaga to nowego szczegółowego projektu?
- Testowanie i pomiary



- Aktywacja urządzeń
- Inwentaryzacja powykonawcza sieci i uzupełnienie dokumentacji
- Przekazanie sieci do eksploatacji i przyjmowanie zamówień

Etapy te muszą być zintegrowane z dokumentacją wykonawczą i powykonawczą sieci.

W wielu przypadkach operator chce udokumentować ten proces i zidentyfikować kluczowe informacje wejściowe i wyjściowe, aby wnieść przejrzystość do całego procesu projektowania i ułatwić generowanie wskaźników wspierających wewnętrzne symulacje rentowności inwestycji. Najlepiej, by system oprogramowania projektowego komunikował się z rozwiązaniem do zarządzania zamówieniami lub zadaniami/procesami, umożliwiając ukazanie wszystkich etapów procesu.

Często budowa nowej sieci FTTH jest nie tylko wyzwaniem dla projektowania, ale i wyzwaniem logistycznym. Dlatego też ważne jest podczas realizacji inwestycji zarządzanie kosztami, porównanie technicznych opcji projektowych, planowanie terminów, przydział techników, zarządzanie łańcuchem zaopatrzenia i zgłaszanie odstępstw od projektu.

Dodatkowe możliwości oferowane przez cyfrowe rozwiązanie obsługi procesów mogą obejmować pulpity projektowe, zarządzanie zagrożeniami, ustalanie punktów krytycznych i plany ograniczania ryzyka. Tego rodzaju system śledzenia procesów może być dostępny przez mobilne połączenia danych w terenie, umożliwiając inżynierowi zgłaszanie stanu robót w czasie zbliżonym do rzeczywistego.

### 3.7.3 Dokumentacja powykonawcza

Ostatecznie zbudowana sieć rzadko jest identyczna z jej pierwotnym projektem. Jeżeli w trakcie budowy dokonywane będą jakieś zmiany, ważne jest uzupełnienie pierwotnego planu wykonawczego. Najlepiej, gdyby zaktualizowany projekt, zwany często projektem powykonawczym, był wykorzystywany jako podstawa do kompletnej dokumentacji sieci. Większość korekt wynika z robót budowlanych i sytuacji zaistniałych w terenie, takich jak zablokowana rura kablowa lub kolizja z infrastrukturą należącą do podmiotu zewnętrznego. Ważne jest, by rejestrować wszystkie korekty w stosunku do planu wykonawczego oraz aktualizować oprogramowanie PNI, tak by posiadać prawidłowe informacje na potrzeby przyszłych interwencji.

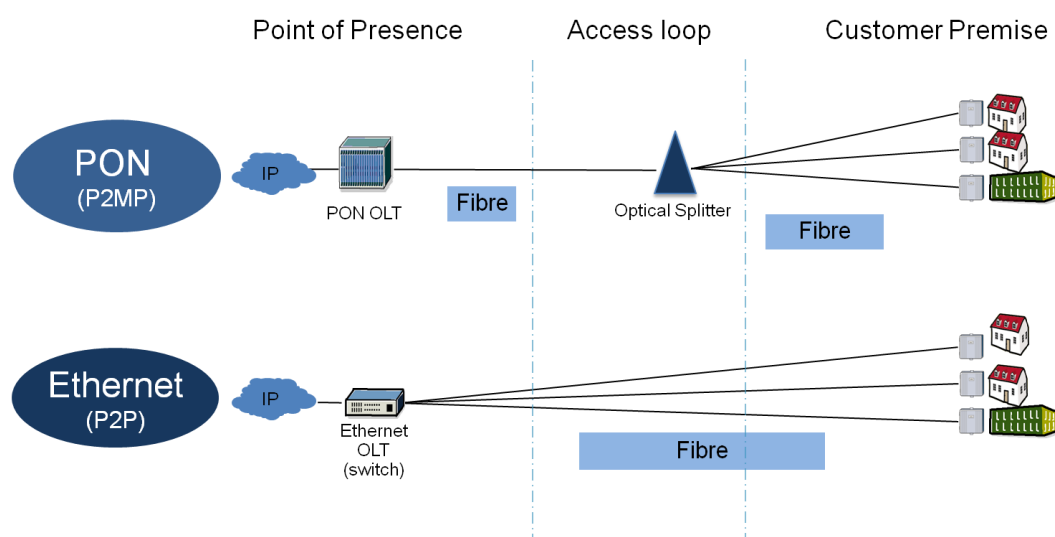
Dokumentacja powykonawcza sieci zawiera informacje dla poszczególnych odcinków i kabli:

- Infrastruktura budowlana
  - nazwa i adres firmy budowlanej
  - dane pozwolenia na budowę (dane inspektora nadzoru inwestorskiego lub pracownika nadzorującego)
  - dokładne dane lokalizacyjne (które mogą obejmować współrzędne GPS lub pomiary triangulacyjne ze stałych lokalizacji)
  - dokładna długość powykonawcza wykopu
  - producent i model elementu niezgodnego z planem wykonawczym, np. większe studzienki lub dodatkowe rury kanałowe
  - Dokumentacja kanalizacji (DSR)
  - Informacje o mocowaniu słupów napowietrznych (odciąg, kotwy itd.)
- Kable
  - producent i dane zastosowanego kabla

## 4 Urządzenia aktywne

Na całym świecie stosuje się pasywne sieci optyczne (PON) P2MP i rozwiązania Ethernet P2P. Wybór urządzenia zależy od wielu zmiennych, w tym charakterystyki demograficznej i segmentacji geograficznej, parametrów danej realizacji, ostatecznych obliczeń itd. W szczególności, wybrane rozwiązanie w znacznym stopniu zależy od stopnia trudności wdrażania infrastruktury pasywnej. Oczywiście, na współczesnym rynku akceptowalne są oba rozwiązania.

W domach wielorodzinnych połączenia pomiędzy użytkownikami a przełącznicą budynkową mogą być miedziane lub światłowodowe, jednak światłowód jest jedyną alternatywą gwarantującą obsługę przyszłych potrzeb w zakresie szerokości pasma przepustowego. W niektórych wdrożeniach udostępniane jest drugie włókno do systemów *RF video overlay*; w innych przypadkach instalowana jest większa liczba włókien (2 do 4 na gospodarstwo domowe) w celu zagwarantowania konkurencyjności i obsługi przyszłych zastosowań.



Rys. 12. Różne architektury sieci FTTH

### 4.1 Pasywna sieć optyczna

Urządzenia PON składają się z terminala centralowego (OLT) w punkcie obecności (POP) lub centrali. Jeden światłowód prowadzi do pasywnego sprzęgacza światłowodowego, który łączy maksymalnie 64 użytkowników końcowych, z których każdy posiada terminal abonencki (ONU) w miejscu, w którym kończy się światłowód.

ONU dostępne są w kilku wersjach, w tym w wersji dla domów wielorodzinnych nadającej się do zastosowania u wielu abonentów w zastosowaniach wewnątrzbudynkowych i wykorzystującej istniejące okablowanie wewnątrzbudynkowe (CAT5/Ethernet lub xDSL)

Zaletami PON są obniżone wykorzystanie światłowodu (pomiędzy POP a sprzęgaczami), brak urządzeń aktywnych pomiędzy OLT i ONU, zdolność do dynamicznej alokacji szerokości pasma przepustowego oraz możliwość wysokich impulsów pasma przepustowego (*bandwidth bursts*), które mogą prowadzić do zmniejszenia nakładów inwestycyjnych i operacyjnych.

Warto zauważyć, że ostatnia część sieci, pomiędzy ostatnim sprzęgaczem a użytkownikiem końcowym jest taka sama dla rozwiązania punkt-punkt, jak i PON: każde gospodarstwo domowe w zasięgu sieci zostanie podłączone do jednego lub więcej włókien prowadzących do punktu, w którym ma być zainstalowany ostatni sprzęgacz. Jest on również zwany punktem koncentracji okablowania światłowodowego (FCP) lub punktem elastyczności światłowodu (FFP). Jednym z wyróżników PON jest to, że liczba włókien pomiędzy FFP (punktem elastyczności światłowodu) a POP może być znacznie zredukowana (współczynnik rozdziału w połączeniu ze wskaźnikiem wykorzystania przez abonentów może skutkować zmniejszeniem zapotrzebowania na światłowód w stosunku 1:100). Jest tak szczególnie na terenach o starej zabudowie (Brownfield), na których pewne (ograniczone) zasoby są już dostępne, w postaci światłowodów ciemnych i/lub infrastruktury kanałowej, co umożliwia znaczne zmniejszenie kosztów i skrócenia czasu realizacji.

#### 4.1.1 Rozwiązania PON

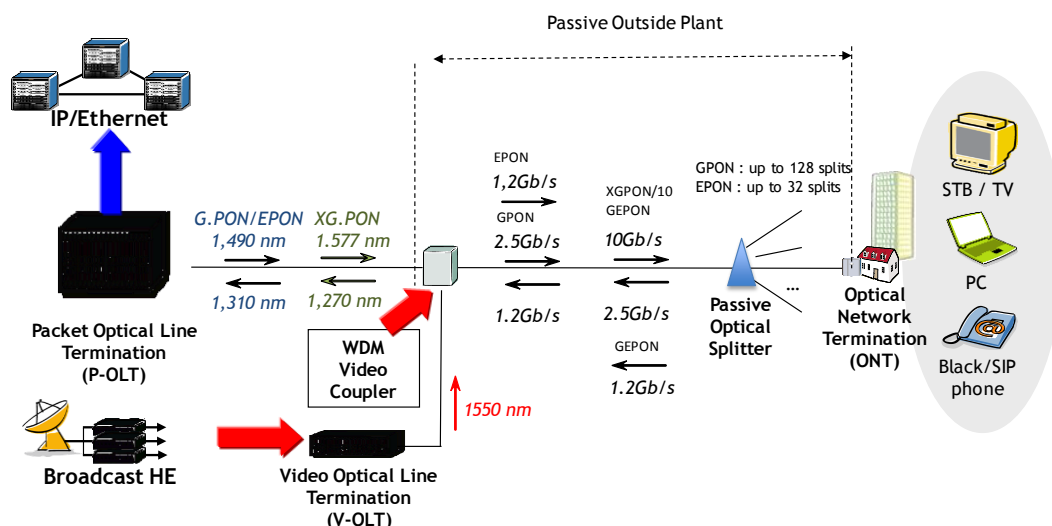
Dotychczas funkcjonowało kilka generacji technologii PON.

Full Services Access Network (FSAN) Group opracowuje przykłady zastosowań i wymagania techniczne, które są następnie specyfikowane i zatwierdzane w postaci norm przez Międzynarodowy Związek Telekomunikacyjny (ITU). Standardy te obejmują APON, BPON, GPON i XG-PON. GPON zapewnia szerokość pasma przepustowego rzędu 2,5 Gb/s w kierunku do abonenta i 1,25 Gb/s od abonenta ze stopniem podziału maksymalnie 1:128. XG-PON oferuje 10 Gb/s w kierunku do abonenta i 2,5 Gb/s od abonenta dla maksymalnie 128 użytkowników.

Przewidywane przez FSAN nowe podejście, o nazwie NG-PON2, zwiększy do 2015 r. parametry PON do co najmniej 40 Gb/s w kierunku do abonenta i co najmniej 10 Gb/s od abonenta, o zasięgu min. 20 km z min. stopniem podziału 1:64. Specyfikacja obsługuje również ulepszenia dodające więcej okien transmisyjnych, osiągające 60 km zasięgu i stopień podziału 1:256. W 2004 r. Instytut Inżynierów Elektryków i Elektroników (IEEE) wprowadził alternatywną normę zwaną EPON o przepływności 1 Gb/s w obu kierunkach. Dostępne są również zastrzeżone produkty EPON oferujące przepływność 2Gb/s w kierunku abonenta. We wrześniu 2009 r. IEEE zatwierdził nową normę, 10G-EPON, oferującą przepływność symetryczną 10Gb/s.

Tendencje w technologiach dostępowych na kolejne 10 lat prowadzą w stronę większej symetryczności pasma przepustowego. Wymiana plików multimedialnych, aplikacje *peer-to-peer* i aplikacje przetwarzające znaczne ilości danych wykorzystywane przez osoby pracujące w domu będą kierować abonentów w stronę poszukiwania wyższych szerokości pasma przepustowego dla wysyłania. Oprócz tego, głównymi czynnikami intensywnego wykorzystania technologii PON będzie obsługa firm, sieci komórkowe i sieci małokomórkowe /bezprzewodowe typu *backhaul*, których operatorzy potrzebują do obsługi firm. Usługi dla firm i sieci komórkowe *backhaul* będą wymagały ciągłych i symetrycznych przepływności rzędu 1 Gb/s. Trudno jest jednak zrealizować kompletną symetrię w zastosowaniach dla gospodarstw domowych ze względu na olbrzymią szerokość pasma przepustowego potrzebną ogólnie do HDTV i innych usług rozrywkowych – choć drobni przedsiębiorcy mogą skorzystać z symetrycznej łączności szerokopasmowej. Niemniej jednak to wysoka przepływność PON oferuje operatorom FTTH kluczową przewagę konkurencyjną nad usługodawcami DSL lub kablowymi.

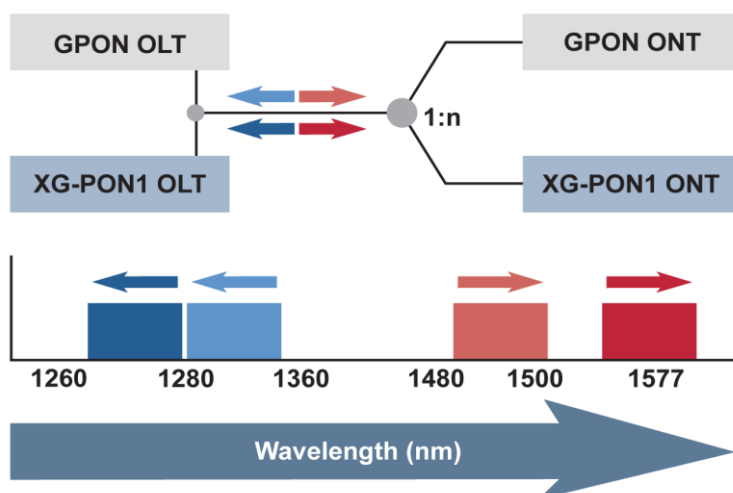
GPON oferuje 20-kilometrowy zasięg i budżet mocy optycznej 28 dB z użyciem optyki klasy B+ ze stopniem podziału 1:128. Zasięg można zwiększyć do 30 km poprzez ograniczenie stopnia podziału do maksymalnie 1:16 lub zastosowanie optyki C+, co pozwala dodać do 4 dB budżetu mocy optycznej. Zasięg może być dalej zwiększony do 60 km dzięki zastosowaniu rozszerzaczy zasięgu. 10G-EPON również jest w stanie zapewnić zasięg 20 km, z budżetem mocy optycznej 29 dB.



Rys. 13. Schemat sieci GPON

Jako opcję można dodać nakładkę *RF video overlay* dzięki wykorzystaniu dodatkowego okna transmisyjnego (1550 nm), co jest zgodne z podejściem stopniowej rozbudowy lub realizacji inwestycji w miarę wzrostu zapotrzebowania na telewizję cyfrową.

Normy zdefiniowano w taki sposób, by umożliwić koegzystencję GPON i XG-PON na tym samym włóknie dzięki wykorzystaniu różnych okien transmisyjnych w obu rozwiązaniach. Jest to akceptowalne tak długo, jak wymagania takie jak zalecenie G.984.5, które udoskonaliło plan widmowy dla GPON i zdefiniowało filtry blokowania w terminalach abonenckich (ONU) GPON, zabiegają przesłuchowi z okien transmisyjnych innych niż wykorzystywane w GPON.



Rys. 14. Podejście FSAN do XG-PON

NG-PON2, nowe podejście przyjęte przez ITU i FSAN, będzie kierowało ewolucją zgodnie z następującymi topologiami:

**Podstawowa:**

40 Gb/s w kierunku do abonenta i 10 Gb/s od abonenta, z zastosowaniem 4 okien transmisyjnych

**Rozszerzona:**

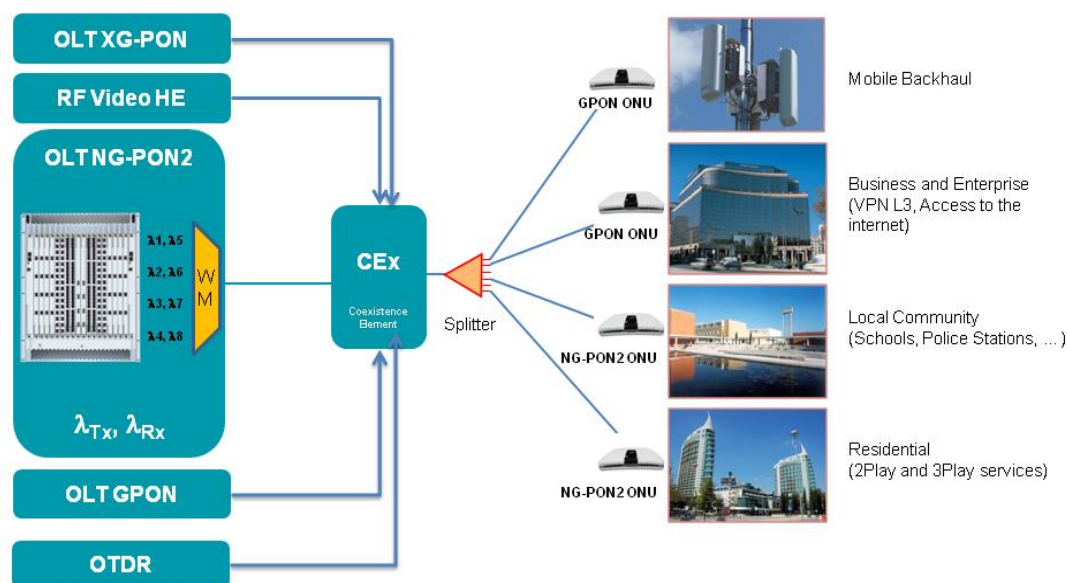
80 Gb/s w kierunku do abonenta i 20 Gb/s od abonenta, z zastosowaniem 8 okien transmisyjnych

**Dla firm:**

Usługi symetryczne, 40/40 Gb/s do 80/80 Gb/s

**Mobile Fronthaul:**

WDM punkt-punkt (CPRI)



*Rys. 15. Koegzystencja różnych technologii FTTH*

Koegzystencja zapewniona jest przez element pasywny zwany **elementem koegzystencji** (Coexistence Element, CE). Pozwala on połączyć/rozdzielić okna transmisyjne związane z poszczególnymi usługami i technologiami PON.

Oczekuje się również, że urządzenia NG-PON2 będą obsługiwały aplikacje synchronizacyjne Mobile Backhaul (MBH) (zegary 1588 BC i TC w celu obsługi wymagań dotyczących dokładności częstotliwości i przesunięcia fazowego)

#### 4.1.2 Urządzenia aktywne PON

Standardowe urządzenia aktywne PON obejmują terminal centralowy (OLT) i abonencki (ONU).

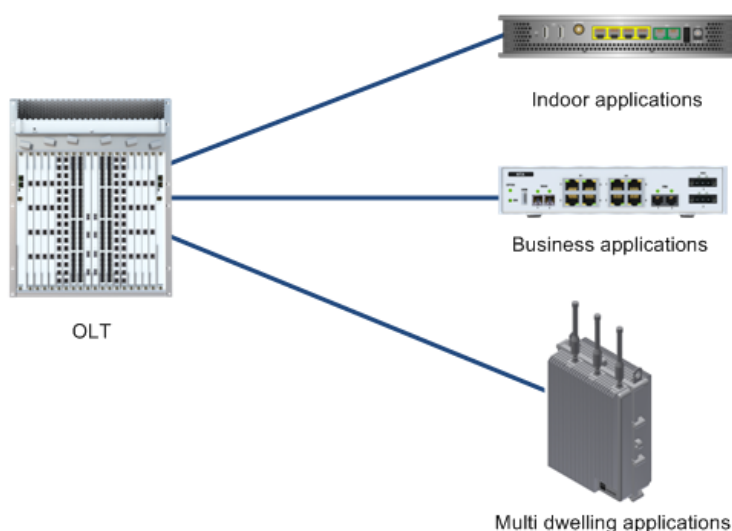
OLT usytuowany jest zwykle w punkcie obecności (POP) lub punkcie koncentracji.

Płyty OLT są w stanie obsłużyć do 16 384 abonentów (przyjmując 64 użytkowników na łącze GPON) na jedną półkę. Płyty OLT mogą również udostępnić do 768 połączeń punkt-punkt (Ethernet aktywny) w przypadku zastosowań lub klientów wymagających tego dedykowanego kanału.

OLT zapewniają nadmiarowość na przełączniku agregującym, jednostce zasilania i portach *uplink* w celu zwiększenia niezawodności.

Niektóre OLT mogą również zaoferować mechanizmy ochrony przed zapętleniem portów *uplink* z wykorzystaniem funkcji ERPS (ITU-T G.8032 Ethernet Ring Protection Switching), jak również zdolność do wewnętrznej multipleksacji nakładki RF (i włączenia wzmacniaczy EDFA), sprawiając, że jest to zintegrowane rozwiązanie dla operatorów.

OLT mogą być instalowane z kartami GPON, XG-PON lub NG-PON2, dzięki czemu są idealnym wyborem dla scenariusza **pay-as-you-grow**, co oznacza, że inwestycja w szafę będzie trwała tak długo, jak długo będą dostępne nowe technologie PON i kasety połączeń. Element koegzystencji (CE) może być również zintegrowany z kasetą w celu modernizacji w stronę NG-PON2.



**Rys. 16. Różne rodzaje ONT**

Dostępnych jest szereg różnego rodzaju ONU dopasowanych do lokalizacji:

- zastosowania wewnątrzbudynkowe
- zastosowania zewnętrzne
- zastosowania biznesowe
- Zastosowania dla domów wielorodzinnych

W zależności od zastosowania, ONU może obsłużyć usługi telefoniczne na łączu analogowym (POTS), połączenia Ethernet, połączenia *RF video overlay* i, w przypadku FTTB, szereg połączeń VDSL2 lub Ethernet, Wi-Fi 2,4/5 GHz i G.hn (G.9960).

ONU dla domów wielorodzinnych może być również rozwiązaniem pośrednim w stosunku do architektury „end to end” w przypadku budynków z istniejącymi sieciami miedzianymi. Ponieważ łącza VDSL2 mogą obecnie osiągać 100Mb/s w transmisji pełnodupleksowej (zał. 30a), daje to możliwość dotarcia do większej liczby klientów bez potrzeby wprowadzania światłowodów do ich mieszkań. Ponadto, tego rodzaju ONU można wykorzystać do zastąpienia starych systemów opartych na linii telefonicznej, w szczególności na terenach odległych. W miarę, jak światłowody staną się dostępne na tych terenach, ma sens przenoszenie starych linii telefonicznych na ONU (z dużą liczbą portów POT), dzięki czemu uzyskuje się możliwość VOIP, tym samym redukując nakłady inwestycyjne i operacyjne. Ulepszenia takie jak wektorowanie, bonding i G.fast (G.9970) mogą jeszcze bardziej zwiększyć oferowaną szerokość pasma przepustowego.





#### 4.1.4 Zarządzanie oknami transmisyjnymi

ITU-T zdefiniował zestaw okien transmisyjnych w celu zapewnienia koegzystencji różnych technologii PON na tym samym włóknie, za pomocą WDM.

Specyfikacje te definiują również charakterystykę blokowania okien transmisyjnych dla filtrów chroniących sygnał nadawany GPON w ONU przed zakłóceniami ze strony nowych widm.

Istnieje jednak potrzeba zdefiniowania pewnych dodatkowych aspektów dotyczących metod zarządzania różnymi oknami transmisyjnymi i ich kontroli w systemie. Aspekty te są opracowywane w ramach zalecenia ITU-T o nazwie G.multi.

## 4.2 Optymalizacja wdrożenia PON

Podczas realizacji sieci PON, infrastruktura aktywna i pasywna współpracują ze sobą. Jest oczywiste, że dokonana we właściwym czasie inwestycja w urządzenia aktywne (związane przede wszystkim ze stroną sieciową) może być zoptymalizowana po dokonaniu wyboru właściwego układu rozdziału pasywnego.

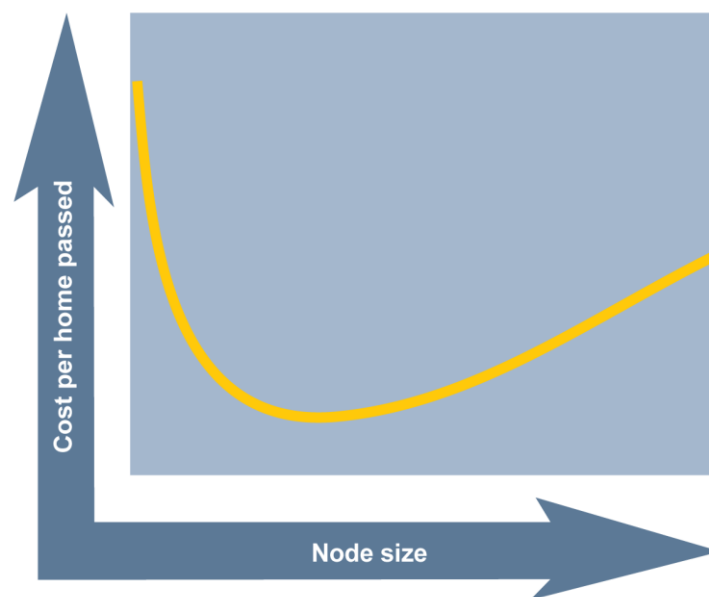
Podczas projektowania sieci należy uwzględnić kilka aspektów:

- optymalne wykorzystanie urządzeń aktywnych – zapewniające (średni) wskaźnik wykorzystania na jeden port PON przekraczający 50%
- elastyczne instalacje zewnętrzne, umożliwiające łatwą adaptację do bieżących i przyszłych potrzeb dystrybucyjnych
- wymagania prawne dotyczące otwartości sieci dostępu nowej generacji (NGA)
- optymalizacja kosztów operacyjnych związanych z interwencjami w terenie

Aspekty te prowadzą do stworzenia szeregu reguł projektowania.

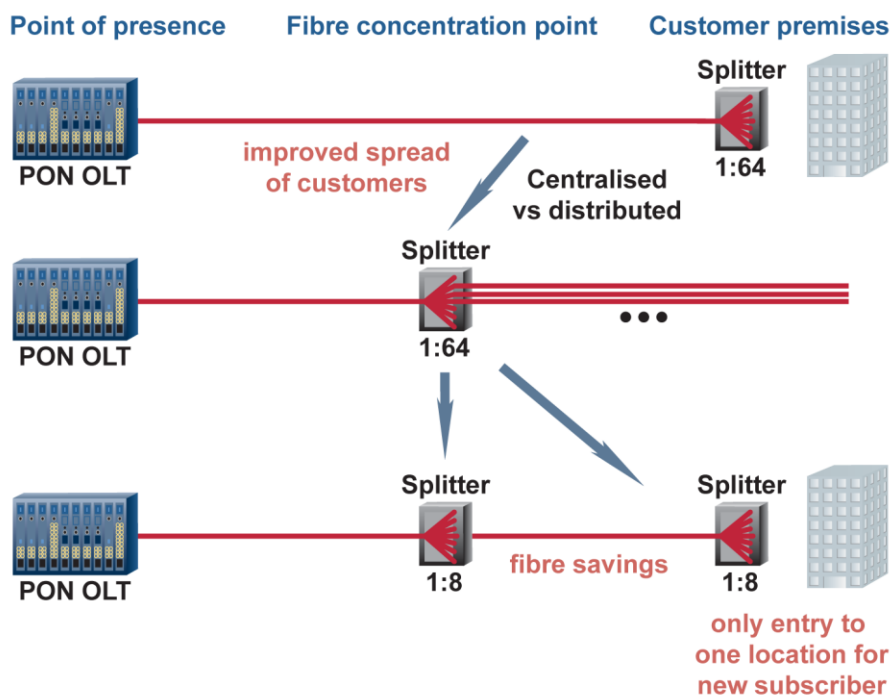
Aby wykorzystać charakterystyczne dla PON wewnętrzne zalety światłowodów, należy zoptymalizować lokalizację sprzęgaczy. W typowym europejskim mieście optymalna wielkość węzła wynosi pomiędzy 500 a 2000 gospodarstw domowych w zasięgu sieci.

Zakładając zastosowanie podziału jednopoziomowego, zwanego również scentralizowanym [*centralized*] należy określić wielkość węzła, tj. liczbę gospodarstw domowych w zasięgu sieci, w którym będą zainstalowane sprzęgacze. Istnieje kompromis pomiędzy kosztem szafek a potrzebą dodatkowych światłowodów, jeżeli szafy są przesuwane wyżej w strukturze sieci i bliżej POP. Jednym z krytycznych czynników w tym procesie optymalizacji jest gęstość zaludnienia na danym obszarze; koszt będzie się wahał w zależności od wielkości węzła zazwyczaj w następujący sposób:



**Rys. 19. Optymalizacja wielkości węzła w PON z rozdziałem jednopoziomowym**

Miasta składają się z wielu domów wielorodzinnych, z których niektóre obejmują kilka mieszkań, a inne setki. Zróżnicowanie to jest ważnym czynnikiem, który należy uwzględnić podczas projektowania sieci w celu ustalenia np. liczby potrzebnych sprzęgaczy do zainstalowania w piwnicach budynków. W niektórych sieciach stosuje się strategię podziału dwupoziomowego, zwaną również podziałem rozproszonym [*distributed splitting*], w ramach której np. sprzęgacze 1:8 umieszczone są w budynkach, a drugi sprzęgacz 1:8 zainstalowany jest na poziomie węzła. Na obszarach z mieszanym udziałem domów wielorodzinnych i jednorodzinnych optymalna wielkość węzła może wzrosnąć (jedno włókno wychodzące z budynku odpowiada teraz do ośmiu gospodarstw domowym w zasięgu sieci). W pewnych przypadkach można nawet zastosować więcej poziomów podziału, zwany podziałem wielopoziomowym [*multi-level splitting*].



*Rys. 20. Podział scentralizowany i rozproszony w PON*

Aby umożliwić udostępnianie infrastruktury w sposób niezależny od technologii i otwarcie światłowodu dla wielu operatorów, ostatni poziom sprzęgaczy musi być umieszczony w punktach elastyczności sieci (FFP), zapewniający, że każdy usługodawca będzie miał możliwie najlepszy dostęp do światłowodów poszczególnych abonentów.

W przypadku realizacji wielu włókien w jednym gospodarstwie domowym, niektóre włókna mogą być dedykowane do konkretnego usługodawcy, a zatem nie być dostępne dla innych (dedykowane włókna mogą być spajane/połączone na stałe, a nie łączone za pomocą złączy rozłącznych).

Jeżeli realizowana jest instalacja zewnętrzna punkt-punkt na poziomie POP, usługodawca PON instaluje wszystkie sprzęgacze w POP. Spowoduje to zmniejszenie intensywności wykorzystania światłowodu transportowego w instalacji zewnętrznej. Dodatkową wadą może być położenie POP bliżej użytkownika końcowego (mniej gospodarstw domowych w zasięgu sieci) ponieważ każde gospodarstwo domowe będzie miało jeden lub więcej włókien podłączonych do POP. Usługodawca PON może się nawet zdecydować na zagregowanie liczby POP typu punkt-punkt i zainstalować swoje urządzenia aktywne (OLT) tylko w jednym z tym POP-ów, a inne przekształcić w POP-y pasywne (sprzęgacz).

### 4.3 Ethernet punkt-punkt

W przypadku architektury Ethernet dostępne są dwie opcje: jedna obejmuje dedykowane włókno na abonenta pomiędzy przełącznikiem Ethernet położonym w POP a gospodarstwem domowym; druga – jedno włókno do punktu agregacji i dedykowane włókno z tego miejsca dalej. Realizacja pierwszej opcji jest łatwa i przejrzysta, natomiast druga ogranicza wykorzystanie włókna w pętli dostępowej i częściej jest stosowana w rozwiązaniach typu FTTB.

### 4.3.1 Rozwiązania Ethernet punkt-punkt

Z punktu widzenia budowlanego, topologie instalacji kablowych w przypadku realizacji światłowodowych typu punkt-punkt mogą się wydawać identyczne z instalacjami w PON. Jednakże liczba włókien/kabli pomiędzy POP a FFP może być znacznie mniejsza w przypadku wdrożenia PON.

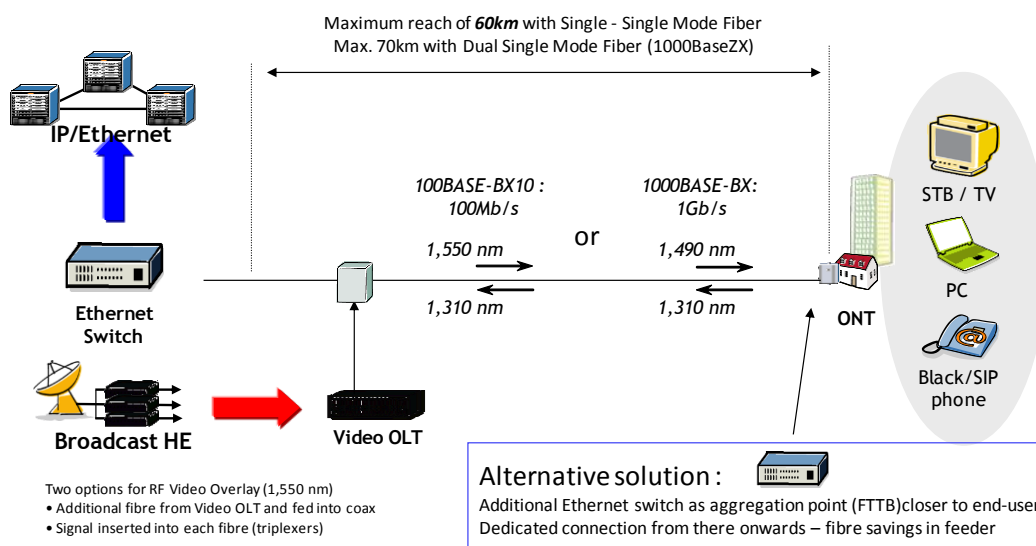
Z POP, poszczególne włókna transportowe do abonenta połączone są z punktem rozdzielczym w terenie. Jest to często punkt elastyczności sieci, który umieszczony jest albo w mufie podziemnej albo w szafce ulicznej. Z tego punktu rozdzielczego włókna są prowadzone do gospodarstw domowych.

Duża liczba włókien transportowych nie stanowi wielkiej przeszkody z punktu widzenia budowlanego. Jednak ze względu na to, że gęstość włókna w kablu transportowym i przyłączeniowym jest bardzo różna, możliwe jest, że wykorzystane zostaną różnorodne techniki okablowania w tych dwóch częściach sieci.

Realizacja może być ułatwiona przez istniejące rury kablowe, jak również inne systemy służebności, takie jak kanały ściekowe i tunele.

Światłowody wchodzące do POP uchodzą do przełącznicy światłowodowej (ODF), która jest elastycznym rozwiązaniem do zarządzania włókna umożliwiającym podłączenie abonentów do każdego portu na przełącznikach POP.

Aby powadzić sobie z dużą liczbą światłowodów w POP i ograniczoną przestrzenią, gęstość włókien musi być bardzo duża. Istnieją już na rynku przykłady ODF wysokiej gęstości, które zawierają zakończenia i połączenia z ponad 2300 światłowodami w pojedynczej szafie. Pozyskiwanie abonentów do FTTH wymaga czasu, sieć rzadko jest wykorzystana w 100%. Zarządzanie światłowodami umożliwia zwiększenie liczby aktywnych portów w synchronizacji z aktywacją abonentów. Pozwala to ograniczyć liczbę niewykorzystanych aktywnych elementów sieciowych w POP.



Rys. 21. Schemat sieci Ethernet

### 4.3.2 Technologie transmisji

W uznaniu potrzeby istnienia Ethernetu w sieciach dostępowych, w 2001 r. zawiązano grupę roboczą IEEE 802.3ah Ethernet in the First Mile (EFM) Working Group. Oprócz opracowania norm dla Ethernetu przez kable miedziane i EPON, Grupa opracowała dwie normy dotyczące Fast Ethernet i Gigabit Ethernet przez światłowód jednomodowy.

Norma EFM została zatwierdzona i opublikowana w 2004 r. i włączona do normy podstawowej IEEE 802.3 w 2005 r.

Specyfikacje przesyłu światłowodem jednomodowym zwane są 100Base-BX10 w przypadku Fast Ethernet i 1000Base-BX10 w przypadku Gigabit Ethernet. Obydwie specyfikacje są zdefiniowane dla nominalnego maksymalnego zasięgu 10 km.

Aby oddzielić kierunki na tym samym światłowodzie stosuje się duplexowanie falowe (*wavelength-division duplexing*). Dla każdej z klas przepływności zdefiniowano dwie specyfikacje transceiverów: jedną od abonenta do POP, a drugą od POP do abonenta. W tabeli przedstawiono podstawowe parametry optyczne dla tych specyfikacji:

	100Base-BX10-D	100Base-BX10-U	1000Base-BX10-D	1000Base-BX10-U
Kierunek przesyłu	Do abonenta	Od abonenta	Do abonenta	Od abonenta
Znamionowe okno transmisyjne	1550nm	1310nm	1490nm	1310nm
Minimalny zasięg	0,5 m do 10 km			
Minimalna tłumienność wtrąceniowa kanału	5,5 dB	6,0 dB	5,5 dB	6,0 dB

Aby obsłużyć sytuacje nietypowe, rynek oferuje transceivery optyczne o niestandardowej charakterystyce. Na przykład niektóre mają większy zasięg, dzięki czemu mogą być stosowane na obszarach wiejskich.

Ponieważ znamionowe okno transmisyjne 100BASE-BX-D (1550nm) jest taka samo, jak standardowa długość fali dla nakładki wideo w systemach PON, istnieją transceivery zdolne do transmisji na fali długości 1490 nm. Umożliwia to użycie gotowych urządzeń do przesyłu wideo w celu wprowadzenia dodatkowego sygnału na fali o długości 1550 nm w celu przeniesienia sygnału RF video overlay na tym samym włóknie.

W celu uzyskania największego zasięgu i mocy, rynek oferuje już 1000-BX20, -BX40 lub -BX60. Coraz szerzej dostępne są również interfejsy 10GE.

Jeżeli przyjmie się te podejścia do sieci dostępowych P2MP i P2P, ma sens wprowadzenie na te same szafy OLT kaset liniowych GPON, XG-PON i NG-PON2, jak również Ethernet P2P i 10G Ethernet P2P. Dzięki temu usługodawcy uzyskają elastyczność w zaspokajaniu potrzeb swoich klientów, a jednocześnie mogą skonsolidować wykorzystanie centrali.



### 4.3.3 Rozwiązania wideo oparte na RF

Rozwiązania wideo oparte na IP przewyższają proste rozwiązania nadawcze, dlatego stają się niezbędnym elementem każdej oferty triple-play. Nakładki do sygnału wizyjnego nadawanego na częstotliwościach radiowych są często niezbędne do obsługi istniejących dekodników TV w mieszkaniach abonentów. W architekturze PON uzyskuje się to zwykle dzięki doprowadzeniu sygnału wizyjnego RF zgodnego z rozwiązaniami stosowanymi w telewizji kablowej na dodatkowej długości fali 1550nm. Instalacje światłowodowe punkt-punkt oferują dwa różne podejścia zależne od danej instalacji światłowodowej.

Pierwsze podejście polega na poprowadzeniu do abonenta dodatkowego włókna optycznego zrealizowanego w strukturze drzewa, które przesyła sygnał wizyjny RF do wewnątrzbudynkowej sieci dystrybucyjnej na kablu koncentrycznym. W tej opcji stopień podziału (np.  $\geq 128$ ) przewyższa stopień zwykle stosowany w PON, dzięki czemu minimalizuje się liczbę dodatkowych włókien transportowych.

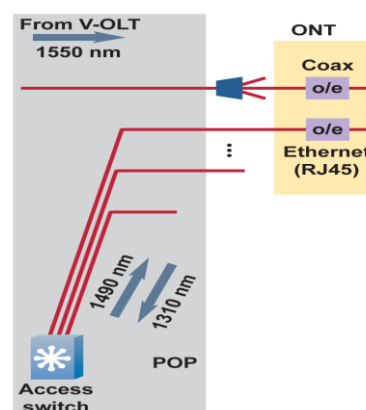
Drugie podejście polega na tym, że sygnał wizyjny wprowadzany jest do każdego włókna punkt-punkt na długości fali 1550nm. Sygnał wizyjny RF przenoszony na dedykowanej długości fali z OLT wideo jest najpierw dzielony na wiele identycznych strumieni za pomocą sprzęgacza światłowodowego, następnie doprowadzany do poszczególnych włókien punkt-punkt za pomocą triplekserów. Okna transmisyjne oddzielane są po stronie abonenta, a sygnał 1550nm jest konwertowany na sygnał RF do dystrybucji w sieci koncentrycznej wraz z sygnałem 1490nm obsługiwanym w porcie Ethernet.

W obu przypadkach urządzenia CPE/ONU składają się z dwóch odrębnych elementów:

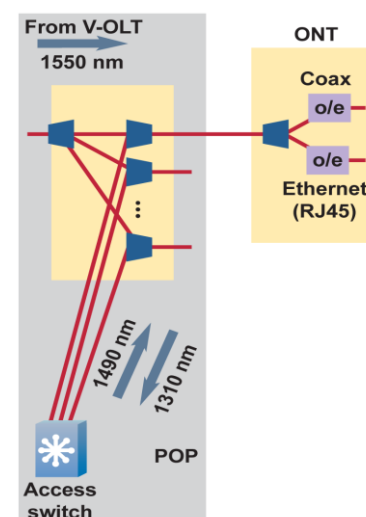
- konwertera odbierającego sygnał RF na długości 1550nm i konwertującego ten sygnał na sygnał elektryczny do instalacji koncentrycznej
- optycznego interfejsu Ethernet z przełącznikiem Ethernet lub routerem

W przypadku włókna pojedynczego sygnały są rozdzielane przez triplekser wbudowany w CPE, natomiast w przypadku poprowadzenia dwóch włókien są już dostępne indywidualne interfejsy optyczne dla każdego włókna.

Wypracowywane są nowe podejścia technologiczne mające na celu zwiększenie zasięgu i poprawę jakości sygnału RF Overlay. Jednym z nich jest wprowadzenie wzmacniaczy RF Overlay i multipleksów wdm do kasety OLT, dzięki czemu ogranicza się straty energii i nakłady inwestycyjne, a tym samym cały system może być zintegrowany w ramach tego samego Systemu Zarządzania Siecią.



**Rys. 22. RF video overlay z użyciem drugiego włókna u abonenta, zrealizowany w strukturze drzewa.**

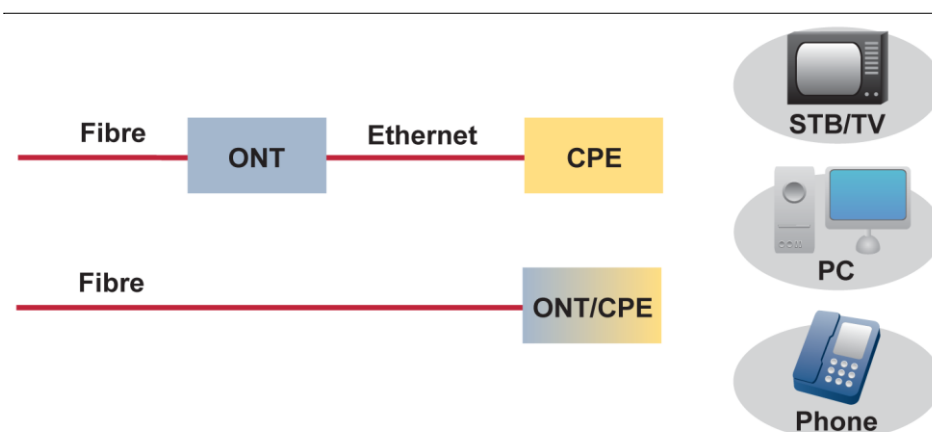


**Rys. 23. Wprowadzenie sygnału wizyjnego RF do światłowodów punkt-punkt.**

## 4.4 Urządzenia abonenckie

Na wczesnym etapie rozwoju sieci szerokopasmowych, połączenie komputera w gospodarstwie domowym z Internetem realizowane były przez proste i tanie modemy danych. Dalszym usprawnieniem były routery i łączność bezprzewodowa (Wi-Fi). Obecnie coraz większa obecność urządzeń cyfrowych w domu, takich jak między innymi komputery, kamery cyfrowe, odtwarzacze DVD, konsole gier i palmtopy, nakłada większe wymagania na infrastrukturę użytkownika domowego. Nastaly czasy „cyfrowego domu”.

W otoczeniu domowym dostępne są dwie opcje: końcówka sieci optycznej (ONT), czyli terminal światłowodowy; oraz urządzenia w pomieszczeniach abonenta (CPE) zapewniające niezbędne funkcje sieciowe i usługowe. Opcje te mogą być zintegrowane lub oddzielone w zależności od punktu demarkacji pomiędzy usługodawcą a użytkownikiem końcowym.



*Rys. 24. Możliwe konfiguracje ONT i CPE*

Wraz z powstaniem bardziej zaawansowanych technologii i urządzeń pojawiła się koncepcja bramy domowej (residential gateway, RG). CPE łączy w sobie szeroki zakres funkcji sieciowych, w tym opcji i usług takich jak zakończenie sieci optycznej, routing, sieć LAN bezprzewodowa (Wi-Fi), translacja adresów sieciowych (NAT), jak również zabezpieczenia i zapory. Technologie te są również zdolne do obsługi zdolności niezbędnych do wsparcia usług VoIP i IPTV, łączność USB dla drukarek sieciowych, zabezpieczeń telemetrycznych, centrów przechowywania danych oraz wymagań jakości usług. Niektóre ONT zapewniają również interfejsy nadające się do domowej łączności sieciowej przez kable zasilania w energię elektryczną, linie telefoniczne i kable koncentryczne.

W celu wdrożenia CPE, usługodawcy mogą wybrać spośród dwóch scenariuszy:

- **CPE jako linia demarkacyjna z abonentem.** CPE staje się integralnym elementem oferty usługodawcy, kończącym się na linii przychodzącej i zapewniającym usługi dla abonenta. Usługodawca jest właścicielem CPE i zajmuje się jego utrzymaniem, kontrolując od początku do końca świadczenie usług obejmujące dostarczanie sygnału do końcówki (ONT), integralność przesyłu oraz świadczenie usług. Abonent podłącza swoją sieć domową i urządzenia domowe bezpośrednio do interfejsów CPE po swojej stronie.
- **Interfejs sieciowy jako linia demarkacyjna pomiędzy abonentem a usługodawcą.** ONT zapewniona jest przez usługodawcę, a port lub porty Ethernet ONT wyznaczają linię demarkacyjną z abonentem łączącym swoją sieć domową lub urządzenia specyficzne dla usługi (przetwornik dźwięku, dekodery wideo itd.) z ONT.

Częstą sytuacją, w której wykorzystywany jest ten scenariusz jest korzystanie z sieci o otwartym dostępie dla różnych usługodawców oferujących łączność i usługi. Dostawca łączności odpowiedzialny jest za dostęp i końcówkę linii optycznej, ale nie za świadczenie usług takich jak połączenia głosowe (telefon) czy wideo. CPE specyficzne dla usługi są udostępniane przez poszczególnych usługodawców. Urządzenia mogą być dostarczane do abonenta w celu samodzielnej instalacji albo rozprowadzane w kanałach sprzedaży detalicznej.

Aby przyczynić się do rozwiewania obaw dotyczących zarządzania gospodarstwami domowymi i urządzeniami, Broadband Forum (dawniej DSL Forum) stworzyło standard interfejsu zarządzania TR-069, który jest obecnie dostępny w większości nowoczesnych bram domowych.

Znormalizowana, otwarta łączność domowa tworzy nowy krajobraz konkurencji, w którym operatorzy sieciowi, dostawcy Internetu, dostawcy urządzeń i usług informatycznych i producenci elektroniki użytkowej konkurują między sobą o pozyskanie jak największej liczby abonentów.

## 4.5 Rozwój technologii w przyszłości

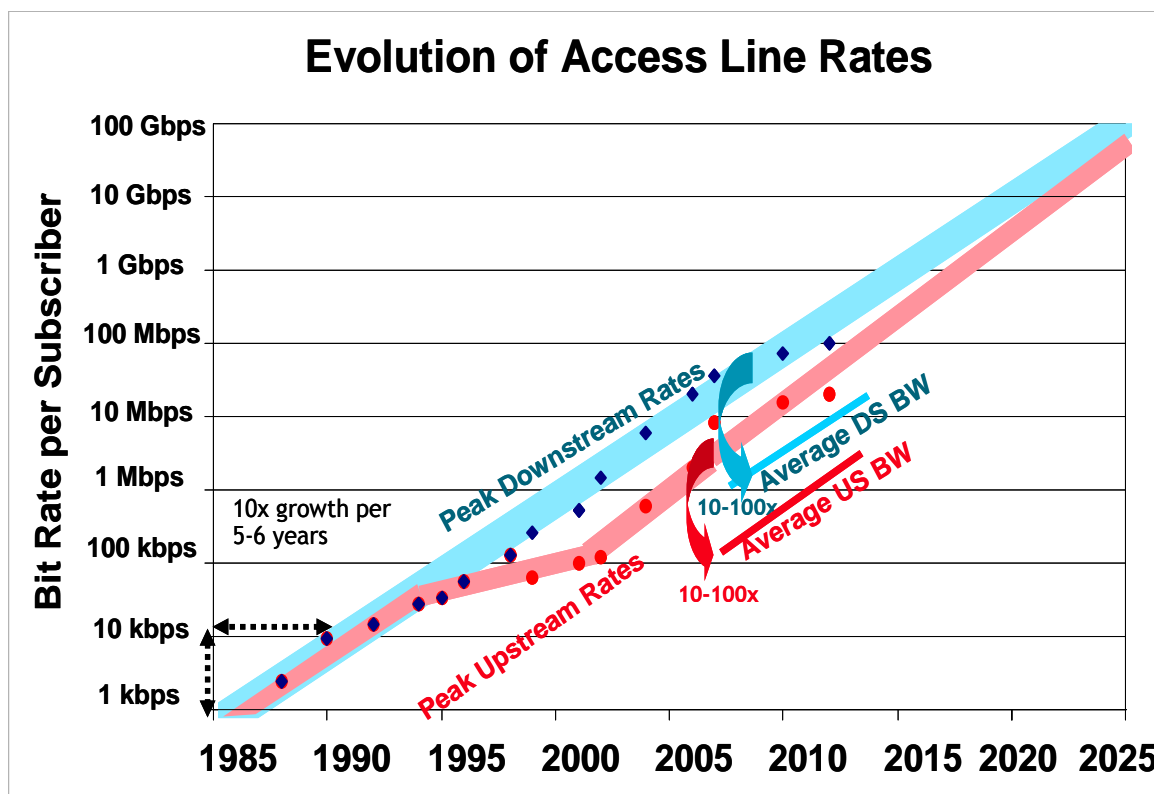
### 4.5.1 Tendencje w zakresie szerokości pasma przepustowego w zastosowaniach domowych

Oczekuje się, że wymagania dotyczące szerokości pasma przepustowego w sieci dostępowej i szkieletowej będą nadal rosły w tempie wykładniczym, co oznacza, że ruch szczytowy i średnie szerokości pasma przepustowego będą nieuchronnie wzrastały, a wymagania co do przepływności dostępowej wkrótce przekroczą 100 Mb/s.

Spodziewana jest również konwergencja z urządzeniami mobilnymi. W związku z tym, że coraz więcej danych przesyłanych jest pomiędzy użytkownikami mobilnymi (smartfony, tablety itd.), dostęp domowy może stać się elementem sieci *backhaul*, odciążając komórkową sieć *backhaul*. Mechanizmy uwierzytelniania EAP umożliwią użytkownikowi płynne przełączanie się pomiędzy sieciami.

### 4.5.2 Tendencje w zakresie szerokości pasma przepustowego w zastosowaniach biznesowych i mobilnych

4G i przyszłe technologie mobilne będą pochłaniały więcej zasobów sieciowych pod względem zasięgu, dostępności pasma przepustowego i symetrii, jitteru i opóźności. Problemy te mogą być rozwiązane wyłącznie przez topologię opartą w całości na światłowodach.



*Rys. 25. Ewolucja prędkości linii dostępowych*

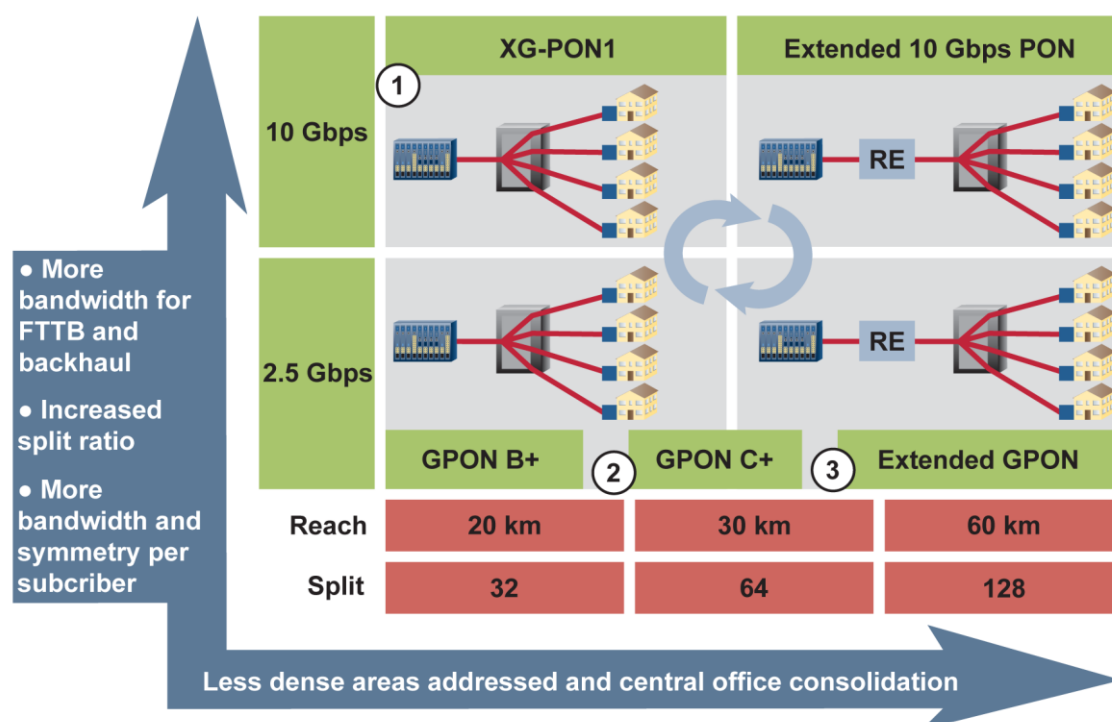
#### 4.5.3 Pasywne sieci optyczne

##### Informacje o normach ITU

Budżet mocy optycznej 28 dB w technologii GPON z użyciem optyki klasy B+ umożliwia zasięg 30 km, jeżeli stopień podziału ograniczony jest do 1:16. Optyka nowej klasy C+ dodaje kolejne 4 dB budżetu mocy, dając dodatkowe możliwości w postaci większego stopnia podziału mocy sygnału lub zasięgu. Rozszerzenia GPON zwiększają dalej zdolności do 60 km zasięgu lub 128 użytkowników końcowych.

Choć uważa się, że GPON oferuje wystarczającą szerokość pasma przepustowego na nadchodzące lata, znormalizowano już XG-PON.

XG-PON jest naturalnym przedłużeniem technologii PON, pozwalając zwiększyć szerokość pasma przepustowego czterokrotnie do 10 Gb/s, przy wzroście zasięgu z 20 do 60 km i podziale z 64 do 128 użytkowników. Należy zauważyć, że maksymalne wartości podziału i zasięgu nie są uzyskiwane jednocześnie. Najważniejsze jest to, że te ewolucyjne technologie pozwalają uniknąć potrzeby znacznych modernizacji istniejących instalacji zewnętrznych.



*Rys. 26. Ewolucja norm ITU dotyczących PON*

#### Informacje o normach IEEE

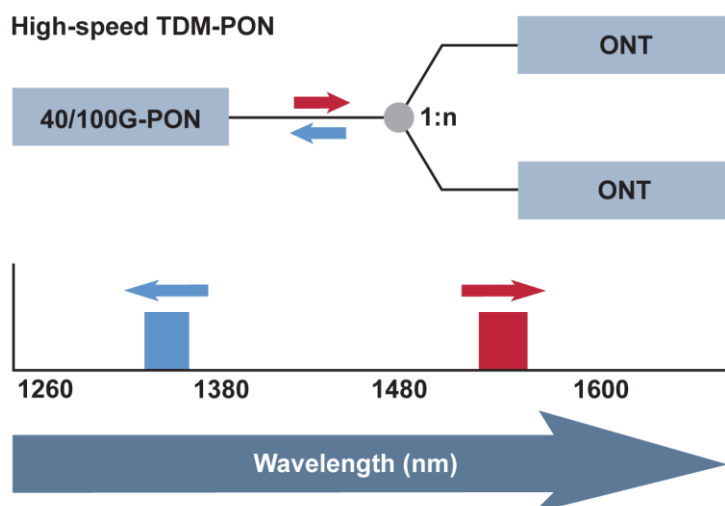
Norma 10G-EPON (10-Gigabit Ethernet PON) została zatwierdzona we wrześniu 2009 r. pod nazwą 802.3av. Najnowsza norma oferuje symetryczną przepływność 10Gb/s i jest wstecznie zgodna z 802.3ah EPON. W 10G-EPON stosuje się odrębne okna transmisyjne 10Gb/s i 1Gb/s w kierunku do abonenta i nadal będzie się stosować pojedyncze okno transmisyjne dla zarówno 10Gb/s, jak i 1Gb/s od abonenta z separacją TDMA danych abonentów. Wynikiem prac Grupy Zadaniowej 802.3av jest norma 802.3av, która zostanie włączona do zbioru norm IEEE 802.3.

#### 4.5.4 Technologie PON nowej generacji

Kolejnym etapem po XG-PON może być zwiększenie przepływności linii światłowodowej do 40 lub nawet 100Gb/s.

Jak już wspomniano, do 2015 r. ITU/FSAN przygotuje nową normę dla NG-PON2. Dzięki temu zapewnione będzie długoterminowe wsparcie technologiczne dla operatorów w pokonywaniu nowych wyzwań: zwiększenie szerokości pasma przepustowego dla firm i backhaułu komórkowego.

Nowa norma pozostawi miejsce dla koegzystencji różnych długości fal, jak również zwiększenia zasięgu i stopnia podziału. Do wykorzystania w tym standardzie rozważa się kilka technologii, choć najbardziej atrakcyjna wydaje się być TDWDM.



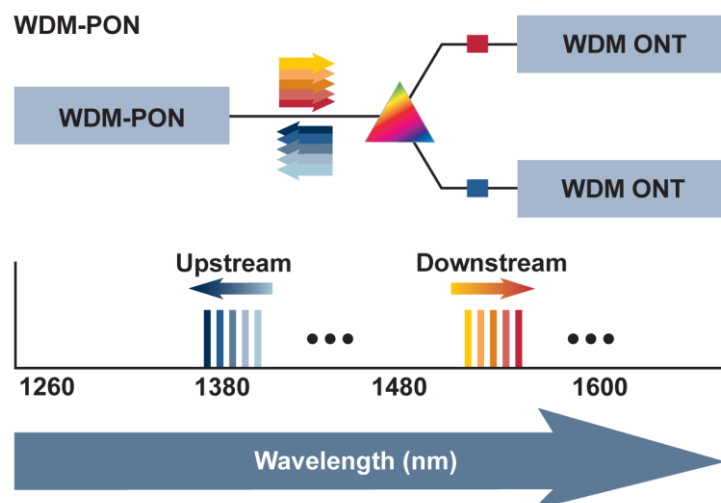
*Rys. 27. Plan okien transmisyjnych dla TDM-PON*

Alternatywą obecną już w wczesnych wdrożeniach jest stosowanie techniki multipleksacji widmowej (WDM) umożliwiającej przesył fal o różnej długości przez jedno włókno. WDM-PON umożliwia połączenie najlepszych elementów – fizycznej sieci PON (wspólne korzystanie z włókien transportowych) z logiczną łącznością punkt-punkt (jedna długość fali na jednego użytkownika).

Architektura ta zapewnia dedykowaną, przejrzystą łączność na zasadzie jednej długości fali na jednego abonenta. Rezultatem jest zapewnienie każdemu abonentowi bardzo wysokiej, bezkonfliktowej przepływności, a jednocześnie takiego samego poziomu bezpieczeństwa, jak światłowód dedykowany. W tej architekturze, zamiast sprzęgaczy stosuje się w terenie filtry częstotliwościowe, aby skierować każdą długość fali z włókna zasilającego do dedykowanego światłowodu abonenckiego. W rezultacie istnieje logiczna ścieżka modernizacji z bieżących realizacji TDM-PON w stronę WDM-PON na poziomie infrastruktury fizycznej.

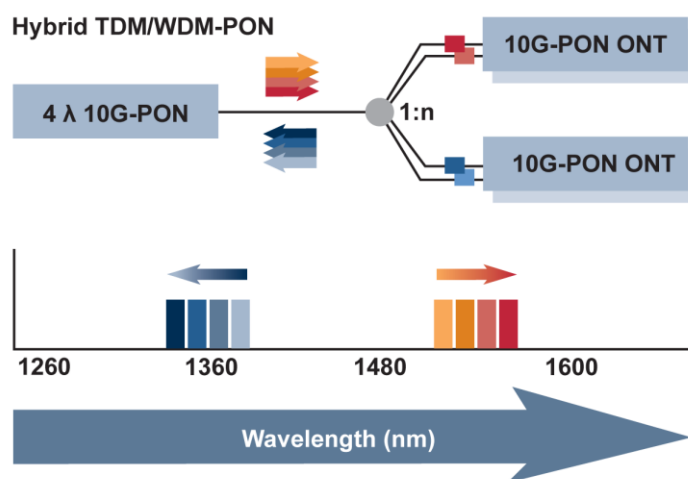
Podstawowym wyzwaniem dla WDM-PON jest zapewnienie różnych okien transmisyjnych w kierunku od abonenta, a jednocześnie posiadanie jednego rodzaju ONU (koncepcja „bezbarnego” ONU). Dostawcy usług telekomunikacyjnych uważają za niewykonalne zarządzanie różnymi ONU na jednej długości fali, a lasery przestrajane są, jak na razie, zbyt drogie. Technologie potrzebne do realizacji WDM-PON są już dostępne, jednak wymagają zmniejszenia kosztów, jeżeli mają nadawać się do masowego wdrożenia. Aby zapewnić minimalny wpływ procesu ewolucji na usługi dla użytkowników końcowych i obecne systemy eksploatacji i konserwacji, niezbędna jest aprowizacja [*provisioning*] i inwentaryzacja, aby ta nowa technologia przyjęła się.





*Rys. 28. Plan okien transmisyjnych dla WDM-PON*

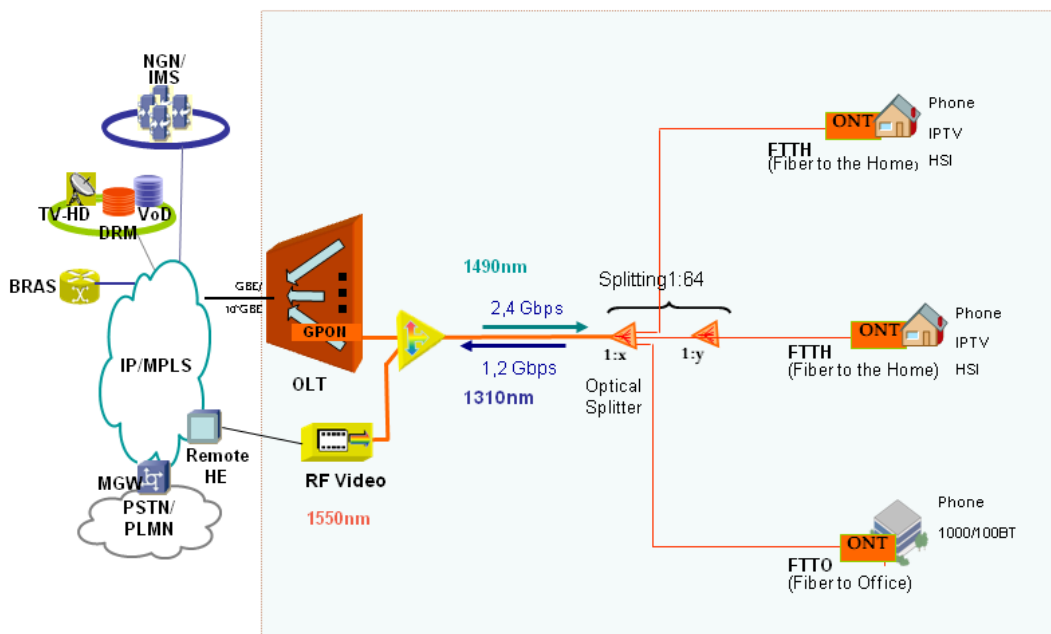
Trzecią możliwością jest umieszczenie kilku sygnałów TDM-PON na jednym włóknie, zazwyczaj jako połączenie czterech systemów XG-PON pracujących na 10 Gb/s każdy. Rozwiązanie to zwane jest hybrydowym TDM-WDM-PON.



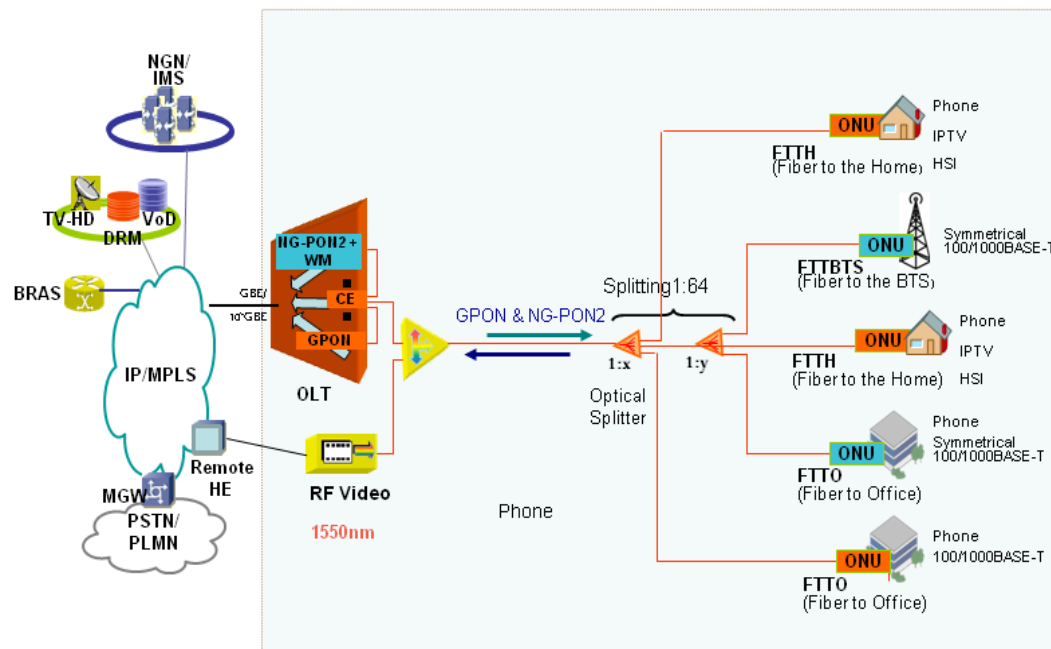
*Rys. 29. Plan okien transmisyjnych dla hybrydy TDM-WDM-PON*

Po 2015 r. oczekuje się nasilonego rozwoju zdolności przesyłowych dzięki wykorzystaniu większej liczby okien transmisyjnych. Umożliwi to również uwolnienie okien transmisyjnych i wzrost zasięgu, jak również tańsze ONU.

Schemat poniżej przedstawia typową konfigurację bieżącej sieci GPON:



Rozwój w oparciu o sieć GPON wymaga odpowiedniego umieszczenia elementów koegzystencji (CE), jak również zapewnienie, by obecne ONU GPON wyposażone były w filtry WDM zgodnie z opisem w ITU-T G.984.5. Aby to zrobić, wystarczy po prostu zainstalować element NG-PON2 do OLT i skierować włókna do Elementu Koegzystencji (CE). Jest już możliwe świadczenie użytkownikom końcowym usług szerokopasmowych nowej generacji.



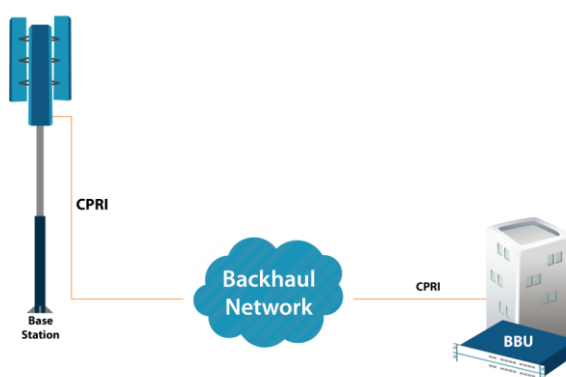
NG-PON2, przy dostępności większej liczby długości fal, sprawia, że wykonalne staje się wdrożenie logicznych połączeń punkt-punkt. Uważa się obecnie, że są to WDM-PON.

Poza NG-PON2, oczekuje się, że technologia pójdzie w kierunku konwergencji WDM/TDM GPON pracującej z szybkością 100 Gb/s i osiągającej zasięg ponad 100 km przy stopniu podziału 1:1024.

## 4.5.5 Zastosowania technologii FTTH nowej generacji

### 4.5.5.1 CPRI backhaul

Ponieważ nowe technologie FTTH obsługują koncepcję dedykowanych długości fal dodatkowych (logiczne połączenia P2P), można wykorzystać CPRI backhauling na całym odcinku od centrali po antenę z użyciem dedykowanej długości fali na każdą lokalizację komórki. Umożliwi to bardzo niskie (<1us) i obniżone zakłócenia jitter i straty pakietów.



Ponadto specyfikacje *common public radio interface* (CPRI) są znormalizowane w taki sposób, aby zapewnić usługodawcom ekonomiczne rozwiązanie, wspierając nowe bezprzewodowe topologie szerokopasmowe. Nakłady inwestycyjne i operacyjne zostaną zredukowane dzięki:

- mniejszej liczbie wizyt w lokalizacji komórki (aktualizacje można przeprowadzać centralnie)
- redukcji kosztów lokalizacji (najmu) i robót budowlano-montażowych związanych z budową nowych lokalizacji
- eliminacji ogrzewania i schładzania obudowy
- zwiększeniu bezpieczeństwa (brak skrzynek, do których można się włamać)
- większej sprawności X2

### 4.5.5.2 Sieci małokomórkowe

Zapotrzebowanie na szerokość pasma przepustowego w sieciach komórkowych rośnie, do czego przyczynia się rozpowszechnianie się nowych urządzeń mobilnych, takich jak smartfony i tablety. Nowe wymagania łączności maszyna-maszyna, w tym sieci czujnikowe i połączone z Internetem platformy samochodowe zwiększą obciążenie dzisiejszych sieci komórkowych.

Sieci małokomórkowe oferują dodatkowe punkty końcowe, są położone głębiej w sieci i bliżej abonentów. Rodzi to potrzebę aktywacji, monitorowania, optymalizacji i zapewnienia jakości sieci backhaul. Backhaul małokomórkowy dodaje kolejne warstwy agregacji sieci backhaul, tworząc topologie gwiazdziste (*hub-and-spoke*).

Ewolucja w stronę architektury małokomórkowej na nowo określi zapotrzebowanie na backhaul w sieciach komórkowych („włosowatość” małych komórek). Modernizacja zdolności backhaul może dać operatorom atrakcyjną okazję do współdzielenia inwestycji stacjonarnych i komórkowych: w szczególności rozszerzenie zasięgu FTTH przy jednoczesnym zaspokojeniu potrzeb backhaul. NG-PON2, która daje dodatkowe korzyści technologiczne, jest oczywistym wyborem do zaspokojenia potrzeb nowych elementów tej sieci.

#### 4.5.6 Podsumowanie

W podsumowaniu należy stwierdzić, że tendencjami na przyszłość są współdzielone platformy i sieci, symetryczne tory szerokopasmowe, duże pojemności i ujednolicone zarządzanie siecią. Choć XG-PON jest naturalnym przedłużeniem sieci GPON, potrzeba osiągnięcia większych szerokości pasma przepustowego doprowadzi operatorów do bezpośredniej migracji na NG-PON2. Jednakże do wykonania pozostaje jeszcze ogromna praca związana z kosztem i wydajnością komponentów, szczególnie przestrajanych odbiorników i przestrajanych nadajników ONU. Ponadto, zapewnienie, by proces ewolucji miał minimalny wpływ na usługi dla użytkowników końcowych oraz na obecne systemy eksploatacji i konserwacji jest kluczem do sukcesu przejścia na NG-PON2.

# 5 Współdzielenie infrastruktury

---

Ze względu na wysoki koszt realizacji FTTH, wśród zainteresowanych stron toczy się ożywiona dyskusja na temat współpracy w sprawie sieci światłowodowych i infrastruktury. Ponadto organy nadzoru z uwagą obserwują aktywność w tej dziedzinie, starając się pobudzać konkurencyjność otoczenia, a tym samym uniknięcie monopolu.

Obecnie na rynku funkcjonują różne „warstwowe” modele biznesowe FTTH; utorowało to drogę do zaangażowania w tym sektorze nowych operatorów telekomunikacyjnych. Wśród nich są przedsiębiorstwa komunalne, samorządy, deweloperzy osiedli mieszkaniowych i rządy centralne. Każdy z tych podmiotów poszukuje optymalnych sposobów na doprowadzenie światłowodów do gospodarstw domowych.

Więcej informacji na ten temat znajduje się w opracowaniu *FTTH Business Guide*, dostępnym na stronie internetowej FTTH Council Europe.

## 5.1 Modele biznesowe

Poniżej wymieniono cztery podstawowe modele biznesowe funkcjonujące obecnie na rynku:

1. **Integracja pionowa** – usługi abonenckie świadczy bezpośrednio jeden duży operator, taki jak właściciel infrastruktury, operator sieci, usługodawca, jak również dostawca treści; podmiot ten obsługuje jednocześnie warstwy usług pasywnych i aktywnych. Ruch odbywa się na sieci własnej, a inni dostawcy usług telekomunikacyjnych mogą korzystać z infrastruktury pasywnej (na zasadzie wyłączności lub hurtowej).
2. **Współdzielenie pasywne** – umożliwia właścicielowi infrastruktury wdrożenie pasywnego dostępu do infrastruktury pasywnej, umożliwiając każdemu operatorowi obsługę urządzeń aktywnych i świadczenie usług na rzecz abonenta.
3. **Współdzielenie aktywne** – umożliwia dostęp innym usługodawcom, którzy odpowiadają za utrzymanie bazy abonentów.
4. **Pełna separacja** – w niektórych krajach funkcjonuje model pełnej separacji właściciela infrastruktury, operatora sieci i szeregu usługodawców.

## 5.2 Współdzielenie infrastruktury

Każdy z powyższych modeli zakłada współdzielenie infrastruktury. Istnieją cztery sposoby współdzielenia infrastruktury, sięgając od pasywnych po aktywne komponenty sieci:

1. **Sieć kanałowa** – wielu usługodawców detalicznych lub hurtowych może wspólnie korzystać z sieci kanałów na rozległym obszarze, w których mogą przeciągać lub wdmuchiwać kable światłowodowe. Następnie konkurują ze sobą, oferując własne usługi.
2. **Światłowód** – wielu usługodawców detalicznych lub hurtowych może korzystać z sieci FTTH, łącząc się z nią w warstwie fizycznej (światłowód „ciemny”) i konkurując ze sobą udostępnianiem usług.

Dostęp do światłowodu może być udzielany w różnych punktach sieci: w centrali lub POP lub w określonym miejscu pomiędzy budynkiem a centralą, lub też w piwnicy domu wielorodzinnego.

Punkt ten zwany jest punktem elastyczności sieci (FFP) i jest miejscem, w którym różni usługodawcy uzyskują dostęp do abonentów.

Usługodawca PON może zainstalować w tym FFP sprzęgacze i kierować ruch przez mniejszą liczbę włókien transportowych do POP.

Usługodawca P2P może na tych FFP-ach zainstalować przełączniki Ethernet i kierować ruch przez mniejszą liczbę włókien transportowych do POP albo zainstalować połączenie krosowe i podłączyć swoich abonentów do POP z użyciem liczby włókien równej liczbie abonentów.

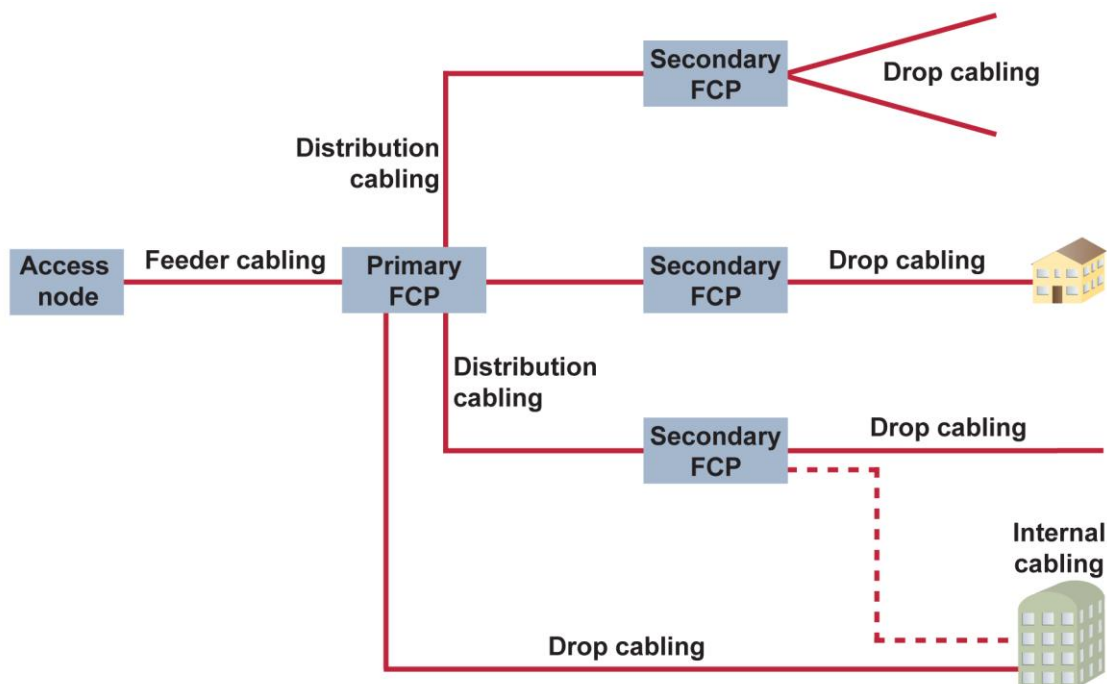
3. **Okno transmisyjne** – wielu usługodawców detalicznych lub hurtowych może korzystać z sieci FTTH, łącząc się z nią w warstwie okna transmisyjnego i konkurując ze sobą udostępnianiem usług.
4. **Pakiet** – wielu usługodawców detalicznych może korzystać z sieci FTTH, łącząc się z nią w warstwie pakietów i konkurując ze sobą udostępnianiem usług.



## 6 Elementy infrastrukturalne sieci

Idąc od Węzła Dostępowego w stronę abonenta, można wymienić następujące podstawowe elementy infrastruktury FTTH:

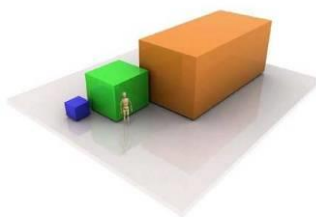
Elementy infrastruktury	Typowa postać fizyczna
Węzeł Dostępowy lub POP (punkt obecności)	Pomieszczenie telekomunikacyjne w budynku lub osobny budynek.
Kabel transportowy	Kable optyczne o dużym przekroju i infrastruktura pomocnicza, np. kanały lub słupy
Główny punkt koncentracji okablowania światłowodowego (FCP)	Łatwo dostępne mufy kablowe, podziemne lub instalowane na słupach, lub zewnętrzna szafka światłowodowa (pasywna, brak urządzeń aktywnych) z dużą pojemnością dystrybucyjną światłowodów.
Okablowanie dystrybucyjne	Kable optyczne średniej wielkości i infrastruktura pomocnicza, np. kanały lub słupy
Pomocniczy punkt koncentracji okablowania światłowodowego (FCP)	Małe mufy kablowe położone w łatwo dostępnych miejscach, podziemne lub instalowane na słupach, lub zewnętrzna szafka na cokole (pasywna, brak urządzeń aktywnych) ze średnią/niską pojemnością dystrybucyjną światłowodów i dużą pojemnością kabli przyłączeniowych.
Okablowanie przyłączeniowe	Kable o małej liczbie włókien lub światłowody wdmuchiwane/ rury kablowe łączące obiekty abonenckie.
Okablowane wewnętrzne „światłowód w domu”	Obejmuje światłowodowe urządzenia wejściowe, wewnętrzne okablowanie światłowodowe i terminal. („światłowód w domu” [Fibre in the Home] przedstawiono w oddzielnej części, zob. rozdział 7 niniejszego kompendium).



Rys. 30. Główne elementy infrastruktury sieci FTTH.

## 6.1 Węzeł dostępowy

Węzeł dostępowy, zwany często punktem obecności (POP), stanowi punkt wyjścia dla traktu włókien optycznych prowadzących do abonenta. Funkcją węzła dostępowego jest zgromadzenie wszystkich aktywnych urządzeń przesyłowych należących do dostawcy usług telekomunikacyjnych, zarządzanie wszystkimi zakończeniami światłowodowymi i obsługa połączeń między włóknami optycznymi a urządzeniami aktywnymi. Rozmiary fizyczne węzła dostępowego uzależnione są od wielkości i pojemności obszaru FTTH pod względem liczby abonentów i przyszłych modernizacji.



Rys. 31. Przykładowe rozmiary węzła dostępowego P2P.

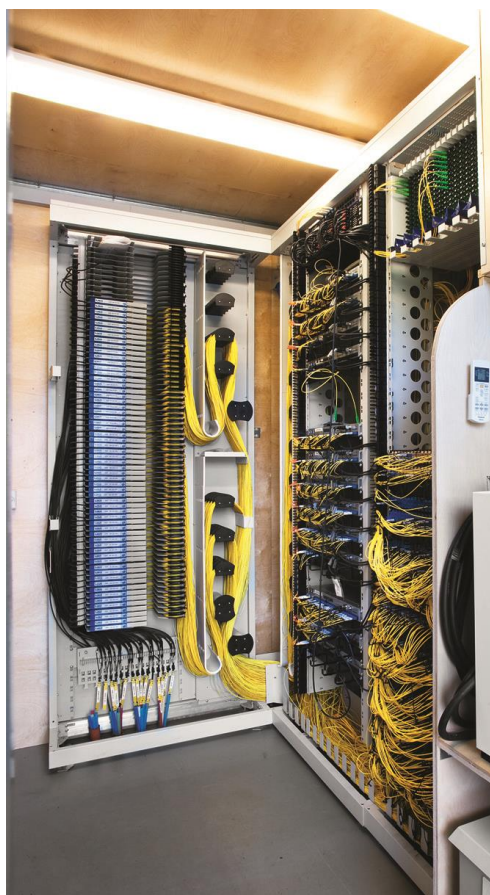
Liczba podłączonych gospodarstw domowych	Typ obiektu dostępowego	
2-400	pomieszczenie w budynku	skrzynka uliczna
400-2000	pomieszczenie w budynku	struktura betonowa
2000 lub więcej	budynek	

Węzeł dostępowy może być umiejscowiony w istniejącym lub w osobnym budynku. Główne kable sieciowe wchodzące do węzła kończą bieg i łączą się z urządzeniami aktywnymi. Kable zasilające również są podłączone do urządzeń aktywnych i wychodzą z budynku do obszaru sieci FTTH. Wszystkie inne elementy fizyczne, takie jak szafy rozdzielcze (ODR) i systemy prowadzenia światłowodów służą do zarządzania włóknami optycznymi w obrębie węzła.

Włókna połączone są ze sobą w za pomocą kabli przejściowych lub bezpośrednio. W węzłach dostępowych FTTH zwykle stosuje się metodę łączenia bezpośredniego ze względów kosztowych, ponieważ potrzebna jest mniejsza liczba elementów składowych zakończeń światłowodowych. Aby zachować maksymalną elastyczność, na przykład w sieci o dostępie otwartym, alternatywą może być metoda krosowa.

Aby uprościć konserwację obwodów światłowodowych oraz uniknąć przypadkowych zakłóceń we wrażliwych obwodach światłowodowych, można rozważyć stosowanie oddzielnych szaf i półek z zakończeniami oraz indywidualne zarządzanie włókniami.

Węzeł dostępowy powinien być sklasyfikowany jako obszar zabezpieczony. Należy rozważyć założenie instalacji przeciwpożarowej i przeciwwłamaniowej, ograniczenie dostępu i ochronę mechaniczną przed wandalizmem. Ponadto, niezbędnymi elementami infrastruktury w budynku węzła dostępowego jest zasilacz bezprzerwowy (UPS) i klimatyzacja.



*Rys. 32. Widok POP wyposażonego w szafy rozdzielcze, przełączniki Ethernet, klimatyzator i UPS.*

## 6.2 Okablowanie transportowe

Kable transportowe prowadzą z węzła dostępowego do głównego punktu koncentracji okablowania światłowodowego (FCP) i mogą mieć zasięg do kilku kilometrów. Liczba włókien w kablu zależy od topologii.

W przypadku realizacji punkt-punkt potrzebne są kable zawierające setki włókien (do 729/864), aby zapewnić pojemność światłowodu niezbędną do obsłużenia obszaru FTTH.

W przypadku wdrożeń PON, stosowanie pasywnych sprzęgaczy światłowodowych umiejscowionych bliżej zewnętrznej części sieci umożliwia stosowanie kabli o mniejszej liczbie włókien w transportowej części sieci.

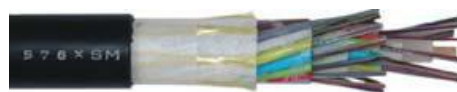
Zaleca się dobór infrastruktury pasywnej zdolnej do obsługi wielu różnych architektur sieciowych na wypadek powstania takiej potrzeby w przyszłości. Ponadto, niezbędne jest uwzględnienie w przypadku kabli zasilających modułowości.

W przypadku sieci podziemnych, potrzebne będą rury kablowe o odpowiednich wymiarach dopasowane do konstrukcji kabla i należy rozważyć poprowadzenie dodatkowych rur kablowych na potrzeby rozbudowy i konserwacji sieci. Jeżeli stosowane są mniejsze rury kablowe pierwotne lub sztywne rury kablowe wtórne, wówczas pojemność transportowa zapewniona jest dzięki stosowaniu kilku mniejszych kabli, na przykład kabli zawierających 48-72 włókien (Ø 6,0 mm) lub zawierających do 288 włókien (Ø 9,4 mm). Jeżeli stosowane są elastyczne tekstylne rury kablowe wtórne, można stosować większe kable. Rura kablowa wtórna elastyczna (zob. również rozdz. 8) zajmuje tylko tyle miejsca, ile zajmują kable, można więc zainstalować większe i/lub więcej kabli, co pozwala zmaksymalizować poziom wykorzystania rury kablowej. Na przykład, w typowej rurze kablowej 40 mm ID HDPE, elastyczne rury wtórne umożliwiają zainstalowanie 3 kabli 16 mm/ 5 kabli 12 mm/10 kabli 8,4 mm, 18 kabli 6 mm.

W przypadku realizacji napowietrznych wymagane będą struktury słupów będące w stanie utrzymać wystarczającą ilość światłowodów. Aby zmniejszyć koszty, można użyć istniejącej infrastruktury.



*Rys. 33. Kabel światłowodowy z dużą liczbą włókien.*



*Rys. 34. Kabel modułowy w systemie rur kablowych*

## 6.3 Główny punkt koncentracji okablowania światłowodowego

Okablowanie transportowe musi zostać w pewnym punkcie rozdzielone na mniejsze kable dystrybucyjne. Uzyskuje się to w pierwszym punkcie elastyczności w sieci FTTH, zwanym punktem koncentracji okablowania światłowodowego (FCP). Na tym etapie włókna kabla transportowego są rozdzielane na mniejsze grupy do dalszego prowadzenia przez wychodzące kable dystrybucyjne.

Uwaga: wszystkie zakończenia światłowodów w sieci FTTH powinny być traktowane jako punkty elastyczności pod względem zapewnienia opcji prowadzenia włókien. Określenie FCP stosowane jest w niniejszym Kompendium jako nazwa ogólna wszystkich tego rodzaju punktów, określanych jako „główne” lub „pośrednie”, w zależności od położenia w strukturze sieci.

Główny FCP powinien być umieszczony jak najbliżej abonentów, aby zredukować długość dalszych kabli dystrybucyjnych, a tym samym zredukować dodatkowe koszty budowy. Zasadniczo, położenie głównego FCP może być uzależnione od innych czynników, takich jak lokalizacja rur kablowych i punktów dostępowych.

Jednostka FCP może przybrać postać podziemnej lub zamontowanej na słupie mufy przeznaczonej do obsługi stosunkowo dużej liczby włókien i spojeń. Ewentualnie można zastosować strukturę szafek ulicznych. W każdym z tych przypadków niezbędne będzie uzyskiwanie dostępu do FCP w celu skonfigurowania lub zmiany konfiguracji albo też przeprowadzania konserwacji i testów włókien przewodzących. Czynności te należy przeprowadzać w miarę możliwości bez zakłócania pracy istniejących obwodów światłowodowych. Choć nie da się tego zagwarantować, istnieją nowsze gotowe rozwiązania, które zawierają fabrycznie wykonane połączenia eliminujące potrzebę dostępu do muf, co umożliwia zmniejszenie liczby wad i błędów w instalacji.

Mufy podziemne lub montowane na słupach są stosunkowo bezpieczne i nie rzucają się w oczy, jednak dostęp bezpośredni do nich może być trudny, ponieważ wymagany jest do tego specjalistyczny sprzęt. W przypadku FCP w postaci szafek ulicznych należy uwzględnić bezpieczeństwo i ochronę przed wandalizmem.

## 6.4 Okablowane dystrybucyjne

Okablowanie dystrybucyjne łączące FCP z abonentem nie przekracza zazwyczaj 1 km długości. Kable posiadają średnią liczbę włókien, dopasowaną do obsługi określonej liczby budynków lub określonego obszaru.

Kable mogą być prowadzone w rurach kablowych, bezpośrednio w ziemi lub pogrupowane we wspólne wiązki mikrokanalizacyjne. Ostatnie z wymienionych rozwiązań umożliwia dodawanie kabli w razie rozbudowy sieci.

W przypadku większych budynków wielorodzinnych, okablowanie dystrybucyjne może stanowić końcowe okablowanie budynku i przekształcić się w okablowanie wewnętrzne, uzupełniające połączenie optyczne.



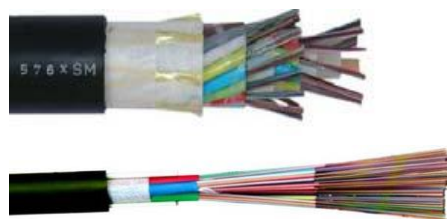
W przypadku sieci napowietrznych konfiguracja jest podobna jak w przypadku kabli zasilających.

Kable dystrybucyjne mają mniejsze przekroje niż kable zasilające i liczbę włókien zawierającą się w granicach 48-216 sztuk.

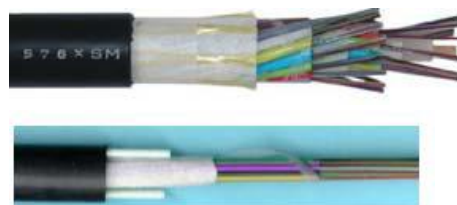
Kable luźnotubowe mogą być instalowane przez wdmuchiwanie lub zaciąganie do konwencjonalnych rur pierwotnych i wtórnych, bezpośrednio w ziemi lub podwieszane na słupach.

Sposób prowadzenia może być różny. W zastosowaniach Greenfield (instalacja nowych rur kablowych) rozmiary kanalizacji mogą się wahać od standardowych HDPE o średnicy wewnętrznej 40 mm po mikrorury. W przypadku istniejącej infrastruktury kanalizacyjnej można stosować wszelkiego rodzaju rury pierwotne (PCW, HDPE, beton) z zastosowaniem kanalizacji wtórnej sztywnej lub elastycznej.

Kable instalowane w mikrorurach mogą być wdmuchiwane na odcinkach przekraczających 1 km. Mikrorury, takie jak elastyczne kanały wtórne, oferują możliwość odłożenia na później poprowadzenia kabli.



*Rys. 35. Kabel z dużą liczbą włókien*



*Rys. 36. Kabel modułowy w systemie rur kablowych*



*Rys. 37. Osłony z mikrokablami do stosowania w wykopach bezpośrednich*

## 6.5 Pomocniczy punkt koncentracji okablowania światłowodowego

W pewnych przypadkach może zaistnieć potrzeba rozdziału światłowodów w obrębie sieci przed podłączeniem do abonenta. Podobnie jak w przypadku głównego FCP, drugi punkt wymaga elastyczności umożliwiającej szybkie podłączenie i zmianę konfiguracji obwodów optycznych. Punkty te zwane są pomocniczymi FCP.

W pomocniczym FCP kable dystrybucyjne rozdzielane są na indywidualne włókna lub pary włókien (obwody) okablowania przyłączeniowego. Pomocniczy FCP umiejscowiony jest w optymalnym lub strategicznym punkcie sieci, umożliwiającym rozdział okablowania przyłączeniowego jak najbliżej większości abonentów. Lokalizacja pomocniczego FCP uzależniona jest od czynników takich jak położenie kanałów, orurowania i punktów dostępowych, a w przypadku PON – lokalizacji sprzęgaczy.

Pomocniczy FCP ma zwykle postać podziemnej lub zamontowanej na słupie mufy przeznaczonej do obsługi stosunkowo małej liczby włókien i spojeń. Ewentualnie można zastosować strukturę małych szafek ulicznych na cokołach. W każdym z tych przypadków niezbędne będzie uzyskiwanie dostępu do pomocniczego FCP w celu skonfigurowania lub zmiany konfiguracji lub przeprowadzania konserwacji i testów włókien przewodzących.

W przypadku światłowodów wdmuchiwanym pneumatycznie, pomocniczy FCP może mieć postać urządzenia rozwidlającego, które umożliwia wdmuchiwanie kabli mikrokanalizacyjnych lub pojedynczych światłowodów bezpośrednio do pomieszczeń abonenta. Pozwala to ograniczyć liczbę operacji spajania.

Choć mufy montowane na słupach są stosunkowo bezpieczne i nie rzucają się w oczy, jednak dostęp bezpośredni może być trudny, ponieważ potrzebny jest do tego specjalistyczny sprzęt.



Podziemne pomocnicze mufy również są stosunkowo bezpieczne i nie rzucają się w oczy, i wymagają do uzyskania dostępu niewielkiego otworu na rękę. Pomocnicze FCP zlokalizowane w szafkach ulicznych mogą wymagać zabezpieczenia i ochrony przed wandalizmem; jednak bezpośredni dostęp do obwodów optycznych jest w ich przypadku stosunkowo łatwy.

## 6.6 Okablowanie przyłączeniowe

Okablowanie przyłączeniowe stanowi końcowe połączenie do abonenta, prowadząc od ostatniego FCP do budynku abonenta na odległość nieprzekraczającą 500 m, która znacznie się zmniejsza na terenach o dużej gęstości zaludnienia. Kable przyłączeniowe stosowane do podłączania urządzeń abonentów zwykle zawierają wiele włókien i mogą obejmować dodatkowe włókna zapasowe lub potrzebne z innych względów. Kabel przyłączeniowy jest zwykle jedynym łączem prowadzącym do abonenta, który nie korzysta z wielu sieci.

W przypadku sieci podziemnych okablowanie przyłączeniowe może być poprowadzone w małych rurach kablowych, w mikrorurach lub bezpośrednio w ziemi, tak by operację poprowadzenia i instalacji przeprowadzić za jednym razem. Kable przyłączeniowe napowietrzne prowadzą od najbliższego słupa do wybranego punktu w budynku w celu dalszego poprowadzenia do terminala. W każdym przypadku okablowanie może być wcześniej wyposażone w końcówki lub złącza w celu szybkiej instalacji i podłączenia, jak również minimalizacji przerw w działaniu sieci w czasie instalacji.

Wdmuchiwanie kabli i włókien mogą przechodzić przez osnowę budynku za pomocą odpowiednich mikrorur i prowadzić wewnątrz budynku. Będzie to stanowiło okablowanie wewnętrzne, a urządzenie wejściowe w budynku będzie pełniło funkcję punktu przejścia dla mikrokanalu (klasa materiału: do zastosowań zewnętrznych i wewnętrznych).

Kable przyłączeniowe dostępne są czterech podstawowych rodzajach: instalowane bezpośrednio, do wykopów bezpośrednich, fasadowe i napowietrzne.

### 6.6.1 Kable instalowane bezpośrednio

Kable instalowane bezpośrednio są instalowane w rurach kablowych, zwykle zaciągane, wpychane lub wdmuchiwane.

Struktura może być niemetalowa, z osłoną zewnętrzną/wewnętrzną lub podwójną: jedna wewnętrzna o niskiej emisji dymu i nie wydzielająca trujących halogenków podczas palenia (LSZH) i jedna zewnętrzna wykonana z PE.

Kable mieszczą od 1 do 36 włókien (zazwyczaj 12). Elementami światłowodowymi mogą być luźne tuby, mikroosłony lub włókna wdmuchiwane.

### 6.6.2 Kable układane bezpośrednio w ziemi

Kable dostępne są w dwóch wersjach: z osłoną metalową (stal falista) i bez osłony metalowej.

Zaletami kabli z osłoną metalową jest ich bardzo wysoka odporność na ściskanie i rozciąganie.

Opracowano nowe niemetalowe osłony zapewniające elastyczność odprężania, aby nadać kablom układanym bezpośrednio w wykopie bez osłony metalowej podobną charakterystykę, jak charakterystyka kabli z osłoną metalową. Kable bez osłony metalowej są zazwyczaj tańsze.

Kable przeznaczone do stosowania w bezpośrednio wykopach mieszczą zazwyczaj od 1 do 12 włókien (zazwyczaj 2-4).



*Rys. 38. Kabel układany bezpośrednio w wykopie z osłoną metalową*



*Rys. 39. Kabel układany bezpośrednio w wykopie bez osłony metalowej*

### 6.6.3 Kable napowietrzne

Dostępne są następujące kable:

- do kontynuacji sieci transportowych lub dystrybucyjnych, np. przewody uziomowe ze zintegrowanymi włóknami światłowodowymi (OPGW) oraz kabel całkowicie dielektryczny samonośny (ADSS)
- kable przyłączeniowe krótkoodcinkowe, np. w konstrukcji ósemkowej, płaskie lub okrągłe

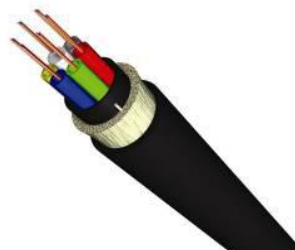
Kable napowietrzne zaprojektowane są na określoną wytrzymałość na rozciąganie determinowaną przez rozstaw słupów i warunki klimatyczne.

Kabel w konstrukcji ósemkowej składa się z kabla optycznego i drutu stalowego umieszczonych w jednej osłonie. Kable te zawierają zazwyczaj od 2 do 48 włókien i mają wytrzymałość na rozciąganie ok. 6000 N.

Kable OPGW są stosowane zwykle na słupach sieci elektroenergetycznej.

Wszystkie wyżej wymienione kable mogą mieć wcześniej wykonane fabrycznie złącza. Stanowi to zaletę podczas instalacji ze względu na redukcję czasu potrzebnego w terenie, jak również pomaga w projektowaniu.

Elementami światłowodowymi mogą być luźne tuby, mikroosłony lub włókna wdmuchiwane.



*Rys. 40. Przykład kabla ADSS*



*Rys. 41. Przykład kabla w konstrukcji ósemkowej*

### 6.6.4 Kable naścienne

Instalacje naścienne nadają się do zastosowania w dużych domach wielorodzinnych i w zabudowie szeregowej. Metodę tę można również zastosować w realizacjach na terenach o starej zabudowie, w przypadku których kable istniejące nie nadają się do wykorzystania. Kable prowadzone są po zewnętrznej ścianie budynku, a przyłącza dla abonenta znajdują się w mufach,

rozgałęzieniach i umocnionych punktach podłączenia. Jednakże problemem dla właścicieli i władz może być wygląd, szczególnie na terenach podlegających ochronie.

Kable naścienne posiadają podobną strukturę jak kable do instalacji bezpośredniej, a ponadto wymagają odporności na promieniowanie UV. Ze względu na to, że kable tego rodzaju stosowane są zwykle na niewielkich budynkach, liczba włókien jest zwykle mała, w granicach 1-12 sztuk (zazwyczaj zaledwie 1-2 lub 4 włókna). Elementami światłowodowymi mogą być luźne tuby, mikroostony lub włókna wdmuchiwane.

# 7 Okablowanie światłowodowe wewnątrzbudynkowe

---

Oczekuje się, że współczesne domy mają być środowiskiem inteligentnym (Smart Homes). Smart Home jest domem wyposażonym w nowoczesne systemy automatyczne lub obsługiwane zdalnie w celu zarządzania otoczeniem życiowym; wśród nich są czujniki temperatury, oświetlenia, multimedia, zabezpieczenia, obsługa okien i drzwi, jak również wiele innych funkcji.

Określenie „Smart Home” jest coraz modniejsze, ale kryje się za nim znacznie więcej niż wydaje się na pierwszy rzut oka. FTTH Council Europe jest zainteresowana promowaniem tej dziedziny i w tym celu podjęła decyzję o utworzeniu nowej komisji o nazwie The Smart Cities Committee. Owocem prac tej komisji jest opracowanie FTTH Smart Guide, które można pobrać ze strony FTTH Council.

Instalacja wewnątrzbudynkowa, czyli „światłowód w domu” [Fibre in the Home] rozchodzi się z obiektu wejściowego zwykle zlokalizowanego w piwnicy budynku do optycznego gniazda telekomunikacyjnego w pomieszczeniach abonenta. Jest to typowy model w większości europejskich domów wielorodzinnych. W przypadku domów jednorodzinnych, optyczne gniazdo abonenckie może się znajdować w tym samym miejscu, co punkt wejścia do budynku. W obu wariantach optyczne gniazdo abonenckie może stanowić integralną część centralnej szafki dystrybucji multimediów.

Niestety prowadzenie okablowania w mieszkaniach jest rozwiązaniem rzadko rozważanym podczas budowy sieci, i jest prawdopodobnie najsłabszym ogniwem w świadczeniu usług. Dlaczego sieci przewodowe są potrzebne w domu, jeśli wszystkie potrzeby zaspokajane są przez rozwiązania bezprzewodowe? W tej nierozstrzygniętej debacie formułuje się m.in. następujące argumenty:

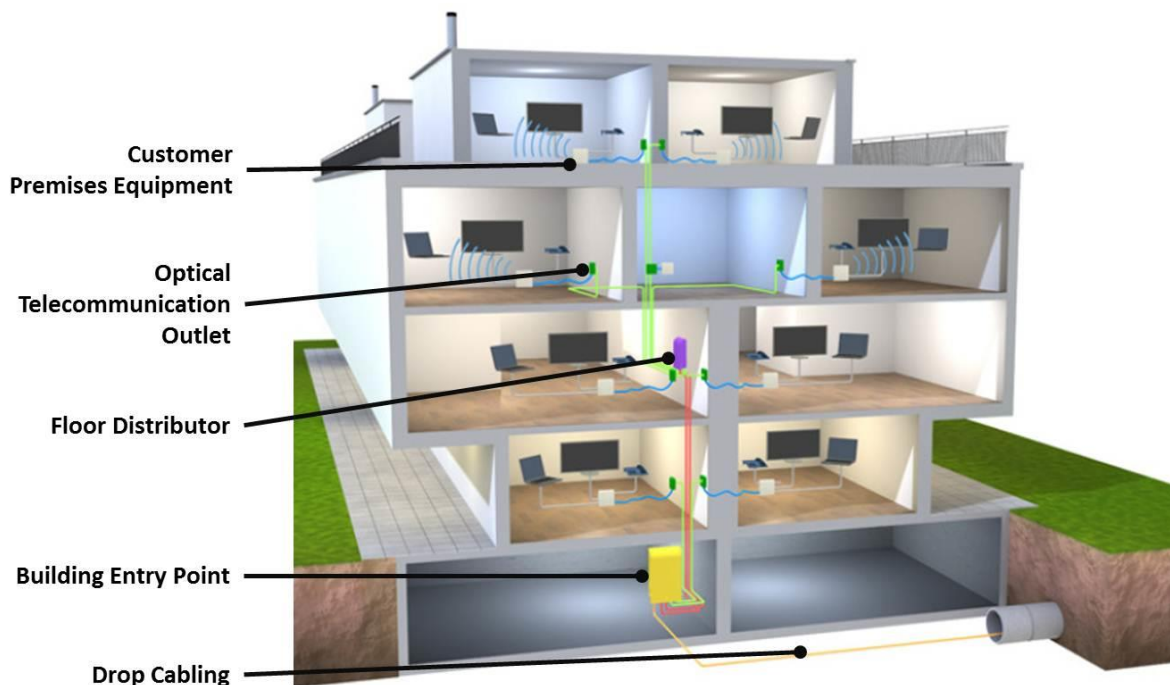
- sieci przewodowe są stabilniejsze i mniej zawodne niż sieci bezprzewodowe, bardziej odporne na zakłócenia pochodzące z innych kanałów (lub innych punktów dostępowych działających w tym samym kanale).
- sieci przewodowe są szybsze niż bezprzewodowe, a aplikacje multimedialne, głosowe, wizyjne, gry sieciowe i inne aplikacje pracujące w czasie rzeczywistym pracują lepiej w sieci przewodowej.
- sieci przewodowe są bezpieczniejsze pomimo stosowania szyfrowania w sieciach bezprzewodowych. Dla zdeterminowanego hackera wciąż jest możliwe włamanie się do sieci z użyciem właściwych narzędzi i ze znajomością słabych punktów sieci, jednak do sieci przewodowej można się podłączyć wyłącznie z mieszkania, co utrudnia hackerowi dostęp.

Celem niniejszej części jest przedstawienie najlepszych praktyk z dostępnych przewodników technicznych, jak również z punktu widzenia pracy mediów fizycznych warstwy 1 instalacji „światłowód w domu”. Ogólnie rzecz biorąc, celem przewodników technicznych jest zapewnienie, by instalacja wewnątrzbudynkowa była dostępna dla dwóch lub więcej usługodawców obsługujących tę samą lokalizację. Ponadto w przewodnikach tych podkreśla się korzyść polegającą na tym, że realizacja instalacji wewnątrzbudynkowej jest czynnością jednorazową.

Choć przewodniki techniczne opisują szereg ważnych aspektów instalacji wewnątrzbudynkowej, nie stanowią one kompletnego rozwiązania. Każdy inwestor FTTH projektuje i realizuje sieć FTTH zgodnie z własnymi kalkulacjami gospodarczymi, planami i metodami realizacji.

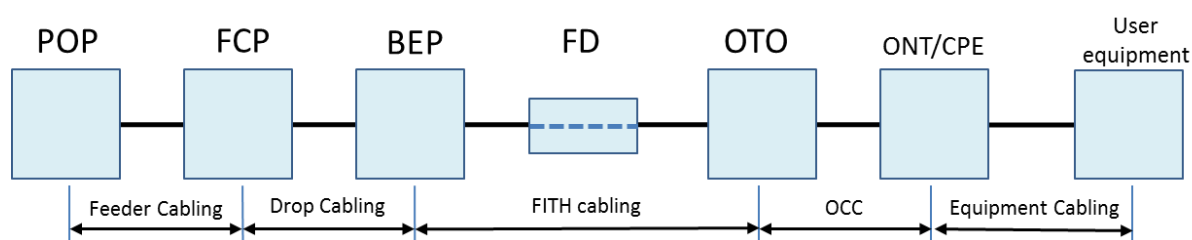
## 7.1 Model referencyjny okablowania „światłowód w domu”

Instalacja wewnątrzbudynkowa (FITH) biegnie od obiektu wejściowego, zwykle zlokalizowanego w piwnicy budynku wielorodzinnego, do optycznego gniazdka telekomunikacyjnego w pomieszczeniach abonenta.



*Rys. 42. Projekt aranżacji podstawowych elementów sieci „światłowód w domu”*

Podane elementy infrastruktury fizycznej i opisane procesy oparte są na modelu referencyjnym wynikającym z norm międzynarodowych.



### Elementy infrastruktury modelu referencyjnego

POP	Punkt obecności	Stanowi punkt wyjścia dla toru włókien optycznych prowadzących do abonenta
	Okablowanie transportowe	Kable transportowe biegną od POP do punktu koncentracji okablowania światłowodowego
FCP	Punkt koncentracji okablowania światłowodowego	W punkcie koncentracji okablowania światłowodowego kabel transportowy przechodzi w mniejsze kable przyłączeniowe. Na tym etapie włókna kabla

		transportowego rozdzielane są na mniejsze grupy do dalszego prowadzenia przez kable przyłączeniowe
	Okablowanie przyłączeniowe	Łączy FCP z abonentem i może stanowić ostatni etap podłączenia budynku
BEP	Punkt wejścia do budynku	Punkt styku okablowania przyłączeniowego (optyczna sieć dostępową) i sieci domowej. BEP umożliwia przejście z kabla zewnętrznego do wewnętrznego. Przejście to może być zrealizowane w postaci złącza stałego lub rozłącznego
FD	Kondygnacyjny punkt rozdzielczy	Jest to opcjonalny element rozdzielczy pomiędzy BEP a optycznym gniazdem abonenckim, położony w strefie pionu instalacyjnego, umożliwiający przejście z okablowania pionowego w okablowanie poziome wewnętrzne
Okablowanie FITH	Okablowanie „światłowodów w domu”	Okablowanie FITH łączy BEP z OTO. Głównym składnikiem jest optyczny kabel wewnętrzny lub podobna instalacja elementów światłowodowych wdmuchiwanym
OTO	Optyczne gniazdo telekomunikacyjne/abonenckie	OTO jest stacjonarnym urządzeniem przyłączeniowym, w którym kończy bieg wewnątrzbudynkowy kabel światłowodowy. Optyczne gniazdo telekomunikacyjne stanowi interfejs przyłączeniowy kabla sprzętowego ONT/CPE
ONT	Końcówka sieci optycznej	ONT stanowi zakończenie sieci optycznej FTTH w pomieszczeniach abonenta i obejmuje przetwornik elektrooptyczny. ONT i CPE mogą być ze sobą zintegrowane
CPE SPE	Urządzenia w pomieszczeniach klienta Urządzenia w pomieszczeniach abonenta	Urządzenia w pomieszczeniach abonenta lub klienta (SPE/CPE) to każde urządzenie aktywne, np. set-top box/dekoder, które daje abonentowi dostęp do usług FTTH (szybki przesył danych, telewizja, telefon itd.). ONT i SPE/CPE mogą być ze sobą zintegrowane
OCC	Optyczny kabel cyfrowy	Kabel przyłączeniowy pomiędzy optycznym gniazdem telekomunikacyjnym (OTO) a urządzeniem w pomieszczeniach klienta (CPE)
	Okablowanie sprzętowe	Okablowanie sprzętowe obsługuje dystrybucję szeregu zastosowań, takich jak telewizja, telefonia, dostęp do Internetu itd. w pomieszczeniach. Sprzęt specyficzny dla danego zastosowania nie stanowi elementu okablowania sprzętowego
	Urządzenia użytkownika	Urządzenia użytkownika, takie jak telewizor, telefon lub komputer osobisty, daje abonentowi dostęp do usług

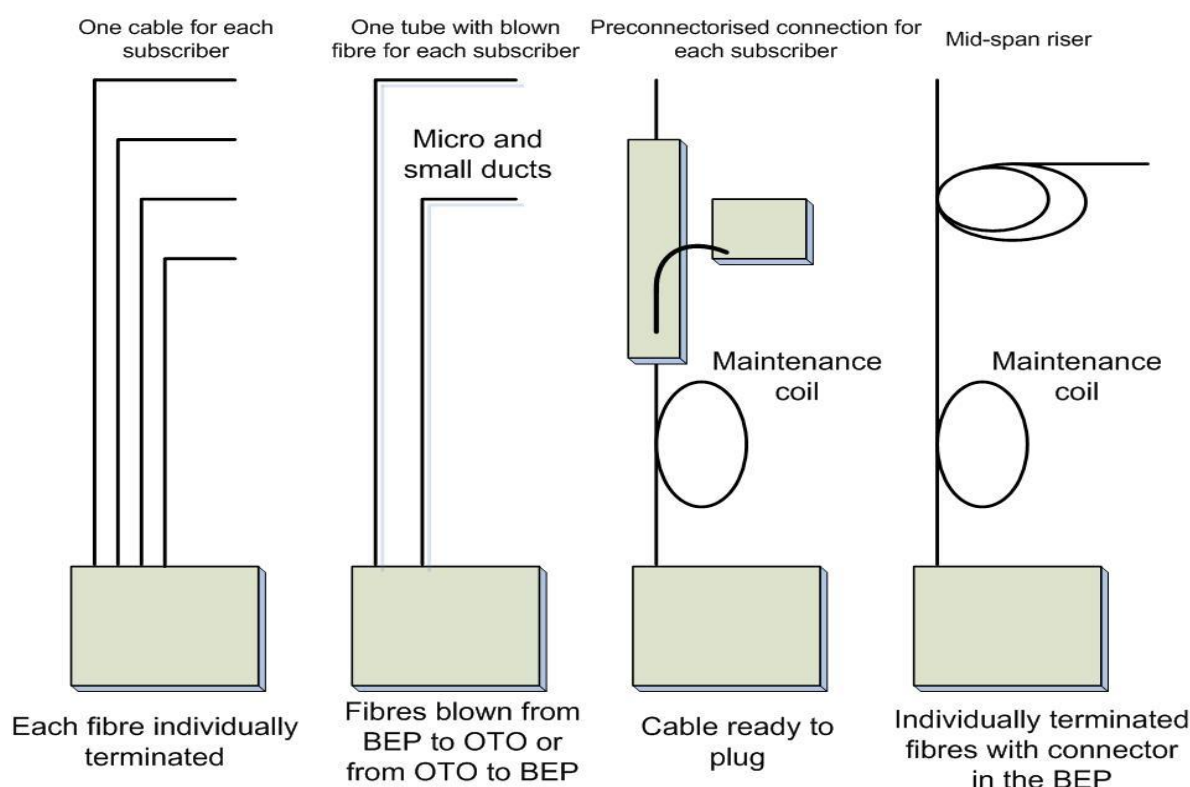


## 7.2 Okablowanie pionowe

W większych budynkach wielorodzinnych okablowanie wewnętrzne stanowi główny element infrastruktury „światłowod w domu”. Typowe architektury wykorzystujące wyżej wymienione podstawowe elementy sieci oparte są na następujących dwóch strukturach sieci:

- architektura przyłączeń bezpośrednich (punkt-punkt)
- architektura pionowa z kondygnacyjnymi skrzynkami rozdzielczymi lub bez nich

Połączenie pomiędzy BEP a kondygnacyjnym punktem rozdzielczym i/lub optycznym gniazdem abonenckim zwane jest okablowaniem pionowym zrealizowanym z zastosowaniem konwencjonalnego kabla, mikrokanalu lub oszczędzających czas instalacji rozwiązań z fabrycznie wykonanymi złączami.



*Rys. 43. Przykład architektury okablowania pionowego*

Pionowe kable optyczne lub rury kablowe ze światłowodami są zwykle prowadzone w istniejących pionach instalacyjnych, np. razem z instalacjami elektrycznym lub są instalowane indywidualnie na potrzeby sieci FITH. Powszechnie praktykuje się instalację pionu z piwnicy lub dachu budynku. Instalacja pionowa jest najbardziej czasochłonnym elementem budowy okablowania wewnątrzbudynkowego, szczególnie w części, w której należy uwzględnić miejscowe przepisy przeciwpożarowe, ponieważ instalacje często przebiegają przez klatki schodowe wykorzystywane jako drogi ewakuacyjne.

W zależności od architektury, liczby światłowodów na abonenta i liczby mieszkań w budynku, kable pionowe mogą mieć różne struktury: włókno pojedyncze, wiązki włókien pojedynczych lub wiązki grup włókien.

Ponieważ kable te instalowane są w trudnych lokalizacjach (np. mały promień gięcia wzdłuż narożników), we współczesnym okablowaniu „światłowód w domu” powszechną praktyką jest stosowanie włókien odpornych na zginanie.

## 7.3 Okablowanie „światłowód w domu” – zagadnienia ogólne

### 7.3.1 Charakterystyka włókien

W BEP łączone są światłowody z okablowania przyłączeniowego (kable zewnętrzne) i światłowody z okablowania wewnątrzbudynkowego (kable wewnętrzne). Specyfikacje tych światłowodów opisano w różnych standardowych klasach światłowodowych i muszą one spełnić określone wymagania przedstawione poniżej. Okablowanie przyłączeniowe i wewnętrzne może być zrealizowane z użyciem technik wdmuchiwanie w mikrorury. Zaleca się stosowanie światłowodów G657 (IEC 60793-2-50 B6), w szczególności klasy G.657.A2 (IEC 60793-2-50 B6a2), ponieważ w pełni zabezpieczają one przesył w całym zakresie okien 1260-1650nm, a jednocześnie w dalszym ciągu są w pełni zgodne z G.652.D. Dotyczy to nawet otoczenia wymagającego lub podczas stosowania kompaktowych pokryć 200 µm dla włókien o większej gęstości lub bardziej zaawansowanych konstrukcji kabli.

Typ kabla	Kod ITU	Kod IEC
Kable zewnętrzne	G.652.D	IEC 60793-2-50 B1.3
Kable zewnętrzne	G.657.A1/A2 z możliwą opcją pokrycia 200µm	IEC 60793-2-50 B6a1/a2 z możliwą opcją pokrycia 200µm
Kable wewnętrzne	G.657.A2/B2/B3	IEC 60793-2-50 B6a2/b2/b3

*Rys. 44. Charakterystyka włókien*

### 7.3.2 Kompatybilność spajania różnych typów włókien

Spajanie włókien różnego typu, z różnymi średnicami pola modu i tolerancjami może skutkować wyższą tłumiennością spojenia. Dlatego też spawarka musi być każdorazowo prawidłowo ustawiona. W celu ustalenia, czy tłumienność spojenia jest odpowiednia, należy przeprowadzić pomiary reflektometryczne w obu kierunkach. W praktyce przyjmuje się limit tłumienności spojenia  $\leq 0,1$  dB.

### 7.3.3 Wymagania dotyczące promienia gięcia

Minimalny promień gięcia w BEP i na zewnętrznych odcinkach kabla w przypadku standardowych światłowodów jednomodowych G.652D powinien wynosić 30 mm. Światłowody podkategorii G.657.A1 nadają się do projektów zakładających minimalny promień gięcia 10 mm. W przypadku minimalnego projektowanego promienia 7,5 mm najbardziej odpowiednia jest podkategoria G.657.A2.

W przypadku okablowania „światłowód w domu”, szczególnie na odcinkach OTO i kabla wewnętrznego, można zastosować G.657.A2, G.657.B2 (obydwie kategorie nadają się do minimalnego promienia gięcia 7,5 mm) lub G.657.B3 (odpowiednie w przypadku promienia 5 mm), aby zachować akceptowalną tłumienność i zapewnić oczekiwany okres eksploatacji co najmniej 20 lat; oczekiwaną niezawodność mechaniczną światłowodów, związaną z

naprężeniami mechanicznymi, przedstawiono szczegółowo w przypadku włókien o małej wrażliwości na zginanie w załączniku I do zalecenia ITU-T G.657, wydanie 3 („Lifetime expectation in case of small radius bending of single-mode fibre”).

Charakterystyka gięcia jest szczególnie istotna w przypadku operacji montażowych i konserwacyjnych sieci wewnątrzbudynkowych (centrale, domy wielorodzinne, lokale mieszkaniowe, domy jednorodzinne), ale również realizacji zewnętrznych (osłony spojeń, złącza, punkty pośrednie na trasie kabla, szafki uliczne itp.).

Typ kabla	Kod ITU	Kod IEC	Promień gięcia [w mm]
Kable zewnętrzne	G.652.D	IEC 60793-2-50 B1.3	R 30
Kable zewnętrzne	G.657.A1/A2 z możliwą opcją pokrycia 200µm	IEC 60793-2-50 B6a1/a2 z możliwą opcją pokrycia 200µm	R 10 dla A1 R 7.5 dla A2
Kable wewnętrzne	G.657.A2/B2/B3	IEC 60793-2-50 B6a2/b2/b3	R 7.5 dla A2/B2 R 5 dla B3

*Rys. 45. Wymagania dotyczące promienia gięcia*

#### 7.3.4 Typ kabla

W przypadku instalacji w BEP zazwyczaj stosowane są kable światłowodowe typu „luźna tuba” zgodne z serią IEC 60794 lub okablowanie mikrokanalizacyjne instalowane techniką wdmuchiwania zgodnie z serią IEC 60794-5 [6]. Należy rozważyć kompatybilność kabli innej konstrukcji z kablami standardowymi na określonych złączach.

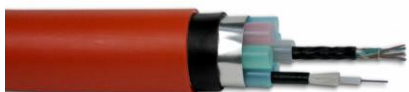
Należy przywiązywać szczególną wagę do zaleceń producenta kabla i określonych ograniczeń fizycznych, których nie należy przekraczać. Uszkodzenie poprzez mechaniczne przeciążenie podczas instalacji może nie być od razu widoczne, ale może prowadzić do awarii podczas eksploatacji.

#### 7.3.5 Kabel zewnętrzny

Dostępne są bardzo różnorodne kable zewnętrzne do stosowania w sieciach FTTH. Jeżeli są one zaciągane za pomocą wciągarki, muszą być wytrzymalsze niż wersje do wdmuchiwania. Kable wdmuchiwane muszą być wystarczająco lekkie i sztywne, by umożliwiać proces wdmuchiwania. Kable zewnętrzne są zwykle umieszczone w powłoce i pozbawione elementów metalowych (aby uniknąć potrzeby uziemiania i/lub ochrony odgromowej). Mogą jednak zawierać elementy metalowe, jeżeli potrzebna jest większa wytrzymałość i dodatkowa ochrona przed wilgocią. Liczba włókien w takich kablach zależy od struktury sieci i wielkości budynku.

Kable zewnętrzne regulowane są normą IEC 60794-3-11 [7].

Zakres temperatur eksploatacji wynosi od -30°C do +70°C.



*Rys. 46. Przykład systemów okablowania mikrokanalizacyjnego*



*Rys. 27. Przykład konwencjonalnego kabla luźna*

### 7.3.6 Kabel wewnętrzny

Kable wewnętrzne instalowane pomiędzy BEP a OTO mogą nadawać się na krótkie odcinki wewnątrz domu jednorodzinnego lub na długie odcinki wewnątrz większych budynków. Mogą być to kable jednowłóknowe, ewentualnie z fabrycznie wykonanymi złączami, a także wielowłóknowe z użyciem konstrukcji ściśle buforowanej lub luźna tuba. Liczbę włókien należy określić w zależności od struktury sieci, w granicach od 1 do 4 włókien.

Konstrukcja może być różna, ale ponieważ wszystkie te kable stosowane są w obiektach klienta, powinny zapewniać odpowiednią ochronę przeciwpożarową. Kable wewnętrzne regulowane są normą IEC 60794-2-20 [8].

Zakres temperatur eksploatacji wynosi od  $-20^{\circ}\text{C}$  do  $+60^{\circ}\text{C}$ .



*Rys. 48. Przykład typowego łatwego w instalacji kabla wewnętrznego*

### 7.3.7 Kolorowe oznakowanie włókien

Włókna w tubach buforowanych, jak również włókna buforowane, są znakowane kolorami, aby można było rozróżniać włókna w kablu. Oznakowanie kolorowe umożliwia instalatorom łatwą identyfikację włókien na obu końcach łącza optycznego oraz wskazuje prawidłowe położenie poszczególnych włókien w kablu. Kolory odpowiadają kolorom standardowym określonym w IEC 60304 [5].

W przypadku kabli zawierających powyżej 12 włókien należy zidentyfikować dodatkowe grupy 12 włókien poprzez połączenie powyższej sekwencji z dodatkową identyfikacją (na przykład oznakowanie opaską lub kreską).

### 7.3.8 Okablowanie mikrokanalizacyjne do wdmuchiwania

W tej opcji wykorzystuje się sprężone powietrze do wdmuchiwania włókien i kabli o małej średnicy do sieci rur prowadzących do obiektów klienta. W okablowaniu mikrokanalizacyjnym wykorzystuje się małe, lekkie tuby, które mogą być małymi konwencjonalnymi rurami kablowymi o średnicy zazwyczaj poniżej 16 mm (np. średnica zewnętrzna 10 mm). Ewentualnie mogą to być również małe rurki (o średnicy np. 5 mm) produkowane w postaci zestawów jedno- lub wielorurkowych z dodatkową osłoną, zwane multirurami. Powinna istnieć możliwość zainstalowania lub usunięcia kabla światłowodowego z mikrorury lub multirury przez wdmuchiwanie w trakcie eksploatacji. Przeznaczone do wdmuchiwania kable światłowodowe mikrokanalizacyjne, zestawy kabli światłowodowych, mikrorury i multirury regulowane są normą IEC serii 60794-5 [6].

### 7.3.9 Kable zawierające materiały palne

Kable wewnętrzne muszą posiadać odpowiednią charakterystykę przeciwpożarową. Zwykle zakłada to wykorzystanie materiałów o niskiej emisji dymu i nie wydzielających trujących halogenków podczas palenia (LSZH). Kabel można skonstruować w taki sposób, aby zapewnić pewien stopień ochrony przed rozprzestrzenianiem się ognia (na przykład kategorii C IEC60332-1-2 i IEC60332-3) i emisją dymu (IEC61034-2). Materiały mogą być charakteryzowane przez zawartość halogenków zgodnie z IEC60754-1 lub przewodność i pH zgodnie z IEC60754-2. Obowiązywać mogą inne kryteria, w zależności od dokładnych wymagań użytkownika, jednak pierwszorzędne znaczenie ma uwzględnianie wymogów bezpieczeństwa publicznego.

## 7.4 Wymagania ogólne dla BEP

Funkcję punktu styku pomiędzy optycznym kablem przyłączeniowym a wewnętrzną siecią domową pełni BEP jako punkt spajania lub prowadzenia włókien, który stanowi zazwyczaj zakończenie sieci optycznej z punktu widzenia operatora. W przypadku niektórych struktur sieci wielu operatorów może się łączyć z siecią klienta w POP albo w punkcie koncentracji okablowania światłowodowego (sieć światłowodowa otwarta). Jednak w przypadku niektórych struktur sieci wszyscy operatorzy kończą bieg kabla przyłączeniowego w BEP. Taka struktura wymaga zasadniczo istnienia obudów dla wielu operatorów w punkcie wejścia do budynku. Dlatego też na instalację kabla światłowodowego i łączenie elementów w BEP znaczny wpływ może mieć staranne planowanie i sporządzenie specyfikacji instalacyjnej.

### 7.4.1 Spojenia zgrzewane w BEP

Spojenia zgrzewane w BEP są powszechnie stosowane. Wymagania dla spojeń zgrzewanych i osłon spojeń stosowanych w BEP przedstawiono poniżej. Osłony spojeń występują w wersjach termokurczliwej lub obciskanej.

Charakterystyka	Parametry
Maksymalna tłumienność spojeń	$\leq 0,15$ dB @ 1550nm
Tłumienność odbiciowa	> 60 dB
Zakres temperatur eksploatacji	-25°C do 70°C

*Rys. 49. Specyfikacje spójnia zgrzewanego w BEP*

### 7.4.2 Skrzynka przyłączeniowa w BEP

Rozmiar systemu organizacji włókien w BEP zależy od wielkości budynku, ogólnej złożoności instalacji oraz struktury sieci.

W organizowaniu włókien w BEP zazwyczaj stosuje się specjalne zaprojektowane skrzynki posiadające odpowiednią liczbę wejść i wyjść kablowych, wymaganą liczbę spojeń, włókna rezerwowe i odpowiednią organizację włókien. Ponadto istotnymi elementami, które należy uwzględnić, są: zapas niepodłączonych włókien, systemy blokowania i rozszerzenia skrzynek BEP. W sieci PON, obudowa BEP może być również stosowana jako obudowa sprzęgaczy pasywnych.

Ważna jest ochrona dostępowa, która zależy od warunków panujących w przestrzeni

przeznaczonej na BEP. Instalacja wewnątrzbudynkowa zazwyczaj ma charakterystykę IP20, a zewnętrzna IP54.

Długość zapasu w skrzynce przyłączeniowej i/lub kasecie spojeń zazwyczaj nie przekracza 1,5 m.



**Rys. 50. Przykładowa skrzynka IP54 w BEP**



**Rys. 51. Przykładowa skrzynka IP44 w BEP**



**Rys. 52. Przykładowa skrzynka IP55 w BEP**



**Rys. 53. Rozwiązanie modułowe odpowiednie dla zastosowania na dużą skalę w budynku wielorodzinnym**

### 7.4.3 Kaseta spojeń

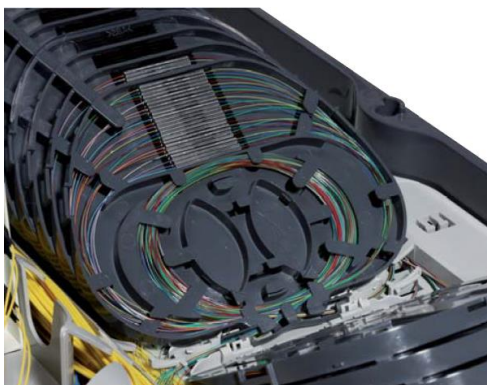
Ze względu na to, że głównym celem BEP jest organizacja włókien i spojeń pomiędzy OSP a kablami wewnętrznymi, potrzebne są kasety spojeń i dodatkowe mocowania, uchwyty na spojenia i prowadnice, aby obsługiwać infrastrukturę światłowodową na wysokim poziomie.

Zabezpieczenia końcówek przed naprężeniami mechanicznymi, odstępy i zasady układania włókien zaprojektowane są głównie na potrzeby przyszłych modyfikacji spojeń. Ochrona przed przekroczeniem promienia gięcia zawsze powinna mieć pierwszorzędne znaczenie.

Dostępne są różnego rodzaju systemy kaset spojeń, które umożliwiają obsługę indywidualnych włókien lub ich grup, a nawet sprzęgaczy. Systemy te dobierane są w fazie projektowania.

Kasety muszą zaspokajać potrzeby w zakresie mocowania i układania.





*Rys. 54. Przykładowe kasety uchylne z indywidualną organizacją włókien*



*Rys. 55. Przykładowy zestaw kaset na spojenia*

#### **7.4.4 Umieszczenie BEP**

Jest zawsze element sporny, na który wpływ mają warunki miejscowe, decyzje właścicieli budynku i warunki fizyczne, które najlepiej by charakteryzowały się niską wilgotnością, niewielkim zapyleniem i małymi drganiami. Jak już wspomniano, poziom zabezpieczenia przed niepowołanym dostępem powinien być dostosowany do tych uwarunkowań.

Ważne jest, by BEP był umiejscowiony blisko pionu instalacyjnego, aby umożliwić optymalne przepusty kabli.



*Rys. 56. Przykład BEP montowanego na ścianie w pobliżu rozdzielni elektrycznej*

## 7.5 Kondygnacyjny punkt rozdzielczy

W przypadku dużych instalacji (w przypadku m.in. dużej gęstości lokali abonentów na jednym piętrze domu wielorodzinnego), podłączenie optycznego gniazda abonenckiego można uzyskać za pomocą kondygnacyjnego punktu rozdzielczego, traktowanego jako punkt pośredni i punkt organizacji światłowodów pomiędzy okablowaniem pionowym a połączeniami poziomymi.

Kondygnacyjny punkt rozdzielczy obejmuje takie same typy skrzynek i spełnia podobne funkcje jak BEP, a jego wielkość zależy od liczby włókien przychodzących i wychodzących. Stopień ochrony przed dostępem wynosi zazwyczaj IP20. Kiedy stosowane są rozdzielnice kondygnacyjne, zalecaną opcją podłączenia gniazda abonenckiego do tego punktu jest kabel z jednym fabrycznie wykonanym złączem. W takim przypadku koniec kabla wyposażony w złącze biegnie do gniazda abonenckiego, natomiast koniec bez złącza może być spojony w kondygnacyjnej skrzynce rozdzielczej.

Połączenie pomiędzy rozdzielnicą kondygnacyjną a OTO zwane jest przyłączem abonenckim. W topologii sieci przyłącze abonenckie łączy kabel pionowy z kondygnacyjnego punktu rozdzielczego z interfejsem u abonenta za pomocą odpowiedniej liczby włókien. Typowa liczba włókien w przypadku poziomego kabla abonenckiego wynosi od jednego do czterech, w zależności od miejscowych przepisów i przyszłych zastosowań planowanych przez właściciela sieci.

Połączenie pomiędzy okablowaniem pionowym a przyłączem abonenckim w skrzynce kondygnacyjnej można zrealizować za pomocą:

- zestawu kabli abonenckich z fabrycznie wykonanymi złączami – na jednym lub obu końcach
- spajania
- instalacji złącz przeznaczonych do montażu w terenie.

Typowymi problemami podczas wykonywania okablowania jest brak miejsca na rury kablowe lub kable w przepustach ściennych. Ponieważ kable są instalowane w trudnych warunkach i na powierzchniach, do których bezpośredni dostęp mają abonenci, którzy zazwyczaj nie są zaznajomieni z postępowaniem ze światłowodami, należy rozważyć instalację kabli światłowodowych nowego typu, które są odporne na zginanie, aby ułatwić ich instalację w domu nawet przez niewykwalifikowanych instalatorów.

## 7.6 Optyczne gniazdo telekomunikacyjne/abonenckie (OTO)

Optyczne gniazda telekomunikacyjne przystosowane są do obsługi różnej liczby włókien – zazwyczaj do 4 sztuk – o minimalnym promieniu gięcia 15 mm.

Konstrukcja gniazd światłowodowych powinna umożliwiać pomieszczenie określonej długości światłowodu i mieć miejsce na spójenia. Sposób organizacji światłowodu wewnątrz gniazda powinien zapewniać długoterminową stabilność włókien. Nie powinno dochodzić do złamań zmęczeniowych nawet po 20 latach użytkowania. Płyta czołowa gniazda powinna mieć wycięcia dostosowane do wybranego rodzaju adapterów, obsługując złącza simplex lub duplex, w zależności od konstrukcji sieci.

Ważne jest umieszczenie na OTO w widocznym miejscu danych identyfikacyjnych. Oznakowanie jest ważne przede wszystkim na potrzeby konserwacji sieci i diagnostyki, jak również testowania sieci.

Choć zazwyczaj OTO instalowane jest w otoczeniu zapyłonym, wystarczający jest poziom ochrony 20 (IP20), kiedy sam kontakt fizyczny jest odpowiednio zabezpieczony przed pyleniem.

Często pierwsze wyjście w pomieszczeniach abonenta zwane jest optycznym gniazdem telekomunikacyjnym (OTO) oferującym wybór gniazdek abonenckich w zależności od danego okablowania domowego:

- gniazda ze stałymi adapterami światłowodowymi
- gniazda z zamiennymi adapterami światłowodowymi
- gniazda hybrydowe z adapterami zarówno do sieci światłowodowej, jak i miedzianej

Różne gniazda posiadają różne właściwości. Niektóre złącza chronione są przed pyłem i laserem, mogą być wyposażone w ochronę przed nadmiernym zginaniem, jak również elementy zabezpieczające przed dostępem dzieci. Niektóre gniazda przeznaczone są do montażu naściennego, a niektóre do montażu w puszkach wnękowych.

### **7.6.1 Typy włókien i charakterystyka połączeń w OTO**

W OTO najczęściej stosowane są obecnie włókna G.657 posiadające mały dopuszczalny promień gięcia. Połączenie włókna z OTO może być zrealizowane w postaci:

- zestawów kablowych z wykonanymi fabrycznie końcówkami
- pigtaili spajanych
- złączy montowanych na miejscu

W rodzinie odpornych na zginanie światłowodów G.657, najczęściej obecnie spotykane realizacje opierają się na G657.A2, co jest w niektórych krajach wyborem zalecanym jako norma okablowania wewnętrznego.

### **7.6.2 Optyczne złącza rozłączne**

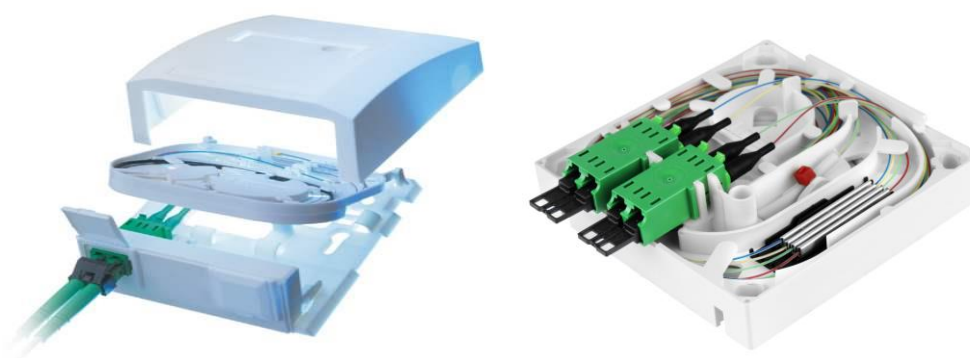
Typ optycznego złącza rozłącznego stosowanego w OTO jest zwykle ustalany w fazie projektowej. Najlepiej, by złącze to było dostosowane do potrzeb domowych. Głównymi cechami, których oczekuje się od złączy abonenckich jest zwiększona ochrona powierzchni stykowej przed zabrudzeniem, ochrona przed światłem lasera w złączach i adapterach oraz automatyczny mechanizm samouwolnienia, aktywowany wówczas, gdy przekroczona zostanie dopuszczalna siła w OTO.

Podstawowe zalecenie w odniesieniu do powierzchni stykowej dotyczy APC, z jasną specyfikacją tłumienności i reflektancji (na przykład Klasa B dla IL i Klasa 1 dla RL – więcej informacji znajduje się w rozdziale 9).

Typowo stosowane wymagania mechaniczne i klimatyczne zostały określone w IEC 61753-021-2 [15] dla kategorii C (otoczenie kontrolowane) z zakresem temperatur od -10°C do +60°C.



*Rys. 57. Przykład kabla przyłączeniowego zawierającego mechanizm ochrony przed światłem lasera i pyłem oraz automatycznie zwalnianą osłoną*



*Rys. 58. Widok szczegółowy dwóch rodzajów gniazd: kaseta spojeń, przewodnica promienia gięcia, panel przedni ze złączem typu LC*

Najszybszym, najprostszym i najbardziej niezawodnym sposobem montażu OTO jest skorzystanie z gotowego zestawu, tzn. kabla z fabrycznie wykonanymi złączami, zgodnie z ilustracją poniżej. Dzięki takim systemom „plug & play”, czasochłonne wykonywanie spójień zgrzewanych w pomieszczeniach klienta jest niepotrzebne, a instalatorzy nie wymagają specjalnego przeszkolenia czy sprzętu.



*Rys. 59. Przykład gotowego zestawu optycznego gniazda telekomunikacyjnego*

### 7.6.3 Spojenia

Wymagania dotyczące spójień w OTO znajdują się zasadniczo w górnym zakresie, ponieważ można zastosować obydwie technologie, zgrzewanie i łączenie mechaniczne, których parametry



w fazie projektowania szacuje się na maks. 0,25 dB i  $RL > 60$  dB, głównie kiedy rozważa się nakładkę RF.

#### 7.6.4 Lokalizacja OTO

W nowo wybudowanych budynkach zazwyczaj dostępne są domowe skrzynki rozdzielcze, które są często wykorzystywane do instalacji OTO. Ważna jest dostępność gniazdka elektrycznego na potrzeby ONT/CPE, które również wymaga wystarczającej przestrzeni i odpowiedniej wentylacji.

Połączenie pomiędzy OTO a, odpowiednio, (SPE) CPE albo ONT/(SPE) CPE musi być zoptymalizowane do użytku domowego i powinno obejmować:

- system plug & play
- zintegrowaną ochronę przed pyłem i światłem lasera
- uszczelnienie przeciwpylowe
- mechanizm samozwolnienia w celu ochrony OTO w razie przypadkowego pociągnięcia kabli łączących
- jak najmniejszy dopuszczalny promień gięcia, aby zapobiec uszkodzeniu kabla
- łatwość instalacji i demontażu przez abonenta.

W wielu przypadkach OTO instalowane jest w pokoju dziennym lub innych pomieszczeniach dedykowanych do pracy i/lub wypoczynku.



*Rys. 60. OTO zintegrowane w domowej skrzynce rozdzielczej*

OTO można zainstalować na domowej rozdzielnicy elektrycznej (zob. rys. 61).



*Rys. 61. OTO wbudowane w domową rozdzielnicę elektryczną*

#### **7.6.5 Testowanie okablowania wewnątrzbudynkowego, połączenie BEP-OTO**

Rodzaje testów i pomiarów określone są w fazie projektowania, zob. rozdział poświęcony projektowaniu sieci.

Instalator jest zobowiązany do zainstalowania okablowania wewnątrzbudynkowego (BEP-OTO) zgodnie z wymaganiami jakościowymi określonymi w fazie projektowania szczegółowego o wartościach podanych powyżej w niniejszej części.

Pomiary można przeprowadzić w następujący sposób:

1. Referencyjna metoda przeprowadzenia testu: pomiar reflektometryczny w obu kierunkach pomiędzy POP a OTO
2. Alternatywna metoda przeprowadzenia testu: pomiar reflektometryczny w jednym kierunku z OTO

Więcej informacji, zob. rozdz. 11 Wytyczne przeprowadzania testów FTTH.

### **7.7 CPE (SPE)**

Urządzenia w pomieszczeniach klienta to punkt, w którym kończy się sieć pasywna i instalowane są urządzenia aktywne. Zasadniczo światłowód kończy bieg wewnątrz CPE z użyciem jednego złącza.

CPE przeważnie posiadają interfejs SC, do którego, jak się okazuje, użytkownik końcowy ma utrudniony dostęp. Urządzenia te są nabywane przez abonenta albo przekazywane przez operatora lub usługodawcę.

### **7.8 Wymagania ogólne dotyczące bezpieczeństwa**

Instalacje mogą być przeprowadzane wyłącznie przez techników posiadających odpowiednie uprawnienia. Wymagania dotyczące bezpieczeństwa laserowego uregulowane są w normie IEC serii 60825 [19] oraz w normach krajowych lub miejscowych.



Projektanci i instalatorzy odpowiadają za prawidłową interpretację i wdrożenie warunków bezpieczeństwa przedstawionych w powoływanych dokumentach.

### 7.8.1 Bezpieczeństwo laserowe

Według norm IEC serii 60825, pomieszczenia abonenta są typu „unrestricted” [nieograniczony].

O ile w realizacjach FTTH w pomieszczeniach abonenta przestrzega się zasad przeciwdziałania zagrożeniom poziomu 1 (seria IEC 60825 [19]) oraz stosuje się klasę laserową 1 lub 1M (seria IEC 60825 [19]) źródeł światła laserowego, nie jest konieczne stosowanie szczególnych warunków dotyczących oznakowania lub bezpieczeństwa laserowego w pomieszczeniach abonenta (od punktu wejścia kabla optycznego do budynku do konwertera optoelektrycznego, w tym BEP i OTO).

## 7.9 Proces realizacji „światłowodu w domu”

Jednym z kluczowych czynników ekonomicznego wdrożenia FTTH jest okablowanie wewnątrzbudynkowe z punktu wejścia do budynku (BEP) do ONT lub CPE. Koszty infrastruktury FTTH rozkładają się w przybliżeniu następująco: 21% na sieć aktywną, 48% na sieć pasywną i 31% na wewnątrzbudynkową sieć światłowodową. Optymalizacja okablowania „światłowód w domu” jest zatem niezbędna w celu utrzymania budżetu wdrożeniowego w określonych granicach. Dlatego też materiały wykorzystywane do okablowania FTTH powinny być starannie zaplanowane i dostarczone na czas, jeżeli chce się uniknąć nadmiernych nakładów robocizny, czasu instalacji i przekroczenia budżetu. Dotyczy to w szczególności masowych realizacji FTTH, w tym okablowania „światłowód w domu”: procesy instalacji okablowania wewnątrzbudynkowego powinny być wysoce profesjonalne i zoptymalizowane.

Dodatkowymi aspektami, które należy uwzględnić w procesach okablowania „światłowód w domu” to przesył sygnału z instalacji zewnętrznej, prawa dostępu do budynku, umowy z właścicielem budynku, umowy usługowe FTTH z klientem, logistyka materiałowa, konfiguracja ONT i instalacja wewnątrz budynku.

Zaangażowane podmioty i zasoby potrzebne do udanego procesu instalacji okablowania „światłowód w domu” są następujące:

**Dział eksploatacji sieci/operator sieci:** odpowiedzialny za dostarczenie sygnału FTTH do BEP lub FCP. Miejszem styku działu eksploatacji sieci/operatora sieci z dostawcą okablowania „światłowód w domu” jest zwykle BEP, ale punktem demarkacyjnym może być także FCP.

**Akwizycja:** zapewnienie praw dostępu do budynku i/lub mieszkania

**Dział prawny:** sporządzenie dokumentów prawnych i podstaw do uzyskiwania dostępu do budynku/mieszkania

**Baza danych:** centralna baza danych wszystkich dokumentów prawnych, dokumentów sieciowych, dokumentacji okablowania wewnątrzbudynkowego i relacji z klientem

**Właściciel budynku:** trzeba się z nim porozumieć w sprawie dostępu do budynku i realizacji okablowania

**Marketing:** przygotowuje prognozy w rozbiciu na regiony i obszary

**Sprzedaż:** podpisuje umowy z abonentami

**Abonent:** podpisuje umowę zgodnie z osobistymi potrzebami lub dostępnymi usługami

**Logistyka:** odpowiada za dostarczenie na wyznaczone miejsce właściwych materiałów w odpowiedniej ilości

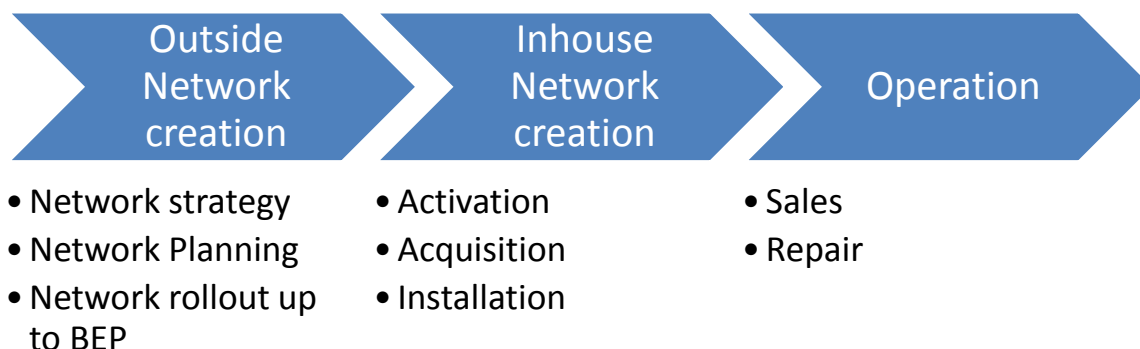
**Dyspozytor:** umawia wizyty u abonentów lub właścicieli budynków, wysyła techników

**Technicy instalatorzy:** instalują okablowanie wewnątrzbudynkowe oraz ONT/CPE

**Technik konfigurator:** prekonfiguruje ONT zgodnie z danymi klienta

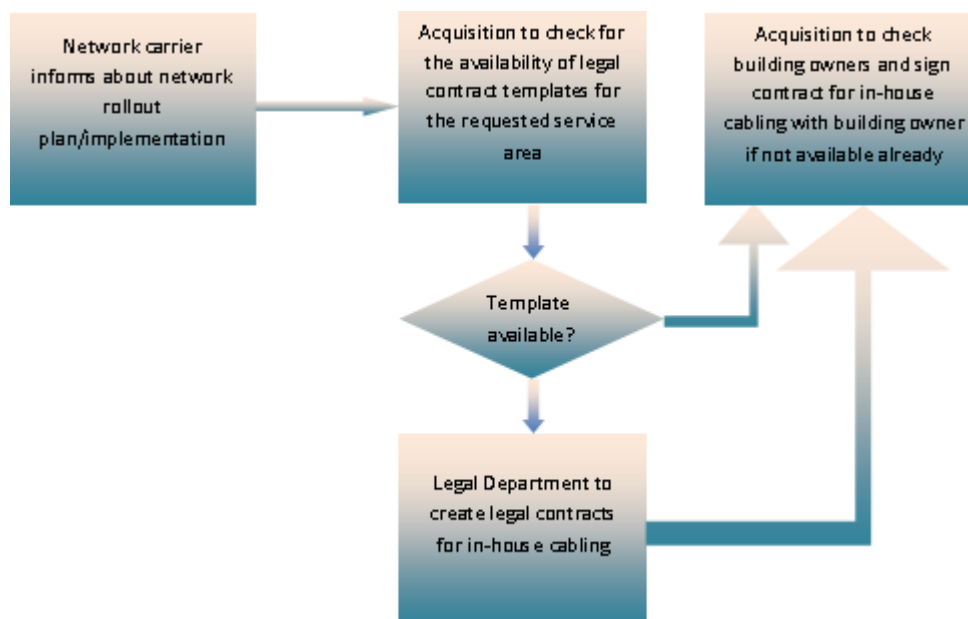
### 7.9.1 Ogólne otoczenie „światłowodu w domu”

Procesy realizacji „światłowodu w domu” mieszczą się pomiędzy wdrożeniem sieci zewnętrznej (w tym w razie potrzeby kabla przyłączeniowego pomiędzy FCP a BEP) a obsługą sieci FTTH. Po zrealizowaniu sieci zewnętrznej do punktu demarkacji (BEP), okablowanie wewnątrzbudynkowe łączy ONT/CPE z BEP, a po aktywacji ONT rozpoczyna się obsługa klientów FTTH.

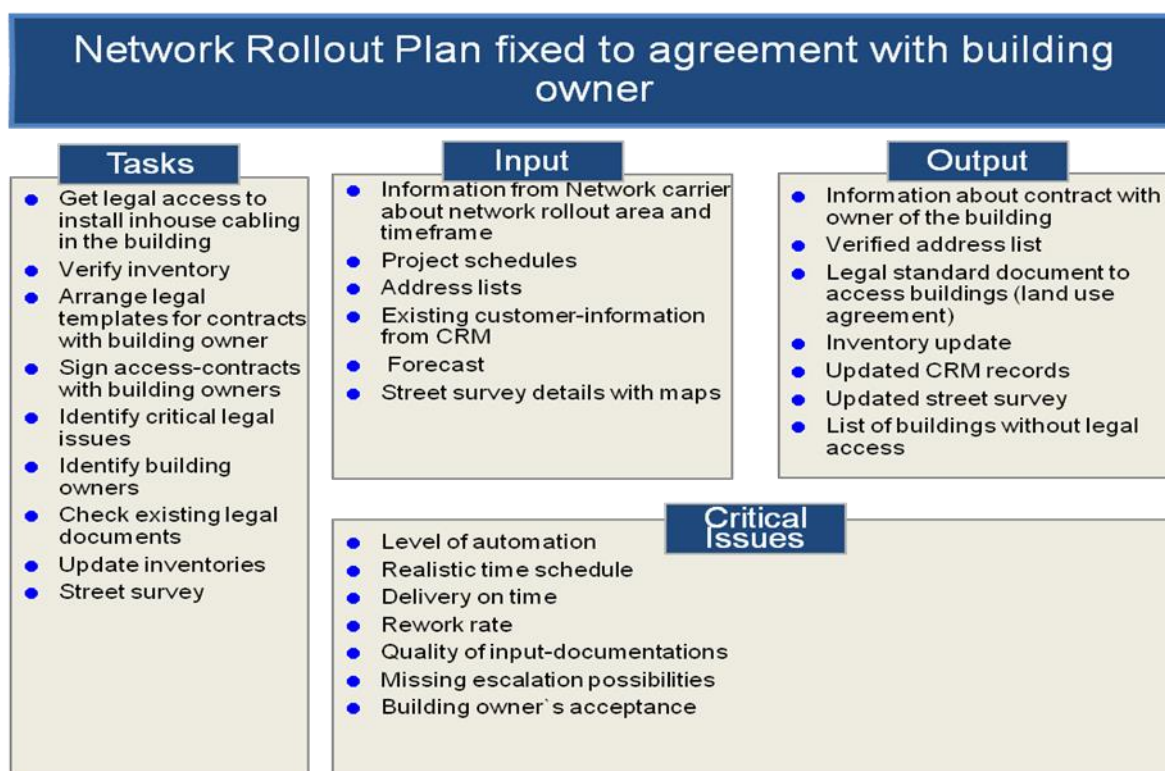


### 7.9.2 Akwizycja

Eksploatację „światłowodu w domu” można rozpocząć po zainstalowaniu sieci zewnętrznej FTTH i dostarczeniu sygnału do abonenta. Przejście z sieci zewnętrznej na okablowanie wewnątrzbudynkowe może mieć miejsce w punkcie wejścia do budynku (BEP) na zewnątrz lub wewnątrz budynku. Aby wdrożyć okablowanie „światłowód w domu”, niezbędne jest porozumienie z właścicielem budynku, które najlepiej, by przybrało postać dokumentu prawnego. Treść tego dokumentu powinna obejmować wszystkie porozumienia dotyczące okablowania wewnątrzbudynkowego, takie jak materiał okablowania, miejsca prowadzenia okablowania, prawo własności do okablowania, uprawniony użytkownik okablowania, dostęp do budynku, dostęp do okablowania i sprawy konserwacji. Aby przyspieszyć ten proces, akwizycję można przeprowadzić wcześniej, jeżeli znany jest plan wdrożenia sieci.



Rys. 62. Proces ogólny akwizycji

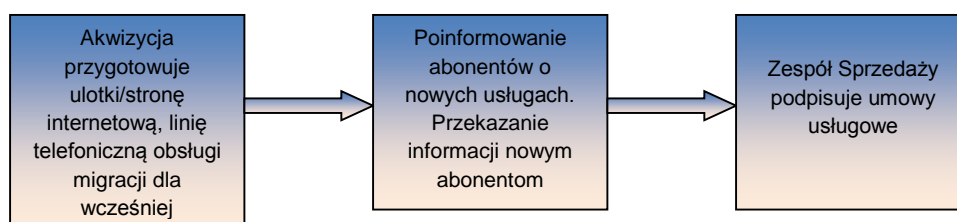


Rys. 63. Proces akwizycji

### 7.9.3 Sprzedaż

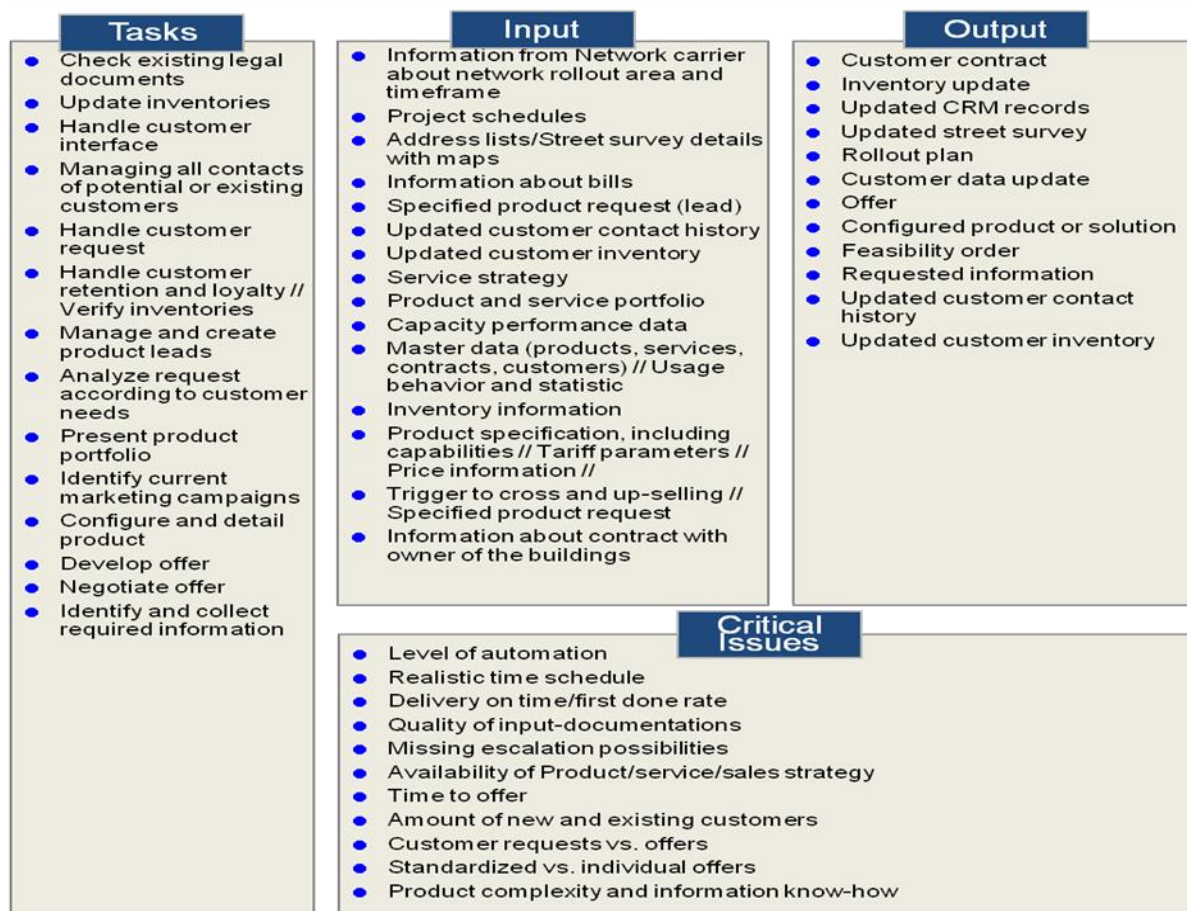
Celem działalności sprzedażowej jest zawarcie możliwie największej liczby umów usługowych. W realizacji FTTH w starej zabudowie, dotychczasowe umowy usługowe powinny być uzupełnione o dodatkowe usługi FTTH. Na nowych osiedlach chodzi o pozyskanie podpisów pod nowymi umowami usługowymi od wszystkich klientów. Wszystkie czynności sprzedażowe powinny rozpocząć się niezwłocznie po przyjęciu programu wdrożenia sieci i strategii sprzedaży oraz wtedy, gdy znany jest portfel produktów i usług.

Ogólna strategia wdrożenia FTTH może obejmować jedynie określony obszar, kiedy tylko klienci zamówią minimalną ilość usług FTTH. W takich przypadkach aktywność sprzedażowa powinna się rozpocząć przed wdrożeniem sieci.



*Rys. 64. Ogólny proces sprzedaży*

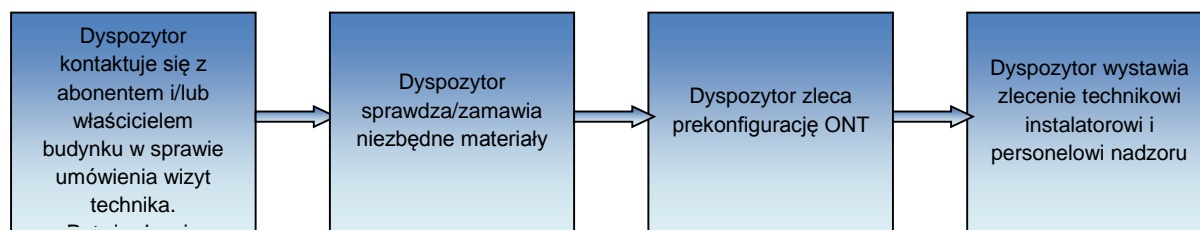
## Network Rollout Plan fixed to service contract



Rys. 65. Szczegółowy proces sprzedaży

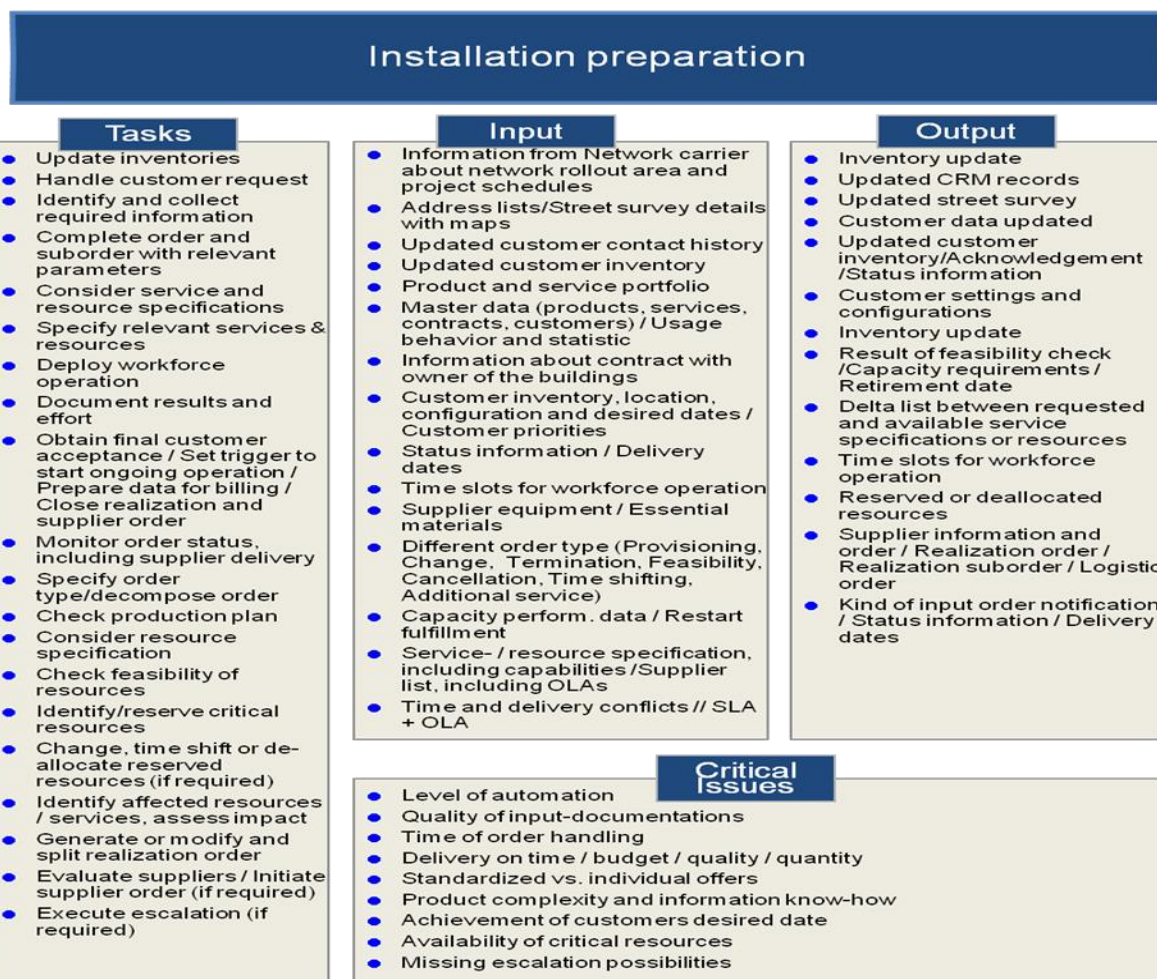
### 7.9.4 Przygotowanie instalacji

Instalacja zależy od czynności sprzedażowych i akwizycyjnych. Za kolejność prac odpowiada dyspozytor, który koordynuje działania techników i abonentów i/lub właściciela budynku, jak również zespołu logistycznego, a także aktywuje ONT. Dyspozytor powinien należycie planować harmonogram prac i umawiać spotkania, aby unikać dodatkowych wizyt technika u klienta/w budynku.



Rys. 66. Ogólny proces przygotowania instalacji

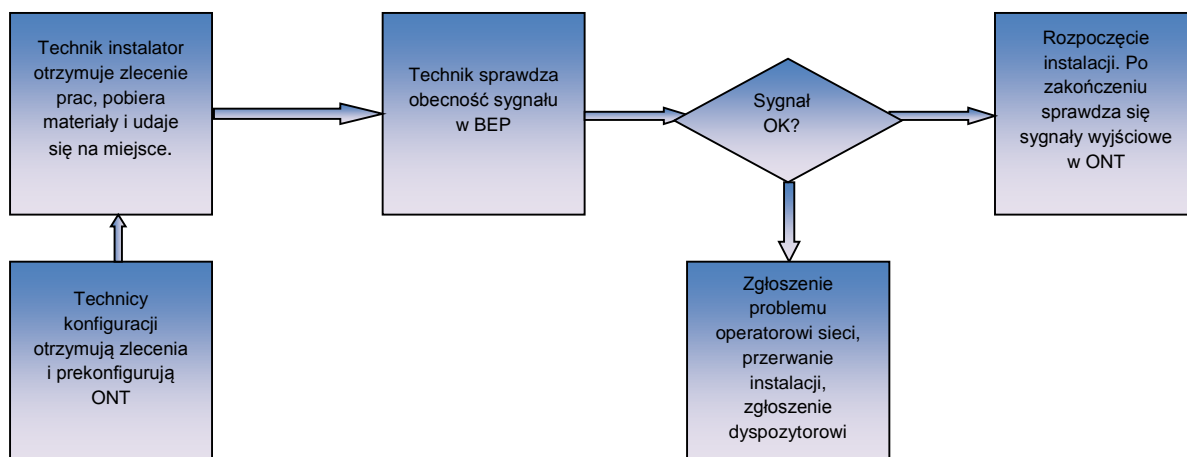




Rys. 67. Szczegółowy proces przygotowania instalacji

### 7.9.5 Instalacja

Technik instalator powinien być w stanie rozpocząć i zakończyć prace instalacyjne zgodnie z harmonogramem ustalonym przez dyspozytora i dodatkowymi informacjami przekazanymi przez sprzedaż i/lub akwizycję. Otrzymuje materiały i prekonfigurowane ONT. Przed rozpoczęciem prac instalacyjnych powinien sprawdzić obecność sygnału przychodzącego. Jeżeli w BEP nie ma sygnału, należy poinformować o problemie dział eksploatacji sieci.





# Installation



Rys. 69. Szczegółowy proces instalacji

## Systemy IT

W możliwie największym zakresie należy wykorzystywać systemy informatyczne (jeżeli dostępne). Możliwe systemy IT są następujące:

- NMS/EMS
- System inwentaryzacji
- GIS
- WFM
- CRM

Wszystkie systemy powinny korzystać z tej samej bazy danych albo okresowo synchronizować swoje dane.

## 8 Techniki realizacji

W tym rozdziale przedstawiono opis dostępnych technik realizacji infrastruktury. W jednej sieci może być zastosowana więcej niż jedna technika, w zależności od konkretnych warunków budowy sieci. Ze względu na to, że około 50% kosztów sieci kanalizowanej związanych jest z robotami budowlanymi (wykopy), zaleca się ustalenie, czy można wykorzystać istniejącą infrastrukturę (kanały należące do operatorów telekomunikacyjnych, gmin, zakładów energetycznych, publicznego systemu oświetlenia, kanalizacja sanitarna, instalacja wodociągowa i gazowa, jak również istniejące słupy w przypadku wdrożenia napowietrznego).

### 8.1 Infrastruktura kanałowa

Jest to najpowszechniej przyjęta metoda podziemnej instalacji kabli i obejmuje stworzenie sieci kanałowej umożliwiającej zainstalowanie kabli za pomocą zaciągania, wdmuchiwanie pneumatycznego lub hydraulicznego. Konwencjonalna infrastruktura kanalizacyjna może zostać zbudowana na kilka sposobów:

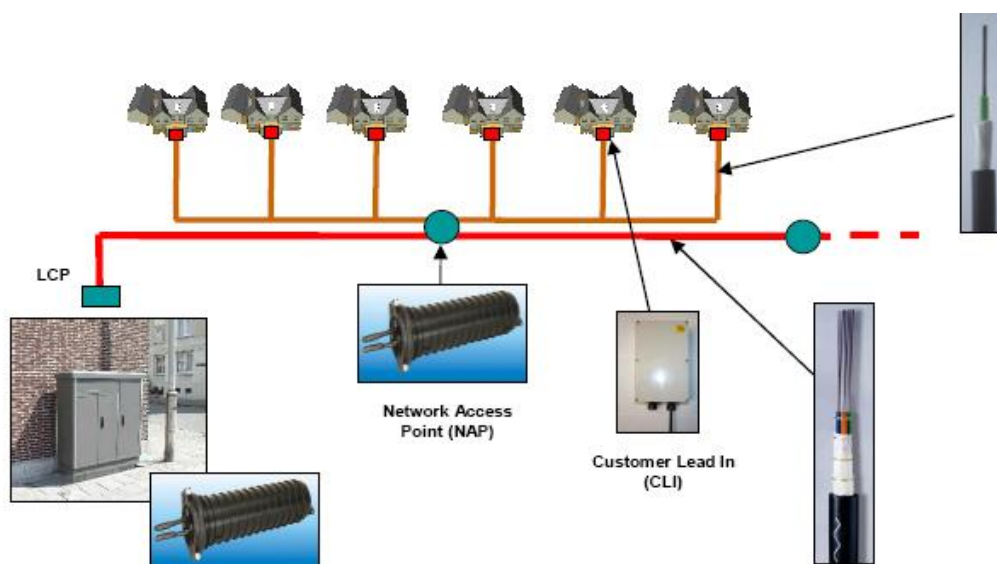
1. System rur kablowych pierwotnych zawierających mniejsze, sztywne lub elastyczne rury wtórne do instalacji indywidualnej kabli.
2. Rury kablowe o dużej średnicy umożliwiające stopniowe zaciąganie nowych kabli wraz z rozwojem sieci (instalacje „kabel na kable”).
3. Rury kablowe o małej średnicy do instalacji pojedynczych kabli.



*Rys. 70. Realizacja infrastruktury kanałowej*

Infrastruktura kanalizacyjna umożliwia dodatkowy rozwój i rekonfigurację sieci dostępowej.

Podobnie jak w przypadku wszystkich robót budowlanych, podczas budowy infrastruktury kanalizacyjnej FTTH należy uwzględnić istniejące elementy podziemnej infrastruktury, jak również niedogodności i zakłócenia ruchu ulicznego i pieszego.



*Rys. 71. Mapa produktowa konwencjonalnej infrastruktury kanałowej*

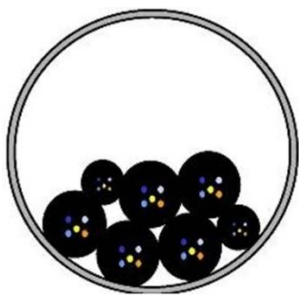
### 8.1.1 Sieć kanałów

W jednej rurze kablowej można zainstalować wiele kabli, które mogą być zainstalowane jednocześnie lub stopniowo (kabel po kablu). Jednakże system jednokanałowy ogranicza liczbę kabli, które można zainstalować z powodu splątania kabli i dużego tarcia pomiędzy osłonami kabli. Może to nawet doprowadzić do uszkodzenia osłon kabli, co skraca czas eksploatacji kabla. Podobnie, zaplątanie kabli może utrudnić usunięcie starych kabli z pełnych rur kablowych, aby zrobić miejsce na nowe kable. Starsze kable zwykle umieszczane są na dole kanału.

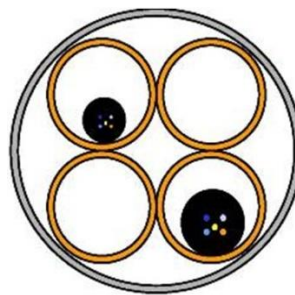


*Rys. 72. Splątanie kabli*

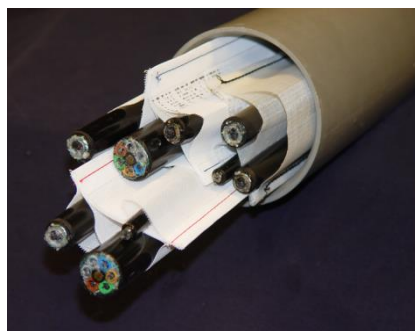
Stosowanie sztywnych rur wtórnych ogranicza liczbę kabli, które można zainstalować, ale umożliwia usuwanie starych kabli. Metoda ta umożliwia zarówno wdmuchiwanie, jak i zaciąganie mechaniczne kabli, ponieważ ułatwia stworzenie szczelnego przestrzeni w rurze wtórnej. Elastyczne rury wtórne tekstylne pozwalają zmaksymalizować łączną liczbę kabli, które można zainstalować w kanale oraz umożliwiają łatwe usuwanie starszych kabli. Ogólnie rzecz biorąc, elastyczne rury wtórne umożliwiają instalację trzykrotnie większej liczby kabli niż w przypadku rur wtórnych sztywnych. Jeżeli w rurze pierwotnej są już kable, elastyczna rura wtórna pozwala zmaksymalizować liczbę kabli, które można jeszcze dodać.



*Rys. 73. Rura kablowa pierwotna 110 mm*



*Rys. 74. Rura kablowa pierwotna 110 mm z czterema sztywnymi rurami wtórnymi*



*Rys. 75. Rura kablowa pierwotna 110 mm z dziewięcioma rurami wtórnymi elastycznymi*

Rozmiary rur pierwotnych zawierających sztywne rury wtórne sięgają od około 60 mm do 110 mm. Rozmiary rur pierwotnych przeznaczone pod kable pojedyncze są mniejsze. Typowa średnica wewnętrzna takiej rury wynosi od 20 do 40 mm. Mniejsze rury pierwotne mogą mieścić elastyczne rury wtórne lub mikrorury (zob. poniżej).

Kable mogą być instalowane w rurach przez zaciąganie, wdmuchiwanie powietrzem lub wodą. Jeżeli są zaciągane mechanicznie lub ręcznie, w rurze musi być zainstalowana lina ciągnąca. Jeżeli tak nie jest, linę trzeba zainstalować przez wdmuchiwanie lub za pomocą pręta. Jeżeli kable mają być wdmuchiwane powietrzem lub wodą do rury kablowej lub innych elementów łączących odcinki kanałów, cały układ musi być szczelny.

Ściany wewnętrzne rury pierwotnej lub sztywnej rury wtórnej produkowane są z powłoką ograniczającą tarcie, aby zapewnić niskie tarcie kabla w osłonie. Rura pierwotna lub sztywna rura wtórna może też posiadać profil wytłaczany zapewniający niskie tarcie, a w pewnych przypadkach stosowane są środki poślizgowe. Rury wtórne elastyczne są fabrycznie smarowane, aby uzyskać niewielkie tarcie.

Na długość kabla, którą można zaciągać lub wdmuchiwać wpływa szereg czynników, w tym współczynnik tarcia, zakręty na trasie kanału (pionowe i poziome), wytrzymałość i masa kabli oraz stosowany sprzęt instalacyjny. Wskaźnik wypełnienia, jak również rozmiar kabla w stosunku do rury kablowej powinny być wyliczone w procesie projektowania. W przypadku sieci już istniejących należy sprawdzić stan rur kablowych pod kątem uszkodzeń oraz dostępności miejsca do prowadzenia dalszego okablowania.



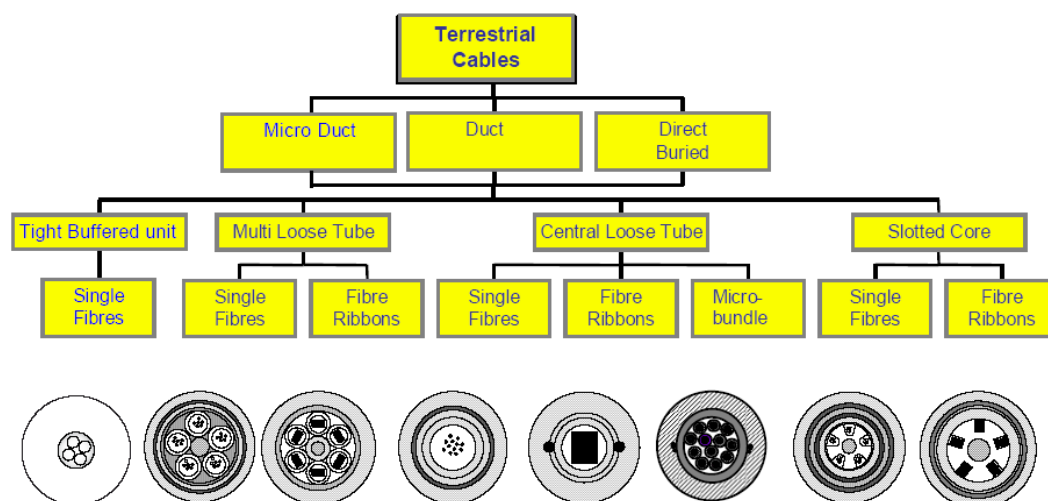
### 8.1.2 Typy rur kablowych

#### Rury pierwotne – systemy podziemne

Rury, w których prowadzone są kable transportowe biegną od Węzła Dostępowego do FCP. Potrzebna liczba rur zależy od rozmiaru i liczby kabli transportowych. Można przewidzieć dodatkową przestrzeń na instalację więcej niż jednego kabla w jednej rurze kablowej, ponieważ pozwala to zapewnić możliwość instalacji kolejnych kabli w przyszłości (np. za pomocą wdmuchiwania lub zaciągania mechanicznego). Średnica zewnętrzna małych rur pierwotnych sięga od 25 mm do 50 mm. Można zastosować większe rury pierwotne o średnicy do 110 mm, które mogą zawierać mniejsze sztywne rury wtórne o średnicy zewnętrznej od 20 mm do 40 mm albo elastyczne rury wtórne tekstylne. Do produkcji rur kablowych pierwotnych stosuje się HDPE lub PCW, natomiast sztywne rury kablowe wtórne wytwarzane są z HDPE. Rury wtórne elastyczne wykonane są z nylonu/poliestru.

### 8.1.3 Typy kabli do prowadzenia w rurach

Istnieje duże zróżnicowanie kabli, które można prowadzić w sieci rur kablowych.



Rys. 76. Oferta kabli do prowadzenia w rurach

Choć konstrukcja kabli może być różna, wariantów podstawowych jest niewiele. Podstawowym i najpowszechniejszym wariantem jest luźna tuba. Jest to rura plastikowa zawierająca pewną liczbę włókien (zazwyczaj 12). Rura ta zawiera substancję wypełniającą, która pozwala oddzielić włókna od siebie i ułatwia ich ruch wewnątrz w miarę jak kabel rozszerza się i kurczy w wyniku zmian temperatury i naprężeń mechanicznych. Inny wariant to zgrupowanie włókien w taśmy lub nałożenie na nie cienkiego pokrycia. Włókna mogą być także układane w wąskich rowkach wyżłobionych w elemencie centralnym kabla.

Rury zawierające pojedyncze włókna lub taśmy układane są wokół centralnego elementu wzmacniającego pokrytego osłoną plastikową. Aby zapobiec przenikaniu wilgoci wzdłuż lub w poprzek pokrytego polietylenem (lub innymi materiałami) kabla i ochrony przed wpływem otoczenia, mogą być stosowane materiały blokujące wodę, takie jak taśmy zwiększające objętość pod wpływem wilgoci lub smar. Włókna, taśmy lub wiązki włókien (chronione przez kolorowe mikropowłoki lub identyfikowane na podstawie kolorowej opaski) mogą być również umieszczone w większej tubie centralnej. Następnie są pokrywane elementami wytrzymałościowymi.



Jeżeli kable są zaciągane za pomocą wciągarki, muszą być wytrzymalsze niż wersje do wdmuchiwania, ponieważ siła rozciągająca może być znacznie większa. Kable wdmuchiwane muszą być lekkie i odpowiednio sztywne, by umożliwić proces wdmuchiwania. Rura kablowa oferuje wysoki poziom ochrony przed zgniataniem (z wyjątkiem miejsc, w których kabel jest odsłonięty, np. w studzienkach pod chodnikiem). Kable do prowadzenia w rurach kablowych są zwykle izolowane i pozbawione elementów metalowych, dzięki czemu nie muszą być uziemiane na wypadek uderzenia pioruna. Niektóre mogą jednak zawierać elementy metalowe w celu zwiększenia wytrzymałości (stalowe centralne elementy wzmacniające), umożliwienia zdalnego wykrywania (elementy miedziane) lub w celu uzyskania dodatkowej ochrony przed wilgocią (wzdłużna taśma aluminiowa). Prowadzenie kabli w rurach kablowych sprawia, że otoczenie jest dla nich zazwyczaj niegroźne, jednak kable te zaprojektowane są w taki sposób, aby wytrzymały ewentualne długotrwałe zalenie lub okazjonalne mrozy.

### 8.1.3.1 Instalacja kabla przez zaciąganie mechaniczne

Informacje przedstawione poniżej stanowią zarys wymagań dotyczących instalacji i sprzętu. Należy zapoznać się również ze specyfikacją IEC 60794-1-1 załącznik C, Guide to Installation of Optical Fibre Cables.

Kiedy kable są zaciągane mechanicznie do rury kablowej, przed wciąganiem kabla wewnątrz rury musi być zainstalowana lina. Kabel powinien być wyposażony w krętlik umożliwiający swobodne kręcenie się kabla wzdłuż własnej osi w miarę instalacji; potrzebna jest też bezpiecznik ustawiony na wytrzymałość na rozciąganie danego kabla lub poniżej niej. Długie odcinki kabla mogą być instalowane wówczas, gdy kabel będzie w stanie wytrzymać dodatkowe obciążenie rozciągające wynikające z ciągnięcia lub poprzez „fleeting” kabla na odpowiednich odcinkach środkowych, aby umożliwić pomocniczą operację zaciągania lub też z użyciem pośrednich pomocniczych urządzeń popychających (kabestanów lub popychaczy). Fleeting oznacza układanie pętli światłowodów na powierzchni w kształcie ósemek, aby zapobiec skręcaniu się kabli wzdłuż własnej osi. Jeżeli instalowane są dodatkowe rury kablowe pierwotne lub wtórne, wówczas można zainstalować dodatkowe kable wtedy, gdy zaistnieje taka potrzeba (konceptcja „just in time”).

Podczas instalowania kabli należy uwzględniać ich parametry mechaniczne i środowiskowe, które są określone w sporządzanych przez dostawcę kartach produktu. Parametrów tych nie należy przekraczać. Wytrzymałość na rozciąganie to maksymalne naprężenie rozciągające, jakiemu może być poddany kabel w procesie instalacji, który zapewnia, że naprężenia przykładane do włókien znajdują się w granicach bezpieczeństwa eksploatacji. Użycie krętlika i bezpiecznika mechanicznego chroni kabel przed przekroczeniem siły rozciągającej.



Rys. 77. Krętlik do zaciągania mechanicznego kabli



Rys. 78. Prowadnica kabla

W celu obniżenia tarcia pomiędzy kablem a rurą wtórną można stosować środki poślizgowe, które zmniejszają obciążenia rozciągające. Minimalna średnica gięcia determinuje najmniejszy zwój, jaki można utworzyć podczas składowania kabla w komorze kablowej. Powinny być stosowane odpowiednie koła i prowadnice zapewniające utrzymanie minimalnego dynamicznego promienia

gięcia podczas instalacji. Jeżeli zewnętrzna średnica kabla przekracza 75% średnicy wewnętrznej rury kablowej, wówczas można skrócić odcinek zaciągania.

### **8.1.3.2 Instalacja kabla przez zaciąganie pneumatyczne**

W przeszłości kable były zazwyczaj wciągane do kanałów kablowych metodami mechanicznymi. Ostatnio, szczególnie w świetle rozwoju lekkich konstrukcji pozbawionych metalu, znaczna część kabli instalowana jest przez wdmuchiwanie (o ile infrastruktura kanalizacyjna jest do tego przystosowana). Ten sposób może być szybszy niż zaciąganie mechaniczne i umożliwia instalację kabli o większej długości jednostkowej, dzięki czemu ogranicza się liczbę złączy kablowych. Jeżeli instalowane są dodatkowe rury kablowe pierwotne lub wtórne, wówczas można zainstalować kolejne kable wtedy, gdy zaistnieje taka potrzeba.

W przypadku wdmuchiwania kabli do rury kablowej ważne jest, by sieć tych rur była szczelna na całej długości wdmuchiwania. Można to zapewnić w przypadku nowych instalacji, ale trzeba sprawdzić w przypadku wcześniej założonej kanalizacji teletechnicznej, szczególnie w sieciach starszych.

Należy zachować odpowiednie proporcje pomiędzy średnicą wewnętrzną rury kablowej a średnicą zewnętrzną kabla. Jeżeli średnica zewnętrzna kabla przekracza 75% średnicy wewnętrznej rury kablowej, potrzebne są wartości ciśnienia wyższe niż zapewniane przez konwencjonalne sprężarki albo trzeba skrócić odcinek wdmuchiwania. Niemniej jednak, dobre rezultaty osiągnąć można w przypadku wskaźnika wypełnienia pomiędzy 40% a 85%. Zbyt mała średnica kabla może doprowadzić do trudności z instalacją, szczególnie wówczas, gdy kabel jest bardzo elastyczny. W takim przypadku, trudność tę rozwiązuje półotwarty tłoczek przymocowany do końca kabla.

Głowica pneumatyczna zaciągająca kabel powinna jednocześnie wdmuchiwać i wypychać kabel do rury kablowej. Wpychanie pozwala pokonać tarcie pomiędzy kablem a rurą na pierwszych kilkuset metrach i rozwijać kabel z bębna. Do głowicy pneumatycznej podłączona jest odpowiednia sprężarka pneumatyczna. Rury kablowe i połączenia pomiędzy nimi powinny być wystarczająco szczelne, aby umożliwiać odpowiedni przepływ powietrza przez kanał. Ciśnienie hydrauliczne na głowicy pneumatycznej musi być ściśle kontrolowane, aby zapewnić brak uszkodzeń kabla.

### **8.1.3.3 Instalacja kabla przez zaciąganie hydrauliczne**

Uwzględniając fakt, że większość zewnętrznych kabli podziemnych wystawiona jest na działanie wody przez znaczną część ich eksploatacji, możliwa jest metoda zaciągania alternatywna wobec zaciągania pneumatycznego, w której wykorzystuje się zamiast powietrza strumień wody. Procedurę tę można przeprowadzić z użyciem maszyn przeznaczonych do wdmuchiwania: powietrze zastępuje się po prostu wodą. W porównaniu z wdmuchiowaniem, zaciąganie kabla za pomocą strumienia wody umożliwia układanie znacznie dłuższych odcinków kabli w rurach kablowych bez stosowania pośrednich punktów dostępowych.

W wielu przypadkach zaciąganie kabla za pomocą strumienia wody może być bardzo wydajne w przypadku kabla leżącego jeden na drugim. Wydajność tego procesu spada w przypadku układania kabla o średnicy zewnętrznej przekraczającej 75% średnicy wewnętrznej rury kablowej. Niemniej jednak, dobre wyniki uzyskiwano również w przypadku wyższych wskaźników wypełnienia; na przykład kabel 38 mm przepychany był strumieniem wody na odcinku 1,9 km w rurze kablowej o średnicy wewnętrznej 41 mm (wskaźnik wypełnienia 93%).

Zaciąganie kabla strumieniem wody jest również bezpiecznym sposobem usuwania kabli z rury kablowej, umożliwiającym ponowne wykorzystanie tego kabla. Wydmuchiwanie kabla jest natomiast operacją ryzykowną.

#### 8.1.4 Usuwanie rdzeni kabli

Opracowano nowe techniki skutecznego usuwania rdzeni kabli. Dzięki temu rdzenie kabli miedzianych można zastąpić szybko i ekonomicznie włóknami optycznymi.

Zamiast wykopywania kabla na całej długości, dostęp do niego odbywa się teraz tylko w dwóch punktach oddalonych od siebie o 50 do 400 metrów. W przestrzeń pomiędzy powłoką ochronną kabla a pokryciem bezpośrednim rdzenia wtłaczany jest specjalny płyn oddzielający rdzeń od powłoki ochronnej.

Następnie, rdzeń starego kabla jest wyciągany mechanicznie i przygotowywany do ekologicznej utylizacji lub recyklingu. Jednocześnie do starej osłony kablowej zaciągana jest pusta, dobrze dopasowana rura kablowa na nowy kabel światłowodowy.

Następnie te tzw. „mikrorury” są ze sobą łączone, wykopy są zamykane, a do pustej rury kablowej wprowadzane są światłowody.

Obok pozytywnych aspektów ekologicznych – stare kable mogą być poddane jednolitej recyklingowi, a płyn ulega biodegradacji – technika ta może być o 40% do 90% tańsza od instalacji nowego kabla, szczególnie ze względu na to, że czas realizacji jest znacznie krótszy, a koszty projektowania i wykonania niższe.



*Rys. 79. Usuwanie rdzeni kabli*

#### 8.1.5 Komory dostępne i kablowe

Odpowiedniej wielkości komory dostępne powinny być umieszczone w regularnych odstępach na trasie kanalizacji teletechnicznej w takich miejscach, aby umożliwiały dobre warunki podłączania kabli przyłączeniowych abonentów. Komory kanalizacji teletechnicznej muszą być wystarczająco duże, by umożliwiały przeprowadzanie wszelkich operacji instalacji kabli, przechowywanie nadmiarowych pętli kabla na potrzeby łączenia i konserwacji, elementów mocujących kable, jak również przechowywanie muf na spójnia kablowe.

Komory mogą być wykonywane na miejscu lub dostarczane w postaci prefabrykowanych jednostek, aby zminimalizować koszty budowy i zakłóceń na miejscu. Dostępne są również modułowe jednostki montowane na miejscu. Jeżeli istniejące komory dostępne nie nadają się do wykorzystania ze względu na zbyt mały rozmiar lub wypełnienie kablami/mufami, wówczas należy rozważyć budowę komór pomocniczych w pobliżu.

#### 8.1.6 Mufy kablowe

Mufy kablowe mogą przybrać postać osłon łączowych torowych lub złącza przelotowego, łączącego ze sobą odcinki kabli i włókien lub też zawierać funkcję dystrybucji mniejszych kabli

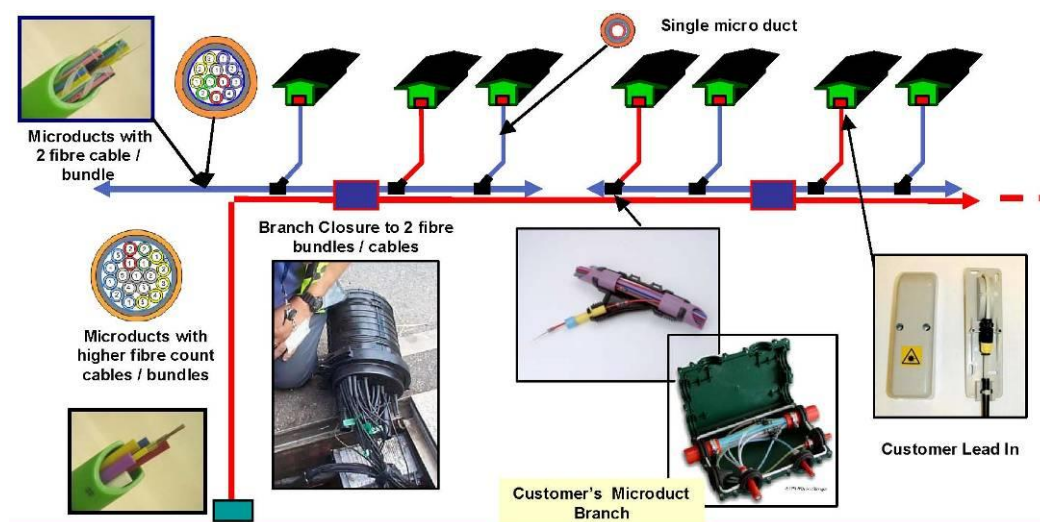
odgałęźnych. Mufy umieszcza się zwykle w studzienkach lub komorach podziemnych. Czasami złącze kablowe może być umieszczone w komorze bocznej lub w szafce ulicznej.

Nie ma szczególnych regulacji dotyczących odstępów między mufami, mogą być jednak umieszczane w regularnych odstępach 500 m na terenach o średniej gęstości zaludnienia i co 250 m na terenach gęściej zaludnionych. Niektóre sieci mogą wymagać użycia złącz pośrednich, które umożliwiają wyprowadzenie włókien przez złącze bez spajania; tylko potrzebne włókna wychwytywane są do spajania.

Ośłona złączowa musi być odporna na długotrwałe zalanie i dostępna w razie potrzeby do dodania nowych lub modyfikacji istniejących obwodów światłowodowych prowadzących do abonenta.

## 8.2 Mikrokanalizacja do wdmuchiwania i mikrokable

W tej opcji wykorzystuje się sprężone powietrze do wdmuchiwania włókien i kabli o małej średnicy do sieci rur prowadzących do obiektów klienta. Realizacje światłowodowe można odłożyć na później, do czasu potwierdzenia zapotrzebowania przez abonenta, dzięki czemu unika się spekulatywnych programów budowy, za które trzeba zapłacić z góry. Ponadto, liczbę spojeń można zminimalizować dzięki wdmuchiowaniu długich odcinków światłowodu do sieci rur (które same można łatwo połączyć dzięki złączkom zatraskowym). Mikrokanalizacja może być wykorzystana w połączeniu z rurami kablowymi, kablami układanymi bezpośrednio w wykopie i infrastrukturą napowietrzną, a tuby mogą być umieszczane w konstrukcjach zaprojektowanych do jednej ze wskazanych trzech metod.



Rys. 80. Mapa produktowa mikrokanalizacji do wdmuchiwania i mikrokabli

### 8.2.1 Rozwiązania mikrokanalizacyjne

Mikrorury to małe, elastyczne, lekkie rury o średnicy zazwyczaj poniżej 16 mm, przypominające mniejsze wersje konwencjonalnych rur kablowych (np. o średnicy zewnętrznej 10 mm i wewnętrznej 8 mm), które są preinstalowane lub wdmuchiwanie do większych rur kablowych wtórnych. Mikrorury mogą być wykorzystywane jako podsegmenty kanalizacji wtórnej (na przykład stosowanie pięciu mikrorur 10 mm). Mikrorury mogą być wdmuchiwane bezpośrednio do rur kablowych wtórnych. Ewentualnie mogą to być również małe tuby (o średnicy zewnętrznej np. 5 mm i wewnętrznej 3,5 mm) z osłoną, w której mieści się jedna lub kilka tub, zwane



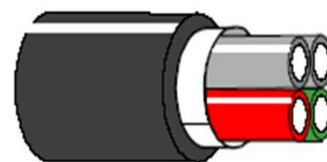
„multirurami”. Multirury (zawierająca zwykle od jednej do 24 mikrorur) może być zbudowana podobnie jak kable napowietrzne, zakopywane bezpośrednio w ziemi lub kable w osłonach rurowych, o których mowa powyżej i instalowane są w podobny sposób.



*Rys. 81. Rura kablowa wtórna z podsegmentami*



*Rys. 82. Mikrorury po instalacji*



*Rys. 83. Multirura*

**Mikrorury grubościennie** nie muszą być umieszczane lub wdmuchiwane wewnątrz innej rury. Wiązki mikrorur grubościennych stanowią najbardziej przyjazne dla użytkownika rozwiązanie przyłączeniowe. Z technicznego punktu widzenia jest to rozwiązanie optymalne w realizacjach blisko powierzchni, gdzie temperatura może ulegać znacznym wahaniom. Produkty te mogą być prowadzone bezpośrednio w ziemi na długich dystansach w wiązkach po 2, 4, 6, 7, 12 lub 24 sztuk, lub zakopywane indywidualnie na krótszych odcinkach. Ponadto mikrorury oferują najłatwiejsze rozwiązanie do rozgałęziania, usuwania cienkiej zewnętrznej powłoki i wykonywania złącza zatraskowego.

**Mikrokanalizacja typu „ścisła tuba”** oferuje największą liczbę mikrorur preinstalowanych w standardowej rurze kablowej. Składa się ze standardowej osłony z HDPE zaciśniętej wokół wiązki mikrorur. Zarówno rura pierwotna, jak i mikrorury dostępne są w wielu rozmiarach, aby obsłużyć różne typy kabli światłowodowych. Mikrorury typu „ścisła tuba” posiadają osłonę, aby uniknąć wykrzywień, dzięki czemu są mniej podatne na zmiany temperatur.

**Mikrorury w luźnej organizacji** charakteryzują się szczególną odpornością na ściskanie i biją rekordy długości odcinków, na których można wdmuchiwać do niech światłowody. Mikrorury w luźnej organizacji instalowane są na dwa sposoby:

- Preinstalowane rury HDPE w różnych rozmiarach, nadające się do bezpośredniego kładzenia w wykopach, z odgałęzieniami w odpowiednich miejscach.
- Wdmuchiwane po zakopaniu rur kablowych HDPE, co stanowi optymalne rozwiązanie z punktu widzenia elastyczności rozbudowy sieci.



*Rys. 84. Wiązka mikrorur grubościennych*



*Rys. 85. Rozgałęzienie mikrokanalizacji grubościennej*

### 8.2.2 Złączki i mufy w mikrokanalizacji

Odcinki mikrorur mogą być ze sobą łączone za pomocą specjalistycznych złączek dostępnych w wersjach wodo- i gazoszczelnych.

Konstrukcja złączek mikrorur grubościennych umożliwia instalatorowi zatrzaśnięcie końcówek dwóch mikrorur bez potrzeby stosowania mufy, rozgałęźnika Y-kształtnego lub skrzynki do organizacji rur. Złączki lub końcówki szczelne gazowo muszą być stosowane w punktach dostępu do sieci, aby chronić integralność i bezpieczeństwo konstrukcji.



*Rys. 86. Elementy rozgałęźne*

Mikrokanalizacja typu „ściśła tuba” wymaga wodoszczelnej mufy do rozgałęzienia. Wodoszczelne rozgałęźniki Y i złącza owijane zapewniają dostęp do mikrorur i umożliwiają ich rozgałęzianie w dowolnym punkcie sieci. Skrzynki do organizacji rur mogą być stosowane do rozgałęziania kilku mikrorur w różnych kierunkach. Powszechnie stosowane są złącza przelotowe, zwężki rurowe i elementy rozgałęźne do łączenia i rozdzielania rur kablowych. Złączki lub końcówki gazoszczelne muszą być stosowane w punktach dostępu do sieci, aby chronić integralność i bezpieczeństwo konstrukcji.





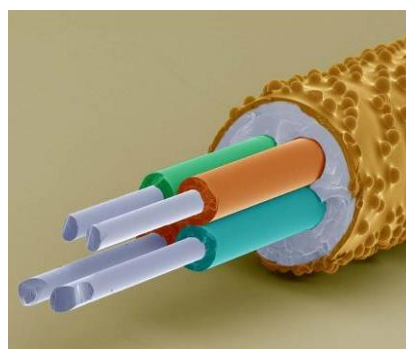
*Rys. 87. Złączki zatrzaskowe (od lewej do prawej): złączki rurowe gazoszczelne, złącza przełotowe, złączki do końcówek rur*

### 8.2.3 Mikrokable i wiązki światłowodów

Wewnątrz mikrorur prowadzone są mikrokable (np. 96-włóknowe o średnicy 6,4 mm do stosowania w mikrorurze 10 mm/8 mm) lub bardzo małe kable do wdmuchiwania o średnicy 1 do 3 mm mieszczące do 12 włókien (np. 4 włókna w kablu 1-milimetrowym do stosowania w rurach 5 mm/3,5 mm). Kable stosowane w tych rurach mają lekką konstrukcję wymagającą rury osłonowej. Innymi słowy, rura kablowa i kabel funkcjonują razem jako system. Kable są instalowane przez wdmuchiwanie i mogą być powleczone specjalną substancją ułatwiającą wdmuchiwanie.



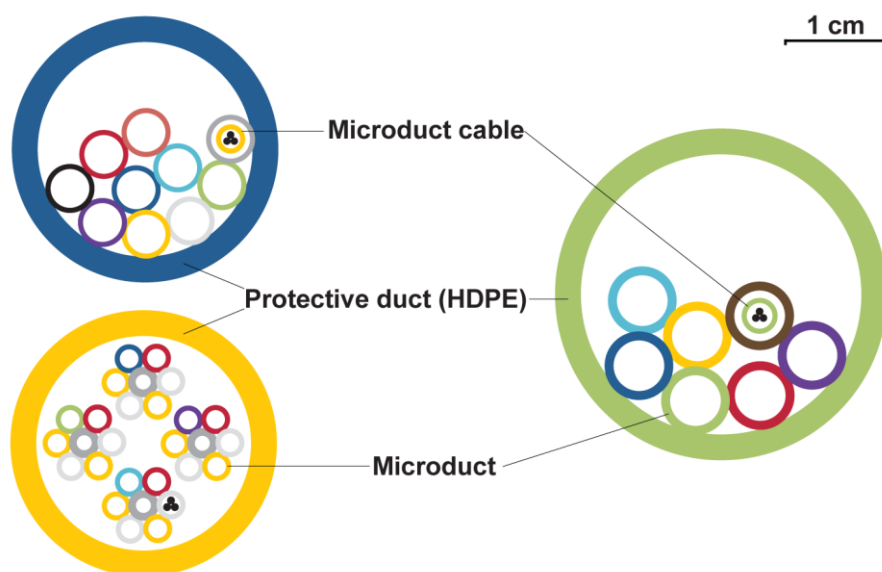
*Rys. 88. Mikrokable*



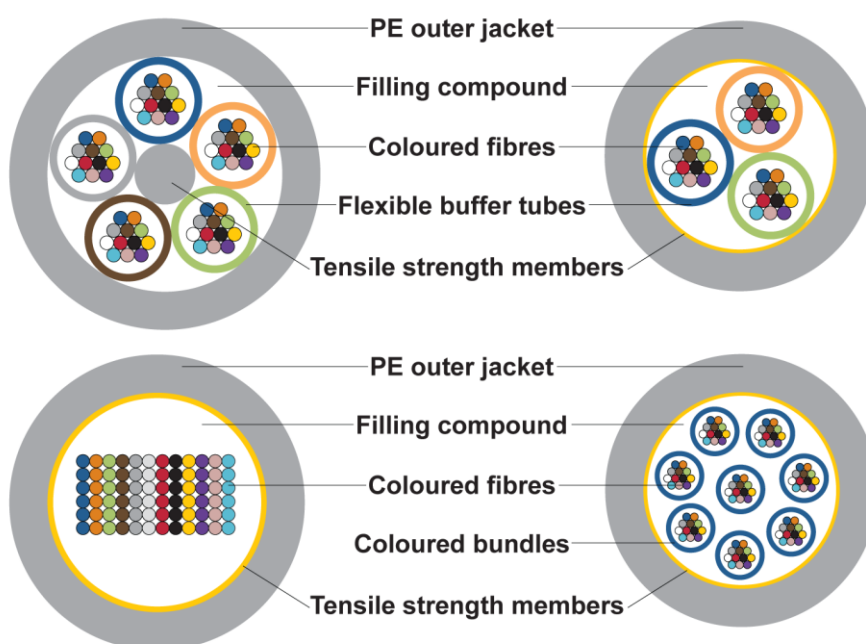
*Rys. 89. Mikrokabel z 4 włóknami*

Wielkość mikrorury musi być dopasowana do kabla i wymaganej liczby włókien. Typowe kombinacje rozmiarów kabla i rury kablowe podano w tabeli poniżej, jednak mogą być też stosowane inne rozmiary i kombinacje.

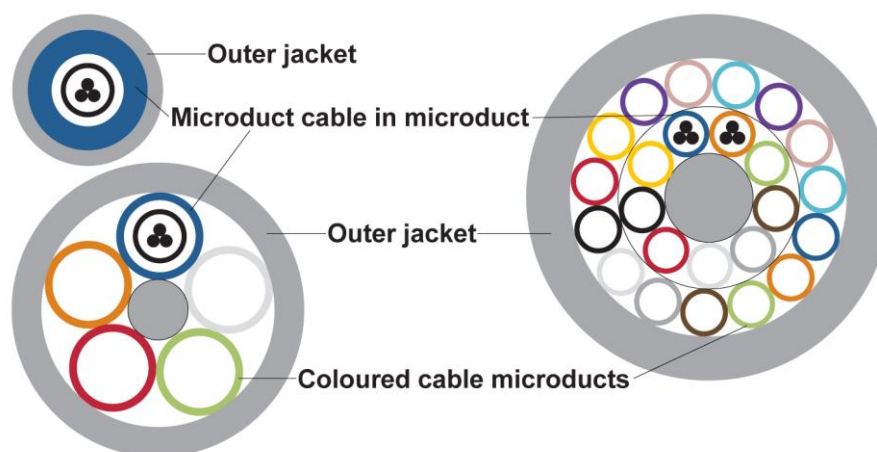
Średnica zewnętrzna mikrorury (w mm)	Średnica wewnętrzna mikrorury (w mm)	Typowa liczba włókien	Typowa średnica kabla (w mm)
16	12	24–216	9,2
12	10	96–216	6,5–8,4
10	8	72–96	6–6,5
7	5,5	48–72	2,5
5	3,5	6–24	1,8–2
4	3	22–12	1–1,6



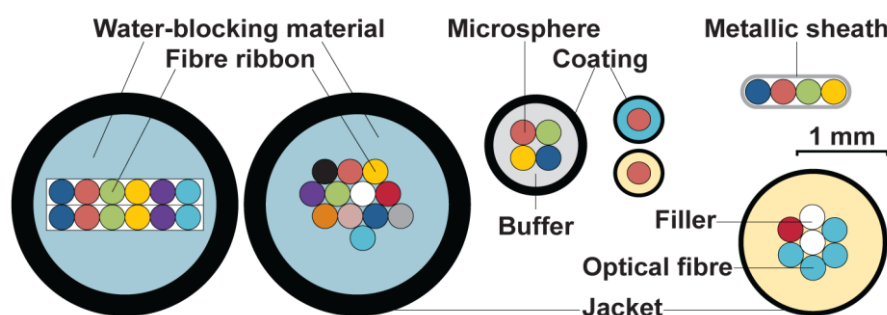
*Rys. 90. Multirura w luźnej organizacji*



*Rys. 91. Kable światłowodowe w mikrorurze (proporcje mogą nie odpowiadać rzeczywistości)*



*Rys. 92. Multirura w ścisłej rurze zewnętrznej (proporcje mogą nie odpowiadać rzeczywistości)*



*Rys. 93. Przykłady wiązek kabli światłowodowych. Nazewnictwo mikrorur na schemacie*

Odległość, na jaką można wdmuchiwać zależy od mikrorury, kabla i osprzętu instalacyjnego, jak również stopnia złożoności trasy, w szczególności obecności zakrętów i odchył pionowych wzdłuż trasy.

W punkcie dojścia światłowodu do końcowego rozgałęzienia do domu może być możliwe stosowanie nawet mniejszych rur kablowych (np. 4 mm/3 mm lub 3 mm/2,1 mm), ponieważ pozostały odcinek do wdmuchiwania jest dość krótki.

## 8.2.4 Instalacja mikrokabla/zestawu światłowodów wdmuchiwanych

Sposób instalacji jest bardzo podobny do tego, który stosowany jest do kabli pełnowymiarowych, ale instalacja wykonywana jest za pomocą mniejszych urządzeń do wdmuchiwania oraz lżejszych i bardziej elastycznych urządzeń do rozwijania okablowania – szpule zamiast bębnow i klatek. W pewnych warunkach mikrokable mogą być zaciągane hydraulicznie za pomocą mniejszego osprzętu do zaciągania hydraulicznego.

## 8.2.5 Komory dostępne i kablowe

W odniesieniu do mikrokabli stosuje się te same reguły, które obowiązują w przypadku zwykłych kabli. Ponadto możliwe jest rozgałęzianie mikrorur kablowych w miejscach studzienek kablowych niewłazowych za pomocą odpowiednich rozgałęźników kątowych zamiast potrzeby pełnowymiarowej komory.

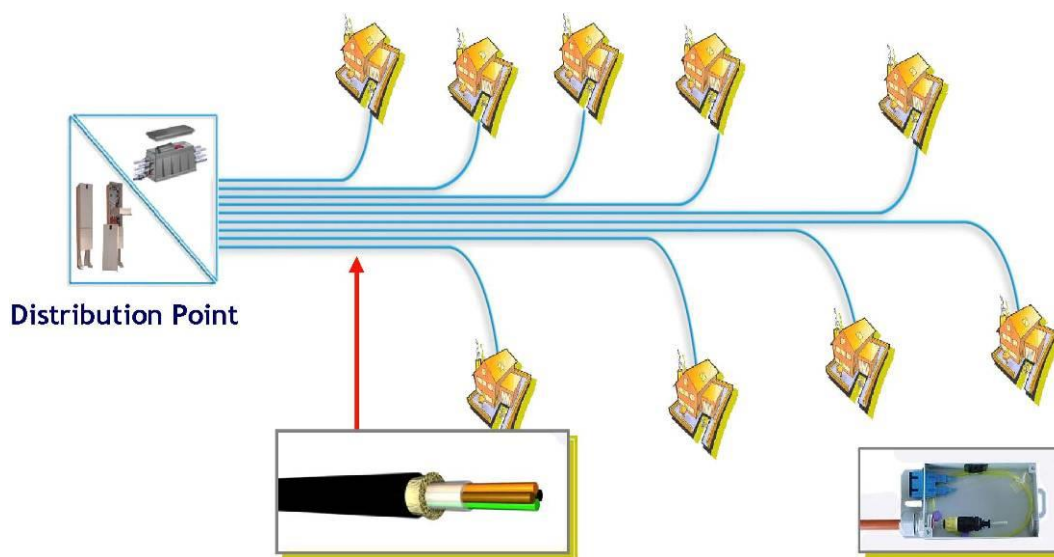
### 8.2.6 Mufy do mikrokanalizacji

Mufy do mikrokabli mają te same cechy główne, co mufy kabli, istnieją jednak różne ich typy, w zależności od tego, czy złączka stosowana jest do łączenia lub rozgałęziania włókien albo czy same rury muszą być rozgałęziane czy łączone. Osłony te oferują znaczną elastyczność w prowadzeniu tras kablowych, a jednocześnie minimalizują liczbę etapów instalacji. Po połączeniu rur, kable lub włókna mogą być wdmuchiwane na całej trasie, umożliwiając stosowanie prostych złączek zamiast pełnowymiarowych muf.

Rury pierwotne mogą być połączone bezpośrednio z odpowiednim orurowaniem wewnątrzbudynkowym, aby uniknąć potrzeby wykonywania spojeń w punkcie wejścia do budynku. Mogą być potrzebne pewne funkcje ochronne, w szczególności dotyczące redukcji ciśnienia. Jeżeli wymagana jest mufa w pełni gazoszczelna, może powstać sytuacja niebezpieczna, kiedy włókno będzie wdmuchiwane przez osłonę i dojdzie do wycieku sprężonego powietrza z rur umieszczonych w złączce. Aby zapobiec narastaniu ciśnienia, które mogłoby skutkować rozerwaniem złączki, należy przewidzieć niezawodny zawór bezpieczeństwa lub inny mechanizm usuwania nadmiaru ciśnienia.

## 8.3 Kabel do układania bezpośrednio w ziemi

Układanie kabli bezpośrednio w ziemi zapewnia bezpieczeństwo, ochronę i ukrycie kabli, jednak przed położeniem kabla w wąskim wykopie należy przeprowadzić dokładną inwentaryzację, aby zapobiec uszkodzeniu innych instalacji podziemnych, które mogą znajdować się w pobliżu.



*Rys. 94. Mapa produktowa dotycząca kabli do układania bezpośrednio w ziemi*

### 8.3.1 Opcje instalacyjne

Istnieje wiele technik wykonywania wykopów, w tym głęboszowanie, wykop otwarty, wymywanie hydrauliczne [*slot trenching*] lub odwiert kierunkowy. Na terenie realizacji można stosować połączenie tych opcji.

### 8.3.2 Rodzaje kabli do układania bezpośrednio w ziemi

Kable układane bezpośrednio w ziemi są podobne do kabli układanych w rurach kablowych, ponieważ również w ich przypadku stosuje się luźne tuby. Kable mogą być wyposażone w dodatkowe zbrojenia ochronne, choć zależy to od techniki układania. W przypadku wykonywania wykopu otwartego i zasypywania kabla warstwą piasku wystarczające mogą być konstrukcje lekkie, natomiast bezpośrednie głęboszowanie lub zasypywanie glebą z kamieniami może wymagać wytrzymalszych konstrukcji. Jedną z ważniejszych cech jest ochrona przed ściskaniem, która może polegać na zastosowaniu stalowej osłony karbowanej lub grubej osłony z polietylenu o odpowiedniej twardości.



*Rys. 95. Kabel z osłoną z blachy stalowej karbowanej*



*Rys. 96. Kabel do układania bezpośrednio w ziemi bez elementów metalowych*

### 8.3.3 Ochrona odgromowa

Na terenach o nasilonej aktywności burzowej korzystne mogą być konstrukcje pozbawione metalu. Oferują one jednak mniejszy stopień ochrony przed ściskaniem niż kable z osłoną z blachy stalowej karbowanej. Blacha ta jest w stanie zabezpieczyć przed bezpośrednim uderzeniem pioruna, szczególnie wówczas, gdy kabel nie zawiera innych elementów metalowych, a także oferuje doskonałą ochronę przed ściskaniem.

### 8.3.4 Ochrona przed gryzoniami

Blacha karbowana stanowi jedno z najlepszych zabezpieczeń przed uszkodzeniem przez gryzonie lub inne zwierzęta ryjące. Jeżeli kabel ma być pozbawiony materiałów metalowych, wówczas najlepszym rozwiązaniem jest warstwa sztywnych dielektrycznych elementów pomiędzy dwiema osłonami. Kolejną możliwością jest całkowite pokrycie kabla włóknem szklanym, które w pewnym stopniu może powstrzymywać gryzonie.

### 8.3.5 Ochrona przed termitami

Osłony nylonowe, choć drogie, stanowią doskonałą ochronę przed termitami. Nylon jest odporny na przegryzienia i chemicznie odporny na substancje wydzielane przez termyty.

### 8.3.6 Komory dostępne i kablowe

W zależności od konkretnego zastosowania, zamiast komór dostępowych i kablowych stosowanych w instalacjach kanałowych stosuje się zwykle złącza zakopywane.

### 8.3.7 Mufy kablowe do układania bezpośrednio w ziemi

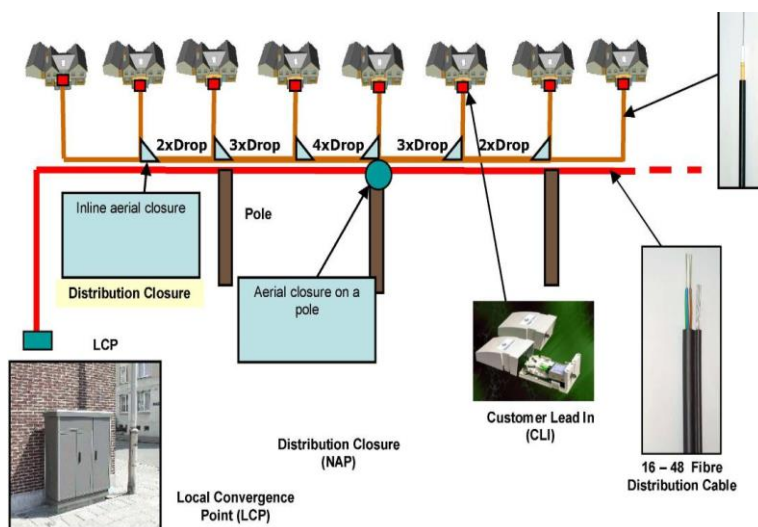
Podstawowe mufy stosowane w przypadku kabli do układania bezpośrednio w ziemi są podobne do tych stosowanych na kable układane w rurach, ale mogą wymagać dodatkowej ochrony



mechanicznej. Tego rodzaju osłona może również ułatwiać rozdział mniejszych kabli odgałęźnych.

## 8.4 Kable napowietrzne

Kable napowietrzne podwieszane są na słupach lub innych elementach infrastruktury wysokościowej, stanowiąc jedną z najbardziej ekonomicznych metod prowadzenia kabli odgałęźnych na ostatnim połączeniu prowadzącym do abonenta. Główne zalety to wykorzystanie istniejącej infrastruktury słupowej do łączenia abonentów, brak potrzeby wykonywania wykopów w pasie drogowym lub prowadzenia nowych kanałów. Kable napowietrzne instaluje się stosunkowo szybko i łatwo, z użyciem osprzętu i praktyki znanej instalatorom.



*Rys. 97. Mapa produktowa dotycząca kabli napowietrznych*

### 8.4.1 Odporność infrastruktury słupowej na obciążenia

Słupy, na których ma być podwieszony kabel optyczny mogą być już obciążone innymi kablami. Wcześniejsze istnienie trasy napowietrznej może być jednym z podstawowych powodów wyboru tego rodzaju infrastruktury. Dodanie kabli zwiększa obciążenie słupów, dlatego należy sprawdzić stan techniczny słupów i ich dopuszczalne obciążenie. W niektórych krajach, np. w Wielkiej Brytanii, kable stosowane do okablowania napowietrznego muszą być skonstruowane w taki sposób, aby ulegały zerwaniu w kontakcie z wysokimi pojazdami, aby uniknąć uszkodzenia słupów.

### 8.4.2 Rodzaje kabli napowietrznych

Kable napowietrzne mogą być okrągłe samonośne (ADSS lub podobne), w konstrukcji ósemkowej, owijane lub przywiązywane.

Konstrukcja ADSS jest użyteczna, kiedy ważna jest izolacja elektryczna, na przykład na słupach, na których prowadzone są kable energetyczne lub telekomunikacyjne wymagającego dużego stopnia ochrony mechanicznej. Tego rodzaju kable są również



*Rys. 98. Kabel napowietrzny*



preferowane przez firmy mające praktykę w instalacji kabli miedzianych, ponieważ stosuje się podobny osprzęt i techniki instalacyjne.

Konstrukcja ósemkowa umożliwia łatwe oddzielenie pakietu optycznego od elementu wytrzymałościowego.

W przypadku kabla ADSS element wytrzymałościowy stanowi część kabla.

Kable ADSS mają tę zaletę, że światłowody są niezależne od przewodników elektrycznych, ponieważ, podobnie jak w kablach owijanych wokół przewodów fazowych, stosuje się w nich specjalne antyerozyjne materiały osłonowe korzystne podczas stosowania w silnym polu elektrycznym.

Kable owijane lub wiązane to kable konwencjonalne mocowane do specjalnego zawieszenia za pomocą specjalistycznego sprzętu; to pozwala uprościć wybór kabla. Do owijania kabli wokół przewodów odgromowych i fazowych stosuje się specjalne owijarki.

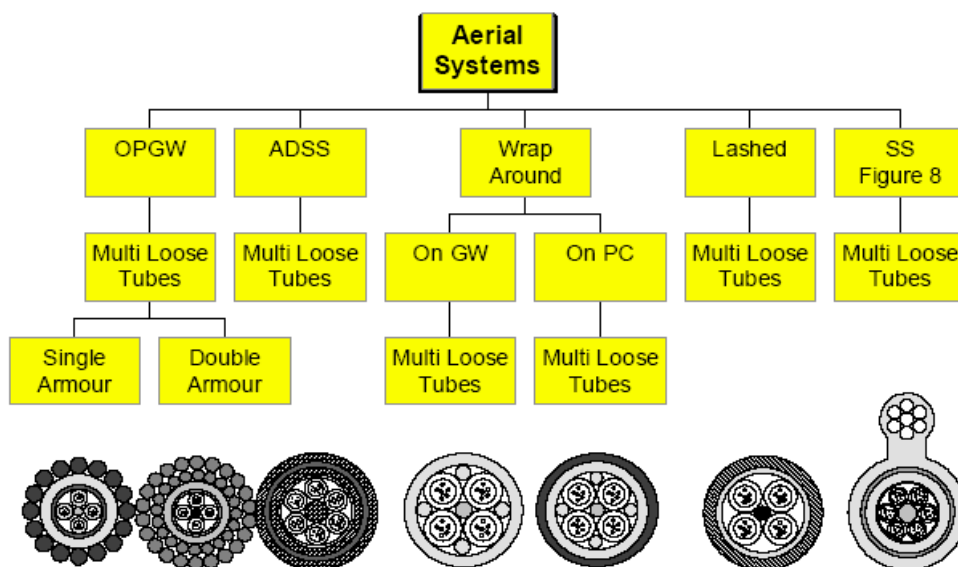
Jeżeli światłowód jest rozprowadzany bezpośrednio na linii energetycznej, może być stosowany kabel OPGW (przewód uziomowy ze zintegrowanymi włóknami światłowodowymi). OPGW chroni światłowody pod pojedynczą lub podwójną warstwą stalowych przewodów wzmacniających. Klasa przewodów wzmacniających i średnica kabla dobierane są w taki sposób, aby spełniały wymagania istniejącej infrastruktury linii energetycznej. OPGW oferuje doskonały poziom niezawodności, ale zwykle wchodzi w grę tylko wówczas, gdy istnieje jednoczesna potrzeba zainstalowania nowych lub wymiany starych przewodów odgromowych.

Kable napowietrzne posiadają podobne składniki i konstrukcję, co kable światłowodowe układane w kanalizacji i zakopywane pod ziemią, które przedstawiono powyżej. Konstrukcje okrągłe, niezależnie od tego, czy są to kable samonośne, owijane lub wiązane, mogą posiadać dodatkowe zewnętrzne elementy wzmacniające oraz osłonę z polietylenu lub specjalnego materiału antyerozyjnego (jeżeli stosowane są w warunkach silnego pola elektrycznego). Konstrukcje ósemkowe obejmują kabel okrągły oraz wzmacniający element nośny wysokowspółczynnikiowy.

Jeżeli kabel transportowy jest prowadzony trasą napowietrzną, wówczas liczba światłowodów w kablu będzie podobna jak w wersji podziemnej.

Należy pamiętać, że wszystkie powyższe rozważania mają zastosowanie do systemów światłowodów wdmuchiwanym prowadzonych na słupach lub innych elementach infrastruktury napowietrznej.

Dodatkową uwagę należy zwrócić na ekstremalne warunki pogodowe, jakim mogą być poddawane kable napowietrzne, w tym oblodzenie i silny wiatr. Osłona kabla również powinna być odpowiednio stabilizowana przeciwko promieniowaniu słonecznemu. Należy też starannie rozważyć nośnik instalacyjny (np. słupy, linie energetyczne, krótkie lub długie odstępy między słupami, nośność).



*Rys. 99. Oferta kabli napowietrznych*

Ponadto dostępne są też kable w konstrukcji jednotubowej (unitube).

### 8.4.3 Osprzęt do mocowania kabli na słupach

Osprzęt mocujący może obejmować zawiesia odciągowe służące do mocowania kabla do słupa lub kontrolowania zmiany kierunku słupa. Pośrednie zawiesia przelotowe służące do podtrzymywania kabla pomiędzy odciągami. Kable może być zamocowany za pomocą śrub lub prefabrykowanych akcesoriów spiralnych, które zapewniają stabilizację w płaszczyźnie poprzecznej i jednolitą siłę mocowania. Obydwa typy rozwiązań należy starannie dobrać do danej średnicy i konstrukcji kabla. Kable może wymagać ochrony, jeżeli prowadzony jest w pionie po słupie, np. poprzez pokrycie go wąską płytą metalową.

Jeżeli odstęp między słupami są bardzo duże lub kiedy nagromadzony śnieg i lód zmieniają profil przewodnika, średnie lub silne wiatry wiejące pod kątem prostym mogą wywoływać warunki unoszenia aerodynamicznego, które mogą doprowadzić do niskoczęstotliwościowych ruchów oscylacyjnych o amplitudzie kilku metrów. Tłumiki drgań zamocowane na linii blisko konstrukcji wsporczej lub wbudowane w separatory przewodów używane są do zmniejszenia ryzyka zmęczenia metalu w zawiesiach i odciągach.

### 8.4.4 Napinanie kabli

Kable napowietrzne są instalowane poprzez przeciąganie ich przez wcześniej zamontowane bloczki, a następnie zabezpieczenie ich zawiesiami odciągowymi i przelotowymi albo też prefabrykowanymi zakotwieniami do słupów skrajnych oraz zestawami podwieszania do słupów. Instalację zazwyczaj przeprowadza się podczas stosunkowo łagodnej pogody, kiedy obciążenia instalacyjne często określone są jako naprężenia normalne. Zmiany pogody, ekstrema temperaturowe, lód i wiatr mogą wpływać



*Rys. 100. Instalacja kabla napowietrznego*

na naprężenia, jakim poddawane są kable. Kabel musi być wystarczająco mocny, aby wytrzymać dodatkowe obciążenie.

Należy również dopilnować, by instalacja i późniejsze dodatkowe ugięcie, wynikające np. z obciążenia lodem, nie spowodowało nadmiernego zmniejszenia prześwitu kabla nad gruntem (należy uwzględnić miejscowe przepisy dotyczące prześwitu nad drogą) lub doprowadziło do konfliktów z innymi zainstalowanymi na słupach kablami o różnym współczynniku rozszerzalności cieplnej.

#### 8.4.5 Mufy kabli napowietrznych

Mufy mogą być montowane na słupie lub w skrzynce przy chodniku u podstawy słupa. Oprócz warunków, które mają zastosowanie do muf kanałowych, należy uwzględnić odpowiednią ochronę przed promieniowaniem ultrafioletowym i ewentualnymi nielegalnymi strzałami z broni palnej, szczególnie w przypadku muf mocowanych na słupie. Mufa może również posiadać funkcję rozdziału mniejszych kabli odgałęźnych.

#### 8.4.6 Inne uwagi dotyczące wdrożenia

Produkty napowietrzne mogą być bardziej podatne na wandalizm niż produkty przeznaczone do układania w rurach kablowych lub w wykopach. Kable mogą być na przykład wykorzystywane jako cel nielegalnych strzałów z broni palnej. Ze względu na dużą odległość od broni palnej do celu, siła strzału może być niewielka. Jeżeli tego rodzaju zachowania są problemem, wówczas bardzo skuteczna okazuje się ochrona mechaniczna, jaką zapewnia osłona ze stali karbowanej stosowana w konstrukcji ósemkowej. W przypadku konstrukcji niemetalowych skuteczne może być również pokrycie grubą osłoną z włókna aramidowego, najlepiej w postaci taśmy. Najlepszą ochronę oferuje prawdopodobnie kabel OPGW ze względu na posiadaną osłonę metalową.

### 8.5 Elementy sieci z fabrycznie wykonanymi złączami

Zarówno kable, jak i urządzenia mogą mieć fabrycznie wykonane złącza światłowodowe. Ułatwia to testowanie fabryczne i sprzyja niezawodności, a jednocześnie redukuje czas i kwalifikacje potrzebne do instalacji w terenie.

Produkty z fabrycznie wykonanymi złączami są zwykle stosowane od głównego punktu koncentracji okablowania światłowodowego w szafkach aż do ostatniego odgałęzienia prowadzącego do abonenta, co umożliwia szybką budowę i rozszerzanie zasięgu sieci. Kiedy abonent zechce skorzystać z usługi, potrzebny jest jedynie prosty zestaw *plug-and-play* na ostatnim odgałęzieniu.

Istnieje kilka rodzajów rozwiązań z gotowymi złączami, które umożliwiają tworzenie końcówek wewnątrz albo na zewnątrz osłon produktów. Ich przykłady przedstawiono poniżej.





*Rys. 101.*

*Rząd pierwszy: złącza w pełni osłonięte, odizolowane od otoczenia.*

*Rząd drugi: zestaw kablowy z pokrywami osłonowymi, tradycyjne złącze ze wzmocnioną osłoną, złącza tradycyjne w wąskiej mufie.*

*Rząd trzeci: Mufy wzmocnione zawierające tradycyjne złącza.*

## 8.6 Szafki uliczne

Podziemna sieć FTTH zawiera urządzenia komunikacyjne, które mogą być umieszczone poniżej albo powyżej poziomu gruntu. Szafki uliczne mogą być instalowane powyżej jak i poniżej gruntu, choć powszechnie przyjętą lokalizacją jest miejsce nad powierzchnią.

Nowoczesne szafki uliczne dostępne są w różnorodnych rozmiarach, są niższe i zajmują mniejszą powierzchnię nad ziemią i są mniej widoczne niż większe szafki służące do obsługi sieci miedzianej lub VDSL. Widoczność to ważny, ale nie jedyny aspekt. Inne obejmują:

- **Koszt** – koszty robocizny związane z realizacją FTTH często jest znacznie wyższy niż koszty materiałowe składników sieci. Szafki mogą być ekonomicznym sposobem budowy punktu dostępu do sieci, o ile spełniają warunki specyfikacji i metodologii budowy. Skalowalne lub modułowe rozwiązanie szafkowe może pomóc ograniczyć koszty inwestycji, ponieważ szafki można łatwo rozbudować w miarę potrzeb.
- **Dostępność sieci** – Z pewnymi zastrzeżeniami związanymi z położeniem geograficznym, osłony spoinowe będą miały lepsze warunki i pozostaną stosunkowo wolne od zabrudzeń, jeżeli zostaną zainstalowane nad gruntem. Wilgotne warunki mogą przekształcić tradycyjne studzienki włączowe i niewłączowe w miniaturowe zbiorniki płynnego błota, wydłużające czas instalacji, a mroźne zimy mogą utrudnić lub uniemożliwić dostęp do instalacji podziemnych z powodu oblodzenia.



Może być potrzebny regularny dostęp do szafki, ale pozostają kwestie lokalizacji. Rozwiązaniem tego problemu jest instalacja podziemna, która umożliwia wysunięcie szafki na powierzchnię w celu uzyskania dostępu, a następnie przywrócenie do pierwotnego położenia pod ziemią, kiedy nie jest już potrzebna. Jedynym widocznym przejawem jej lokalizacji jest pokrywa studzienki.

Największym problemem związanym z instalacją na powierzchni jest dość duża podatność szafek na niekontrolowane uszkodzenia, na przykład w wyniku wypadków komunikacyjnych i wandalizmu. Należy wziąć pod uwagę odległość od chodnika i lokalizację w ulicach o dużym natężeniu ruchu. Usytuowanie szafki może być również ograniczone przepisami miejscowymi, np. w zabytkowych centrach miast lub bezpiecznych terenach publicznych.

Typowa szafka uliczna ma trzy strefy:

1. Strefa **organizacji rur** znajduje się w przedziale dolnym; służy do łączenia, oddzielania i przechowywania rur kablowych i kabli. Ta sama powierzchnia może zostać wykorzystana jako punkt dostępowy ułatwiający wdmuchiwanie (również w punktach pośrednich) wiązek światłowodów, rur kablowych lub kabli.
2. Strefa **cokołu** to miejsce, w którym rury kablowe, kable modułowe i kable światłowodowe mogą być mocowane i organizowane, zwykle na szynie mocującej.
3. Strefa **organizacji światłowodów** znajduje się w miejscu, w którym światłowody różnych typów kabli mogą być spajane. Taka konstrukcja usprawnia i ułatwia prawidłowe łączenie włókien różnego typu.



*Rys. 102. Strefa organizacji rur*



*Rys. 103. Strefa cokołu*



*Rys. 104. Strefa organizacji światłowodów*

Do ochrony składników aktywnych wrażliwych na ekstremalne temperatury i/lub wilgotność potrzebne jest kontrolowane otoczenie, które mogą zapewnić szafki zewnętrzne z kontrolą klimatyczną.



*Rys. 105. Przykładowe szafki uliczne w wielu rozmiarach*

Szafki uliczne mogą być również wyposażone w króćce i wyprowadzenia. Szafki te są montowane fabrycznie i testowane przed dostawą. Szafki wyposażone są w króćce kablowe prowadzące do następnej mufy, oferując panel krosowy umożliwiający łatwe wykonywanie złącz plug-and-play. Przyspiesza to instalację i znacznie zmniejsza częstotliwość błędów instalacyjnych na miejscu.

Kompaktowe cokoły i szafki zaprojektowane jako ostatni punkt dystrybucji/zakończenia przed posesją, mogą być zlokalizowane bezpośrednio przy posesji lub wzdłuż ulicy. Szafki te wykorzystywane są również jako dogodne punkty napraw i dostępu do sieci światłowodowej.

## **8.7 Inne opcje realizacji z wykorzystaniem służebności**

Oprócz tradycyjnych tras kablowych można wykorzystać inne służebności, jeżeli są one dostępne na miejscu. Dzięki poprowadzeniu kabli w elementach infrastruktury wodno-kanalizacyjnej, gazowej, wzdłuż kanałów wodnych i innych dróg wodnych, jak również innych systemów transportowych można zaoszczędzić czas i pieniądze.

Instalacja kabli w istniejących sieciach rurociągowych nie może naruszać ich pierwotnych funkcji. Ograniczenia w eksploatacji instalacji, do których dochodzi podczas napraw i konserwacji, należy ograniczyć do minimum i uzgodnić z operatorami sieci.

### **8.7.1 Kable światłowodowe w kanałach burzowych i ściekowych**

Kanały ściekowe i burzowe mogą być wykorzystane do budowy sieci dostępowych, ponieważ nie tylko docierają one w niemal każdy zakątek miasta, ale również przechodzą obok potencjalnych abonentów. Ponadto wykorzystanie systemu kanalizacyjnego usuwa potrzebę uzyskania zezwolenia na wykopy i ogranicza koszty instalacji.

Rozmiary kanałów publicznych sięgają od 200 mm średnicy po takie, do których można wpłynąć łodzią. Większość publicznych kanałów burzowo-ściekowych ma średnicę od 200 mm do 350 mm, co wystarcza do zainstalowania jednego lub więcej mikrokabli.

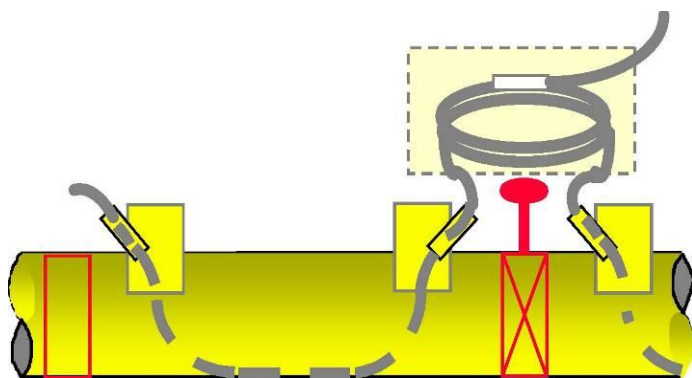
W zależności od przekroju kanału, możliwe są różne schematy instalacji. Jeden z nich polega na użyciu stalowych stężeń mocujących rury ze stali karbowanej, które są stosowane do transportu kabla, do wewnętrznej ściany rury kanalizacyjnej bez potrzeby wiercenia, frezowania czy wycinania. Instalację wykonuje się z użyciem specjalnego robota opartego na module wykorzystywanym do wykonywania napraw kanalizacji.

### **8.7.2 Kable światłowodowe w gazociągu**

Również gazociągi mogą być wykorzystywane do realizacji sieci światłowodowych bez wywoływania poważniejszych zakłóceń i wykonywania szeroko zakrojonych robót drogowych, do których dochodzi w przypadku konwencjonalnych robót ziemnych. Sieć światłowodowa rozprowadzana jest za pomocą specjalnie przygotowanego portu I/O, który umożliwia wprowadzenie kabla do gazociągu i wyprowadzenie go z niego z obejściem zaworów gazowych.

Kabel jest wdmuchiwany do gazociągów za pomocą stabilizowanego spadochronu z użyciem przepływu samego gazu albo sprężonego powietrza, w zależności od miejscowych wymagań.



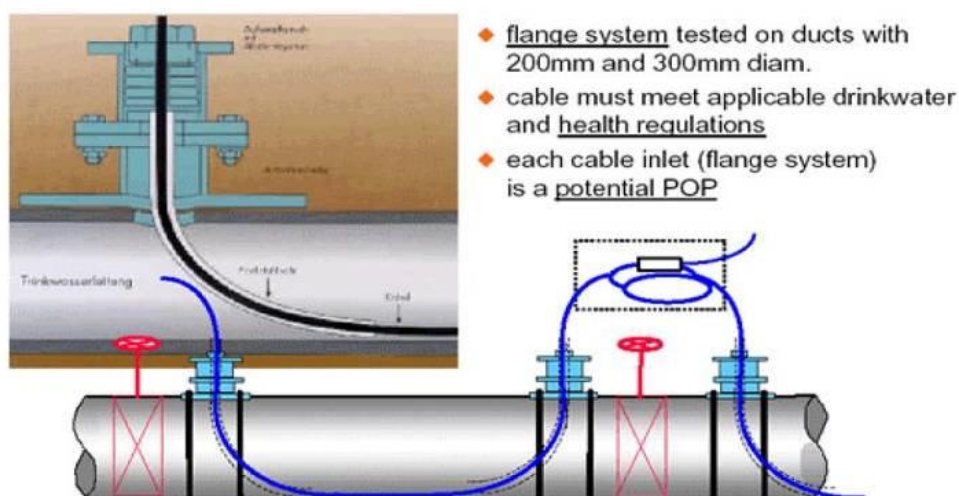


*Rys. 106. Odcinek gazociągu obejmujący porty I/O oraz obejście zaworu, stanowiący pojedynczy punkt obecności kabla światłowodowego*

System gazociągów stanowi dobrą ochronę dla kabla światłowodowego głęboko pod powierzchnią ulicy lub innych elementów infrastruktury.

### 8.7.3 Kable światłowodowe w przewodach instalacji wodociągowej

Przewody instalacji wodociągowej mogą zostać wykorzystane do poprowadzenia kabli światłowodowych w podobny sposób jak w przypadku gazociągu.



*Rys. 107. Przekrój ukazujący sposób instalacji światłowodu w wodociągu*

### 8.7.4 Kanały i inne drogi wodne

Do przekraczania dróg wodnych i kanałów można zastosować bez ryzyka wzmocnione kable światłowodowe, ponieważ światłowody są niewrażliwe na wilgoć.

### 8.7.5 Tunele podziemne i transportowe

Kable światłowodowe mogą być instalowane w tunelach podziemnych, często razem z okablowaniem elektroenergetycznym i innym okablowaniem do przesyłu danych. Najczęściej mocowane są do ściany tunelu na zawieszach. Mogą być mocowane w podobny sposób jak kable używa w kanałach burzowo-ściekowych.

Dwie główne kwestie, które należy rozważyć to parametry pożarowe i ochrona przed gryzoniami.

Jeżeli w tunelu transportowym dojdzie do pożaru, krytycznego znaczenia nabiera potrzeba ewakuacji ludzi. IEC TR62222 zawiera wytyczne dotyczące "Fire performance of communication cables in buildings" [Parametry pożarowe kabli telekomunikacyjnych w budynkach], które mogą mieć zastosowanie do tuneli transportowych, jeżeli scenariusze pożarowe są podobne. W wytycznych wymienia się potencjalne zagrożenia, takie jak emisja dymu, rozprzestrzenianie się ognia, gazy i opary toksyczne, które mogą zakłócić ewakuację.



*Rys. 108. Instalacja kabla w tunelu kolejowym*

Potencjalni użytkownicy tuneli podziemnych i transportowych powinni zapoznać się przed instalacją ze wszystkimi miejscowymi przepisami przeciwpożarowymi. Dotyczą one mocowania, łączenia i innego wykorzystywanego osprzętu.

Kable w tunelach mogą również ulegać atakom gryzoni, dlatego wymagają dodatkowej ochrony w postaci np. osłony z stali karbowanej.

# 9 Światłowody i zarządzanie światłowodami

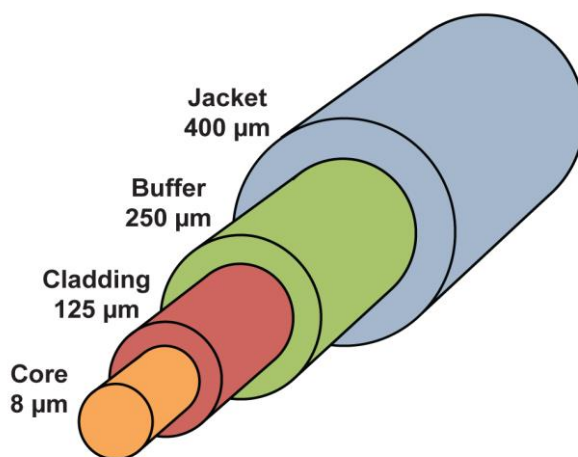
## 9.1 Światłowody stosowane w FTTH

Dostępnych jest kilka typów światłowodów. Projektowane systemy FTTH są zwykle oparte na włóknach jednomodowych, jednak w określonych sytuacjach mogą być stosowane kable wielomodowe. Wybór włókna zależy od wielu aspektów. Wykaz poniżej nie jest wykazem wyczerpującym; w konkretnych przypadkach być może trzeba rozważyć inne czynniki.

- **Architektura sieciowa** – Dobór architektury sieciowej wpływa na przepływności światłowodu oraz dostępny budżet mocy optycznej sieci. Obydwa czynniki wpływają na wybór światłowodów.
- **Wielkość sieci** – Pojęcie „wielkość sieci” może odnosić się do liczby lokali obsługiwanych przez sieć. Jednak w tym kontekście dotyczy zasięgu fizycznego sieci. Dostępny budżet mocy optycznej determinuje maksymalną odległość, na jaką może być oddalony POP od abonenta. Na budżet optyczny wpływają wszystkie elementy traktu optycznego, w tym światłowód.
- **Typ istniejącej sieci światłowodowej** – Jeżeli rozbudowywana jest dotychczasowa sieć, światłowód w nowych segmentach sieci musi być zgodny ze światłowodem w dotychczasowej sieci.
- **Oczekiwany okres eksploatacji** – Sieci FTTH projektowane są na okres eksploatacji co najmniej 30 lat. Dlatego też pierwszorzędного znaczenia nabiera to, aby inwestycje w infrastrukturę FTTH były dostosowane do przyszłych potrzeb. Zmiana rodzaju światłowodu w trakcie oczekiwanego okresu eksploatacji sieci FTTH nie jest opcją realistyczną.

### 9.1.1 Podstawowe informacje o światłowodach

Światłowód jest praktycznie „rurą świetlną” przewodzącą impulsy światła generowane przez lasery lub inne źródła optyczne, które odbierane są przez czujnik (detektor). Przesył światła przez światłowód może odbywać się na znaczne odległości i obsługiwać wysokoprędkościowe zastosowania, których nie są w stanie obsłużyć współczesne sieci oparte na przewodach miedzianych. Światłowód został wynaleziony w latach 60. XX w. i został od tego czasu znacznie ulepszony. Obecnie, jako rozwiązanie znormalizowane, stał się niezawodną i sprawdzoną podstawą nowoczesnych systemów telekomunikacyjnych.



Rys. 109. Budowa światłowodu jednomodowego

Włókna światłowodowe wytwarzane są z kwarcu o wysokiej czystości. Uformowane szklanopodobne pręty są rozciągane do postaci nici o grubości włosa i pokrywane ochronną warstwą z tworzywa sztucznego.

Światłowód składa się z rdzenia, płaszcza i pokrycia. Impulsy światła wprowadzane są do obszaru rdzenia. Otaczający go płaszcz utrzymuje światło w rdzeniu i zapobiega wydostaniu się go na zewnątrz. Pokrycie, wykonane zwykle z polimeru, nakładane jest w procesie ciągnięcia.

Światłowody są następnie umieszczane w różnych konfiguracjach w kablach, które są dopiero instalowane. Szczegółowe omówienie kabli znajduje się w innych rozdziałach niniejszego kompendium.

Istnieje kilka typów światłowodów, jednak w tym opracowaniu skoncentrowano się na światłowodach stosowanych w sieciach FTTH.

Rdzeń światłowodu może być skonstruowany w różnych konfiguracjach geometrycznych, które w zależności od sposobu rozchodzenia się impulsu skutkują innymi właściwościami optycznymi.

Wydajność przesyłu impulsu światła przez światłowód zależy od szeregu parametrów. Najważniejsze z nich to tłumienność i dyspersja.

Tłumienność (tłumienie) to redukcja mocy optycznej wraz z odległością. Nawet w niezwykle czystych materiałach stosowanych do wyrobu rdzenia światłowodu i płaszcza, wraz z odległością maleje moc sygnału z powodu rozpraszania i pochłaniania go w światłowodzie. Tłumienność ogranicza odległość, na jaką mogą być przesyłane impulsy świetlne tak, aby nadal pozostawał wykrywalny. Tłumienność wyrażana jest w decybelach na kilometr (dB/km) przy danej długości fali lub zakresie długości fali.

**Dyspersję** można ogólnie określić jako natężenie zakłóceń lub rozproszeń impulsu podczas przesyłu. Jeżeli impulsy rozproszą się zbyt mocno, detektor na drugim końcu włókna nie będzie w stanie odróżnić jednego impulsu od drugiego, co skutkuje utratą informacji. Dyspersja chromatyczna występuje we wszystkich światłowodach i jest spowodowana tym, że różne kolory światła (składowe impulsu świetlnego) przechodzą wzdłuż światłowodu z nieco różną prędkością. Dyspersja jest odwrotnie proporcjonalna do szerokości pasma przepustowego, która określa zdolność przesyłową informacji.

Istnieje wiele innych parametrów, które wpływają na parametry przesyłu światła przez dany światłowód. Więcej informacji znajduje się w serii specyfikacji IEC 60793.

### 9.1.2 Światłowód jednomodowy

Światłowód jednomodowy charakteryzuje się małym rozmiarem rdzenia, który jest w stanie pomieścić tylko jeden mod (rozkład pola elektromagnetycznego) światła. Ten rodzaj światłowodu wykorzystywany jest w większości stosowanych na całym świecie systemów światłowodowych.

Światłowód jednomodowy zapewni najniższe straty wynikające z tłumienności i największą szerokość pasma przepustowego spośród wszystkich rodzajów światłowodów. Stosowanie światłowodów jednomodowych pociąga za sobą wyższe koszty sprzętowe niż w systemach wielomodowych.

W zastosowaniu FTTH, zalecenia dotyczące światłowodów jednomodowych zawarte w ITUT G.652 są wystarczające do pokrycia potrzeb większości sieci.

#### Singlemode fibre



#### Multimode fibre



*Rys. 110. Droga światła wewnątrz światłowodu*

Od jakiegoś czasu dostępny jest na rynku nowy typ światłowodu jednomodowego, który redukuje straty optyczne w ciasnych zgięciach. Światłowody te są znormalizowane w zaleceniu ITU-T G.657. Obowiązującą wersję (wydanie trzecie) opublikowano w październiku 2012 r. Można ją pobrać ze strony: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.657-201210-I/en>.

### 9.1.3 Światłowody wielomodowe gradientowe

Światłowody wielomodowe mają większy rozmiar rdzenia (50 lub 62,5  $\mu\text{m}$ ), dzięki czemu mogą obsługiwać wiele modów (różne ścieżki światła w rdzeniu). W zależności od charakterystyki emisji, moc impulsu wejściowego dzielona jest na wszystkie lub niektóre mody. Różną prędkość propagacji pojedynczych modów (dyspersja modalna) można zminimalizować za pomocą odpowiedniej konstrukcji włókna.

Światłowody wielomodowe mogą współpracować z tańszymi źródłami światła i złączami, jednak samo włókno jest droższe niż jednomodowe. Światłowód wielomodowy jest szeroko stosowany w centrach przetwarzania danych i czasami w sieciach uniwersyteckich. Ma mniejszą szerokość pasma przepustowego i ograniczoną odległość przesyłu.

Specyfikacja ISO/IEC11801 charakteryzuje przepływność i zasięg poszczególnych klas światłowodów wielomodowych, określanych jako OM1, OM2, OM3 i OM4.

### 9.1.4 Światłowód odporny na zginanie

Podczas instalacji okablowania wewnątrz budynków na wielu powierzchniach trudno jest układać konwencjonalne światłowody, co może skutkować niskimi parametrami optycznymi. Aby tego uniknąć, potrzebna jest uważna instalacja przez wykwalifikowany personel lub stosowanie w konstrukcjach rur kablowych i kabli specjalnych środków ochrony światłowodów. Jednak od jakiegoś czasu dostępne są powszechnie światłowody spełniające warunki normy ITU-T G.657, które mogą być instalowane równie łatwo, jak konwencjonalne kable miedziane. Światłowody wewnątrz tych kabli, określane jako „odporne na zginanie”, funkcjonują przy promieniach gięcia aż 7,5 mm, a niektóre światłowody są w pełni sprawne po zgięciu o promieniu 5 mm.

Zalecenie G657 opisuje dwie kategorie światłowodów jednomodowych, które nadają się do stosowania w sieciach dostępowych. Zarówno kategoria A, jak i B zawiera podkategorie różniące się od siebie tłumiennością makrozgięć, dlatego różnica pomiędzy tymi światłowodami znajduje się następujących zakresach promienia gięcia:

**Kategoria A** obejmuje zalecane atrybuty i wartości umożliwiające optymalną instalację sieci dostępowej w odniesieniu do tłumienności makrozgięć. Jednak zalecane wartości dla innych atrybutów wciąż pozostają w zakresie zalecanym przez G.652.D i podkreśla się kompatybilność wsteczną ze światłowodami G.652.D. Kategorię tę podzielono na trzy podkategorie o różnych wymaganiach dotyczących makrozgięć: G.657.A1, G.657.A2 i ostatnio zaproponowany światłowód G.657.A3.

Promień gięcia	G.657.A1	G.657.A2	G.657.A3*
10 mm	0,75 dB/zgięcie	0,1 dB/zgięcie	
7,5 mm		0,5 dB/zgięcie	
5 mm			0,15 dB/zgięcie

Tłumienność określona dla @ 1550nm; podkategoria G.657.A3 nie została sfinalizowana.



**Kategoria B** opisuje zalecane atrybuty i wartości potrzebne do obsługi bardzo małych wartości promienia gięcia, szczególnie w zastosowaniach wewnątrzbudynkowych. Jeśli chodzi o średnicę pola modu i parametr dyspersji chromatycznej, zalecane zakresy ich wartości mogą wykraczać poza zakres wartości zalecanych przez ITU-T G.652, w związku z czym kategoria ta niekoniecznie będzie wstecznie kompatybilna. Kategoria ta posiada dwie podkategorie o różnych wymaganiach dotyczących makrozgięć: Światłowód G.657.B2 i światłowód G.657.B3.

Promień gięcia	G.657.B2	G.657.B3
10 mm	0,1 dB/zgięcie	0,03 dB/zgięcie
7,5 mm	0,5 dB/zgięcie	0,08 dB/zgięcie
5 mm		0,15 dB/zgięcie

Tłumienność określona dla @ 1550nm

## 9.2 Terminale sieci optycznej

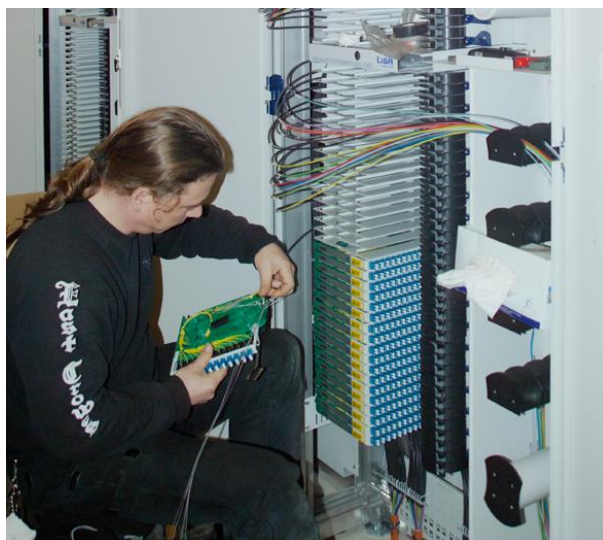
Wszystkie kable zewnętrzne wykorzystywane w sieciach światłowodowych mają terminale na obu końcach. Ta część poświęcona jest sprawom związanym z wyprowadzeniu końcówek kabli o dużej liczbie światłowodów zarządzaniem w POP, węzłach dostępowych i szafkach ulicznych, gdzie trzeba się uporać z wyzwaniem zorganizowania dużej liczby włókien światłowodowych.

### 9.2.1 Przełącznice światłowodowe

Przełącznica światłowodowa (ODF) to punkt, w którym wszystkie włókna z kabli zewnętrznych stają się dostępne do kontaktu z aktywnymi urządzeniami przesyłowymi. ODF są zwykle zlokalizowane w POP, skupiając od kilkuset do kilku tysięcy włókien. Jedna szafa ODF może łączyć do 4 000 włókien za pomocą SFF. W dużych POP stosuje się wiele szaf ODF.

Zazwyczaj kable zewnętrzne kończą bieg przed ODF i stosowane są kable transferowe, choć w niektórych przypadkach ODF-y stosowane są również do łączenia kabli zewnętrznych. W każdym razie, aby uzyskać dostęp do poszczególnych włókien kabla zewnętrznego, pigtail światłowodowy z wcześniej przygotowanymi końcówkami jest spajany z końcówkami poszczególnych włókien.

W większości przypadków ODF oferuje elastyczne połączenie pomiędzy portami urządzeń aktywnych a zakończeniami kabli zewnętrznych. Światłowody są identyfikowane i zazwyczaj przechowywane w fizycznie oddzielonych obudowach albo na półkach, aby ułatwić ich konserwację i ochronę przed przypadkową ingerencją w obwody światłowodowe.



*Rys. 111. Spajanie włókien w ODF*

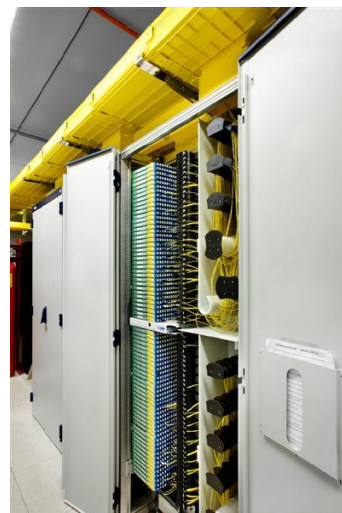




**Rys. 112. Aktywne i pasywne ODF-y w POP**



**Rys. 113. Mały POP**



**Rys. 114. Przykład jednostek ODF**

Pomiędzy ODF-ami a urządzeniami aktywnymi przebiegają wewnętrzne kable optyczne. Pomiędzy urządzeniami aktywnymi a szafkami ODF budowana jest platforma duktów światłowodowych, która chroni tor przebiegu kabli wewnętrznych pomiędzy tymi dwoma miejscami. W odróżnieniu od konwencjonalnych korytek kablowych pełnych lub siatkowych, dukty światłowodowe otaczają światłowód solidnym, ognioodpornym materiałem, który przedłuża ich żywotność w sytuacjach nadzwyczajnych. Kable mogą być przeciągane szybko i łatwo przez system duktów światłowodowych, a parametry optyczne są zoptymalizowane dzięki kompleksowej obsłudze limitów zginania i wsparciu poprzecznemu. Możliwość szybkiego prowadzenia kabli ułatwia proces projektowania i zakupów, kiedy do sieci muszą być dodane kable o różnej długości.



**Rys. 115. Przykłady duktów światłowodowych podwieszonych pod sufitem**

Zasilacz bezprzerwowy (UPS) dostarcza zasilanie elektryczne w razie awarii zasilania zewnętrznego. Węzeł dostępowy również może potrzebować drugiego zastępczego źródła zasilania, w zależności od wymagań miejscowych lub ustawowych (świadczenie usług w sytuacji awaryjnej). Moduły UPS dostępne są w różnych rozmiarach, w zależności od zapotrzebowania na moc.

Do utrzymania temperatury urządzeń aktywnych w granicach eksploatacyjnych potrzebna jest klimatyzacja. Wielkość i moc klimatyzatora zależy od wielkości obsługiwanego pomieszczenia.



*Rys. 116. Zasilacz bezprzerwowy*



*Rys. 117. Klimatyzator*

### 9.2.2 Szafki uliczne

Szafki uliczne to obudowy metalowe lub plastikowe służące jako punkty rozdzielcze/dostępu pomiędzy światłowodem dystrybucyjnym a odgałęzieniem biegnącym do abonenta. Są zwykle umieszczone w takim miejscu, aby umożliwiały stosunkowo łatwy i szybki dostęp do obwodów światłowodowych i były zdolne do obsługi większej liczby włókien niż mufy światłowodowe. Punkty dostępowe/rozdzielcze często obsługują od 24 do 96 abonentów, natomiast alternatywne kompaktowe szafki na cokole zazwyczaj obsługują od 1 do 24 abonentów.

Szafki mogą być również wykorzystywane jako punkty dostępu do muf światłowodowych. Jeżeli osłony te umieszczone są w szafce ulicznej, potrzebna jest możliwość łatwego ich wyjmowania, aby ułatwić czyszczenie i zapewnić wydajny dostęp.



*Rys. 118. Typowa szafka uliczna*

Szafki uliczne wykorzystywane są często do przechowywania sprzęgaczy PON, które również wymagają elastycznej łączności ze światłowodami dedykowanymi do abonenta. Szafki uliczne są również wykorzystywane w architekturze sieciowej punkt-punkt.

Ważnym aspektem realizacji nowych sieci jest szybkość instalacji. Oferowane obecnie szafki wyposażone są w króćce i wyprowadzenia. Szafki te są montowane fabrycznie i testowane przed dostawą. Wyposażone są w króćce kablowe prowadzące do następnej mufy, oferując panel krosowy umożliwiający łatwe wykonywanie złącz plug-and-play. Dzięki temu instalacja jest szybsza i zmniejsza się częstotliwość błędów instalacyjnych na miejscu. Szafki z króćcami i wyprowadzeniami mogą być łączone z sprzęgaczami PON plug-and-play, które można instalować w miarę nowego zapotrzebowania, bez konieczności dalszego wykonywania spojeń w terenie.



Szafki uliczne z kontrolą klimatyczną mogą stanowić elastyczne rozwiązania w kompaktowych systemach ODF. Szafki te mogą być wyposażone w te same zabezpieczenia i zasilacz bezprzewodowy, co szafki w dużych węzłach dostępowych.

*Rys. 120. POP/ODF z klimatyzacją*

### 9.3 Złącza, patchcordy i pigtaile

Po wyprowadzeniu kabli OSP, poszczególne światłowody muszą być udostępnione do dystrybucji i/lub podłączenia do urządzeń aktywnych. Przekształcenie wiązek kablowych w pojedyncze zorganizowane obwody uzyskuje się dzięki spajaniu poszczególnych włókien z OSP z zakończonym na jednym końcu elastycznym kablem zwanym pigtailem. Dodatkowa dystrybucja i/lub połączenia pomiędzy tymi światłowodami a urządzeniami aktywnymi wymagają kabli przejściowych ze złączami na obu końcach. Kable te dostępne są zwykle w dwóch konstrukcjach:

- Pigtaile z buforem 900µm o zasięgu  $\geq 1,5\text{m}$  i typowej długości 2,5m
- Patchcordy to kable stacyjne z osłoną wykonaną z LSZH o długości 1,6—3,0 mm, wzmocnione włóknem aramidowym.

W odróżnieniu od odpowiedników elektromechanicznych, w złączach światłowodowych nie istnieje rozróżnienie na wtyczkę i gniazdo. Złącza światłowodowe zawierają ferrulę umożliwiającą dokładne ułożenie końcówki światłowodu. Dwie ferrule są ze sobą łączone pomocą łącznika z rękawem. Kompletnie połączenie wtykowe składa się z sekwencji złącze-łącznik-złącze. Dwie ferrule na końcach światłowodu muszą się łączyć ze sobą jak najdokładniej, aby zapobiec tłumieniu energii światła i jego odbiciom (tłumienność odbiciowa). Decydującymi czynnikami są tu orientacja geometryczna i jakość obróbki złącza światłowodowego.

Niezwykle mała średnica rdzenia światłowodu wymaga najwyższej precyzji mechanicznej i optycznej. Przy tolerancjach rzędu 0,5 do 0,10 µm (znacznie mniej niż pyłek kurzu), producenci operują na granicy możliwości mechaniki precyzyjnej, wchodząc w swoich procesach do sfery technologii mikroukładów. Kompromisy nie wchodzą w grę.

Średnica rdzenia na poziomie 8,3  $\mu\text{m}$  w przypadku światłowodów jednomodowych i 50/62,5  $\mu\text{m}$  w przypadku wielomodowych oraz ferrule o średnicy 2,5 mm i 1,25 mm sprawiają, że skuteczna kontrola wzrokowa złącza jest niemożliwa. Oczywiście można ustalić, czy złącze jest prawidłowo zatrzasknięte i zablokowane, ale jeśli chodzi o wszystkie inne cechy decydujące o jakości, na przykład tłumienność wtrąceniowa, tłumienność odbiciowa czy stabilność mechaniczna, użytkownik musi się zdać na dane producenta.

### 9.3.1 Popularne typy złączy

#### **Złącze ST** (zwane również BFOC, IEC 61754-2)

Złącza bagnetowe były pierwszymi złączami PC (1996). Ze względu na konstrukcję i niezwykle solidny układ wciąż można je znaleźć w sieciach LAN na całym świecie (głównie przemysłowych). ST oznacza typ „straight” (prosty, przelotowy).



*Rys. 121. Złącze ST*



*Rys. 122. Adapter/łącznik ST*

#### **DIN/LSA** (wersja A, IEC 61754-3, DIN 47256)

Te kompaktowe złącza z gwintowanymi łącznikami są powszechnie stosowane w krajach niemieckojęzycznych.

#### **Złącze SC** (IEC 61751-4)

Tego rodzaju złącze o prostokątnym przekroju i systemem na wcisk zalecane jest w przypadku nowych instalacji (SC oznacza Square Connector [złącze kwadratowe] albo Subscriber Connector [złącze abonenckie]). Kompaktowa konstrukcja SC umożliwia wysoką gęstość upakowania i możliwość połączenia z rozwiązaniami dwupiętowymi i multipleksowymi. Choć jest to jedna z najstarszych złączy, ze względu na swoje doskonałe właściwości nadal zyskuje na popularności. SC jest wciąż najbardziej popularnym złączem WAN na całym świecie, głównie ze względu na doskonałe właściwości optyczne. SC stosowane są również powszechnie w wersji dwupiętowej, szczególnie w sieciach lokalnych.





*Rys. 123. Złącze SC*



*Rys. 124. Adapter/łącznik SC*

### **Złącze MU (IEC 61754-6)**

Prawdopodobnie najmniejsze złącze, oparte na ferruli 1,25 mm, wyglądem i funkcjami przypomina SC, ale ma połowę jego rozmiaru.

### **MTP / MPO (IEC 61754-7)**

Złącze MPO (multi patch push-on) oparte jest na ferruli plastikowej zdolnej do pomieszczenia do 72 włókien w ramach jednego złącza. Złącze to wyróżnia się zwartą konstrukcją i łatwością obsługi.



*Rys. 125. Złącze MPO*

### **FC (Fibre Connector, IEC 61753-13)**

Solidne i sprawdzone złącze pierwszej generacji. Jest to pierwsze prawdziwe złącze WAN wciąż popularne w licznych zastosowaniach. Jednak ze względu na gwintowane połączenie, złącze to nie jest optymalne w ciasnych warunkach, dlatego nie jest popularne w nowoczesnych szafach o dużej gęstości upakowania urządzeń.



*Rys. 126. Złącze FC*



*Rys. 127. Adapter/łącznik FC*

### **E-2000™ (LSH, IEC 61753-15)**

Złącze LSH wyposażone jest w klapkę chroniącą przed pyłem i zarysowaniami oraz wiązkami laserowymi. Złącze to jest wyposażone w mechanizm zapadkowy, który jest oznakowany kolorami i kodowany mechanicznie. Jest pierwszym złączem, które uzyskało klasę funkcjonalną A\*.



*Rys. 128. Złącze E-2000™*



*Rys. 129. Adapter/łącznik E-2000™*

### **MT-RJ (IEC 61751-18)**

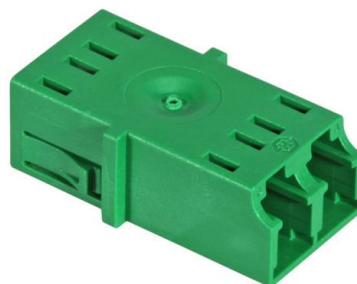
Złącze MT-RJ jest powszechnie stosowane w sieciach LAN i jest podobne z wyglądu do złącza RJ45 stosowanego w sieciach miedzianych. Jest wykorzystywane jako złącze duplexowe.

### **Złącze LC (IEC 61754-20)**

Złącze opracowane przez firmę Lucent (LC oznacza Lucent Connector) należy do nowej generacji złączy kompaktowych. Konstrukcja oparta jest na ferruli o średnicy 1,25 mm. Łącznik duplexowy ma ten sam rozmiar co łącznik SC (obrys SC), umożliwiając bardzo gęste upakowanie i sprawiając, że jest to rozwiązanie atrakcyjne do stosowania w centrach przetwarzania danych i centralach.



*Rys. 130. Złącze duplexowe LC*



*Rys. 131. Adapter/łącznik złącza duplexowego LC*

### **F-SMA: (Sub-Miniature Assembly, IEC 61754-22)**

Złącze gwintowane bez fizycznego kontaktu pomiędzy ferrulami. Jest to pierwsze znormalizowane złącze światłowodowe, ale dzisiaj jest stosowane jedynie do PFC/HCS lub POF.



### **BLINK (IEC 61754-29)**

Jest to niewielkie złącze z taką samą ferrulą, jaka wykorzystywana jest w LC (1,25 mm). Przeznaczone jest i najlepiej nadaje się do stosowania pomiędzy gniazdem abonenckim a ONT lub CPE. BLINK ma wbudowane automatyczne klapki, które chronią końcówki przed pyłem i zarysowaniami, jak również wiązkami lasera. Ponadto posiada automatyczny mechanizm samozwolnienia, który zapobiega uszkodzeniom gniazda abonenckiego czy ONT/CPE.



*Rys. 132. Złącze BLINK*



*Rys. 133. Adapter/łącznik hybrydowy pomiędzy BLINK a LC*



*Rys. 134. Adapter hybrydowy pomiędzy BLINK and CLIK w formie Keystone*

### **LX.5 (IEC 61754-23)**

Złącze o rozmiarze podobnym do rozmiaru LC, wyposażone w taką samą ferrulę 1,25 mm, posiada te same funkcje, co złącze E-2000. Łącznik dupleksowy ma ten sam rozmiar co łącznik SC (obrys SC).



*Rys. 135. Złącze LX.5*



*Rys. 136. Adapter/łącznik LX.5*

### **SC-RJ (IEC 61754-24)**

Jak wskazuje nazwa, produkt ten opiera się na formacie RJ45. Dwa złącza SC tworzą jednostkę SFF (Small Form Factor) o rozmiarze RJ45. Stosowana jest technologia ferruli *sleeve* 2,5 mm, ponieważ jest ona solidniejsza i bardziej niezawodna niż ta stosowana w ferruli 1,25 mm. Złącze SC-RJ robi wrażenie nie tylko zwartą konstrukcją, ale i parametrami optycznymi i mechanicznymi. Jest to złącze wszechstronne, które może być używane w różnych zastosowaniach, od Klasy A\* po Klasę M, od kabli jednomodowych po POF, zarówno w sieciach WAN, jak i LAN, w warunkach laboratoryjnych i na zewnątrz budynków.



*Rys. 137. Złącze SC-RJ*



*Rys. 138. Adapter/łącznik SC-RJ*

### 9.3.2 Tłumienność odbiciowa

Tłumienność odbiciowa (return loss, RL) stanowi wyrażoną w decybelach (dB) miarę ilości światła odbijanego na złączu z powrotem do źródła. Im większa RL, tym mniejsze odbicie. Typowa wartość RL leży pomiędzy 35 a 50 dB w przypadku złącza PC, 60 do 90 dB w przypadku złącza APC i 20 do 40 dB w przypadku światłowodów wielomodowych.

Na wczesnych etapach rozwoju złącz światłowodowych wtykowych przylegające powierzchnie końcówek były polerowane pod kątem 90° w stosunku do osi wzdłużnej włókna, natomiast współczesne normy wymagają wykończenia PC (Physical Contact) lub APC (Angled Physical Contact). Często stosowane jest określenie HRL (High Return Loss, wysoka tłumienność odbiciowa), ale ma to samo znaczenie, co APC.

#### PC (Physical Contact)



#### APC (Angled Physical Contact)

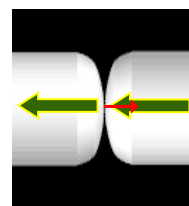


W przypadku wykończenia PC, ferrula jest wykończona w kształt wypukły, aby rdzenie światłowodów stykały się w najwyższym punkcie. Pozwala to zredukować odbicia w punkcie styku.

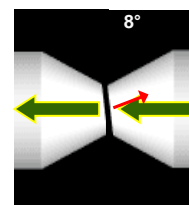
Dalszą poprawę tłumienności odbiciowej uzyskuje się dzięki zastosowaniu techniki wykończenia zwanej APC. W tym przypadku powierzchnie wypukłe ferruli wykończone są skośnie (8°) do osi światłowodu. Dostępne są również złącza SC wykończone pod kątem 9°. Posiadają one wartość IL i RL identyczne jak wersje 8°, dlatego nie przyjęły się powszechnie.

#### Straty odbiciowe

Brak centryczności, zarysowania i zanieczyszczenia w punkcie połączenia dwóch światłowodów sprawiają, że ulegają rozproszeniu porcje światła lub modów (czerwona strzałka). Dobrze wykończone i czyste złącze PC wykazuje RL na poziomie około 14,7 dB na styku z powietrzem i 45-50 dB pod połączeniu.



W przypadku złącza APC, mimo że mody są odbijane, ze względu na kąt 8° lub 9° odbywa się to pod kątem większym niż kąt wejścia (akceptacji) łącznego odbicia wewnętrznego. Zaletą jest to, że te mody nie powracają do źródła.



Dobre złącze APC wykazuje RL na poziomie co najmniej 55 dB na styku z powietrzem i 60-90 dB pod połączeniu.

Dla porównania sam światłowod posiada tłumienność odbiciową wewnętrzną 79,4 dB przy 1310 nm, 81,7 dB przy 1550 nm i 82,2 dB przy 1625 nm (wszystkie wartości dla długości impulsu 1 ns).

### 9.3.3 Tłumienność wtrąceniowa

W przypadku tłumienności na połączeniu światłowodów rozróżnia się zwykle tłumienność „wewnętrzną” zależną od światłowodu i tłumienność „zewnętrzną” zależną od złącza. Tłumienność zależna od światłowodu występuje na przykład wtedy, gdy stosowane są światłowodów o różnych promieniach rdzenia, współczynnikach załamania lub braku centryczności rdzeni. Tłumienność zależna od złącza wynika z różnych przyczyn, w tym z odbić i nierówności powierzchni końcówek, niedopasowania kierunkowego i przesunięcia osiowego. Dalsze uwagi i informacje dotyczą strat złączy; nie uwzględnia się wpływu tolerancji światłowodu i jakości wykonania kabla światłowodowego.

Techniczna klasa przesyłowa światłowodowego złącza wtykowego wynika przede wszystkim z dwóch parametrów: tłumienności wtrąceniowej IL i tłumienności odbiciowej RL. Im mniejsza wartość IL, tym większa RL, a tym samym tym lepszy przesył sygnału w złączu wtykowym.

Tłumienność wtrąceniowa jest miarą strat powstających w punkcie połączenia. Obliczana jest jako stosunek mocy świetlnej w rdzeniach światłowodowych przed ( $P_{IN}$ ) i za ( $P_{OUT}$ ) złączem i wyrażona jest w decybelach.

Im mniejsza jej wartość, tym mniejsze straty sygnału. Typowa wartość IL sięga od 0,1 do 0,5 dB.

Na rynku stosowane są również specyfikacje z oznaczeniami -dB i +dB; na przykład kabel przejściowy może być oznakowany parametrem -0,1 dB albo 0,1 dB. W obu przypadkach strata jest identyczna.

### 9.3.4 Straty zewnętrzne

Mniej energii świetlnej traci się na rdzeniach światłowodowych, jeżeli są one dokładniej spasowane. Dlatego też precyzyjnie wykończone włókna światłowodowe przyklejane są do precyzyjnych tulei ceramicznych. Straty zewnętrzne związane z połączeniem wynikają z różnych przyczyn, w tym z odbić i nierówności powierzchni końcówek, niedopasowania kierunkowego (kątownego) i przesunięcia osiowego (niekoncentryczności). Odbicia i nierówności odgrywają rolę drugorzędną. Głównymi przyczynami strat są przesunięcia osiowe i niedopasowania kierunkowe.



Otwór w ferruli musi być większy niż światłowód, aby można go było wprowadzić. W rezultacie światłowód zawsze ma pewien luz rdzenia. To skutkuje dodatkową niekoncentrycznością, a także niedopasowaniem kierunkowym.

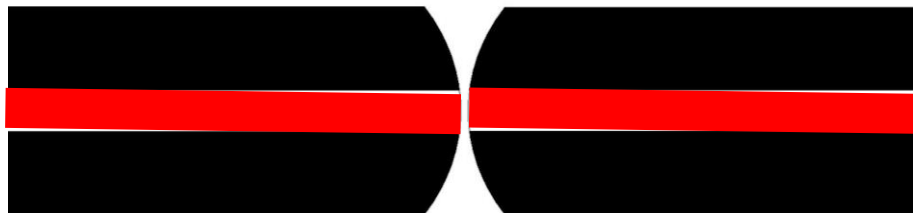
#### **Niedopasowanie kątowe:**

Tzw. niedopasowanie kątowe powinno być mniejsze od  $0,3^\circ$ . Większe niedopasowanie kątowe wywołuje naprężenia, które mogą prowadzić do złamania włókna.

#### **Niekoncentryczność:**

Według IEC 61755-3-1+2, maksymalna niekoncentryczność może wynosić, w zależności od klasy, od  $1,0\ \mu\text{m}$  do  $1,6\ \mu\text{m}$  (mierzona od osi światłowodu do średnicy zewnętrznej ferruli).

Jeżeli dwie ferrule lub złącza wtykowe są łączone bez podjęcia dodatkowych działań, istnieje ryzyko, że niekoncentryczność i niedopasowanie kątowe razem wzięte zwiększą tłumienność.



Aby zminimalizować tłumienność wtrąceniową złączy wtykowych, przesunięcie osiowe dwóch połączonych włókien muszą być jak najmniejsze. Osiąga się to poprzez określenie ćwiartki ferruli, w której musi leżeć rdzeń. Złącza strojone umożliwiają przekręcanie ferruli co  $60^\circ$  lub  $90^\circ$ . Jeżeli dwa złącza zostaną zestrojone, odchylenie położenia rdzenia w ferruli jest redukowane, prowadząc do znacznej poprawy wyników w porównaniu ze złączami niestrojonymi.

Należy unikać przekroczenia niedopasowania kąowego  $>0,3^\circ$ , aby zapobiec naprężeniom światłowodu. Obciążenia naprężeniowe skracają okres eksploatacji i obniżają parametry optyczne światłowodu – szczególnie BER (bitową stopę błędów), szum modowy i tolerancję wysokiej mocy.

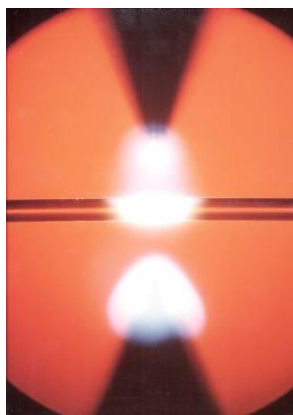
Aby wytworzyć niezawodne światłowodowe złącza wtykowe o wysokich parametrach wymagana jest precyzja wykonania, pierwszorzędne materiały i kompleksowe zarządzanie jakością. Naprężenia drobnych elementów złącza światłowodowego stawiają wysokie wymagania. Produkty powinny być zaprojektowane na okres eksploatacji 200 000 do 250 000 godzin, czyli 25 lat. W przypadku przejściówek, złącza muszą wytrzymywać duże siły ścinające i bezawaryjnie obsłużyć 500 do 1000 cykli zał./wyl.

## **9.4 Spajanie światłowodów**

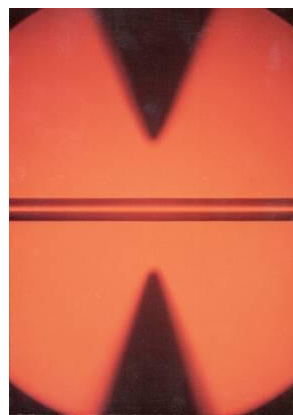
Do spajania światłowodów stosuje się powszechnie dwie technologie: zgrzewanie i spajanie mechaniczne.

#### 9.4.1 Zgrzewanie

Zgrzewanie wymaga utworzenia łuku elektrycznego pomiędzy dwiema elektrodami. Dwa przycięte włókna są zbliżane do siebie w łuku, tak aby obydwa końce stopiły się.



*Rys. 139. Zgrzewanie w łuku elektrycznym*



*Rys. 140. Spajanie zakończone*

Straty optyczne na spojeniu mogą być różne w zależności od spawarki i mechanizmu justowania. Spawarki z mechanizmem justowaniem umożliwiają wzajemne dopasowanie kanałów przewodzących światło (rdzeń 9  $\mu\text{m}$ ). Tego rodzaju spawarki tworzą spojenia, na których straty wynoszą około  $<0,05\text{dB}$ .



*Rys. 141. Spawarki*

Niektóre spawarki (np. mniejsze ręczne wersje) justują płaszcz (125  $\mu\text{m}$ ) światłowodów zamiast rdzenia przewodzącego światło. Jest to technologia tańsza, ale może zwiększać częstotliwość błędów, ponieważ tolerancje wymiarowe płaszczka są większe. Typowa wartość tłumienności wtrąceniowej tych spawarek wynosi 0,1 dB lub mniej.

#### 9.4.2 Spajanie mechaniczne

Spajanie mechaniczne polega na mechanicznym wyjustowaniu dwóch dociętych końcówek w taki sposób, aby umożliwić swobodny przepływ światła. Dotyczy to również zakończeń światłowodów w złączach. Aby ułatwić sprzężenie świetlne tych światłowodów, często stosowany jest żel



immersyjny. Producenci stosują różne metody wykonywania zakończeń światłowodów w spojeniu mechanicznym.

Spojenia mechaniczne mogą być wykończone kątowo lub bezkątowo, przy czym pierwsze z wymienionych ma większą tłumienność odbiciową. Tłumienność wtrąceniowa spójenia mechanicznego wynosi zazwyczaj  $<0,5$  dB.

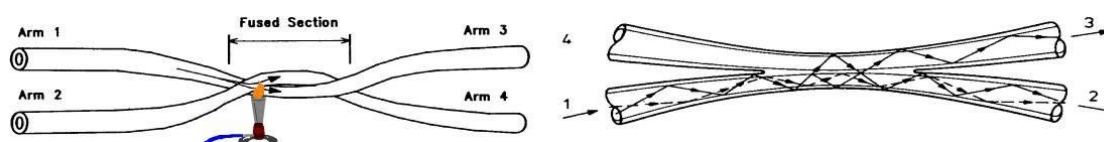


*Rys. 142. Spawarki mechaniczne*

## 9.5 Sprzęgacze światłowodowe

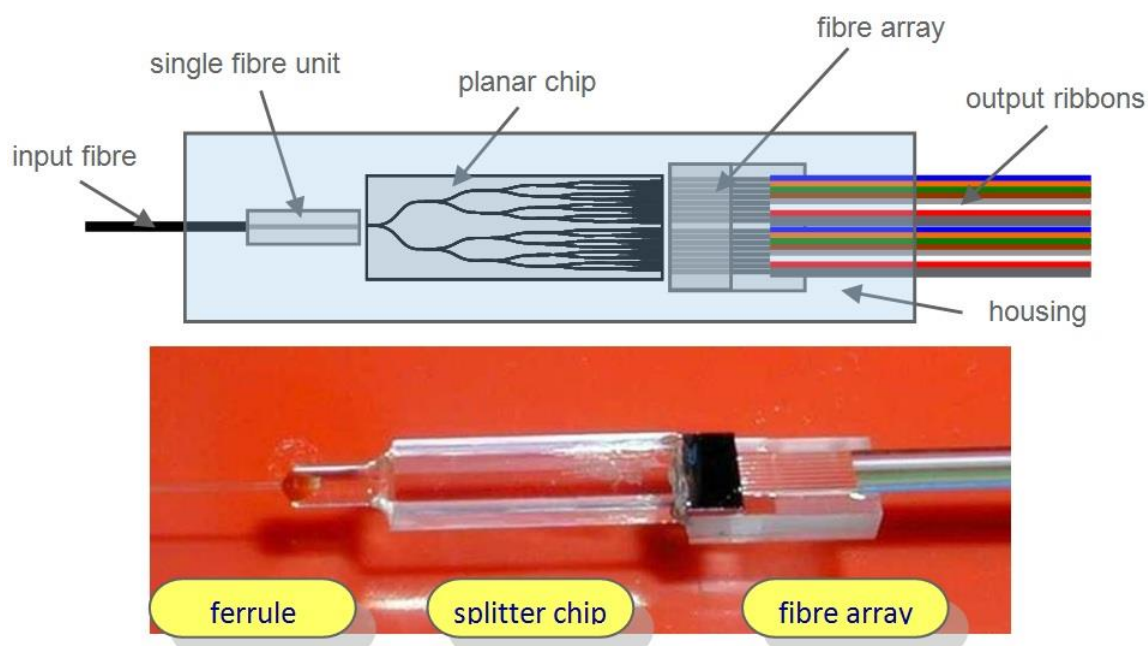
W świecie sprzęgaczy pasywnych powszechnie stosuje się dwie technologie: sprzęgacze zgrzewany (FBT) i sprzęgacze planarne.

### 9.5.1 Sprzęgacz zgrzewany



- Sprzęgacze FBT wykonywane są przez zgrzanie dwóch zaplecionych światłowodów.
- Jeden proces produkcyjny.
- Sprawdzona technologia dla środowisk OSP.
- Dostępne są urządzenia monolityczne ze stopniem podziału 1x4.
- Sprzęgacze o stopniu podziału większym od 1x4 budowane są poprzez kaskadowe użycie sprzęgaczy 1x2, 1x3 lub 1x4.
- Stopień podziału od 1x2 do 1x32 i wyższy (możliwe również podwójne wejście).
- Sprzęgacze z wyższym stopniem podziału mają zazwyczaj większą IL (tłumienność wtrąceniową) i mniejszą jednorodność w porównaniu z technologią planarną.

### 9.5.2 Sprzęgacz planarny



- ścieżki optyczne umieszczone są w kwarcowym chipie
- stopień podziału od 1x4 do 1x32 lub wyższy, możliwe również podwójne wejście
- tylko symetryczne sprzęgacze dostępne są jako urządzenia standardowe
- kompaktowe w porównaniu z FBT przy wyższym stopniu podziału (brak podziału kaskadowego)
- w porównaniu z FBT bardziej korzystna tłumienność wtrąceniowa i jednorodność przy większych długościach fali we wszystkich pasmach
- lepsze do fal dłuższych, szersze spektrum

## 9.6 Klasy jakości złączy światłowodowych

Zatwierdzona w marcu 2007 r. norma IEC 61753 opisuje klasy elementów złącznych w sieciach światłowodowych w rozbiciu na zastosowania (zob. tabela poniżej). Wyrażna identyfikacja klas i niezbędne metody testowania IEC pomagają projektantom oraz osobom odpowiedzialnym za sieci dokonać wyboru złącz wtykowych, patchcordów i pigtaili. Operatorzy centrów przetwarzania danych i firmy telekomunikacyjne mogą ustalać asortyment światłowodów w zależności od zastosowania oraz podejmować szybsze i bardziej racjonalne decyzje zakupowe. Pozwala to również uniknąć zakupu produktów, które w praktyce nie oferują parametrów deklarowanych przez producenta.

Bieżące wymagania oparte są częściowo na IEC 61753 i definiują wartość tłumienności. Ponadto pewną rolę odgrywają normy IEC 61755-3-1 i IEC 61755-3-2, ponieważ określają parametry geometryczne światłowodowych złącz wtykowych. Połączenie tych trzech norm oferuje podstawę do porównywalności światłowodowych złącz wtykowych oferowanych przez różnych producentów oraz do ustalenia wartości tłumienności z pominięciem identyfikacji producenta.

Klasy tłumienności	Tłumienność przy dopasowaniu losowym IEC 61300-3-34	
<b>Klasa A*</b>	średnia $\leq 0,07$ dB	$\leq 0,15$ dB maks. dla >97% próbek
<b>Klasa B</b>	średnia $\leq 0,12$ dB	$\leq 0,25$ dB maks. dla >97% próbek
<b>Klasa C</b>	średnia $\leq 0,25$ dB	$\leq 0,50$ dB maks. dla >97% próbek

<b>Klasa D</b>	średnia $\leq 0,50$ dB	$\leq 1,00$ dB maks. dla $>97\%$ próbek
<b>Klasy tłumienności odbiciowej</b>	<b>Tłumienność przy dopasowaniu losowym IEC 61300-3-6</b>	
<b>Klasa 1</b>	$\geq 60$ dB (dopasowane) i $\geq 55$ dB (niedopasowane)	
<b>Klasa 2</b>	$\geq 45$ dB	
<b>Klasa 3</b>	$\geq 35$ dB	
<b>Klasa 4</b>	$\geq 26$ dB	

**Tabela. Przegląd kryteriów nowych klas jakości dla przesyłu danych w złączach światłowodowych według IEC 61753. Definicja Klasy A\* nie została jeszcze sfinalizowana. Kryteria dotyczące światłowodów wielomodowych wciąż są przedmiotem dyskusji.**

Teoretycznie, klasy tłumienności (od A\* do D) mogą być dowolnie łączone z klasami tłumienności odbiciowej. Jednakże Klasa A\*/4 nie miałaby sensu, w związku z tym ustalono następujące powszechne konfiguracje:

	Klasa A*	Klasa B	Klasa C	Klasa D
<b>Klasa 1</b>	✓	✓	✓	✗
<b>Klasa 2</b>	✓	✓	✓	(✓)
<b>Klasa 3</b>	✗	✗	✗	✓
<b>Klasa 4</b>	✗	✗	✗	(✓)

## 9.7 Wartości „każdy do każdego”

Wartości określone w IEC 61753 są również określane jako wartości „każdy do każdego” (dopasowanie losowe). „Każdy do każdego” oznacza, że nie są mierzone straty złącza w stosunku do złącza wzorcowego, ale każde złącze testowane z danej serii łączone jest z każdym spośród pozostałych złącz testowanych, i mierzone są straty w konfiguracji złącze/łącznik/złącze.

Uzasadnienie dla tego modelu jest następujące: wartości strat uzyskane zgodnie ze specyfikacją IEC w przypadku losowo dobranych par złącz są znacznie bliższe rzeczywistym warunkom eksploatacji niż wartości strat deklarowane przez producenta, które w wielu przypadkach oparte są na najbardziej korzystnych pomiarach wykonanych w warunkach laboratoryjnych. W przypadku pomiarów najbardziej korzystnych, parametry złącza badane są w stosunku do kabla wzorcowego. Kabel wzorcowy jest dobierany w taki sposób, aby pomiar u producenta dawał możliwie najmniejszą wartość (niższą niż można uzyskać w praktyce).

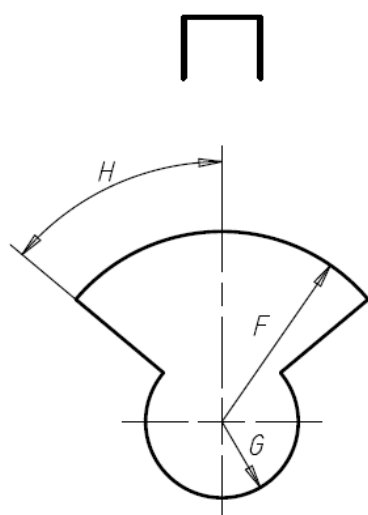
## 9.8 Wartości średnie

Nową tendencją wynikającą z ustalenia klas jakości jest zapotrzebowanie na wartości uśrednione. Daje to optymalną podstawę do obliczania tłumienności złącza, szczególnie istotnej w dużych sieciach. Kiedyś konieczne było obliczenie tłumienności z użyciem wartości maksymalnej, która – jak już wspomniano – okazała się być mało wiarygodna dla połączeń „każdy do każdego”.

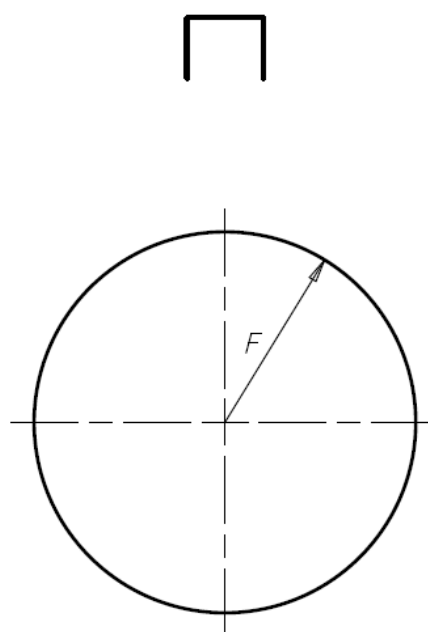
Obecnie w obliczeniach można wykorzystywać wartości średnie, dzięki czemu każdy projektant może użyć właściwej klasy do zaspokojenia określonych potrzeb, dzięki temu gwarantując optymalny wskaźnik kosztów do korzyści. Przykład:

Specyfikacja	Wartości „każdy do każdego”	Budżet 10 połączeń
złącze 0,1 dB	około 0,2 dB (prawdopodobnie więcej, jeżeli połączy się różnych producentów i użyje się złącz niekorygowanych)	około 2 dB, niejasny zakres tolerancji
Klasa C	Średnia $\leq 0,25$ dB, maks. $\leq 0,50$ dB	$\leq 2,5$ dB
Klasa B	Średnia $\leq 0,12$ dB, maks. $\leq 0,25$ dB	$\leq 1,2$ dB
Klasa A*	Średnia $\leq 0,07$ dB, maks. $\leq 0,12$ dB	$\leq 0,70$ dB

Przyczyny strat są znane komisjom normalizacji IEC. W związku z tym określili one parametry H, F i G zaprezentowane poniżej:



**Klasy B i C**



**Klasa D**

IEC 61755-3-1 (złącze PC, ferrula 2,5 mm)							
	Klasa B		Klasa C		Klasa D		
	Minimum	Maksimum	Minimum	Maksimum	Minimum	Maksimum	Uwagi
<b>H:</b>	0	50	0	50	0 ( $\Rightarrow$ NA)	0 ( $\Rightarrow$ NA)	Stopnie
<b>F:</b>	0	0,0012	0	0,0015	0	0,0016	Promień, w mm
<b>G:</b>	0	0,0003	0	0,0003	0 ( $\Rightarrow$ NA)	0 ( $\Rightarrow$ NA)	Promień, w mm

IEC 61755-3-2 (złącze APC, ferrula 2,5 mm)							
	Klasa B		Klasa C		Klasa D		
	Minimum	Maksimum	Minimum	Maksimum	Minimum	Maksimum	Uwagi
<b>H:</b>	0	50	0	50	bd.	bd.	Stopnie
<b>F:</b>	0	0,0010	0	0,0014	0	0,0015	Promień, w mm
<b>G:</b>	0	0,0003	0	0,0003	bd.	bd.	Promień, w mm

**Parametry geometryczne złącz światłowodowych według IEC 61755-3-1 i 61755-3-2**

## 9.9 Specyfikacje producentów a realne warunki eksploatacji

Informacje poniżej zaczerpnięto z praktyki. Wskazują one, dlaczego stosowanie klas jest tak ważne: Operator sieci używa patchcordu o tłumienności wtrąceniowej określonej przez producenta na 0,1 dB. Podczas pomiarów terenowych patchcordy „nagle” wykazują wartości pomiędzy 0,2 a 0,3 dB. Skąd biorą się te często obserwowane w praktyce poważne rozbieżności?

Producent ustalił wartość podaną w specyfikacji produktu w możliwie najkorzystniejszych warunkach. W tym scenariuszu użyto kabli referencyjnych lub wzorcowych o niskiej tłumienności w celu uzyskania jak najniższej wartości podczas pomiarów tłumienności wtrąceniowej. Jeżeli jednak patchcordy zostaną podłączone „każdy do każdego”, wartości tej nie da się osiągnąć, dlatego też wartość tłumienności leży znacznie powyżej wyniku pomiaru uzyskanego w najlepszych warunkach.

Ta nierealistyczna, ale niestety wciąż często stosowana metoda pomiaru rodzi następujące konsekwencje: Projektanci sieci, nieświadomi dokładnych warunków w jakich dokonywano pomiarów u producenta, często kupują produkty drogie o przesadzonych parametrach, a następnie odkrywają, że nie da się zrealizować wyliczonego na podstawie tłumienności wtrąceniowej budżetu mocy. Nieuniknione są wówczas opóźnienia w rozruchu i kosztowne zakupy, aby wymienić niewłaściwy osprzęt.

W tym kontekście warto zauważyć, co następuje: Instalacja światłowodów i obsługa złączy w codziennej praktyce wymaga szczególnej wiedzy i wszechstronnego przeszkolenia. Dlatego zaleca się rozważenie odpowiedniej certyfikacji specjalistycznej firmy lub personelu.

# 10 Eksploatacja i konserwacja

---

W tej części przedstawiono skrótowe omówienie aspektów eksploatacji i konserwacji infrastruktury sieciowej FTTH. Każda sieć FTTH jest inaczej zbudowana i eksploatowana w specyficznym otoczeniu i warunkach, jednak wspólnym dla nich wymogiem pozostaje uwzględnienie najlepszej praktyki eksploatacji i konserwacji.

Najprawdopodobniej zostanie postawiony warunek, aby podczas budowy sieci zapewniono maksymalne ograniczenie uciążliwości budowy FTTH dla ludności i otoczenia. Można to osiągnąć jedynie dzięki starannemu planowaniu i wykonaniu, które w ostatecznym rozrachunku pobudza wdrożenie wydajnych metod budowy z korzyścią dla opłacalności inwestycji w FTTH. Niewydajne projektowanie doprowadzi do skutków odwrotnych i może obniżyć opłacalność sieci i budowy.

Choć światłowody są w użyciu już od kilkudziesięciu lat i są nośnikiem sprawdzonym i niezawodnym, zawsze są podatne na nieoczekiwane awarie, które wymagają mobilizacji oraz podjęcia szybkich i sprawnych napraw. W takich sytuacjach niezbędny jest szybki dostęp do ewidencji sieci. Cała dokumentacja i wszystkie rejestry związane z budową sieci powinny być zbierane w centralnym miejscu w celu obsługi dalszych analiz sieci.

Procedury konserwacji muszą być z góry zaplanowane i muszą być zawarte umowy, aby zapewnić dostępność odpowiednich pracowników we właściwym czasie.

## 10.1 Wskazówki dotyczące projektowania realizacji

### 10.1.1 Kontrola terenu i planowanie czynności instalacyjnych

Wykonywanie robót w systemach kanałów podziemnych lub wzdłuż ulic albo na słupach wymaga starannego planowania i często powoduje zakłócenia w ruchu, dlatego niezbędna jest współpraca z miejscowymi władzami i należy wdrożyć odpowiednie środki kontroli. Poniżej przedstawiono skrótowy wykaz głównych kwestii instalacyjnych, które należy uwzględnić podczas budowy instalacji prowadzonej w kanalizacji.

### 10.1.2 Uwagi ogólne dotyczące zarządzania

Niezbędna jest znajomość i doświadczenie w pracy z podziemnymi i napowietrznymi systemami prowadzenia rur kablowych i kabli, jak również stosowanie najlepszej praktyki zawodowej i przeprowadzanie badań procesów roboczych.

Staranne planowanie instalacji oraz współpraca z miejscowymi władzami to warunek wydajnej i bezpiecznej eksploatacji. Od miejscowych władz należy uzyskać pełne informacje o przebiegu linii zasilania elektrycznego, które należy potwierdzić na miejscu z użyciem urządzeń wykrywczych.

### 10.1.3 Uwagi ogólne dotyczące bezpieczeństwa

Należy wyznaczać właściwe strefy bezpieczeństwa za pomocą pachołków i sygnałów drogowych.

Ewentualne zakłócenia w ruchu należy uzgodnić z miejscowymi władzami. Należy zlokalizować wszystkie studzienki kanalizacyjne i komory kablowe, a te, do których będą wchodzić pracownicy powinny być zbadane przed ich wejściem pod kątem obecności gazów palnych i toksycznych.



W odniesieniu do przestrzeni zamkniętych należy przeprowadzić przed wejściem do nich pełne testy składu powietrza i zawartości tlenu oraz w razie potrzeby zapewnić wentylację wymuszoną. Podczas wykonywania robót pod ziemią wszyscy pracownicy muszą mieć przez cały czas włączone urządzenia ostrzegawcze do ciągłego monitoringu obecności gazów palnych, toksycznych, tlenku węgla i zawartości tlenu.

W razie wykrycia gazu palnego należy niezwłocznie skontaktować się z miejscową jednostką straży pożarnej.

Wszystkie zidentyfikowane kable elektryczne należy obejrzeć pod kątem uszkodzeń i znajdujących się na wierzchu przewodników.

#### **10.1.4 Uwagi ogólne dotyczące obiektów i urządzeń**

Przed instalacją światłowodów należy sporządzić pełną inwentaryzację całego systemu kanałów podziemnych lub instalacji napowietrznych.

Wodę w komorach kablowych i kanałach ściekowych/wodociągowych znajdującą się na nieakceptowalnie wysokim poziomie należy wypompować. Rury kablowe należy sprawdzić pod względem uszkodzeń i potencjalnych przeszkód. Zaleca się przeprowadzenie przed instalacją sztychowania za pomocą testowego trzpienia lub szczotki.

Studzienki należy sprawdzić pod kątem tego, czy nadają się do składowania pętli kabli nadmiarowych, czy można w nich zainstalować konstrukcje wsporcze i czy jest w nich miejsce na montaż muf.

Należy sporządzić plan optymalnego umiejscowienia urządzeń do rozwijania kabli, zwijania nadmiaru kabla w ósemkę w punktach pośrednich odcinka instalacyjnego (fleeting) oraz wciągania kabli. To samo dotyczy kabli, które mają być wdmuchiwane do rury kablowej, które mogą wymagać głowicy pneumatycznej i sprężarki.

Należy uwzględnić zmiany wysokości.

Składowania kabla w punktach pośrednich odcinka instalacyjnego techniką „ósemkową” może umożliwić znaczne zwiększenie długości odcinka instalacyjnego z użyciem długich kabli. Należy sprawdzić, czy miejsca te nadają się do składowania kabla.

Należy skontaktować się z producentem kanalizacji pierwotnej lub wtórnej w sprawie przyjętych wytycznych instalacji kabla.

Rury kablowe żebrowane, karbowane oraz rury kablowe z powłoką redukującą tarcie przeznaczone są do zredukowania tarcia pomiędzy kablem a rurą podczas instalacji. Gładkie rury pozbawione powłoki redukującej tarcie mogą wymagać zastosowania odpowiedniego środka poślizgowego na kablu.

Do przywiązywania liny do zaciągania kabla do końcówki kabla stosuje się specjalne przejścia. Są to często siatki/sploty przytwierdzone mechanicznie do końcówki kabla, minimalizujące średnicę, a tym samym przestrzeń zajętą w rurze kablowej. Pomiedzy przejściem a liną do zaciągania należy ponadto zainstalować krętlik bezpiecznikowy.

Krętliki mają za zadanie wyzwoić moment obrotowy generowany przez ciągnięcie, dzięki temu chroniąc kabel. Bezpiecznik mechaniczny chroni kabel przed nadmierną siłą zaciągania poprzez zerwanie kołka bezpiecznikowego ścinanego. Dostępne są kołki bezpiecznikowe o różnych parametrach naprężeń.

Należy użyć wciągarki o odpowiednich parametrach, wyposażonej w dynamometr w celu monitorowania naprężeń podczas zaciągania.

Należy stosować krążki, kabestany i bloki kablowe do prowadzenia kabla pod naprężeniem z bębna do wejścia do rury kablowej oraz z wyjścia rury kablowej do urządzenia przechwytyjącego w celu zachowania minimalnego promienia gięcia.

We wszystkich miejscach operacji powinny być dostępne krótkofalówki, telefony komórkowe lub podobne urządzenia.

Stosowanie wciągarek pośrednich lub pomocniczych jest zalecane w przypadkach, w których obciążenie rozciągające kabla dochodzi do dopuszczalnej granicy i może przyspieszyć zaciąganie dłuższych odcinków.

Zalecane jest również stosowanie urządzenia do rozwijania kabla, w postaci szpuli lub bębna.

W zastosowaniach napowietrznych stosuje się odpowiednie urządzenia, takie jak wysięgniki samochodowe. Należy przestrzegać określonych przepisów dotyczących pracy na wysokości. Do mocowania kabli i muf stosuje się odpowiedni sprzęt.

### **10.1.5 Uwagi ogólne dotyczące metod prowadzenia okablowania**

#### **10.1.5.1 Prowadzenie kabli w kanalizacji pierwotnej i wtórnej**

Instalacja i konserwacja w kanalizacji rurowej jest stosunkowo prosta. Czasami kable mogą być nieumyślnie zakopane; w związku z tym zawsze powinny być pod ręką odcinki konserwacyjne.

Kable do prowadzenia w rurach kablowych i zakopywane bezpośrednio w ziemi mają podobną budowę, przy czym te ostatnie są lepiej chronione przed wpływem otoczenia, w którym są instalowane.

Podczas obliczania długości trasy należy uwzględnić zapas na złącza: na jedno złącze wystarcza zazwyczaj 3-5 m.

Zapas kabla/nadmiarowe pętle przechowywane są zazwyczaj w odcinkach 20 m w komorach kablowych. Umożliwia to tworzenie później złącz dostępowych w miejscach pośrednich dotychczasowego odcinka.

Nie wolno przekraczać minimalnych promieni gięcia (MBR) i maksymalnego obciążenia rozciągającego kabla.

MBR jest często wyrażony jako wielokrotność średnicy kabla (np. 20xD) i zwykle jest definiowany jako wartość nieprzekraczalna dla obciążeń statycznych i dynamicznych

Statyczny MBR jest minimalnym dopuszczalnym promieniem gięcia dla kabla w eksploatacji, tzn. zwiniętego w studziencie lub komorze. Dynamiczny MBR jest minimalnym dopuszczalnym promieniem gięcia kabla w warunkach zaciągania instalacyjnego.

Obciążenie rozciągające jest zwykle określane dla warunków krótko- i długotrwałych. Obciążenie rozciągające krótkotrwałe stanowi maksymalne naprężenie, jakie można przyłożyć do kabla w procesie instalacji, a długotrwałe oznacza maksymalne obciążenie, które można przyłożyć do kabla przez cały okres eksploatacji kabla.

W przypadku instalowania kabli przez wdmuchiwanie, kabel i rura kanałowa muszą nadawać się do operacji wdmuchiwania, dlatego należy skontaktować się z producentem (producentami) kabli i rur kablowych w sprawie wytycznych instalacyjnych.

### 10.1.5.2 Kabel do układania bezpośrednio w ziemi

Techniki instalacyjne kabli przeznaczonych do instalowania bezpośrednio w ziemi obejmują układanie w wykopach, głęboszowanie, odwierty kierunkowe i przecisk hydrauliczny. Należy również zapoznać się ze specyfikacją IEC 60794-1-1 załącznik C.3.6 *Installation of buried cables*.

Należy potwierdzić minimalne promienie gięcia kabla i maksymalne obciążenie rozciągające w warunkach instalacji i długoterminowej eksploatacji.

Należy zapewnić monitorowanie naprężenia kabla podczas układania w ziemi i nieprzekraczanie limitów dla kabla.

Pełna inwentaryzacja zakopanego odcinka umożliwia efektywne przeprowadzenie instalacji.

Należy zidentyfikować punkty krzyżowania się z innymi instalacjami i mediami.

Wszystkie kable zakopane muszą być identyfikowalne i oznakowane do późniejszego rozpoznania.

Należy zapewnić, by podczas zasypywania wykopu kable były odpowiednio chronione przed uszkodzeniem przez duże kamienie, np. za pomocą warstwy piasku. Zasyпка musi być ubita, aby zapobiec przyszłym ruchom i osiadaniu gruntu.

Wszystkie powierzchnie muszą zostać przywrócone do miejscowych standardów.

### 10.1.5.3 Kable napowietrzne

Należy zapoznać się ze specyfikacją IEC 60794-1-1 załącznik C.3.5 *Installation of aerial optical cables*.

Konstrukcja kabli stosowanych w instalacjach napowietrznych różni się od konstrukcji kabli do układania pod ziemią, ponieważ kable te muszą wytrzymywać obciążenie wynikające z wiatru i oblodzenia/ośnieżenia. Wymagania mogą być różne w zależności od obszaru geograficznego, na przykład w regionach nawiedzanych przez huragany wiatr może być silniejszy.

Kable wymagają określonego zwisu pomiędzy słupami, aby obniżyć obciążenie kabla wynikające jego własnej masy.

Należy przewidzieć pewien zapas kabla na słupie w celu uzyskania dostępu do kabla lub instalowania mufy.

Współdzielenie słupów przez różnych operatorów lub usługodawców (telewizja kablowa, zakład energetyczny, operator telefonii itd.) nie należy do rzadkości. Takie rozwiązanie wymaga specjalnej organizacji.

## 10.2 Wytyczne eksploatacyjne i konserwacyjne

Należy uwzględnić:

- pomiary
- rejestry kabli światłowodowych i rur kablowych
- oznakowanie podstawowych elementów infrastruktury
- kompletną dokumentację
- identyfikację elementów infrastruktury podlegających czynnościom konserwacyjnym
- listę drobnych konserwacji

- plan katastrofalnej awarii sieci wskutek czynników zewnętrznych, takich jak przypadkowe przerwanie kabla lub rury podczas wykopów
- zapasowe elementy infrastruktury, które powinny być utrzymywane pod ręką na wypadek awarii
- miejsce przechowywania i dostępność rejestrów do celu zawierania umów o konserwację

# 11 Wskazówki dotyczące testowania i pomiarów FTTH

---

## 11.1 Dbłość o złącza

### 11.1.1 Dlaczego ważne jest czyszczenie złączy?

Jednym z pierwszych zadań do wykonania podczas projektowania sieci światłowodowych jest ocena budżetu akceptowalnej straty mocy w celu zrealizowania instalacji, która spełnia warunki projektowe. W celu odpowiedniego scharakteryzowania budżetu mocy rozważane są zazwyczaj następujące podstawowe parametry:

- nadajnik – moc sygnału, temperatura i starzenie
- złącza światłowodowe – jakość złączy i spójność
- kabel – tłumienność światłowodu i wpływ temperatury
- odbiornik – czułość detektora
- inne – margines bezpieczeństwa i naprawy

Jeżeli jedna z powyższych zmiennych nie spełnia warunków specyfikacji, może to wpłynąć na funkcjonowanie sieci; w najgorszym przypadku degradacja może doprowadzić do awarii sieci. Niestety nie wszystkie zmienne można łatwo kontrolować podczas realizacji sieci lub na etapie konserwacji; jednak jednym z często pomijanych elementów jest złącze, które są czasami nadmiernie zużyte (jak np. przewody testowe). Można temu zaradzić, stosując odpowiedni sposób postępowania.

ZANIECZYSZCZENIE ZŁĄCZA JEST PIERWSZYM  
ELEMENTEM, NA KTÓRY NALEŻY ZWRÓCIĆ UWAGĘ  
PODCZAS DIAGNOSTYKI W SIECIACH OPTYCZNYCH

Jedna cząstka, która dostanie się do rdzenia światłowodu może wywołać znaczne odbicie wsteczne (zwane również tłumiennością odbiciową), tłumienność wtrąceniową i uszkodzenie sprzętu. Oględziny to jedyny sposób stwierdzenia czy złącza światłowodowe są rzeczywiście czyste.

Dzięki stosowaniu prostej praktyki aktywnej oceny wzrokowej i czyszczenia można uniknąć słabych parametrów optycznych i potencjalnego uszkodzenia urządzeń.

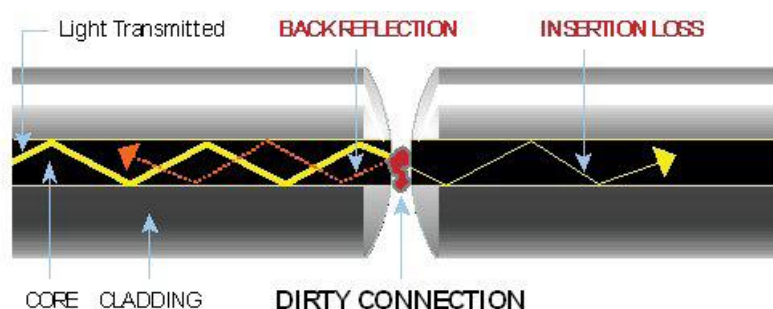
Ze względu na to, że wiele zanieczyszczeń jest zbyt małych, aby można je było zobaczyć gołym okiem, istotne jest obejrzenie każdego złącza światłowodowego pod mikroskopem przed wykonaniem połączenia. Mikroskopy do oględzin światłowodów służą do powiększania i wyświetlania najważniejszej części ferruli, w której dochodzi do połączenia.

### 11.1.2 Jakie są możliwe zanieczyszczenia?

Konstrukcja złącza i techniki produkcyjne wyeliminowały większość trudności związanych z osiągnięciem dopasowania rdzeni i uzyskania kontaktu fizycznego. Jednak utrzymanie powierzchni stykowej złącza w czystości nadal pozostaje wyzwaniem.

Brud jest wszędzie. Typowa cząstka pyłu o średnicy zaledwie 2-15  $\mu\text{m}$  może poważnie wpłynąć na parametry sygnału i spowodować trwałe uszkodzenie końcówki stykowej światłowodu. Większość zakończonych niepowodzeniem testów terenowych można przypisać brudnym złączom; większość z nich nie jest oglądana dopóki się nie zepsuje, kiedy to może już dojść do nieodwracalnych uszkodzeń.

Kiedy cząstki pyłu przywrą do powierzchni rdzenia, blokują przepływ światła, tworząc nieakceptowalną tłumienność wtrąceniową i odbicia (tłumienność odbiciowa). Ponadto cząstki te mogą trwale uszkodzić powierzchnię szklaną, wżerając się w szkło i pozostawiając wgłębienia tworzące kolejne odbicia po połączeniu. Ponadto, duże cząstki brudu na warstwie płaszczu i/lub ferruli mogą wprowadzić barierę fizyczną, która uniemożliwia kontakt fizyczny i tworzy lukę powietrzną pomiędzy światłowodami. Na domiar złego, luźne cząstki mają tendencję do migracji do luki powietrznej.



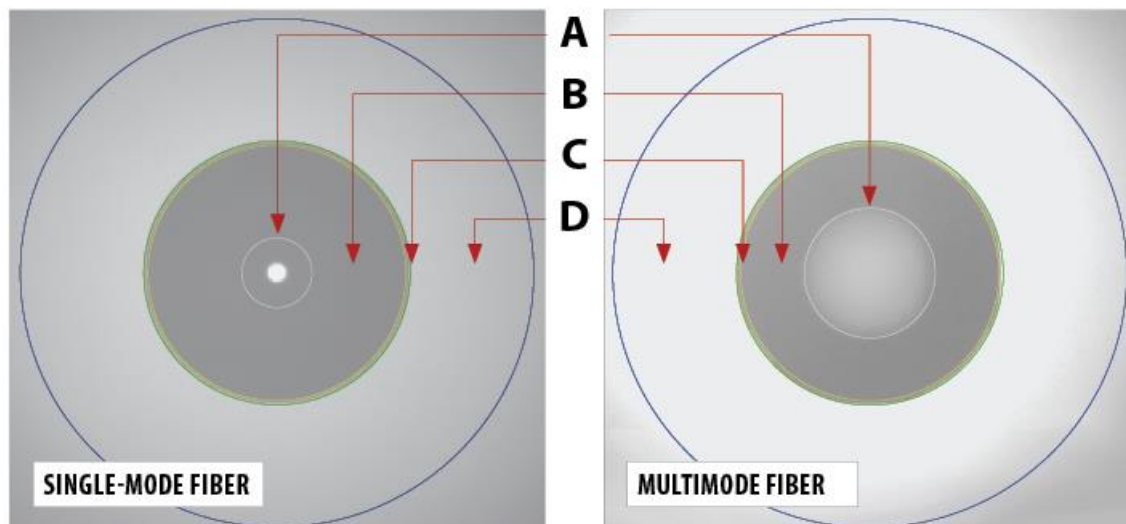
**Rys. 143. Zwiększona tłumienność wtrąceniowa i odbicia wsteczne wywołane przez brudne złącze światłowodowe.**

Drobina pyłu o wielkości 1  $\mu\text{m}$  na światłowodzie jednomodowym może zablokować do 1% światła (tłumienność 0,05 dB), drobina pyłu o wielkości 9  $\mu\text{m}$  może natomiast wywołać znaczne szkody. Kolejnym czynnikiem, na który należy zwrócić uwagę w celu utrzymywania powierzchni końcowych w stanie bez zanieczyszczeń jest wpływ światła o dużej intensywności na końcówkę złącza: niektóre składniki sieci telekomunikacyjnej są w stanie wytwarzać sygnały optyczne o mocy do +30dBm (1W), co może mieć katastrofalne skutki w połączeniu z zabrudzoną lub uszkodzoną końcówką złącza (np. bezpiecznik światłowodowy).

Strefy, które należy poddać oględzinom to szereg koncentrycznych kręgów na powierzchni stykowej złącza (zob. rys. 144). Strefy położone najbliższej środka są bardziej wrażliwe na zanieczyszczenie niż strefy zewnętrzne.



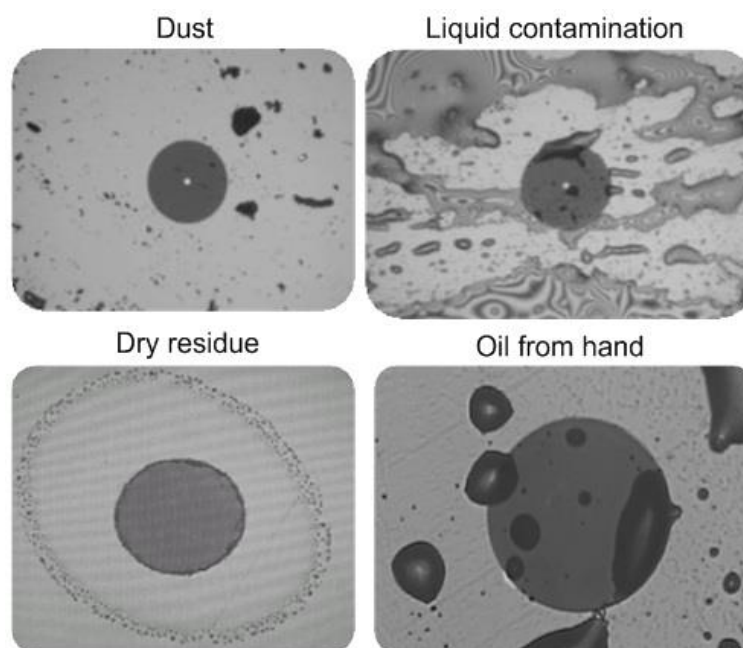
## ZONE OVERLAYS



*Rys. 144. Strefy oględzin powierzchni stykowej złącza*

Aby przyczynić się do zapobiegania awariom złącz i przedstawić wskazówki co do akceptowalnych granic, IEC przyjęła normę (61300-3-35) określającą kryteria akceptowalności na podstawie liczby i rozmiarów wad dotyczących poszczególnych stref (A-B-C-D) złącza. Norma ta określa również kryteria akceptowalności poszczególnych typów złącz dostępnych na rynku (np. MM, SM, UPC, APC).

Wśród zanieczyszczeń, które mogą wpłynąć na parametry końcówki złącza są pył, alkohol izopropylowy, oleje mineralne, żel immersyjny, żywica epoksydowa, czarny tusz na bazie oleju i gips. Zanieczyszczenia te mogą pojawić się samodzielnie lub łącznie z innymi. Należy pamiętać o tym, że poszczególne zanieczyszczenia mają różną postać, a niezależnie od tego, najważniejszymi obszarami, które należy obejrzeć, są rdzeń i płaszcz, gdzie zanieczyszczenia mogą znacznie wpłynąć na jakość sygnału. Na rys. 145 przedstawiono powierzchnię stykową różnych złącz zbadanych za pomocą kamery inspekcyjnej.



*Rys. 145. Wygląd różnych zanieczyszczeń na powierzchni stykowej złącza.*

### 11.1.3 Jakie elementy należy obejrzeć i wyczyścić?

Należy obejrzeć i wyczyścić następujące elementy sieci:

- wszystkie panele wyposażone w adaptory, do których złączki są włożone z jednego lub obu końców
- patchcords testowe
- wszystkie złącza założone na patchcordach lub pigtailach

### 11.1.4 Kiedy należy obejrzeć i wyczyścić złącze?

Złącza należy sprawdzać w ramach rutynowej kontroli, aby zapobiec kosztownym i czasochłonnym poszukiwaniom źródła awarii. Złącza należy skontrolować:

- po instalacji
- przed testowaniem
- przed podłączeniem

### 11.1.5 Jak sprawdzać złącza

Aby prawidłowo ocenić powierzchnię stykową złącza, zaleca się stosowanie mikroskopu przeznaczonego do kontroli powierzchni stykowych złącz światłowodowych. Na rynku dostępne są różne urządzenia inspekcyjne, które można podzielić na dwie podstawowe kategorie: kamery inspekcyjne do światłowodów i mikroskopy optyczne. W tabeli poniżej wymieniono podstawowe cechy tych narzędzi:

Narzędzie inspekcyjne	Podstawowe cechy
-----------------------	------------------

Kamery inspekcyjne	<p>Obraz wyświetlany jest na zewnętrznym ekranie, komputerze lub przyrządzie pomiarowym.</p> <p>Ochrona oczu przed bezpośrednim kontaktem z sygnałem.</p> <p>Możliwość zapisu obrazu do dokumentacji.</p> <p>Łatwość użycia w ciasnych panelach krosowych.</p> <p>Idealne do sprawdzania pojedynczych złączy założonych na patchcordach lub pigtailach oraz złączach wielowłókowych (np. MPO/MTP).</p> <p>Dostępne są różne powiększenia (100X/200X/400X).</p> <p>Dostępne są adaptery do wszystkich rodzajów złączy.</p>
Mikroskopy optyczne	<p>Filtr ochronny* chroni oczy przed bezpośrednim kontaktem z sygnałem z aktywnego światłowodu.</p> <p>Potrzebne są dwa rodzaje mikroskopów: jeden do kontroli patchcordów i drugi do kontroli złączy w panelach krosowych z przegrodami.</p>

\* Bezpośredniego urządzenia powiększającego (mikroskopu optycznego) nigdy nie należy używać do oglądzin aktywnego światłowodu.

Kamera światłowodowa wyposażona jest w różne końcówki dopasowane do typu złącza: złącza polerowane kątowo (APC) lub złącza polerowane płasko (PC).

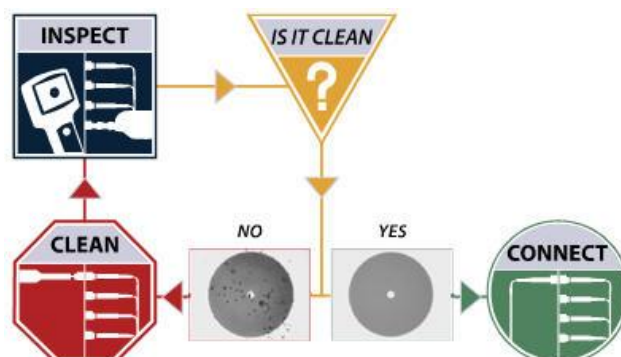
Aby usunąć subiektywizm z kontroli złączy i zapewnić wspólny poziom akceptacji wśród dostawców i instalatorów, można stosować kamerę światłowodową w połączeniu ze zautomatyzowanym oprogramowaniem analitycznym. Jak wynika z rys. 146, zautomatyzowane oprogramowanie analityczne mierzy wielkość i położenie wszystkich wad obecnych na ferruli oraz podaje, czy złącze spełnia warunki określonych norm IEC.



Rys. 146. Zautomatyzowane oprogramowanie analityczne do złączy światłowodowych

### 11.1.6 Instrukcja kontroli

Kontrola wizualna złącza światłowodowego jest jedynym sposobem ustalenia czystości złącz przed ich użyciem. Kamera światłowodowa powiększa obraz powierzchni stykowej złącza do wyświetlenia na laptopie lub przenośnym wyświetlaczu, w zależności od użytego produktu.



#### KONTROLA

Wybierz odpowiednią końcówkę do kontrolowanego złącza/adaptera. Obejrzyj obie powierzchnie stykowe złącza (patchcord, gniazdo, panel) za pomocą mikroskopu.

#### CZY JEST CZYSTE?

#### WYCZYŚCIĆ

Nie. Podczas kontroli wykryto wady na powierzchni stykowej; wyczyścić złącze odpowiednim narzędziem do czyszczenia światłowodów.

#### PODŁĄCZYĆ

Tak. Jeżeli nieusuwalne, nieliniowe elementy i zarysowania są do przyjęcia zgodnie z kryteriami i normami przyjętymi przez operatora, powierzchnie stykowe światłowodów można połączyć.

### 11.1.7 Narzędzia stosowane do inspekcji

Istnieją dwa sposoby inspekcji powierzchni stykowej światłowodu. Jeżeli dostępny jest zestaw kablowy, włożyć ferrulę do mikroskopu w celu przeprowadzenia kontroli (kontrola patchcordu). Jeżeli złącze znajduje się w adapterze na urządzeniu lub panelu krosowym, włożyć kamerę inspekcyjną do otwartego końca adaptera i obejrzeć złącze od środka (kontrola gniazda lub przejściówki).

#### 11.1.7.1 Kontrola patchcordu

- Dobrać odpowiednią końcówkę pasującą do typu kontrolowanego złącza i podłączyć do mikroskopu.
- Wprowadzić złącze do końcówki i ustawić ostrość do oględzin.  
(Ostatnia linia na rysunku: światłowod jednomodowy)



### 11.1.7.2 Kontrola złącza w gnieździe/przejściówce

- Dobrać odpowiednią końcówkę pasującą do typu kontrolowanego złącza i podłączyć do mikroskopu.
- Wprowadzić mikroskop do gniazda i ustawić ostrość do oględzin.  
(Ostatnia linia na rysunku: światłowód jednomodowy)



### 11.1.8 Czyściki i narzędzia

#### 11.1.8.1 Czyszczenie na sucho

Dostępne są zwykle czyściki do czyszczenia na sucho, w tym szereg czyścików bezstrzępkowych. Kategoria ta obejmuje również specjalne kasety i bębny do czyszczenia połączeń światłowodowych, np. wkłady Cletop.

OSTRZEŻENIE! WYJĘTE Z OPAKOWANIA  
CZYŚCIKI MOGĄ ZOSTAĆ ŁATWO

Materiały czyszczące należy chronić przed zanieczyszczeniem. Otwierać tuż przed użyciem.

Czyściki powinny być stosowane ręcznie lub przymocowane do miękkiej powierzchni lub odpornej podkładki. Nie należy stosować podkładek twardych, ponieważ mogą one uszkodzić światłowód. Podczas czyszczenia ręcznego nie należy dotykać powierzchni czyszczących palcami, ponieważ może to spowodować zanieczyszczenie tłuszczem.



*Rys. 147. Przykłady czyścików suchych i narzędzi do czyszczenia połączeń światłowodowych*



*Rys. 148. Przykładowy płyn do czyszczenia i ściěrki*

#### 11.1.8.2 Czyszczenie na mokro

Aby zapewnić jednoczesne oddziaływanie chemiczne i mechaniczne podczas czyszczenia powierzchni stykowej światłowodu, stosuje się płyny czyszczące lub rozpuszczalniki w połączeniu



z czyścikami/ścierkami. Dostępne są również wcześniej nasączone czyściki w szczelnych saszetkach, np. wymazówki medyczne IPA. Uwaga: pozostałości niektórych płynów czyszczących, szczególnie IPA, mogą być trudne do usunięcia.

- Płyn czyszczący jest skuteczny tylko w połączeniu z mechanicznym oddziaływaniem ścierki/czyścika.
- Rozpuszczalnik musi szybko schnąć.
- Nie należy całkowicie nasączać, ponieważ skutkuje to zamoczeniem powierzchni stykowej. Ścierkę/czyścik należy lekko nawilżyć.
- Ferrulę należy niezwłocznie oczyścić czystą suchą ścierką/czyścikiem.
- Nie zostawiać rozpuszczalnika na ściankach bocznych ferruli, ponieważ przeniesie się on na osłonę justującą podczas podłączania.
- Czyściki/ścierki powinny być stosowane ręcznie lub na miękkiej powierzchni lub odpornej podkładce.
- Stosowanie podkładek twardych może doprowadzić do uszkodzenia światłowodu.

#### 11.1.8.3 Narzędzia do czyszczenia złączy gniazdowych/przejsiówek

Nie wszystkie złącza da się łatwo wyjąć z gniazda/przejsiówki, dlatego są one mniej dostępne do czyszczenia. Kategoria ta obejmuje interfejs ferrulowy (lub końcówki światłowodów) oraz soczewki z kontaktem fizycznym w transceiverze optycznym; nie obejmuje ona jednak niekontaktowych elementów soczewek wewnątrz tych urządzeń.

Czyściki i przyrządy do czyszczenia gniazd są skonstruowane w taki sposób, aby dotrzeć do tulei justujących i innych wgłębień, a następnie do powierzchni stykowej lub soczewki; pomagają też w usuwaniu odłamków. Narzędzia te umożliwiają czyszczenie powierzchni stykowych lub soczewek na miejscu, wewnątrz adaptera lub bez wyjmowania gniazda złączowego. Podczas czyszczenia transceiverów lub gniazd wtykowych, przed czyszczeniem należy zidentyfikować zawartość portu. Podczas czyszczenia płaskich soczewek transceiverów należy uważać, aby ich nie uszkodzić.



*Rys. 149. Przykłady narzędzi do czyszczenia gniazd/przejsiówek*

Zalecenia dotyczące manipulowania kablami światłowodowymi:

- Podczas testowania panelu krosowego odkryty powinien być tylko port odpowiadający testowanemu światłowodowi – nakładki ochronne powinny być zakładane natychmiast po zakończeniu testu.
- Wyjęte zatyczki należy przechowywać w plastikowej torebce.
- Żywotność złącza ocenia się zazwyczaj na 500 połączeń.
- Przewody testowe stosowane w połączeniu z przyrządami testowymi należy wymienić po maksymalnie 500 połączeniach (zob. EIA-455-21A).
- Jeżeli stosowany jest kabel rozruchowy do pomiarów reflektometrycznych, nie należy stosować przewodu testowego pomiędzy reflektometrem a kablem rozruchowym albo pomiędzy kablem rozruchowym a panelem krosowym. Kable rozruchowe powinny zostać wymienione lub oddane producentowi do ponownego polerowania po 500 połączeniach.



- Nie można dopuścić do kontaktu niepodłączonych złączy z żadnymi powierzchniami. Nie należy nigdy dotykać ferruli złączowych w celach innych niż czyszczenie.
- Każde złącze należy wyczyścić; po czyszczeniu i przed połączeniem należy skontrolować za pomocą sondy inspekcyjnej, a najlepiej kamery inspekcyjnej.
- Należy oczyścić i skontrolować złącza urządzeń testowych (najlepiej za pomocą kamery inspekcyjnej) każdorazowo po użyciu przyrządu.

## 11.2 Testowanie sieci FTTH w trakcie budowy

Podczas budowy sieci przeprowadza się pewne testy w instalacji zewnętrznej. Kiedy prowadzone są nowe światłowody, trzeba wykonać spoiny i przeprowadzić na nich pomiary reflektometryczne. Aby uzyskać dokładne pomiary, należy przeprowadzać pomiary reflektometryczne w obu kierunkach.

Na potrzeby badań odbiorczych istotne jest zbadanie wszystkich odcinków konstrukcji. Istnieje kilka metod badania, z których część przeprowadzono w tym opracowaniu. Każda z nich ma pewne zalety i wady. Wybór metody zależy od napotykanym ograniczeń: kosztów robocizny, budżetu mocy optycznej, czasu przeznaczonego na testy w połączeniu z terminem aktywacji usługi, maksymalną dopuszczalną niepewnością pomiaru itd.

Dodatkowym czynnikiem, który należy wziąć pod uwagę podczas ustalania zakresu testów jest poziom kwalifikacji techników. Zatrudnianie niewykwalifikowanych techników światłowodowych w fazie budowy będzie bardzo kosztowne, jeżeli trzeba będzie naprawiać błędy przed oddaniem lub po oddaniu usługi do eksploatacji.

### 11.2.1 Metoda 1: Użycie przyrządów do pomiaru strat mocy optycznej

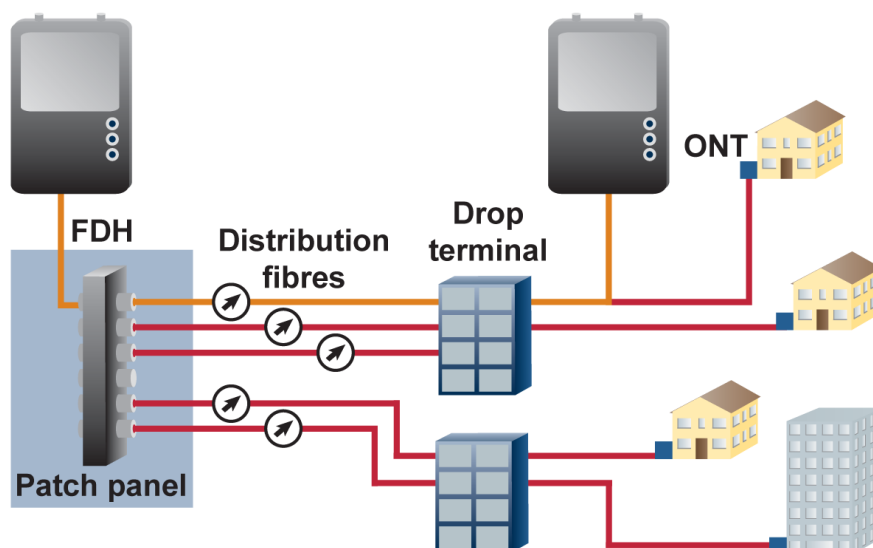
Pierwsza metoda obejmuje zastosowanie zestawu do pomiaru strat mocy optycznej (OLTS) składającego się z dwóch zestawów przyrządów pomiarowych, które wymieniają ze sobą dane z pomiarów tłumienności wtrąceniowej (IL) i tłumienności odbiciowej (ORL). Przed pomiarem IL przyrządy powinny być skalibrowane.



*Rys. 150. Przyrządy pomiarowe powinny być przed pomiarem skalibrowane*

Następnie ustawia się czułość ORL poprzez skalibrowanie minimalnej OLR, którą urządzenie może zmierzyć. Ograniczenie pochodzi od najsłabszego elementu zestawu pomiarowego, którym najprawdopodobniej jest złącze pomiędzy jednostkami a referencyjnym kablem testowym. Należy przestrzegać instrukcji producenta dotyczących ustawiania czułości ORL na obu przyrządach i kalibrowania źródła i miernika mocy.

Następnie można przeprowadzić pomiary na całej sieci albo na pojedynczym zainstalowanym odcinku, np. pomiędzy FCP a terminalem przyłączeniowym. Celem pomiaru jest identyfikacja światłowodów transponowanych oraz pomiar IL i ORL w celu zagwarantowania, że budżet mocy optycznej zostanie dotrzymany.



Rys. 151. Pomiar IL i ORL światłowodu dystrybucyjnego za pomocą dwóch OLTS

Tablica wyników IL i ORL (Pr = lokal, CO = centrala):

Światłowód	$\lambda$ (nm)	Strata (Pr → CO)	Strata (CO → Pr)	Średnia	ORL (Pr → CO)	ORL (CO → Pr)
001	1310					
	1490					
	1550					
002	1310					
	1490					
	1550					

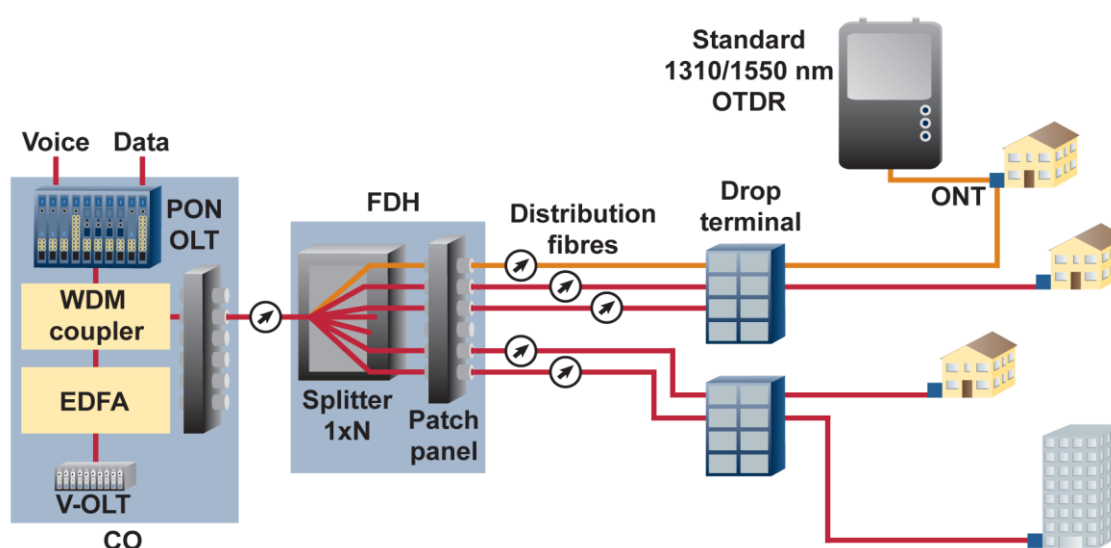
W tabeli poniżej przedstawiono oczekiwane wartości ORL sieci:

Długość (w metrach)	1310nm (dB)	1490nm (dB)	1550nm (dB)
50	53	56	57
300	46	50	50
500	44	47	48
1000	41	45	46

Wartości te dotyczą tylko dwóch połączeń. Sieci FTTH często składają się z wielu punktów połączeń, a ponieważ wartość refleksyjności jest bardzo czuła na pył i zarysowania, na wartość tę znaczny wpływ mogą mieć złe połączenia. Na przykład jedno złącze może wygenerować ORL na poziomie 40 dB, co przekracza oczekiwaną wartość dla całej sieci. W przypadku sieci punkt-multipunkt, wpływ ORL każdego światłowodu jest słumiony o 30 do 32 dB ze względu za straty dwukierunkowe sprzęgacza.

Zalety metody 1: OLTS	Wady metody 1: OLTS
Dokładne pomiary IL i ORL	Potrzebnych jest dwóch techników (jednak w przypadku sieci punkt-multipunt można wykorzystać pojedynczy OLTS w pobliżu OLT dla wszystkich abonentów w tej samej sieci)
Wartości pomiarów dwukierunkowych IL i ORL	Potrzebna komunikacja między technikami (podczas przełączania włókien)
Możliwość zbadania wszystkich światłowodów dystrybucyjnych	Sieć punkt-multipunt wymaga jednego technika do przechodzenia od jednego terminala przyłączeniowego do drugiego
Identyfikacja makrozgięć podczas pomiarów dokonywana jest przy 1550 i 1310 nm lub z użyciem innej kombinacji długości fali, w tym 1625 nm	W razie wykrycia światłowodu przeciętego lub makrozgięcia, do zlokalizowania wady potrzebny jest reflektometr
Identyfikacja światłowodu transponowanego w sieciach punkt-punkt	Niemożliwe jest wykrycie światłowodu transponowanego w sieci punkt-multipunt
Szybkość pomiarów	

### 11.2.2 Metoda 2: Reflektometria



Rys. 152. Pomiar za pomocą reflektometru

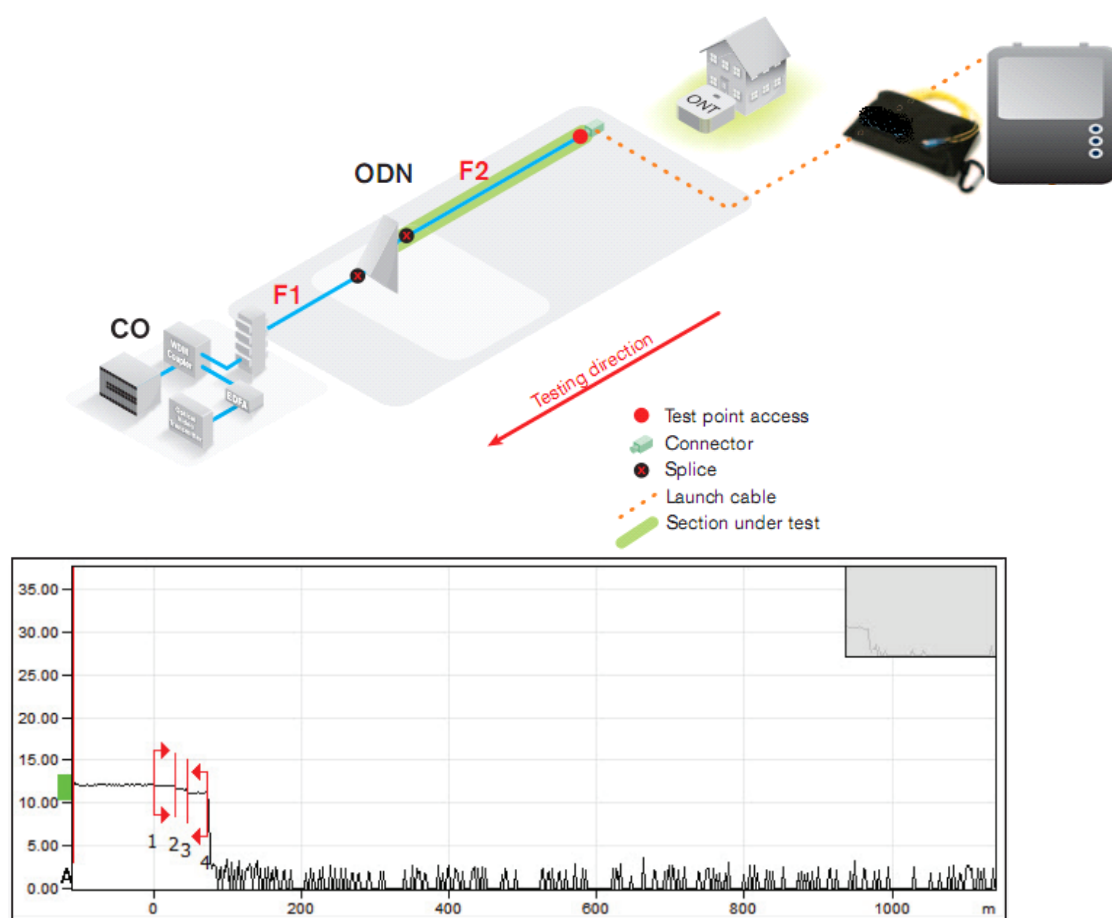
Ta metoda polega na użyciu reflektometru, urządzenia do pomiaru rozproszenia wstecznego (OTDR). W odróżnieniu od OLTS, reflektometr jest w stanie wykryć położenie poszczególnych komponentów w sieci. OTDR ujawnia straty na spójniach, straty na złączach i refleksję, jak również łączną tłumienność i ORL.

Można przeprowadzić pomiary na wszystkich światłowodach pomiędzy OLT a pierwszym sprzęgaczem (strona transportowa) w celu ustalenia strat na poszczególnych spójniach i zlokalizowania makrozgięć. Pomiary można przeprowadzić w obu kierunkach. Potrzebna będzie

obróbka wyników w celu wyliczenia rzeczywistych strat na każdym spojeniu (uśrednionych pomiędzy dwoma kierunkami).

Inżynier może zmierzyć stratę na sprzęgaczu i całkowite straty na linii, jak również określić, czy nieoczekiwane zdarzenie fizyczne miało miejsce przed czy za sprzęgaczem. Badanie konstrukcji może znacznie zmniejszyć liczbę problemów pojawiających się po aktywacji łącza abonenckiego poprzez zaświadczenie o integralności całej linii.

Zalecana technika OTDR polega na rozpoczęciu od wąskiego impulsu w celu scharakteryzowania pierwszego elementu łącza (kabla przyłączeniowego) do sprzęgacza. Wąski impuls zapewnia wysoką rozdzielczość pozwalającą sprawdzić, czy złącze abonenckie, złącze/spoina w punkcie rozgałęzienia i inne blisko położone zdarzenia na trasie światłowodu przyłączeniowego spełniają określone specyfikacje i czy wszystkie spoiny znajdują się w akceptowalnych granicach.

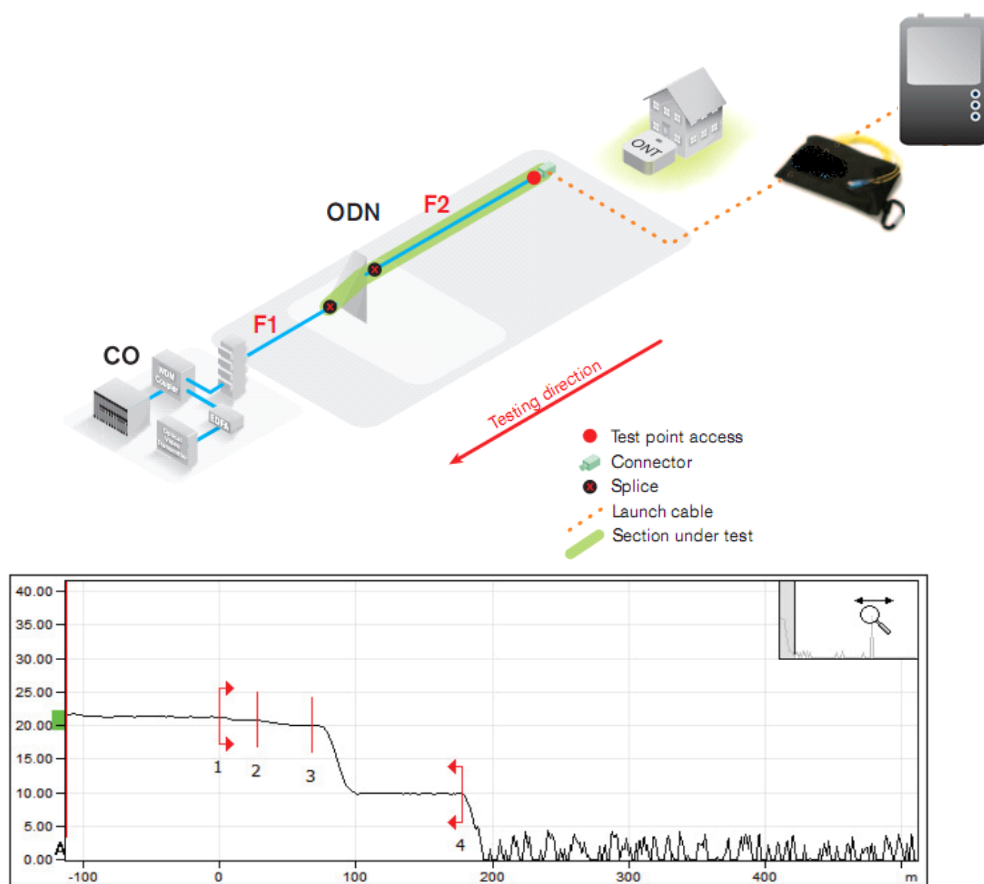


**Rys. 153. Badanie reflektometryczne z użyciem wąskiego impulsu**

Z użyciem impulsu o szerokości 5 do 10 ns doświadczony technik weryfikuje pierwsze złącze i identyfikuje wszystkie elementy łącza aż do sprzęgacza; użycie krótszego impulsu zapewnia większą rozdzielczość i łatwe wykrycie problematycznych złącz i spoin.

Następnie dokonuje się drugiego pomiaru za pomocą impulsu o średniej szerokości; dzięki temu uzyskuje się większy zakres dynamiczny przy utrzymaniu wystarczającej rozdzielczości.

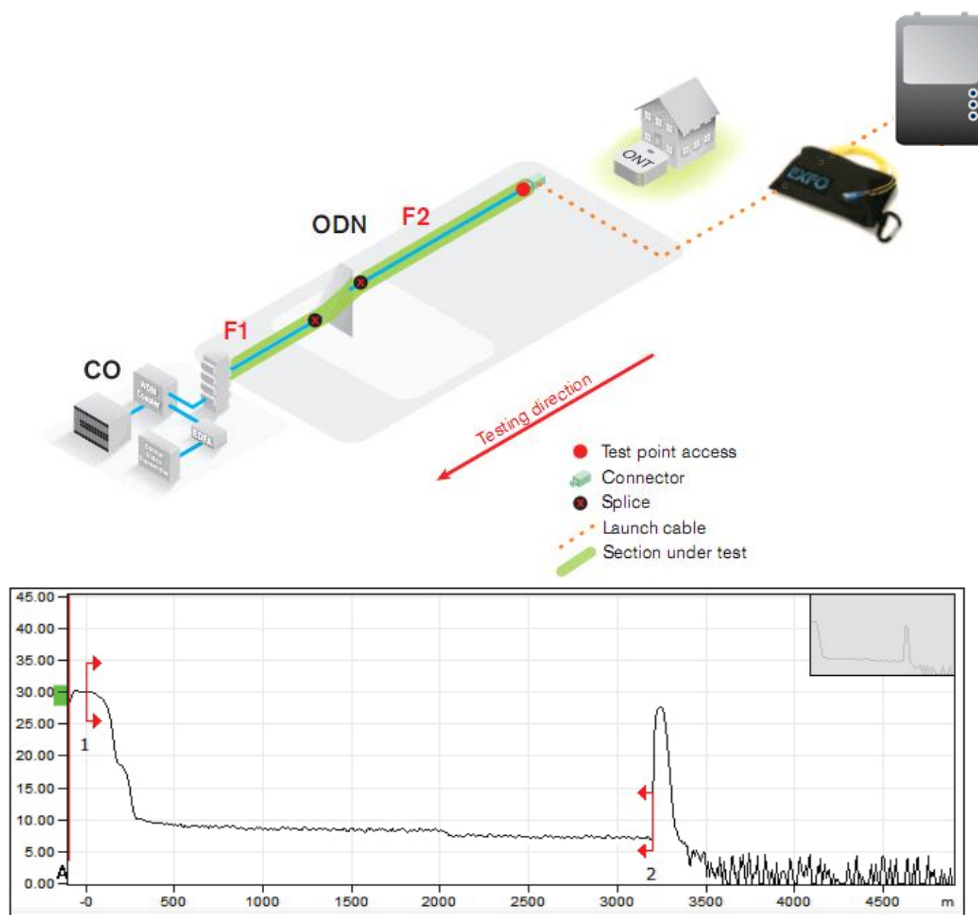
Technik mierzy stratę na sprzęgaczu w celu zweryfikowania, czy znajduje się ona w akceptowalnych granicach.



**Rys. 154. Badanie reflektometryczne z użyciem średniego impulsu**

Użycie impulsu dłuższego niż w pierwszym przebiegu pozwala doświadczonemu technikowi ocenić obszar sprzęgacza i ewentualnie odcinka pomiędzy dwoma sprzęgaczami. W zależności od wyników, może zaistnieć potrzeba powtórzenia drugiego etapu w celu znalezienia optymalnego impulsu do pomiaru strat na sprzęgaczu i/lub strat całkowitych.

Na końcu technik przeprowadza test z impulsem o szerokości z zakresem dynamicznym wystarczającym do oceny strat całkowitych. Dłuższy impuls zapewnia wymagany zakres dynamiczny, ale oferuje niższą rozdzielczość; może to być również związane z większą strefą martwą, która nie pozwala zidentyfikować zdarzeń położonych blisko siebie w miejscu wprowadzania sygnału i prawdopodobnie na pierwszym stopniu sprzęgacza.



Rys. 155. Badanie OTDR z użyciem szerokiego impulsu

Zalety metody 2: OTDR	Wady metody 2: OTDR
Pomiar zarówno IL, jak i ORL.	Podczas testowania za sprzęgaczem po stronie ONT, ORL nie jest mierzona we właściwym kierunku (odwrotnym do sygnału wideo).
Możliwość przetestowania każdego światłowodu dystrybucyjnego.	Technik musi przechodzić od jednego terminala przyłączeniowego do drugiego.
Identyfikacja makrozgięć podczas pomiarów dokonywana jest przy 1550 i 1310 nm lub z użyciem innej kombinacji długości fali, w tym 1625 nm.	Aby sprawdzić całe łącze, może być potrzebnych kilka testów.
W razie przecięcia lub makrozgięcia światłowodu, wadę tę można zlokalizować.	Do interpretacji wyników potrzebny jest doświadczony technik.
Potrzebny tylko jeden technik.	
Szybkość pomiarów	

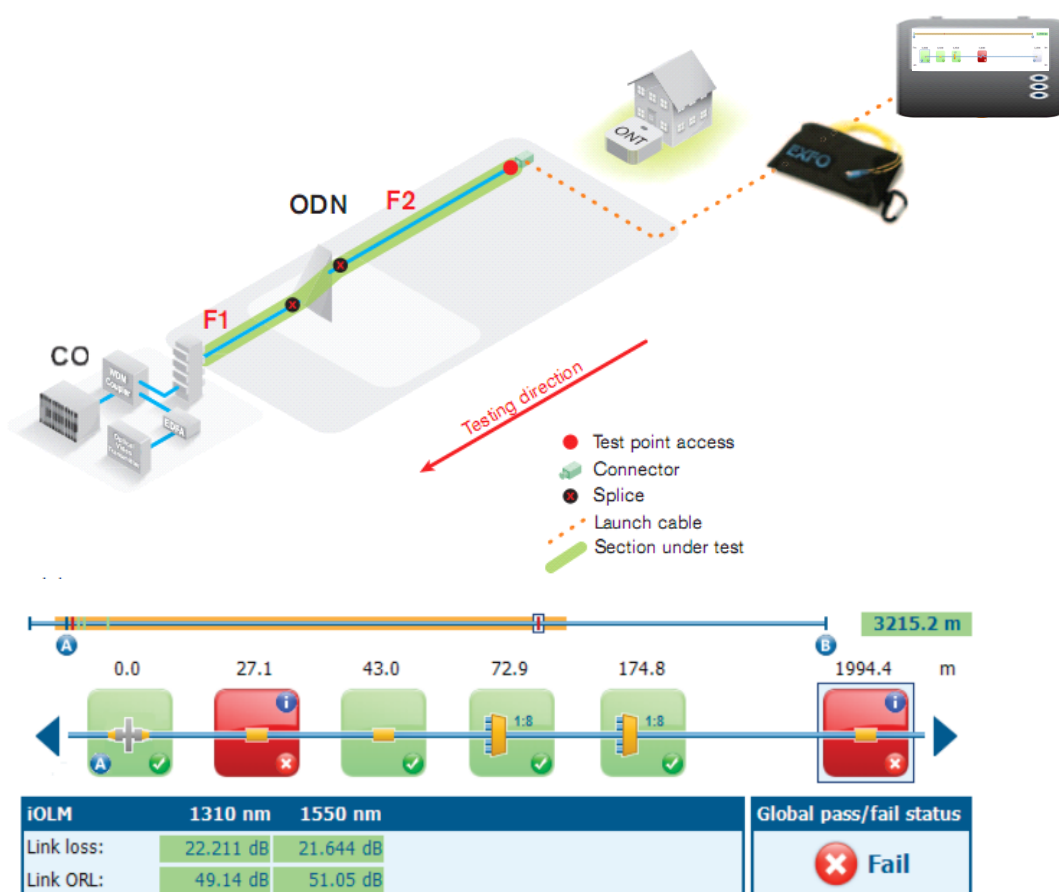
Metoda 2 polega na pobraniu trzech do czterech pomiarów OTDR, które mogą wymagać konsolidacji. Do ustalenia zestawu odpowiednich szerokości impulsu oraz do analizy wyników OTDR potrzebne są dobre kwalifikacje w zakresie reflektometrii. Dość dużo czasu poświęca się



na porównywanie wyników przy różnych długościach impulsu w celu ustalenia, która z nich zapewnia najlepsze pomiary dla poszczególnych odcinków i zdarzeń. Ponadto, jeżeli na końcu trzeba sporządzić protokół, trzeba poświęcić dodatkowy czas na wyodrębnienie informacji z różnych przebiegów pomiarowych i wprowadzenia danych do wzoru protokołu. Cały proces może zająć od 5 do 10 minut, w zależności od złożoności sieci i sprawności technika.

Aby skrócić czas testowania i pomóc mniej doświadczonym technikom w przeprowadzaniu testów, niektórzy producenci OTDR wprowadzili nowe narzędzia testowania, które znacznie upraszczają proces akwizycji danych i interpretację pomiarów. Z użyciem tej samej technologii, która stosowana jest w OTDR, narzędzia te automatyzują proces pomiaru poprzez wykonywanie badania z użyciem kilku szerokości impulsu na wszystkich badanych długościach fali.

Po zakończeniu pomiarów narzędzia scalają wszystkie uzyskane informacje w jednym kompleksowym widoku opartym na ikonach. W odróżnieniu od tradycyjnej reflektometrii, operator nie musi ręcznie porównywać wyników przy różnych impulsach. Narzędzia te przedstawiają dane o stratach na łączu i ORL. Oprócz identyfikacji wszystkich elementów sieci, takich jak spójnienia, sprzęgacze i złącza, narzędzia te przedstawiają również dane o stratach i refleksji zidentyfikowanych elementów. Niektóre narzędzia oferują diagnozę w razie zakończenia testu określonego elementu lub całego łącza wynikiem negatywnym, aby pomóc operatorowi rozwiązać problem. W zależności od złożoności sieci, cały proces zajmuje 30 do 60 sekund.



Rys. 156. OTDR oparty na ikonach

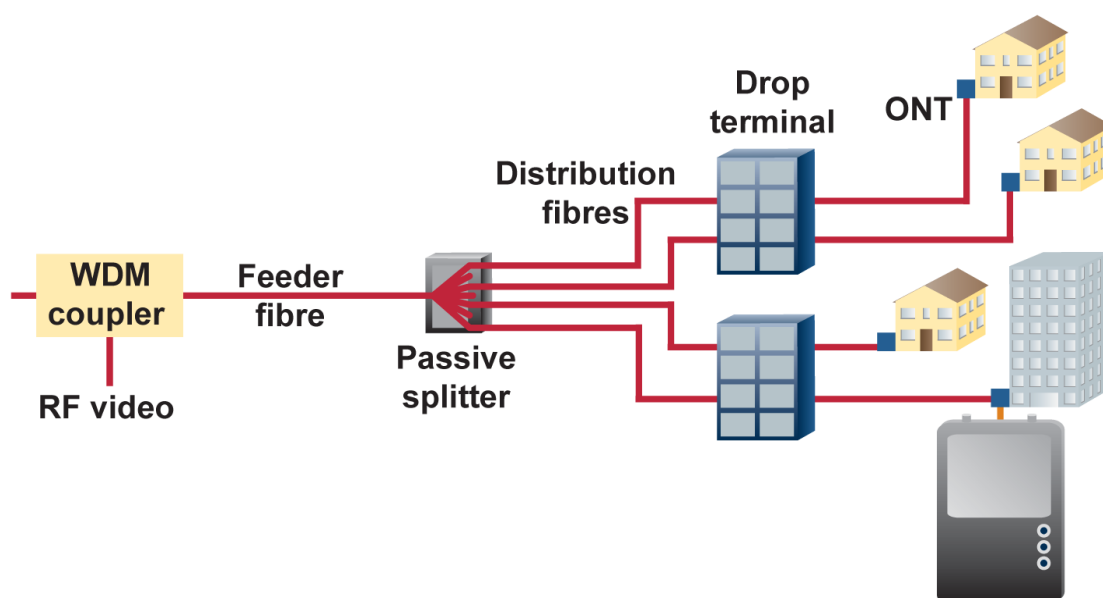
Characteristics	OTDR	icon based OTDR
Number of technicians required	1	1
Technical expertise needed to perform test	Medium to high	Low
Number of acquisitions required to characterize a PON network	An average of three depending on link complexity; each acquisition estimated at an average of 45 s/wavelength	1 (average of 45 seconds; multiple acquisition are done automatically)
Average test time per fiber	Typically 6-15 minutes depending on link complexity and technician's skills	≈ 45 seconds to 1 minute
Physical mapping of the link	Yes	Yes
Graphical representation of the link	Traditionally graphical representation	view with icons
Provides insertion loss	Yes	Yes
Provides optical return loss	Yes	Yes
Provides length of the fiber	Yes	Yes
Live-fiber testing port	Yes	Yes
In-line power meter	Yes	Yes
Automatic diagnostics	Macrobend detection and pass/fail status	Yes, global and individual pass/fail status plus diagnosis information for each failure
Test from premises (ONT) to CO (OLT)	Yes	Yes
Test from CO (OLT) to premises (ONT)	No	No
Troubleshooting	Yes	Yes
Live testing	Yes	Yes
Offers easy transpose fiber detection	No	No

### 11.2.2.1 Aktywacja obsługi

Faza aktywacji obsługi może się wydawać na pierwszy rzut oka oczywista, ale zadania tego nie należy lekceważyć, ponieważ jest to moment, w którym zaczynają się doświadczenia abonenta. Schemat aktywacji obsługi może być różny w zależności od topologii sieci światłowodowej. Panuje tendencja do stosowania wcześniej zaprojektowanych gotowych do użycia komponentów w wielu punktach połączenia zamiast stosowania spojeń wszędzie, gdzie jest to możliwe, szczególnie podczas realizacji w domach wielorodzinnych.

Jeśli chodzi o obsługę danych związanych testami i pomiarami w PON, aktywacja instalacji przynosi ze sobą dwa nowe wymiary:

- wyniki należy powiązać z abonentami lub ONU zamiast z włóknami.
- może być potrzebna więcej niż jedna lokalizacja testów, zazwyczaj dwie lub trzy.

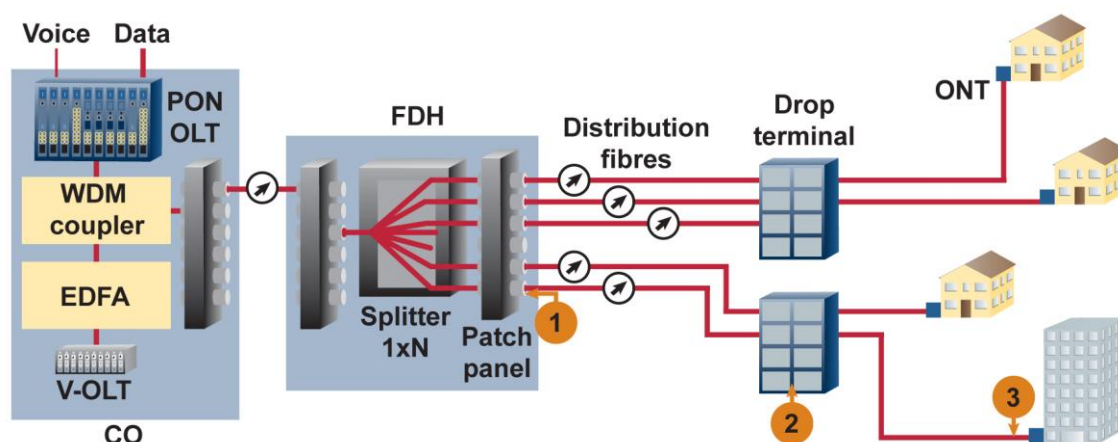


Rys. 157. Testy aktywacyjne z użyciem miernika mocy PON

Ze względu na to, że faza aktywacji obsługi jest często wykonywana przez podwykonawców, istotna jest sprawozdawczość i ochrona danych, szczególnie w realizacjach PON, w których dla jednej aktywacji PON mogą być wygenerowane setki wyników. Podejmowanie właściwych działań w bieżącej praktyce zapewnia płynny przebieg prac i wysoką produktywność.

#### 11.2.2.2 Wiele lokalizacji testowych

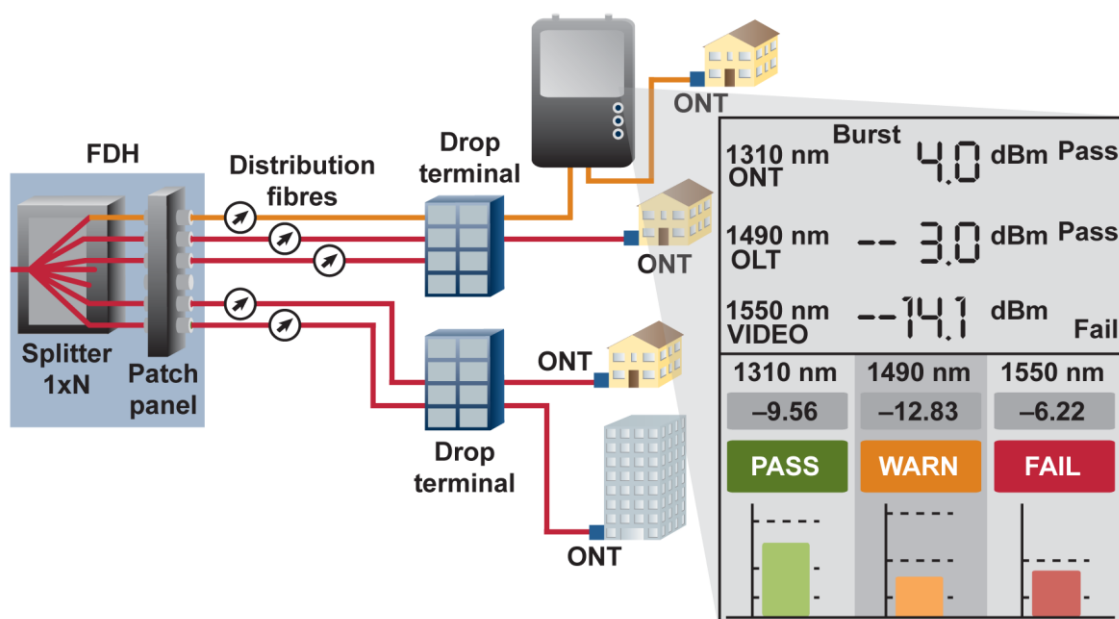
Weryfikacja poziomów optycznych w różnych miejscach trasy światłowodowej ułatwia inżynierom rozruchu identyfikację problemów i/lub wadliwych komponentów przed aktywacją obsługi abonenta. Ponieważ problemy w sieciach FTTH są często wywoływane przez brudne lub uszkodzone złącza, kontrola komponentów znacznie redukuje potrzebę diagnostyki podczas eksploatacji, ponieważ poziomy mocy weryfikowane są dla każdego odcinka sieci. Zdecydowanie zaleca się również przeprowadzanie kontroli każdego punktu połączenia za pomocą sondy inspekcyjnej przed każdym pomiarem mocy.



Rys. 158. Punkt testowania w PON

#### 11.2.2.3 Punkty testowania

1. Przeprowadzenie certyfikacji poziomu mocy na sprzęgaczu, a konkretnie na jego wyjściu, umożliwia użytkownikowi weryfikację, czy rozwidlenie sprzęgacza działa prawidłowo. Ta prosta ocena umożliwia sprawdzenie, czy wszystkie komponenty sieci, od centrali (w tym światłowodu transportowego) po wyjście sprzęgacza, są w dobrym stanie. FDH obejmuje zazwyczaj złącza SC/APC lub LC/APC, ale może także obejmować spójnia zgrzewane.
2. Dzięki przeprowadzeniu certyfikacji poziomu mocy na terminalu przyłączeniowym inżynierowie są w stanie scharakteryzować porty światłowodu dystrybucyjnego i terminala przyłączeniowego. Na terminalu przyłączeniowym znajduje się zwykle kasećka spójna, w której może dojść do makrozgieć.
3. Aktywizacja obsługi światłowodu łączącego terminale przyłączeniowe z lokalem abonenta jest zazwyczaj przeprowadzana w czasie instalacji. Aby zapewnić rzetelną obsługę abonenta, sieć i ONU abonent muszą spełniać warunki specyfikacji. Najlepszym sposobem, aby to zagwarantować jest przeprowadzenie połączenia przelotowego, które pozwoli w pełni scharakteryzować wszystkie okna eksploatacyjne (do i od abonenta) w PON. Można to osiągnąć wyłącznie w fazie aktywacji obsługi za pomocą dwuportowego miernika mocy PON z połączeniem przelotowym; zwykły miernik mocy jest w stanie potwierdzić jedynie sygnały od centrali do abonenta.



Rys. 159. Testowanie przelotowe wszystkich okien transmisyjnych

## 11.3 Raporty z aktywacji usługi

W biurze inżynierowie będą musieli wygenerować raporty, aby mieć posiadać dane odniesienia w postaci wyników pomiarów z fazy aktywacji usługi. Wyniki te mogą być następnie użyte do wykrycia problemów takich jak degradacja mocy. Operatorzy mający do czynienia z abonentami będą również mogli wykorzystać te informacje do ewidencjonowania aktywowanych abonentów.

Raport z aktywacji usługi zawiera zazwyczaj następujące elementy:

- imię i nazwisko/nazwa klienta i jego numer telefonu
- poziom mocy dla każdego okna transmisyjnego i każdej lokalizacji
- data i godzina wykonania każdego pomiaru
- status pozytywny/ostrzeżenia/negatywny zgodnie ze standardami takimi jak BPON, GPON czy EPON
- progi użyte do przeprowadzenia oceny „pozytywny/ostrzeżenie/negatywny”

OLT ID: 02 Center <--> ONT ID: 22 [JOB ID: Roger]				PASS
Location	Wavelength (nm)	Power (dBm)	Status	Date/Time (MM/DD/YY HH:MM:SS)
DROP	1310	0.9	PASS	10/01/09 13:45:28
	1490	-7.1	PASS	
	1550	3.1	PASS	
ONT	1310	1.2	PASS	10/01/09 13:54:32
	1490	-7.4	PASS	
	1550	3.4	PASS	
Comment:	ONT installed on the driveway side of the home close to side entry.			

Line activation report

PON  
10/01/09  
10/01/09 13:45:28  
EPOCH  
10/01/09 13:45:28  
PON ID: 02C  
10/01/09

Measurements  
OLT ID: 02 Center <--> ONT ID: 22  
[JOB ID: Roger]

Wavelength (nm)	Power (dBm)	Status	Date/Time (MM/DD/YY HH:MM:SS)
1310	0.9	PASS	10/01/09 13:45:28
1490	-7.1	PASS	
1550	3.1	PASS	
1310	1.2	PASS	10/01/09 13:54:32
1490	-7.4	PASS	
1550	3.4	PASS	

ONT installed on the driveway side of the home close to side entry.

APPLIED THRESHOLDS

Location	Wavelength (nm)	Pass (dBm)	Warning (dBm)	Fail (dBm)
DROP	1310	-8.0	-10.5	-12.0
	1490	-12.0	-13.5	-15.0
	1550	-12.0	-13.5	-15.0
ONT	1310	-8.0	-10.5	-12.0
	1490	-12.0	-13.5	-15.0
	1550	-12.0	-13.5	-15.0

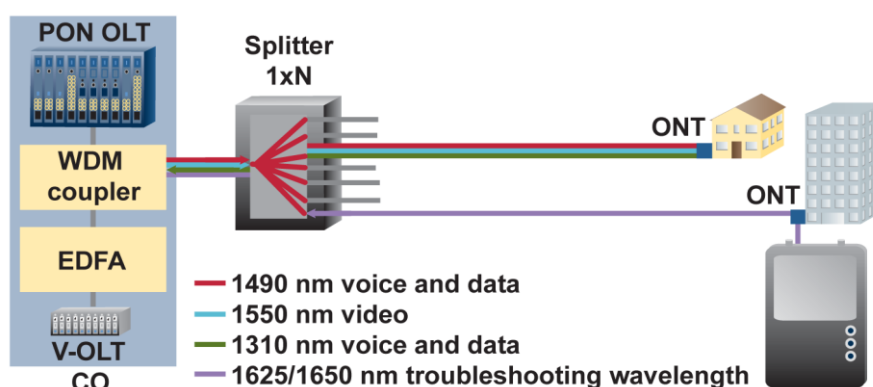
*Rys. 160. Raport z aktywacji usługi*

Po otrzymaniu od instalatora raportu z aktywizacji usługi operator może aktywować i zatwierdzić usługę.

# 12 Diagnostyka sieci FTTH

Diagnostykę sieci (w sytuacji awarii sieci punkt-punkt lub całej sieci PON) można przeprowadzić z użyciem miernika mocy lub OTDR.

Aktywna sieć PON wymaga użycia miernika mocy PON w trybie przelotowym, aby sprawdzić, czy sygnał biegnący do i od abonenta znajduje się w granicach tolerancji. Aby zidentyfikować przerwane światłowody, makrozgięcia, wadliwe spójnienia czy złącza należy użyć z lokalizacji abonenta reflektometr z aktywnym portem testowanym (portem filtrowanym).



Rys. 161. Diagnostyka sieci PON

Sprawdzić, czy zmierzona długość światłowodu odpowiada odcinkowi pomiędzy wyjściem kabla przyłączeniowego a lokalizacją sprzęgacza. Jeżeli tak nie jest, wskazuje to na istnienie problemu (przerwania lub makrozgięcia) w danym miejscu.

Jeżeli pomiar długości jest prawidłowy, należy sprawdzić każdy punkt spójnienia w celu ustalenia, czy nie przekracza on normalnych wartości. Każdy punkt wykazujący nadmierną tłumienność wskazuje na istnienie makrozgięcia, zgięcia światłowodu lub źle wykonanego spójnienia.

Światłowód kończy bieg u abonenta na ONU stanowiącym punkt styku do obsługi sygnału wizyjnego, analogowego i cyfrowego, przez kabel koncentryczny; obrazu, VoIP i danych przez Ethernet; jak również usług telefonicznych na skrętce. Usługodawcy mogą chcieć udostępniać obraz cyfrowy za pomocą kwadraturowej modulacji amplitudowo-fazowej (QAM) lub IPTV, lub ich kombinacji.

W architekturze abonenckiej obejmującej zarówno QAM dla obrazu transmitowanego, jak i IPTV dla obrazu na żądanie, obraz IPTV dzieli kabel koncentryczny z obrazem cyfrowym QAM i jest zazwyczaj udostępniany z użyciem standardu Multimedia over Coax Alliance (MoCA). Do przesyłu IPTV i danych może być również stosowany protokół HPNAv3, ponieważ może on pracować na istniejącej skrętce telefonicznej lub kablu koncentrycznym.

## 12.1 Problemy z okablowaniem w domu

Oprócz tłumienności, latencji i jitteru generowanych w sieci światłowodowej, szereg innych problemów w lokalu abonenta może się złożyć na pogorszenie doświadczeń abonenta dotyczących jakości. Wśród nich są problemy z liniami telefonicznymi, złą konfiguracją



okablowania Ethernet lub wadliwym działaniem końcówek, słaba integralność okablowania koncentrycznego i szumy.

### **12.1.1 Problemy z linią telefoniczną**

Linie telefoniczne (skrętka) w lokalu często przenoszą zarówno usługi głosowe, jak i dane z użyciem standardów HomePNA (HPNA). ONU emuluje sieć POTS, zapewniając wszystkie napięcia baterii, dzwonki i dźwięki wybierania tonowego uprzednio dostarczane przez centralę. W związku z tym diagnostyka problemów VoIP na okablowaniu telefonicznym jest bardzo podobna do diagnostyki w POTS.

Częste błędy wpływające na okablowanie domowe obejmują:

- przerwanie obwodu
- zwarcie
- skrzyżowanie przewodów
- pęknięcie przewodów

### **12.1.2 Identyfikacja problemów z okablowaniem Ethernet**

Wiele gospodarstw domowych jest obecnie wyposażona w okablowanie skrętkowe nadające się do obsługi danych w Ethernet. Bardzo istotna jest weryfikacja prawidłowości zakończeń. Między 75% and 85% czasu, jaki technicy obsługujący abonentów poświęcają na diagnostykę można przypisać nieprawidłowym zakończeniom. Najbardziej powszechne wady zakończeń można ustalić za pomocą weryfikatora okablowania.

Testy ciągłości obwodu obejmują:

- weryfikację połączeń wtykowych
- zdolność przewodu do przenoszenia sygnału
- ekranowanie
- napięcie na linii

Jest to podstawowy test łączności, a nie test obciążeniowy.

### **12.1.3 Lokalizacja i rozwiązywanie problemów z kablami koncentrycznymi**

Istniejące domowe sieci koncentryczne stawiają bardzo różnorodne wyzwania. Jakość i trasa przebiegu sieci jest rzadko znana, ponieważ została ona zbudowana przez firmę budowlaną, właściciela lub przez poprzedniego usługodawcę. Wysokiej jakości instalacja koncentryczna powinna zapewniać co najmniej 30 dB izolacji przed zakłóceniami pochodzącymi z otoczenia (odporność na zakłócenia).

Jednak sieci te często zawierają:

- rozgałęźniki
- zaciski
- przerwy
- kable w złym stanie technicznym
- końcówki bez złącz
- złe złącza
- wzmacniacze

Każdy z wymienionych elementów może prowadzić do problemów z siecią i jakością usług. Niezbędne do świadczenia niezawodnych usług jest właściwe przygotowanie, naprawa lub wymiana części sieci w celu spełnienia standardów usługodawcy *triple play*.

## 12.2 Podsumowanie oprzyrządowania do wykonywania testów optycznych

Poniżej przedstawiono listę oprzyrządowania do testów optycznych używanego w sieciach FTTH:

Przyrządy testowe	Funkcja	Zastosowanie
Zakres kontroli	Kontrola wzrokowa złącz z automatyczną analizą prawidłowe/nieprawidłowe zgodnie z normą IEC	Kontrola i diagnostyka zestawu złącz światłowodowych
VFL (wizualny lokalizator uszkodzeń)	Kontrola ciągłości do 5 km, identyfikacja wizualna złamań/zgięć światłowodów w rejonie panelu krosowego/węzła	Budowa i diagnostyka łącza światłowodowego w miejscach dostępności światłowodów
Zestaw do komunikacji	Umożliwia komunikację między inżynierami za pomocą połączenia kablowego	Kiedy dwóch inżynierów potrzebnych jest do przeprowadzenia testu kompleksowego
Źródło światła / miernik mocy lub przyrząd testowy do pomiaru strat dwukierunkowych	Mierzy tłumienność wtrąceniową łącza, tłumienność odbiciową i ciągłość	Budowa łącza światłowodowego, testy akceptacyjne i diagnostyka
Tylko miernik mocy	Mierzy moc wyjściową urządzeń	Aktywacja i diagnostyka urządzeń i łączy światłowodowych
Miernik mocy z klipsem	Ocenia moc optyczną w łączy	Diagnostyka urządzeń i światłowodów we wszystkich miejscach, w których dostępny jest światłowód, nawet gdy nie ma dostępu do złącz
Przypinane urządzenie do identyfikacji światłowodu	Identyfikacja i śledzenie ruchu w światłowodzie, można również ocenić moc na łączy	Diagnostyka urządzeń i światłowodów we wszystkich miejscach, w których dostępny jest światłowód, nawet gdy nie ma dostępu do złącz
Selektywny miernik mocy 1310/1490/1550 z trybem przelotowym	Mierzy poziom mocy na urządzeniach i łączach światłowodowych po podłączeniu OLT/ONT	Aktywacja i diagnostyka łączy i urządzeń światłowodowych (ONT/OLT)
Miernik ORL	Mierzy całkowitą optyczną tłumienność odbiciową	Budowa i diagnostyka łącza światłowodowego
OTDR	Mierzy charakterystykę łącza światłowodowego	Budowa łącza światłowodowego, akceptacja, diagnostyka

# 13 Przegląd normalizacji i terminologii FTTH

---

## 13.1 Wprowadzenie

Celem tego nowego rozdziału Kompendium FTTH jest przedstawienie przeglądu wysiłków normalizacyjnych w dziedzinie FTTH prowadzonych przez właściwe ciała normalizacyjne.

W użyciu jest bardzo duża liczba określeń i skrótów dotyczących FTTH, ponieważ szereg organizacji tworzy własne określenia i skróty. Skutek jest taki, że tracą one zdolność do sprawnej komunikacji. Dlatego też sporządzono kompleksowy zbiór określeń i skrótów, który będzie opublikowany w tworzonej przez IEC Electropedii<sup>1</sup> w celu wyposażenia różne podmioty zainteresowane w jednolity język techniczny i normy.

Nowe zastosowania pobudzają zapotrzebowanie na szerokość pasma przepustowego i w końcu światłowód zostanie doprowadzony nie tylko do domu, ale właściwie wprowadzony do jego wnętrza. Dyskutowanych jest wciąż szereg rozwiązań technicznych, jednak potrzebne są bardziej nowatorskie pomysły. Ponadto istnieje duża liczba starych instalacji, które mają bardzo różnorodne wymagania techniczne.

FTTH to branża wciąż stosunkowo młoda i wiele podmiotów aktywnych na tym rynku nie w pełni zdaje sobie sprawę z konsekwencji przesadzonej specyfikacji lub nawet zagrożeń związanych z działaniem bez odpowiednich specyfikacji. Istnieją również podmioty budujące małe sieci, które mogą mieć niewystarczającą wiedzę na temat normalizacji i stosowania odpowiednich rozwiązań.

Wytyczne normalizacyjne pomagają w definiowaniu architektur systemów, podstawowych funkcji i wymagań wobec produktów, zapewniając dobór odpowiednich rozwiązań, produktów i jakości sieci. Klarowna definicja minimalnych wymagań jakościowych co do sieci dostępowej ułatwi realizację i eksploatację niezawodnych sieci, szczególnie że rentowność i bieżąca eksploatacja jest w dużym stopniu zależna od ciągłości działania sieci telekomunikacyjnych. Minimalny poziom jakości powinien zostać zagwarantowany poprzez uwzględnienie normalizujących metod badania, z funkcjonalnymi specyfikacjami produktów, które obejmują minimalne wartości dla wszystkich właściwych parametrów produktów.

Dzięki normalizacji branża zapewni konkurencyjny rynek komponentów i podzespołów infrastruktury oraz będzie mogła świadczyć usługi kompatybilne ze znormalizowaną infrastrukturą obsługującą istniejące interfejsy.

Normalizacja powinna odzwierciedlać konsensus rynku i głos użytkowników. Zatwierdzane normy powinny być na tyle elastyczne, by dawać firmom opracowującym nowe produkty możliwość wdrożenia ich produktów i wprowadzenia do całego systemu nowatorskich rozwiązań.

Podczas realizacji sieci należy przestrzegać minimalnych zasad dobrej praktyki. Jest to szczególnie istotne np. podczas instalowania kabli, jak również w sprawach związanych z higieną

---

<sup>1</sup>Międzynarodowa Komisja Elektrotechniczna (IEC) jest światową organizacją normalizacyjną, do której należą członkowie krajowych komitetów elektrotechnicznych (IEC National Committees). Celem IEC jest promowanie współpracy międzynarodowej we wszystkich sprawach związanych z normalizacją w dziedzinie elektrotechniki i elektroniki. W tym celu IEC publikuje dokument International Standards oraz inne prace, w tym The Electropedia. Celem tych publikacji jest promowanie celów organizacji. Electropedia (zwana również „IEV Online”) jest najbardziej kompleksową internetową bazą danych terminologii elektrotechnicznej i elektronicznej, zawierającą ponad 20 000 terminów i ich definicje.

i bezpieczeństwem, jak bezpieczeństwo laserowe, szczególnie w sytuacji, kiedy światłowód wchodzi do domu.

Normy powinny wskazywać minimalne funkcje i parametry podsystemów oraz podstawowych punktów styku (sprzętowych i software'owych) pomiędzy różnymi częściami infrastruktury, takich jak złącza pomiędzy kablami zewnętrznymi a wewnątrzbudynkowymi.

Ze względu na to, że rozpatrywana jest cała infrastruktura sieciowa, sposób, w jaki normy są nakładane zależy od szczególnych wymagań minimalnych związanych z określonym obszarem infrastruktury spośród następujących:

1. Centrala;
2. Instalacje zewnętrzne (OSP): normy powinny odnosić się zarówno do parametrów środowiskowych i optycznych, jak również wymagań dotyczących żywotności bez wpływu na konkretny projekt;
3. Urządzenia stosowane na wspólnych powierzchniach budynku wielorodzinnego: normy powinny odnosić się zarówno do parametrów środowiskowych i optycznych, jak również wymagań dotyczących żywotności bez wpływu na konkretny projekt;
4. W domu i miejscach publicznych: to nowy obszar, który może wymagać większej aktywności, ze względu na to, że proces budowy i eksploatacja sieci mogą być uciążliwe dla ludności, co tworzy nowe potrzeby (a tym samym nowe normy) dotyczące stosowanych produktów.

## 13.2 Istotne prace i wytyczne normalizacyjne

Na szczeblu międzynarodowym i krajowym trwają prace normalizacyjne w kilku kierunkach. Grupy robocze wewnątrz ITU, IEC, ISO/IEC JTC1, CENELEC i IEEE, jak również organizacjach takich jak FTTH Council, tworzą wytyczne w sprawie konstrukcji i realizacji światłowodowych sieci dostępowych. Ponadto, prace normalizacyjne trwają na szczeblu krajowym. Poniżej przedstawiono przegląd podstawowych prac.

### 13.2.1 IEC TC 86, SC 86A, SC 86B, SC 86C

#### 13.2.1.1 Zakres TC 86

Komitet Techniczny 86 ("*Fibre Optics*") oraz jego Podkomitety SC86A ("*Fibres and cables*"), SC86B ("*Fibre optic interconnecting devices and passive components*") i SC86C ("*Fibre optic systems and active devices*") przygotowują normy, specyfikacje i raporty techniczne dotyczące światłowodowych systemów, podsystemów, modułów, urządzeń i komponentów. Są one przeznaczone głównie, ale nie wyłącznie, na potrzeby stosowania w urządzeniach telekomunikacyjnych. Prace obejmują terminologię, charakterystykę, powiązane metody badania, kalibracji i pomiaru, interfejsy funkcjonalne, wymagania optyczne, środowiskowe i mechaniczne w celu zapewnienia sprawnego działania systemu.

#### 13.2.1.2 Strategiczny plan biznesowy TC 86

Prace TC 86 i jego podkomitetów wywierały i wywierają przemożny wpływ na cały rynek telekomunikacyjny. Czynniki zewnętrzne wpływają na urządzenia światłowodowe, które wpływają na rynki. Jednak rynek odnotowuje powolny, ale ciągły wzrost, a od początku XXI w. trwa dywersyfikacja zastosowań techniki światłowodowej. Skutkuje to ciągłym globalnym wzrostem zaangażowania użytkowników i dostawców, jak również przesunięciem od niewielu dużych korporacji w stronę licznych mniejszych firm aktywnych w branży. Jedną z przyczyn tej tendencji jest konsolidacja w krajach wysoko rozwiniętych i wprowadzenie nowych i ważnych graczy w krajach rozwijających się.

### 13.2.2 ISO/IEC JTC 1/SC 25

Okablowanie w pomieszczeniach klienta: ISO/IEC 15018, *Information technology – Generic cabling for homes*.

### 13.2.3 ITU

#### 13.2.3.1 ITU-T Handbook on Optical fibres, cables and systems (2009)

Ten poradnik opublikowano w 2009 r. i można go pobrać ze strony < [www.itu.int/publ/T-HDB-OUT.10-2009-1/en](http://www.itu.int/publ/T-HDB-OUT.10-2009-1/en)>. Zawiera rozdział poświęcony realizacji i eksploatacji światłowodowych sieci dostępowych.

#### 13.2.3.2 Grupa studyjna 15 ITU-T

Grupa studyjna 15 ITU-T zajmuje się optycznymi sieciami transportowymi i infrastrukturą sieci dostępowych (więcej informacji dostępne na [ITU-T Study Group 15](#)).

Grupa studyjna 15 ITU-T opracowała ostatnio projekt zmian do *Guide on the use of ITU-T L-series Recommendations related to Optical Infrastructures*. Zatwierdzono i opublikowano dwa nowe zalecenia serii L. dotyczące FTTX:

- L.89: Design of suspension wires, telecommunication poles and guys for optical access networks [Konstrukcja przewodów napowietrznych, słupów telekomunikacyjnych i odciągów w optycznych sieciach dostępowych]
- L. 90: Optical access network topologies for broadband services [Topologia optycznych sieci dostępowych dla usług szerokopasmowych]

### 13.2.4 CENELEC

#### 13.2.4.1 Raport techniczny CENELEC CLC/TR 50510

*Fibre optic access to end-user*, poradnik dotyczący budowy sieci światłowodowych FTTX, dostępny jest na <[CENELEC CLC/TR 50510:2012](#)>.

Ten raport techniczny został sporządzony przez CENELEC TC 86 A, Optical fibres and optical fibre cables. Raport przedstawia informacje dotyczące warstw infrastruktury pasywnej światłowodowej sieci dostępowej; zawiera również glosariusz.

Trzy niżej wymienione komitety techniczne CENELEC prowadzą prace związane ze światłowodami, kablami i osprzętem kablowym (takim jak spójnia, złącza i mufy).

#### 13.2.4.2 Prace Komitetu Technicznego CENELEC CLC/TC 86A

- Światłowody niewrażliwe na zgięcia w kablach
- Nowa generacja kabli do instalowania w rurach elastycznych w pionach instalacyjnych
- Kable ognioodporne do stosowania wewnątrz budynków – procedury badania.

#### 13.2.4.3 Prace Komitetu Technicznego CENELEC CLC/TC 86BXA

Prace nad nowymi rozwiązaniami dotyczącymi optycznych sieci dystrybucyjnych (w tym produktami wewnątrzbudynkowymi). W odniesieniu do specyficznych sieci dystrybucyjnych FTTH, grupa zadaniowa poszukuje możliwości złagodzenia surowych norm przeprowadzania testów parametrów optycznych do bardziej akceptowalnego i realistycznego poziomu, aby zmniejszyć koszt i przyspieszyć instalację złącz.

TC86BXA W G1 opracował odpowiednią Specyfikację Parametrów, zatytułowaną *Type FPFT (factory polished field terminated) simplex connector terminated on IEC 60793-2-50 category B1.3 and B6\_A2 single mode fibre, Category C*.

#### 13.2.4.4 Prace Komitetu Technicznego CENELEC CLC/TC 215

- Okablowanie w pomieszczeniach klienta.

#### 13.2.5 IEEE P802.3

IEEE planuje przedstawić specyfikację zastosowania światłowodów. Trwa dialog pomiędzy IEEE a JTC1/SC25.

Aktywność IEEE będzie ściśle ograniczona do kabli światłowodowych.

Prowadzone są prace bezpośrednio związane z powyższym i dotyczące EPON; opisano je w normie IEEE.

P802.3 (2008) i P802.3av. Obecnie w ramach P802 nie są prowadzone inne prace związane z FTTH, jednak trwają prace nad ostatnio rozpoczętym projektem IEEE P1904.1 SIEPON.

#### 13.2.6 Broadband Forum

BBF utworzyło grupę roboczą ds. światłowodowych sieci dostępowych. Z FTTH związane są następujące dokumenty:

- TR-156 – Using GPON Access in the context of TR -101t
- TR-167 – GPON-fed TR -101 Ethernet Access Node
- WT-200 – EPON and TR-101
- WT-247 Part 1 – ONT conformance test plan
- WT-247 Part 2 – OLT + ONT conformance test plan
- WT-255 – GPON interoperability test plan

Teksty robocze można pobrać z < [www.broadband-forum.org/technical/technicalwip.php](http://www.broadband-forum.org/technical/technicalwip.php) >.

#### 13.2.7 ETSI

W obrębie Komitetu Technicznego ds. Dostępu, Terminali, Przesyłu i Multipleksacji (TC ATTM) działają trzy grupy robocze (WG).

WG AT2: Infrastruktura, sieci fizyczne i systemu telekomunikacyjne zajmuje się:

- specyfikacjami topologii sieci i wymagań funkcjonalnych
- specyfikacje dotyczące komponentów optycznych związanych z przesylem, szczególnie światłowody i elementy pasywne
- specyfikacje dotyczące wymagań wobec parametrów światłowodów i kabli światłowodowych związane z parametrami systemu przesyłowego
- specyfikacje cech funkcjonalnych i fizycznych interfejsów, w tym alokacja kosztów stałych
- prace normalizacyjne związane z ochroną i żywotnością sieci transportowych
- produkcja i konserwacja:
  - starych ISDN: podstawowy dostęp, dostęp główny i dostęp szerokopasmowy ISDN,



- specyfikacja interfejsu usługi „dane przez kabel” (DOCSIS) i zarządzanie częstotliwością w przypadku dostępu hybrydowego światłowodowo-koncentrycznego (HFC)
- FTTH i światłowodowe systemy dostępowe
- Ethernet
- specyfikacja jitteru, opóźności i synchronizacji w sieciach przesyłowych
- pewne aspekty części telekomunikacyjnej interaktywnego łącza nadawczego, np. telewizja kablowa (CATV)) i warstwa fizyczna LMDS (Local Multipoint Distribution Service)
- specyfikacje wymagań funkcjonalnych wobec urządzeń przesyłowych, w tym urządzeń liniowych, multiplekserów i złącz krzyżowych.

### 13.2.8 Inne grupy

Jest również kilka grup krajowych pracujących nad sieciami FTTH, w tym ATIS (USA), CCSA (Chiny), OITDA (Japonia) i innych grup, np. w Korei.

## 13.3 Zalecana terminologia

Aby zapewnić klarowność i spójność, należy stosować wspólny zestaw terminów, definicji i skrótów. Wykazem takim jest słowniczek do Kompendium.

Dokument ten został sporządzony przez FTTH Council w styczniu 2009 r. Definiuje określenia stosowane przez wszystkie Rady FTTH (Ameryka Północna, Europa, Azja-Pacyfik, zob. [FTTH definition of terms](#)) i powinny być przyjęte przez wszystkie firmy i organizacje działające w branży.

IEC świadczy dwie usługi dotyczące terminów i skrótów:

- IEV (International Electrotechnical Vocabulary), powszechnie znany jako Electropedia, dostępne na [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org).
- glosariusz IEC, dostępny na [std.iec.ch/glossary](http://std.iec.ch/glossary).

Glosariusz IEC (definicje zebrane z norm IEC) i Electropedia (zatwierdzona terminologiczna baza danych) zostaną z czasem połączone.

Definicje znajdują się również w bazie danych ITU <[www.itu.int/en/ITU-T/publications/Pages/dbase.aspx](http://www.itu.int/en/ITU-T/publications/Pages/dbase.aspx)>.

Zalecenie ITU-T G.987 definiuje pewne kłopotliwe terminy (np. ONU/ONT, PON i ODN), które, jak się wydaje, znaczą co innego dla różnych osób.

Terminy i skróty zamieszczone w załączniku 2 do niniejszego nowego rozdziału Kompendium FTTH porównano z tymi, które znajdują się w [Electropedii](#). Jeżeli istniała definicja, została wymieniona w kolumnie „Definicja”.

# Załącznik A. Wykaz norm i wytycznych związanych z FTTH

**Uwaga:** Każda z norm wymienionych w tabeli może składać się z wielu części, z których każda obejmuje określone aspekty przedmiotu publikacji. Do czytelnika należy identyfikacja poszczególnych części i zapoznanie się z najbardziej aktualną wersją lub wydaniem publikacji.

Źródło	Tytuł	Numer	Międz./reg.
IEC	<i>Cable Networks for television signals, sound signals and interactive services [Sieci kablowe służące do rozprowadzania sygnałów: telewizyjnych, radiofonicznych i usług interaktywnych]</i>	IEC 60728	Międz.
IEC	<i>Optical fibres – Part 1: Generic Specifications - Measurement methods and test procedures</i>	IEC 60793-1	Międz.
IEC	<i>Optical fibres – Part 2: Product specifications</i>	IEC 60793-2	Międz.
IEC	<i>Optical fibre cables - Part 1: Generic specifications - Basic optical cable test procedures</i>	IEC 60794-1	Międz.
IEC	<i>Optical fibre cables – Part 2: Indoor fibre cables</i>	IEC 60794-2	Międz.
IEC	<i>Optical fibre cables – Part 3: Outdoor cables</i>	IEC 60794-3	Międz.
IEC	<i>Optical fibre cables – Part 4: Aerial optical cables along electrical power lines</i>	IEC 60794-4	Międz.
IEC	<i>Optical fibre cables – Part 5: Sectional specifications – Micro-duct cabling for installation by blowing</i>	IEC 60794-5	Międz.
IEC	<i>Fibre optic interconnecting devices and passive components - Connectors for optical fibres and cables</i>	IEC 60874	Międz.
IEC	<i>Fibre optic interconnecting devices and passive components - Non- wavelength-selective fibre optic branching devices</i>	IEC 60875	Międz.
IEC	<i>Fibre optic interconnecting devices and passive components – Mechanical splices and fusion splice protectors for optical fibres and cables</i>	IEC 61073	Międz.
IEC	<i>Fibre optic interconnecting devices and passive components - Adaptors for fibre optic connectors</i>	IEC 61274	Międz.
IEC	<i>Fibre optic communication subsystem basic test procedures</i>	IEC 61280	Międz.
IEC	<i>Optical amplifiers - Test methods</i>	IEC 61290	Międz.
IEC	<i>Optical amplifiers</i>	IEC 61291	Międz.
IEC	<i>Fibre optic interconnecting devices and passive components –Test and measurement procedures</i>	IEC 61300	Międz.
IEC	<i>Fibre optic interconnecting devices and passive components – Fibre optic fan-outs</i>	IEC 61314	Międz.
IEC	<i>Fibre optic interconnecting devices and passive components - Performance standard</i>	IEC 61753	Międz.
IEC	<i>Fibre optic interconnecting devices and passive components - Fibre optic connector interfaces</i>	IEC 61754	Międz.
IEC	<i>Fibre optic interconnecting devices and passive components - Fibre optic connector optical interfaces</i>	IEC 61755	Międz.

IEC	<i>Fibre optic interconnecting devices and passive components – Interface standards for fibre management systems</i>	IEC 61756	Międz.
IEC	<i>Fibre optic interconnecting devices and passive components – Interface standards for closures</i>	IEC 61758	Międz.
IEC	<i>Fibre optic - Terminology</i>	IEC 61931	Międz.
IEC	<i>Guidance for combining different single-mode fibre types</i>	IEC 62000 TR	Międz.
IEC	<i>Reliability of fibre optic interconnecting devices and passive optical components</i>	IEC 62005	Międz.
IEC	<i>Semiconductor optoelectronic devices for fibre optic system applications</i>	IEC 62007	Międz.
IEC	<i>Fibre optic interconnecting devices and passive components – Fibre optic WDM devices</i>	IEC 62074	Międz.
IEC	<i>Fibre optic interconnecting devices and passive components – Fibre optic closures</i>	IEC 62134	Międz.
IEC	<i>Fibre optic active components and devices – Package and interface standards</i>	IEC 62148	Międz.
IEC	<i>Fibre optic active components and devices – Performance standards</i>	IEC 62149	Międz.
IEC	<i>Fibre optic active components and devices – Test and measurement procedures</i>	IEC 62150	Międz.
IEC	<i>Fibre optic interconnecting devices and passive components – Part 01: Fibre optic connector cleaning methods</i>	IEC 62627-01 TR	Międz.
ISO/IEC	<i>Information technology – Generic cabling systems</i>	ISO/IEC 11801	Międz.
ISO/IEC	<i>Information technology - Implementation and operation of customer premises cabling</i>	ISO/IEC 14763	Międz.
ITU-T	<i>Characteristics and test methods of optical fibres and cables</i>	G.65x series	Międz.
ITU-T	<i>Transmission characteristics of optical components and subsystems</i>	G.671	Międz.
ITU-T	<i>Construction, installation and protection of cables and other elements of outside plant</i>	L. xy series	Międz.
ANSI	<i>Commercial building telecommunications pathways and spaces</i>	ANSI/TIA/EIA 569-B	Reg
ANSI	<i>Residential telecommunications infrastructure standard</i>	ANSI/TIA/EIA 570	Reg
ANSI	<i>Administration standard for commercial telecommunications infrastructure</i>	ANSI/TIA/EIA 606-A	Reg
ANSI	<i>Commercial building grounding and bonding requirements for telecommunications</i>	ANSI/TIA/EIA 607	Reg
ANSI	<i>Customer-owned outside plant telecommunications infrastructure standard</i>	ANSI/TIA/EIA 758_A	Reg
ANSI	<i>Customer-owned outside plant telecommunications infrastructure standard</i>	ANSI/TIA/EIA 758-A	Reg
ANSI	<i>Building automation systems cabling standard for commercial buildings</i>	ANSI/TIA/EIA 862	Reg
CENELEC	<i>Family specification – Optical fibre cables for indoor applications</i>	EN 187103	Reg
CENELEC	<i>Single mode optical cable (duct/direct buried installation)</i>	EN 187105	Reg

CENELEC	<i>Sectional specifications: Optical cables to be used along electrical power lines (OCEPL)</i>	EN 187200	Reg
CENELEC	<i>Generic specifications: Optical fibres</i>	EN 188000	Reg
CENELEC	<i>Information technology – Generic cabling systems</i>	EN 50173	Reg
CENELEC	<i>Information technology – Cabling Installation</i>	EN 50174	Reg
CENELEC	<i>Application of equipotential bonding and earthing in buildings with information technology equipment</i>	EN 50310	Reg
CENELEC	<i>Information technology – Cabling installation – Testing of installed cabling</i>	EN 50346	Reg
CENELEC	<i>Connector sets and interconnect components to be used in optical fibre communication systems - Product specifications</i>	EN 50377	Reg
CENELEC	<i>Fibre organisers and closures to be used in optical fibre communication systems – Product specifications</i>	EN 50411	Reg
CENELEC	<i>Simplex and duplex cables to be used for cords</i>	EN 50551	Reg
CENELEC	<i>Optical fibres - Measurement methods and test procedures</i>	EN 60793-1	Reg
CENELEC	<i>Optical fibres - Product specifications</i>	EN 60793-2	Reg
CENELEC	<i>Optical fibre cables</i>	EN 60794	Reg
CENELEC	<i>Generic cabling systems – Specification for the testing of balanced communication cabling</i>	EN 61935	Reg

# Załącznik B. Gdybym miał zbudować FTTH dzisiaj... „10 najczęściej zadawanych pytań”

---

## Demistyfikacja budowy (i eksploatacji) sieci Fibre-To-The-Home

Dzisiaj uczestnicy rynku telekomunikacyjnego, tacy jak tradycyjni operatorzy, gminy, zakłady użyteczności publicznej i organizacje realizujące indywidualne inicjatywy pragną zaoferować swoim klientom szybkie łącza w otoczeniu mieszkaniowym lub firmowym.

Niniejszy dokument ma służyć jako źródło wskazówek dotyczących podstawowych działań, jakie należy wykonać podczas realizacji „światłowodu do domu”. Udań wdrożenie i korzystanie z FTTH zakłada stopniowe podejście polegające na przemyśleniu, przeanalizowaniu, wdrożeniu i uruchomieniu, poczynając od pierwotnego uzasadnienia racjonalności ekonomicznej (wskazującego zwrot z inwestycji (w kategoriach finansowych i społecznych)), a na korzystaniu przez użytkownika skończywszy.

Problemy i rozwiązania zilustrowano za pomocą odpowiedzi na 10 najważniejszych pytań, które obejmują wdrożenie FTTH oraz objaśniają niektóre tematy praktycznymi przykładami. Niech ten dokument posłuży jako pierwsze przybliżenie i sprawdzenie, czy wyobrażenia czytelnika o FTTH są bliskie rzeczywistości.

Poniżej przedstawiono 5 etapów realizacji FTTH:

- 1. Sporządzenie i uzupełnianie szczegółowej dokumentacji wszystkich decyzji (inwestować czy nie?)**  
Opracowanie uzasadnienia inwestycji, ze wskazaniem rynku geograficznego, konkretyzacja modelu biznesowego, wybór architektury sieciowej oraz sprawdzenie obowiązków i wymagań prawnych.
- 2. Budowa instalacji zewnętrznych**  
Wymiarowanie infrastruktury pasywnej, wybranie komponentów, sprawdzenie synergii kosztowych, wykonanie terminali
- 3. Wdrożenie łączności**  
Wdrożenie urządzeń aktywnych, realizacja połączeń potrzebnych w danym czasie, przeprowadzenie kontroli interoperacyjności i testów kompleksowych, wdrożenie modelu zarządzania
- 4. Zaoferowanie usługi bezpośrednio klientowi końcowemu (detal?)**  
Uruchomienie ofert usług, zorganizowanie obsługi klienta, zarządzanie środowiskiem domowym klienta końcowego
- 5. Zaoferowanie modeli usług podmiotom zewnętrznym (hurt?)**  
Wyjście poza tradycyjną ofertę usług 3play, wynegocjowanie umów o jakości usług oraz promowanie sklepów z aplikacjami

**Etap 1. Sporządzenie i uzupełnianie szczegółowej dokumentacji wszystkich decyzji (inwestować czy nie?)**

Zapewnić określenie wszystkich parametrów w celu dokonania racjonalnej oceny. Dlaczego, kiedy, gdzie i jak to realizujemy? Tylko najlepszy plan doprowadzi do lepszego wyniku.

Przykładowe pytania:

**Pytanie: Które obszary geograficzne rozpatruje się do realizacji FTTH?**

W celu wyznaczenia obszarów geograficznych do realizacji FTTH stosuje się różne kryteria (społeczno-gospodarcze, oczekiwany popyt...). Z uwzględnieniem określonego dostępnego budżetu można zdecydować się, na przykład, na maksymalizację przychodów lub realizację maksymalnego zasięgu geograficznego.

W tym celu, do wstępnego zaprojektowania sieci i obliczenia związanych z tym wskaźników ekonomicznych stosuje się techniki geomarketingowe oparte na danych społeczno-gospodarczych w kontekście geograficznym.

**Pytanie: Czy wchodzi w grę partnerstwa/spółki? Z którymi partnerami można współpracować?**

Partnerstwa/spółki ustanawiane są w celu pokrycia wysokich nakładów inwestycyjnych na infrastrukturę światłowodową i/lub odpowiednią eksploatację sieci FTTH.

Duże różnice pod względem budżetu inwestycyjnego, żywotności i ryzyka pomiędzy aktywną a pasywną infrastrukturą światłowodową wymagają długoterminowych umów o partnerstwie regulujących aspekty eksploatacyjne i biznesowe. W szczególności należy wypracować sprawiedliwy model udziału w przychodach, aby zapewnić długotrwałą współpracę wszystkich zaangażowanych partnerów.

Pytania dodatkowe:

- Pytanie: Jaki jest rozsądny „okres zwrotu” z inwestycji w FTTH?
- Pytanie: Czy można skorzystać na „sieci otwartej” i jak konkretnie to wygląda?
- Pytanie: Jakie podstawowe projekty sieci i modelowanie należy przeprowadzić?

## **Etap 2. Poprowadzenie instalacji zewnętrznych**

Infrastruktura pasywna stanowi podstawę realizacji FTTH. Należy rozważyć najlepsze opcje i przewidzieć efektywne wdrożenie. Pytania dodatkowe:

**Pytanie: Czy możliwa jest synergia kosztów (wymagana lub nie przez przepisy) z innymi operatorami infrastruktury na terenach publicznych?**

Zasadniczo można dużo zaoszczędzić dzięki lepszej koordynacji robót budowlanych na terenach publicznych. W tym celu podmioty budujące infrastrukturę projektują sieć na podstawie danych GIS (systemy informacji geograficznej) z użyciem narzędzi do planowania i dokumentacji. Ułatwia to wymianę publicznych informacji o infrastrukturze i oferuje większą synchronizację procesów pomiędzy różnymi budowniczymi infrastruktury. Praktyka terenowa wskazuje na to, że koszt na gospodarstwo domowe podłączone/w zasięgu sieci można jeszcze bardziej obniżyć dzięki lepszemu zarządzaniu projektami OSP.

Po zakończeniu fazy realizacji, dobrze wykonana dokumentacja powykonawcza umożliwia zmniejszenie liczby przypadków przecięcia światłowodu, rozmów z biurem obsługi klienta i szybsze diagnozowanie w przypadku awarii.

**Pytanie: Jakie kryteria należy stosować podczas wyboru elementów pasywnych, takich jak ODF, kable, mufy, spojenia itd.?**



Ponieważ cykl eksploatacji infrastruktury pasywnej jest kilkakrotnie dłuższy niż technologii aktywnej, niezbędne jest dobranie wysokiej jakości komponentów pasywnych, które będą spełniały przyszłe wymagania technologiczne (np. NG PON). Należy znaleźć punkt równowagi między kosztem materiałów, jakością materiałów i kosztami pracy (pracochłonność i wymagane kwalifikacje/narzędzia).

Inne pytania:

- Pytanie: Jakie są trudności związane z okablowaniem domowym?
- Pytanie: Jaki jest wpływ miejscowych przepisów?
- Pytanie: Jakie reguły wymiarowania należy stosować w przypadku elementów pasywnych?

### **Etap 3. Wdrożenie łączności**

Podłączenie abonentów wymaga wykorzystania niezbędnych szerokości pasma przepustowego w infrastrukturze FTTH. Odpowiada za to sieć aktywna i związane z nią technologie. Pytania dodatkowe:

#### **Pytanie: Jaką technologię aktywną wybrać?**

Choć technika światłowodowa podlega gwałtownym zmianom, rynki chcą właściwej technologii we właściwym czasie i po odpowiedniej cenie. Należy przyjąć realistyczny pogląd na temat ewolucji usług i przyszłego zapotrzebowania na szerokość pasma przepustowego. Potrzeba poprowadzenia światłowodów w najbardziej opłacalnych punktach zakłada koegzystencję i stosowanie różnych hybrydowych technologii światłowodowych.

Niezależnie od wyboru technologii, należy zagwarantować ciągłość technologii w celu uniknięcia przyszłych problemów ze współpracą urządzeń, potrzeby wyjazdów do usuwania awarii i modyfikacji instalacji zewnętrznych.

#### **Pytanie: Jak można ocenić FTTH pod względem ekologii?**

Niezależne badania pokazują, że w porównaniu ze starszymi systemami technika światłowodowa znacznie redukuje ilość dwutlenku węgla wytwarzanego przez działalność telekomunikacyjną. Systemy światłowodowe mogą przesyłać różnego rodzaju dane jednym kablem w jednej sieci, eliminując potrzebę infrastruktury równoległej i zasilania elektrycznego sieci CATV, telefonii stacjonarnej i stacjonarnego Internetu. Ponadto systemy światłowodowe są w stanie przysyłać dane w znacznie rozleglejszych systemach przy znacznie mniejszym zużyciu energii.

Pytania dodatkowe:

- Pytanie: Jak można zapewnić ciągłość technologii?
- Pytanie: W jaki sposób można zminimalizować ilość awarii?
- Pytanie: W jaki sposób można zapewnić współpracę urządzeń, normalizację i kompleksowe testowanie?

### **Etap 4. Zaoferowanie usługi bezpośrednio klientowi końcowemu (detal?)**

Jeżeli istnieje zamiar zaangażowania się na rynku detalicznym, wówczas potencjalni abonenci muszą być przekonani do wyboru takiego systemu. Pytania dodatkowe:

### **Pytanie: Dlaczego postawić na FTTH?**

Jakie jest najlepsze zastosowanie FTTH w otoczeniu mieszkaniowym? Wideo? W jakiej postaci? Niezależnie od konkretnej oferty, zapewnienie szybszego dostępu i lepszych wrażeń na pewno jest dobrym argumentem dla sprzedaży. Model FTTH jest w stanie to zapewnić.

FTTH zapewnia gospodarstwom domowym niezrównaną niezawodność i gwarantowane pasmo przepustowe, oferując możliwość personalizacji.

FTTH daje podłączonemu mieszkaniu bogatszą ofertę w podejściu „multi room” i „multi screen”. Zwiększa to zapotrzebowanie na zapewnienie ciągłości obsługi i rozwiązania zdalnego zarządzania urządzeniami i usługami domowymi.

### **Pytanie: W jaki sposób skłonić użytkowników do przejścia z usług dotychczasowych na usługi o wyższym standardzie?**

Użytkownicy potrzebują bogactwa wizualnego oferowanego przez dostęp oparty na FTTH. Dodanie komponentu wizualnego do starych usług telekomunikacyjnych (np. telefonia wideo) oraz przyszłych usług telekomunikacyjnych i rozrywkowych (np. komunikacja immersywna) traktowana jest jako jeden z kluczowych elementów stworzenia lepszych wrażeń użytkownika.

Ponadto decydenci traktują FTTH jako motor rozwoju społeczno-gospodarczego i szansę na zaoferowanie obywatelom takich usług jak e-zdrowie, e-nauka, e-administracja. Świadczenie usług istotnych dla stylu życia i przynoszenie korzyści społecznych przyspieszy masową akceptację FTTH na rynku.

Pytania dodatkowe:

- Pytanie: W jaki sposób wykorzystać handlowo zwiększoną wartość oferowaną przez FTTH?
- Pytanie: Jakie definicje usług i procedury zapewnienia jakości powinny być wdrożone?
- Pytanie: Kim są odbiorcy docelowi?

### **Etap 5. Zaoferowanie modeli usług podmiotom zewnętrznym (hurt?)**

Nie jest konieczne wdrożenie modelu „integracji pionowej” i wchodzenie samemu na rynek detaliczny. Można zakładać spółki, zawierać umowy, podejmować współpracę itd. w celu udanej eksploatacji systemów FTTH. Pytania dodatkowe:

### **Pytanie: W jaki sposób przyciągnąć dostawców aplikacji, treści i usług?**

Aby zbudować trwały model biznesowy dla FTTH, niezbędne jest przyciągnięcie innowacyjnych aplikacji, treści i usługodawców. Wymaga to specjalnych platform świadczenia usług. Zasadniczo, platformy te, oparte na otwartych standardach, pozwalają ukryć złożoność infrastruktury leżącej u ich podstawy i umożliwiają szybsze i bardziej przejrzyste świadczenie usług.

Udostępnienie zdolności sieciowych w sposób zorganizowany i umożliwiający kontrolę jakości jest szczególnie atrakcyjne dla zaufanych partnerów, takich jak firmy, dostawcy energii elektrycznej i (częściowo) publiczne organizacje; podmioty te są gotowe zapłacić więcej za tę usługę.

Umowa o poziomie obsługi (SLA), oparta na gwarantowanej szerokości pasma przepustowego i jakości obsługi, może objąć szeroki zakres zarządzanych usług wspólnych, takich jak obiekty hostingowe, sklepy z aplikacjami, zarządzanie cyklem życia aplikacji itd. Podejście to może przyciągnąć nowych uczestników rynku, które nie rozwinęły działalności na dużą skalę i nie

posiadają doświadczenia, ale są w stanie wzbogacić ekosystem FTTH nowatorskimi aplikacjami, usługami i treścią.

**Pytanie: Jak wyjść poza tradycją ofertę triple play?**

Wyjście poza tradycyjną ofertę komercyjną triple play wymaga współpracy pomiędzy usługodawcami sieciowymi, producentami elektroniki użytkowej oraz dostawcami aplikacji i treści. Na przykład potrzebne są innowacyjne modele biznesowe, aby kontent Over-The-Top współistniał z zarządzanymi usługami IPTV.

Pytania dodatkowe:

- Pytanie: Jak zbudować uzasadnienie projektu dla usługodawców?
- Pytanie: Jak zarządzać wieloma usługodawcami (jakość obsługi, szerokość pasma przepustowego itd.)?
- Pytanie: Jaką rolę odgrywa reklama w tych modelach biznesowych?

Więcej informacji na temat wdrożenia i eksploatacji FTTH można uzyskać w Kompendium FTTH. FTTH Business Guide przedstawia informacje o sposobach finansowania i studiach przypadku FTTH.

# Słownik

ADSS	All-Dielectric Self-Supporting [kabel całkowicie dielektryczny samonośny] ANAccess Node [węzeł dostępowy]
APC	Angle-Polished Connector [złącze polerowane kątowno]
ATM	Asynchronous Transfer Mode [tryb przesyłu asynchronicznego]
APON	Asynchronous Transfer Mode PON [tryb przesyłu asynchronicznego PON]
BEP	Building Entry Point [punkt wejścia do budynku]
Bit	Binary Digit [element binarny]
Bit rate	Binary Digit Rate [prędkość bitowa, przepływność]
BPON	Broadband Passive Optical Network [szerokopasmowa pasywna sieć optyczna]
Bps	Bit Per Second [bity na sekundę]
CATV	Cable Television [telewizja kablowa]
CPE	Customer Premises Equipment [urządzenia w pomieszczeniach klienta]
CRM	Customer Relation Management [zarządzanie relacjami z klientem]
CTB	Customer Termination Box [terminal abonencki]
CO	Central Office [centrala]
CWDM	Coarse Wavelength Division Multiplexing [zgrubna multipleksacja widmowa]
DBA	Dynamic Bandwidth Allocation [dynamiczna alokacja szerokości pasma przepustowego]
DN	Distribution Node [węzeł dystrybucyjny]
DOCSIS	Data over Cable Service Interface Specification [specyfikacja interfejsu usługi „dane przez kabel”]
DP	Distribution Point [punkt rozdzielczy]
DSL	Digital Subscriber Line [cyfrowa linia abonencka]
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer [multiplexer dostępowy cyfrowej linii abonenckiej]
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing [gęsta multipleksacja widmowa]
EFM	Ethernet in the First Mile (IEEE 802.3ah)
EMS	Element Management System [system zarządzania elementami]
EP2P	Ethernet over P2P (IEEE 802.3ah)
EPON	Ethernet Passive Optical Network [pasywna sieć optyczna Ethernet]
FCCN	Fibre Cross Connect Node [węzeł krosowych połączeń światłowodowych]
FBT	Fused Biconic Tapered [sprzęgacz FBT]
FCP	Fibre Concentration Point [punkt koncentracji okablowania światłowodowego]
FDB	Fibre Distribution Box [światłowodowa skrzynka rozdzielcza]
FDF	Fibre Distribution Field
FDH	Fibre Distribution Hub (inne określenie FCP) [dystrybucyjny węzeł światłowodowy]
FITH	Fibre In The Home [światłowód w domu]
FTTB	Fibre To The Building [światłowód do budynku]
FTTC	Fibre To The Curb [światłowód do krawężnika]
FTTH	Fibre To The Home [światłowód do domu]
FTTN	Fibre To The Node [światłowód do węzła]
FTTO	Fibre To The Office [światłowód do biura]
FTTP	Fibre To The Premises [światłowód do przedsiębiorstwa]
FTTx	ogólne określenie wszystkich „światłowód do...” powyżej.
FWA	Fixed Wireless Access [stały dostęp bezprzewodowy]

Gbps	Gigabity na sekundę
GIS	Geographic Information System [system informacji geograficznej]
GPON	Gigabit Passive Optical Network [gigabitowa pasywna sieć optyczna]
HC	Home Connected [gospodarstwo domowe podłączone]
HDPE	High-Density PolyEthylene [polietylen dużej gęstości]
HFC	Hybrid Fiber Coax [dostęp hybrydowy światłowodowo-koncentryczny]
HP	Homes Passed [gospodarstwa domowe w zasięgu sieci]
IDP	Indoor Distribution Point [wewnątrzbudynkowy punkt rozdzielczy]
IEEE	Institute for Electrical and Electronics Engineers [Instytut Inżynierów Elektryków i Elektroników]
IL	Insertion loss [tłumienność wtrąceniowa]
IMP	Indoor Manipulation Point [wewnątrzbudynkowy punkt manipulacji]
IEC	International Electrotechnical Commission [Międzynarodowa Komisja Elektrotechniczna]
IP	Ingress Protection [stopień ochrony] (dotyczy również własności intelektualnej)
ISO	International Organization for Standardization [Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna]
ISP	Internet Service Provider [dostawca usług internetowych]
ITU-T	International Telecommunication Union – Telecommunications Standards [Międzynarodowy Związek Telekomunikacyjny – Normy telekomunikacyjne]
LAN	Local Area Network [sieć lokalna]
LI	Local interface [interfejs lokalny]
LMDS	Local Multipoint Distribution Service [lokalna wielopunktowa usługa dystrybucyjna]
LSZH	low smoke, zero halogen [materiał o niskiej emisji dymu i nie wydzielający trujących halogenków] Mbps
	Megabits per second [megabity na sekundę]
MDU	Multi-Dwelling Units [domy wielorodzinne]
MEMS	Micro Electro Mechanical Switch [mikrosystem]
MMDS	Multichannel Multipoint Distribution Service [wielokanałowa wielopunktowa usługa dystrybucyjna]
MMF	MultiMode Fibre [światłowód wielomodowy]
MN	Main Node [węzeł główny]
NGA	Next Generation Access Network [sieć dostępowa nowej generacji]
NGN	Next Generation Network [sieć nowej generacji]
NMS	Network Management System [system zarządzania siecią]
NTU	Network Termination Unit [terminal sieciowy]
ODF	Optical Distribution Frame [przełącznica światłowodowa]
ODP	Optical Distribution Point [światłowodowy punkt rozdzielczy]
ODR	Optical Distribution Rack [światłowodowa szafa rozdzielcza]
OE	Optical Ethernet [Ethernet światłowodowy]
OLA	Operational Level Agreement [umowa o poziomie eksploatacji]
OLT	Optical Line

Termination [terminal  
centralowy] OLTS Optical Loss  
Test Set [zestaw do pomiaru strat  
mocy optycznej]

OMP Optical Manipulation point [optyczny punkt  
manipulacji]

ONT Optical Network Termination [końcówka  
sieci optycznej]

ONU Optical Network Unit [terminal abonencki]

OPGW Optical Power Ground Wire [przewód  
uziomowy ze zintegrowanymi włóknami  
światłowodowymi]

OTDR Optical Time-Domain Reflectometer  
[reflektometr]

OTO Optical Telecommunication Outlet [gniazdo  
abonenckie]

P2MP Point-To-Multi-Point [punkt-wielopunkt]

P2P / PtP Point-To-Point [punkt-punkt] (komunikacja, konfiguracja lub połączenie)

PC Physical Contact [kontakt fizyczny] lub Polished Connector [złącze polerowane]

PE PolyEthylene [polietylen]

PON Passive Optical Network pasywna sieć optyczna]

POP Point Of Presence [punkt obecności]

PVC PolyVinylChloride [polichlorek winylu]

RU Rack Unit [szafa]

RL Return Loss [tłumienność odbiciowa]

ROW Right Of Way [służebność]

S/N Signal-to-Noise ratio [stosunek sygnału do  
szumu]

SDSL Symmetric Digital Subscriber Line  
[symetryczna cyfrowa linia abonencka]

SFU Single Family Unit [dom jednorodzinny]

SLA Service Level Agreement [umowa o poziomie  
usługi]

SMF Single Mode Fibre [światłowód  
jednomodowy]

STP Shielded Twisted Pair [skrętka ekranowana]

STU Single-Tenant Units [dom dla jednego  
najemcy]

UPC Ultra Polished Connector [złącze  
ultrapolerowane]

UPS Uninterruptible Power Supply [zasilacz  
bezpzerwowy]

UTP Unshielded Twisted Pair [skrętka  
nieekranowana]

TDMA Time Division Multiple Access [wielodostęp o  
podziale czasowym]

VDSL Very high bit rate Digital Subscriber Line  
[cyfrowa linia abonencka o bardzo wysokiej  
przepływności]

VOD Video on Demand [wideo na żądanie]

WDM Wavelength Division Multiplexing  
[multipleksacja widmowa]

WiMAX Worldwide Interoperability for Microwave Access

WLAN Wireless LAN [lokalna sieć bezprzewodowa]

WFM Workforce Management [zarządzanie  
personalem]

WAN Wide Area Network [sieć rozległa]

WMS Workforce Management System [system  
zarządzania personelem]





FTTH Council Europe

Rue des Colonies 11

B-1000 Brussels

Tel +32 2 517 6103

Fax +43 2855 71142

[info@ftthcouncil.eu](mailto:info@ftthcouncil.eu)

[www.ftthcouncil.eu](http://www.ftthcouncil.eu)

