

Dla linii kablowej światłowodowej po wykonaniu połączeń w przełącznicy dla wszystkich włókien kabla należy wykonać pomiary reflektometryczne dla fal 1310nm, 1550nm (z obydwu stron linii).

Na zmontowanej linii kablowej światłowodowej należy wykonać następujące pomiary:

- pomiary reflektometryczne linii światłowodowych, pomiary na bębnach kabla - przed przystąpieniem do montażu kabli należy wykonać na bębnach pomiar reflektometrem przy długości fali 1310nm, celem sprawdzenia zgodności z parametrami odbiorczymi dostarczonymi przez producenta;
- pomiary właściwości transmisyjnych torów optycznych metodą reflektometryczną dla fal 1310nm, 1550nm - po ułożeniu kabla, a przed rozpoczęciem montażu złączy należy wykonać pomiary kontrolne reflektometrem, następnie po wykonaniu połączeń światłowodów należy wykonać pomiary kontrolne reflektometryczne z obydwu stron zmontowanego odcinka, w celu stwierdzenia poprawności wykonanych połączeń; dopiero po pozytywnym wyniku pomiaru można przystąpić do zamknięcia mufy złącza,
- pomiary właściwości transmisyjnych torów optycznych metodą reflektometryczną dla fal 1310nm, 1550nm – pomiary końcowe z przełącznic światłowodowych,
- pomiary końcowe tłumienności wynikowej torów optycznych metodą transmisyjną dla fal 131 nm i 1550nm - po całkowitym zmontowaniu całego odcinka linii światłowodowej,
- pomiary tłumienności odbicia wstecznego złączy rozłączalnych.

W przypadku uzyskania podczas pomiarów wartości parametrów technicznych niezgodnych z normą (defekty, wartości nienormatywne) należy poszczególne elementy linii poprawić i przeprowadzić ponowne pomiary.

Warunkiem niezbędnym wykazania poprawności uzyskanych parametrów zestawionych torów optycznych wykonanych w ramach wybudowanej infrastruktury światłowodowej jest dostarczenie dokumentacji pomiarowej powykonawczej, która zgodnie z obowiązującymi zasadami wykonania, odbioru i przekazania do eksploatacji sieci optotelekomunikacyjnej powinna w wersji minimalnej spełniać przedstawione poniżej kryteria.

Niezależnie od wymaganych w ramach warunków kontraktu pomiarów wstępnych i pomiarów na etapie montażu absolutnie nieodzowne jest wykonanie kompletnych pomiarów końcowych i właściwa ich prezentacja w ramach dostarczanego protokołu pomiarów końcowych (dokumentacji pomiarowej powykonawczej). Protokół powinien zostać przygotowywany w oparciu o następujące wymagania stawiane w ramach montażu sieci optotelekomunikacyjnych:

- Połączenia światłowodów jednomodowych w złączu powinny być tak wykonane, aby tłumienność wnoszona przez spoinę nie przekroczyła wartości 0,15 dB (dla maksymalnie 10 połączeń w odcinku regeneratorskim) i 0,08 dB (dla więcej niż 10 połączeń w odcinku regeneratorskim). Tłumienność spoin powinna być określona jako wartość średnia z pomiarów reflektometrycznych w obu kierunkach transmisji (z uwzględnieniem znaków).
- Wykonanie spoiny o minimalnej tłumienności może wymagać kilku prób i powtórzeń. Aby ilość prób spajania przy wykonywaniu złącza pozostawić na rozsądnym poziomie, należy przyjąć następujące zasady: – jeśli tłumienność połączenia jest wyższa niż 0,15 dB (odczyt ze spawarki), włókno powinno być przecięte i ponownie spojone, – jeśli ponowna próba spajania nie daje pozytywnego rezultatu, należy przejść do montażu włókna następnego, – jeśli to następne włókno daje się zmontować poprawnie, należy powrócić do włókna poprzedniego i starać się uzyskać prawidłowe połączenie, – jeśli próby ponownego spojenia włókna

nie dają pozytywnego rezultatu odnośnie tłumienności spoiny, a osiągnięte wyniki nie spełniają wymagań, ale są zbliżone co do wartości, należy uznać, że przyczyną są różne parametry światłowodów. Przy tej metodzie ilość prób na jedno włókno nie powinna przekroczyć trzech. Jeśli nie można uzyskać wymaganej tłumienności również na innym włóknie, a różnice osiąganych tłumienności włókien są stosunkowo duże, należy sprawdzić spawarkę i starannie oczyścić elektrody zgodnie z instrukcją obsługi. Jeśli połączenie włókna można uznać za poprawne, należy umieścić na swoim miejscu osłony spoiny włókna. Ważne jest, aby ułożenie pętli zmontowanego włókna w osłonie złączowej wykonać dopiero po całkowitym ostygnięciu osłonki spawu. Po zmontowaniu i ułożeniu włókna należy ponownie sprawdzić, czy tłumienność połączenia nie uległa zmianie. Sprawdzenie należy wykonać dla fal 1310 i 1550 nm i odnotować w protokole.

- Po połączeniu odcinków kontrolnych w pełny odcinek regeneratorowy należy wykonać pomiary tłumienności złączy z obydwu jego końców dla fal 1310 i 1550 nm. Do pomiarów na odcinkach krótkich należy stosować możliwie krótki impuls sygnału pomiarowego. Tłumienność połączenia mierzona dla fali 1550 nm nie może różnić się od wartości uzyskanych dla fali 1310 nm o więcej, niż 0,05 dB. Jeśli ta różnica jest większa dla jakiegoś włókna, to prawdopodobną przyczyną jest nadmierne jego naprężenie lub istnienie mikrozgięć w sąsiedztwie połączenia włókna.
- Wymagania transmisyjne dla zmontowanego odcinka regeneratorowego.

Wszystkie tory światłowodowe jednomodowe na gotowej linii powinny mieć zmierzoną tłumienność dla fal 1310 nm i 1550 nm, a następnie wyliczoną tłumienność jednostkową. Jako decydujący należy przyjmować wynik pomiaru dla fali 1550 nm. Tłumienność jednostkowa każdego toru światłowodowego (bez połączeń) nie powinna przekraczać wartości przepisanych w uzgodnionych warunkach technicznych dla kabli danej klasy, wybranej przez projektanta, w sposób umożliwiający spełnienie wymagań bilansu mocy dla danego odcinka regeneratorowego. Dla przypadków krytycznych tj. dla długich odcinków regeneratorowych należy wybierać kable zawierające światłowody wyższej klasy. Tłumienność każdego toru światłowodowego (włókien wraz z ich połączeniami) nie powinna przekraczać wartości sumy tłumienności wszystkich połączonych odcinków włókien powiększonej o tłumienność połączeń stałych i rozłącznych. Tak więc rzeczywista tłumienność toru nie powinna przekraczać wartości:

$$atk \leq ak * lopt + n1 * 0,15 + n2 * 0,5 \text{ [dB]}$$

gdzie :

atk - tłumienność toru światłowodowego na odcinku regeneratorowym, mierzona między pólzłączkami na przełącznicach sąsiednich stacji regeneratorowych, w dB,
ak - tłumienność jednostkowa gotowego kabla, w dB/km

lopt - długość optyczna kabla światłowodowego wraz z zapasami kabla i włókien w złączach, w km.

n1 - liczba złączy kabla światłowodowego na odcinku regeneratorowym

n2 - liczba złączy światłowodowych rozłącznych na odcinku regeneratorowym

Połączenia światłowodów jednomodowych powinny być tak wykonane, aby ich tłumienność nie przekroczyła wartości:

- 0,08dB/0,15 dB (w zależności od ich ilości w odcinku regeneratorskim) dla połączeń spajanych, określona jako wartość średnia (z uwzględnieniem znaków) z pomiarów w obu kierunkach transmisji,
 - 0,5 dB dla złączy rozłączalnych, jako wartość maksymalna przyjmowana do obliczeń, a średnia wartość tej tłumienności nie powinna przekraczać 0,3 dB. Dla połączeń spajanych dopuszcza się maksymalną wartość bezwzględną tłumienności połączenia 0,3 dB, jeśli 2 próby spajania nie pozwoliły na uzyskanie wartości 0,10 dB, przy czym uzyskiwane wyższe wartości były prawie jednakowe. Dopuszcza się na odcinku kontrolnym (15 km) nie więcej niż 2 tego typu połączenia dla każdego toru pod warunkiem uwzględnienia ich obecności w bilansie mocy odcinka regeneratorskiego.
- Zmiana tłumienności jednostkowej wzdłuż odcinka, pomiędzy sąsiednimi złączami światłowodowymi, nie powinna przekraczać 0,1 dB/km dla fal 1310 nm i 1550 nm, na każdym dowolnie wybranym jednokilometrowym odcinku światłowodu. Skokowy wzrost tłumienności wywołany punktowymi wtrąceniami nie powinien być większy od 0,1 dB.
 - Pomiary właściwości transmisyjnych torów światłowodowych metodą reflektometryczną Pomiary reflektometryczne na zmontowanej linii powinny umożliwiać określenie:
 - całkowitej długości optycznej linii,
 - całkowitej tłumienności linii,
 - tłumienności jednostkowej całej linii i jej odcinków składowych,
 - tłumienności połączeń.Poprawne wyniki tych pomiarów uzyskuje się tylko wtedy, gdy wartość współczynnika załamania wprowadzana do reflektometru jest zgodna z wartością podaną przez producenta kabla. Dla uzyskania prawidłowych danych potrzebnych do wypełnienia protokołów pomiarowych niezbędne jest zdjęcie charakterystyk reflektometrycznych wszystkich światłowodów w kablu z obydwu stron odcinka regeneratorskiego dla fal 1310 nm i 1550 nm. Wskazane jest, aby reflektometr umożliwiał zapisanie wyników pomiarów do pamięci lub na dyskietce. Umożliwia to przeprowadzenie dokładnej analizy tych pomiarów bez konieczności straty czasu bezpośrednio na terenie budowy. Analizę taką można przeprowadzić przy pomocy odpowiedniego oprogramowania komputerowego już po wykonaniu pomiarów na budowie. Tłumienność odcinka regeneratorskiego linii określona na podstawie pomiarów reflektometrycznych powinna być potwierdzona pomiarem transmisyjnym.
 - Pomiary tłumienności wynikowej metodą transmisyjną Dla każdego włókna światłowodowego na odcinku regeneratorskim należy zmierzyć tłumienność pomiędzy dwoma skrajnymi przełącznikami światłowodowymi. Dla linii ze światłowodami jednomodowymi pomiar powinien być wykonany dla obu pasm optycznych tj. 1310 i 1550 nm w obu kierunkach transmisji. Celem tego pomiaru jest sprawdzenie łącznej tłumienności kabla wraz ze złączami rozłącznymi i potwierdzenie zgodności z obliczonym bilansem mocy dla odcinka regeneratorskiego oraz z tłumiennością pomierzoną reflektometrycznie.
 - Pomiary tłumienności odbicia wstecznego (reflektancji) złączy rozłączalnych W jednomodowej linii światłowodowej istotne znaczenie ma odbicie sygnału lasera zarówno od niejednorodności światłowodu, jak i od złączy spajanych, a zwłaszcza od złączek światłowodowych rozłącznych. Największe znaczenie posiada odbicie od złączek znajdujących się blisko lasera, gdyż może to wywołać migotanie prążków

widma lasera, szczególnie niekorzystne przy pracy impulsowej z dużą przepływnością binarną. Oddziaływanie to jeszcze rośnie przy zastosowaniu laserów o małej szerokości widma promieniowania.

- Dokumentacja powykonawcza.

Dokumentacja dostarczana jest Zamawiającemu po zakończeniu budowy linii. Część trasową dokumentacji powykonawczej stanowi poprawiona dokumentacja projektowa wykonywana na bieżąco. Załącznikami do dokumentacji powykonawczej powinny być:

- powykonawczy schemat wyprostowany linii, uwzględniający złącza, zapasy, przebieg w kanalizacji z podaniem odległości pomiędzy tymi elementami,
- powykonawczy schemat blokowy,
- powykonawczy schemat optyczny (rozpływu włókien)

Do dokumentacji powykonawczej należą również protokoły zawierające wyniki pomiarów (dokumentacja pomiarowa powykonawcza) – ocenione odnośnie zgodności z wymaganiami i dokumentami normatywnymi oraz podpisane ze strony Wykonawcy przez osobę dysponującą odpowiednimi uprawnieniami, kompetencjami i doświadczeniem zawodowym.

Wszystkie niezbędne parametry określające jakość światłowodu, spawów i złączy rozłącznych należy zaprezentować w dokumentacji pomiarowej/protokole pomiarów w postaci:

- tabel (Wzór poniżej - format *.pdf i *.xls),
- reflektogramów (format *.pdf),
- reflektogramów wygenerowanych przez urządzenie pomiarowe (format *.sor).

Nazwa linii: OTK 002			Linia: UM Bogusławskiego (A) – UM Sukiennice (B)			
Typ kabla: Z-XOTKtd 72J			Nr włókna/nr szafy/nr patchpanel/nr modułu (A): 1 /S00/M01/S01J			
			Nr włókna/nr szafy/nr patchpanel/nr modułu (B): 1 /S01/M01/S01J			
Reflektometr: FLUKE OPTIFIBER OF500 SN:9837007						
Długość fali: 1310nm			IOR: 1,47			
			Długość optyczna linii [km]: 2,390			
Złącze	Kierunek A-B		Kierunek B-A		Średnie tłumienie α_{sr} [dB]	Uwagi
	Tłumienie α_l [dB]	Odległość [m]	Tłumienie α_l [dB]	Odległość [m]		
Reflektancja	73,5					Złączka E2000/APC
(...)						
1	0,05	980	0,03	1410	0,04	Spaw (Mufa 1 Świdnicka)
2	0,07	1560	0,05	830	0,06	Spaw (Mufa 2 Rynek 13)
(...)						
Reflektancja			72,6			Złączka E2000/APC

Wzór tabeli dla tłumienności spawów wykonanych metodą reflektometryczną i tłumienności linii wykonanej metodą transmisyjną - jest wymagana dla wszystkich włókien światłowodów jednomodowych dla obu długości fali (1310nm i 1550nm).

Projekt (założenia)			
tłumienie złączki [dB]:	0,5	liczba złązek [n]:	2
tłumienie jedn. [dB/km]:	0,4	długość linii [km]:	2,391
tłumienie spójni [dB]:	0,15	liczba spójni [n]:	4
$\alpha_{\text{całk}} = 2 * 0,5 + 4 * 0,15 + 2,391 * 0,4 = 2,56 \text{ [dB]}$			

Pomiar mocy optycznej		
Kierunek A-B α_1 [dB]	Kierunek B-A α_2 [dB]	Srednie tłumienie $(\alpha_1 + \alpha_2)/2$
1,42	1,44	1,43

Nazwa: OTK 002			Linia: UM Bogusławskiego (A) – UM Sukiennice (B)					
Długość fali	1310nm		1550nm		1310nm		1550nm	
Nr włókna/nr szafy/nr patchpanel/nr modułu (A)	Tłumienie całkowite [dB]		Tłumienie całkowite [dB]		Tłumienie jedn. [dB/km]		Tłumienie jedn. [dB/km]	
	Kierunek A-B	Kierunek B-A	Kierunek A-B	Kierunek B-A	Kierunek A-B	Kierunek B-A	Kierunek A-B	Kierunek B-A
1 S00/M01/S01J	2,1	1,92			0,254	0,230		1 S00/M01/S01J
2 S00/M01/S01J	2,31	2,43			0,202	0,190		1 S00/M01/S01J
3 S00/M01/S01J	2,23	2,54			0,249	0,219		1 S00/M01/S01J
4 S00/M01/S01J	2,41	2,71			0,267	0,234		1 S00/M01/S01J

Wzór tabeli dla tłumienności całkowitej i jednostkowej włókien światłowodowych wykonanych metodą reflektometryczną - jest wymagana dla wszystkich włókien i dla obu długości fal (1310nm i 1550nm).

Nazwa: OTK 002			Linia: UM Bogusławskiego (A) – UM Sukiennice (B)			
Długość fali	1310nm		1550nm			
	Reflektancja [dB]		Reflektancja [dB]			
Nr włókna/nr szafy/nr patchpanel/nr modułu (A)	Złącze A	Złącze B	Złącze A	Złącze B	Nr włókna/nr szafy/nr patchpanel/nr modułu (A)	
1 S00/M01/S01J	73,5	72,6			1 S00/M01/S01J	
2 S00/M01/S01J	71,0	74,0			1 S00/M01/S01J	
3 S00/M01/S01J	70,2	71,4			1 S00/M01/S01J	
4 S00/M01/S01J	73,1	70,3			1 S00/M01/S01J	

Wzór tabeli dla reflektancji złącz rozłącznych - jest wymagana dla wszystkich włókien i dla obu długości fal (1310nm i 1550nm).

Należy zwrócić uwagę na wprowadzenie do reflektometru poprawnej wartości współczynnika refrakcji (IOR-Index of Refraction). Tłumienie połączenia należy obliczać jako średnią arytmetyczną wartości pomiarów tłumienia, zgrzewów

światłowodów, uzyskanych z obu stron linii. W uwagach do tabel pomiarów reflektometrycznych należy opisać wszystkie połączenia o tłumieniu większym od 0,08 dB/0,15 dB (w zależności od ilości połączeń w odcinku regeneratorskim).

- Dokumentację pomiarową powykonawczą/protokoły pomiarowe należy dostarczyć w postaci papierowej i elektronicznej,
- Dla OTDR format zapisu danych powinien być zgodny z formatem „.sor”. Dla pozostałych plików pomiarowe zgodne z formatem ich zapisu danych. Wszystkie pliki pomiarowe powinny mieć nadaną nazwę jednoznacznie identyfikującą dany trakt/włókno pomiarowe i zapisane na nośniku elektronicznym załączonym do dokumentacji powykonawczej. Komplet wykonanych pomiarów należy dostarczyć z emulatorem wymaganym do odczytu plików w danym formacie (np. .sor) i analizy uzyskanych w pomiarach parametrów,
- Stosowane do prac urządzenia i przyrządy pomiarowe powinny posiadać wymagane sprawdzenia, legalizacje, kalibracje, wzorcowania.