

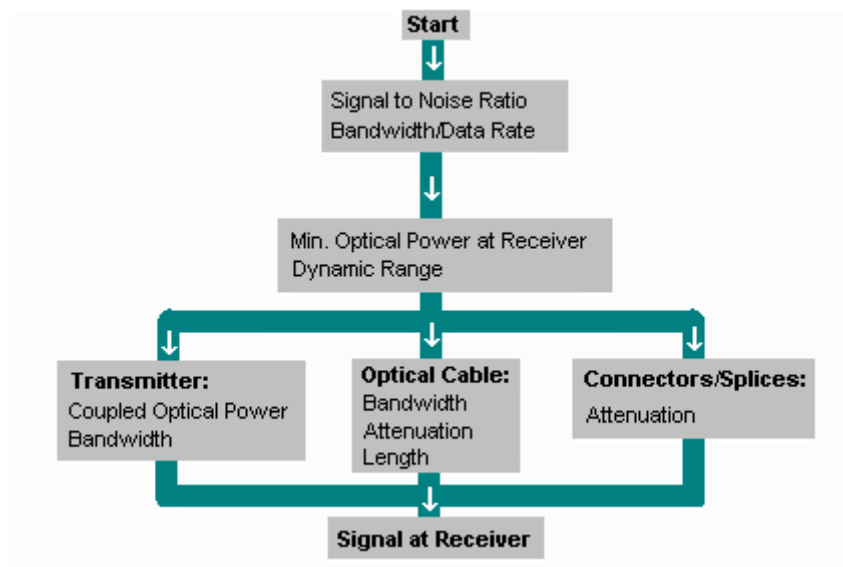
## 5. Procedura Projektowania Systemu<sup>1</sup>

### 5.1. Analiza systemu

Projektanci systemu muszą przejść następujące pięciu etapów, aby stworzyć światłowodowy optyczny system komunikacji:

1. Sprecyzować wymagania operacyjne systemu.
2. Opisać wymagania fizyczne i środowiskowe.
3. Obliczyć bilans mocy sygnału optycznego.
4. Dokonać analizy szerokości pasma sygnału.
5. Przejrzeć projekt systemu.

Ważne aspekty tych pięciu kroków procesu projektowania zostały wyszczególnione poniżej.



Rys. 5.1. Sposób postępowania przy tworzeniu systemu światłowodowego

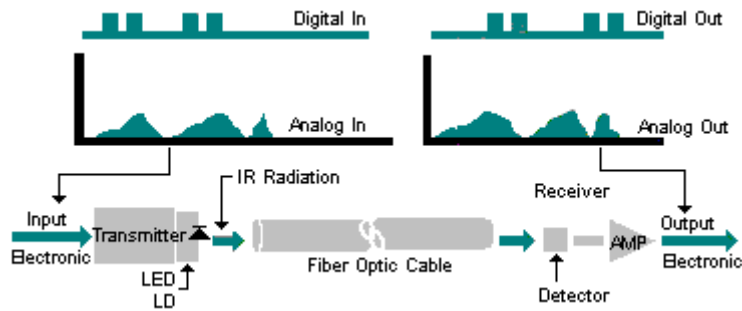
### 5.2. Wymagania operacyjne systemu (krok 1)

Proces projektowania systemu zaczyna się od określenia stosunku sygnał-szum, który zależy od szerokości pasma lub tempa danych<sup>2</sup> (np. strumienia wideo, wyrażonej w kilobajtach na sekundę). Powoduje to konieczność wyboru typu sygnału, analogowego lub cyfrowego. Od tego momentu nawet proste połączenie typu punkt-punkt będzie wymagało odpowiedniego sprzętu. Celem jest określenie, jaki poziom mocy optycznej będzie wymagany przy detektorze optycznym wewnątrz jednostki odbiorczej.

<sup>1</sup> Tłumaczenie: Strukiel Daniel, Ruciński Jarosław, Łobodziec Jacek, Wilk Adrian.

Źródło: <http://www.TechProcedure.htm>

<sup>2</sup> Data Rate



Rys. 5.2. Światłowodowy system optyczny do transmisji analogowej lub cyfrowej

Włókno światłowodowe może załatwić zarówno analogową jak i cyfrową transmisję i oferuje dodatkową możliwość przyszłej modernizacji poprzez prostą wymianę sprzętu w punktach nadajnika i odbiornika. Z tego powodu większość projektantów systemów światłowodowych specyfikują większe pasmo przenoszenia światłowodów niż to jest minimalnie wymagane.

### Sygnaly analogowe

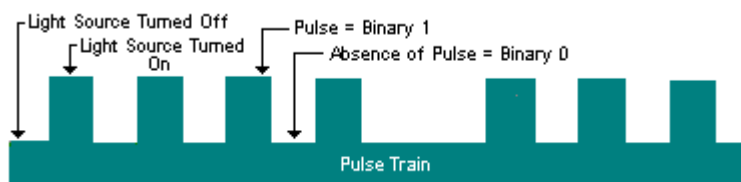
Sygnaly analogowe takie jak video i audio mogą bezpośrednio modulować wyjście optyczne poprzez rozświetlanie i przyciemnianie nadajnika optycznego. Jest to nazywane modulacją intensywności i jest prostą i bezpośrednią metodą kodowania sygnału w postaci fali optycznej.

Ulepszenie tak stosunku sygnał-szum, jak i liniowości transmisji może być osiągnięte poprzez zastosowanie technik modulacji częstotliwościowej (FM).

Tutaj źródło informacyjne wykorzystywane jest żeby modulować częstotliwość podnośnej, a za tym sygnał ten wykorzystywany jest do modulowania intensywności LED lub lasera. Ze względu na materialne i międzymodowe czynniki dyspersji, łącza FM potrzebują zwykle włókna z pasmem około  $200 \text{ MHz} \cdot \text{km}$  i więcej. Krótkie niepowtarzalne łącza sporadycznie modulowane są analogowo. Jednak większość zastosowań fali świetlnej używa teraz transmisji cyfrowej z prostą modulacją typu włącz-wyłącz.

### Sygnaly cyfrowe

W światłowodach, impuls cyfrowy można uzyskać poprzez włączenie źródła („on”) na krótką chwilę. Czas emisji promieniowania optycznego to impuls. Stan binarny „1” może być użyty do reprezentowania włączonej mocy („on”), a stan „0” wyłączonej („off”). Te dwa stany reprezentują sygnały binarne. Sygnaly cyfrowe składają się z ciągu bitów, skutkiem czego jest włączony lub wyłączony emiter.



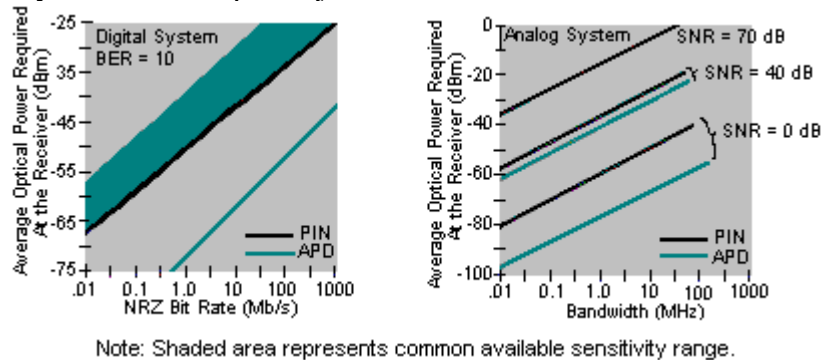
Rys. 5.3. Każdy impuls reprezentuje bit w transmisji cyfrowej, a czasy narastania i spadku serii zadają szybkość przesyłania danych wyrażoną w bitach na sekundę<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Bit Rate

Czas, jaki zajmuje impulsowi osiągnięcie pełnej amplitudy to czas narastania. Szybsze czasy narastania i opadania umożliwiają więcej pulsów za sekundę, w rezultacie większa ilość bitów informacji może być przesłana.

W systemach cyfrowych jednym z parametrów dla określenia osiągnięć systemowych jest bitowa stopa błędów transmisji (BER<sup>4</sup>). Większość systemów cyfrowych osiąga BER około  $1 \times 10^9$  (1 błąd w  $10^9$  bitów).

Istnieje wpływ długości na systemy cyfrowe, bo nim dalej impuls musi wędrować wzdłuż światłowodu, tym większe zniekształcenia powstają. Wynikowy poziom mocy optycznej wymagany przy detektorze jest funkcją szybkości przesyłania danych lub szerokości pasma. Poziomy te dla cyfrowych i analogowych sygnałów są pokazane dla detektorów krzemowych na 850 nm poniżej.



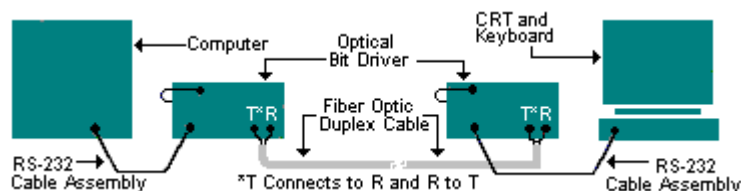
Rys. 5.4. Średnia moc optyczna wymagana przez cyfrowe lub analogowe systemy

Kiedy już zostaną wybrane zastosowania (do TV, telefonu lub komputera), typ sygnału (analogowy, cyfrowy), i szybkość przesyłania danych, to następnym krokiem będzie opisanie fizycznego rozmieszczenia i wymagań środowiskowych.

### 5.3. Rozmieszczenie systemu (Krok 2).

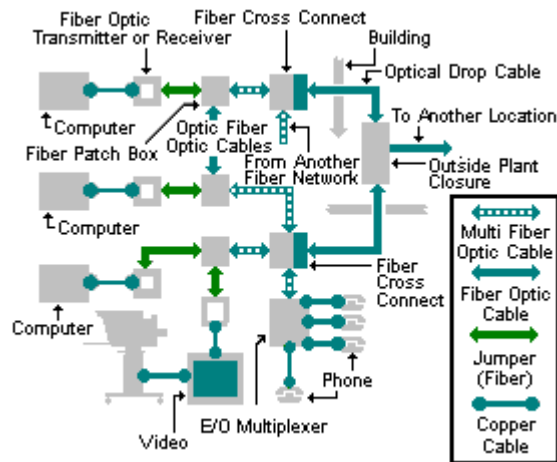
Żeby określić komponenty konieczne do kompletowania systemu światłowodowego wymagane są detalizacja odległości transmisji i określenie środowiska działania systemu.

Prosty system punkt-punkt lub bardziej rozbudowana sieć LAN, obejmująca funkcje telefonu, danych, video, sterowania i alarmu, z punktu widzenia okablowania sieci optycznej są sobie równe. Obecna technologia światłowodowa pozwala na wydzielenie włókna do transmisji sygnału w jednym kierunku.



Rys. 5.5. Widok łącza zbierającego kable w proste połączenie światłowodowe

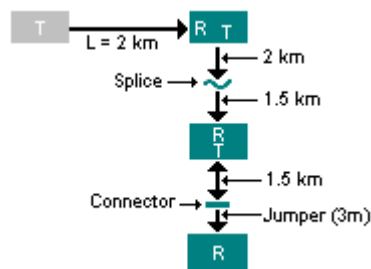
<sup>4</sup> Bit Error Rate



Rys. 5.6. Diagram połączeń dla systemu światłowodowego, włączając łącza telefoniczne, komputerowe i video

Zatem większość systemów punkt-punkt będzie wymagać przynajmniej dwóch włókien, aby zapewnić równoczesną transmisję w dwóch kierunkach<sup>5</sup>.

Projektant powinien przedstawić schemat rozmieszczenia (podobny do pokazanego poniżej) oraz wykorzystać informację wynikową.

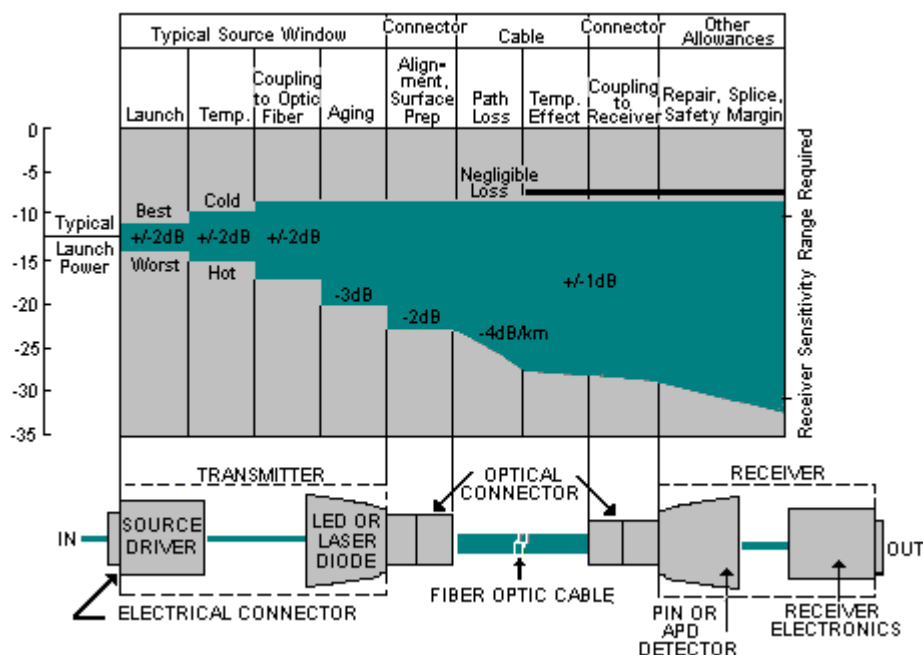


Rys. 5.7. Schemat rozmieszczenia powinien wyszczególniać odległości pomiędzy wszystkimi segmentami

### 5.4. Bilans mocy optycznej sygnału (Krok 3)

Znając rozmieszczenie systemu i jego komponenty projektant może obliczyć oczekiwane straty w każdym punkcie systemu.

<sup>5</sup> Full Duplex

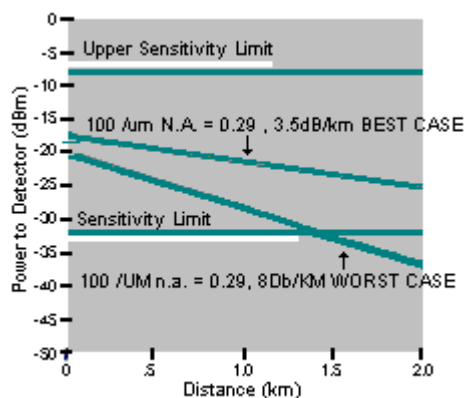


Rys. 5.8. Analiza mocy połączeń optycznych dana dla każdej pary T/R<sup>6</sup>

Każdy komponent, włączając światłowód, posiada swój własny stopień strat spowodowany różnicami producenta. Dioda LED, przykładowo będzie specyfikowana minimalną, średnią i maksymalną wyjściową mocą optyczną. Zakres ten może mieć całe 4dB (60%).

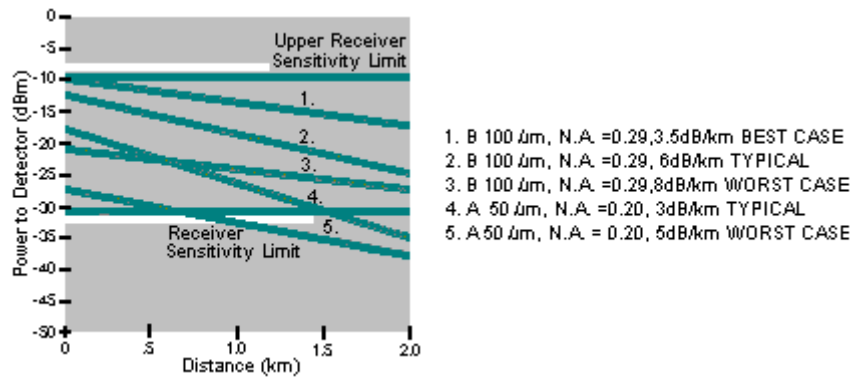
Detektory również mają swój zakres czułości. To projektant systemu musi określić moc optyczną konieczną na wejściu detektora na podstawie informacji dostarczanej przez producenta.

Gdy już są ustalone poziomy mocy nadajnika i odbiornika, powstaje możliwość rozważenia mocy transmitowanej w zależności od długości linii. Można to zobaczyć poprzez nakreślenie mocy na diagramie.



Rys. 5.9. Wykorzystanie określone odbiornikiem

<sup>6</sup> T/R - Transmit/Receive

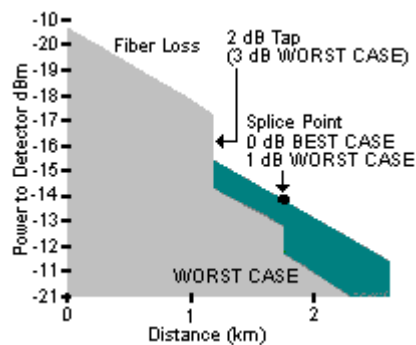


Rys. 5.10. Długości światłowodu i zakresy nadajnika, żeby wyznaczyć jeden z dwóch porównywanych rozmiarów rdzenia: długości światłowodu (np. nadajnik 10Mb/s, rdzeń światłowodu 50 mkm i 100 mkm przy długości fali 850 nm).

Jak pokazano na przykładzie, włókno ze 100 mikronowym rdzeniem było przeanalizowane do zastosowania z nadajnikiem 10 Mb/s przy długości fali 850 nm. Zarówno najlepszy jak i najgorszy przypadek zostały pokazane ze średnim poziomem w oczekiwanym zakresie.

Również zostały pokazane najwyższa i najniższa granicy czułości detektora. Wykres pokazuje, że maksymalny dystans transmisji to 1,4 km.

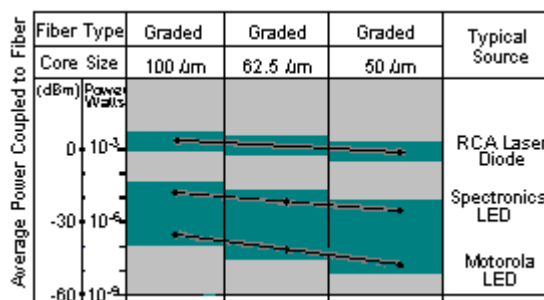
Początkowe poziomy mocy zmieniają się odpowiednio do początkowego zakresu emitera. Gdy występują rozgałęzienia i złączenia światłowodu, ich parametry mogą być uwzględnione jako część łącznych strat lub pokazane gdzie one mogą występować w systemie.



Rys. 5.11. Typowy poziom mocy optycznej w systemie z rozgałęzieniami i złączeniami.

Należy wykorzystywać albo szczytowe, albo średnie znaczenie wartości mocy optycznej do określenia tłumienia w systemie i być konsekwentnym w swoim wyborze przez całą analizę systemu.

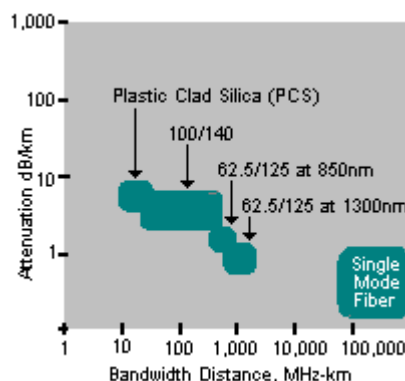
Moc sprzężona z różnymi typami światłowodów przez kilka typowych emiterów źródłowych podana w szczegółach na rys. 5.12. pozwala na zapas około 4 do 6 dB żeby uwzględnić termiczne zmiany włókna optycznego, naprawę uszkodzonych kabli i degradację źródła w czasie.



Rys. 5.12. Wykres sprężenia mocy optycznej „źródło z włóknem” dla kilku emiterów

## 5.5. Wybór światłowodu.

Różne właściwości światłowodu takie jak tłumienność, apertura numeryczna (NA), średnica rdzenia były już przedstawione w tym rozdziale. NA i średnica rdzenia powinny być uwzględnione jako warunki początkowe. Wszystkie światłowody mogą być porównywane na długości jednego kilometra pod względem właściwości włókien i stosunkowej mocy optycznej.



Rys. 5.13. Właściwości operacyjne różnych typów włókna

TABELA 5.1. Porównanie mocy optycznej dla różnych typów światłowodów

Struktura materiału	Typ	Pasma		Współczynnik odebrania względny (dB) <sup>7</sup>	Moc optyczna względna (dB) na 1 km <sup>8</sup>
		Średnica rdzenia, mkm	Apertura numeryczna		
Silica	Jednomodowy	10	0.11	-28.4	-23.9
Silica	Wielomodowy	50	0.20	-9.25	-7.25
Silica	Wielomodowy	62.5	0.275	-4.54	-2.55
Silica	Wielomodowy	100	0.29	0.0	0.0
PCS <sup>9</sup>	Wielomodowy	200	0.27	+5.4	+3.4

Niektóre typy włókna z sukcesem pasowały do zastosowań specjalnych.

Na przykład, dla większości sieci LAN lub systemów danych wybór koncentruje się na światłowodach wykonanych całkowicie z krzemu<sup>10</sup>. Dostępne są liczne konstrukcje

<sup>7</sup> Względna ilość promieniowania sprzężonego z włóknem o długości 1 km. Krótsze długości mogą mieć wyższe wartości.

<sup>8</sup> Oparte na różnicy w transmisji poprzez kable długości 1 km z rdzeniem 100 mikronów i 5 dB/km (850 nm) jako podstawę normalizacji. Pierwotnie wykorzystywano przy 1300 lub 1550 nm.

<sup>9</sup> Plastic-Clad Silica

rdzenia/płaszcz z ustaleniem wykonania, ceny i standaryzacji. Obecnie trzy rozmiary są rozpatrywane najczęściej:

rdzeń/płaszcz	pasmo	
	850nm	1300nm
50/125	500	500
62.5/125	160	500
100/140	100	200

Systemy video i CATV często wymagają 50/125 oraz światłowodu jednomodowego ze względu na swoje charakterystyki – wysokie pasmo przenoszenia i niskie straty. Nowoczesne międzymiastowe magistrale telefoniczne także wymagają światłowódów jednomodowych.

Włókna mogą być wybierane, w zależności od ich pasma i tłumienności, w jedno lub dwuokiennej wersji. Raz jeszcze, tłumienności włókien optycznych będzie różniła się w zależności od długości fali nadajnika. Tabela strat w kablach światłowodowych produkcji Belden podana jest poniżej.

TABELA 5.2. Osiągi kabli światłowodowych firmy Belden

Materiał Struktura	Średnica Rdzenia (mkm)	Apertura Numeryczna	Tłumienie (dB/km)	Pasmo (MHz/km)
Silica	50	0.200	3.0	500
Silica	62.5	0.275	3.5	160
Silica	100	0.290	5.0	100
PCS	200	0.270	7.0	20

\* Wartości dla długości fali 850nm.

## 5.6. Analiza pasma (Krok 4).

Podczas gdy tłumienność jest jednym z najważniejszych parametrów dla systemów światłowodowych, pasmo przenoszenia jest drugim takim parametrem. Tutaj celem jest zapewnienie, że wszystkie komponenty mają odpowiednie pasmo do transmisji wymaganego sygnału. Sieci lokalne typowo wymagają pasma od 20 do 600 MHz/km. Z drugiej strony, dalekosiężne systemy telefoniczne używają długie odległości pomiędzy regeneratorami<sup>11</sup> sygnału i potrzebują jednomodowego włókna z pasmem 100000 MHz/km.

Światłowod ma spadek wartości sygnału optycznego na 3 dB (połowa mocy) w paśmie określonym dla tego światłowodu. Konwersja pomiędzy pasmem elektrycznym a optycznym dla systemu lub dla każdego z komponentów, jak włókno, jednostka odbiornika lub jednostka nadajnika, dokonywana jest poprzez wzór:

$$BW_{\text{optyczne}} = 1.41 BW_{\text{elektryczne}}$$

<sup>10</sup> All-silica

<sup>11</sup> Repeater



W niektórych przypadkach producenci odbiornika lub nadajnika precyzują czas narastania<sup>12</sup>. Pasma elektryczne (BW w MHz) dla komponentów jest powiązane z ich 10%-90% czasem narastania (t w nanosekundach) przez zależność:

$$BW = 350/t$$

A całkowite pasmo elektryczne systemu jest uzyskane poprzez sumę pasm poszczególnych komponentów wg zależności:

$$1/BW^2 = 1/BW_R^2 + 1/BW_C^2 + 1/BW_T^2,$$

gdzie  $BW_R$ ,  $BW_C$  i  $BW_T$  to elektryczne pasma odpowiednio odbiornika, kabla i nadajnika. Dla systemów cyfrowych pasmo systemu zależy od szybkości transmisji danych ( $R$  w bit za sekundę) i formatu kodowania wg zależności:

$$BW_{system} = R/K,$$

gdzie  $K$  to 1.4 dla formatu kodowania bez powrotu do zera (NRZ<sup>13</sup>) i 1.0 dla formatu kodowania z powrotem do zera (RZ<sup>14</sup>).

Pasmo całego systemu jest ograniczone przez komponent z najmniejszym pasmem w łączy. Kiedy, przykładowo używany jest światłowód z szerokim pasmem charakterystyka częstotliwościowa systemu może być pod większym wpływem urządzeń terminalnych niż samego światłowodu.

Główną wskazówką podczas wyboru urządzeń terminalnych jest wybór odbiornika o paśmie większym niż wymagane pasmo całego systemu. Nadajnik i włókna powinny zatem mieć pasmo około 1.5 do 2 razy większe od odbiornika.

Znowuż, systemy są zwykle bardziej efektywne cenowo przy większych szybkościach transmisji danych. I, na przykład pozwalając na większe pasmo światłowodu niż to jest wymagane minimalnie, pozwalamy na późniejszą modernizację pojemności systemu. Należy uważać, decydując o paśmie optycznym w MHz/km dla serii połączonych kabli planowanych z długością większą od kilometra.

Przybliżony stosunek pomiędzy wynikowym pasmem kabla ( $BW_{Co}$ ) i pasmem jednokilometrowej sekcji włókna ( $BW_f$ ):

$$BW_f = BW_{Co} (L) x$$

$L$  jest to długość włókna w kilometrach. Wartość  $x$  ekwiwalentna 1.0 dla kabla długości ( $L$ ) jeden kilometr lub mniej. Ale  $x$  ekwiwalentne 0.75 dla włókna w kablu długości większej od 1 kilometr.

Tutaj parametry  $1/BW^2$  obliczane są indywidualnie i dalej kombinowane w serii kroków żeby dostarczyć wynikowe pasmo systemu.

## 5.7. Przejrzanie systemu (krok 5).

Jest to etap, w którym projektant systemu sprawdza wszystkie elementy, aby przekonać się, że wszystko współpracuje by dostarczać właściwy sygnał we właściwe miejsce i we właściwym czasie.

---

<sup>12</sup> Risetime

<sup>13</sup> Non-return-to-zero

<sup>14</sup> Return-to-zero

Liczba włókien lub kabli zależy od żądanej liczby kanałów lub żądanej pojemności nośnej sygnału. Kable zawierające włókna ze specjalnie szerokim pasmem są dostępne jako produkcja wykonana na zamówienie.

Kompletna struktura okablowania może być ustanowiona przy użyciu następujących kryteriów:

- Konstrukcja kabla: hybrydowe, całkiem dielektryczne, metalowe, wzmocnione.
- Materiały płaszczka: PVC, poliuretan, polietylen, inne.
- Ochrona środowiskowa: materiały nierozprzestrzeniające płomienia (lub kod UL), odporność na światło słoneczne, wodoodporność, blokowanie wody (wypełnienie żelowe), ochrona przed gryzoniami (uzbrojenie), odporność na promieniowanie jądrowe, inne.
- Odporność chemiczna na: olej, kwas, zasady, rozpuszczalniki.
- Właściwości włókien: liczba włókien, typ włókna, rozmiar rdzenia, długość fali, tłumienność, szerokość pasma, apertura numeryczna (NA), podwójne okno.
- Liczba i typ przewodników elektrycznych.

Specyficzne materiały oraz wielowłóknowa konstrukcja skutkują różnorodnością projektów kabli, które włączają rozliczne włókna, żeby spełnić specyficzne zastosowania.

Konstrukcje hybrydowe mające tak optyczne włókna, jak i przewodniki metalowe są częścią serii kabli optycznych Belden®.

Można spodziewać się, że dokument ten rozsądzi identyfikację i opis użytecznych systemów światłowodowych. Ze względu na rozwój technologii i obszerne zamówienia projektowanie systemów ciągle się zmienia. Dokument ten bazuje na komponentach dostępnych obecnie, o zmianach można dowiadywać się u sprzedawców, projektantów lub producentów.