

Sieci optoelektroniczne

Wykład 6: „Projektowanie systemów transmisji światłowodowej”

dr inż. Walery Susłow



Podstawowe pytania (przed rozpoczęciem prac projektowych)

- Jaka jest maksymalna odległość transmisji?
- Czy w przyszłości system będzie rozwijany?
- Jakiego rodzaju sygnały chcemy przesyłać?

Sygnały analogowe:

- Jakiego rodzaju modulacja ma być użyta?
- Jakie jest pasmo zajmowane przez sygnał użyteczny?
- Jaki jest minimalny stosunek sygnału do szumu w odbiorniku?

Sygnały cyfrowe:

- Jaka szybkość transmisji?
- Jaka żądana elementowa stopa błędów?
- Jaka czułość odbiornika?



Wiadomości fundamentalne

Projektowanie łączy światłowodowego polega na:

- ✓ wyborze odpowiedniego światłowodu,
- ✓ wyborze odpowiedniego źródła światła,
- ✓ wyborze odpowiedniego detektora.

Przy projektowaniu uwzględnić trzeba trzy rodzaje ograniczeń:

- ✓ związane z tłumieniem światłowodu,
- ✓ związane z jego dyspersją,
- ✓ związane z nieliniowością źródła światła.



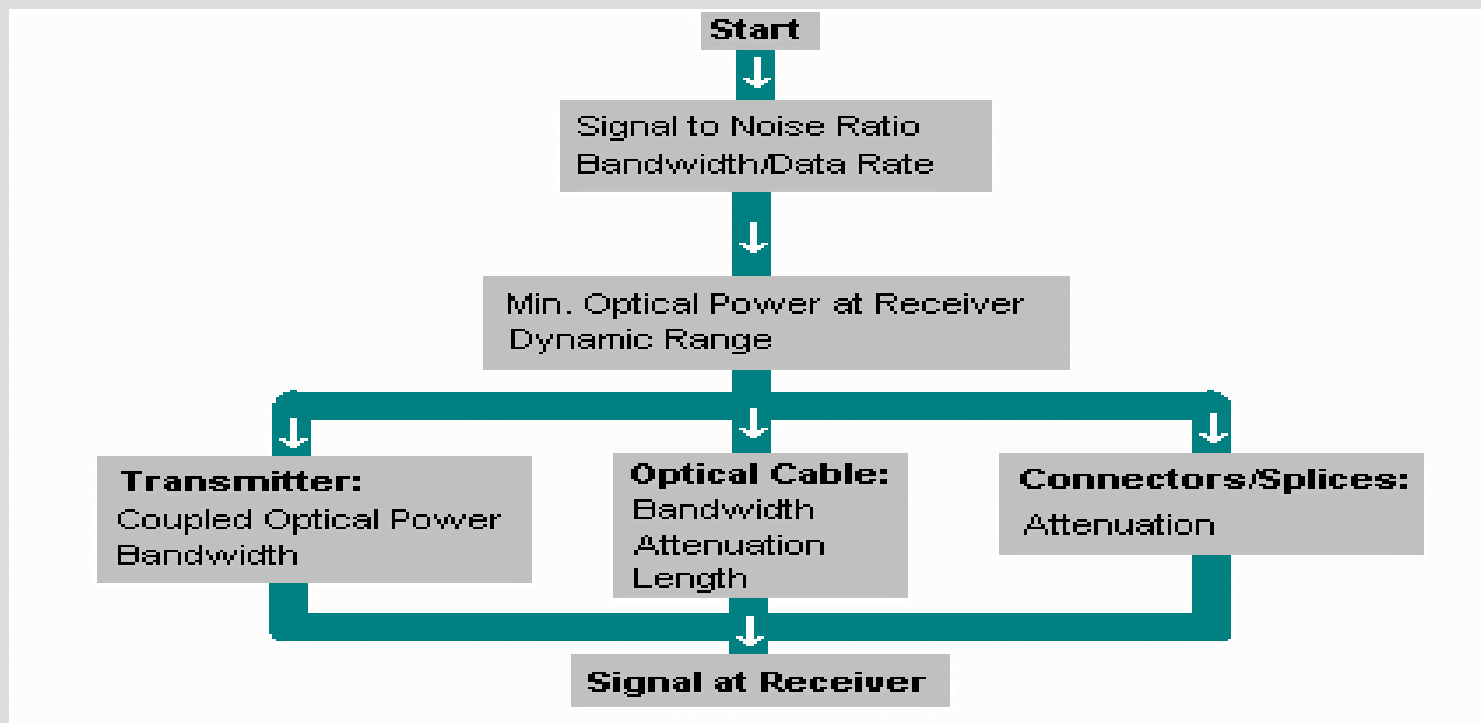
Analiza systemu światłowodowego

Podstawowe zagadnienia w planowaniu systemu optycznego:

- ✓ Elementy pasywne (wybór i parametry, bilans mocy).
- ✓ Szum i liniowość systemów analogowych.
- ✓ Ograniczenia przepływności w systemach cyfrowych.



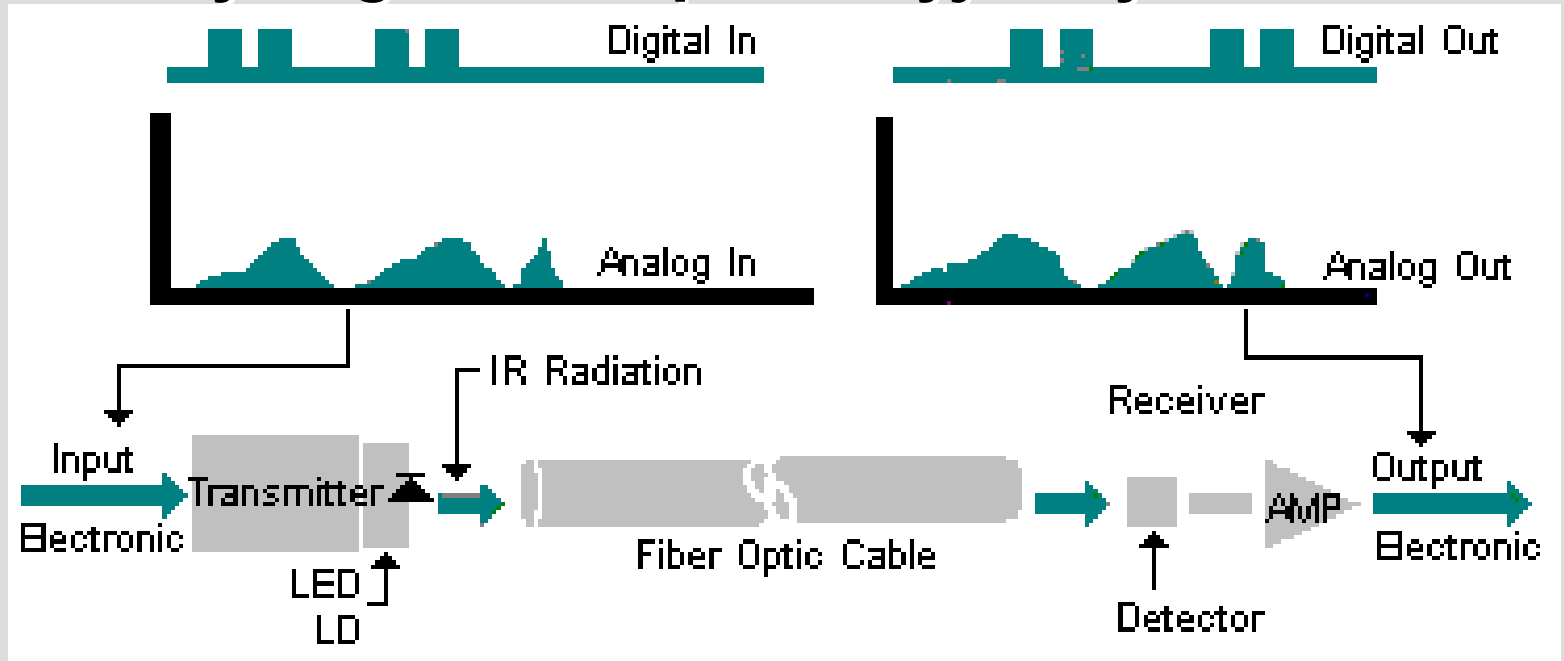
Analiza systemu światłowodowego, cd.



- ✓ Zdefiniuj wymagania eksploatacyjne systemu.
- ✓ Opisz wymagania fizyczne oraz wymagania otoczenia.
- ✓ Oblicz bilans mocy sygnału optycznego.
- ✓ Dokonaj analizy pasma sygnału.
- ✓ Przejrzyj i zweryfikuj projekt systemu.



Wymagania eksploatacyjne systemu



Ustalamy zamierzony stosunek sygnału do szumu, celem jest oszacowanie poziomu mocy optycznej wymaganej w odbiorniku.

Większe pasmo umożliwia w przyszłości łatwą modernizację systemu, np. przejście z transmisji analogowej na cyfrową tylko poprzez zamianę nadajnika i odbiornika.



Podstawowe kryteria projektowe

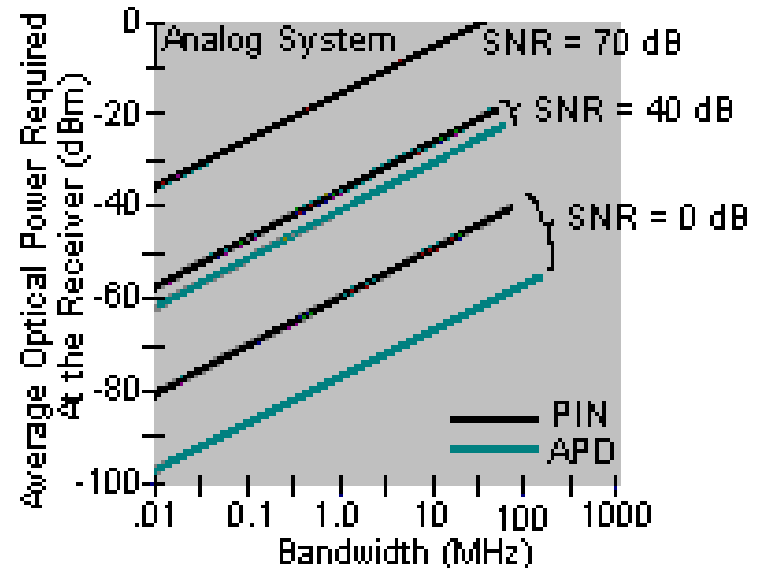
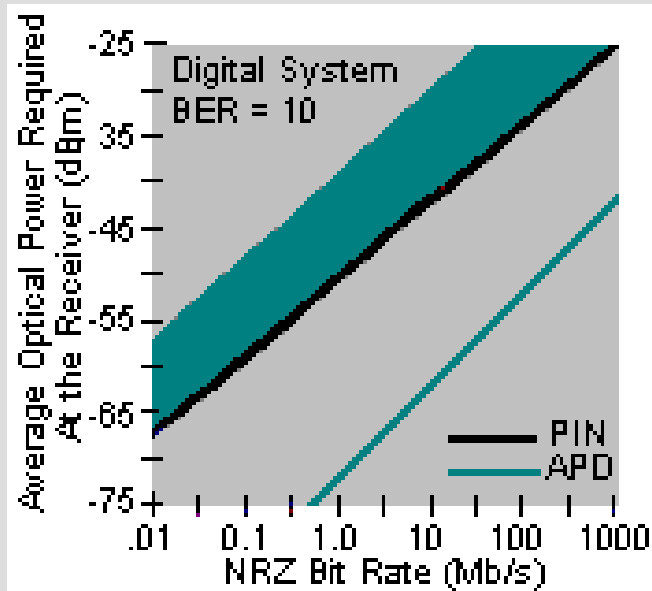
Kryterium minimalizacji kosztów:

- koszty LED niższe od kosztów LD,
- ceny źródeł i detektorów światła rosną ze wzrostem długości fali,
- fotodiody PIN są tańsze od lawinowych,
- światłowody wielodomowe są tańsze od jednomodowych.

Inne kryteria?



Sygnal analogowy czy cyfrowy?



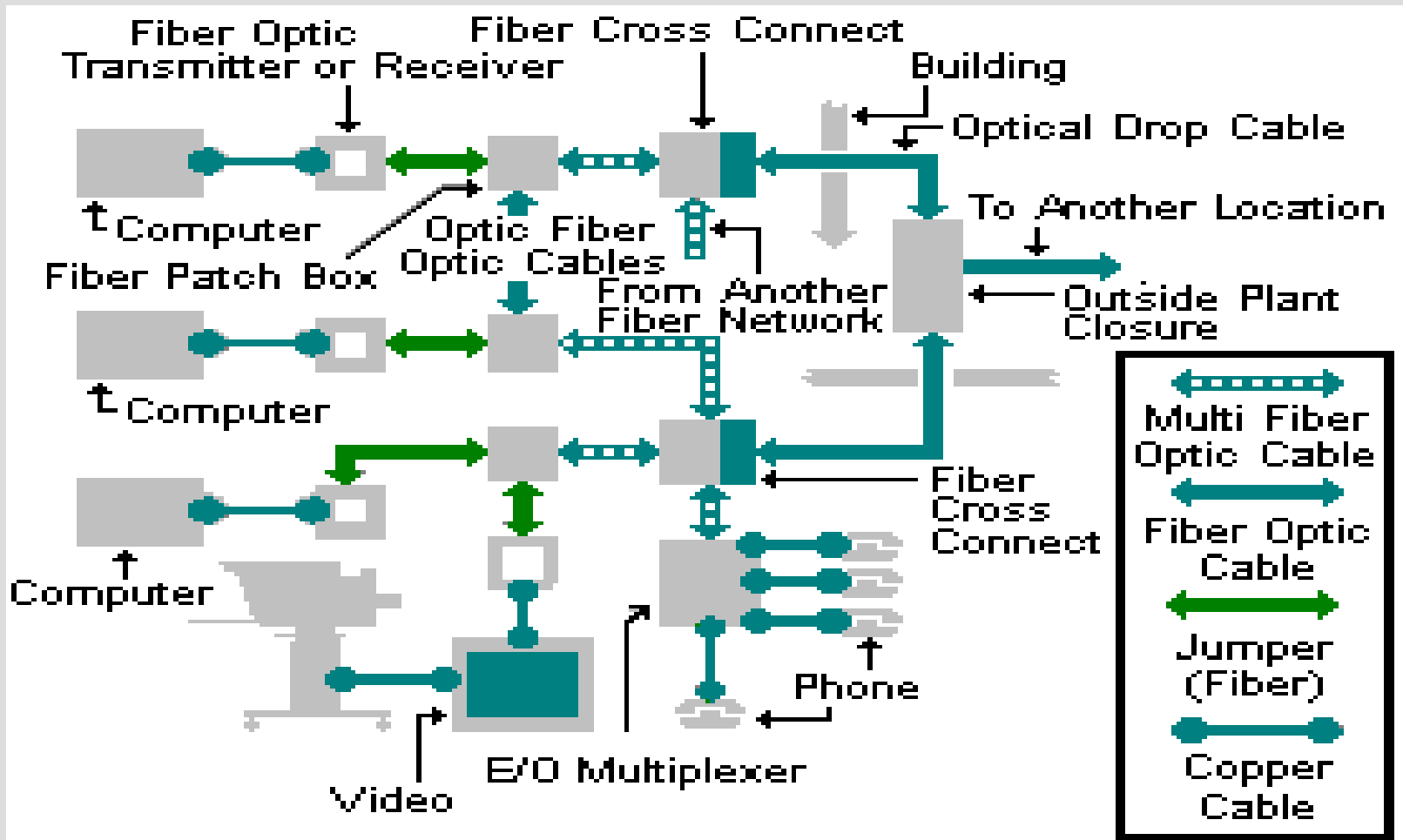
Note: Shaded area represents common available sensitivity range.

Jedyny parametr w systemach cyfrowych Bit Error Rate (BER).
Większość systemów cyfrowych osiąga BER na poziomie 1×10^{-9} bits.



Początkowy poziom mocy optycznej w nadajniku zależy od BER lub szerokości pasma.

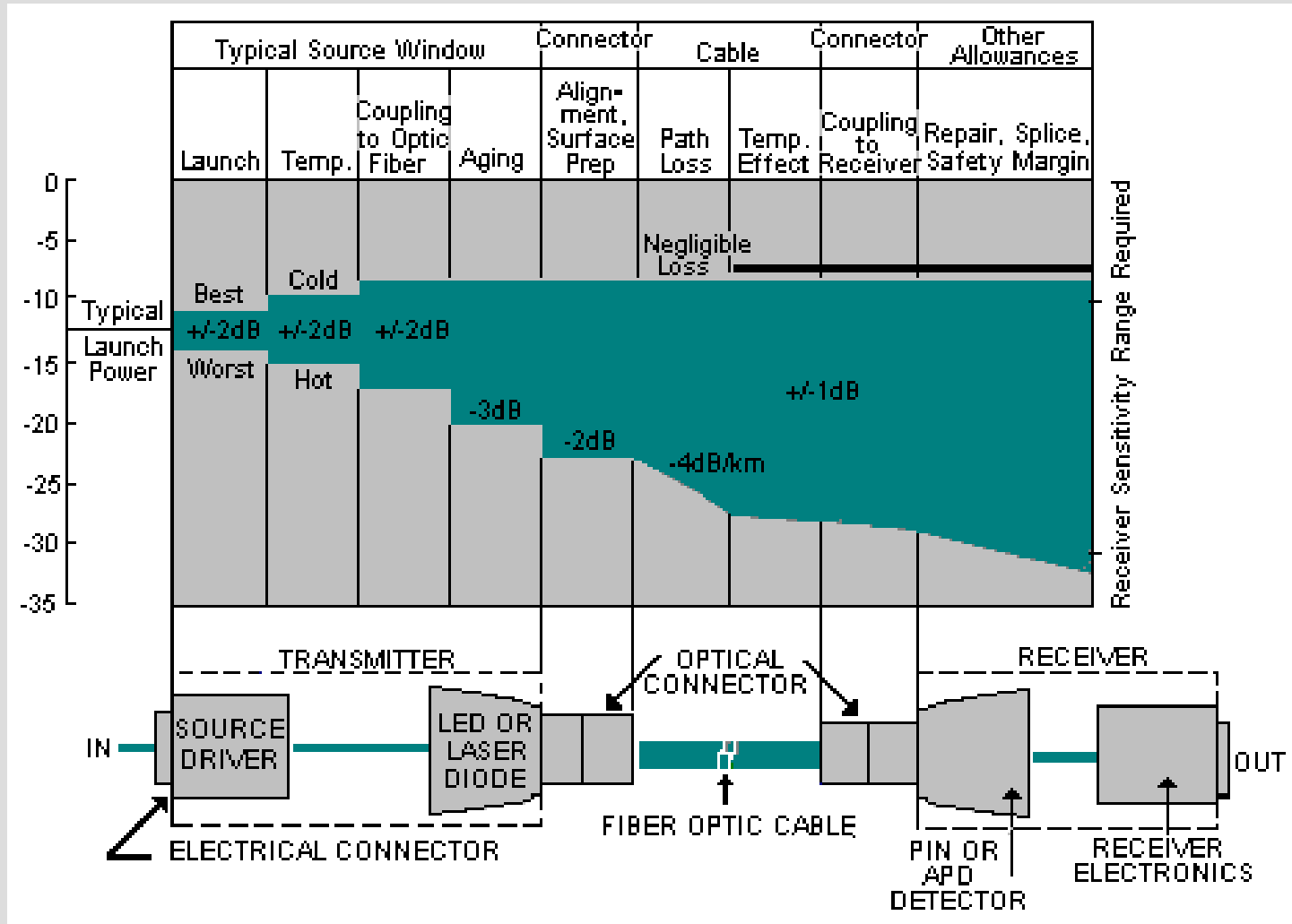
Otoczenie systemu komunikacji optycznej



Schemat połączeń dla systemu światłowodowego zawiera łącza do telefonów, komputerów, video.



Bilans mocy optycznej łącza



Analiza mocy łącza optycznego wykonywana jest dla każdej pary T/R.

Bilans energetyczny łącza

Określenie mocy wprowadzonej do światłowodu, czułości odbiornika, strat mocy podczas transmisji w światłowodzie.

W momencie przekazania linii światłowodowej do eksploatacji zachowany powinien być pewien margines tłumienia:

- 10% całkowitej tłumienności linii na możliwe uszkodzenia kabla i połączenia zgrzewane,
- dodatkowo α_u dla urządzeń na starzenie się źródeł światła.



Bilans energetyczny łączy, cd.

Marginesy α_u dla systemów SD:

- -3.0 dB dla nadajników laserowych termostatowanych elementem Peltier,
- -4.0 dB dla nadajników laserowych bez termostatu,
- -4.5 dB dla nadajników z diodą elektroluminescencyjną.

$$\alpha_c = 1.1(\alpha_L + N\alpha_s + M\alpha_k) + \alpha_u$$

N – liczba spawów, M – liczba połączeń rozłącznych, L – długość linii, $\alpha_s = 0.1$ dB, $\alpha_k = 0.5$ dB



Bilans energetyczny łączy, cd.

Jeśli bilans energetyczny wykaże, że transmisja na żadaną odległość nie jest możliwa:

- ✓ stosujemy laser o większej mocy lub optyczny wzmacniacz mocy (booster) w nadajniku,
- ✓ stosujemy światłowód o mniejszej tłumienności (pasmo 1.55 mm),
- ✓ stosujemy odbiornik o większej czułości (np. fotodiody lawinowa) albo przedwzmacniacz w odbiorniku.



Bilans energetyczny łączy, cd.

Przy wyczerpanych możliwościach wyboru:

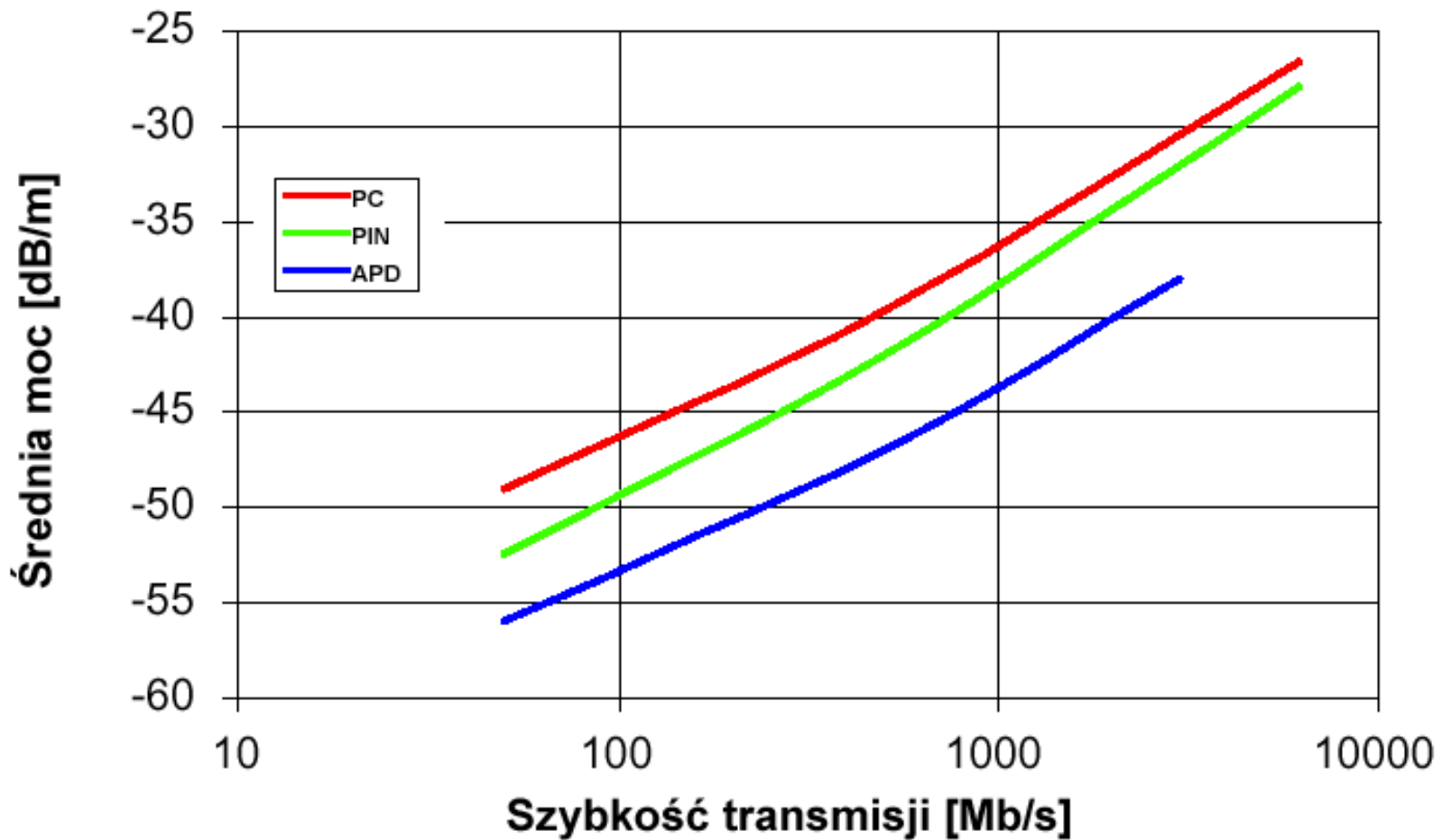
- detektora określonego przez jego czułość,
- włókna (tłumienie),
- źródła (moc wyjściowa).

Pozostaje możliwość zastosowania regeneratorów:

- ✓ Obliczanie długości odcinków międzyregeneratorowych?



Przykładowy diagram czułości detektorów



Obliczenie wymaganej mocy źródła

Bilansowanie mocy:

$$P_o - P_R + P_L + 6 \geq 0.$$

Wymaganą moc źródła obliczamy ze wzoru:

$$P_o \geq P_R + P_L + 6,$$

gdzie:

P_o = wymagana moc optyczna,

P_R = czułość detektora,

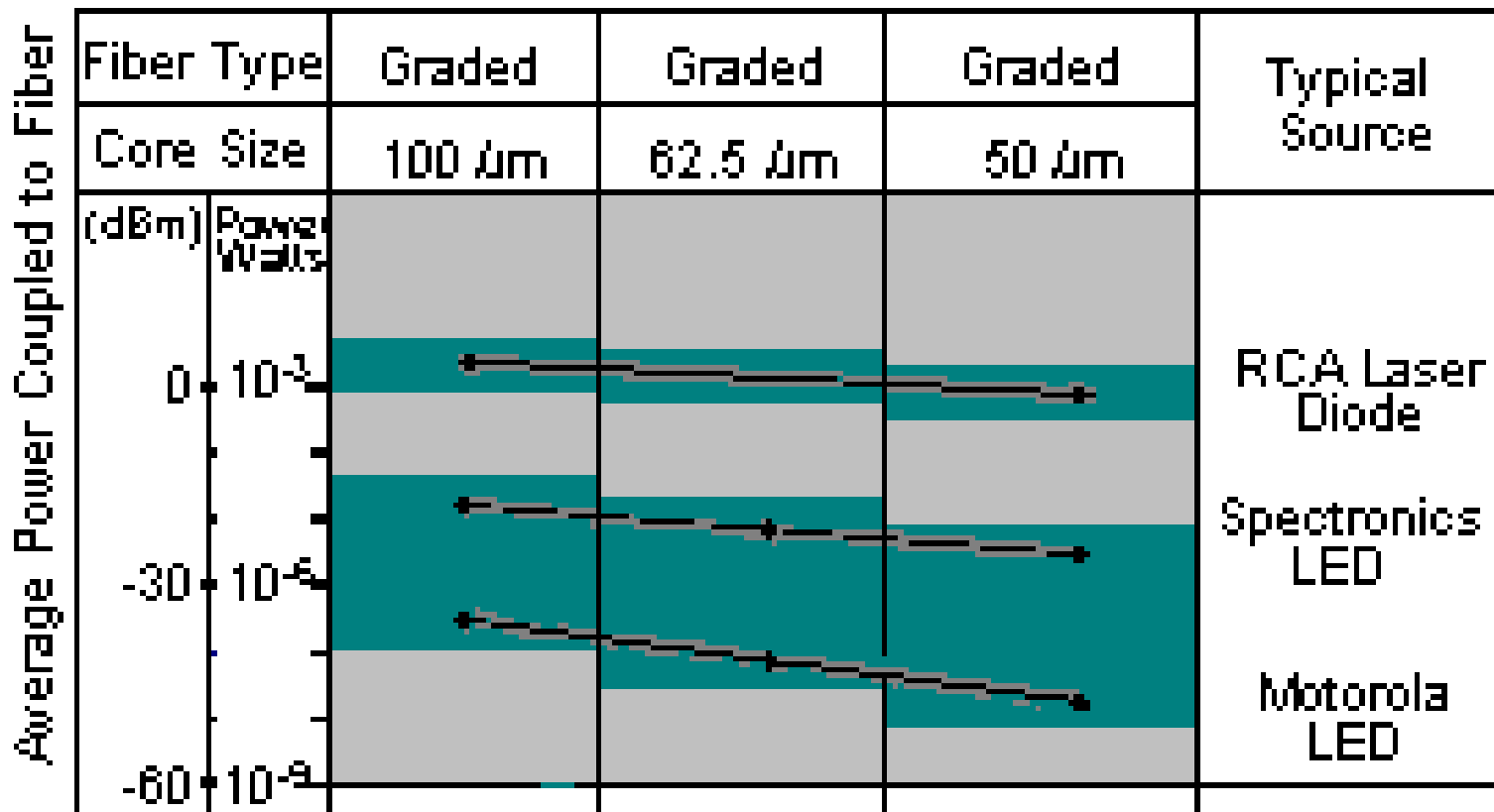
P_L = całkowite straty linii,

6 = 6 dB margines bezpieczeństwa.

W obliczeniach używamy dBm jako jednostek mocy optycznej (dB poniżej 1 mW).



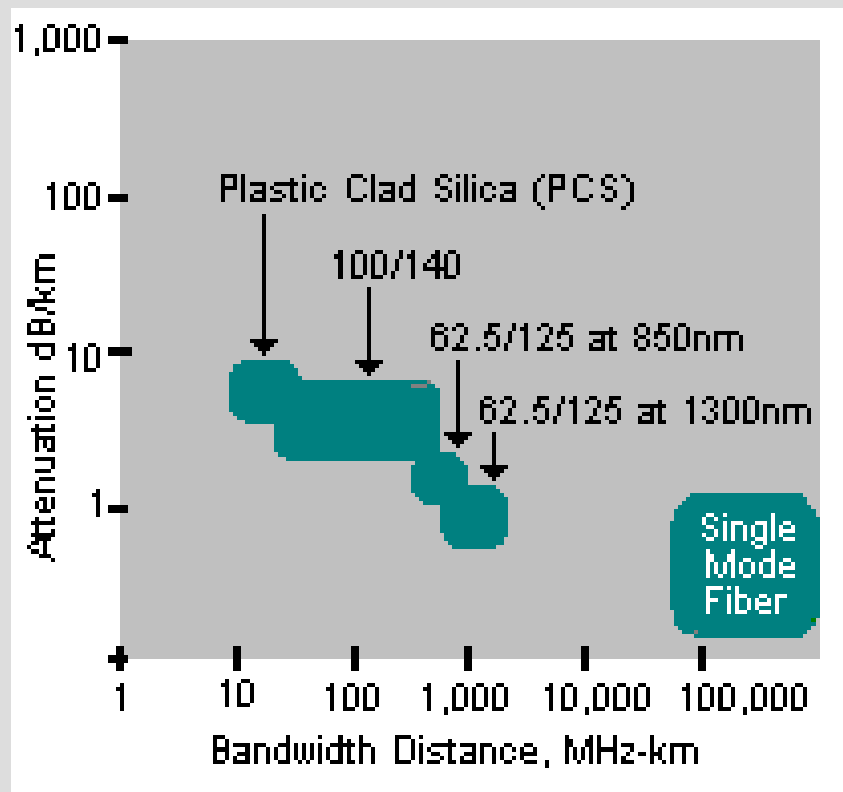
Różne typy włókna światłowodowego oraz kilka typowych źródeł



Okolo 4 dB pozwolą uwzględnić zmiany termiczne włókna, naprawy przy uszkodzeniu i naturalną degradację właściwości podczas eksploatacji.



Wybór włókna



Mają znaczenie rozliczne parametry włókna, w tym typowe tłumienie, apertura numeryczna, średnica światłowodu. Wszystkie włókna można porównywać na długości jednego kilometra pod względem ich parametrów oraz względnej mocy optycznej.



Porównanie względnej mocy optycznej

Material Structure	Bandwidth			Relative Collection Factor (dB) ¹	Relative Optical Power (dB) at 1 km ²
	Type	Core Dia. Micron (μm)	Numerical Aperture		
Silica	Single Mode	10μm	0.11	-28.4	-23.9
Silica	Multimode	50	0.20	-9.25	-7.25
Silica	Multimode	62.5	0.275	-4.54	-2.55
Silica	Multimode	100	0.29	0.0	0.0
PCS*	Multimode	200	0.27	+5.4	+3.4

*Plastic-Clad Silica



Ograniczenia zwiazane z dyspersja wiatowodu

Dyspersja liniowa [ps/nm] – wiatowody jednodomowe,
gorna czestotliwoc przenoszenia – wiatowody
wielodomowe.

Dla transmisji sygnaow cyfrowych o szybkoci $1/T$:

$$D\Delta\lambda L \ll T \quad \text{lub} \quad T \gg 1/f_{3\text{dB}} (*)$$

Dla sygnaow analogowych o pamie B :

$$B \ll f_{3\text{dB}} \quad \text{lub} \quad B \ll 1/(D\Delta\lambda L) (**)$$



Ograniczenia związane z dyspersją światłowodu, cd.

Jeżeli transmisja na żadaną odległość nie jest możliwa z powodu dużej dyspersji, to w przypadku światłowodów wielodomowych można:

- użyć światłowód o większej wartości f_{3dB} ,
- zastąpić światłowód wielodomowy jednodomowym.

W przypadku światłowodów jednodomowych można:

- użyć źródła światła o mniejszej szerokości linii widmowej,
- użyć laser DFB z amplitudowym modulatorem zewnętrznym,
- użyć światłowód o mniejszej dyspersji,
- zastosować połączenie zwykłego światłowodu ze światłowodem kompensującym dyspersje (DCF).



Ograniczenia związane z nieliniowością źródła

Występują w przypadku wielokanałowych systemów analogowych AM, CATV AM-VSB. Dotyczą nadajnika.

Gdy zniekształcenia nieliniowe uniemożliwiają poprawną transmisję:

- rozważyć zmniejszenie indeksu modulacji m , zmienić rodzaj modulacji na FM,
- rozważyć możliwość zmiany sygnału analogowego na cyfrowy.



Typowe przykłady wyboru włókna

Wybór dla większości LAN lub systemów obróbki danych obecnie koncentruje się na włóknach kwarcowych. Najczęściej rozpatrywane są trzy kolejne typy:

		Bandwidth (MHz/km)	
		850	1300
Core	Cladding		
50	125	500	500
62.5	125	160	500
100	140	100	200



Systemy Video i CATV często wynajmują 50/125 oraz pojedyncze włókna z powodu ich szerokiego pasma i niskich strat. Współczesne kompanie telefoniczne także wynajmują włókna tego typu dla połączeń międzymiastowych.

Analiza pasma (BW)

- ✓ BW optical = 1.41 BW electrical
- ✓ The electrical bandwidth (BW in MHz) for a component is related to its 10%--90% risetime (t in ns) by:

$$BW = 350/t.$$

- ✓ And the total system electrical bandwidth is obtained from individual component bandwidth by:

$$1/BW^2 = 1/BWR^2 + 1/BWC^2 + 1/BWT^2,$$

where BWR, BWC and BWT are the electrical bandwidth of the receiver, cable and transmitter respectively.

- ✓ For digital systems the system bandwidth will depend on the data rate (R in bits per second) and the coding format according to:

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

where K equals 1.4 for a non-return-to-zero (NRZ) coding format and 1.0 for a return-to-zero (RZ) format.

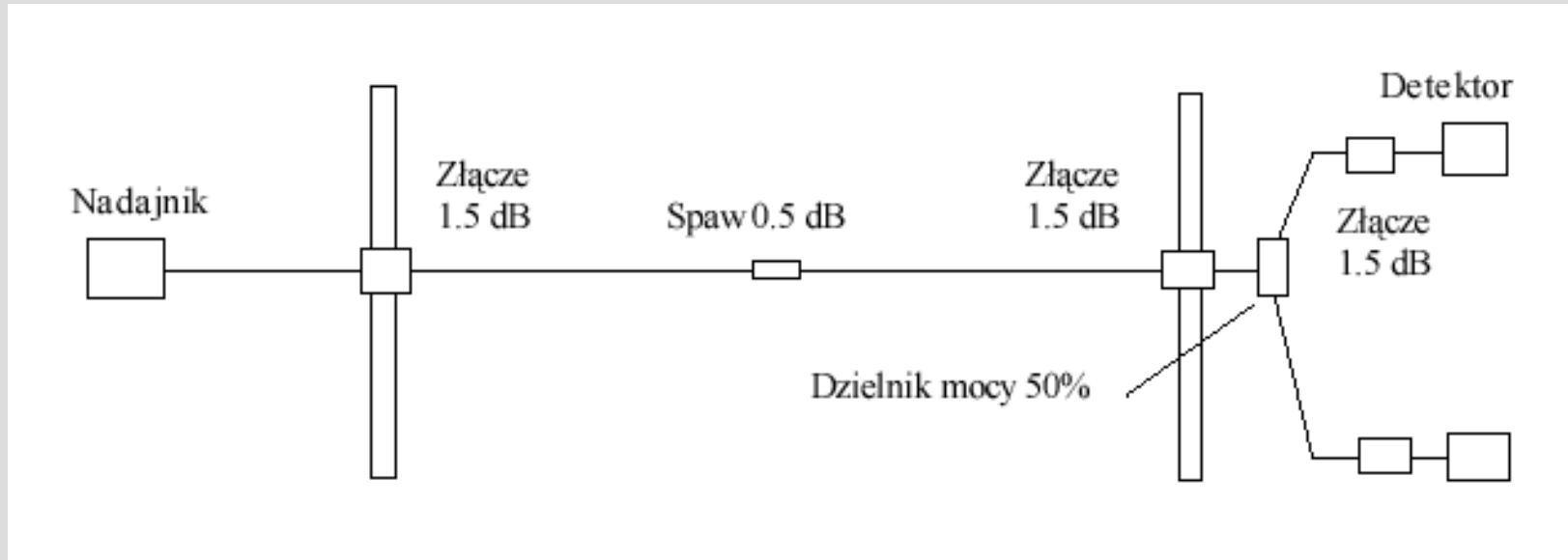


Przegląd projektu systemu komunikacji optycznej

Etap prac projektowych, podczas którego należy przejrzeć wszystkie podzespoły systemu komunikacji światłowodowej by zdecydować o możliwości ich współpracy oraz możliwości dostarczenia właściwego sygnału we właściwe miejsce we właściwym czasie.



Przykładowy projekt łącza



Przykładowa czułość detektora $P_R = -40$ dBm (100 nW)

Całkowite straty linii $P_L = 20.5$ dB, bo: 5 km włókna 2.5 dB/km \rightarrow 12.5 dB
12.5 dB

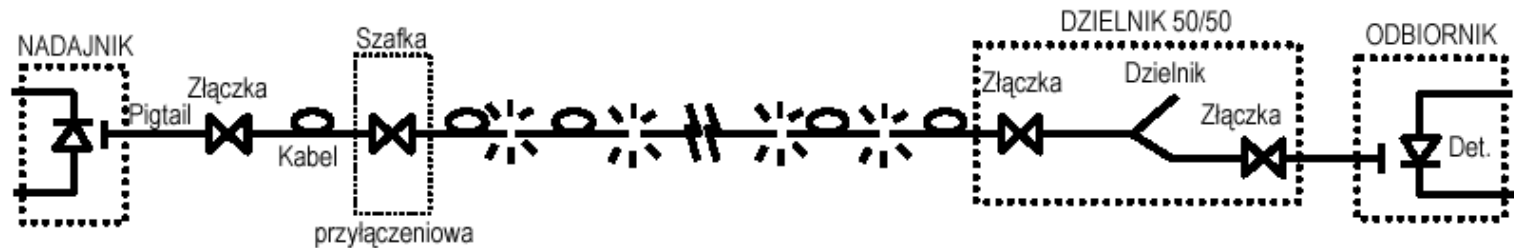
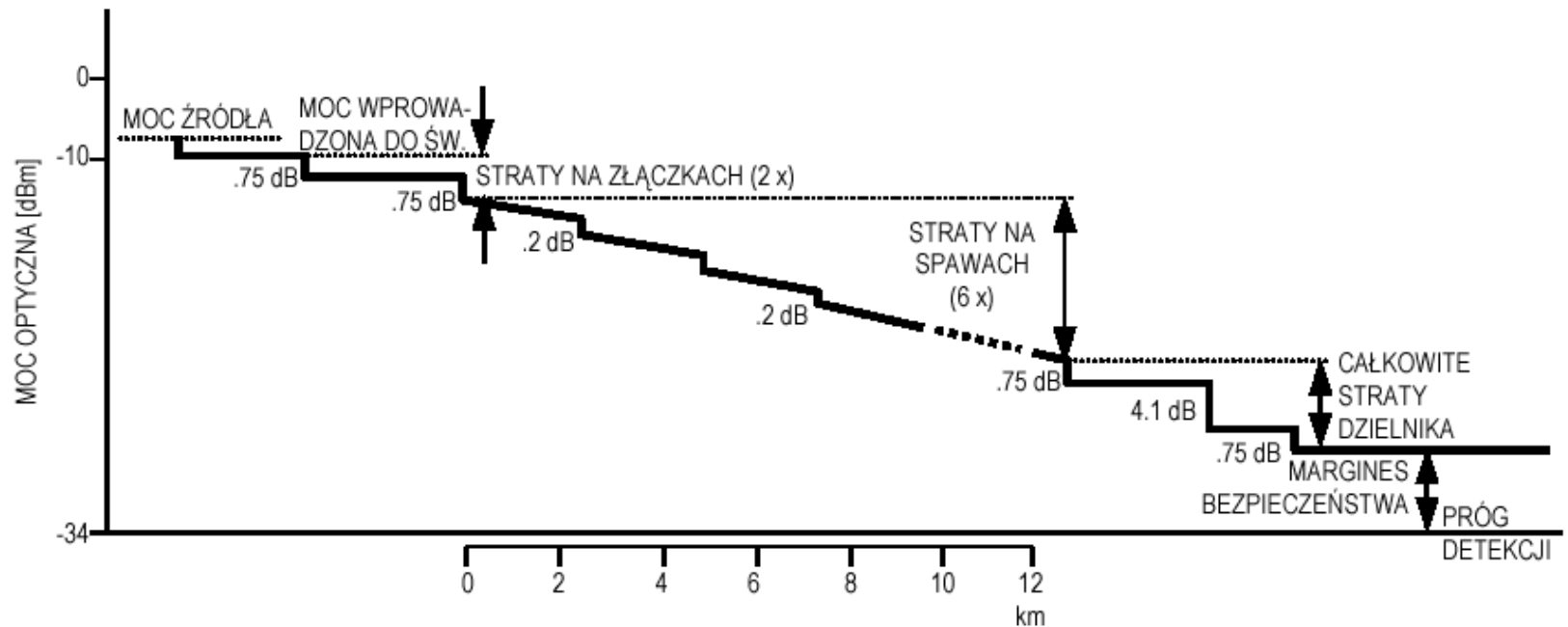
1 x spaw 0.5 dB \rightarrow 0.5 dB

rozgałęziacz Y 3 dB \rightarrow 3.0 dB

3 x złączki 1.5 dB \rightarrow 4.5 dB



Bilansowanie mocy linii - przykład CATV



Formularz: bilansowanie mocy linii (przykład CATV)

OPTICAL LINK BUDGET WORST CASE ANALYSIS		LINK DESIGNATION	
		Tx End: _____	Nb of channels/fiber: _____
		Rx End: _____	Nb of links _____
		Number: _____	in the system: _____
1. END-TO-END FIBER BUDGET			
1. 1. Guaranteed output power at transmitter end.		-10 dBm	= -10 dBm
1. 1. Minimal power requirement at receiver end			
- CNR requirement	51 dB		
-Manufacturer's specs for that CNR		-34 dBm	→ -34 dBm
END-TO-END FIBER BUDGET		1	24 dBm
1. COMPUTATION OF THE LOSSES ON THE FIBER			
2. 1. Unallocated margin (e.g. 3 dB)	3 dB	→	3 dB
2. 2. Optical fiber loss			
- Loss of chosen fiber		+ 0.4 dB/km	
-Average loss in splicing (e.g. Average no. of splices = 1 every 2 km, average loss per splice = 0.2 dB)		+ 0.1 dB/km	
	=	0.5 dB/km	
- Total loss per km	12 km	x	= 6 dB
- Line length			
- Total loss in fiber link			
2. 3. Other passive device loss			
- Total number of connectors (Devices inputs/outputs, patch panels)	4		
- Average connector loss (e.g. 0.75 dB)		x 0.75 dB	= 3 dB
- Total connector loss			
- Splitter, isolator losses			
			4.1 dB → 4.1 dB
2. 3. Hazards margin			
- Aging	1.5 dB	=	1.5 dB
- Temperature variation	1.5 dB	=	1.5 dB
TOTAL LOSSES ON THE LINK		2	19.1 dB
REMAINING POWER MARGIN		1 - 2	= 4.9 dB



Czytać

- ✓ J. Siuzdak, „Wstęp do telekomunikacji światłowodowej”, WKŁ 1999
- ✓ S. Patela, prezentacja wykładu: „Bilans mocy linii światłowodowej” (<http://wtm.ite.pwr.wroc.pl/~spatela/>)
- ✓ Javier Gimeno (CERN), „Studies and development of a first fiber optic module prototype”, <http://ab-div-co-ht.web.cern.ch/ab-div-co-ht/>

