

# Sieci optoelektroniczne

## Wykład 3: „Konstrukcja kabli światłowodowych”

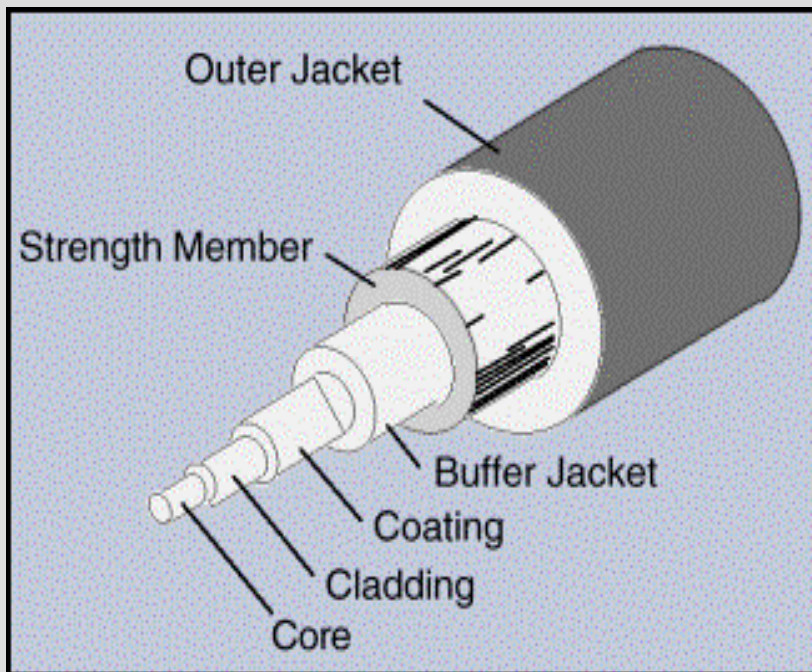
dr inż. Walery Susłow



# Hurtownia kabli



# Budowa włókna kablu światłowodowego



Kabel światłowodowy składa się z następujących elementów:

- ✓ rdzeń (core),
- ✓ płaszcz (cladding),
- ✓ powłoka lakierowa (coating),
- ✓ wzmocnienie (strenght member),
- ✓ płaszcz zewnętrzny.



# Budowa włókna kablu światłowodowego, cd.

**Rdzeń** znajduje się pośrodku kabla i jest medium propagacyjnym sygnału. Wykonany jest ze szkła kwarcowego lub plastiku (Plastic Optic Fiber). Obecne rdzenie mają średnice od 8 mikronów dla światłowodu jednomodowego i do 1000 mikronów dla wielomodowych światłowodów plastikowych.

**Płaszcz** wykonany jest z materiału o niższym współczynniku załamania światła niż rdzeń. Różnica ta powoduje, że zachowuje się niczym „lustro” otaczające rdzeń, kierując promień do wnętrza rdzenia, formując falę optyczną.



# Budowa włókna kablu światłowodowego, cd.

**Powłoka lakierowa**, zwana również buforem (buffer coating) chroni warstwę płaszczka. Wykonana jest z materiałów termoplastycznych i specjalnego żelu chroniącego włókno przed uszkodzeniami mechanicznymi, np. wskutek wibracji.

- ✓ Kabel światłowodowy pod wpływem różnych temperatur może zmieniać swoje właściwości mechaniczne i fizyczne, wydłużać się lub skracać.



# Budowa włókna kablu światłowodowego, cd.

Jako ochronę włókna podczas instalacji i przed zgubnym wpływem środowiska używa się **powłoki wzmacniającej** zwanej „strenght members” Wykonana ona jest z różnych materiałów, poczynając od stali a kończąc na Kevlarze.

- ✓ W pojedynczym i podwójnym kablach zabezpieczenie to wykonuje się jako outline coating. W kablach, gdzie jest kilka bądź kilkanaście włókien strenght member stosuje się centralnie wewnątrz przewodu.



# Budowa włókna kablu światłowodowego, cd.

**Płaszcz** (jacket) jest ostatnią warstwą ochronną kabla i służy do ochrony przed uszkodzeniami powstałymi w wyniku oddziaływania niekorzystnych warunków środowiska w jakim znajduje się światłowód.

- ✓ Inny rodzaj płaszcza zostanie użyty dla kabli przeznaczonych do układania wewnątrz budynków, inny na zewnątrz, pod ziemią czy napowietrznych.



# Budowa włókna kablu światłowodowego, cd.

- ✓ Kable *wewnętrzne* przeznaczone są do układania wewnątrz budynku. Posiadają cieńszą warstwę ochronną i nie są tak odporne jak kable zewnętrzne.
- ✓ Kabel *zewnętrzny* z włóknami w luźnych tubach, jest odporny na oddziaływanie warunków zewnętrznych. Wypełnione żelam luźne tuby zawierają jedno lub kilka włókien i oplatają centralny dielektryczny element wzmacniający. Rdzeń kabla otoczony jest specjalnym oplotem oraz odporną na wilgoć i promienie słoneczne polietylenową koszulką zewnętrzną.





# Rodzaje stosowanych włókien

**Światłowody jednomodowe standardowe** są najbardziej efektywne i pozwalają transmitować dane na odległość 100 km bez wzmacniacza. Prowadzą jeden mod.

W światłowodzie tym zastosowano rdzeń o odpowiednio małym promieniu i odpowiednio mały skok współczynnika załamania światła na granicy rdzeń-płaszcz.

Ze względu na wysoki koszt interfejsów przyłączeniowych jest to bardzo drogie rozwiązanie. Źródłem światła jest laser.



## Rodzaje stosowanych włókien, cd.

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} a \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

Liczba modów prowadzonych w **światłowodzie o profilu skokowym** zależy od wartości znormalizowanej częstości światłowodu  $V$  określonej wzorem, gdzie:  $a$  – promień rdzenia światłowodu;  $n_1$  i  $n_2$  – współczynniki załamania światła w płaszczu i rdzeniu.

Im mniejsza wartość stałej  $V$ , tym mniej modów prowadzi światłowód. Światłowód jest jednomodowym, gdy  $V < 2,405$ . Prawa optyki geometrycznej obowiązują jeżeli  $V \gg 1$

Teoretycznie każdy światłowód może być jednomodowym, jeżeli propagujące w nim światło ma dostatecznie dużą długość fali. Jednak stosowane w praktyce światłowody są jednomodowymi dla II i III okna transmisyjnego (odpowiednio: długość fali 1300 nm i 1550 nm).



## Rodzaje stosowanych włókien, cd.

W światłowodzie **wielomodowym gradientowym** współczynnik załamania w rdzeniu zmienia się w sposób ciągły (sinusoidalny), co uzyskuje się w wyniku stosowania odpowiedniego rodzaju domieszek ( $\text{GeO}_2$ ) w rdzeniu.

W światłowodzie tym profil współczynnika załamania jest tak ukształtowany, by różne mody miały tę samą prędkość rozprzestrzeniania się wzdłuż światłowodu. Jest to możliwe dzięki różnicom w gęstości rdzenia, co się wiąże z różnym współczynnikiem załamania.

Światłowody gradientowe wymagają zaangażowania znacznie bardziej zaawansowanej technologii do ich produkcji.



# Rodzaje stosowanych włókien, cd.

$$n_r = n_0 \left[ 1 - 2\Delta \left( \frac{r}{a} \right)^u \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\Delta = \frac{(n_1^2 - n_2^2)}{2n_1^2} \approx \frac{(n_1 - n_2)}{n_1} = 0,003 - 0,01$$

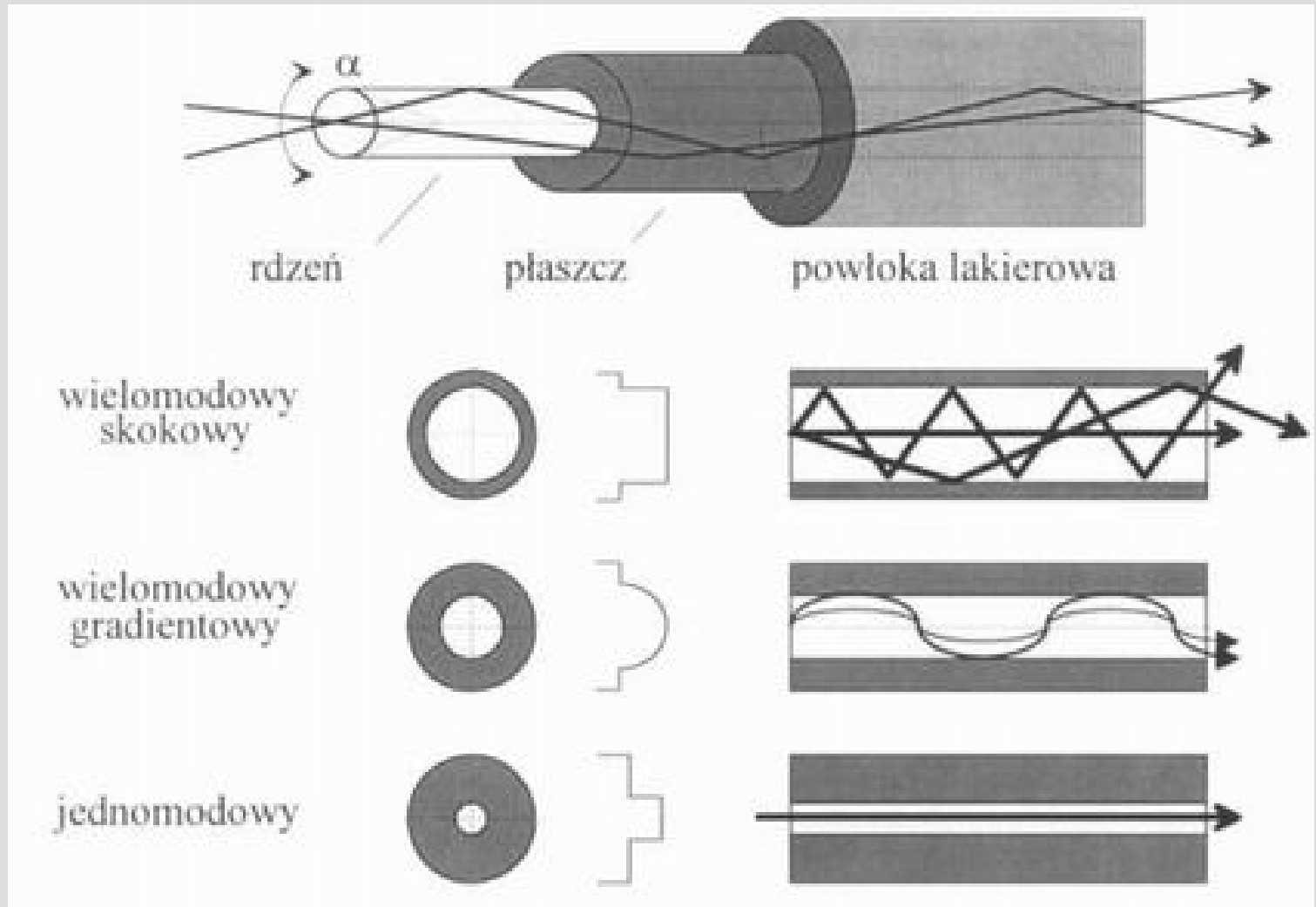
$$n_r = n_0 \left[ 1 - 2\Delta \left( \frac{r}{a} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

Współczynnik załamania  $n_r$  w rdzeniu zmienia się zgodnie z funkcją wielomianową, parametr  $u$  zależy od technologii i opisuje zmianę  $n_r$ .

Najczęściej są produkowane światłowody o profilu parabolicznym,  $u=2$ .



# Rodzaje stosowanych włókien: apertura numeryczna i wykresy propagacji fal



# Właściwości fizyczno – chemiczne: wpływ wody

Woda może doprowadzić w przypadku niskich temperatur do powstawania szczelin w płaszczu, a w efekcie końcowym do rozsadzenia kabla i uszkodzenia delikatnego szklanego rdzenia.

Kontakt molekuł wody z niekompletnymi molekułami rdzenia i płaszczu może doprowadzić do powstawania związków SiOH z późniejszym pogorszeniem właściwości światłowodu włącznie. Proces ten znany jest jako **glass fibre cancer** efekt lub inaczej „rak szkła”. Prowadzi on do nieodwracalnych zmian w strukturze włókna, pogorszenia właściwości mechanicznych i optycznych.

- ✓ Powłoka polimerowa i bufor z żelcem mają zapobiegać tego typu sytuacjom.



# Właściwości fizyczno – chemiczne: wpływ temperatury

Warstwa coating zapobiega również uszkodzeniu kabla wynikających ze zmian temperatury. W przypadku występowania wahań temperatury np.: od minus 60 do plus 40 stopni Celsjusza, włókno może się skracać lub wydłużać – mogą powstawać naprężenia mechaniczne rdzenia co może doprowadzić do jego uszkodzenia lub nawet przerwania.



# Właściwości fizyczno – chemiczne: stres mechaniczny

Powtarzające się zmiany temperatury i wilgotności oraz wibracje działające na kabel mogą doprowadzić do mechanicznych uszkodzeń.

Kabel może ulec zniszczeniu już podczas instalacji, kiedy istnieje możliwość oddziaływania dwoma rodzajami sił na światłowód: siłą kątową i łukową. Użycie HDPE (High Density Polyethylene - polietylenu wysokiej gęstości) zwiększa odporność włókna na te siły.



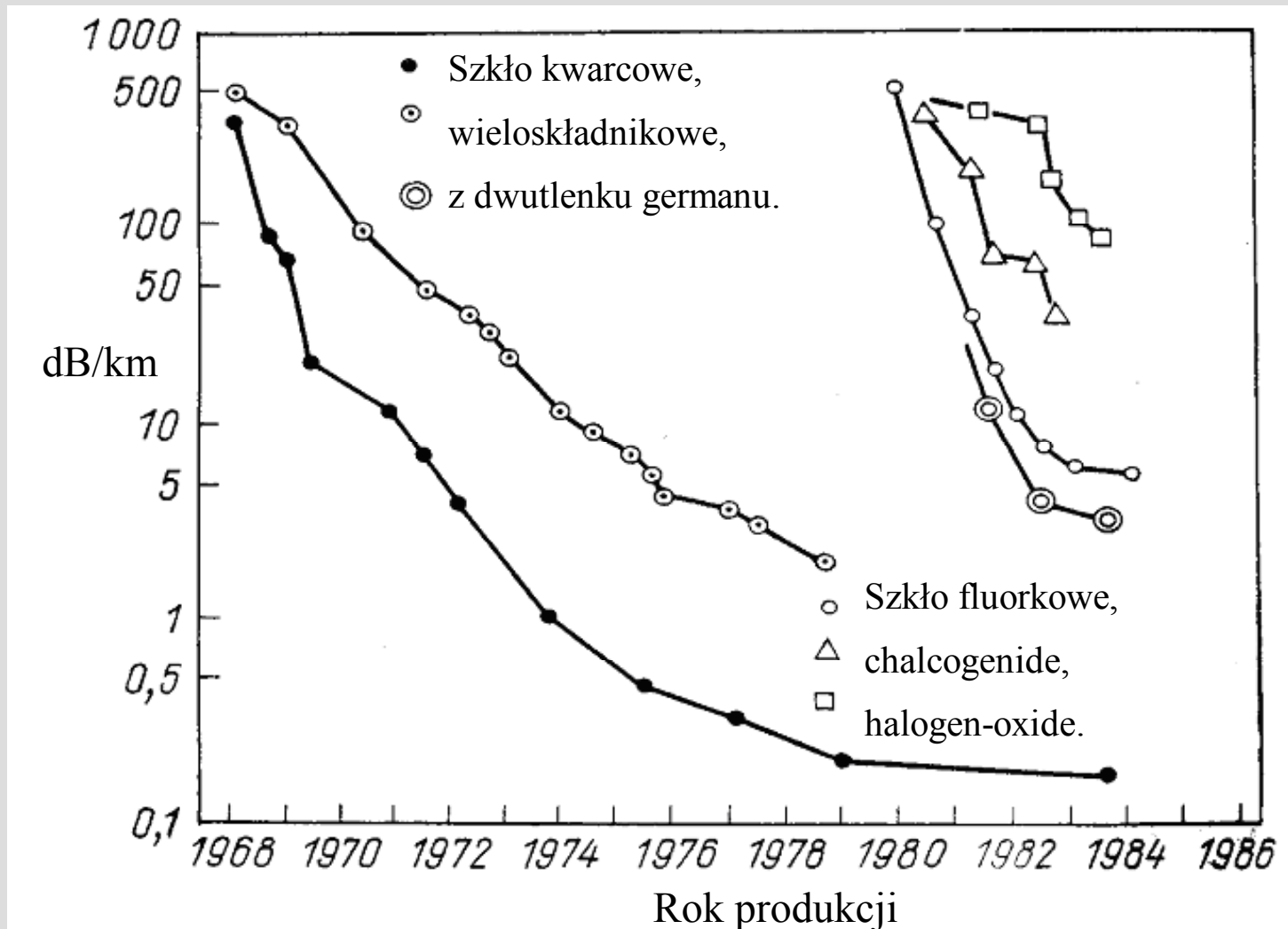


# Tłumienie kabli światłowodowych

- Absorpcja światła (rdzeń przepuszcza promieniowanie o ograniczonej długości fali).
  - Rozpraszanie (chemiczne zanieczyszczenia włókna jonami metali i OH).
  - Niejednorodność światłowodu wywołana w procesie technologicznym.
  - Obecność strat wynikających z niekontrolowanych zmian współczynnika załamania wiązki światła (możliwość wyjścia światła poza rdzeń i płaszcz, rozpraszanie Rayleigha).
- ✓ Do skompensowania tłumienia wykorzystuje się wzmacniacze optyczne.



# Minimalne straty w szkle światłowodów, dB/km



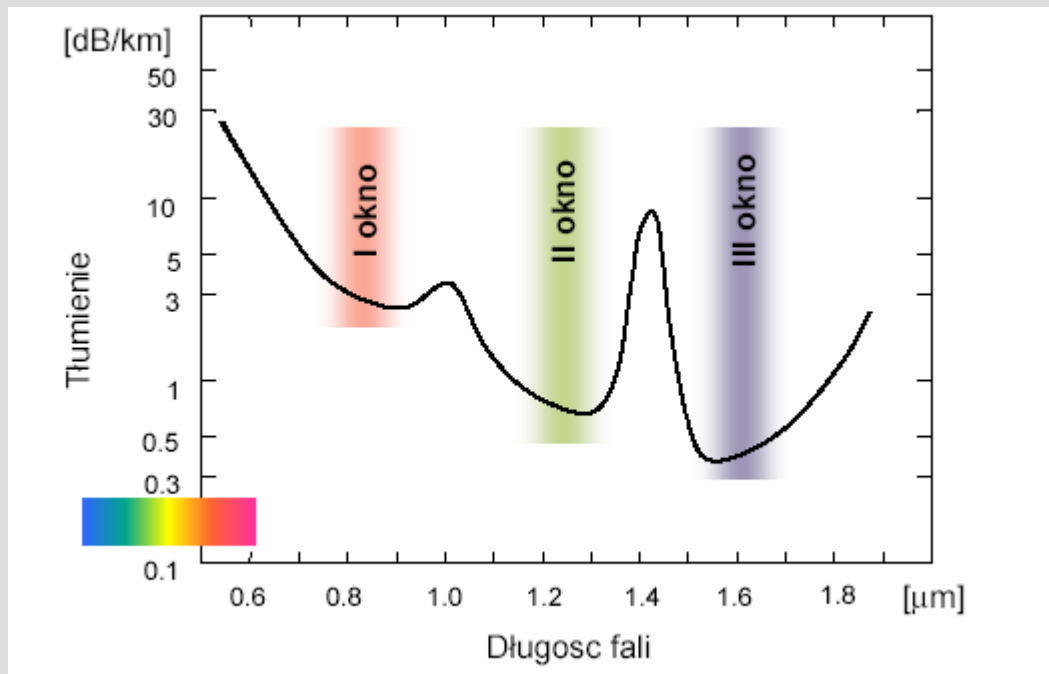
# Tłumienie światłowodów kwarcowych, a okno transmisyjne

Okno transmisyjne	Długość fali, nm	Tłumienie, dB/km
I	850	~3
II	1300	0,3 – 0,5
III	1550	0,18 – 0,3

✓ Najważniejsze zjawiska odpowiedzialne za tłumienie światłowodów kwarcowych: rozpraszanie Rayleigha, absorpcja OH, wewnętrzne nieregularności struktury, czynniki zewnętrzne (np. gięcie włókna), centra barwne (domieszki metali wprowadzane w procesie wyciągania włókna).



# Okna telekomunikacyjne



# Tłumienie światłowodów kwarcowych, a mody

Włókna	Długość fali, nm	Tłumienie, dB/km
jednomodowe	1310nm	0,33-0,42
	1550nm	0,18-0,25
wielomodowe (gradientowe)	850nm	2,4-2,7 (50/125)
		2,7-3,2 (62,5/125)
	1300nm	0,5-0,8; 0,6-0,9



# Generacje systemów światłowodowych

I - 1972, 850nm, 4dB/km, 500Mb/s - firma Corning Glass, włókno wielomodowe ze skokową charakterystyką załamania wiązki świetlnej.

II - 1987, 1300nm, <1dB/km - światłowód jednomodowy o prawie zerowej dyspersji i zmniejszonym tłumieniu jednostkowym.

III - 1550nm, 0,2-0,5 db/km, zasięg, do około 200km, dyspersja 15 – 20ps/km\*nm.

IV - 1550nm, wprowadzenie szerokopasmowych wzmacniaczy optycznych EDFA, komutacji i zwielokrotnienia falowego WDM.

V - solitony - instalacje eksperymentalne, np. 2,4 Gb/s, 12,000 km.

✓ Obecnie prowadzi się badania nad wykorzystaniem czwartego okna transmisyjnego (1565 do 1620nm, 1998 rok, firma Lucent Technologies, światłowód nazwany TrueWave Reduced Slope).

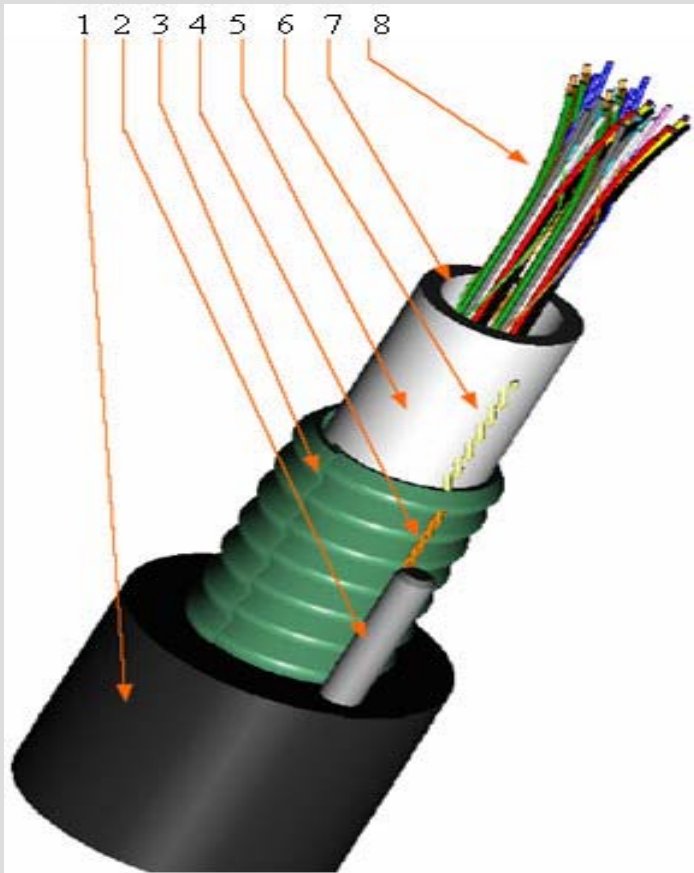


# Parametry techniczne włókien światłowodowych

- ✓ Geometryczne - wymiary poprzeczne, geometria.
- ✓ Mechaniczne - wytrzymałość na zerwanie, promień gięcia.
- ✓ Optyczne - tłumienie, dyspersja, długość fali odcięcia, współczynniki załamania, apertura numeryczna, właściwości modowe, stabilność temperaturowa.
- ✓ Dodatkowe (dla włókien specjalnych).



# Przykłady kabli światłowodowych



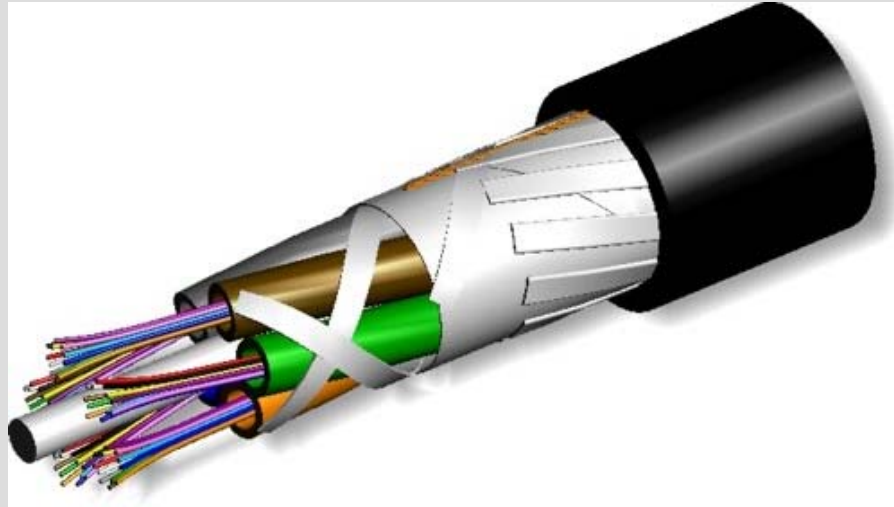
Jednotubowe do zastosowań zewnętrznych:

1. Płaszcz zewnętrzny
2. Linka nośna
3. Pancierz
4. Ripcord (1)
5. Tuba
6. Ripcord (2)
7. Żelowe zabezpieczenie przeciwko wilgoci
8. Włókna światłowodowe





# Przykłady kabli światłowodowych, cd.



Wielotubowe kable światłowodowe do zastosowań zewnętrznych.

- Dostępne w wersji ze stalowym pancerzem.
- Mały promień gięcia ułatwiający instalację.
- Duża odporność na rozciąganie (2700N obciążenia krótkotrwałego, 800N obciążenia długotrwałego).
- 2 - 288 włókien, 1 - 24 tuby.



# Przykłady kabli światłowodowych, cd.

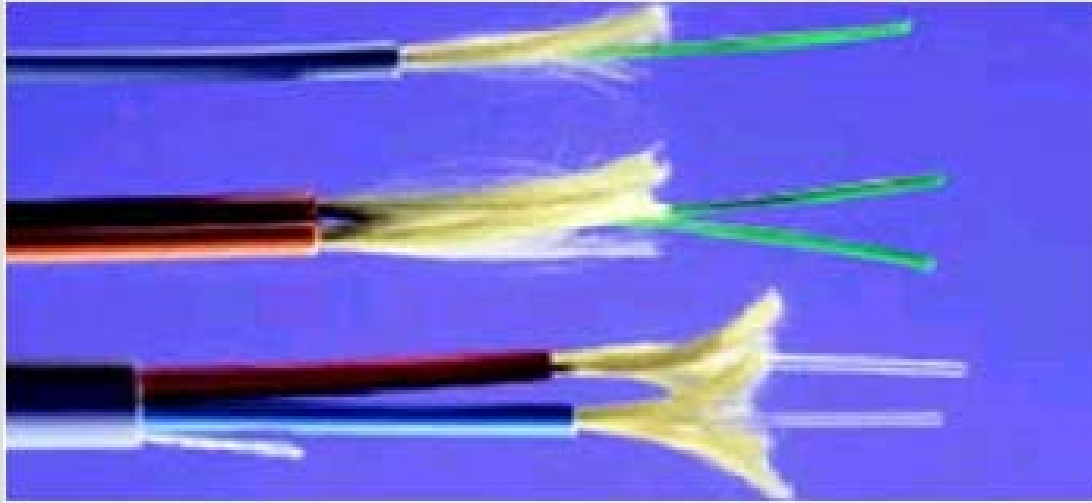


Kable światłowodowe samonośne  
- do zastosowań napowietrznych.

- Maksymalna odległość pomiędzy podwieszeniami do 230m.
- Polietylenowy płaszcz zewnętrzny.
- Szeroki zakres temperaturowy: -40 C do +70 C.



# Przykłady: - kabel światłowodowy patchcordowy

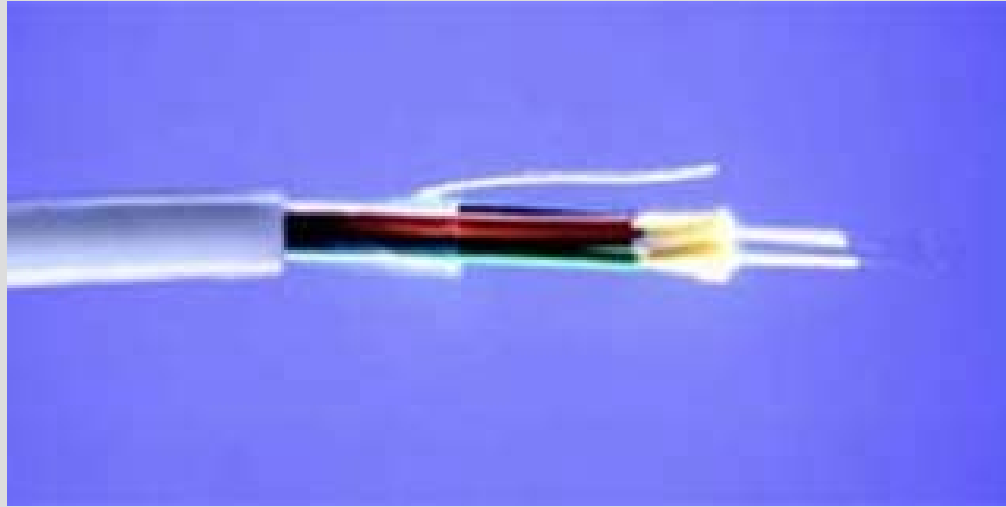


Kabel przeznaczony do realizacji połączeń optycznych wewnątrzobektowych. Zakończony złączami tworzy patchcordy i pigtaile służące do połączeń między urządzeniami teletransmisyjnymi i przełącznicą, przełącznicą i kablem liniowym.

Konstrukcję kabla stanowią jedno lub dwa włókna światłowodowe w ścisłej tubie, otoczone warstwą włókna aramidowego a następnie płaszczem zewnętrznym wykonanym z tworzywa bezhalogenowego nierozprzestrzeniającego płomienia.



# Przykłady: - kabel światłowodowy SD

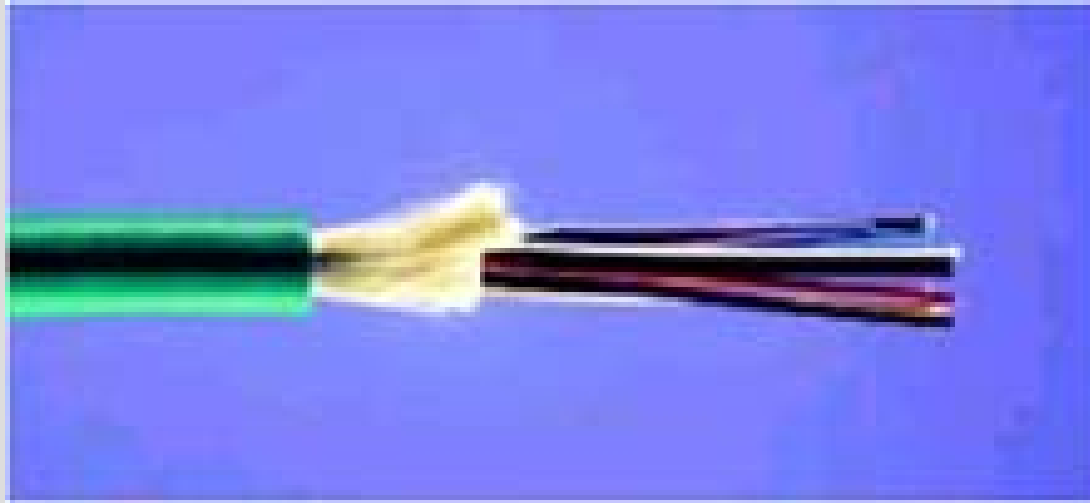


Kabel typu "breakout" do zastosowań wewnętrznych umożliwiającý bezpośrednio zarobienie złącz na kablu, eliminującý konieczność zastosowania przełącznic.

Konstrukcję kabla stanowi dielektryczny element centralny otoczony przez kable typu "simplex" o średnicy 2,8 mm (maksymalna ilość: 36), płaszcz zewnętrzny wykonany jest z tworzywa bezhalogenowego nierozprzestrzeniającego płomienia.



# Przykłady: - kabel światłowodowy MTX

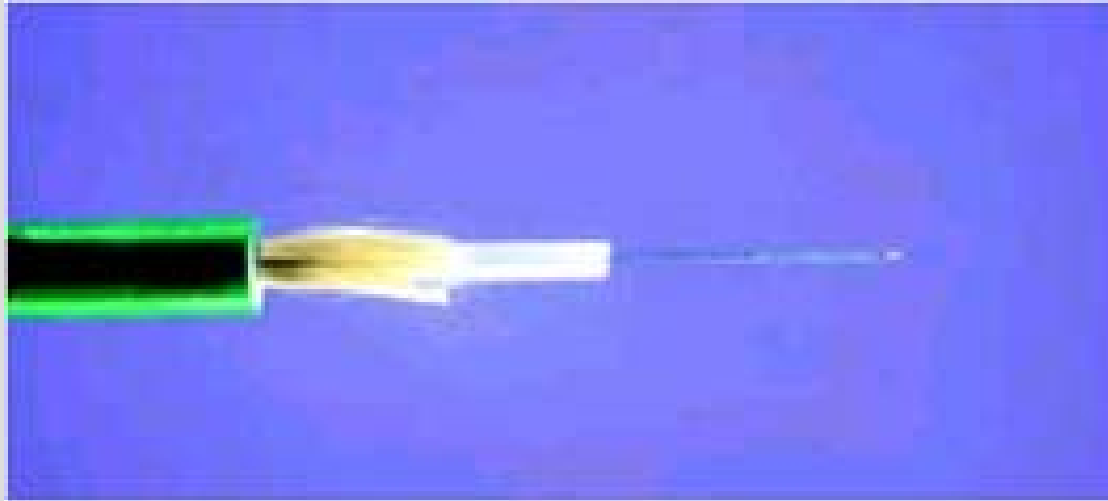


Uniwersalny kabel dystrybucyjny do okablowania poziomego, pionowego szkieletowego i międzybudynkowego szkieletowego. Jest możliwość instalacji zarówno w aplikacjach zewnętrznych jak i wewnętrznych bez konieczności stosowania przełącznic na wejściu do budynku

Konstrukcję kabla stanowią wieloelementowy ośrodek złożony ze ścisłych tub otoczony włóknem aramidowym perforowanym substancją pochłaniającą wilgoć, oraz płaszcz zewnętrzny wykonany z tworzywa bezhalogenowego nierozprzestrzeniającego płomienia stanowiący barierę dla wilgoci.



# Przykłady: - kabel światłowodowy SL



Uniwersalny kabel do zastosowań zarówno wewnętrznych jak i zewnętrznych. Konstrukcję kabla stanowi pojedyncza luźna tuba wypełniona żelem tiksotropowym zawierająca do 24 kolorowych włókien w pokryciu pierwotnym, tuba pokryta jest warstwą włókna aramidowego a następnie płaszczem zewnętrznym wykonanym z tworzywa bezhalogenowego nierozprzestrzeniającego płomienia.



# Koszty kabli a montażu łączy światłowodowych

	Kabel miedziany - skrętka kat.5		Światłowód wielomodowy włókno 50/125*		
	Nieekranowana	Ekranowana	złącze ST (2 szt.)	złącze SC (2 szt.)	Volition, złącze VF-45
Gniazdko	20,68 zł.	32,50 zł.	31 zł	31 zł	11 zł (3M)
Patch panel	21,40 zł.	28,90 zł.	34 zł	34 zł	
Złączki	nie dotyczy	nie dotyczy	15 zł	21 zł	3M Volition patchcord (3 m) 61 zł
Kabel (50 m)	56,00 zł.	77,40zł.	145 zł	145 zł	145 zł
Koszt instalacji	108,00 zł.	112,00 zł.	?	?	
<b>Razem</b>	<b>205,90 zł.</b>	<b>250,56 zł.</b>	<b>225 zł + inst.</b>	<b>231 zł + inst.</b>	

Zastosowanie światłowodów w sieci lokalnej zwiększa jej zasięg i szybkość transmisji. Poprawia się również niezawodność pracy.



# Warto poczytać

1. J. Siuzdak „Wstęp do współczesnej telekomunikacji światłowodowej” WKiŁ, Warszawa 1995.
2. Laboratorium optoelektroniki światłowodowej, Praca zbiorowa pod redakcją A. Opilskiego, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.

