

Media transmisyjne

Opracował:
Dr inż.. Sławomir KULA

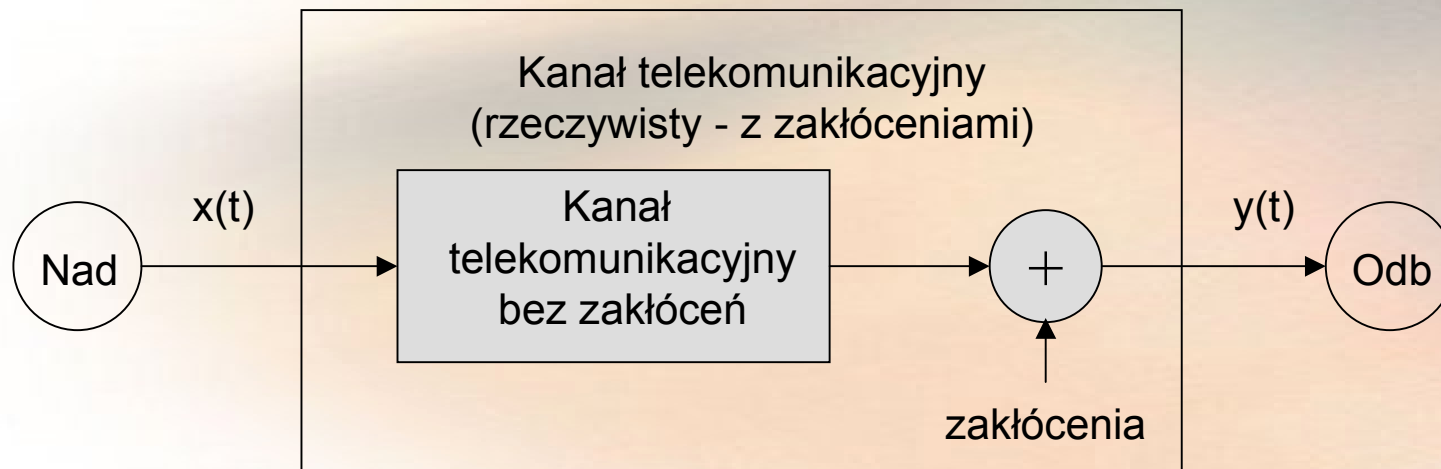
Transmisja i medium transmisyjne

Transmisja to przesyłanie sygnałów między dwoma lub wieloma punktami oddalonymi w przestrzeni.

W telekomunikacji sygnały te mają postać fal elektromagnetycznych (radiowych, świetlnych), albo prądu elektrycznego i z reguły reprezentują inne przetworzone na nie sygnały (np.. mowę, wideo), bądź dane.

Transmitowane sygnały przenoszą energię na odległość wykorzystując do tego pewną przestrzeń - medium transmisyjne.

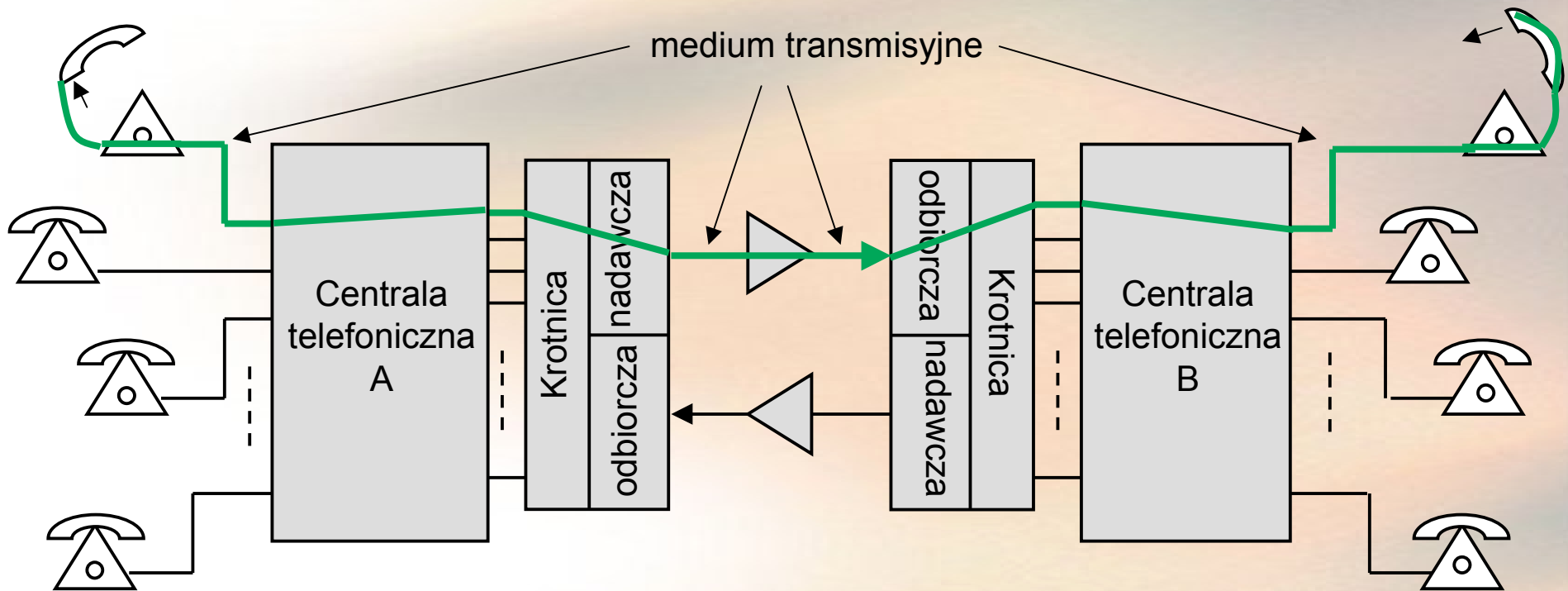
Kanał telekomunikacyjny



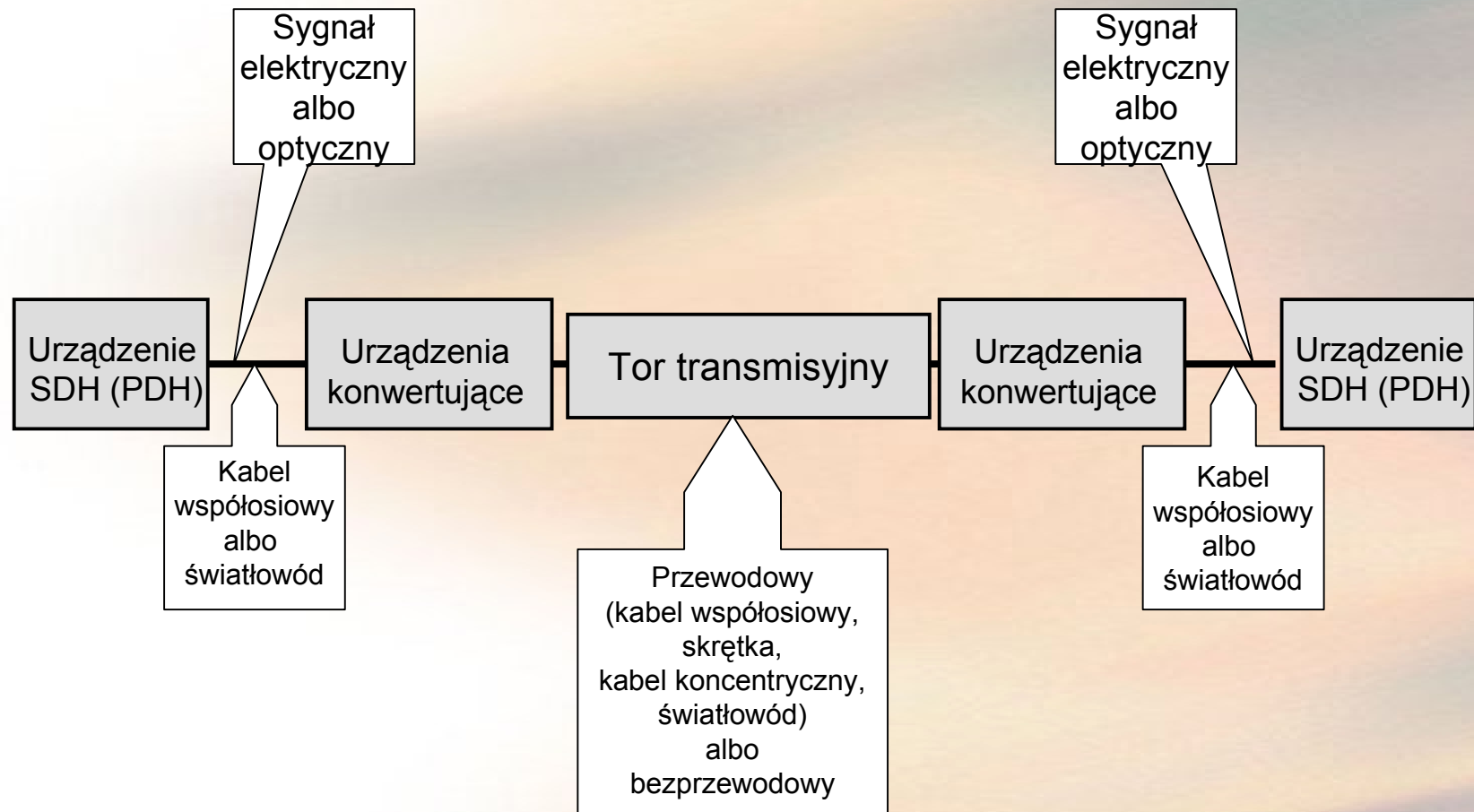
$$y(t) = x(t) * k(t) + z(t)$$

$$Y(\omega) = X(\omega) \cdot K(\omega) + Z(\omega)$$

Przykład kanału telekomunikacyjnego

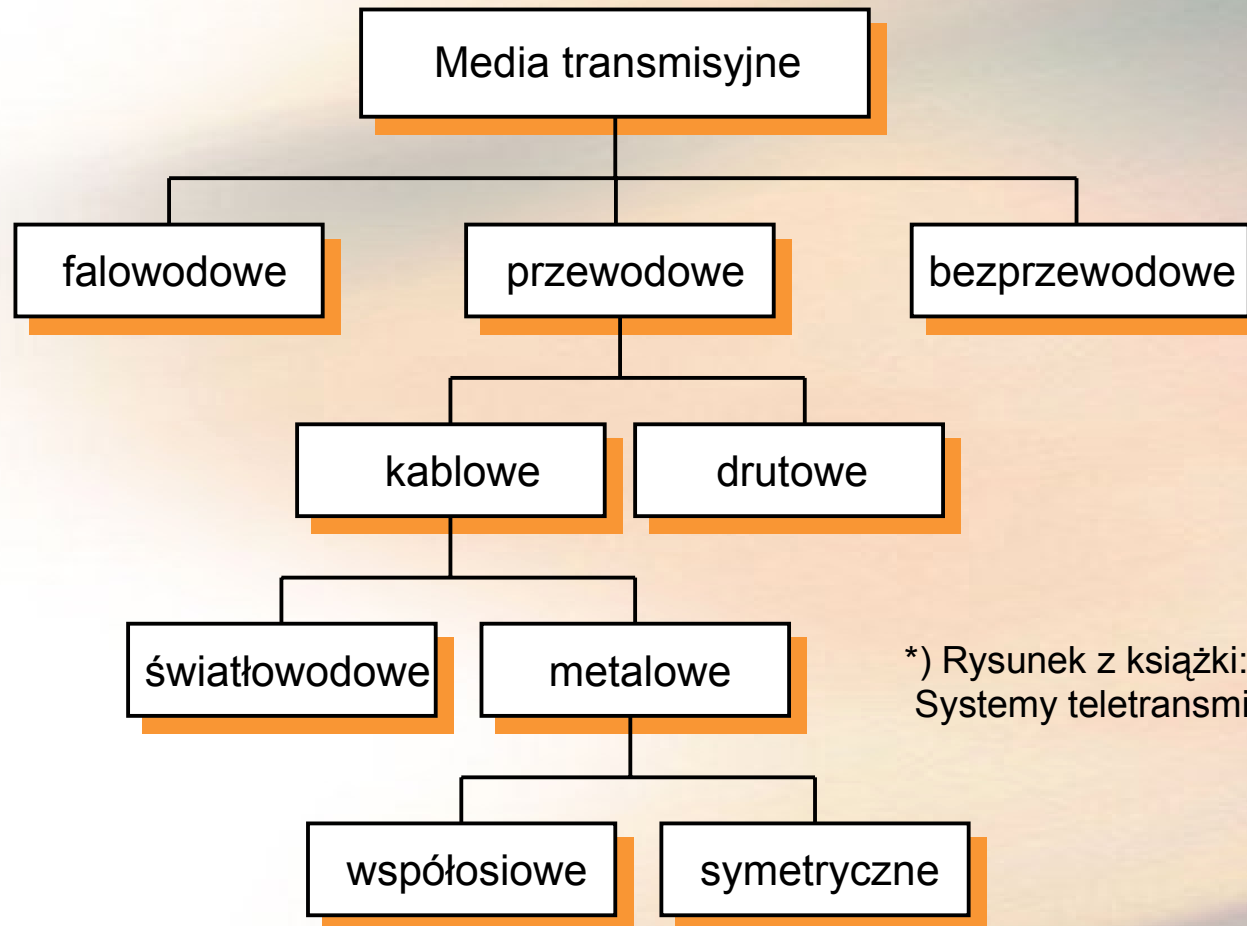


Systemy transmisyjne a tor transmisyjny *)



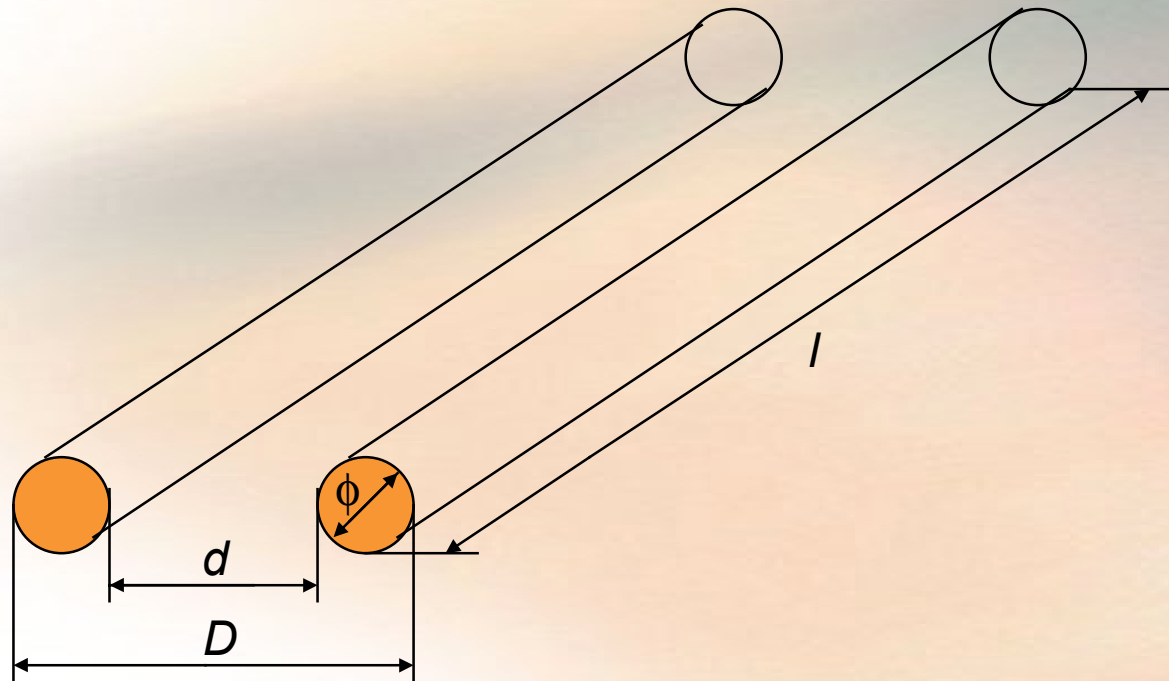
*) Rysunek z książki: Sławomir Kula;
Systemy teletransmisyjne. WKŁ, 2004

Media transmisyjne *)



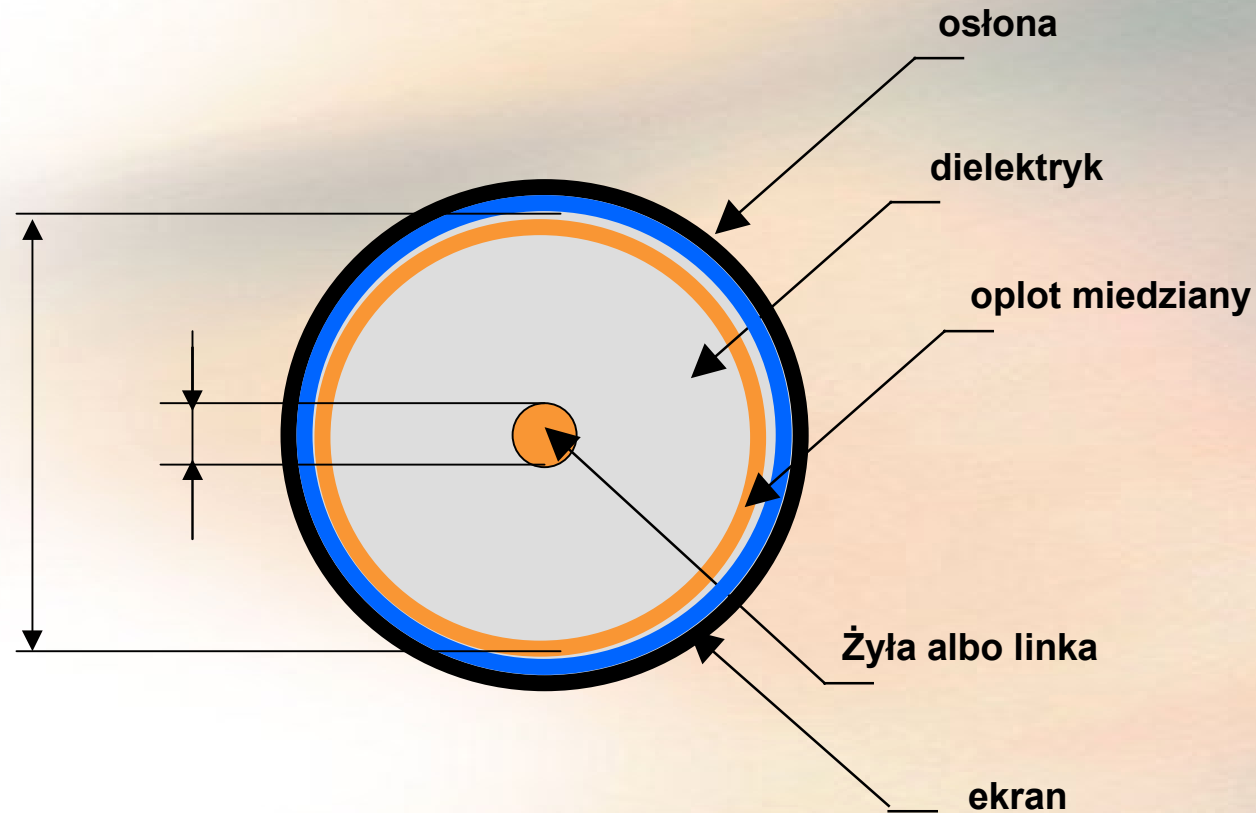
*) Rysunek z książki: Sławomir Kula;
Systemy teletransmisyjne. WKŁ, 2004

Para przewodów symetrycznych *)



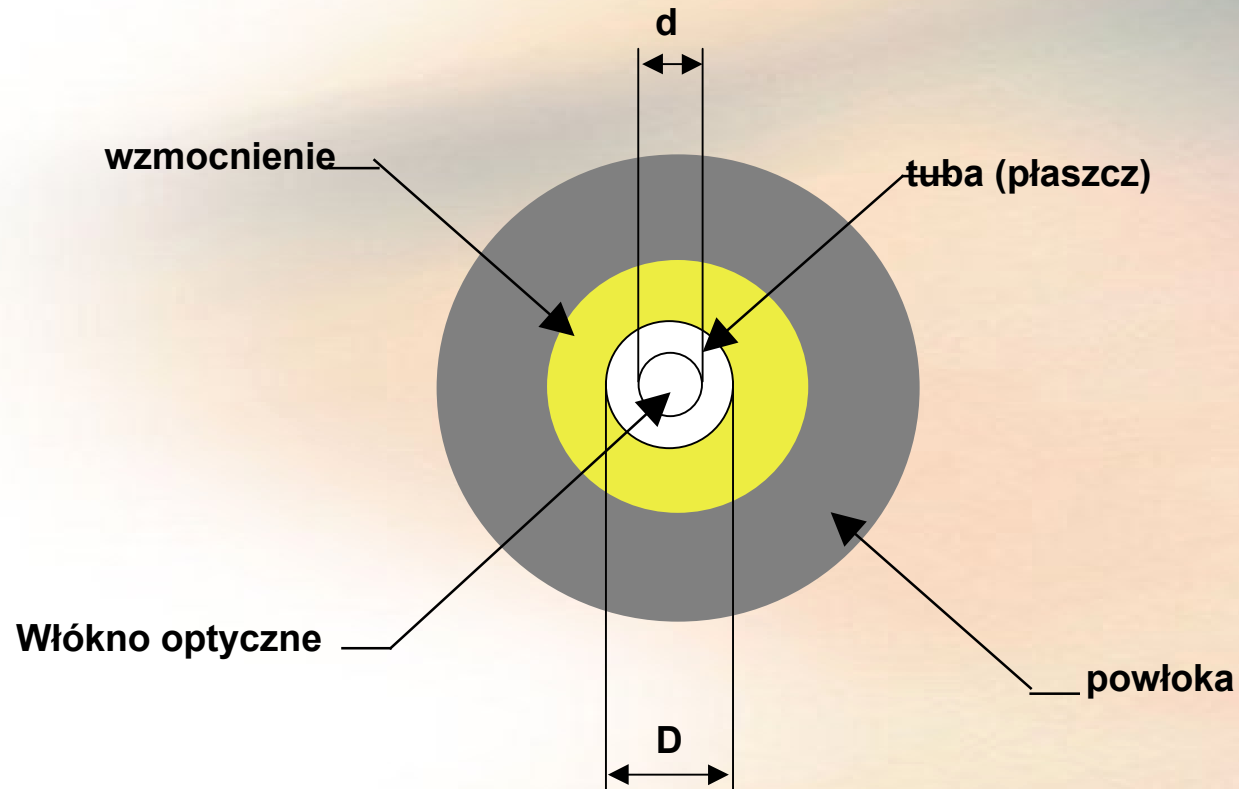
*) Rysunek z książki: Sławomir Kula; *Przewodowe systemy dostępne xDSL* (w przygotowaniu)

Budowa kabla koncentrycznego (współosiowego) ^{*)}



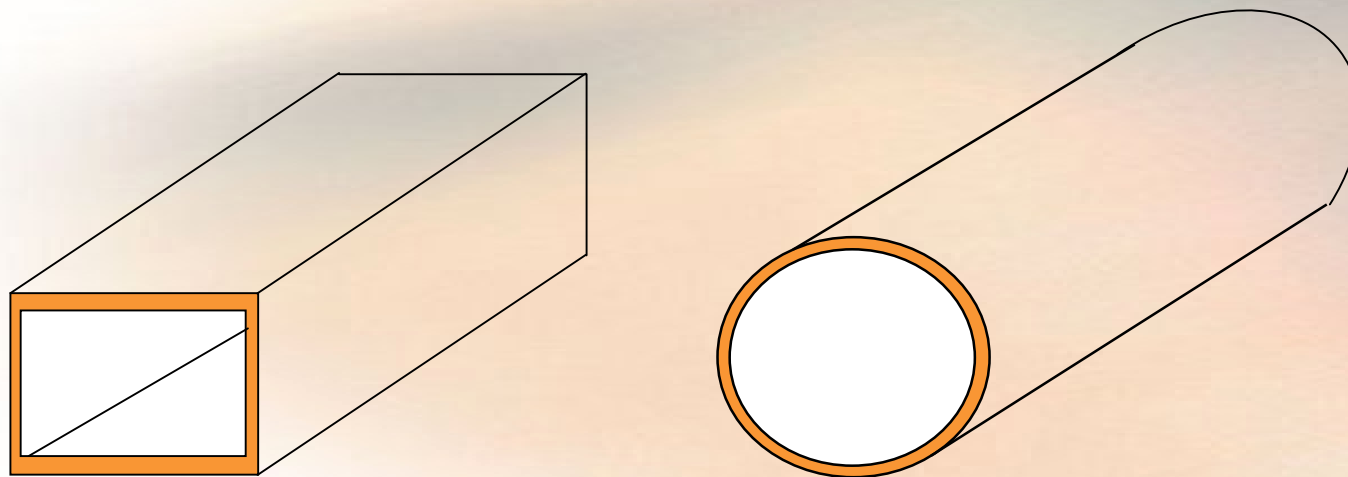
*) Rysunek z książki: Sławomir Kula; *Przewodowe systemy dostępne xDSL* (w przygotowaniu)

Budowa kabla światłowodowego *)

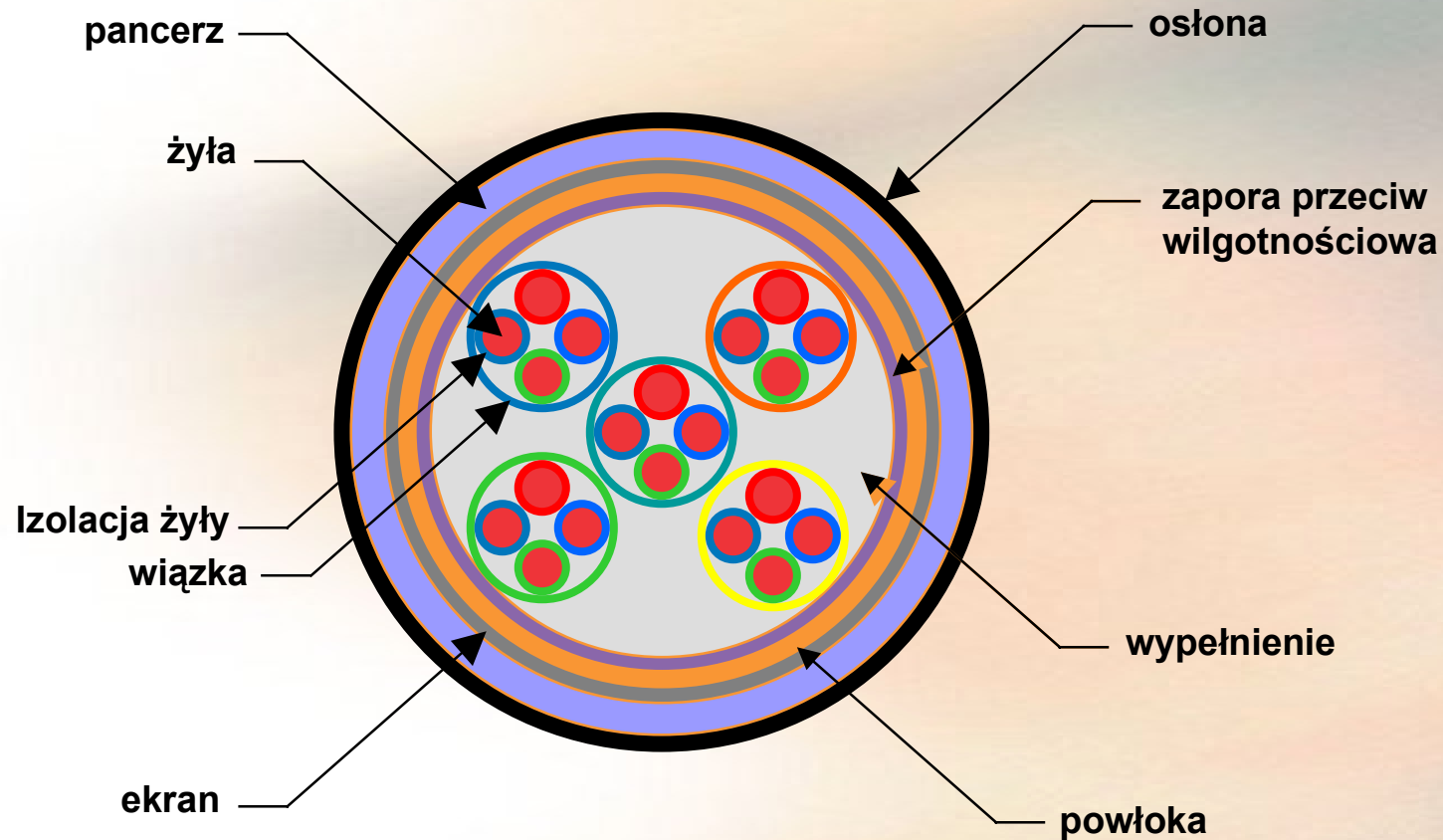


*) Rysunek z książki: Sławomir Kula; *Przewodowe systemy dostępne xDSL* (w przygotowaniu)

Budowa falowodu

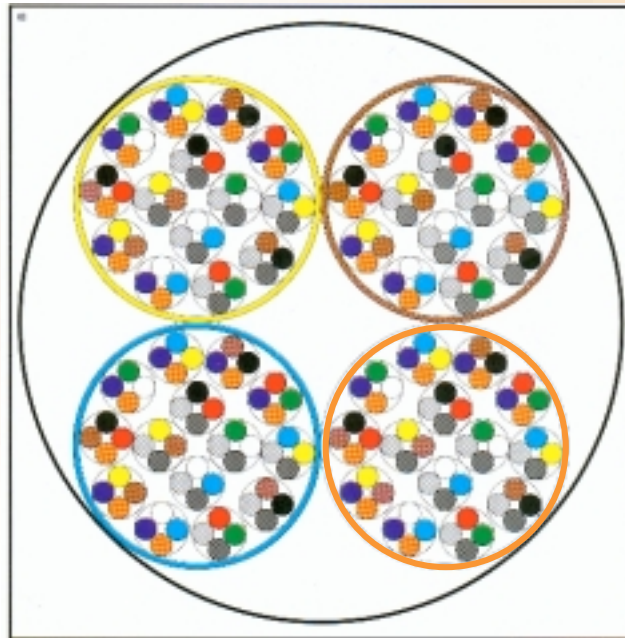


Budowa kabla telekomunikacyjnego *)

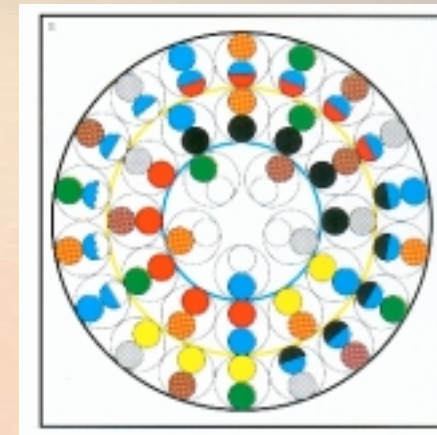


*) Rysunek z książki: Sławomir Kula; *Przewodowe systemy dostępne xDSL* (w przygotowaniu)

Budowa kabla telekomunikacyjnego *)



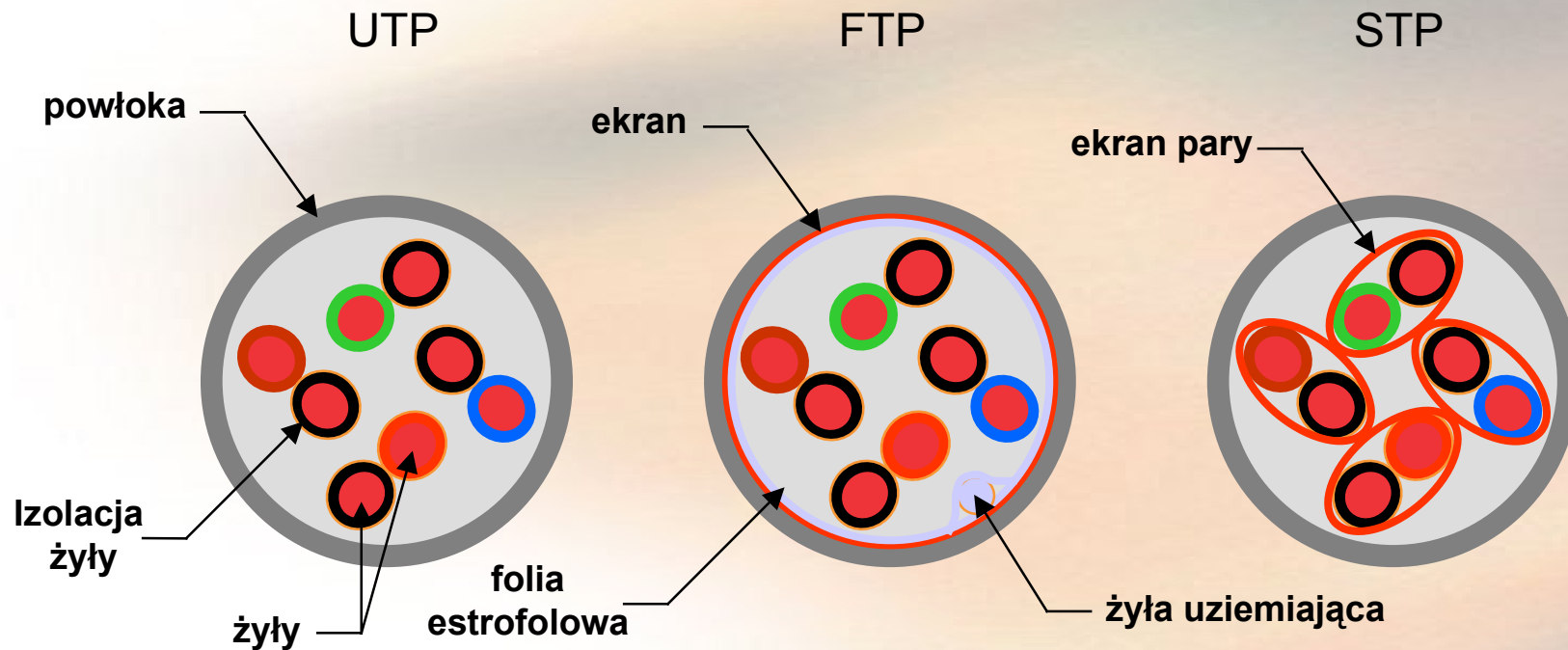
Kabel czwórkowy, pęczkowy



Kabel parowy warstwowy

*) Rysunek z książki: Sławomir Kula; *Przewodowe systemy dostępne xDSL* (w przygotowaniu)

Budowa kabla teleinformatycznego *)

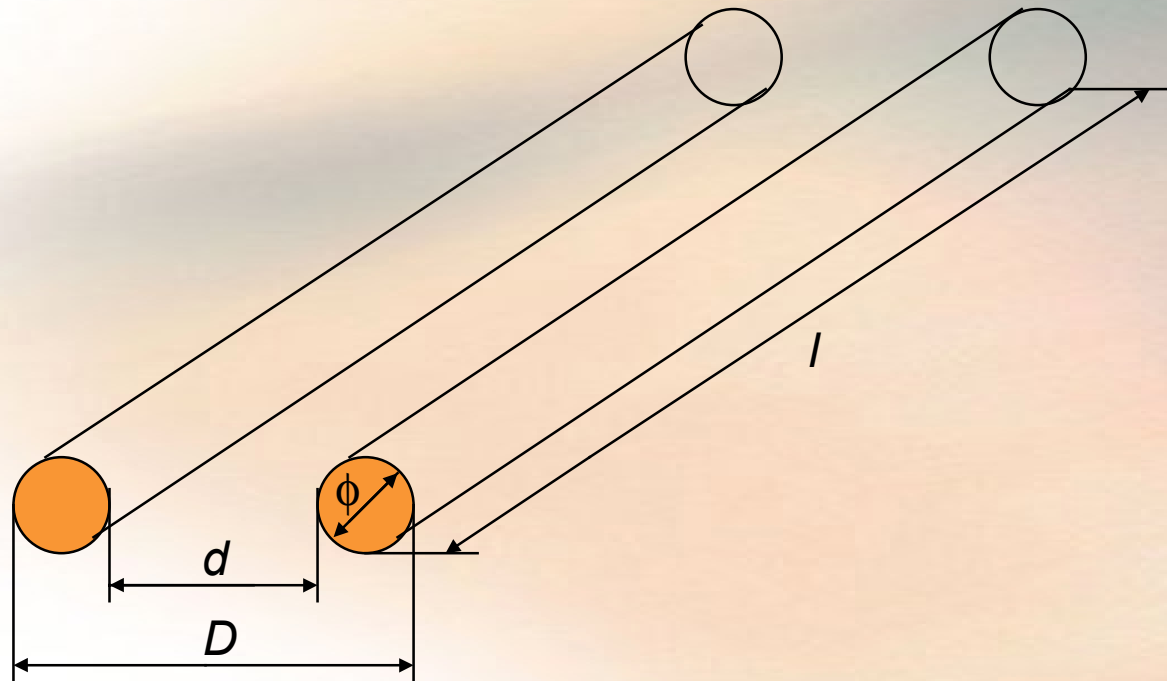


*) Rysunek z książki: Sławomir Kula; *Przewodowe systemy dostępne xDSL* (w przygotowaniu)

Pasmo przepustowe (kable teleinformatyczne)

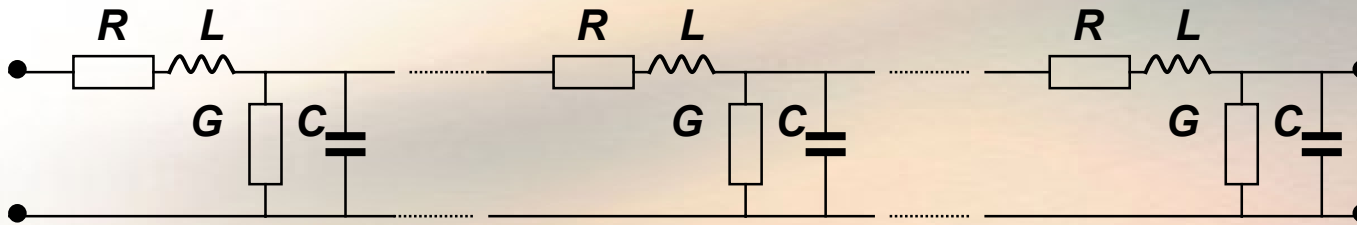
amerykańska normy EIA/TIA	europska normy ETSI	pasmo [MHz]
Kategoria 1	Klasa A	0,1
Kategoria 2	Klasa B	1
Kategoria 3	Klasa C	10
Kategoria 4	Klasa C	16
Kategoria 5	Klasa D	100
Kategoria 6	Klasa E	250
Kategoria 7	Klasa F	600

Para przewodów symetrycznych *)



*) Rysunek z książki: Sławomir Kula; *Przewodowe systemy dostępne xDSL* (w przygotowaniu)

Model linii *)



Linia długa

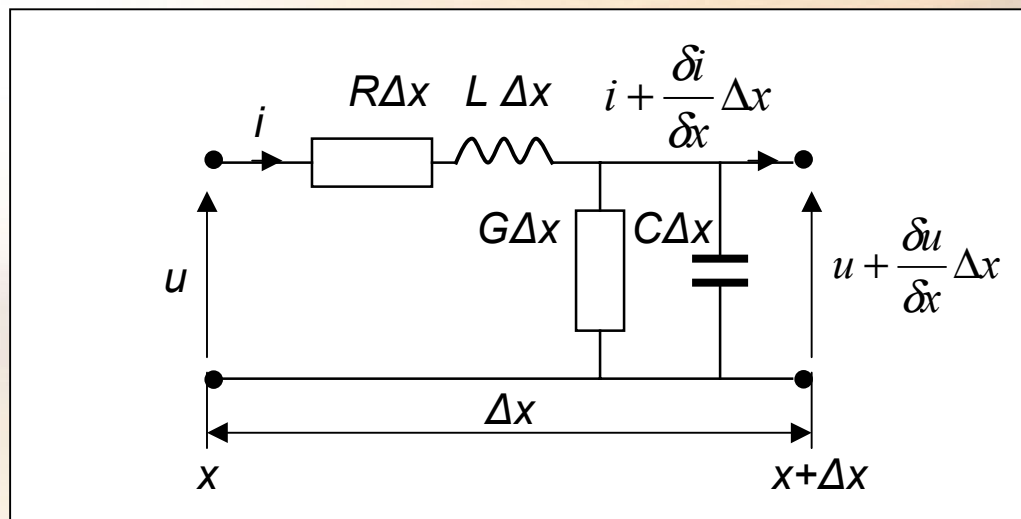
$$l > \frac{\lambda}{10}$$

Inaczej: przesunięcie fazy sygnału po przejściu przez linię
nie jest większe niż 0,1 kąta pełnego

*) Rysunek z książki: Sławomir Kula; *Przewodowe systemy dostępowe xDSL* (w przygotowaniu)

Równanie linii długiej *)

czwórnik



$$u - \left(u + \frac{\delta u}{\delta x} \Delta x \right) = R \Delta x i + L \Delta x \frac{\delta i}{\delta t}$$

$$i - \left(i + \frac{\delta i}{\delta x} \Delta x \right) = G \Delta x \left(u + \frac{\delta u}{\delta x} \Delta x \right) + C \Delta x \frac{d}{dt} \left(u + \frac{\delta u}{\delta x} \Delta x \right)$$

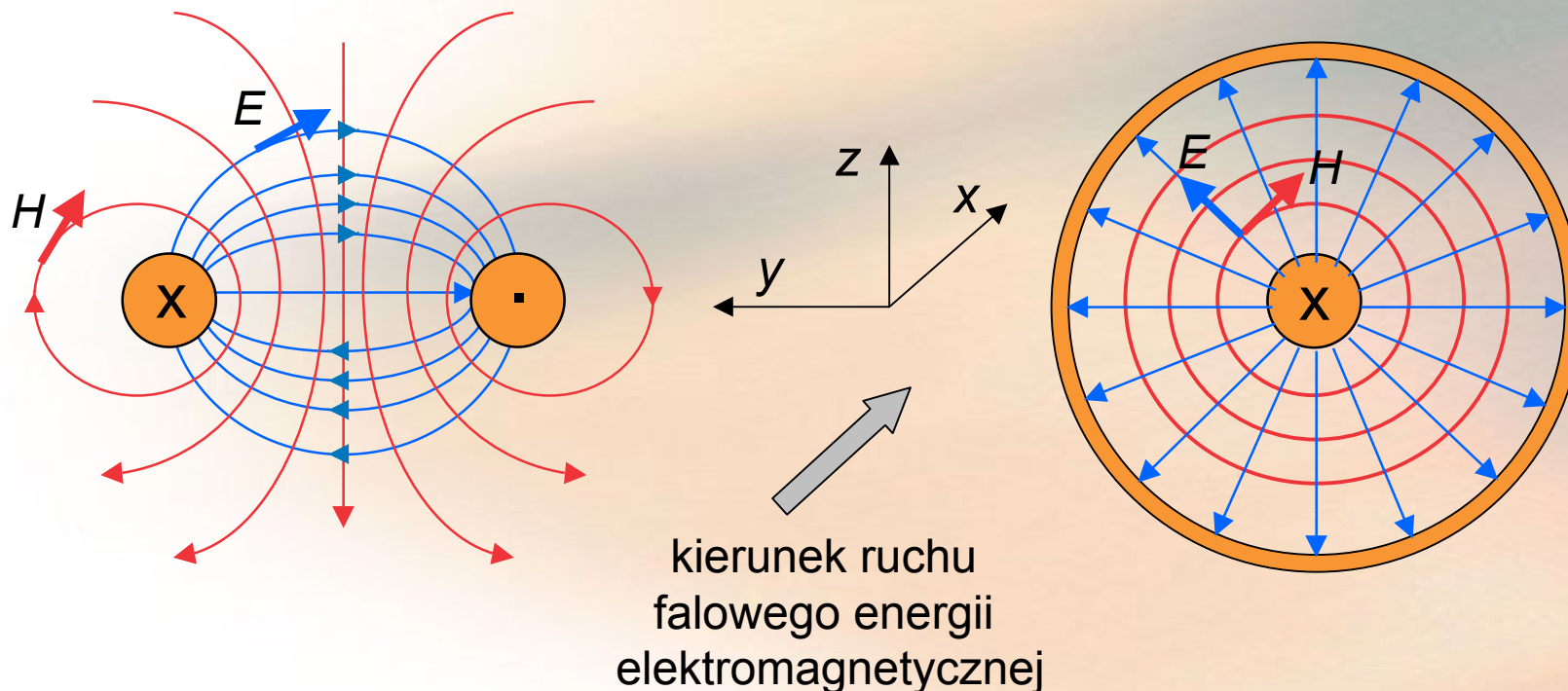


$$-\frac{\delta u}{\delta x} = R i + L \frac{\delta i}{\delta t}$$

$$-\frac{\delta i}{\delta x} = G u + C \frac{\delta u}{\delta t}$$

*) Rysunek z książki: Sławomir Kula; *Przewodowe systemy dostępne xDSL* (w przygotowaniu)

Linie pola elektrycznego i magnetycznego ^{*)}



linia symetryczna

$$E_x = H_x = 0$$

linia koncentryczna

$$E_r = H_\varphi = 0$$

^{*)} Rysunek z książki: Sławomir Kula; *Przewodowe systemy dostępowe xDSL* (w przygotowaniu)

Parametry pierwotne linii

Rezystancja jednostkowa R [Ω/km]

$$R = \chi(R_0 + R_n + R_b + R_p)$$

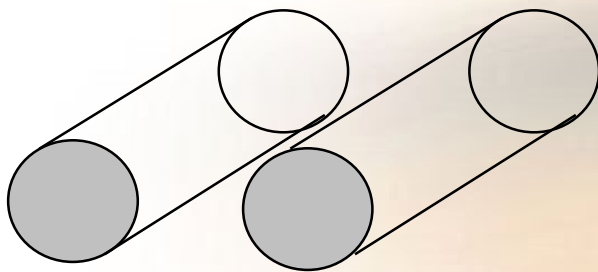
Z reguły w zakresie od kilkudziesięciu do kilkuset Ω/km

Indukcyjność jednostkowa L [mH/km]

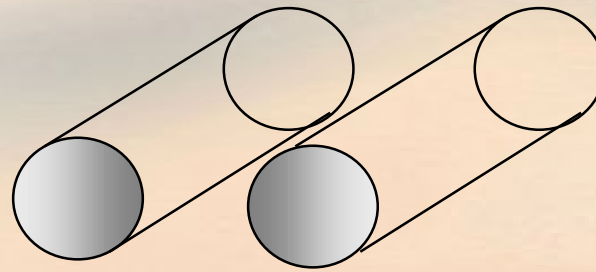
$$L \cong 0,1 \left[4 \ln \left(2 \frac{d}{\phi} - 1 \right) + q\mu \right]$$

Z reguły poniżej 2 mH/km

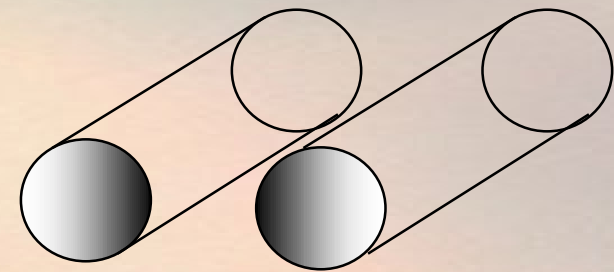
Efekt naskórkowości w parze symetrycznej ^{*)}



prąd stały



prąd zmienny: f_1



f_2 ($f_2 > f_1$)

*) Rysunek z książki: Sławomir Kula; *Przewodowe systemy dostępne xDSL* (w przygotowaniu)

Parametry pierwotne linii

Pojemność jednostkowa C [$\mu\text{F}/\text{km}$]

$$C \cong \frac{\varepsilon}{36 \ln\left(\frac{\alpha D}{\phi}\right)} \cdot 10^3,$$

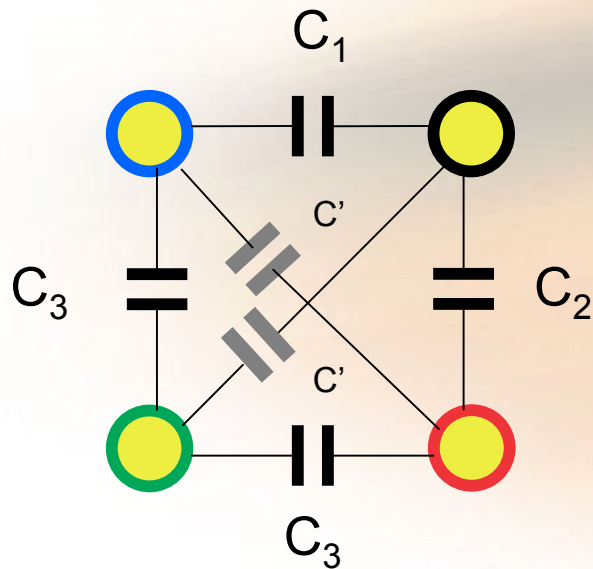
Praktycznie nie zależy od częstotliwości, zawiera się w zakresie od 25 do 50 nF/km

Konduktancja jednostkowa G [$\mu\text{S}/\text{km}$]

$$G \cong G_0 + kf$$

Silnie zależy od warunków (wilgotności) i częstotliwości, zawiera się w zakresie od kilkuset do kilku tysięcy $\mu\text{S}/\text{km}$

Symetria pojemnościowa linii symetrycznej ^{*)}

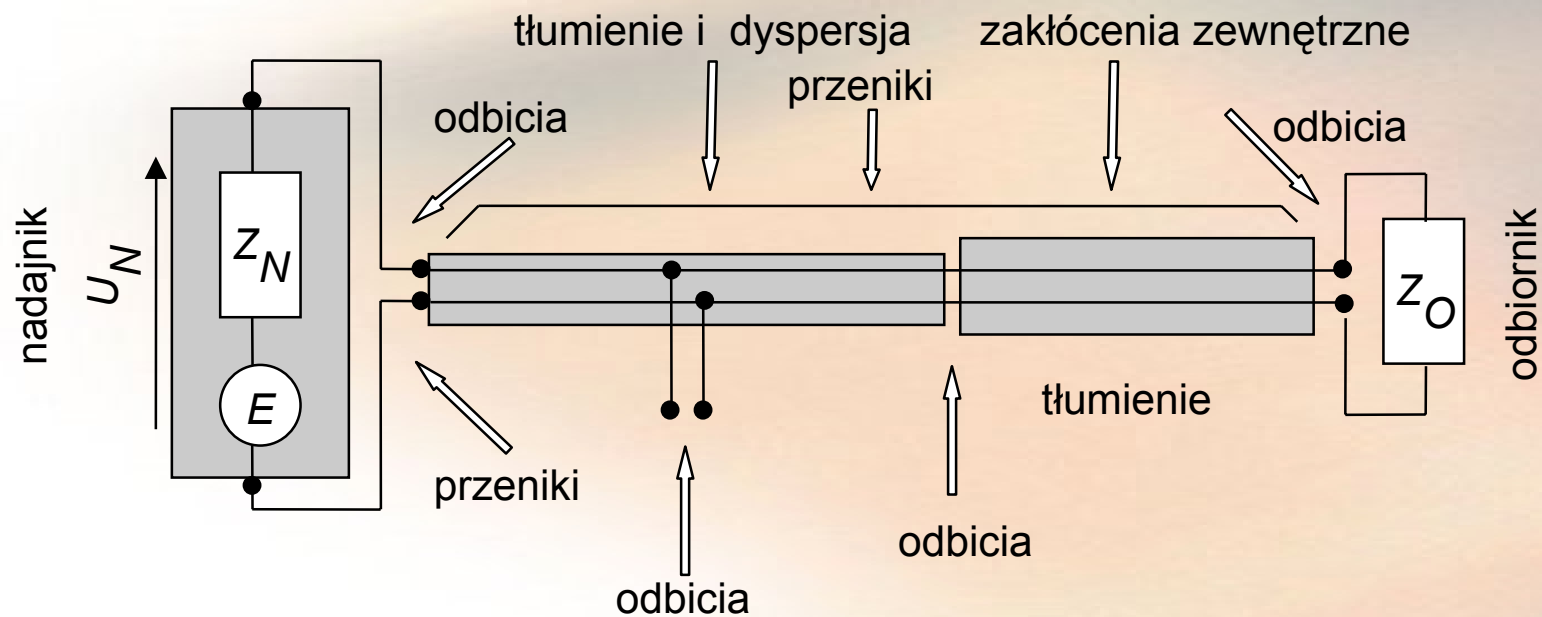


Wzajemna pojemność cząstkowa

$$C' = \frac{C_1 C_4 - C_2 C_3}{C_1 + C_2 + C_3 + C_4}$$

^{*)} Rysunek z książki: Sławomir Kula; *Przewodowe systemy dostępne xDSL* (w przygotowaniu)

Zjawiska związane z przesyłaniem sygnałów ^{*)}



^{*)} Rysunek z książki: Sławomir Kula; *Przewodowe systemy dostępne xDSL* (w przygotowaniu)

Parametry wtórne linii

Impedancja falowa (charakterystyczna) linii

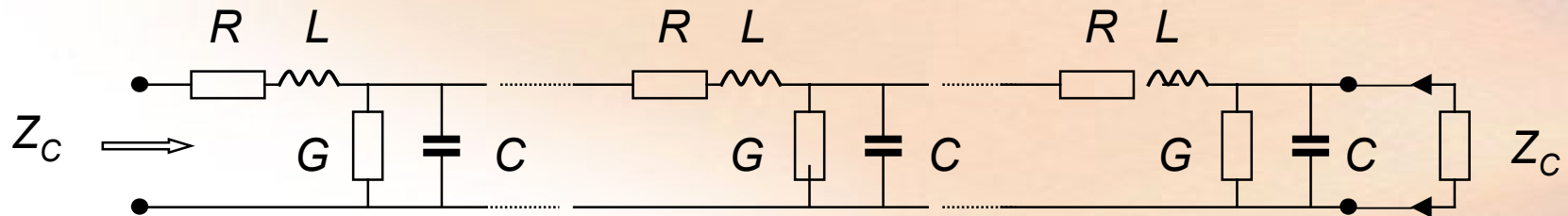
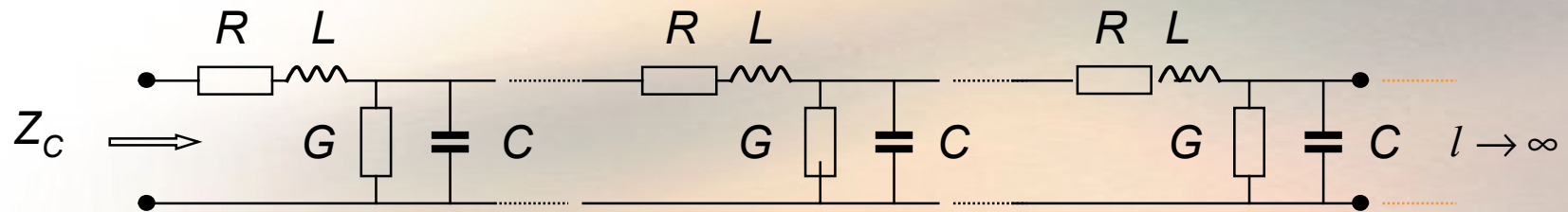
$$Z_c(f) = \sqrt{\frac{R(f) + j2\pi fL(f)}{G(f) + j2\pi fC(f)}}$$

Współczynnik przenoszenia (tamowność)

$$\gamma_c(f) = \alpha(f) + j\beta(f) = \sqrt{[R(f) + j2\pi fL(f)][G(f) + j2\pi fC(f)]}$$

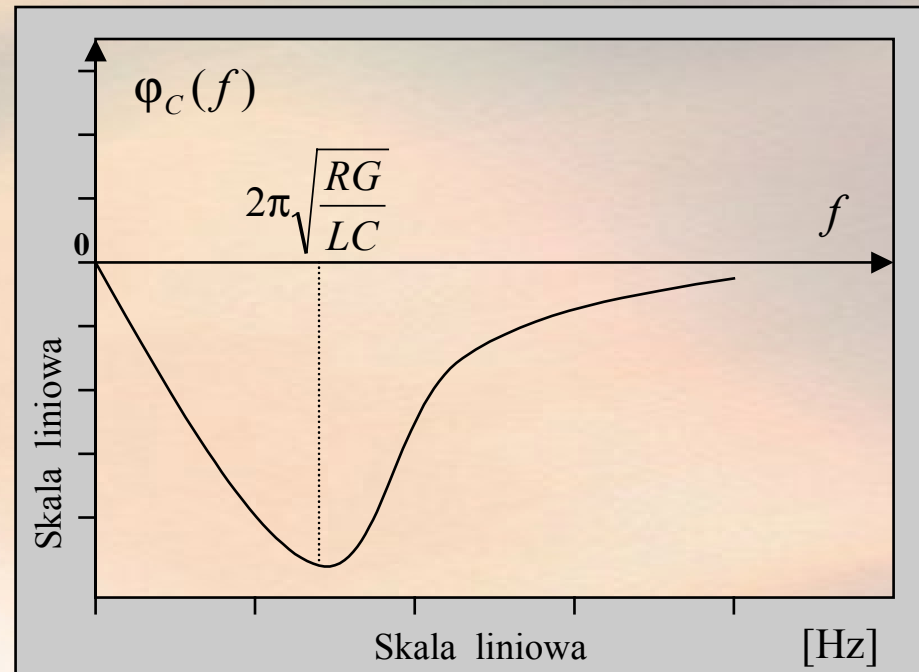
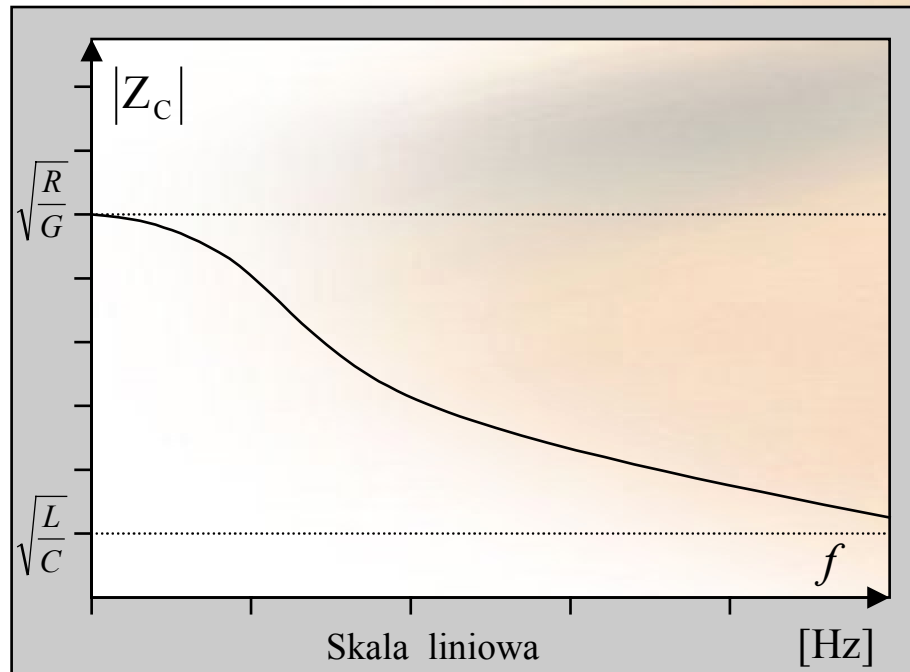
$\alpha(f)$ - tłumienność jednostkowa, $\beta(f)$ - przesuwność jednostkowa

Impedancja charakterystyczna – metoda pomiaru ^{*)}



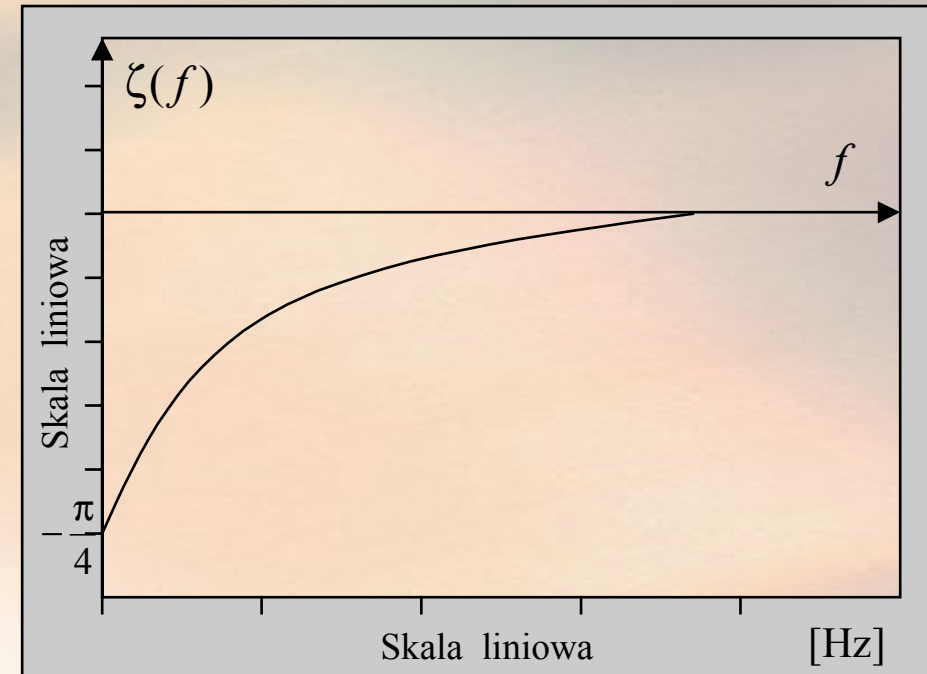
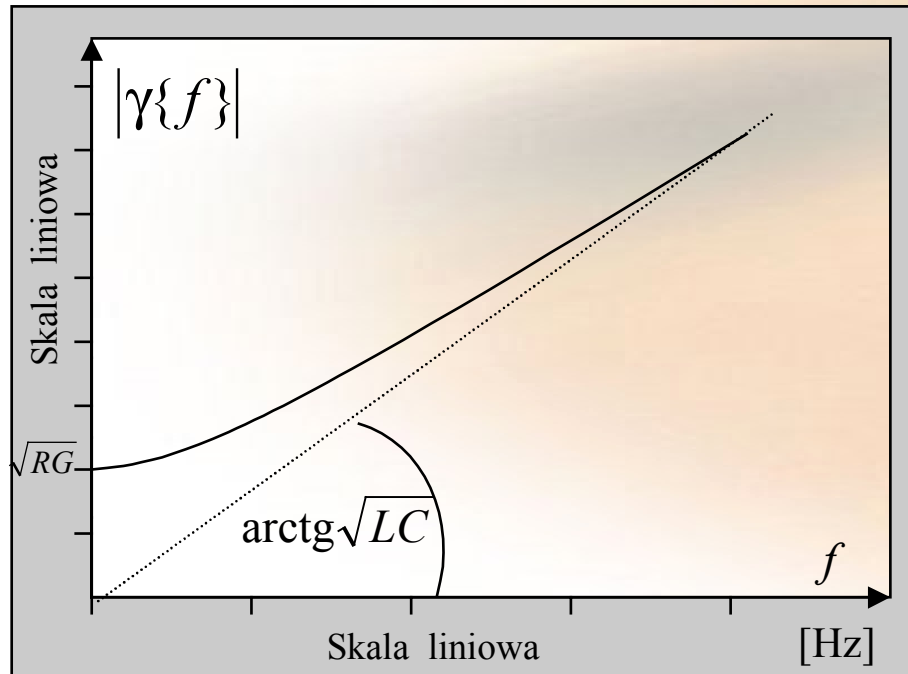
^{*)} Rysunek z książki: Sławomir Kula; *Przewodowe systemy dostępne xDSL* (w przygotowaniu)

Moduł i argument impedancji falowej *)



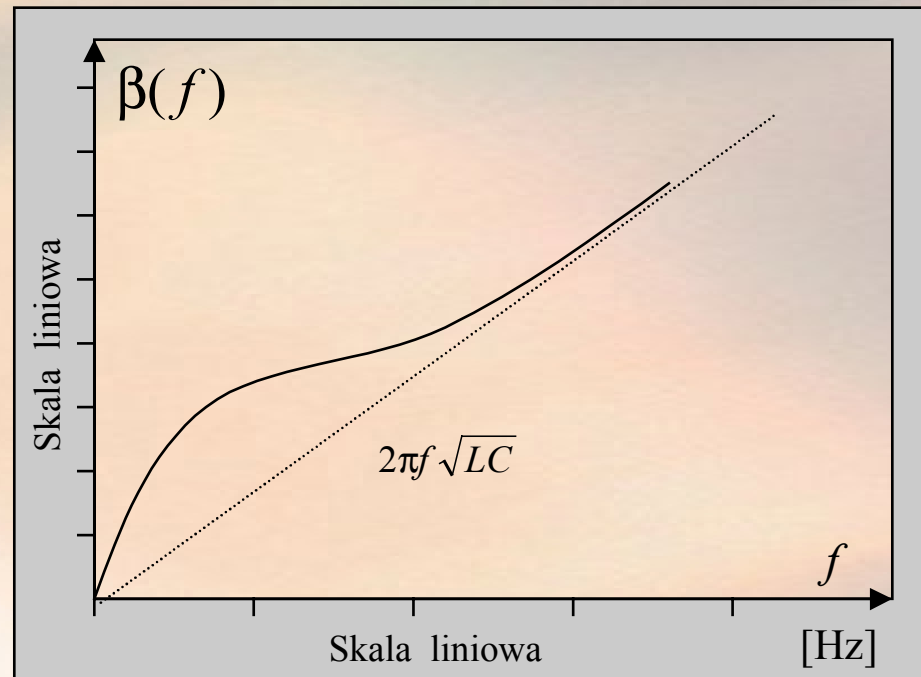
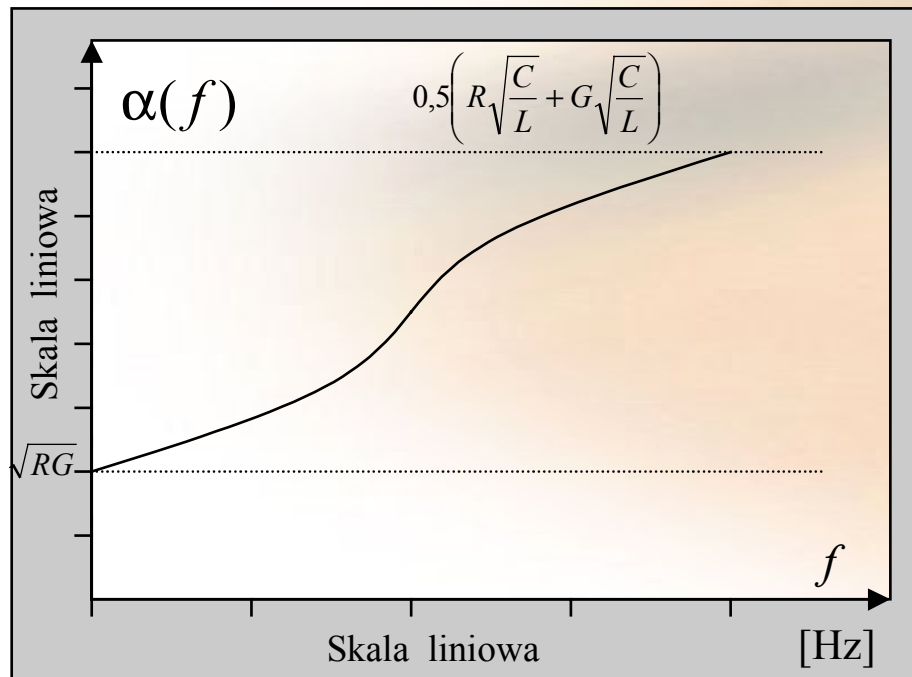
*) Rysunek z książki: Sławomir Kula; *Przewodowe systemy dostępne xDSL* (w przygotowaniu)

Moduł i argument stałej propagacji *



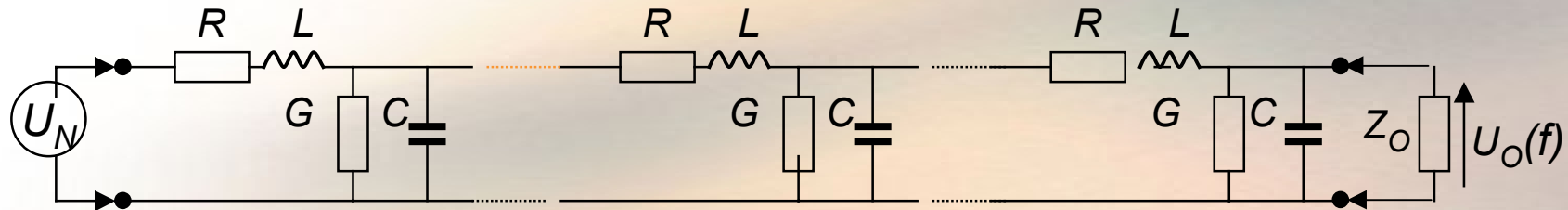
*) Rysunek z książki: Sławomir Kula; *Przewodowe systemy dostępne xDSL* (w przygotowaniu)

Tłumienność i przesuwność jednostkowa *)



*) Rysunek z książki: Sławomir Kula; *Przewodowe systemy dostępne xDSL* (w przygotowaniu)

Transmitancja linii *)



Napięcie indukowane w odbiorniku, gdy $Z_C = Z_o$

$$U(x, f) = U_N e^{-\gamma(f)x}; \quad U(l, f) = U_o(f) = U_N e^{-\gamma(f)l}$$

Transmitancja

$$H(f) = e^{-l\gamma(f)}$$

*) Rysunek z książki: Sławomir Kula; *Przewodowe systemy dostępne xDSL* (w przygotowaniu)

Prędkość fazowa i grupowa

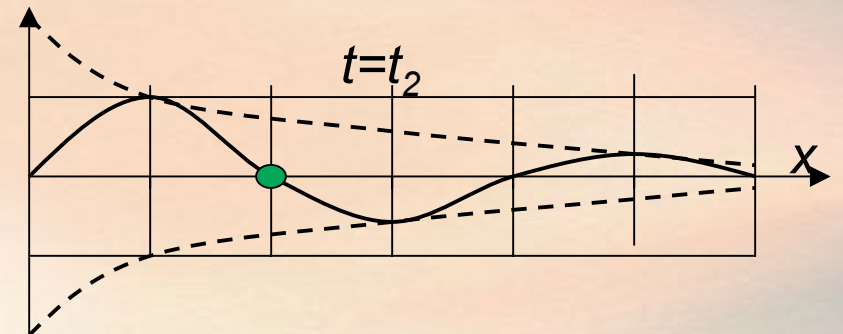
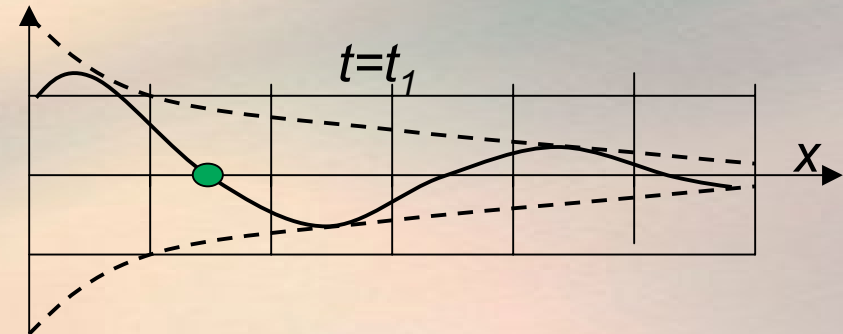
Prędkość fazowa v to prędkość z jaką poruszają się punkty ekwifazowe w linii:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{\omega}{\beta}$$

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

Prędkość grupowa v_g opisuje zmiany prędkości fazowej w zależności od ω :

$$v_g = \frac{d\omega}{d\beta}$$



Linia niezniekształcająca (zrównoważona)

Linia niezniekształcająca, to taka linia, która nie wprowadza zniekształceń amplitudowych ani fazowych, a więc spełniająca następujące warunki:

Tłumienność jednostkowa

$$\alpha(f) = \sqrt{RG} = \text{const}$$

Prędkość fazowa

$$v(f) = v_g(f) = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \text{const}$$

Przesuwność jednostkowa

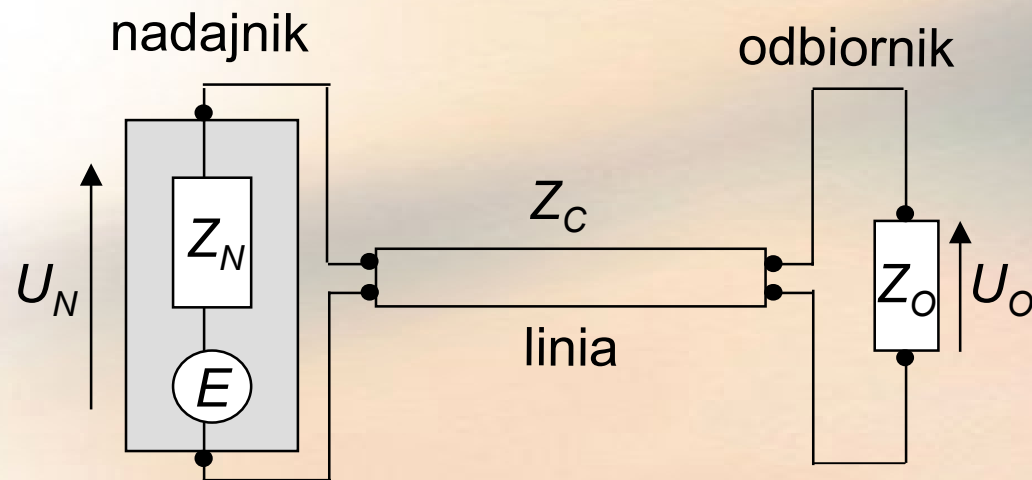
$$\beta = \omega\sqrt{LC}$$

Impedancja charakterystyczna

$$Z_c = R_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Linia niezniekształcająca jednakowo tłumি wszystkie składowe częstotliwościowe sygnału i nie wprowadza dyspersji.

Niedopasowanie *)



$$\rho_N = \frac{Z_N - Z_C}{Z_N + Z_C}$$
$$\rho_O = \frac{Z_O - Z_C}{Z_O + Z_C}$$

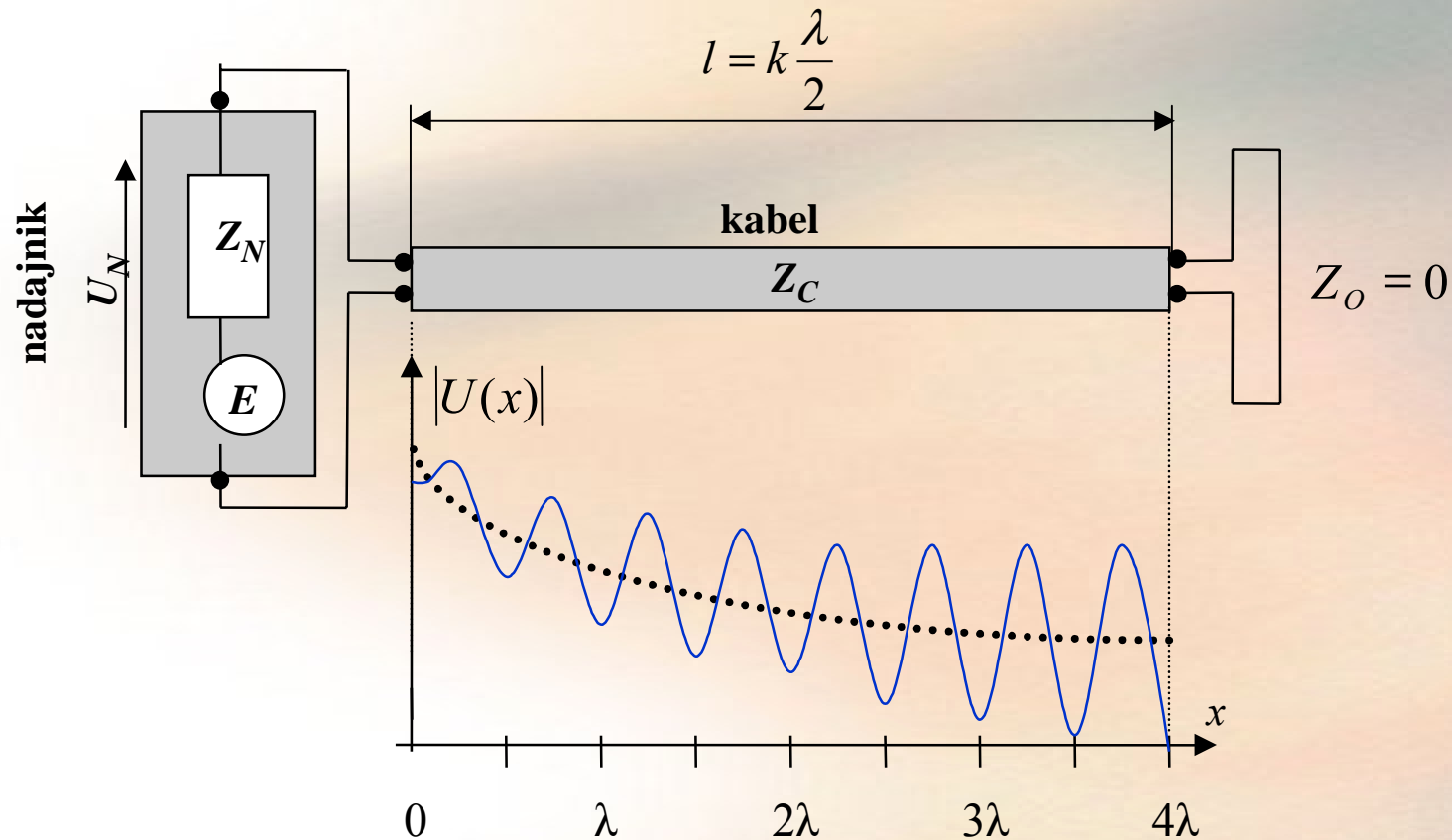
współczynniki odbicia

$$H(f) = \frac{Z_C}{Z_C + Z_N} \frac{(1 + \rho_O)e^{-\gamma(f)l}}{1 - \rho_N \rho_O e^{-2\gamma(f)l}}$$

transmitancja

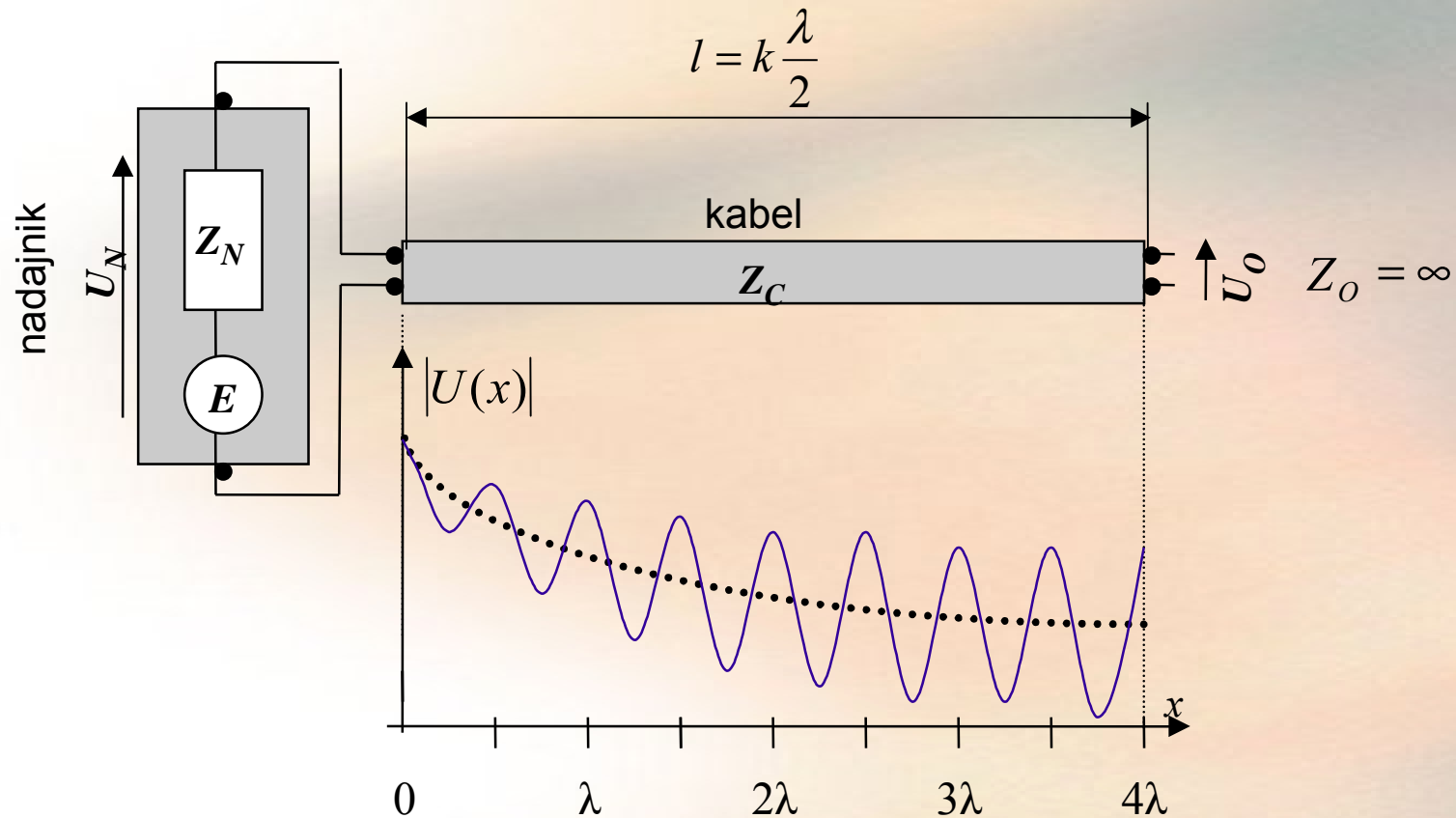
*) Rysunek z książki: Sławomir Kula; *Przewodowe systemy dostępne xDSL* (w przygotowaniu)

Odbicie w linii zwartej półfalowej ^{*)}



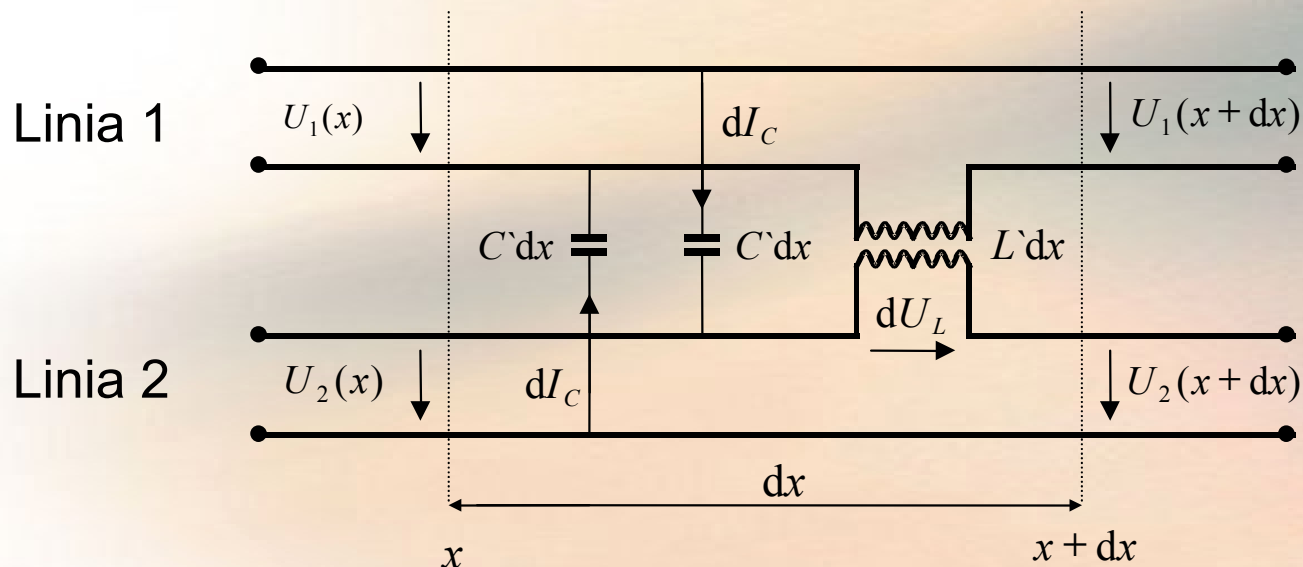
^{*)} Rysunek z książki: Sławomir Kula; *Przewodowe systemy dostępowe xDSL* (w przygotowaniu)

Odbicia w linii rozwartej półfalowej *)



*) Rysunek z książki: Sławomir Kula; *Przewodowe systemy dostępowe xDSL* (w przygotowaniu)

Przeniki między liniami o długości dx *)



$$dU_2(x+dx) = \frac{1}{2} Z_C dI_C - \frac{1}{2} dU_L .$$

Dla $Z_C \ll \frac{1}{j\omega C'l}$

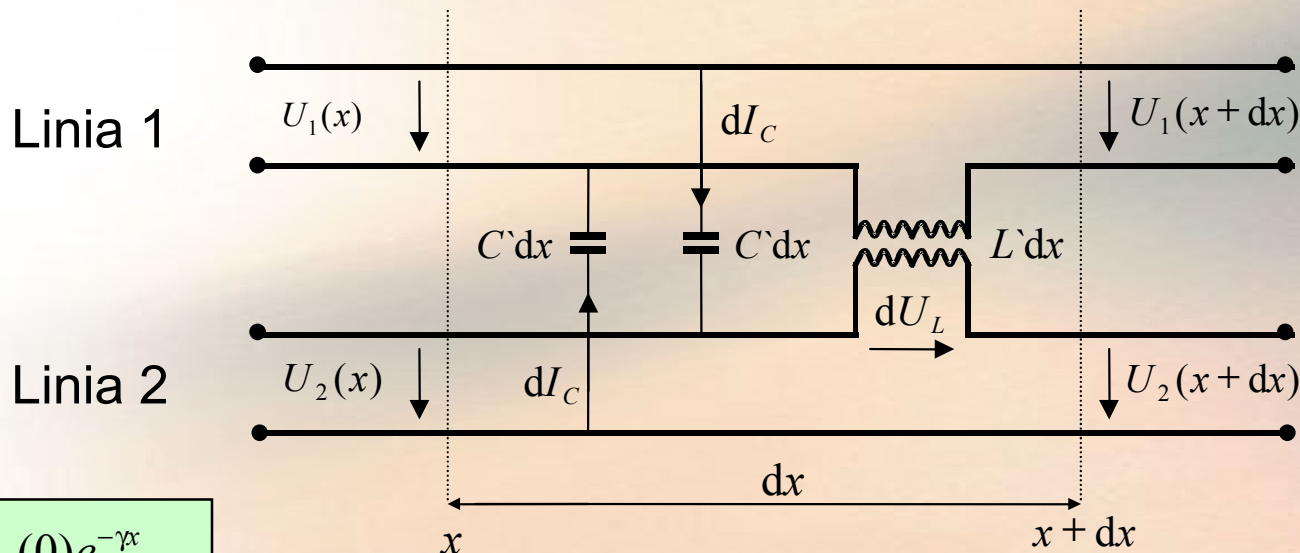
oraz

$Z_C \gg j\omega L'l$, otrzymujemy

$$\begin{aligned} dI_C &\cong j\omega C' U_1(x) , \\ dU_L &\cong j\omega L' I_1(x) . \end{aligned}$$

*) Rysunek z książki: Sławomir Kula; *Przewodowe systemy dostępne xDSL* (w przygotowaniu)

Odcinek linii długiej o długości dx *)



$$U_1(x) = U_{1N}(0)e^{-\gamma x} ,$$

$$I_1(x) = \frac{U_{1N}(0)}{Z_C} e^{-\gamma x} .$$

$$U_2(l) = U_{FEXT}(l) = \int_{x=0}^{x=l} e^{-\gamma(l-x)} dU_2(x+dx) =$$

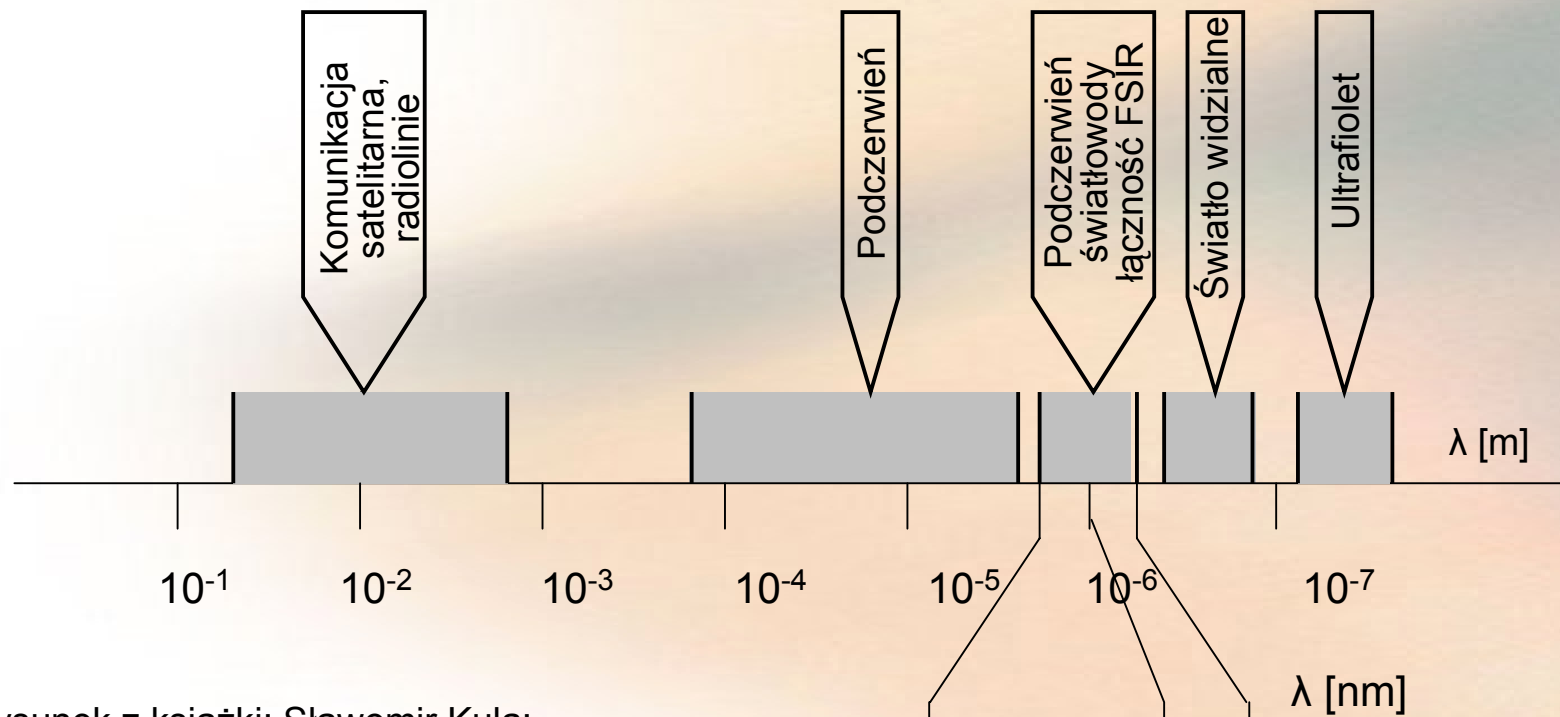
$$= U_{1N}(0)e^{-\gamma l} \cdot \frac{1}{2} j\omega l [C'Z_C - (\frac{L'}{Z_C})] .$$

$$A_{FEXT} = \frac{|U_{1N}(0)|^2}{|U_{FEXT}(l)|^2} = \frac{1}{\left| \frac{1}{2} j\omega l e^{-\gamma l} [C'Z_C - (\frac{L'}{Z_C})] \right|^2}$$

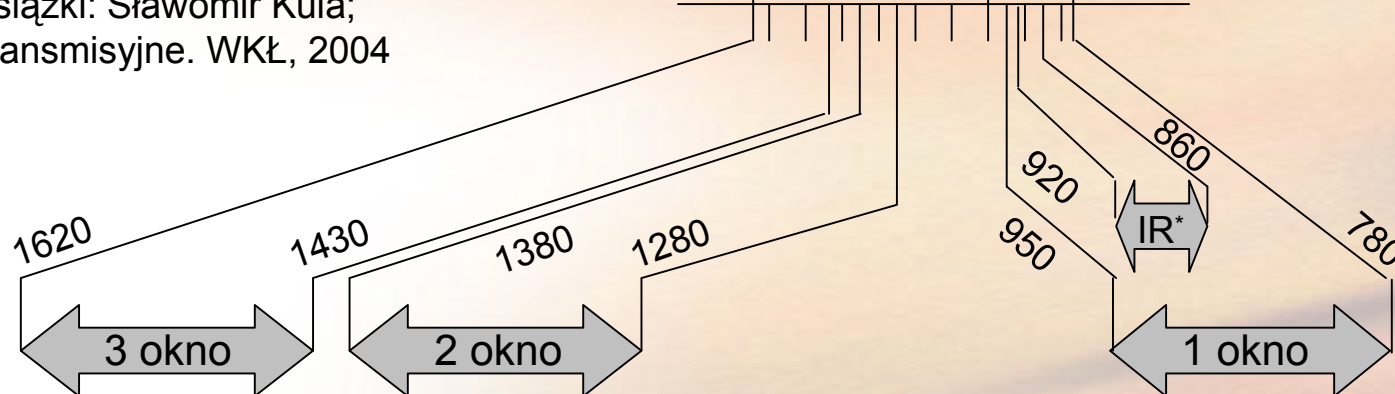
$$SNR_{FEXT} = \frac{|U_{2N}(l)|^2}{|U_{FEXT}(l)|^2} = \frac{1}{\left| \frac{1}{2} j\omega l [C'Z_C - (\frac{L'}{Z_C})] \right|^2}$$

*) Rysunek z książki: Sławomir Kula; *Przewodowe systemy dostępowe xDSL* (w przygotowaniu)

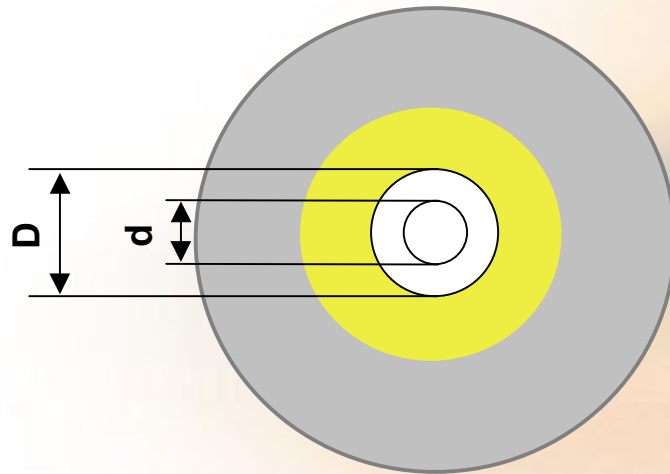
Zakresy fal świetlnych *)



*) Rysunek z książki: Sławomir Kula;
Systemy teletransmisyjne. WKŁ, 2004



Światłowód i rozchodzenie fali świetlnej



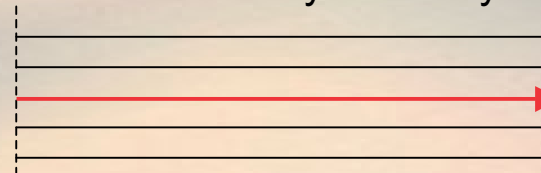
Profil skokowy



Profil gradientowy

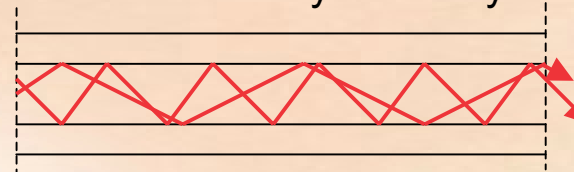


Jednomodowy skokowy



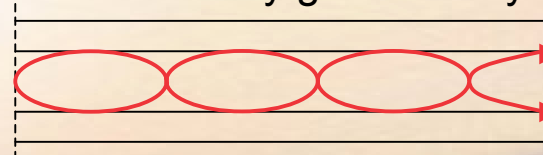
$D=125 \mu\text{m}$
 $d= 10 \mu\text{m}$

Wielomodowy skokowy



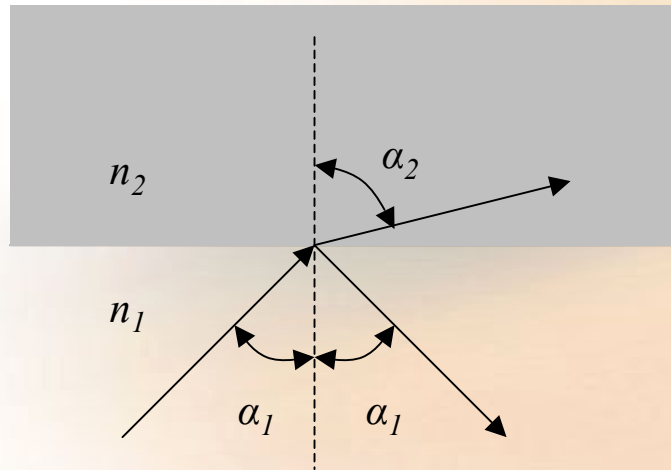
$D=125 \mu\text{m}$
 $d= 50 \mu\text{m}$

Wielomodowy gradientowy



$D=125 \mu\text{m}$
 $d= 50 \mu\text{m}$

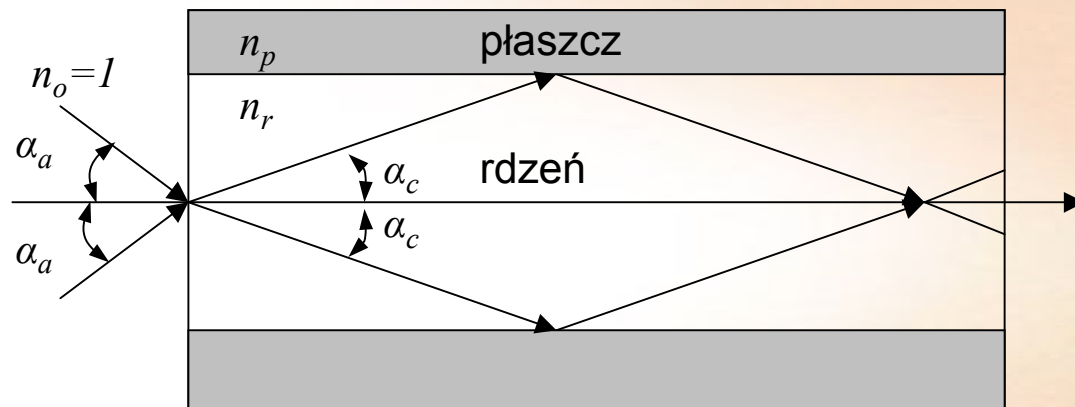
Przenikanie i odbicie fali świetlnej



$$n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2$$

$$\alpha_1 = \alpha_c = \arcsin \frac{n_2}{n_1}$$

$$NA = \sin \alpha_m = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

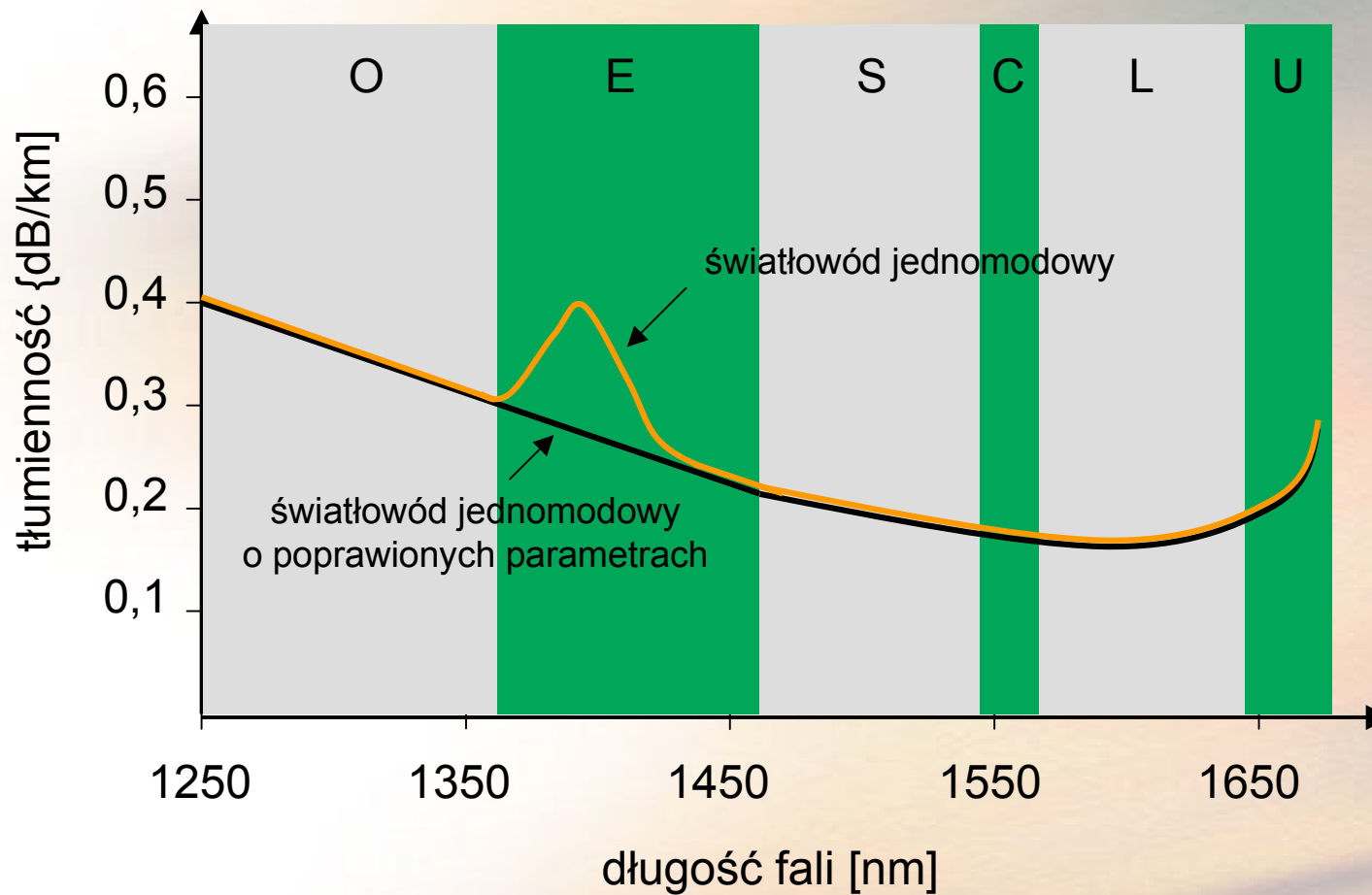


NA - apertura numeryczna

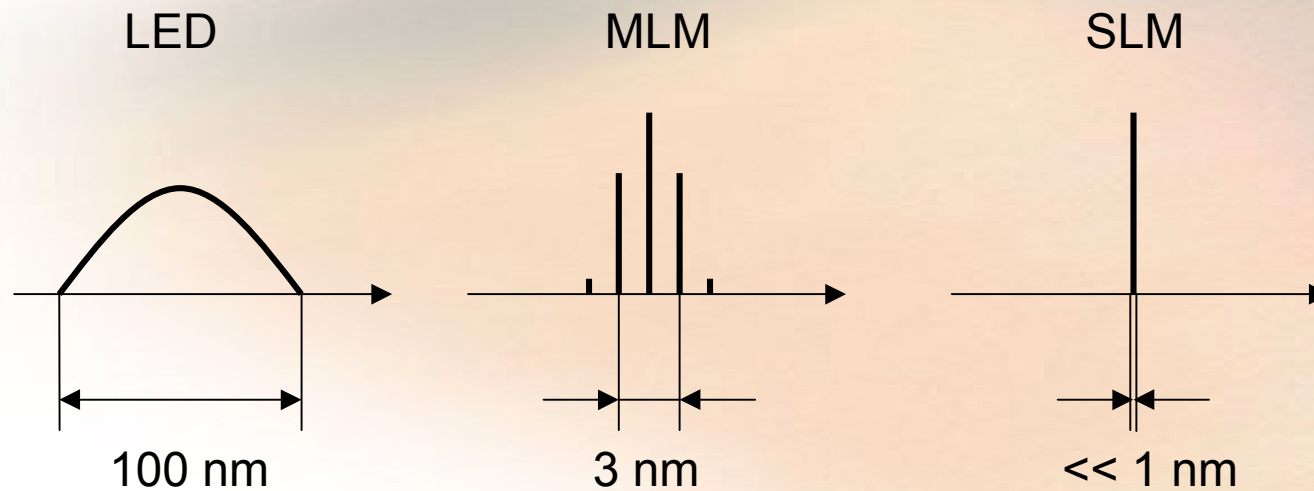
α_c - kąt krytyczny

α_m - kąt maksymalny

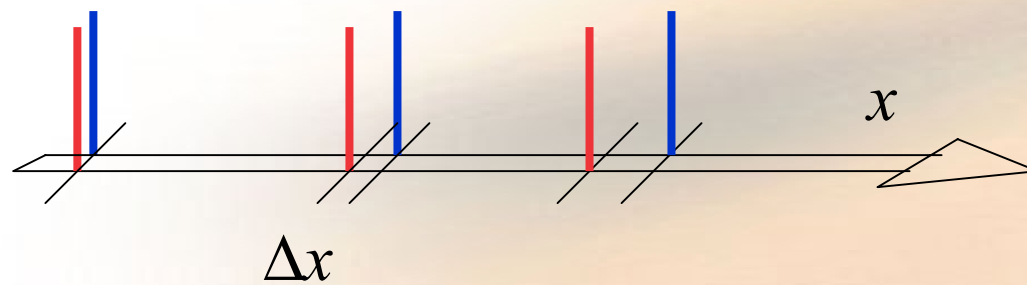
Tłumienność światłowodu



Nadajniki optyczne



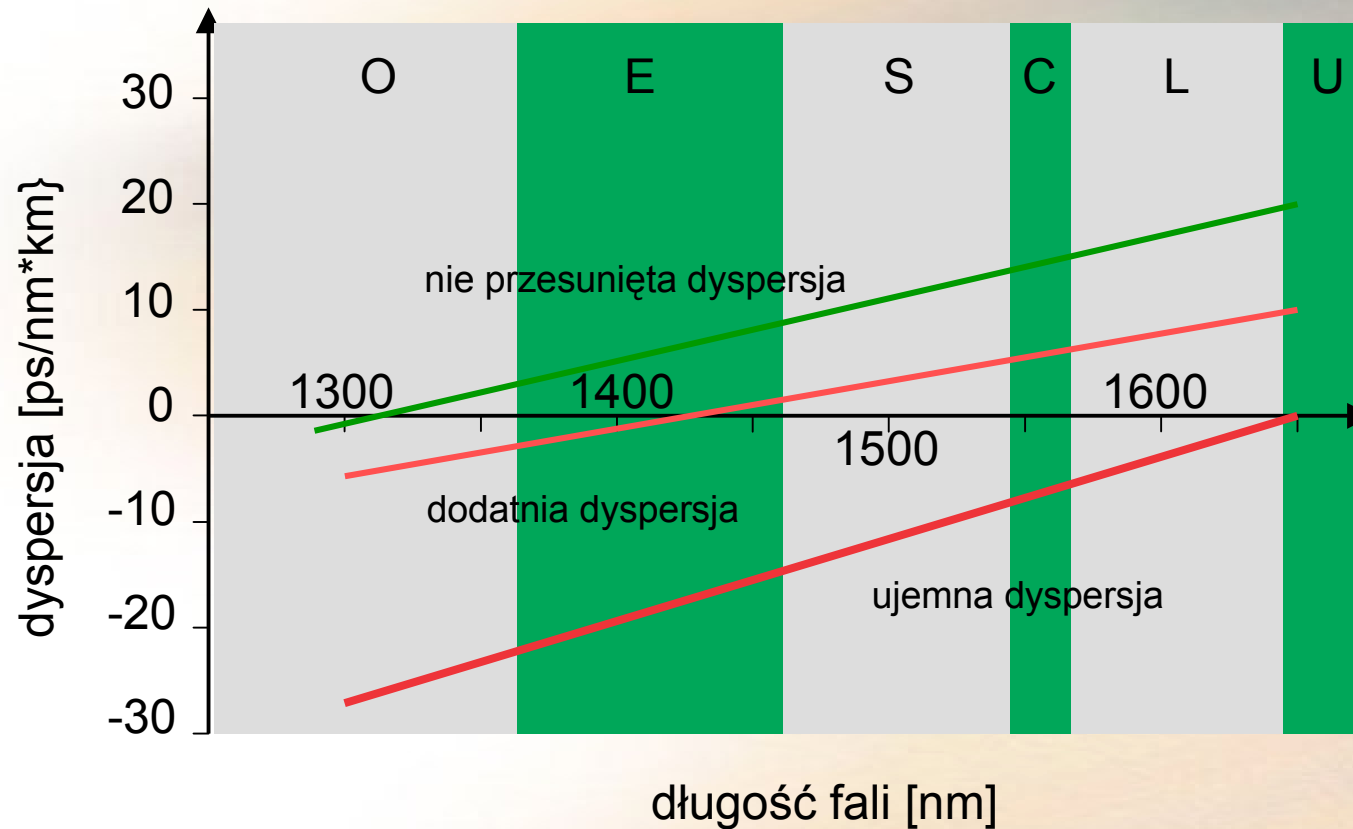
Dyspersja chromatyczna



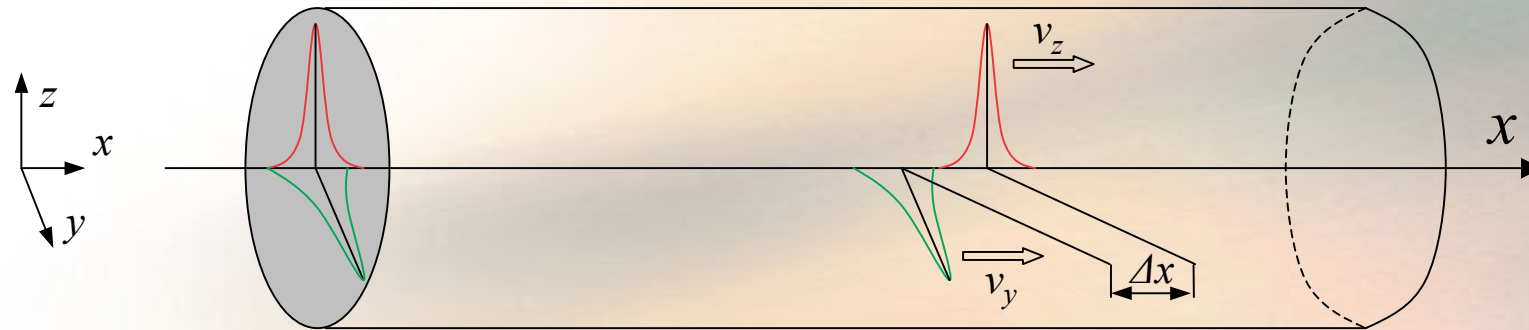
$$\Delta x = t[v_1(\lambda_1) - v_2(\lambda_2)]$$



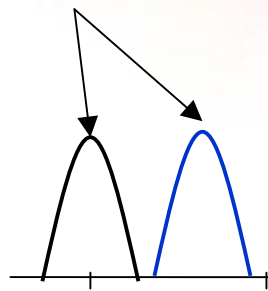
Dyspersja światłowodu



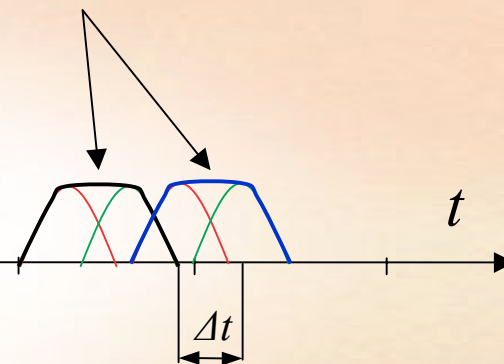
Dyspersja polaryzacyjna



Impulsy nadawane

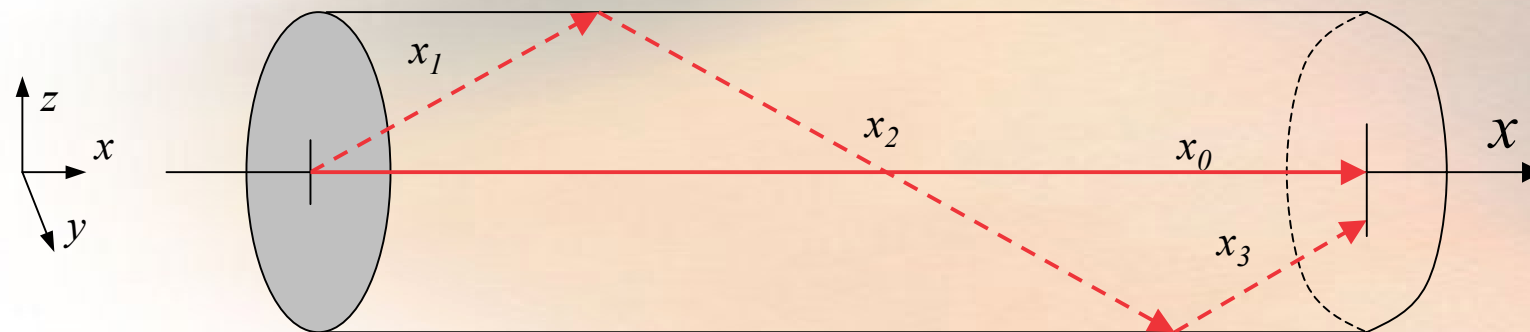


Impulsy odbierane



$$\Delta x = t(v_z - v_y)$$
$$\Delta t = \frac{x}{v_y} - \frac{x}{v_z}$$

Dyspersja modowa



Propagacja fal radiowych

- fala bezpośrednia
- fala odbita od powierzchni ziemi albo przeszkody
- fala odbita od troposfery albo jonosfery
- fala załamana
- fala ugięta

Rozchodzenie się fal radiowych w wolnej przestrzeni

$$P_R = \frac{P_T G_T}{4\pi R^2} \cdot \frac{\lambda^2 G_R}{4\pi}$$

P_R – moc w odbiorniku [W] :

P_T – moc nadajnika [W] :

G_R – sprawność anteny odbiorczej [W] :

G_T – sprawność anteny nadawczej [W] :

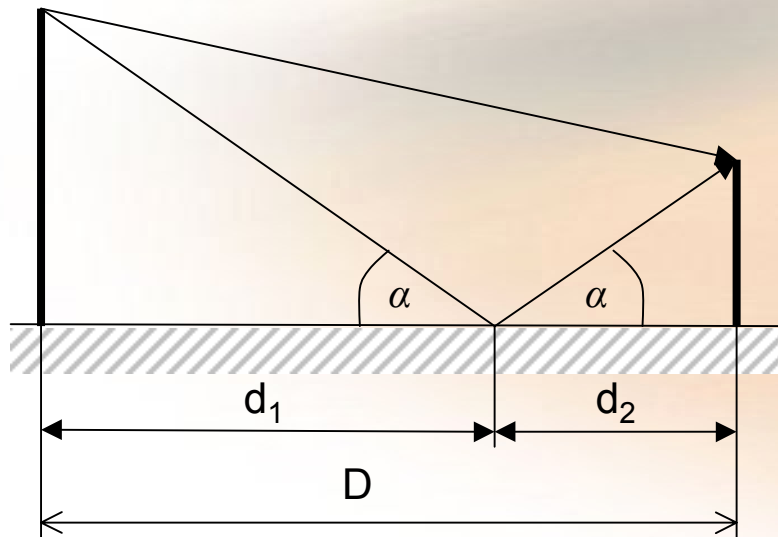
R – odległość od anteny nadawczej [m] :

λ – długość fali [m] :

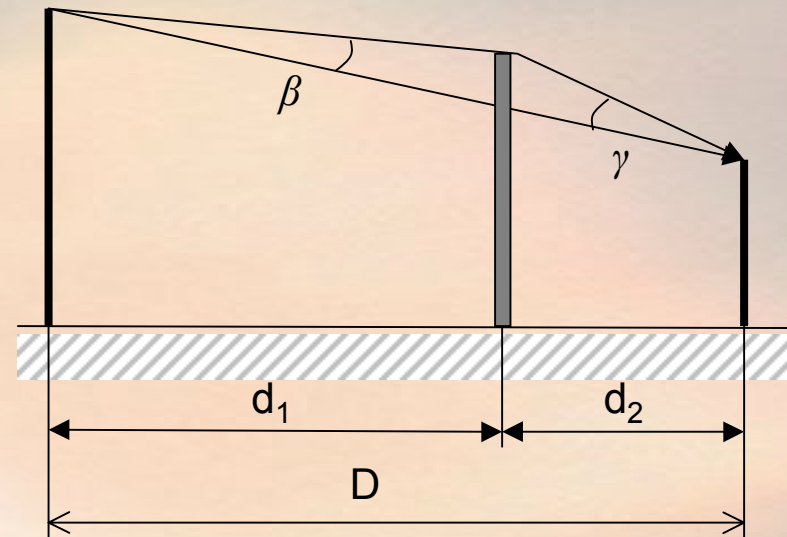
Zakładając: $G_R = G_T = 1$ mamy:

$$L[dB] = 10 \log_{10} \frac{P_T}{P_R} \approx 32,44 + 20 \log_{10} R[km] + 20 \log_{10} f[MHz]$$

Rozchodzenie się fal radiowych

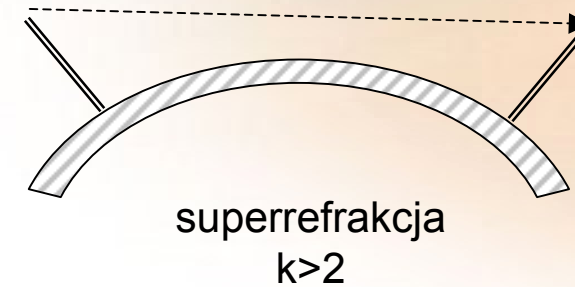
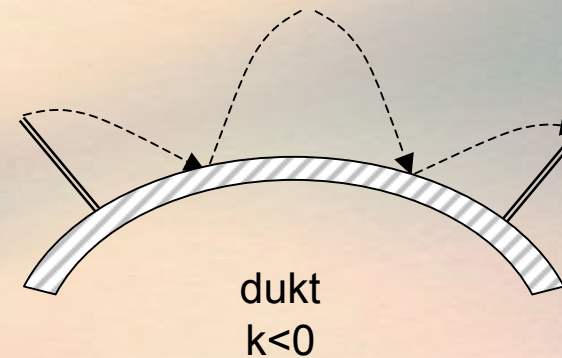
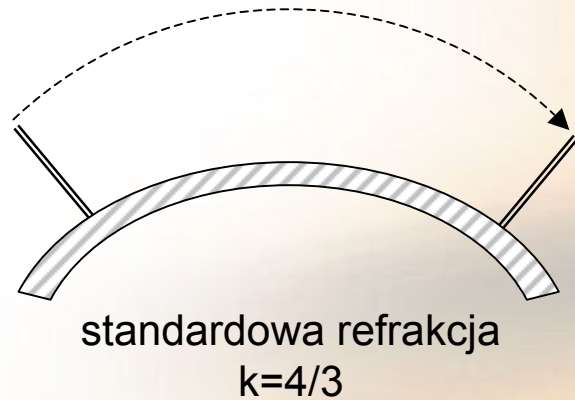


Odbicie fali

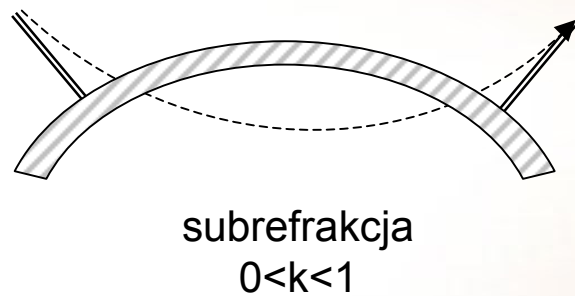


Załamanie fali

Ugięcie (refrakcja) fal radiowych

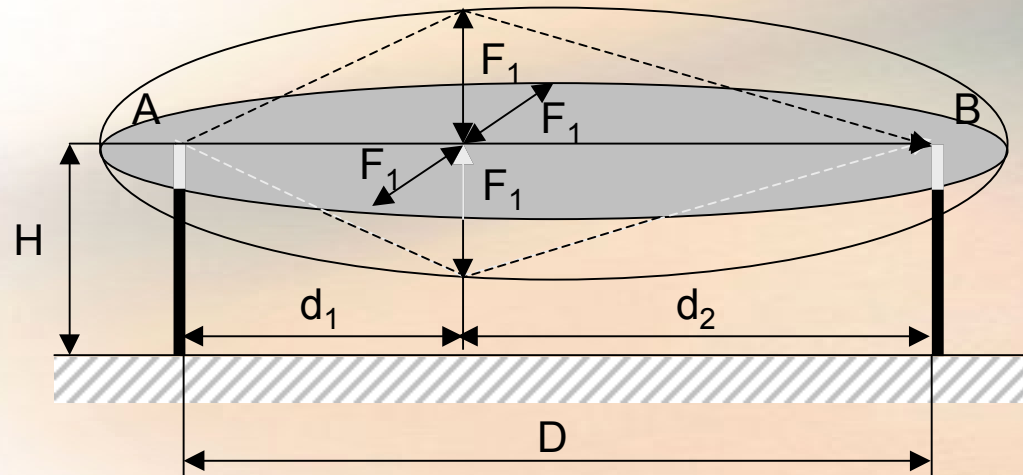


$$k = \frac{1}{1 + r \left(\frac{dn}{dh} \right)}$$



R - promień Ziemi
 n - współczynnik refrakcji
 h - wysokość

Strefy Fresnela



$$F_n = 17,3 \sqrt{\frac{nd_1d_2}{fD}}$$

Zależność tłumienności od wysokości przeszkody

