

Optinis ryšys

Pirmieji optiniai ryšiai:

- senovės gentys naudojo - dieną atspindėtą saulės šviesą arba dūmus, naktį – laužus.
- Senovės Graikija apie Trojos žlugimą sužinojo irgi optinio ryšio dėka: naktį virtinė laužų nuo Ido iki Atėnų paskelbė apie pergalę.
- XVIII amžiuje informacijai perduoti buvo pradėtas naudoti optinis telegrafas sausumoje ir vėliavėlių bei mirksinčių lempų signalizacija jūroje.

Optinis ryšys

1880 m. [Alexander Graham Bell](#) išrado savo "Photophone", kuris perdavinėjo garsinį signalą šviesos banga. Bell'as sufokusavo Saulės šviesą veidrodžiu ir nukreipė jį į mechanizmą kuris virpino vedrodį. Priėmimo įrenginyje detektorius priimdavo moduluotą šviesos bangą ir dekodavo šviesos signalą atgal į garsinį signalą (panašiai kaip tai vyksta telefone). Deja, toks ryšys nebuvo stabilus, problemos iškildavo ūkanotą dieną ar naktį. Dėl šių problemų Bell'as nutraukė tolimesnius tyrimus su "Photophone".

1880 m. William Wheeler išrado šviesos vamzdžių sistemą su didelio atspindžio koeficiento dangomis kurių pagalba apšvietė namus naudodamas elektrinio lanko lempas patalpintas rūsyje.

1888 m. Roth ir Reuss grupė medikų iš Vienos naudojo stiklo strypelius kūno ertmių apšvietimui.

1895 m. prancuzų inžinierius Henry Saint-Rene sukūrė stiklo strypelių sistemą perduodant vaizdus mėgindamas sukurti televiziją.

1898 m. amerikietis David Smith padavė paraišką patentui kuriame siūlė naudoti stiklo strypelius kaip chirurginę lempą.

1920 m. anglas [John Logie Baird](#) ir amerikietis Clarence W. Hansell užpatentavo įrenginį susidedantį iš skaidrių stiklo strypelių vaizdų perdavimui televizijai.

Optinis ryšys

In 1930, German medical student, Heinrich Lamm was the first person to assemble a bundle of optical fibers to carry an image. Lamm's goal was to look inside inaccessible parts of the body. During his experiments, he reported transmitting the image of a light bulb. The image was of poor quality, however. His effort to file a patent was denied because of Hansell's British patent.

In 1954, Dutch scientist Abraham Van Heel and British scientist Harold. H. Hopkins separately wrote papers on imaging bundles. Hopkins reported on imaging bundles of unclad fibers while Van Heel reported on simple bundles of clad fibers. He covered a bare fiber with a transparent cladding of a lower refractive index. This protected the fiber reflection surface from outside distortion and greatly reduced interference between fibers. At the time, the greatest obstacle to a viable use of fiber optics was in achieving the lowest signal (light) loss.

In 1961, Elias Snitzer of American Optical published a theoretical description of single mode fibers, a fiber with a core so small it could carry light with only one wave-guide mode. Snitzer's idea was okay for a medical instrument looking inside the human, but the fiber had a light loss of one decibel per meter. Communications devices needed to operate over much longer distances and required a light loss of no more than 10 or 20 decibels (measurement of light) per kilometer.

In 1964, a critical (and theoretical) specification was identified by Dr. C.K. Kao for long-range communication devices, the 10 or 20 decibels of light loss per kilometer standard. Kao also illustrated the need for a purer form of glass to help reduce light loss.

Optinis ryšys

In 1970, one team of researchers began experimenting with fused silica, a material capable of extreme purity with a high melting point and a low refractive index. Corning Glass researchers [Robert Maurer, Donald Keck and Peter Schultz](#) invented fiber optic wire or "Optical Waveguide Fibers" (patent #3,711,262) capable of carrying 65,000 times more information than copper wire, through which information carried by a pattern of light waves could be decoded at a destination even a thousand miles away. The team had solved the problems presented by Dr. Kao.

In 1975, the United States Government decided to link the computers in the NORAD headquarters at Cheyenne Mountain using fiber optics to reduce interference.

In 1977, the first optical telephone communication system was installed about 1.5 miles under downtown Chicago, and each optical fiber carried the equivalent of 672 voice channels.

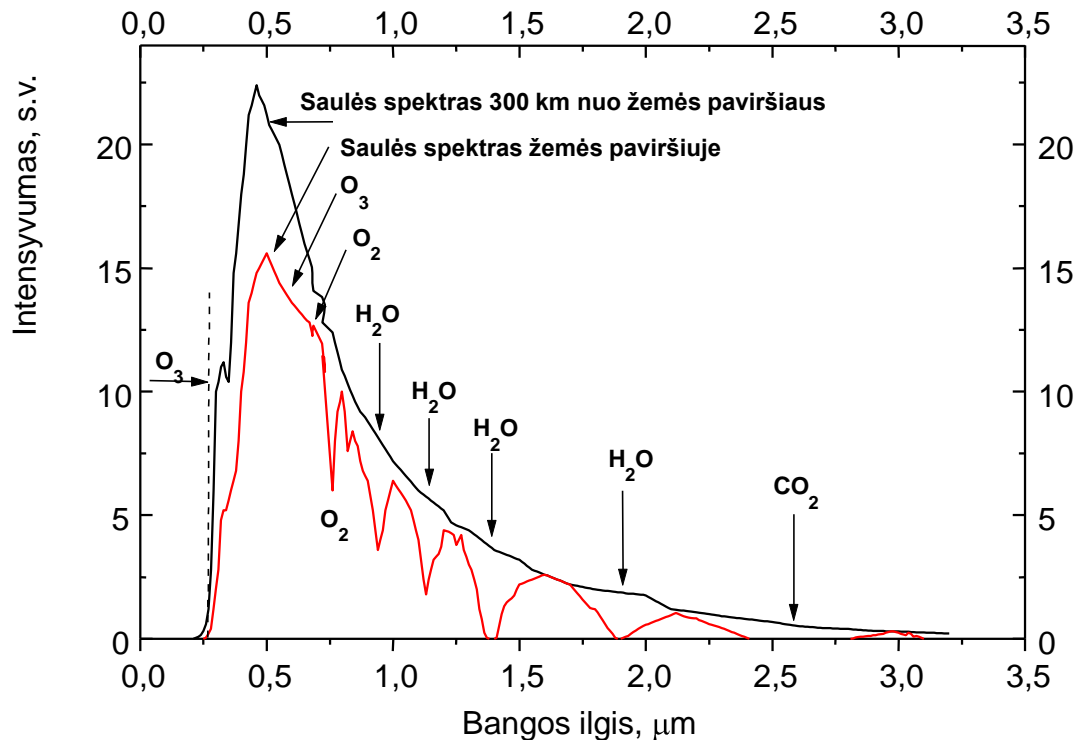
Today more than 80 percent of the world's long-distance traffic is carried over optical fiber cables, 25 million kilometers of the cable Maurer, Keck and Schultz designed has been installed world wide.

Optinis ryšys

1961 m. – pirma kartą iškelta idėja naudoti koherentinių šviesos šaltinių lazerių spinduliuotą informacijos perdavimui atviroje erdvėje.

Problema A : atmosferos sugertis (įvairios dujos, teršalai ir t.t.)

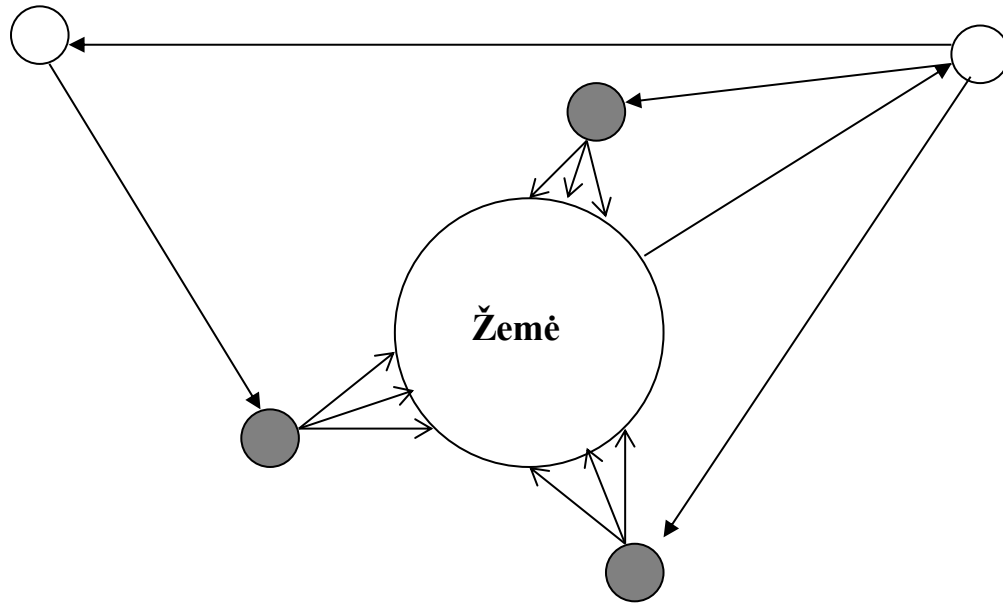
Problema B: Reilėjaus sklaida (rūkas, debesys, smogas, dūmai ...).



Saulės spektras 300 km aukštyje ir žemės paviršiuje. Abscisės ašyje atidėta galia tenkanti 1 m² žemės paviršiaus (matuota 10nm spektro pločiui) [Van de Hulst H. C., The Chromosphere and the Corona. The sun, ed. G.P.Kuiper, Chicago University Press, 1953]

Optinis ryšys

Kodėl patrauklus atviras ryšys optiniame diapazone?



- – geostacionariniai
- – žemaorbitiniai palydovai
- – optinio ryšio kanalai
- ➔ – mikrobangų ryšio kanalai

Palydovinio kombinuoto mikrobangio–
optinio ryšio grandinė

Pasirenkant ryšio priemonių variantą kosmose didelę svarbą turi siųstuvų ir imtuvų masė, energijos imlumas ir antenų matmenys. Iš visų žinomų (ir prieinamų) elektromagnetinių bangų spinduliavimo šaltinių mažiausią skėstį, t.y. kryptingumą turi šviesos šaltiniai - lazeriai. Taigi šių šaltinių pagrindu sukurtos ryšio sistemos turi siauriausią kryptingumo diagramą ir reikalauja mažų priimančios antenos gabaritų.

Optinis ryšys

Kodėl patrauklus atviras ryšys optiniame diapazone?

Optinės informacijos atviros perdavimo sistemos praktikoje naudojamos pakankamai plačiai. Tai lazeriniai tolimačiai, optiniai taikikliai, geodeziniai įrenginiai, telemetrinės sistemos sunkiai prieinamose vietose ir t.t.

Fundamentiniai atviro optinio ryšio/zondavimo uždaviniai:

- Mėnulio ir geostacionarinių palydovų lokacija Žemės tektoninių plokščių dreifo greičiui nustatyti / Žemės drebėjimų prognozės
- Optinis ozono sluoksnio zondavimas / CO₂ ir freono įtaka Žemės geosferai
- Globalinis informacinis ryšys
- Artimų Žemei Astronominių objektų zondavimas / Žemės apsaugos nuo Kosminių kataklizmų prevencija
- Klimato veiksnių kontrolė / Vandenynų būklė / oro masių pernaša t.t.
- Teraherciniame diapazone šaudmenų, narkotikų aptikimas ir t.t.

INFORMACIJOS PERDAVIMO SISTEMŲ STRUKTŪRA

Bendri informacijos kodavimo principai

•Bet kokia informacija, kurią mes gauname gali būti aprašyta keliais fizikiniais parametrais: signalo amplitude, faze, impulsų trukme, pasikartojimo impulsų dažnių ir t.t. Skiriami 4 bendri informacijos perdavimo būdai:

- 1. analoginio signalo, t.y. signalo, kurio amplitudė nuolatos kinta laike,***
- 2. diskretinio signalo, t.y. vienetinio signalo, turinčio prasminę informaciją (vėliavėlių signalai jūrininkystėje, Morzės abėcėlė, ...)***
- 3. diskretiniai nuolatos kintantys laike signalai, pvz. FAX aparato signalai gaunami skenuojant tekstą ir galintys įgyti bet kuriuo laiko momentu tik dvi vertes, atitinkančias “juoda” arba “balta”.***
- 4. diskretizuotas signalas, kai pastarasis gali turėti bet kokią vertę, bet tik diskretiniais laiko momentais.***
- 5. q-bit technologija koduota informacija?***

•Vienas svarbiausių parametru, apibūdinančių ryšio sistemų taikomumą yra informacijos perdavimo patikimumas ir priimtos informacijos autentiškumas perduotajai. Šiuo požiūriu labiausiai komplikotas yra analoginių signalų perdavimas, nes įvairūs trikdžiai ryšio linijose, skirtingi slopinimai įvairaus dažnio signalo komponentams gali žymiai apriboti perduodamos informacijos kiekį. Šiuo atžvilgiu žymiai patikimesnis yra diskretizuotų laike signalų perdavimas ryšio linijomis. Taigi, norint patikimai perduoti ryšio linija analoginį signalą, būtina jį diskretizuoti, o imtuvo pusėje vėl, diskretizuotą signalą transformuoti į analoginį.

Optinis ryšys

Kaip diskretizuoti analoginius signalus?

Pagal amplitudę – kuo smulkiau tuo geriau?

Pagal poreikį:

Patikimam telefoniniam ryšiui pakankamas 6 dB dinaminis diapazonas.

Muzikiniams garsams perteikti būtinas 100 dB dinaminis diapazonas

Laike?

Naikvisto teorema:

Jeigu didžiausias funkcijos $s(t)$ spektro dažnis mažesnis negu F_m , tai funkcija $s(t)$ pilnai apibrėžiama savo verčių reikšmėmis laiko momentais, nutolusiais vienas nuo kito ne daugiau negu $1/2 F_m$.

Taigi diskretizavimo intervalo mažinimas $1/2 F_m$ atžvilgiu leistinas, bet betikslis. Intervalo $1/2 F_m$ didinimas neatleistinas, nes šiuo atveju funkcija $s(t)$ nebus pilnai aprašyta laiko momentais $\Delta t k$.

Optinis ryšys

Naikvisto teorema apibrėžia kaip diskretizuoti siunčiamą signalą, ir kaip reikia parinkti diskretizavimo intervalą T , kad pilnai būtų išsaugota informacija turėta analoginiame signale:

Jeigu didžiausias funkcijos $s(t)$ spektro dažnis mažesnis negu F_m , tai funkcija $s(t)$ pilnai apibrėžiama savo verčių reikšmėmis laiko momentais, nutolusiais vienas nuo kito ne daugiau negu $1/2 F_m$.

Pagal šią teoremą signalas $s(t)$, apribotas pagal spektrą didžiausiu dažniu $\Omega_m = 2\pi F_m$ gali būti aprašyta eilute:

$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} s\left(\frac{n}{2F_m}\right) \frac{\sin\left[\Omega_m\left(t - \frac{n}{2F_m}\right)\right]}{\left[\Omega_m\left(t - \frac{n}{2F_m}\right)\right]} = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} s(n\Delta t) \varphi_n(t) \quad (1)$$

$\left(\frac{1}{2}F_m = \Delta t\right)$ – intervalas tarp dviejų atskaitos taškų,

$s\left(\frac{n}{2F_m}\right) = s(n\Delta t)$ – funkcijos $s(t)$ vertės laiko momentais $t = n\Delta t$

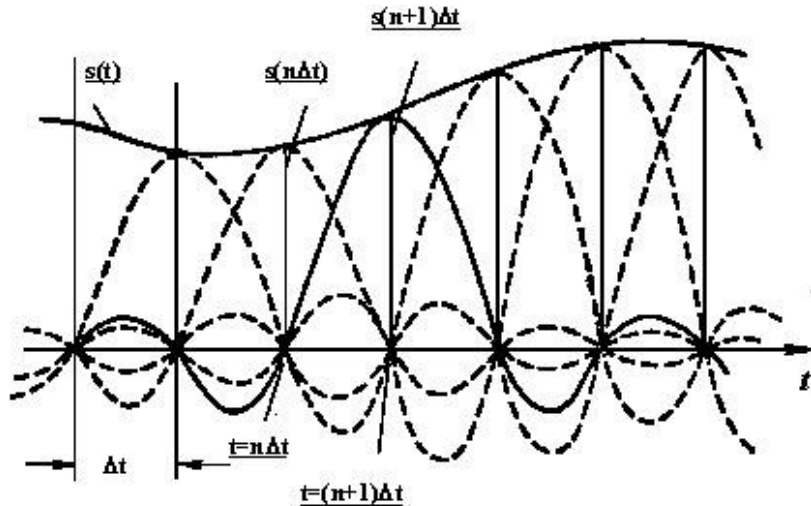
Funkcija $\varphi_n(t) = \frac{\sin[\Omega_m(t - n\Delta t)]}{\Omega_m(t - n\Delta t)}$ turi tokias savybes \Rightarrow a.

$$t = n\Delta t, \quad \varphi_n(t) = 1$$

$$t = k\Delta t, \quad \varphi_n(t) = 0$$

b. funkcijos $\varphi_0(t)$ spektrinis tankis tolygus dažninaime diapazone $|\Omega| < \Omega_m$ ir lygus $\frac{1}{2}F_m = \frac{\pi}{\Omega_m}$

Optinis ryšys



Taigi funkcijos $\varphi_n(t)$ spektrinis tnis:

$$\Phi_n(\Omega) = \frac{1}{2} F_m \exp(-in\Delta t \Omega) = \Delta t \exp(-in\Delta t \Omega),$$

$$\text{kai } \Omega_m - \Omega_m < \Omega < \Omega_m + \Omega_m \quad (3)$$

$$\Phi_n(\Omega) = 0, \text{ kai } \Omega \leq -\Omega_m \text{ ar } \Omega \geq \Omega_m$$

Seka (1) tiksliai apibūdina signalą $s(t)$ matavimo taškuose. Ar (1) seka gali apriboti funkciją $s(t)$ bet kuriuo laiko momentu?

Pasirodo kad būtina tiksliai apibrėžti diskretizavimo intervalą

Norint tai apskaičiuoti turime rasti sekos (1) koeficientus, kurie aprašomi išraiška:

$$C_n = \frac{1}{\Delta t} \int_{-\infty}^{+\infty} s(t) \varphi_n(t) dt \quad (4)$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} s(t) \varphi_n(t) dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\Omega_m}^{\Omega_m} s(\Omega) \Phi_m(\Omega) d\Omega = \frac{1}{4\pi F_m} \int_{-\Omega_m}^{\Omega_m} s(\Omega) \exp(in\Delta t \Omega) d\Omega \quad (5)$$

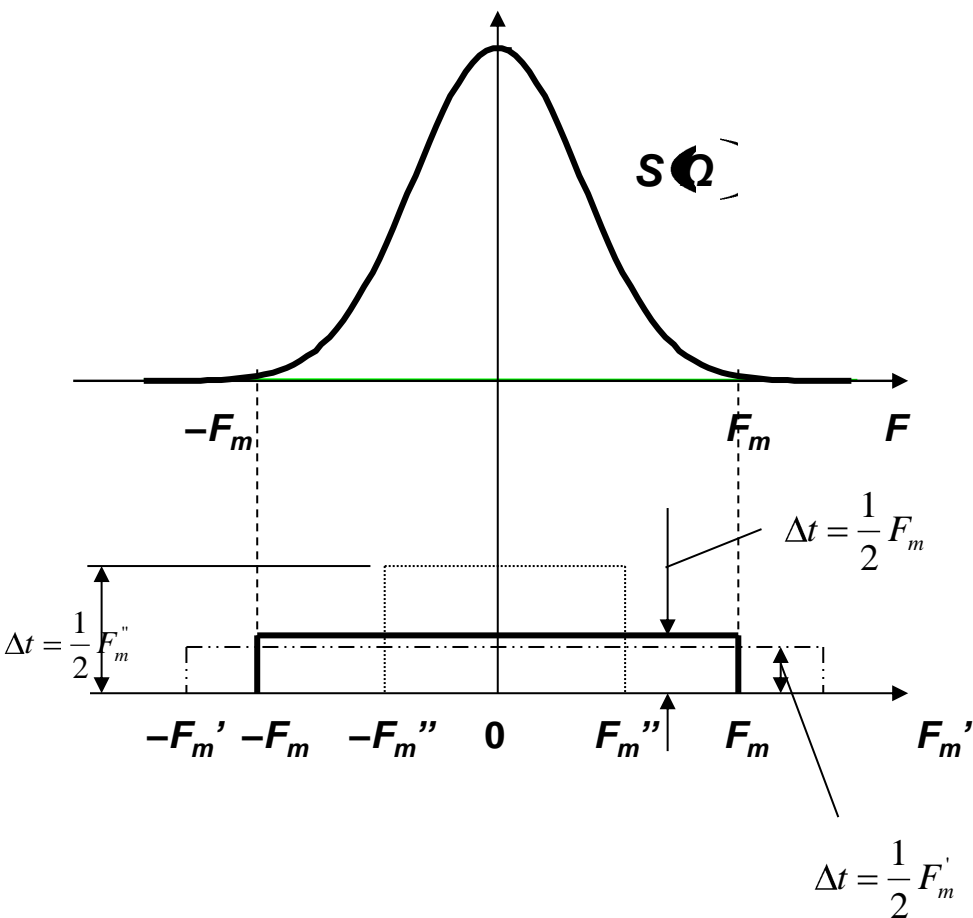
Pagal Furje transformacijos apibrėžimą:

$$s(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} s(\Omega) \exp(i\Omega t) d\Omega \quad \longrightarrow$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} s(t) \varphi_n(t) dt = \frac{1}{2F_m} s(n\Delta t) = \Delta t s(n\Delta t) \quad (7)$$

$$(6)$$

$$C_n = s(n\Delta t) \quad (8)$$



Taigi C_n vertės rodo, kad seka (I) konvertuoja į funkciją $s(t)$ esant bet kokiai vertei t . Tai gaunama iš išraiškos (8), kuri parodo, kad sekos (I) koeficientai yra funkcijos $s(t)$ vertės taškuose $t=n\Delta t$ bei kai t apribotas maksimalaus dažnio $1/2 F_m$.

Jeigu $\Delta t' < 1/2 F_m$, tai funkcijos $\varphi'_n(t)$ spektro plotis $2 F_m$ funkcijos $\Phi'_n(\Omega)$ bus didesnis, negu signalo $s(t)$ spektro $S(\Omega)$ plotis, bet tai nepakeis koeficientų C_n (5 pav. - punktyras). Priešingu atveju, t.y. kai $\Delta t'' > 1/2 F_m$ funkcijos $\varphi''_n(t)$ spektras $\Phi''_n(\Omega)$ bus siauresnis negu signalo $s(t)$ spektras ir išraiškoje (5) turi būti pakeistos integravimo ribos). Šiuo atveju koeficientai C_n priklausys jau ne funkcijos $s(t)$ dėstiniui, o kitos funkcijos $s''(t)$, kurios spektras apribotas didžiausiu dažniu F_m . (5 pav. - štrich-punktyras).

Taigi diskretizavimo intervalo mažinimas $1/2 F_m$ atžvilgiu leistinas, bet betikslis. Intervalo $1/2 F_m$ didinimas neatleistinas, nes šiuo atveju funkcija $s(t)$ nebus pilnai aprašyta laiko momentais Δt k.

Norint analoginį signalą transformuoti į skaitmeninį diskretizavimo dažnis turi būti ne mažesnis negu dvigubas didžiausias analoginio signalo spektro dažnis.

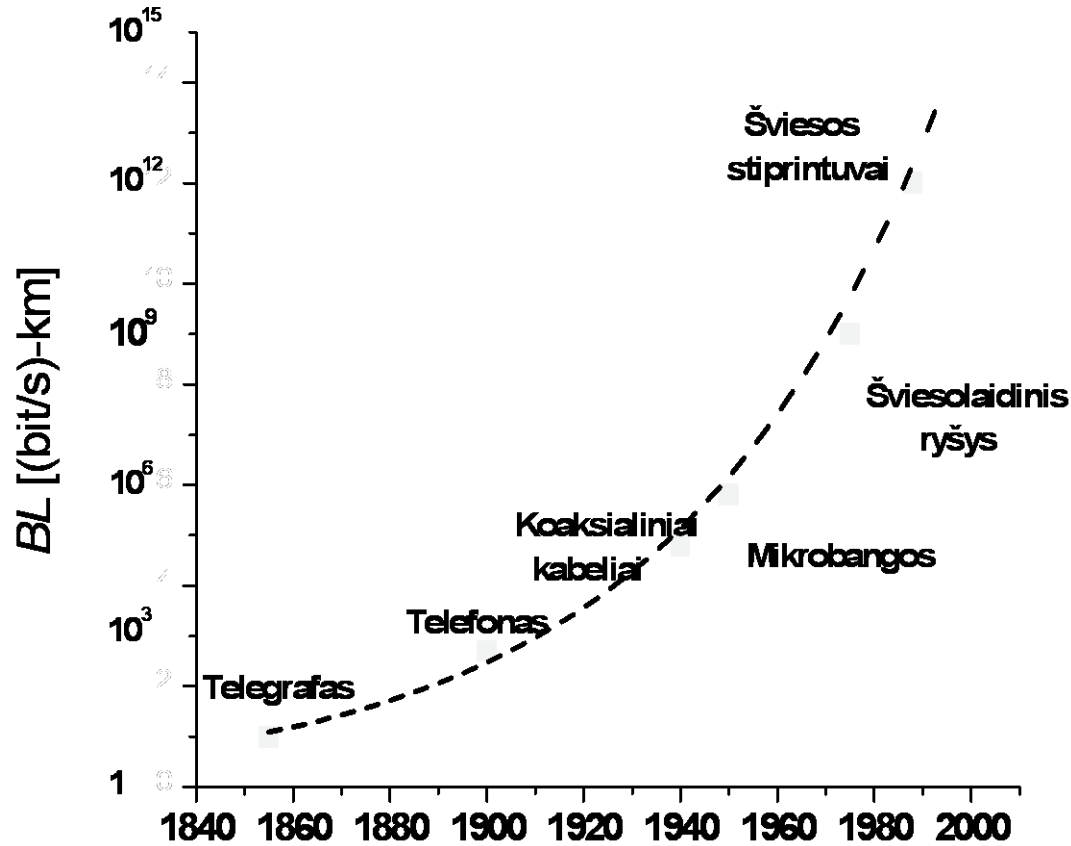
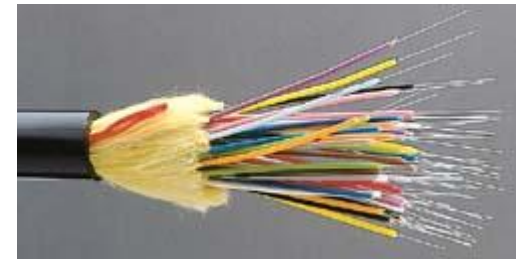
Optinis ryšys

- ❖ ŠVIESOS SKLIDIMO ŠVIESOLAIDŽIAIS PAGRINDAI
- ❖ MEDŽIAGOS DISPERSIJA IR NUOSTOLIAI ŠVIESOLAIDŽIUOSE
- ❖ LAIKINĖ DISPERSIJA ŠVIESOLAIDŽIUOSE
- ❖ BANGŲ SKLIDIMO ŠVIESOLAIDŽIUOSE YPATUMAI
- ❖ NETIESINĖ ŠVIESOLAIDŽIŲ OPTIKA
- ❖ ŠVIESOLAIDNIAI ELEMENTAI
- ❖ ŠVIESOLAIDINIAI JUTIKLIAI
- ❖ SKAIDULINIS OPTINIS RYŠYS
- ❖ ŠVIESOLAIDINIAI LAZERIAI IR STIPRINTUVAI

- **Literatūra:**

1. D. Čiplys, A. Krotkus, V. Smilgevičius. *Šviesolaidžių optika*, (Vilniaus Universiteto leidykla, 2008).
2. John. A. Buck, *Fundamentals of optical fibers*, 2nd ed. (Wiley Interscience, New York, 2004).
3. Govind P. Agrawal, *Fiber-optic communication system*, 2nd ed. (Wiley Interscience, New York, 1997).
4. Hiroshi Murata, *Handbook of optical fibers and cables*, 2nd ed. (Markel Dekker, Inc. New York, 1996).
5. Keigo Iizuka, *Elements of photonics*, Vol. 2, (Wiley Interscience, New York, 2002).
6. Ajoy Ghatak K. Thyagarajan, *Introduction to fiber optics*, (Cambridge University Press, 1998).

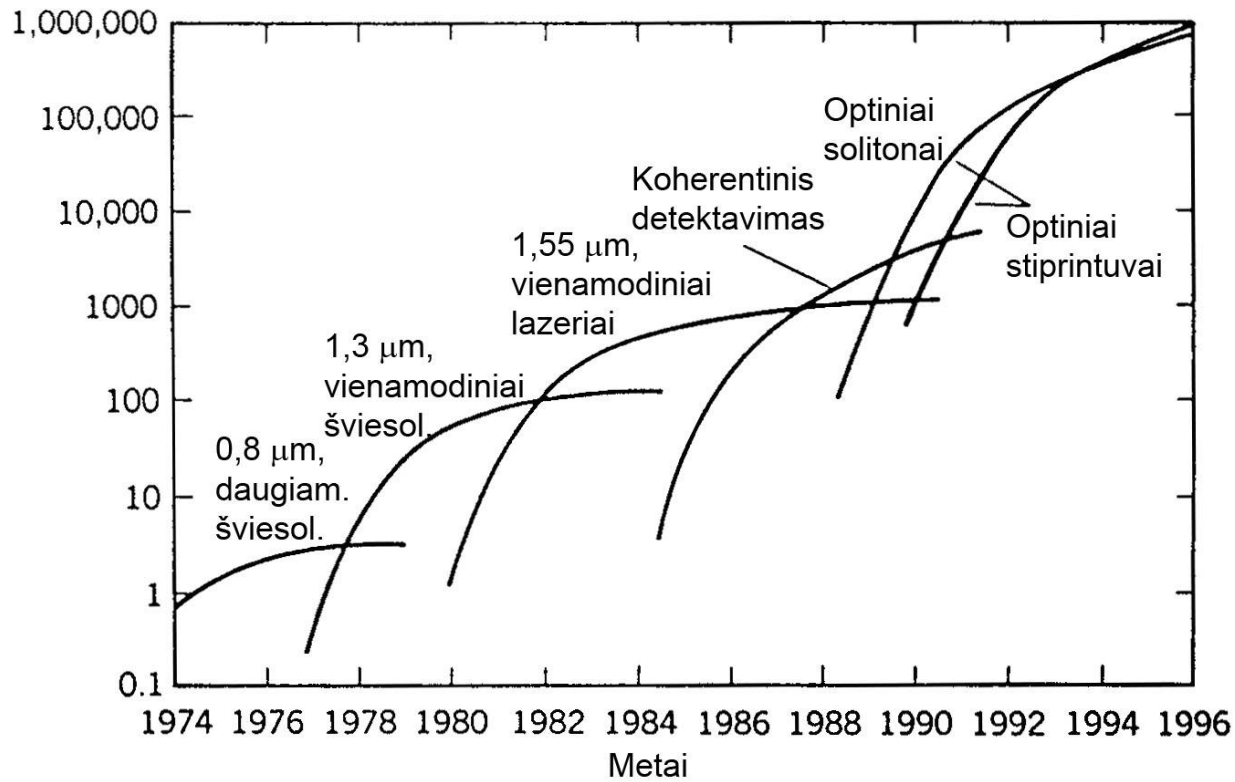
Šviesolaidžių optika I



Informacijos perdavimo spartos dinamika

Šviesolaidžių optika I

Informacijos perdavimo sparta (GB/s - km)



Šviesolaidinio ryšio spartos dinamika

Optinio ryšio raida

1841 m. – šveicaras Danielis Colladon

1870 m. – anglas Tindall

1881 m. – amerikietis Williams Wheller / patentas

– elektrinio lanko šviesos paskirstymas po namus stikliniais vamzdžiais iš rūšio

1926 m. – televizijos išradėjas John Logie Baird užpatentavo būdą

leidžiantį stiklo skaidulų pyne perduoti vaizdą

1960 m. – Harold Hopkins – šviesolaidinė pynė medicinai

1966 m. – stiklo skaidulų slopa ~ 1000 dB/km

1970 m. – “CORNING” 17 dB/km

1970 m. – pirmas puslaidininkinis lazeris veikiantis kambario temperatūroje (850 nm)

1972 m. - “CORNING” 4 dB/km

1975 m. - USA 2 dB/km

1975 m. – Šviesos diodas – 0,85 μm

1976 m. – Japonija – 0,5 dB/km

1978 m. - Šviesos diodas 1.3 μm

1979 m. - Japonija – 0,2 dB/km (1,3 μm ; 1,55 μm)

1980 m. – pirmi GaAlAs lazeriai ir Si detektoriai

1982 m. - Šviesos diodas 1.55 μm

1986 m. – pirmas šviesolaidinis ryšys per Lamanšą

1988 m. – pirmas šviesolaidinis ryšys per Atlantą

Nuostoliai šviesolaidžiuose

$$\alpha = \alpha_n + \alpha_{rad} = \alpha_{sug} + \alpha_{skl} + \alpha_{rad}$$

$$\alpha_{IR} = A \exp\left(-a_{IR}/\lambda\right)$$

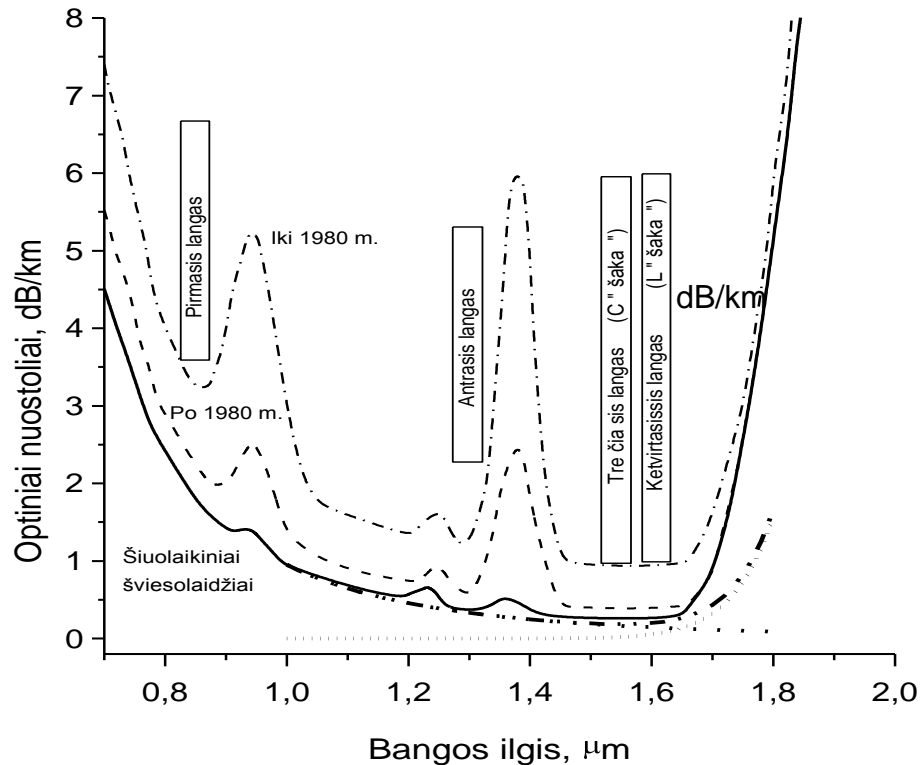
Germanosilikatiniams stiklams:

$$a_{IR} = 48.48 \mu\text{m}$$

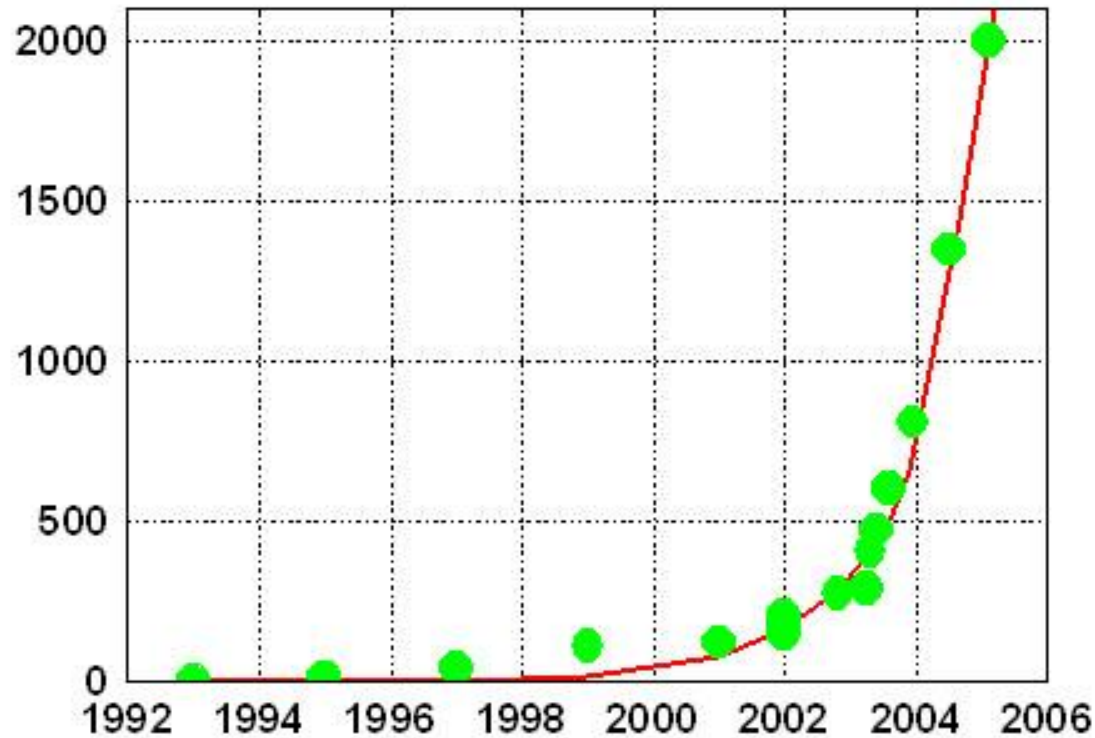
$$A = 7.81 \cdot 10^{11}$$

$$\alpha_{SKL} = B/\lambda^4$$

$$B = 0,65 \text{ dB}/\mu\text{m}^4$$



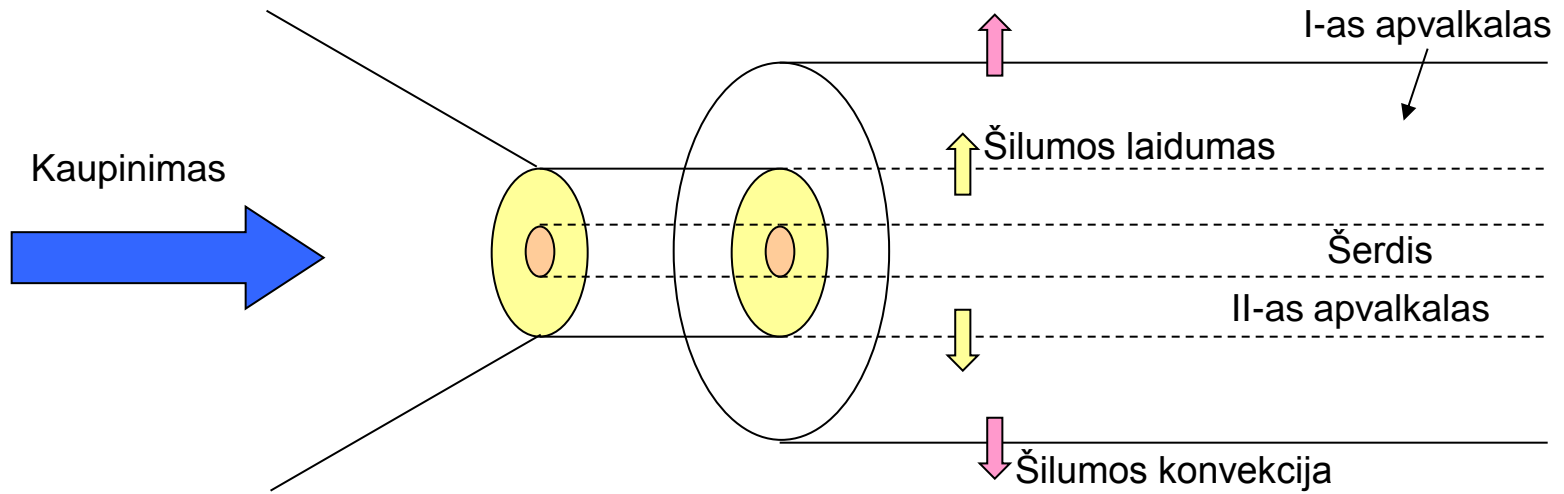
Šviesolaidžių optika I



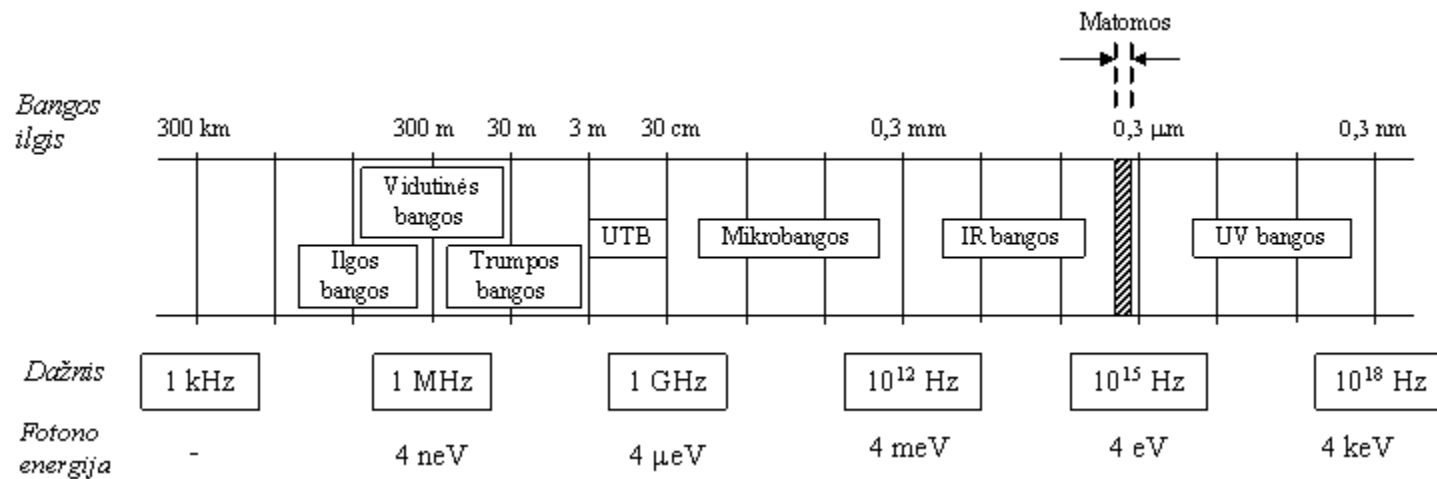
Nuolatinės veikos vienamodinių šviesolaidinių lazerių vidutinės galios vystymosi dinamika 1992 – 2005 metais

Šviesolaidžių optika I

Dvigubo apvalkalo šviesolaidis



Šviesolaidžių optika I



Šviesolaidžių optika I

Informacijos perdavimo šviesolaidinėm ryšio linijom privalumai:

Plati pralaidumo juosta – sąlygota aukštu nešančiuoju dažniu ($\sim 10^{14}$ Hz). Tai įgalina perduoti vienu šviesolaidžiu keletą terabitų per sekundę. Plati pralaidumo juosta – tai pagrindinis šviesolaidinių ryšio linijų privalumas.

Mažas signalo slopinimas šviesolaidyje – dabar gaminamų šviesolaidžių slopinimo koeficientas $1,55 \mu\text{m}$ bangos ilgiui tesiekia 0,2-0,3 dB/km. Mažas slopinimas ir nedidelė dispersija leidžia realizuoti 100 km ir daugiau ilgio ryšio linijas be retransliatorių.

Aukšto lygio apsauga nuo išorinių trikdžių – šviesolaidžiai gaminami iš dielektrinių medžiagų; dėl šios priežasties šviesolaidžiai nejautrūs elektromagnetiniams trikdžiams.

Mažas svoris ir maži gabaritai – šviesolaidiniai kabeliai turi žymiai mažesnį svorį ir matmenis lyginant su tokio pat informacijos pralaidumo elektrinių signalų kabeliais. 900 porų telefoninis kabelis (diametras 7,5 cm) gali būti pakeistas vienu 0,1 cm diametro šviesolaidiniu kabeliu.

Apsauga nuo nesankcionuoto priėjimo – šviesolaidinės ryšio linijos yra uždaro tipo ryšio linijos ir nesankcionuotas priėjimas galimas tik pažeidžiant priėmimo-perdavimo traktą, ką iškart detektuoja monitoringo sistema.

Saugumas nuo užsiliepsnojimo ar sproginų – dėl tos priežasties kad šviesolaidinėse ryšio linijose nėra elementų galinčių sukelti kibirkščiavimą ar gaisrą jos gali būti plačiai taikomos gamybose surištose su naftos ar dujų perdirbimu, cheminėse gamyklose.

Ekonomiškumas – šviesolaidžiai gaminami iš plačiai paplitusios gamtoje medžiagos – kvarcinio smėlio, todėl jų savikaina lyginant su varinėm ryšio linijom yra pigesnės. Šiuo metu šviesolaidžio ir varinio laido kainų santykis yra 2:5.

Šalia aiškių privalumų šviesolaidinės ryšio linijos turi ir trūkumų :

Interfeisinės įrangos kaina – elektriniai signalai siųstuve turi būti transformuojami į optinius signalus, imtuve optiniai signalai transformuojami į elektrinius

Šviesolaidinių linijų montavimas ir aptarnavimas – montavimo, testavimo ir aptarnavimo kainos lieka pakankamai didelės. Šviesolaidinių linijų pažeidimo atveju reikia precizinių šviesolaidinių linijų brangiai kainuojančių jungimo technologijų, įskaitančias ir pažeistos vietos apsauga nuo išorinių veiksnių.

Specialios šviesolaidinių linijų apsaugos priemonės – stiklui trūkio jėga tempiant yra lygi $\sim 109 \text{ N/m}^2$. $125 \mu\text{m}$ diametro šviesolaidis turėtų atlaikyti 1 kg svorį. Dėl mikroįtrūkimų ši vertė yra 5 kartus mažesnė. Mechaninis atsparumas didinamas dengiant šviesolaidžius papildomai polimerine danga (epoksiakrilatas) bei stiprinant papildomais siūlais iš specialaus lydinio (KEVLAR) išdėstytais aplink šviesolaidį .

Nuostoliai šviesolaidžiuose

$$\alpha = \alpha_n + \alpha_{rad} = \alpha_{sug} + \alpha_{skl} + \alpha_{rad}$$

$$\alpha_{IR} = A \exp\left(-a_{IR}/\lambda\right)$$

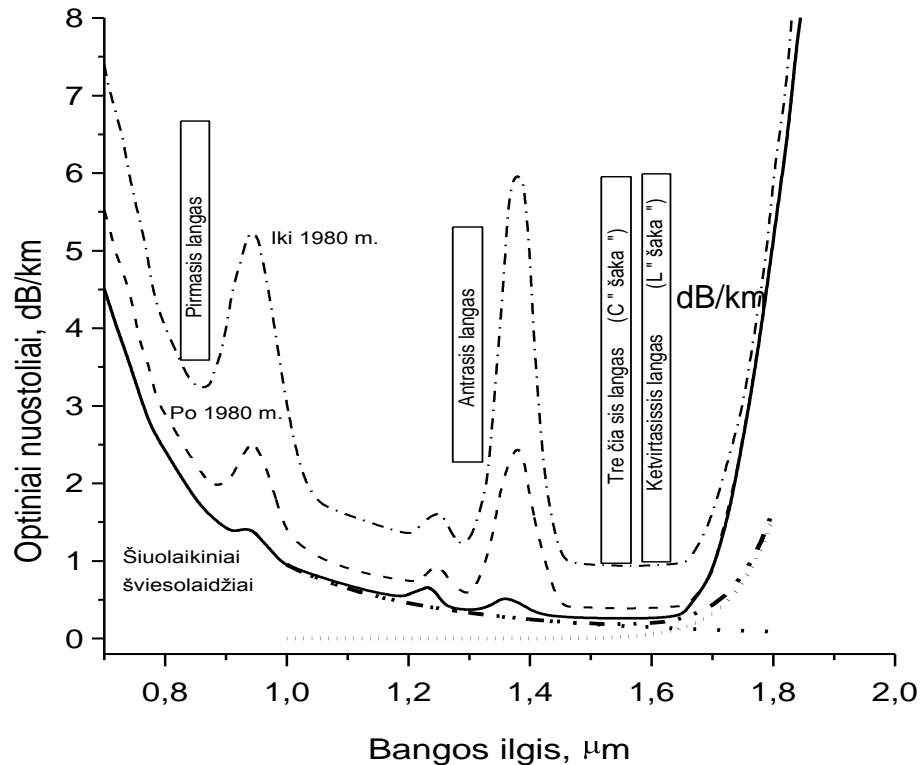
Germanosilikatiniams stiklams:

$$a_{IR} = 48.48 \mu\text{m}$$

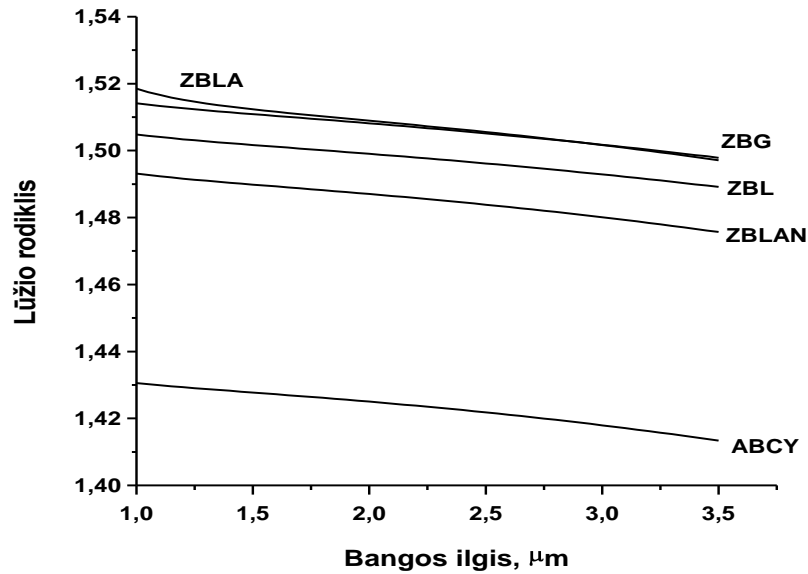
$$A = 7.81 \cdot 10^{11}$$

$$\alpha_{SKL} = B/\lambda^4$$

$$B = 0,65 \text{ dB}/\mu\text{m}^4$$



Šviesolaidžių optika I



	$A \times 10^6$	$B \times 10^3$	C	$D \times 10^3$	$E \times 10^6$
ABCY	7,67742	2,16195	1,42969	-1,28304	5,35487
HBL	-28,61020	3,11470	1,50294	-1,17821	2,64123
ZBG	93,67070	2,94329	1,51236	-1,25045	4,01026
ZBLA	3000,80370	4,03214	1,51272	-1,21921	-6,77630
ZBLAN	93,67070	2,94329	1,49136	-1,25045	-4,01026

$$n(\lambda_0) = A\lambda_0^{-4} + B\lambda_0^{-2} + C_0 + D\lambda_0^2 + E\lambda_0^4$$