

# **Az optikai szálak**

**FV szálak felépítése, gyakorlati jelenségek**

# Egy kis történelem 1.

- 1930 Norman R. French szabadalma optikai távbeszélő rendszerre (merev üvegrudak kötege)
- 1950-es évek: 1-1,5m hosszú rendezett üvegszál köteg (orvosi diagnosztikai célokra)
- 1958: lézer
- 1960: Theodor H. Maiman használja a lézert először jeladóként, egyidejűleg kifejlesztik a vevőt is (fotodióda)

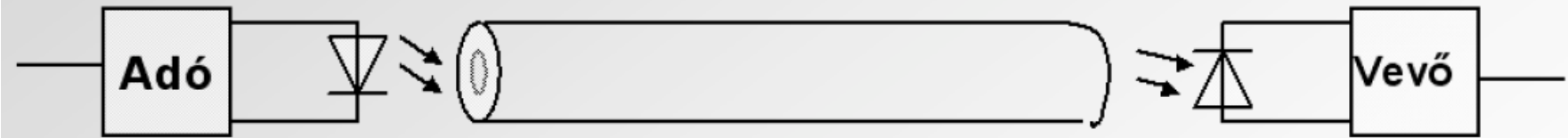
# Történelem 2.

- 1966: Charles K. Kao & A.Hockham, Anglia, első használható üvegszál, 20dB/km csillapítás (addig 1000dB/km!)
- 1970: Corning Glass Művek (USA): csillapítás <20dB/km –  $\lambda=633\text{nm}$  esetén (lépcsős profil)
- 1972: gradients profilú 4dB/km
- 1973: első közcélú távbeszélő optikai kábel (USA)

# Történelem 3.

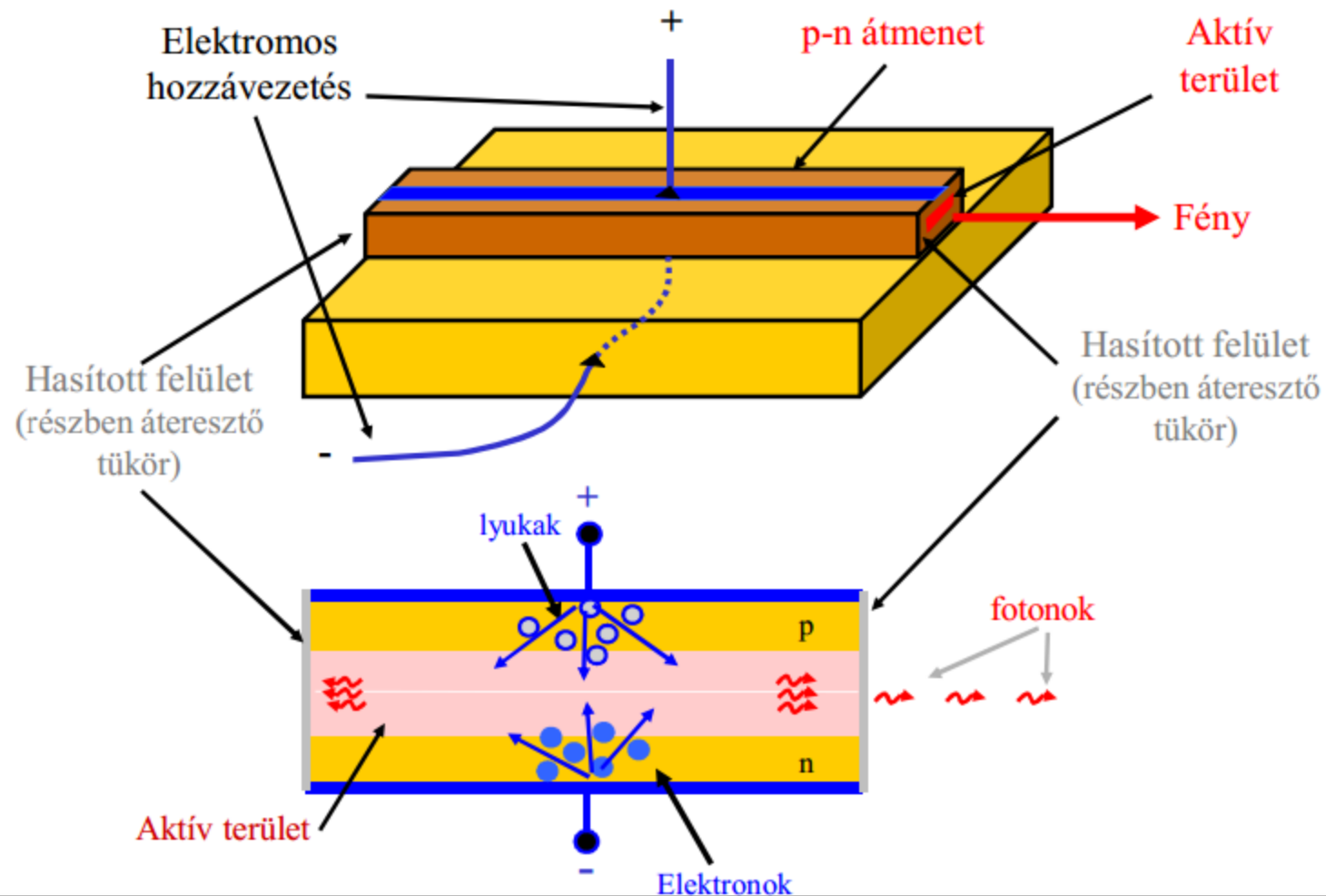
- 1980-as évek eleje: első kábelszakaszok teljesen importálva (Magyar Posta)
- 1980-as évek végén kezd nagyon terjedni a hálózatban, NDK gyártmányok, multimódusú, gradiens indexű
- 1988: első önhordó optikai légkábel  
Esztergom és Dorog között közép feszültségű oszlopsoron

# Az átvitel elve

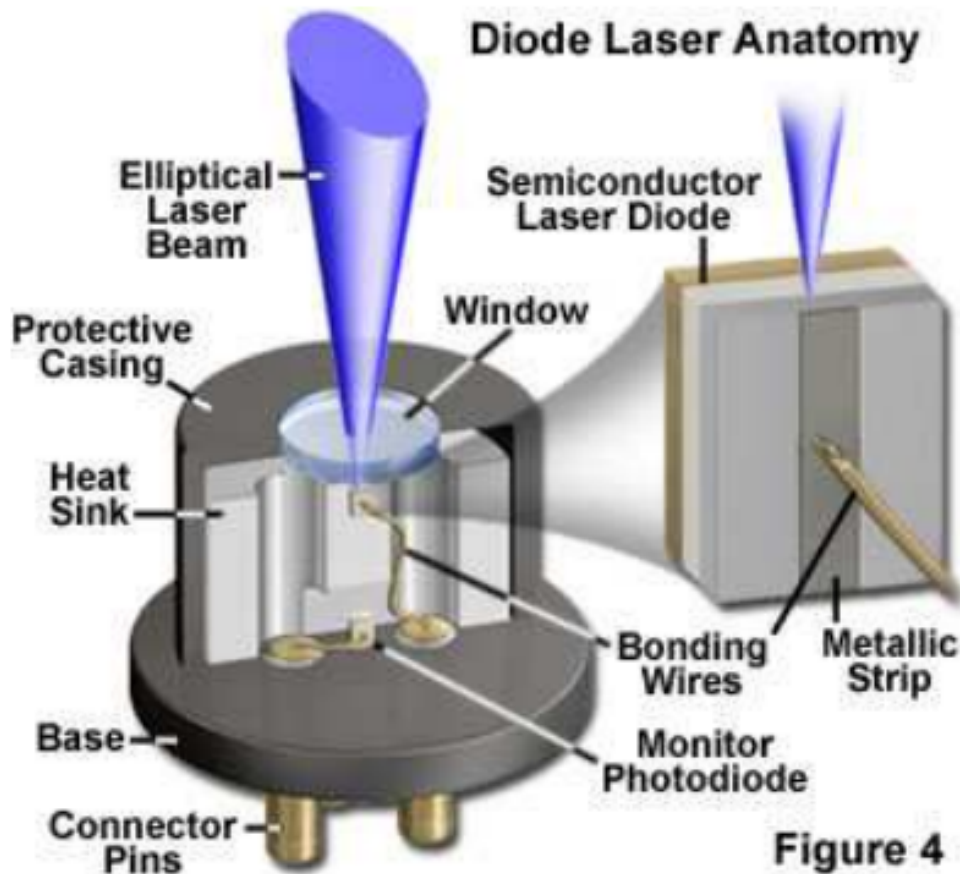


- becsatoláshoz adó: Laser LED
  - szögre, síkokra vigyázni kell!
  - Fresnel-reflexió
- kicsatolásakor vevő:
  - lavina fotodióda (APD)
  - PIN - dióda

# Laser LED vázlat



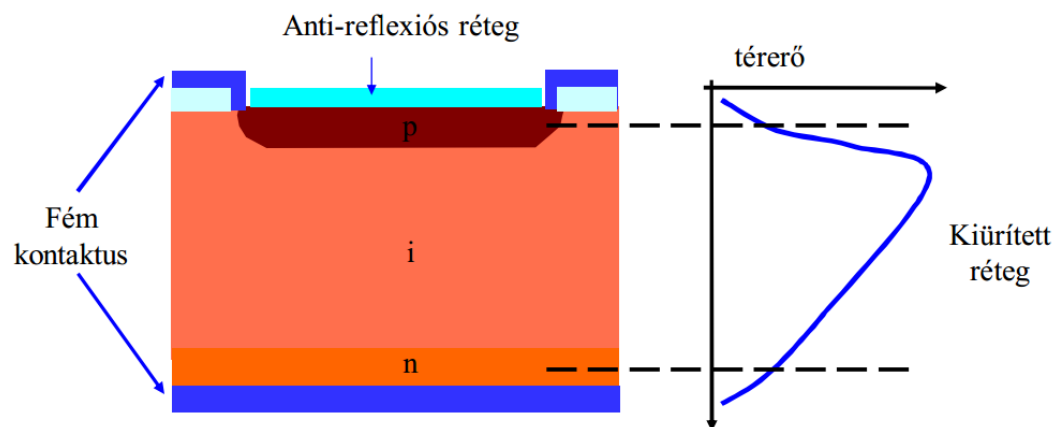
# Laser LED



A félvezető  
anyaga:  
InGaAsP

Hullámhossz:  
1100-1670nm  
(változik a vegyület  
arányában)

# PIN dióda, mint vevő



- a sima p-n átmenet nem biztosít elég nagy hatásfokot
- szennyezetlen (intrinsic) réteg:
  - nő a p-n átmenet kiürített rétege
  - nő az elnyelt fény mennyisége
- Erősen lineáris működés, alacsony sötétáram, alacsonyabb zajszint, stabil karakterisztika



# PIN vs. APD

<i>Paraméter</i>	<i>PIN fotodióda</i>	<i>Lavina (Avalanche)</i>
Anyag	Si, Ge(1310nm), InGaAs (1310 & 1550nm)	Szilícium, Germánium, InGaAs
Sávszélesség	DC - 20GHz	DC - 20 GHz
Hullámhossz	600-1800 nm	600-1800 nm
Érzékenység	0.5 -1.0 A/W	0.5 - 100 A/W
Szükséges áramkörök	-	Nagy feszültség, Hőfok stabilizálás
Ár (tokozott+szál)	\$1 - \$500	\$100 - \$2,000
	Nincs áramerősítés => Alacsonyabb érzékenység Alacsony feszültség Kisebb zaj és sötétáram Könnyű használni Olcsóbb	Áramerősítés => Nagyobb érzékenység => gyengébb optikai jel detektálása Nagy meghajtó feszültség Nagyobb zaj, Nagyobb sötétáram Nagyobb hőmérséklet és előfeszítés érzékenység Drága

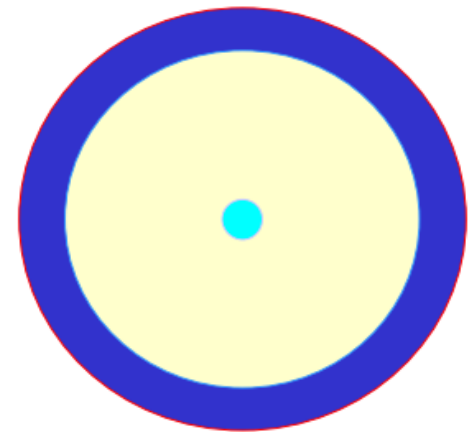
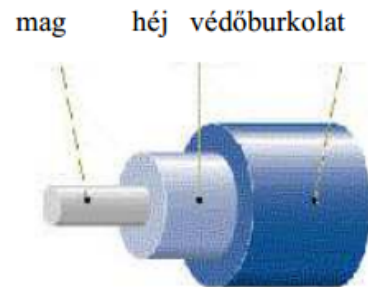
# Az optikai szál

- Hengeres keresztmetszetű, dielektromos anyagból készült optikai hullámvezető.
- Az emberi haj átmérőjével összevethető átmérő
- Mag + héj együtt
- A mag törésmutatója nagyobb, mint a héjé, kb. 1% a különbség.
- A törésmutató-különbség biztosítja a visszaverődést (bent marad a fény a szálban)

# Fényvezető ér

Fényvezető szál + védelmek =  
fényvezető ér

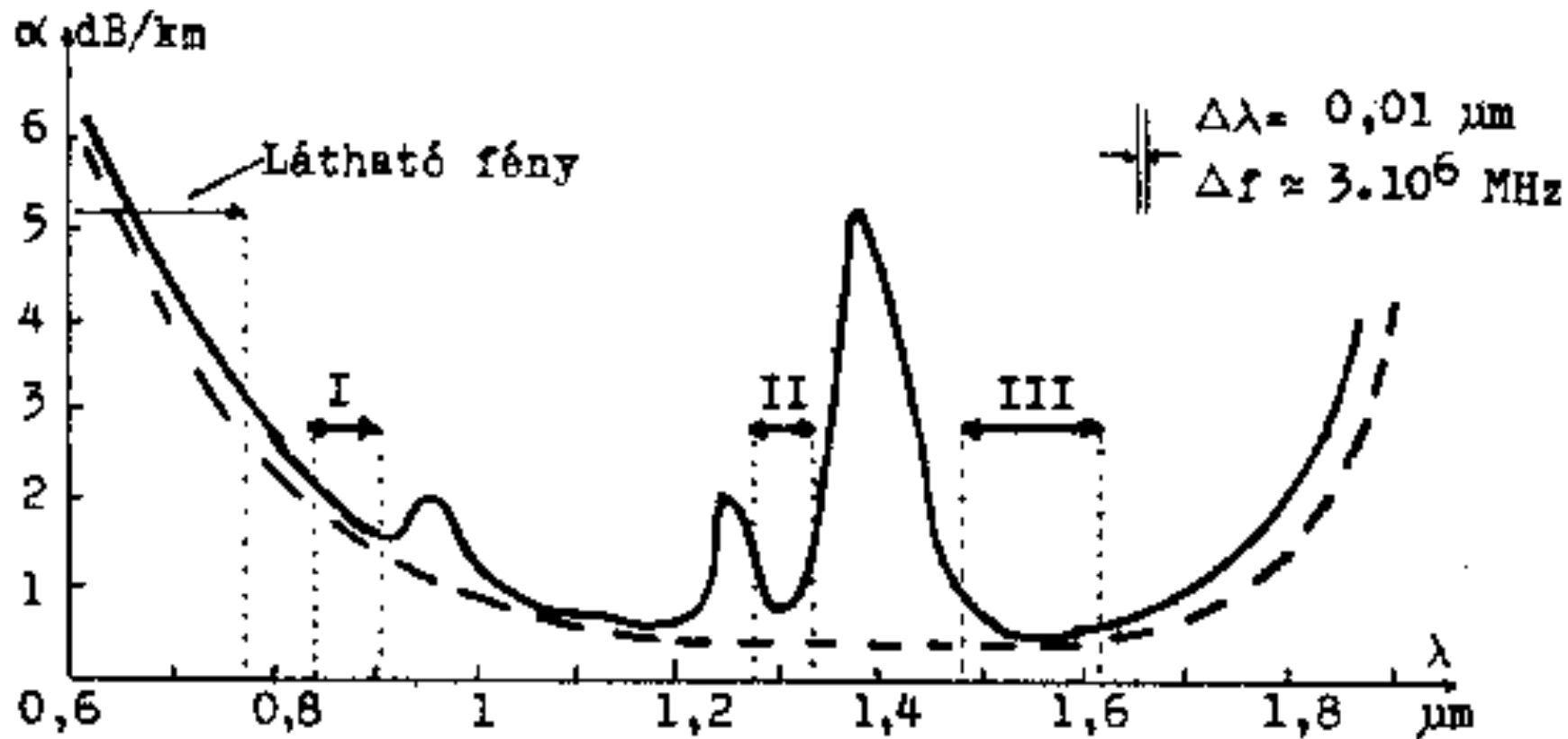
- alapanyag: kvarcüveg ( $\text{SiO}_2$ )
- természetben: víztiszta hegyikristály
- optikailag és mechanikailag anizotróp (irányultságot mutat)
- természetes üvegek nem jók, mert fémoxid tartalmuk miatt nem jól vezetik a fényt
- átláthatóság: ablaküveg:  $10\text{cm} <$   
fototechnikai üveg  $1\text{m} <$  optikai fényvezető szál:  $100\text{km}$ !



# Az üveg gyártása

1.  $\text{SiO}_2$  gázfázisból való kiválasztása
2. Si tetraaklorid és klórgáz hozzáadásával törésmutató beállítása adalékolással (F,  $\text{B}_2\text{O}_3$  /bórtrioxid/ csökkenti,  $\text{GeO}_2$ , vagy  $\text{P}_2\text{O}_5$  növeli
3. Az adalékolás sajnos hat a mechanikai tulajdonságokra és a csillapításra is.
4. Szennyeződés: pl.  $10^{-4}$  térf.% Cu => +100dB/km csillapítás!, (800nm-en, feljebb még rosszabb...)

# Az üveg csillapítása



# Áthidalható távolság

Az átviteli hosszát két tényező befolyásolja:

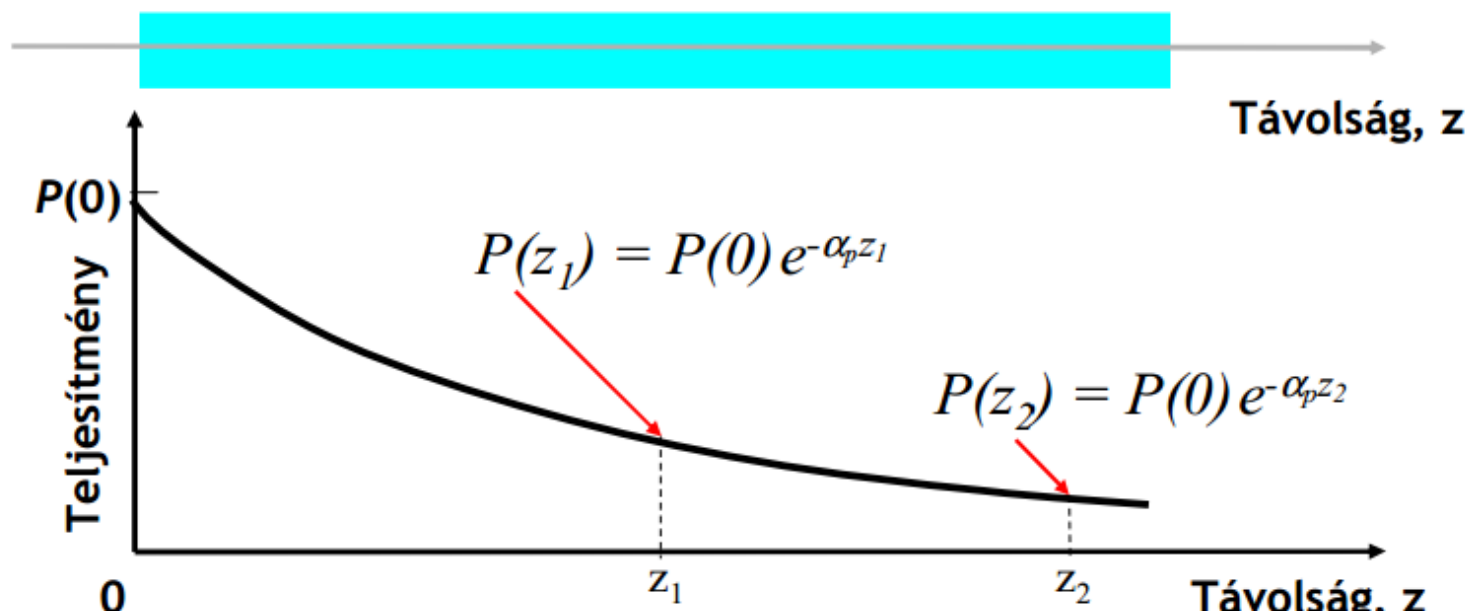
- csillapítás
- diszperzió

Először a diszperzió volt a szűk keresztmetszet. A félvezető technikából vett trükkökkel kiderült, hogy tovább csökkenthető. Ezeket a szálakat **eltolt diszperziójú** szálaknak nevezik.

# Csillapítás 1.



$$a = 10 \cdot \log \left( \frac{P_{ki}}{P_{be}} \right)$$



# Csillapítás 2.

- a távolsággal exponenciálisan nő
- okok:
  - fény elnyelődése (abszorpció)
  - szóródások (Rayleigh, Mie, stb.)
  - Fresnel-reflexió
  - lesugárzás
- függ:  $T$ ,  $\lambda$ , fényvezető anyaga



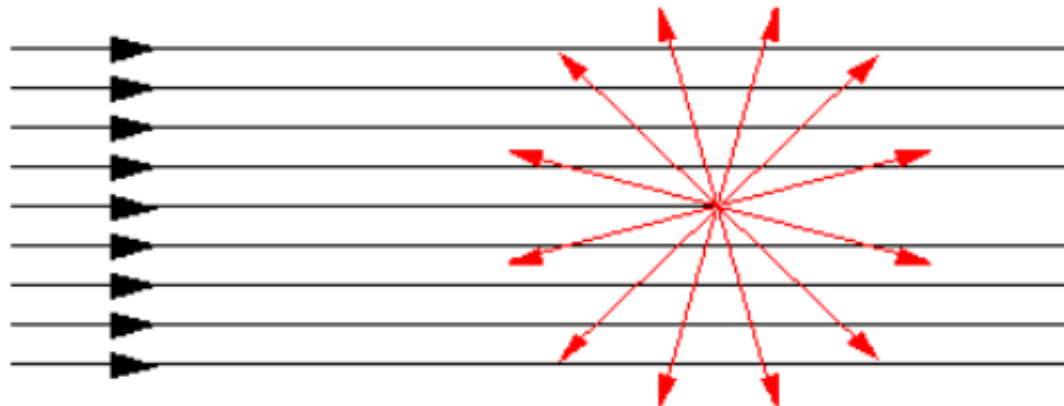
# Elnyelődés

Az atom vagy molekula a beérkező fotont elnyeli, hatására magasabb energiájú állapotba kerül (az anyag melegszik).

- 1400nm körül OH ionok miatt helyi csúcs
- 1700nm felett rohamosan nő (ún. IR abszorpció)
- 10-20%-ra tehető a teljes csillapításból

# Rayleigh-szórás

- hullámhossznál jelentősen kisebb hibákon szóródik szét a fény
- előre és hátra egyenlő mértékű
- 80-90%!
- OTDR!



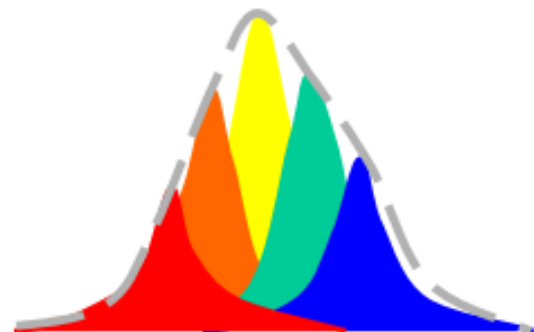
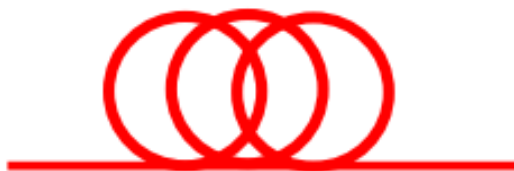
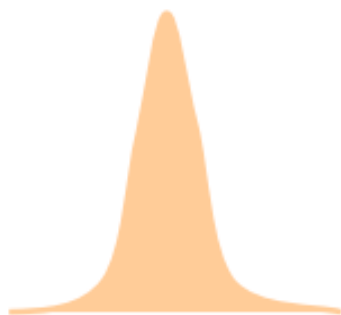
# Mie szórás

A szóró inhomogenitások mérete jóval nagyobb, mint a Rayleigh szórásnál. Szórási karakterisztikája is eltérő, (nő az előre és csökken a hátra szórás).

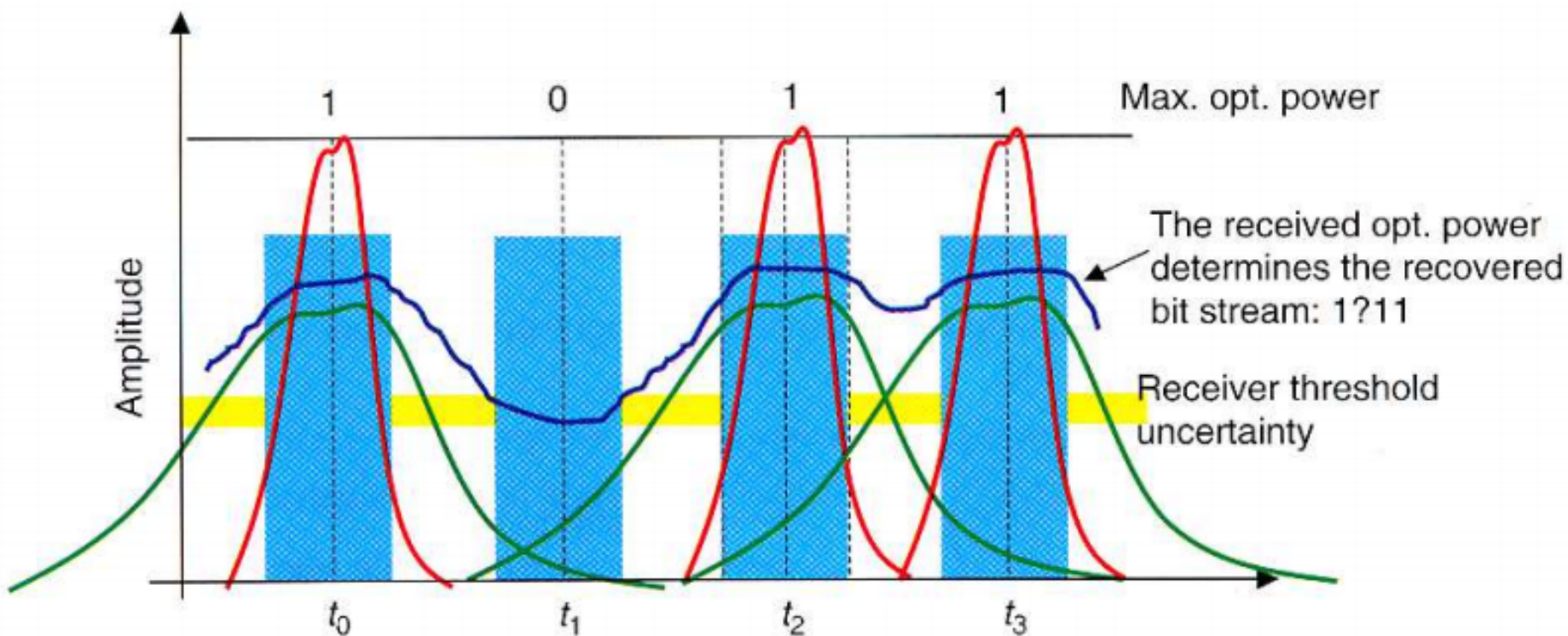


# Diszperzió 1.

1. a jel elemei különböző sebességgel terjednek
2. különböző késleltetéssel érkeznek
3. a négyszögjel jelleg “elkenődik”
4. a csúcsok elmozdulnak a közép felé



# Diszperzió 2.



# Típusai

- módus [MD](multimódusnál)
- polarizációs mód [PMD] (EMH két síkja nem tud azonosan terjedni nem teljesen körvezetőnél)
- kromatikus [CD]
  - hullámvezető (átlagos  $n$  hullámhossz függő - eltérő mértékben koncentrálnak a jel a magba)
  - anyagi ( $n$  hullámhossz függő, a használt anyagra jellemzően)

# Megoldások

- MD ellen: SM, vagy MM/GI szál használata
- CD ellen: eltolt diszperziójú szálak használata
- PMD ellen: vagy a távolságot, vagy a jel frekvenciáját kell csökkenteni, mivel erre hat hátrányosan a kompenzációt még kutatják:
  - 2,5Gbps: 6400km
  - 40Gbps: 25km...

# A módus

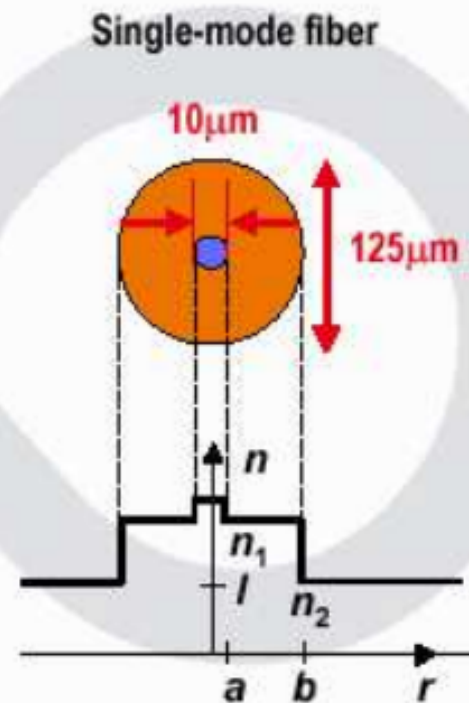
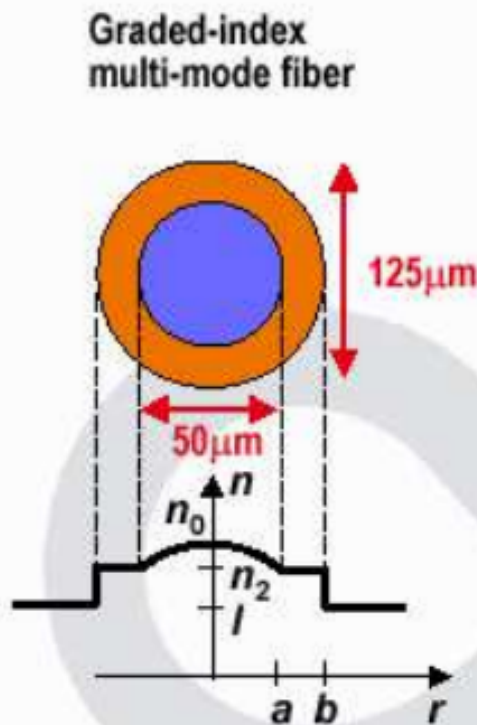
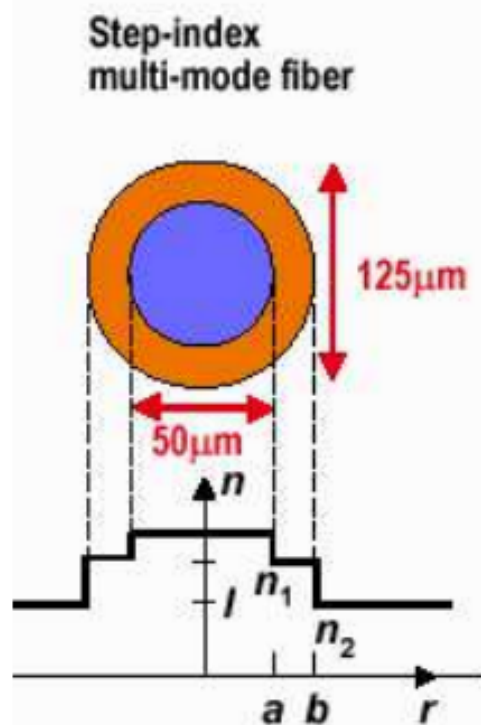
Azonos hullámhosszú, azonos fázisú fotonok együtthaladó csoportja.

Ha a fény hullámhosszát egy állandó értéken tartjuk, és lecsökkentjük az átmérít, az átvihető módusok száma lecsökken.

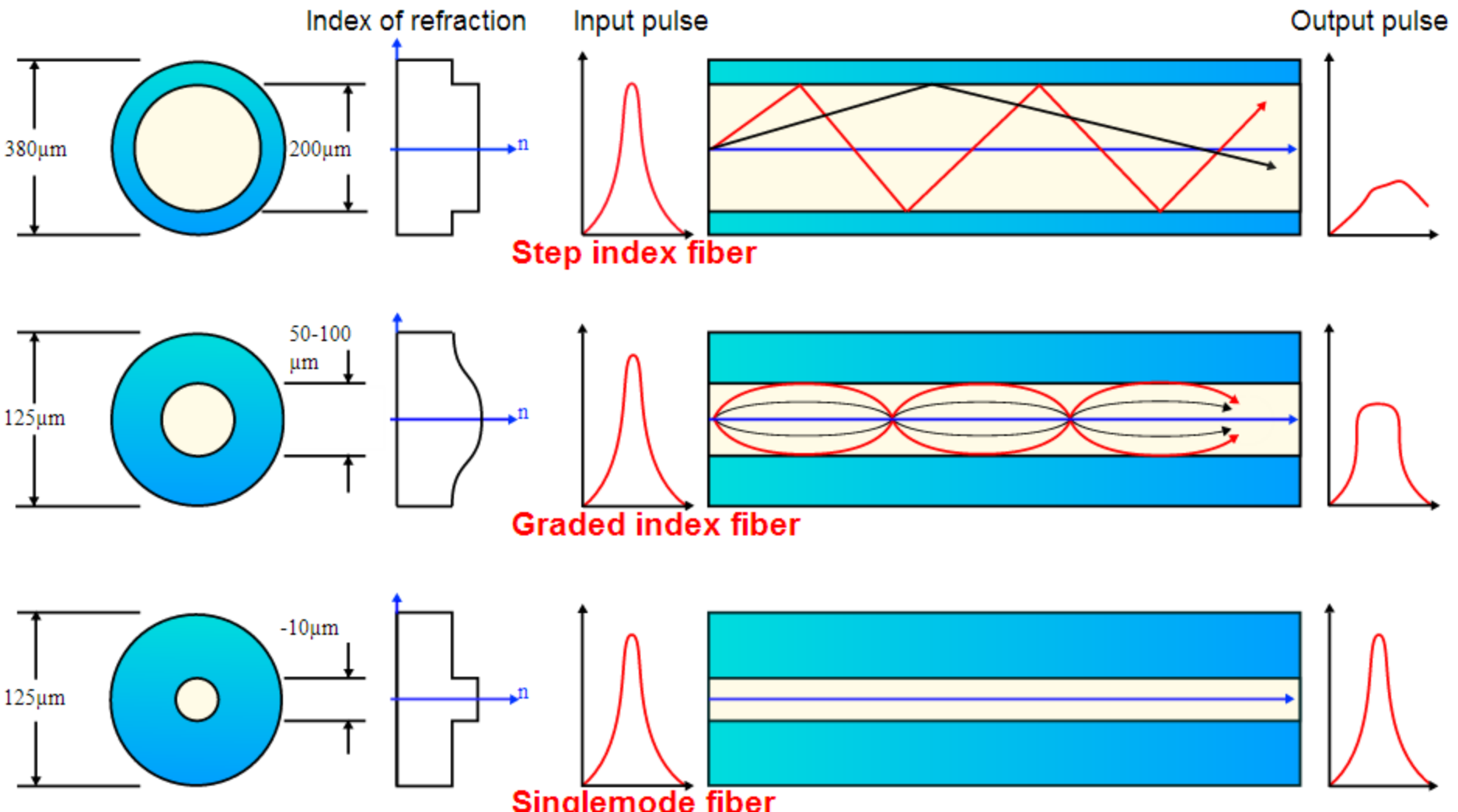


# Szálak a gyakorlatban

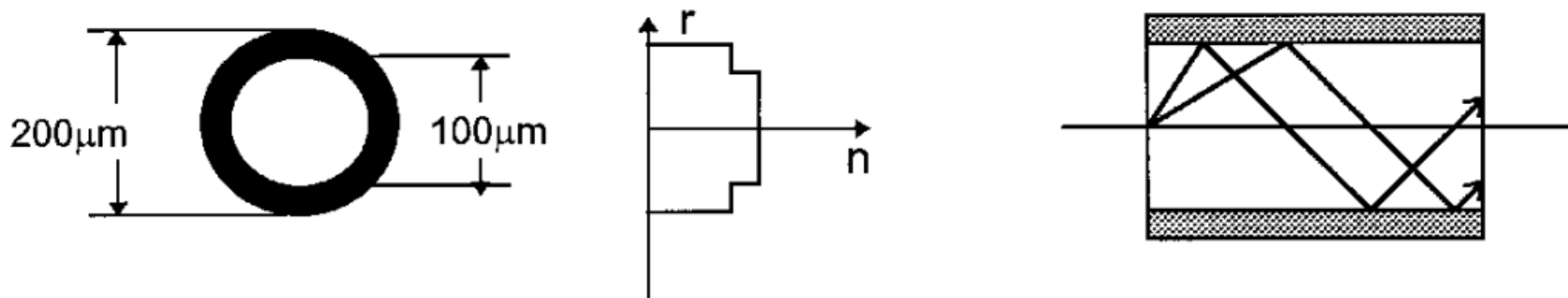
Száltípus	Alkalmazási terület
Multi, lépcsős indexű	Adat, mérés, vezérléstechnika
Multi,gradiens indexű	LAN
Mono, lépcsős indexű	Távközlés



# Másfelől...

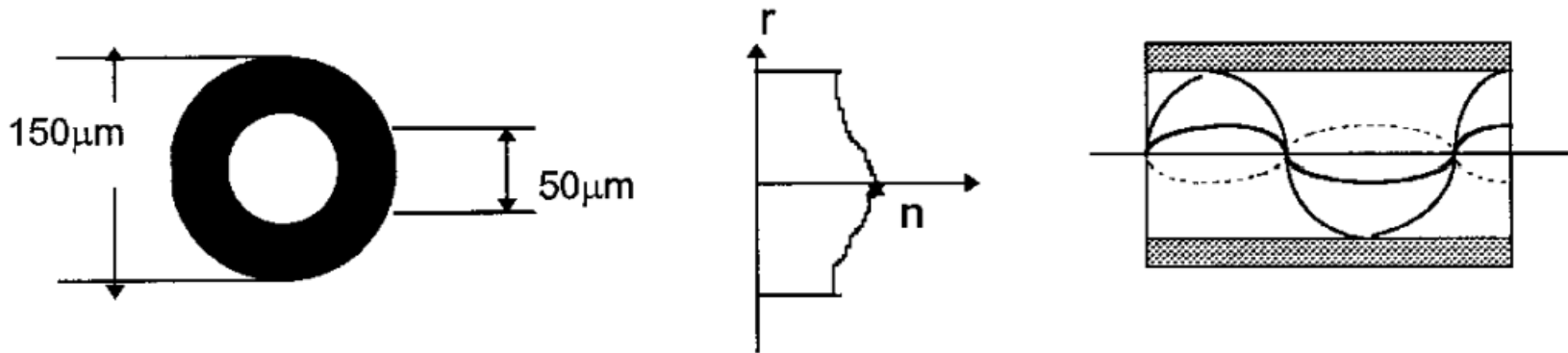


# Multimódusú, lépcsős indexű szál (MM-SI)



- magátmérő:  $50 - 100\mu\text{m}$
- teljes héjátmérő:  $125 - 200\mu\text{m}$
- numerikus apertúra:  $0,24$
- terjedő módusok száma:  $\sim 4000$
- áthidalható távolság:  $n \times 100\text{m}$

# Multimódusú, változó indexű szál (MM-GI)



- magátmérő:  $50 - 100\mu\text{m}$
- héjátmérő:  $125 - 150\mu\text{m}$
- numerikus apertúra:  $0,2064$
- maximális akceptanciaszög:  $11,9$  fok

# MM - GI még...

## Miért is jó?

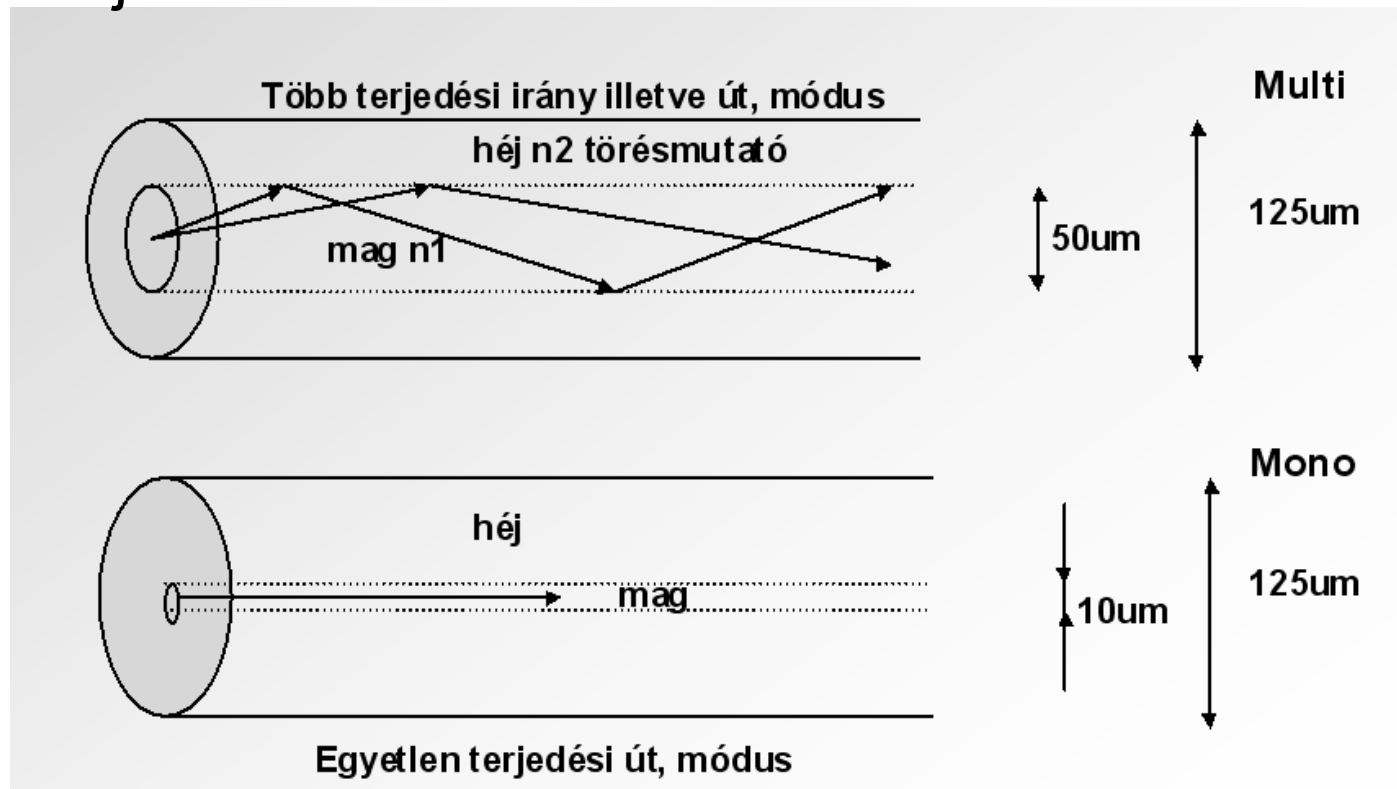
A különböző módusok a magtól való távolság függvényében különböző sebességgel terjednek.

Amelyik közelebb fut a tengelyhez, rövidebb utat jár be, de nagyobb törésmutatójú részben.

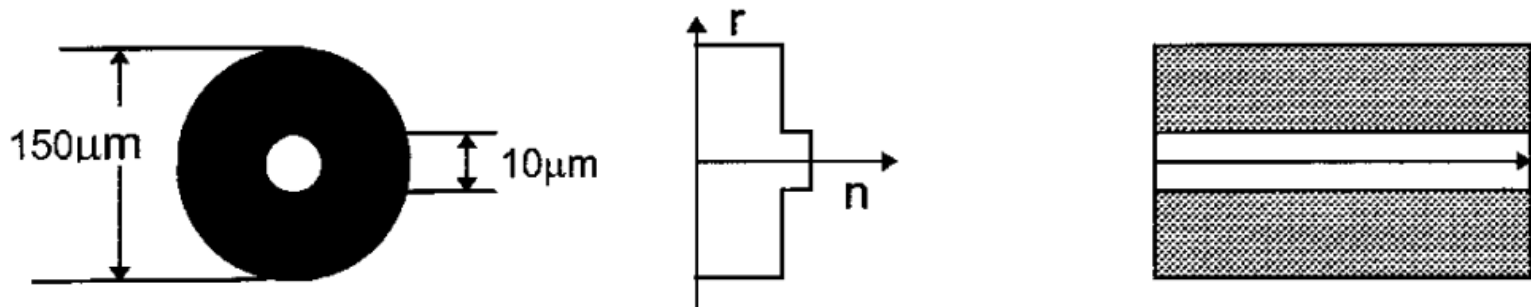
Kívül hosszabb az út, de gyorsabban halad a fény! => **kb. egyszerre ér a végére mindenki.**

# MM vs. SM (2.)

Meg is szüntethető a módusdiszperzió, ha a lépcsős szerkezet magját annyira lecsökkentjük, hogy csak egyetlen módus terjedhessen benne!

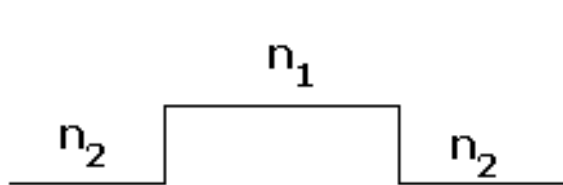


# Egymódusú szál (SM)

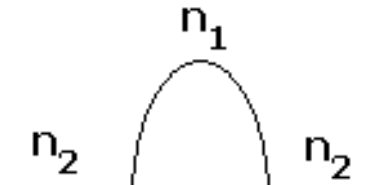


- magátmérő: 10 μm
- héjátmmérő: 125 - 150 μm
- numerikus apertúra: 0,113
- maximális akceptanciaszög: 6,48 fok
- módustér(mag)átmérő: 10 μm
- mag törésmutatója: 1,46

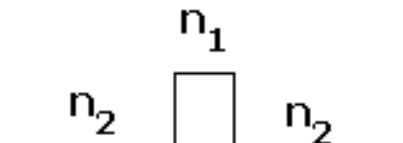
# Összehasonlítás



multimódus, lépcsős index



multimódus, gradiens index



monomódus, lépcsős index

Törésmutató-változás az optikai szál átmérője mentén

Ha összehasonlítjuk a SM szálakat a MM, akkor általánosan kijelenthető, hogy a monomódusú szálaknál kisebb a:

NA, akceptanciaszög, magátmérő

Ezért a **SM szálaknál nehezebb a fényt becsatolni a szálba.**