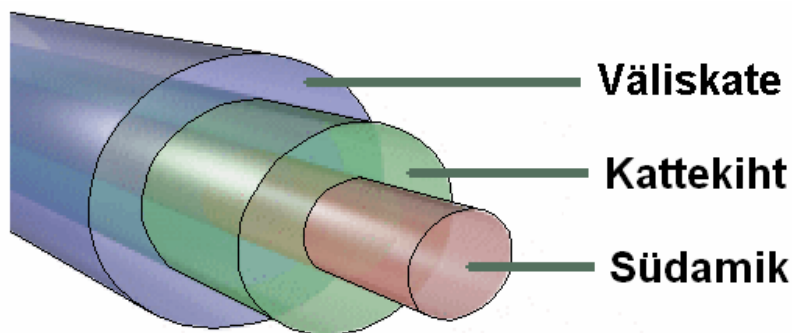


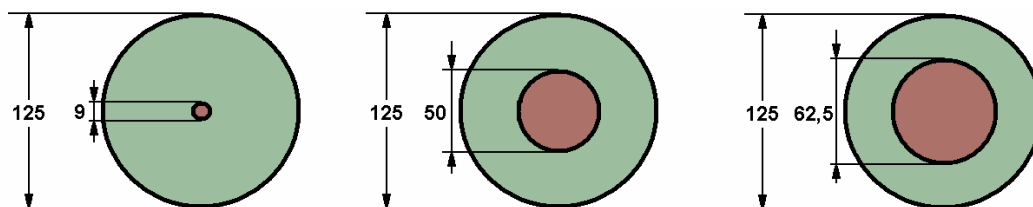
OPTILISED SIDESÜSTEEMID – KIUDOPTIKA

Kuigi optilised sidesüsteemid arendati 1970. aastatel välja põhiliselt mandritevahelise side tagamiseks, on need tänapäeval väga laialt kasutusel ka muudes valdkondades. Optilisi sidesüsteeme võib jaotada mitmeti. Ühelt poolt on olemas **analoog-** ja **digitaalsüsteemid**, kuid tehnoloogilisest aspektist vaadatuna on parem jagada optilised sidesüsteemid **fiiberoptilisteks** ja **mittefiiberoptilisteks (traadita)** süsteemideks. Neist põhiliselt kasutatakse just fiiberoptilisi süsteeme, kus signaali ülekande toimub fiiberoptilise kaabli kaudu. Selle kaabli suurteks eelisteks on väga suur läbilaskevõime (kaablis palju kiude, teoreetiliselt läbilaskevõime ühes kius kuni 25 THz, praktiliselt kasutatakse praegu 10-40 GHz) ja väike signaali sumbuvus. Käesolevas peatükis vaatlemegi fiiberoptilisi sideliine lähemalt.

Fiiberoptiline kaabel koosneb mitmest fiiberoptilisest kiust. **Fiiberoptiline kiud** koosneb omakorda kolmest kihist – **sisemisest kvartskius** ehk **südamikus** (*core*) liigub valguslaine, mida katab **optiliselt hõredamast materjalist kattekiht** (*cladding*). Kattekihi eesmärgiks on peegeldada valguslaine tagasi südamikku. Kattekihti katab **väliskate**, mis kaitseb kaablit väliste vigastuste eest.

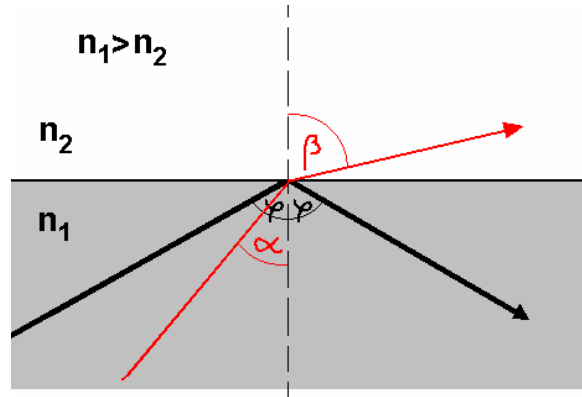


Optilised fiibrid jagatakse kahte suurde rühma: **monomoodilised** ehk **ühemoodilised** (*mono-mode, single mode*) ja **multimoodilised** (*multi-mode*) fiibrid. Monomoodilistel fiibritel on väga peenike südamik (diameeter 9 μm) ja nendes levib infrapunane laserkiirgus ($\lambda = 1300..1550 \text{ nm}$). Multimoodilistel fiibrite südamik on paksem (diameeter 50...62,5 μm) ja nendes levib üheaegselt mitu erinevat kiirt – infrapunane kiirgus ($\lambda = 850...1300 \text{ nm}$), mis on tekitatud valgusdioodide (*Light Emitting Diode* ehk LED) poolt.



Tüüpilised südamiku ja kattekihi diameetrid (μm)

Optilistes fiibrites kasutatakse **täieliku sisepeegelduse efekti**. Kui sisestada valguskiir fiibri kvartskiudu piisavalt suure nurga all, siis ei välju kiir enam südamikust, vaid peegeldub selle sisepinnalt tagasi.



Kiire vajaliku langemisnurga saab avaldada Snelliuse seadusest $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}$, kus α on kiire langemisnurk, β kiire väljumisnurk, n_1 on esimese ja n_2 teise keskkonna murdumisnäitaja. Selleks, et toimuks täielik sisepeegeldus ehk $\beta = 90^\circ$, peab langemisnurk ületama nn **kriitilise nurga** φ , mis avaldub

$$\frac{\sin \varphi}{\sin 90^\circ} = \sin \varphi = \frac{n_2}{n_1} \quad \Rightarrow \quad \varphi = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right).$$

Täpsemas käsitluses selgub, et valguskiire murdmise protsess toimub siiski üheaegselt **mõlema** keskkonna piiril ja osa valgusenergiast liigub ka südamikust väljaspool. Seetõttu on oluline, et südamiku kvartskiud ei puutuks otseselt kokku teiste valgust neelavate materjalidega. Niisuguse olukorra vältimiseks ongi fiibris kasutusel kattekiht, mille paksus peab olema nii suur, et kogu valgusenergia, mis südamikust väljub, sinna ka tagasi suundub. Fiibri kattekihis ja südamikus ülekantava võimsuste suhe avaldub

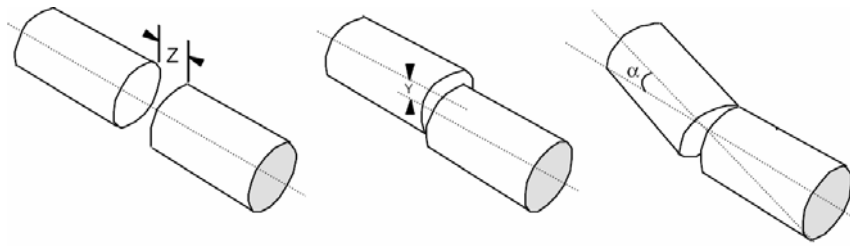
multimoodilises fiibris ligikaudselt $\frac{P_{\text{kattekiht}}}{P_{\text{südamik}}} \approx \frac{4}{3\sqrt{N}}$, kus N on moodide arv.

Kaad optilises fiibris, sumbuvus

Täieliku sisepeegelduse efekt on oma iseloomult kadudeta ning seetõttu võib valguslaine levida fiibris väga kaugele.



Vähesel määral valguslaine siiski sumbub – see on põhjustatud peamiselt mehaanilistest ja tehnoloogilistest teguritest. Mehaanilistest teguritest sõltub sumbuvus näiteks optiliste fiibrite ühenduskohtade ja pistikute kvaliteedist, samuti fiibri painderaadiusest.



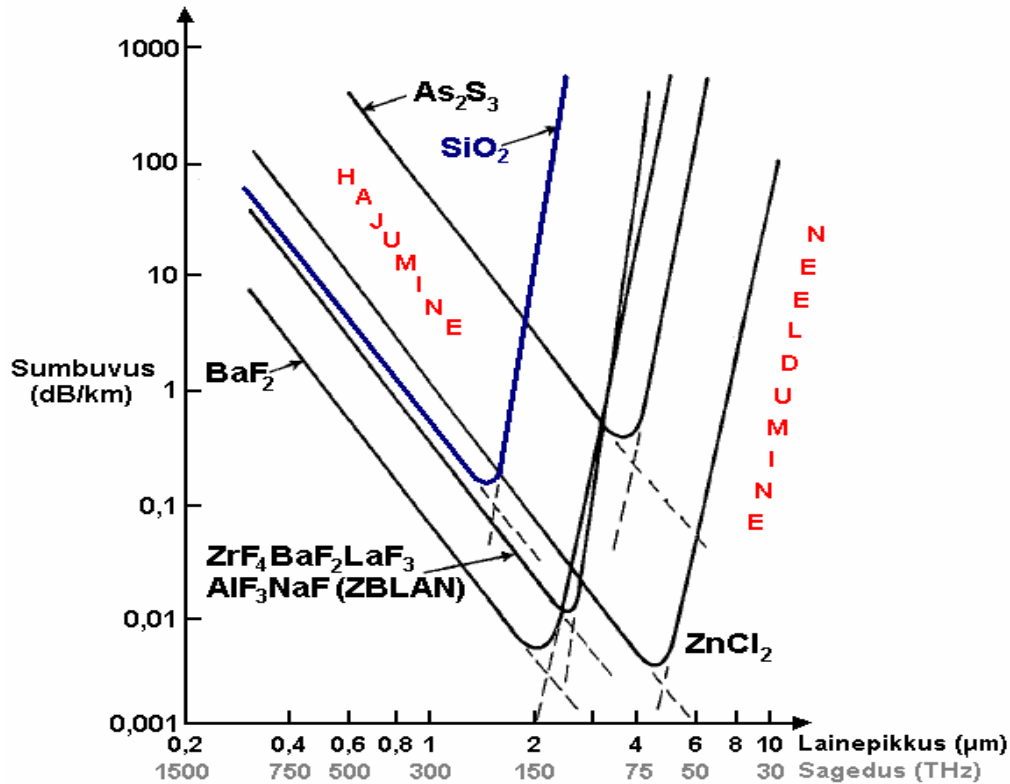
Tehnoloogilistest teguritest sõltub sumbuvus kvartskiu ja kattekihi materjalist, nende kvaliteedist, aga ka lainepikkusest.

Tänapäeval on optilise fiibri sumbuvus 1 GHz sagedusel suurusjärgus **0,2-2 dB/km** (võrdluseks: koaksiaalkaablis on 1 Mhz sagedusel sumbuvus 2,5 dB/km ja 1 GHz sagedusel 50 dB/km). Sumbumist põhjustab signaali **hajumine** keskkonna ebataasustel ehk laine levimine mitte ainult vajalikus suunas. Mida suurem on lainepikkus, seda vähem valgust fiibris hajub ja seda vähem kiirgus sumbub.

Rayleigh hajumisel sumbetegur $\alpha \sim \frac{1}{\lambda^4}$, mis sõltub väga tugevasti lainepikkusest.

Rayleigh hajumist võime märgata ka igapäevaelus taevasinana. Kui meie planeedil ei oleks ümbritsevat atmosfääri, siis paistaks taevas siit ka päeval mustana. Atmosfääri olemasolu tõttu aga Päikeselt tulevad valguslained hajuvad ja Rayleigh hajumise valemist on näha, et eriti palju hajuvad lühemad lainepikkused. Nähtavast spektrist on lühemad lainepikkused just sinistel toonidel.

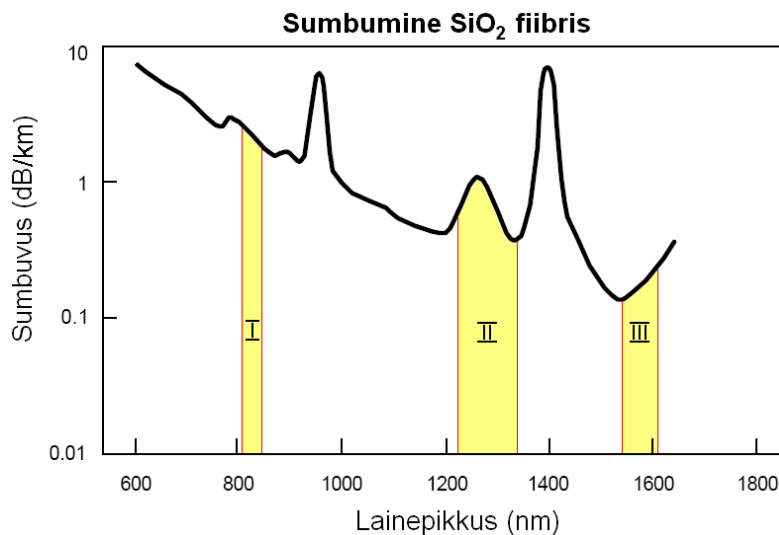
Analoogne hajumine toimub ka optilises fiibris. Järelikult väiksema sumbuvuse saamiseks tuleb vaid lainepikkust suurendada. Ometigi on ka siin füüsikaline piir ees, kuna suurematel lainepikkustel hakkab mõjuma hoopis teine nähtus – valgusenergia **neeldumine** materjalis. Mida suurem on lainepikkus, seda rohkem fiiber valgust neelab (ja seoses sellega ka soojeneb) ja seda rohkem signaal fiibris sumbub. Seepärast tuleb optimaalse töösageduse leidmiseks leida hajumise ja neeldumise vaheline optimum – kahe graafiku vaheline lõikepunkt (vt joonis).



Kui leida ja kasutada fiibris materjali, mille neeldumise efekt hakkab mõjuma pikematel lainepikkustel, on võimalik fiibri sumbuvus oluliselt parandada.

Fiiberoptikas kasutatavad lainepikkused

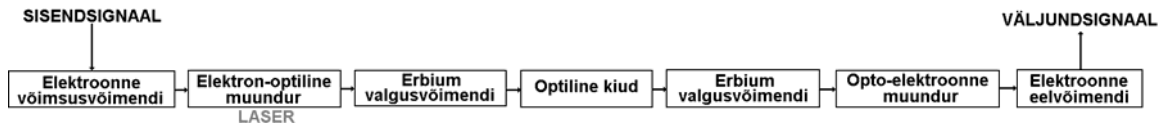
Siiski ei ole sumbuvus nii lineaarne, kui eelnenud käsitluse põhjal võiks arvata. Selgub, et osadel sagedustel hakkavad fiibri koostisosad rezoneerima ning tekitavad suurt signaali sumbuvus. Seepärast tuleb fiibris kasutatavad töösagedused hoolikalt valida. Järgmisel joonisel on kujutatud SiO₂ töösagedusi.



I põlvkond (kõige esimesena kasutusel): lainepikkus 810-850 nm (nominaalne: **820 nm**)
 II põlvkond (hakati kasutama hiljem): lainepikkus 1220-1340 nm (nominaalne: **1330 nm**)
 III põlvkond (hakati kasutama veel hiljem): lainepikkus 1540-1610 nm (nominaalne: **1550 nm**)

Fiiberoptiline sidesüsteem

Järgmisel joonisel on toodud tänapäevase fiiberoptilise sidesüsteemi struktuurskeem.



Elektriline signaal muundatakse elektronoptilises muundajas (laser, valgusdiod) valgussignaals. Laseri ergastamiseks on vaja teatud võimsust, mille tagab elektroonne võimsusvõimendi sidesüsteemi sisendis. Kuna pooljuhtlaserite võimsus on piiratud, siis kasutatakse vajaduse korral laseri valguse võimendamiseks Erbium valgusvõimendeid. Need kujutavad endast Erbiumiga legeeritud mõne meetrist kiudu, mis valgusdiodidega ergastamise tulemusel võimendab temas levivat valgust. Võimendatud valgus suunatakse ülekandeliini kvartskiusse, kus valgus võib levida tuhandete kilomeetrite kaugusele. Vastuvõtu poolel muundatakse valgussignaal peale Erbium valgusvõimendit fotoelektronses muundajas – fotodiodis – elektrisignaals. Fotodiodi nõrk elektrisignaal võimendatakse elektroonne võimendi poolt väljundis nõutavale tasemele.