

A száloptikás világítás alapjai

A fény egy átlátszó csőben történő, többszörös visszaverődés által létrehozott vezetésének elmélete régóta jól ismert. Nagy valószínűséggel már az ősi üvegfűjők is használták ezt az elvet díszüvegeik formájának kialakításakor.

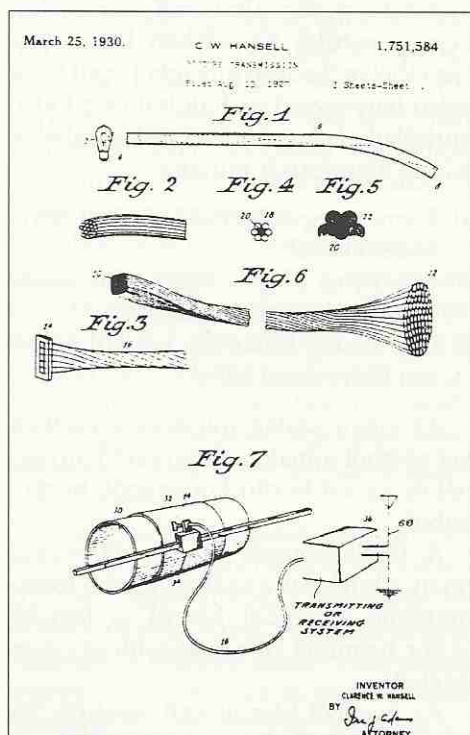
Ezen elmélet első tudományos kísérletét 1870-ben hajtotta végre John Tyndall az Angol Királyi Társaságtól. Tyndall megvilágított egy vízzel töltött edényt, és úgy találta, hogy ha egy, az edény oldalán lévő lyukon át hagyja a vizet kifolyni, akkor a fény a kiömlő görbült vízszugárban marad.

El kellett azonban vagy hatvan évnek telnie, hogy végre valaki az elmélet első tudományos alkalmazását kidolgozza. 1927-ben Hansell az Egyesült Államokban egy szabadalmat nyújtott be az optikai szálak televíziós területen történő használatáról, mellyel letapogatni és továbbítani lehetett a képet, de e szabadalom nem nyert elfogadást (1. ábra).

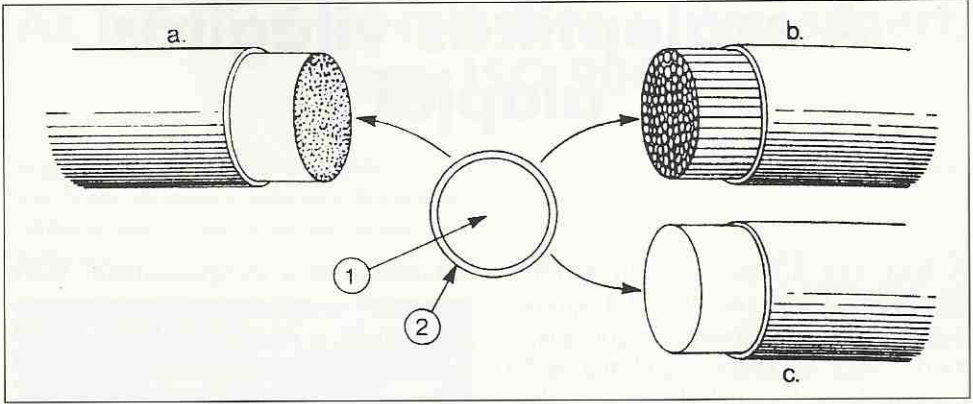
Az ezt követő évtizedek a fényt továbbító anyag minőségének fejlesztésével teltek, és az „optikai szál” fogalmat először 1956-ban használták.

Az alacsony veszteségű optikai szálak megjelenése a hetvenes évek elején igazi áttörést hozott. A legjelentősebb mozzanat az volt, hogy megnyitotta az utat a telekommunikációs felhasználásra, hiszen sokkal gazdaságosabb volt a hagyományos kábeleknél, telefonvezetékeknél vagy a mikrohullámú rádiókapcsolatoknál. A nyolcvanas években megjelentek az első optikai szállal működő vizsgálókészülékek az iparban, a

kutatásban és a gyógyászatban. Mára már nagyon szélesre nyílt a felhasználás területe, a reklámtábláktól a közlekedési mátrixtáblákon és múzeumvilágításon át az autóiparig terjed a felhasználók köre. Ez utóbbinál egy ún. központi fényforrás fényét vezetik azokra a helyekre, ahol világítási vagy jelzési funkciók szükségesek, tehát az autó az elektromos hálózat mellett egy optikai szállú hálózatot is kap.



1. ábra.



2. ábra.

Az optikai szál szerkezete

A közönséges optikai szál egy hosszú, átlátszó, hengerhez hasonlító, melynek anyaga üveg vagy műanyag, keresztmetszete pedig általában kör alakú. Legegyszerűbb kivitelében két koaxiális elhelyezkedésű anyagból épül fel: a belső fényvezető szál(ak)ból és a külső burkolatból. A 2. ábra a optikai kábelek három alaptípusát mutatja:

- a) Elemi üvegszálakból felépített fényvezető kábel
- b) Műanyag alapú, vastagabb elemi szálakból készített kábel
- c) Egy vastag műanyag szálból készített fényvezető kábel

Az elemi szálak mindegyik esetben két részből állnak: a fényvezető anyagból és az azt borító köpenyből, burkolatból.

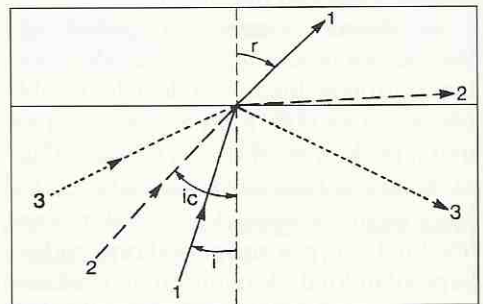
A fényszivárgás megakadályozása miatt a burkolat a szálnál kisebb törésmutatójú anyagból készül (a legjobb akkor, ha minél jobban közelíti az egyes értéket).

Az üvegből készült szál átmérője 50–150 μm (körülbelül emberi hajszál vékonyágú) és ezekből az elemi szálakból

100–100 000 darabot összefogva készítik el a kívánt vastagságú, hajlékony optikai kábelt (ált. max. 20 mm átmérőig).

A műanyag optikai kábelek szintén lehetnek vékony elemi szálakból összeállítva, de gyártanak vastagabb, több milliméteres átmérőjű műanyag elemi szálakat is.

Az optikai kábeleknek két fő típusát különböztetjük meg: a koherens és a nem koherens típust. Az első típus a képátvitel céljára készül, amelynél minden elemi szál pozíciója pontosan beállított a szomszédaihoz képest. A nem koherens típusú kábelben viszont az elemi szálak véletlenszerűen helyezkednek el – ez a típus kiválóan alkalmas a fény továbbítására.

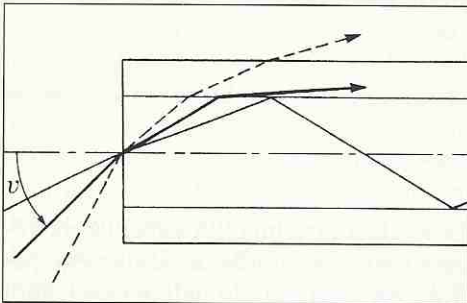


3. ábra.

A fényvezetés fizikai alapjai

A fény terjedése egy optikai szálban a teljes visszaverődés jelenségén alapul.

Ha a beeső fénysugár két, fényt vezető, de különböző sűrűségű anyag határára érkezik, akkor a terjedési sebesség megváltozása következtében megváltozik a sugárzás terjedési iránya. A 3. ábra a fénytörés különböző eseteit mutatja abban az esetben, amikor a fénysugár nagyobb sűrűségű anyagból hatol kisebb sűrűségű anyagba. Ilyenkor a törési szög (r) mindig nagyobb a beesési szögnél (i) – 1. sugár. A 2. fénysugárnál a törési szög 90° , így a megtört sugár a határfelületen halad tovább. Ha a beesési szöget tovább növeljük, akkor nem lesz többé megtört és kilépő fény, csak az indulási anyagba visszavert su-



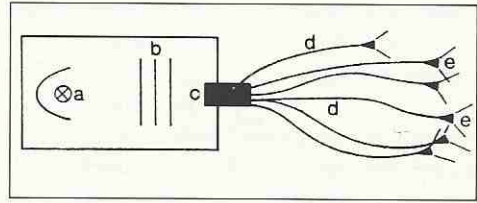
4. ábra.

gárzást kapunk (3. fénysugár). Ezt a jelenséget hívjuk teljes visszaverődésnek.

Azt a beesési szöget, melyen túl már teljes visszaverődést kapunk, kritikus szögnek nevezzük (i_c).

Két adott fényvezető anyagra a kritikus szög meghatározása a Snellius-féle fénytörési törvényből származtatható:

$$\sin i / \sin r = n_2 / n_1$$



5. ábra

ahol n_2 és n_1 az anyagok törésmutatói. A kritikus szögnél a törési szög 90° , tehát $r = 90^\circ$, és mivel $\sin 90^\circ = 1$ ezért a kritikus szög:

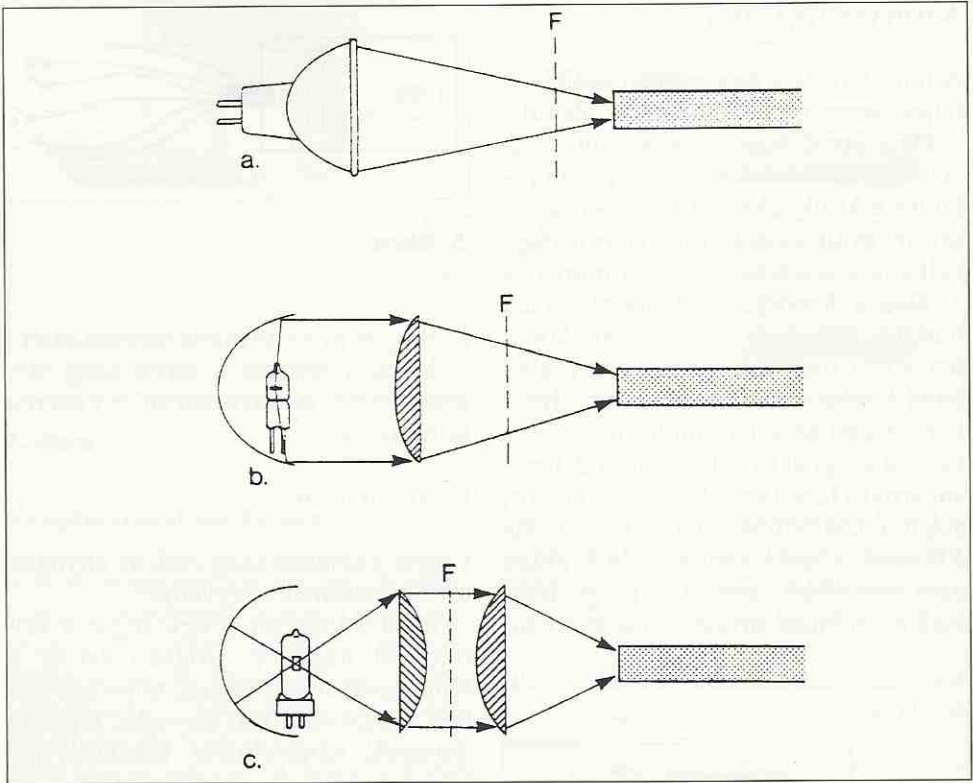
$$i_c = \arcsin n_2 / n_1$$

vagyis a kritikus szög csak az anyagok törésmutatóinak függvénye.

Tehát addig, amíg egy sugár a kritikusnál nagyobb szögben éri el a fényvezető anyag határárt, teljes mértékben visszaverődik az anyagba, tehát az anyagok határfelülete tökéletes tükröként működik. Így tehát az optikai szál egyik végén bevezetett fénysugár sokszoros teljes visszaverődés után a másik végén megjelenik.

Ahhoz azonban, hogy ez a teljes visszaverődés meginduljon, a fényvezető kábelbe megfelelő szögben kell a fényt bevezetni. A 4. ábrán látható, hogy a ϑ szögnél meredekebben érkező fénysugarak nem szenvednek teljes visszaverődést, hanem a belépés utáni fénytörést követően a burkolaton keresztül kilépnek a kábelből.

A belépési szög ismerete nagyon fontos az ún. fénygenerátorok tervezésekor, mely generátorok a fényforrás fényét az optikai kábel bemeneti végére csatolják. A belépési szöget a fénykábel fényvezető anyagának és burkolatának törésmutatói határozzák meg, és az „abszolút nyílás” (numerical aperture – NA) elnevezéssel illetik.



6. ábra.

A fény továbbításakor általában nagy fény-sűrűséget szeretnénk elérni, ezért az NA értéke minél nagyobb kell legyen. Ez a burkolat törésmutatójának a lehető legkisebb értékre való lezorításával érhető el.

Komplett száloptikás világítási rendszerek

A mindennapi felhasználás során alapvetően kétféle optikai kábelt használunk: a szálvégen világítót és az oldal-felületen világítót.

A szálvégen világító rendszer egy közönséges, sokszoros teljes visszaverődésre alkalmas kábelt és egy ún. fény-

generátort tartalmaz. A kábel egyik vége pedig a fénygenerátorba, a másik vége pedig a megvilágítandó helyre vezet, ahol a kábeltől kilépő fény a megfelelő kimeneti eszközzel, optikával a kívánt eloszlásra alakítható.

Egy fénygenerátor elvi rajza látható az 5. ábrán. A jelölések a következők:

- a – fényforrás (tükörrel)
- b – különböző (szín)szűrők
- c – fénykabel csatlóeleme
- d – optikai kábelek
- e – kimeneti eszközök (optikák)

A fénygenerátorban lévő fényforrás fényének pontos bevezetése az alkalmazott fényforrástól is függ. A 6. ábrán



7. ábra

többféle fényforrás és optika együttese látható. Az *a* változat elliptikus tükörrel ellátott halogén fényforrást mutat, a *b* rajz halogén fényforrás, parabolatükör és plan-konvex lencse együttesét szemlélteti, a *c* ábrán pedig fémhalogén lámpa, gömbtükör és kondenzorlencsék kombinációja tanulmányozható. Az „F” betűvel jelzett pozíció minden változatnál a szűrők – UV, infra, szín stb. – helyét mutatja. A hővisszaverés igen fontos szempont, mivel a kábel végére koncentrált nagy sűrűségű fénysugár megolvaszthatja a műanyag kábelvéget. A kábel kimeneti részén el kell végezni a világítási feladatnak megfelelő fényalakítást. Ezek az eszközök általában egyszerű optikai elemek, úgymint Fresnel- vagy plan-convex lencsék, de lehetnek speciális feladatra készült egyedi termékek is, például különböző átmérőjű kis gömbök, de akár műanyag „jégcsapok” is.

Fontos tudnunk, hogy a kilépő fénysugár „hideg”, azaz a világított felületet vagy tárgyat egyáltalán nem melegíti.

Az oldalfelületen világító kábelek speciális kialakításúak, mivel a kábel teljes hossza mentén többé-kevésbé

egyenletes fénykibocsátást kell kapnunk. Az egyenletesség növelése érdekében a kábel mindkét végén is betáplálhatunk fényt.

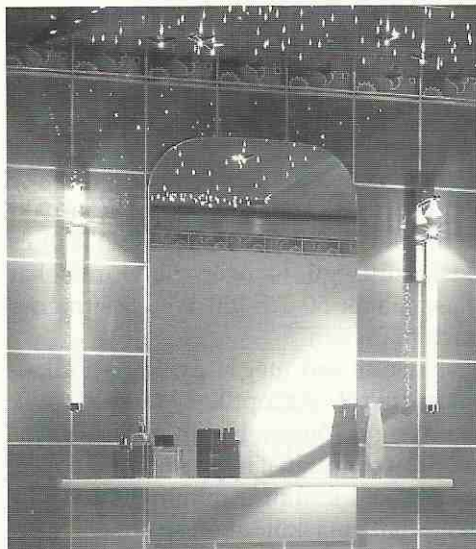
A rendszerek fénygenerátoraiban legtöbbször – a kis méret mellett nagy fénysűrűséget produkáló – kompakt fémhalogén lámpákat (pl. MSD 200) és kisfeszültségű halogén fényforrásokat használnak 50–75–100 W teljesítménytartományban.

Néhány szó még a gyakorlati alkalmazásokról. Az optikai kábelek egyik igen nagy előnye a hajlíthatóság. A gyakorlat azt mutatja, hogy mindenképpen határt kell szabni a minimális hajlítási sugárnak, máskülönben az erősen meghajlított részen kilép a fény a kábelből. A gyártók általában megadják ezt, de ennek híján az átmérő négyszeresét tekintjük alsó határnak.

Mivel semmi sem tökéletes világunkban, ezért a beadott fénynél kevesebbet fogunk kapni a kimeneten. Ennek oka a fényvezető részben lejátszódó elnyelés és szóródás jelensége. Ezt csillapításként vagy átviteli veszteségként definiálják.



8. ábra



9. ábra

A kábel csillapítását decibel per méterben (dB/m) adják meg és az anyagminőségen túl a hullámhossztól is függ. Ez tehát azt jelenti, hogy a kilépő fény megváltozik az alkalmazott kábel anyagának és hosszának függvényében.

Végezetül néhány alkalmazás fényképe mutatja be az optikai kábelek igen sokrétű – bár még nem túl olcsó – alkalmazhatóságát.

Böröcz Sándor

Irodalom:

- [1] 3/1993 ILR
- [2] Simon & Schelle gyártmánykatalógus
- [3] Crescent gyártmánykatalógus