

Hídszerkezetek és egyéb műtárgyak folyamatos monitorozása speciális rácsoztásos optikai szálakkal, innovatív textíliákkal

Kutasi Csaba

Kulcsszavak: Optikai szál, Optikai szálás szenzor, FBG szenzor, Nanokristályos piezoérzékelő, Szén-nanocső

A genovai tragédia, az 1967-ben elkészült A10-es olasz autópálya viaduktjának (tervezőjéről nevezték Morandi-hídnak) 2018. augusztus 14-i összeomlása talán aktualitást adhat arra, hogy az innovatív optikai szálás szenzorok alapuló, kb. két évtizede folyamatosan fejlesztett ellenőrző rendszerekkel foglalkozunk.

Természetesen a körütekintő tervezés, a számítógépes szimulációk lehetősége megbízható szerkezetek létesítését garantálja, amennyiben a kivitelezés az elírások szerint történik. A próbaterheléses – új állapotú és használat során időszakosan végzett – kontrollok megfelelő eredményei, a rövid időszakok utáni rendszeres műszaki vizsgálatok szintén biztonságossá teszik a használatot. Az optikai szálás, Bragg-rácsoztásos szenzorok alkotta rendszer helyszíni személyi jelenlét nélkül és folyamatosan szolgáltat lényeges szerkezeti állapotinformációkat (az első ilyen szenzorokat azonban csak 1995-ben kezdték nagyban gyártani).

A katasztrófa eddig feltételezett okai

Az összeomlott genovai viadukt kábelmerezítésű, a hídpályát tartótornyokhoz rögzített kábelek hordozták. A tragédia bekövetkeztekor a híd először elfordult, majd meghajlott (erre utal a vasbetonelemek zuhanás közbeni 180°-os megfordulása és ennek megfelelő földet érése). Egyes feltételezések szerint a kilencedik pillér feletti ferdekábel szakadása okozta az omlást. Valószínűsítik azt is, hogy a híd betontalpaszatánál indult meg a szerkezet, így az elmozdulás miatt következett be a kábelszakadás, majd a pillér ledőlése. Hipotézisként szerepel az időjárás okozta szennyezés, beleértve a tenger közelségéből adódó – több évtizedes – sólerakódást. A kezeletlen betonban a kötés után nagyszámú pórus és kapilláris marad, az ezeken behatoló anyagok idővel az acél is eljutnak, korróziót okozva. A megnövekedett terheléssel repedések is keletkezhetnek, így a behatoló sósvíz károsító hatása (pl.



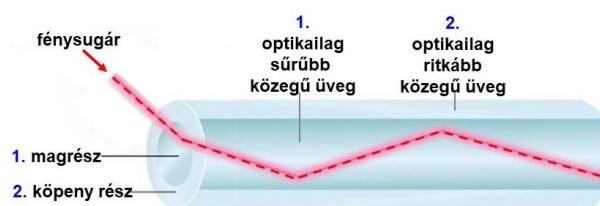
A genovai, 1967-ben elkészült A10-es olasz autópálya viaduktjának 2018. augusztus 14-i összeomlása

1. ábra

elektrolitikus folyamatok) fokozódott. (E cikk megjelenésekor esetleg már ismert lesz a hivatalos vizsgálati eredmény, addig csak találgatásokról van szó.) (1. ábra.)

Az optikai szál és szenzor változatai

A hagyományos optikai szál egy kellően kis törésmutatókülönbségű mag és köpeny felépítésű üvegszál-szerkezetből épül fel. A magrész optikailag valamivel sűrűbb közegű, a határoló köpenyüveg ritkább optikai jellemzőkkel rendelkezik. Az elektromágneses sugárzás (akár látható, akár nem látható tartományú) vezetését a magvezetékben lejátszódó folytonos visszaverődés hozza létre. Lényeges fizikai jellemző a modulus, amely a magátmérő és a benne futó fény hullámhosszának viszonyát fejezi ki (2. ábra).

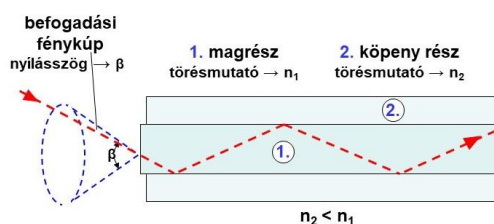


A hagyományos optikai szál felépítése

2. ábra

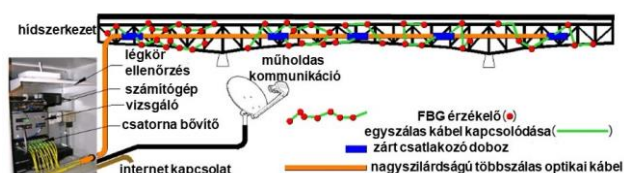
A teljes visszaverődés akkor valósul meg, ha a két közeg határfelületén úgy verődik vissza az adott elektromágneses sugár, hogy a másik közegbe egyáltalán nem jut át. Ennek érdekében egyrészt a sugár a sűrűbb átlátszó anyagból érkezik a ritkább közeg határfelületéhez, másrészt fontos annak betartása, hogy a beesési szög az ún. határszögnél nagyobb legyen. A teljes visszaverődés érdekében lényeges, hogy a fény meghatározott kúpon belül jusson be a szálba, ennek az ún. befogadási fénykúpnak a nyílásszögét a burkolat és a mag törésmutatójának viszonya határozza meg. Az optikai szálon a jelátvitelt modulált fény, infravörös sugárzás szolgáltatja, beleértve az elterjedt lézerdíódás sugárforrásokat is (3. ábra).

Az optikai szál szenzorként kétféle módon használható. Egyrészt a szál csak közvetíti az információt az érzékelő és a feldolgozó egység között (extrinsic rendszer),



A törésmutatók viszonyától függ a befogadási fénykúp nyílásszöge

3. ábra

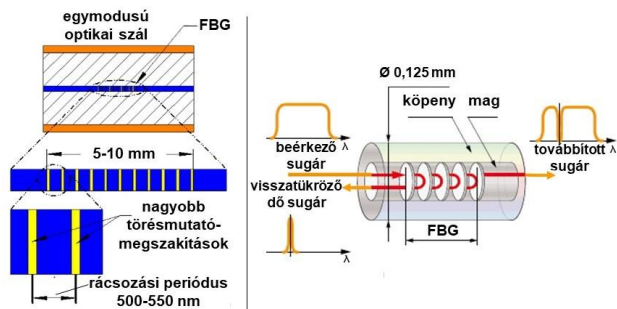


Hídszerkezet folyamatos állapot-monitorozása

4. ábra

másrészt a szál maga az érzékelő (intrinszcikus szenzor). Az optikai szál szál szennyezéssel mérhető többek között a pozíció, az elmozdulás, a feszítés és hajlítás, továbbá meghatározható a hőmérséklet. Egy szerkezetre telepített optikai szálban futó sugárzás (pl. fény) intenzitása, fázisa, polarizációja, hullámhossza vagy spektrális tartalma megváltozik a környezeti hatásokra. A különböző jellemzők mértékének meghatározását általában visszavezetik az intenzitásmérésre (4. ábra).

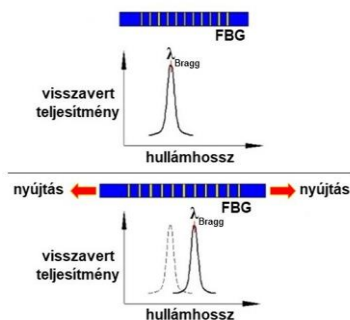
A szenzor célú speciális optikai szál rövid szegmensében a magrészt törésmutatóját megváltoztatják. Ez a periodikusan előforduló képződmény visszautkrözi a sugárzás bizonyos hullámhosszait, ugyanakkor a többit továbbítja. A kialakuló hullámhossz-specifikus dielektromos tükörből érkező sugárzás szolgáltatja a méréshez szükséges jeleket. Esetünkben az FBG (a Fiber Bragg Grating kifejezés kezdőbetűiből képzett rövidítés, azaz optikai szál szál Bragg-rácsot) szenzorok terjedtek el (5. ábra). (Az elnevezés *William Lawrence Bragg* [1890-1971] ausztrál születésű angol fizikusra, röntgenkristallográfusra utal, aki apjával, *William Henry Bragg*-gel közösen részesült Nobel-díjban.)



Az FBG (Fiber Bragg Grating) felépítése

5. ábra

Az első kereskedelmi FBG-k 1995-ben váltak elérhetővé, tehát alkalmazásukra csak ez után volt lehetőség. Ez a szakaszosan más törésmutatójú maggal rendelkező üvegszál tehát az adott hullámhosszúságú sugárzást visszautkrözi (a többi átengedése mellett). Az érzékelés azon alapszik, hogy az FBG-ben környezeti behatásokra (pl. elmozdulás, feszítés, hajlítás, hőmérsékletváltozás) az üvegszál magjában a rácsok távolsága és alakja



A hullámhossz eltolódásból lehet következtetni a mérendő mennyiségre

6. ábra

megváltozik, ezért a visszautkrözi hullámhossz módosul. Tulajdonképpen a hullámhossz-eltolódásból lehet következtetni a mérendő mennyiségre (6. ábra).

A száloptikás szenzorok olyan területeken is használhatók – pl. napelemekkel –, ahol nincs közeli tápegység, a jelek műholdas kapcsolattal is elérhetők. Amennyiben egy optikai szál telepítenek el a híd hossza mentén, akkor a szerkezet kedvezőtlen változások pontjainál érzékeny jel generálódik. A száloptikai törzssérzők hálózatát a híd töréspontjainál, a kritikus szerkezeti tagjainál helyezik el. Így folyamatosan és automatikusan – személyi jelenlét nélkül – jutnak el a lényeges tényadatok a központi távfelügyelethez (akár több híddal kommunikálva). A ≥ 640 multiplexált FBG szenzorokat használó kábelezt rendszer „lekérdezi” az érzékelőket, ami időszakos ellenőrzésre is módot nyújt egy olyan hordozható eszközzel, amelyet a felügyelő (hidmérnök, hidmester) képes gyorsan és egyszerűen csatlakoztatni az érzékelő hálózatához. A száloptikai törzssérzők az említett szerkezeti tagokat érintő dinamikus terhelési körülményekről képesek folyamatosan vagy időszakosan jelentést tenni. Pl. a gyorsulásmérők Fast Fourier transzformációval (FFT) (egy rekurzív algoritmus) kombinálva megmutatják a strukturális frekvenciaspektrumokat, amellyel a mérnökök az abnormális rezonancia jellemzőket követhetik különböző terhelési körülmények között (7., 8., 9. ábra).

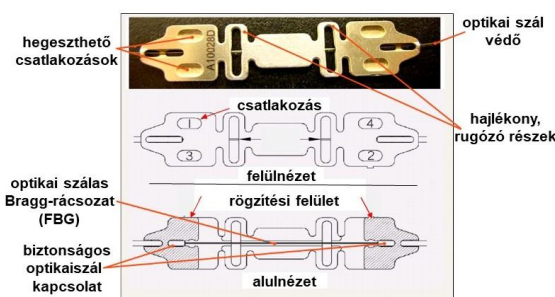


a Chiapas-híd Dél-Mexikóban

konzolos híd Mississipp deltájában

Példák monitorozott hidakra

7. ábra



Feszültség érzékelő gerendákhoz, rácsszerkezetekhez

8. ábra



Jeladásra és továbbításra alkalmas optikai szálakból, nanokristályos piezoérzékelő szálakból felépülő textilszerkezet és elhelyezése

9. ábra



FBG érzékelővel monitorozott gát Ausztriában

10. ábra

Egyéb innovatív monitorozó megoldások

A környezeti hatásoknak ellenálló nemszőtt textiliába beágyazott szenzorszálak, ill. hálórendszerek folyamatos paraméterkövetést tesznek lehetővé, többek között gátaknál, utak és vasúti pályák, ill. nagyobb építmények alatt, akár így figyelhetik a föld alatti olajvezetékek esetleges szivárgását. Jeladásra és -továbbításra alkalmas optikai szálakból, nanokristályos piezoérzékelő szálakból épülnek fel az ilyen széles szalagszerű szerkezetek (pl. az ólom-cirkonát-titanát – PZT – már a méretének 0,1%-os megváltozása révén mérhető piezoelektromosságot hoz létre). A szerkezeti deformáció, a nyomás- és hőmérsékletváltozás, a strukturális rétegezethez jellemzői, a vízszint stb. vizsgálható folyamatosan a különböző pályák alatt, az építmények szerkezeti részeiben, ill. falazatában. A beépített innovatív textilrendszer a strukturális szerkezet megerősítését is szolgálja és hajlékonyságát is növeli (9., 10., 11. ábra).

Talán a MAL Magyar Alumínium Termelő és Kereskedelmi Zrt. tulajdonában lévő, az Ajkai Timföldgyár Kolontár és Ajka között létesített, 240 000 m²-es vörösiszap-tároló gátjának 2010. október 4-i átszakadása is megelőzhető lett volna ilyen alkalmazással, ha a korábbi létesítést követően a később kifejlesztett technikát esetleg utólag beépítik. (A tragédia során tíz ember meghalt



400 vezetékes kábelezés és a műszerek



≥ 640 multiplexált optikai szálak törzsérzékelők

Betekintés a központi monitorozó egységbe

11. ábra

és a sérültek száma több mint 150 fő volt, az anyagi kárról nem is beszélve).

A **szén-nanocső** (CNT, Carbon nanotube) **alapú szenzorok** is jól hasznosíthatók a valós idejű strukturális állapotfelmérés területén. A beépített érzékelők a szerkezeten belüli és a felszínen lévő változásokat (pl. repedés) folyamatos észlelik. A beágyazott CNT érzékelők többek között az alagutak megfigyelésére is alkalmasak. Pl. a rugalmas szén-nanocső kompozitbevonatokon – a különböző mechanikai igénybevétel hatására – létrejövő elektromos változások könnyen mérhetők. Egyre elterjedtebb az elosztott érzékelők használata, amelyekkel folyamatosan nyomon követhető a nagyméretű műtárgyak állapota. A nagyszámú érzékelési ponttal a száloptikai érzékelő gyorsan teszi lehetővé a fennálló szerkezeti problémák felderítését. Az optikai szál érzékelőkkel az erőzión vagy a repedés pontos detektálására azelőtt van lehetőség, mielőtt a műtárgy meghibásodna. A probléma korai felismerésével lehetővé válik a szerkezet állapotromlásának megakadályozása, továbbá több idő áll rendelkezésre az evakuáláshoz.

Felhasznált irodalom

- [1] Gerencsér András: Elektronikus kommunikáció, 2005.
- [2] Kutasi Csaba: Az optikai szál és kábel, Magyar Textiltechnika, 2009/2
- [3] FBG száloptikai érzékelő prospektusok
- [4] Wikipédia szócikkek