

Jak si posvítit na tunel?



Technikům k tomu dnes slouží zejména moderní **vláknově-optické senzory**. V České republice se výzkumem optických vláken a optických

senzorů zabývají v Ústavu fotoniky a elektroniky (ÚFE) Akademie věd ČR a právě tam vás zavede PANORAMA 21. STOLETÍ za čerstvými novinkami.

Zkušenosti získané zde kdysi při přípravě telekomunikačních vláken nyní vědci z ÚFE zúročují při vývoji vláken speciálních, rozvíjejí metody zápisu různých typů mřížek a vedle dalších činností pracují také na vývoji nových senzorů.

Jde především o bezpečnost

Tunely jsou vysoce náročné stavby zejména z hlediska bezpečnosti a monitorování dalšího provozu, jenž musí být pod neustálým dohledem odborníků, techniků. Obr.1, Ti si musejí na tunel pořádně posvítit nejen v průběhu samotné výstavby, ale svítí si i po uvedení stavby do provozu a musejí sledovat dílo po celou dobu jeho provozu. Totéž platí o mostech, přehradách, výškových konstrukcích a v podstatě o všech větších veřejných stavbách. Je to nutné proto, že tunely a další uvedené stavby mohou v případě havárie způsobit značné ztráty na lidských životech i velké ztráty materiální.



■ Kolaps mostu I-35W přes Mississippi

Kontroly a monitorování staveb

Kontrolami staveb jsou pověřováni odborníci z nejrůznějších technických oblastí, zejména statiky, ale také třeba elektrotechniky, protože jen málokteré technické dílo si lze dnes představit bez elektrifikace. Kontroly a revize probíhají většinou v pravidelných intervalech. Při nich musí pověřený nešťast-

ník prolézt a kontrolovat celou konstrukci, kvalitu všech spojů a svárů, posoudit stav koroze, soudržnosti materiálu atd. Tuto odpovědnou činnost mu ztěžuje skutečnost, že věci musí posoudit na místě, a nikoliv v laboratoři, za jakéhokoliv počasí, často v časové tísní nebo v noci. Třeba proto, že jindy ho do tunelu metra nepustí. Stav pak posoudí podle norem, které odpovídají aktuálnímu stavu poznání vědy a techniky. Najde-li závažné problémy, musí provozovatel navrhovat příslušná opatření.

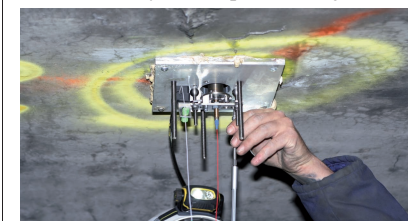
Dovnitř nikdo nevidí

Některý čtenář si možná vzpomenou na totální uzavěru pražské Jižní spojky v srpnu 2008, která následovala okamžitě poté, kdy důsledný statik odhalil propad vydroleného příčného nosníku mostovky na téměř kilometrové mostní konstrukci Lanového mostu. Hlavními slabunami takových prohlídek ale zůstává, že při nich není vidět dovnitř kontrolovaných těles, což je zejména

u tunelů problém, a kontroly probíhají jen nespojitě v delších časových úsecích. Co se děje se stavbou mezi jednotlivými prohlídkami, tak zůstává stále zahaleno určitou nejistotou. A proto se dnes vědci a technici snaží změnit tuto praxi a na základě novinek, které sami vyvíjejí v oblasti senzorů, usilují o posun směrem k permanentnímu monitorování staveb.

Přejete si „Health monitoring“?

Když se vás Angličané zeptají na „Health monitoring“, nemají právě na mysli váš průběžný zdravotní stav, ale jakou stavbu byste rádi sledovali. Když se pro něco takového rozhodnete již ve stadiu samotné stavby, máte značnou výhodu. Můžete potřebné komponenty nejlépe umístit, třeba přímo zalít do betonu a senzor je pak nedílnou součástí stavby. Třeba pod tramvajová těle-



■ Detekční element a příklady jeho implementace na stavbě

sa se dnes běžně instalují bílé „koberce“ geotextilií, které často obsahují různé takové senzory. Jejich případná dodatečná instalace je sice složitější, ale není vyloučená. Samozřejmě že naši předkové senzory nepoužívali a řada jedinečných technických děl, jako třeba Karlův most, zůstala zachována po staletí i bez nich. O té druhé skupině staveb se už ale tolik nemluví, protože prostě dávno neexistují. Jistou výjimkou v tomto směru může být most v Avignonu, z něhož

zbyly jen ty čtyři oblouky, opěvované známou písničkou Sur le pont d'Avignon.

Senzory

Senzory a senzorové sítě bývají obvykle elektronické nebo optické. Mohou sledovat tlak, ohyb, vibrace, ale také třeba vlhkost nebo požární nebezpečí. Když monitorují lom, nemusí být ještě úplně pozdě – vždy záleží na konkrétním uspořádání. Typickou ukázkou elektronického senzoru je tenzometr, který převádí velikost deformace povrchu tělesa, související s mechanickým napětím, na elektrický odpor. Samotný odpor lze měřit docela přesně pomocí levných a dostupných komponent, což je nespornou předností těchto systémů. Optické senzory jsou naopak složitější a často jsou založené na optických vláknech.

Vláknově-optické senzory pro monitorování staveb

Optickým senzorům, založeným na optických vláknech, říkáme vláknově-optické. Dnes se často používají ke sledování vibrací či tlaků velkých mostních a tunelových konstrukcí. Ale i nové výškové budovy jsou takovými zařízeními prospikované, vždy s cílem zvýšení bezpečnosti účastníků pro-

vozu a minimalizace rizik havarijních situací. Mohou samy o sobě spustit sled určitých aktivit, jako třeba požární hlášení, nebo jen informovat obsluhu či dozor o aktuálním technickém stavu stavby.

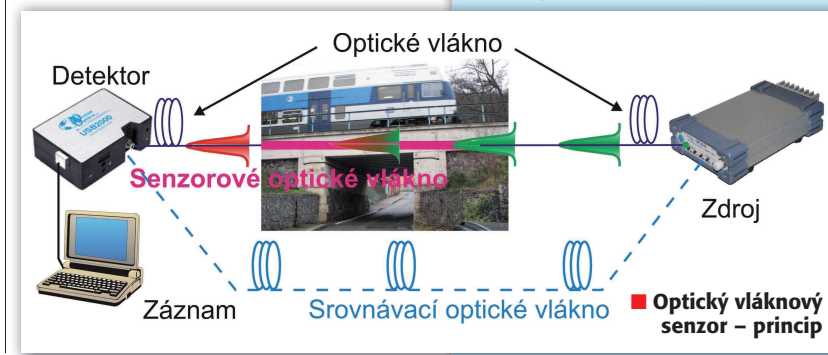
VLÁKNOVĚ-OPTICKÉ SENZORY

→ Optická vlákna používaná v optických komunikacích jsou vhodná k přivedení světla ze zdroje do opticky citlivého detekčního prvku a k odvedení světla z tohoto prvku do detektoru.

→ Tím detekčním prvkem mohou být různé optické elementy, ale nejlépe zase vlákna. Jenže tentokrát jiná – citlivá resp. zcitlivělá vůči sledovanému vlivu. Jejich citlivosti lze dosáhnout různými způsoby, třeba změnou složení nebo struktury, například zápisem tzv. mřížky.

→ Když se takové citlivé vlákno nechá chvíli potrápiti sledovanou veličinou, pozmění vlastnosti vstupujícího světla a detektor na výstupu to rozpozná. Stačí „jenom“ pozorovat odezvu dostatečně specificky, závislost si správně okalibrovat a vláknově-optický senzor je na světě.

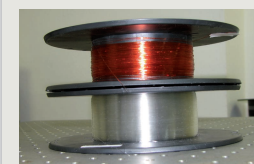
→ Další výhoda – optická vlákna nejsou z barevných kovů, a tak není příliš mnoho důvodů pro jejich krádeže. ■



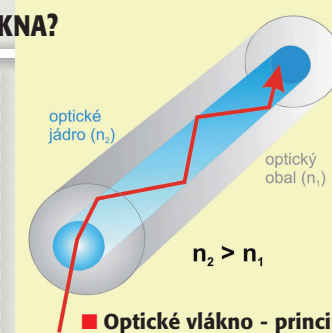
ZNÁTE OPTICKÁ VLÁKNA?

→ Podle definice je optické vlákno dielektrická struktura (vlnovod) válcové symetrie, jejíž podélný rozměr je mnohonásobně větší než příčný, složená z optického jádra o vyšším indexu lomu a optického obalu o nižším indexu lomu, která přenáší světlo ve směru své podélné osy na základě totálního odrazu.

→ Z praxe víme, že když posvítíme do proudu vody, tak světlo vytéká (svítí) na jeho druhém konci. To



■ Ukázka vlákna



proto, že voda má vyšší index lomu než okolní vzduch a světlo tedy vede. Ne náhodou se proto také říká optickým vláknům „světlovody“.

→ Světlovodný princip demonstroval sir John Tyndall již roku 1853 v Londýně a u nás byl rozšířen díky Františku Křižíkovi a jeho fontáně z roku 1891 na pražském

Výstavišti. Podobným dielektrikem, tedy nevodivcem, jako voda je i sklo. Podaří-li se dosáhnout při jeho výrobě vysoké čistoty, lze posílat světelné signály po vytaženém skleněném vlákně na velké vzdálenosti. Tomuto způsobu

přenosu informací říkáme optické komunikace.

→ Optická vlákna můžeme všichni vidět třeba při jízdě pražským metrem, kde sady chráničů instalovaných pro jejich uložení lemují celou délku trati. Pomocí optických vláken denně telefonujeme, posíláme e-maily nebo jen vybíráme peníze z bankomatu, aniž si to uvědomujeme. ■

Elektronický nebo vláknově-optický senzor?

Elektronické tenzometrické senzory a jejich systémy vždy porazí ty vláknově-optické v ceně, často i ve snadnosti implementace. Vždyť se také vyvíjejí a používají více než 70 let. Jenže ve vnějším prostředí často trpí korozí, která pro skleněná optická vlákna zdaleka není tak kritická. Dále je jejich činnost závislá na teplotě – v tom se podobají optickým systémům. Řešením je v obou případech zavedení nějakého srovnávacího prvku, který vlivy teploty minimalizuje. Větším háčkem je pak závislost tenzometrů na předchozí historii měření (tzv. hystereze). Ale hlavní potíží je jejich citlivost k vnějšímu elektromagnetickému poli. Elektrickou složku pole lze poměrně snadno odstínit, ale problémů může způsobovat silně střídavé magnetické pole a s ním spojená indukce. Je-li tedy monitorovanou stavbou drážni či tramvajový tunel nebo most s elektrifikovaným provozem, kde jsou v blízkosti mimo-

■ Železniční most
– Trať Praha-Kralupy



řádně silná elektromagnetická pole, vláknově-optické senzory nabízejí jedinečné řešení. Optická vlákna jsou totiž z podstaty dielektrická, a tudíž vůči takovým polím imunní. Jejich dlouhodobá stabilita takové perspektivní řešení jen umocňuje.

**Rok 2012:
Vláknově-optické senzory
i v českých tunelech a mostech**

Z důvodů zvýšení bezpečnosti a prevence rizik je dnes soustavné monitorování staveb jednoznačným trendem a vláknově-optické senzory přitom hrají důležitou úlohu. Nejde jen o vlastní senzory, ale důležitý je způsob jejich implementace, který musí být vždy ušitý na míru. Zejména dopravní stavby začínají být pod soustavným dozorem, ať už to



■ Implementace
FGB senzoru na mostní konstrukci

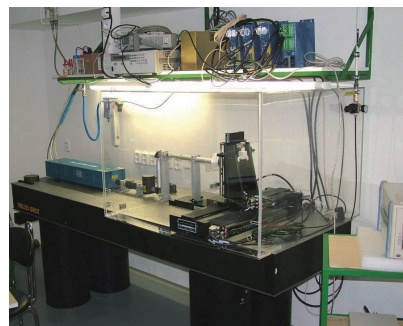
jsou velké silniční tunely pod Alpami, nebo nekonečné kilometry mostních konstrukcí rychlovlaků TGV. Zatím tento trend převládá ve vyspělejších zemích, ale pomalu přichází i do České kotliny.

**Čeští vědci mají nové
laboratoře**

Vývoj speciálních vláken, mřížek i samotných senzorů probíhá na výzkumných pracovištích Ústavu fotoniky a elektroniky Akademie věd ČR. Protože sestavované unikátní technologické a měřicí aparatury jsou velmi citlivé na vibrace a poněkud

rozměrné, postupně proto vybudovala tato pracoviště ÚFE AV ČR velké laboratoře v Praze 8-Kobylišicích a v Praze 6-Suchbátě. Jednou z nemnoha firem, které se pohybují na poli vláknové optiky v Čechách, je pak společnost Safibra, s. r. o. Její specialisté jsou špičkovými odborníky na implementaci vláknově-optických senzorů např. v mostních konstrukcích a dlouhodobě se podílejí na řadě vědecko-výzkumných projektů v této oblasti. ■

Ing. Ivan Kašík,
Ústav fotoniky a elektroniky AV ČR
Ladislav Šašek



■ Technologické aparatury pro tažení optických vláken a pro zápis mřížek do vláken výkonným laserem

Bezpečnost ohlídá mřížkový vláknově-optický senzor

Jak se z dokonale odolného a imunního optického vlákna stane citlivý senzor mechanického napětí nebo tlaku? Například tak, že se do něj pomocí laseru „zapiše“ tzv. mřížka.

To znamená, že se například zápisem pomocí výkonného laserového svazku přes masku způsobí v materiálu vlákna šok, který navodí jeho příčné změny indexu lomu. Můžeme si je představit jako příčné „vrpy“ optické mřížky napříč vláknem. Jsou-li „vrpy“ od sebe ve vzdálenosti pouhých několika nanometrů, hovoříme o mřížce Braggovské (z anglického Fiber Bragg Grating – FBG).

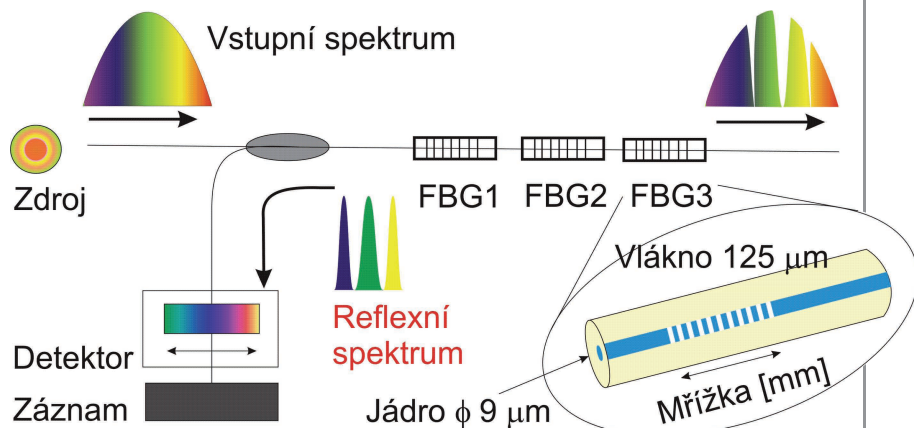
Funguje jako zrcadlo

Pouhým okem toho na vlákně moc nevidíme, protože celá mřížka s desítkami „vrpů“ se vejde do několika milimetrů. To však stačí na to, aby podle zákonů opti-

ky taková mřížka fungovala jako zrcadlo. Podle toho, jaká je vzdálenost mezi „vrpy“ (tzv. perioda), odráží mřížka část vstupujících paprsků s konkrétní vlnovou délkou zpět a zbytek světla mřížka propouští po vlákně dál.

Jediné vlákno na dvacet bodů

Odražené paprsky (tzv. reflexní spektrum) lze analyzovat vhodným detektorem, a protože délka periody mřížky závisí na mechanickém napětí nebo na teplotě, z rozboru reflexního spektra můžeme dostat potřebné informace o mechanickém zatížení materiálu. Lze si to také představit jako zrcadlo, které odráží jen určitou barvu, jejíž odstíny, úměrné namáhání materiálu, můžeme v odrazu pozorovat. A protože do vlákna lze zapsat více mřížek s různými periodami, pomocí jediného optického vlákna lze sledovat více detekčních míst, odečítat vlivy teploty apod. Současné systémy nabízejí měření až dvaceti bodů současně na jediném vlákně, nataženém třeba podél kolejí. ■



■ FBG senzor – princip