

# CALIBRATION OF THE FBG MEASURING SYSTEM BY LASER INTERFEROMETER

**Michal Jelínek**

Master (2) FEEC BUT

E-mail: xjelin36@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Břetislav Mikel

E-mail: mikel@feec.vutbr.cz

**Abstract:** This work deals with calibration method of the FBG based sensors and the nuclear power plant containment shape monitoring system. The design and the implementation of this system with the optical filter thermal compensation is described. The measurement of length changes is compared with the Michelson interferometer. The control system was programmed in LabVIEW.

**Keywords:** Bragg grating, measuring of optical spectrum, fiber sensors, Michelson interferometer

## 1. ÚVOD

Měření optickými vlákny s Braggovými mřížkami je v posledních letech stále více využíváno. V aplikacích se liší metody měření, vyhodnocení a konstrukce senzorů. Využití těchto optických senzorů v oblasti jaderného průmyslu je dosud minimální. Souvisí to s mnoha speciálními požadavky na konstrukci senzorů i na vyhodnocovací jednotky.

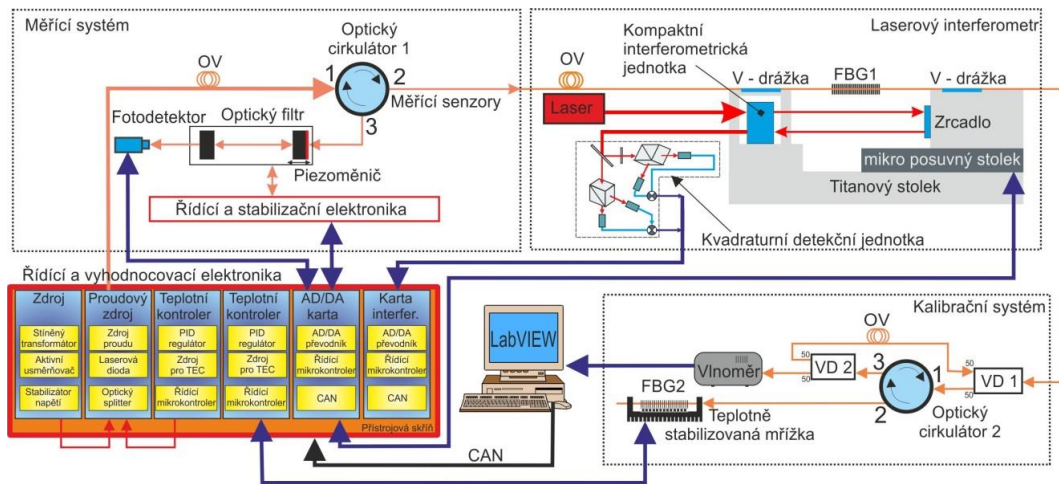
Navrhli jsme a připravili systém, který je v současnosti nainstalován na první srovnávací měření v jaderné elektrárně Temelín, kde měří tvarové změny kontejnmentu. Využité principy měření a laboratorní verze tohoto systému je zde prezentována. Pro návrh, kontrolu a výrobu optovláknových senzorů pro JE Temelín byl navržen a otestován systém na kalibraci linearity měření a ověření vláknových Braggových mřížek.

## 2. PRINCIP MĚŘENÍ

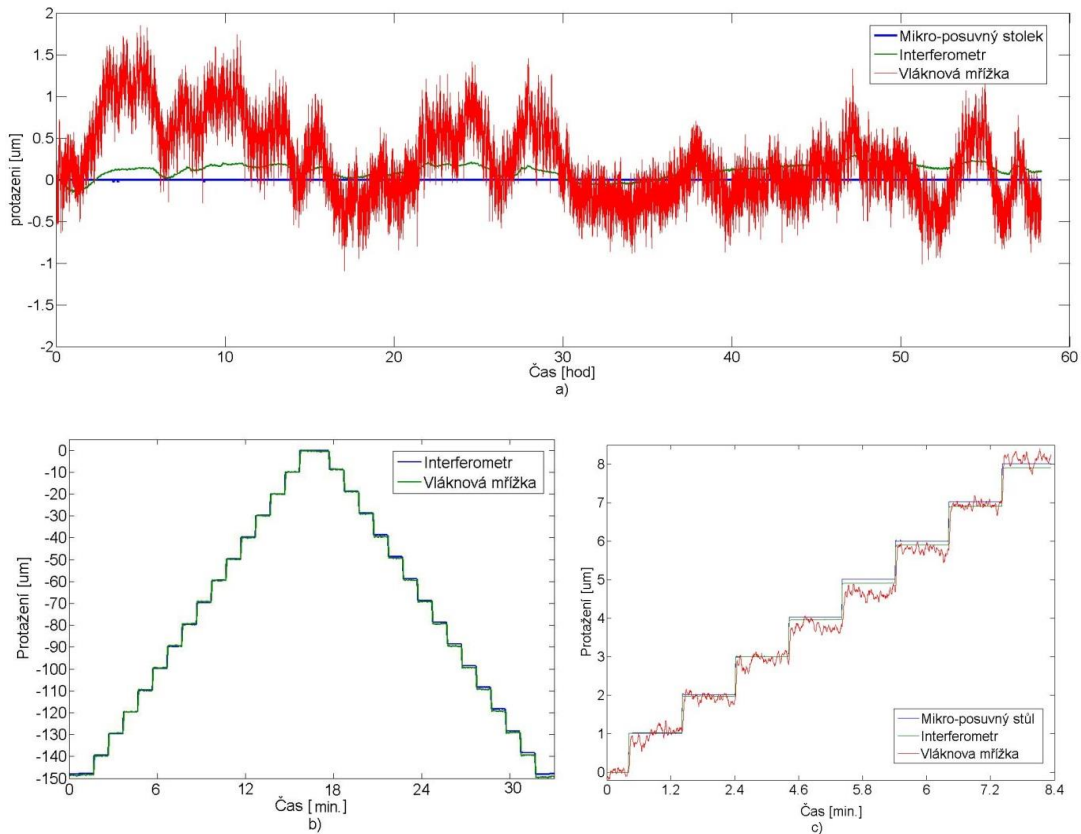
Princip zapojení celého systému pro měření délkových změn je vidět na obr. 1. Světlo ze širokospektrální LED diody CS5203A o optickém výkonu 20 mW je přivedeno na vláknovou Braggovu mřížku. Vlnová délka světla odpovídající periodě Braggovy mřížky se odrazí zpět do optického cirkulátoru a je nasměrována do optického spektrálního analyzátoru OSA [1]. Přesnost měření frekvence odraženého světla je velmi závislá mj. na změnách teploty optického filtru. Pro nastavení měřicího systému byla proto vytvořena kalibrační sestava, která v laboratorním provedení obsahuje i referenční měření prostřednictvím vlnoměru [2]. Pro kalibraci systému i vláknových mřížek byl celý systém rozšířen o laserový interferometr, který měří protažení senzorů ve speciální titanové kalibrační lavici. Na základě těchto rozšíření lze celou experimentální sestavu rozdělit do několika funkčních bloků: měřicí systém, laserový interferometr, kalibrační systém a řídicí elektronika. Celá experimentální sestava byla kompletně řízena z PC programem realizovaným v LabVIEW.

### 2.1. KALIBRACE

Přesnost měření s optickým filtrem je ovlivněna teplotními změnami filtru, nelinearitami elektroniky a hysterezi piezoměniče. Nejvíce přesnost měření ovlivňují teplotní změny elektroniky filtru a zejména pak teplotní nestability samotného filtru/rezonátoru. Kalibrační část proto slouží zejména k odstranění těchto teplotních nestabilit.



**Obrázek 1:** Schéma zapojení sensorového systému; VD - vláknový dělič, OV - optické vlákno; FBG - vláknová Braggova mřížka.



**Obrázek 2:** Záznamy z laboratorního měření a) Záznam z 60 hodinového měření stability optického filtru; b) Časový graf zobrazující krokové délkové změny senzoru po 10  $\mu\text{m}$  za 10 s; c) Detail záznamu měření krokových změn senzoru po 1  $\mu\text{m}$  za dobu 10 s.

Spektrum světla procházející vláknovou Braggovou mřížkou FBG1 se využívá pro kalibraci a je proto přivedeno na druhou Braggovu mřížku FBG2, která je teplotně stabilizovaná. Její teplota je řízena teplotním kontrolorem s přesností  $\pm 1\text{mK}$ . Odražená vlnová délka je detekována v optickém filtru. Aby bylo možné detekovat odražené spektrum obou mřížek v optickém filtru současně, je nutné jejich Braggovy vlnové délky vzájemně posunout tak, aby se nepřekrývaly v celém plánovaném rozsahu měření. Měřené spektrum z teplotně stabilizované mřížky je pak ovlivňováno pouze

nestabilitami optického filtru. Vzájemným srovnáním referenčního spektra FBG2 a měřeného spektra FBG1 je pak možné tyto nestability eliminovat a měřit přesněji.

## 2.2. LASEROVÝ INTERFEROMETR

Pro ověření linearity a přesnosti měření vláknových mřížek i navrhovaného měřicího systému byl navržen a realizován systém s laserovým interferometrem. Zapojení měřicího systému s interferometrem je na obrázku 1.

Měřicí délková mřížka je přilepena k titanovému stolku. Na něm, na pevné části, je umístěna kompaktní interferometrická jednotka Michelsonova interferometru, která má implementováno referenční zrcadlo a další optické prvky. Na druhém, posuvném konci titanového stolku je měřicí zrcadlo představující měřicí rameno interferometru. Mezi touto posuvnou a pevnou částí je vlepeno optické vlákno s Braggovou mřížkou. Zdrojem světla pro Michelsonův interferometr je frekvenčně stabilizovaný Helium-Neonový laser s vlnovou délkou  $\lambda_1 = 632,8$  nm a optickým výkonem 5 mW. Při změně polohy pohyblivé části s měřicím zrcadlem se mění vzdálenost, kterou projde paprsek světla. Výsledná interference paprsku z referenčního a měřicího ramene je detekována kvadraturní detekční jednotkou. Změnou polohy pohyblivé části je natahováno nebo zkracováno i měřicí vlákno s Braggovou mřížkou. Měřená změna délky je tak zaznamenána posunem spektra odrazu od Braggovy mřížky a současně detekční jednotkou interferometru. Celý měřicí proces je řízen programem vytvořeným v LabVIEW, kde je zpracován signál z interferometru a ze spektrometru o protažení optického vlákna s Braggovou mřížkou. Na obrázku 2 jsou data z několika testovacích měření, kdy byla ověřována přesnost měření s vláknovou Braggovou mřížkou. Dlouhodobé měření stability optického filtru při implementované kalibrační metodě eliminace teplotních vlivů je vidět na obrázku 2a. V další fázi testů byla měřena odezva změny detekované délky senzoru na její reálné změně, která byla monitorována laserovým interferometrem. Délka byla měněna v rozsahu  $\Delta p = < -150; 0 >$  s krokem  $k = 10$   $\mu\text{m}$ , viz obr 2b. Na obr 2c je pak detail záznamu měření při změně délky s krokem  $k = 1$   $\mu\text{m}$ , kde je zobrazena i změna délky mikro-posuvného stolku. Směrodatná odchylka měření vláknovou Braggovou mřížkou je  $\sigma^2 = 0.438$   $\mu\text{m}$  pro 60 hodinový záznam měření.

## 3. ZÁVĚR

V článku je prezentován optický měřicí systém pro měření tvarových změn kontejnmentu jaderné elektrárny Temelín prostřednictvím vláknových Braggových mřížek. Základní systém měření délkové roztažnosti byl rozšířen o část na odstranění teplotních nestabilit optického filtru a o část kalibrační. Pro průběžnou kalibraci systému je využívána teplotně stabilizovaná Braggova mřížka, která při každém měření reprezentuje měřicí etalon. Přesnost systému byla ověřována s využitím Michelsonova interferometru, který měřil souběžně s vláknovou Braggovou mřížkou délkové změny senzoru. Směrodatná odchylka měření vláknovou Braggovou mřížkou při dlouhodobém – 60 hodinovém měření stability byla  $\sigma^2 = 0,438$   $\mu\text{m}$ .

## PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek vznikl za podpory institucionálního financování RVO:68081731, projektu MŠMT LO1212, projektu EK CZ.1.05/2.1.00/01.0017 a grantového projektu TAČR č. TA03010835.

## REFERENCE

- [1] JELÍNEK, Michal. *CALIBRATION SYSTEM OF FIBER BRAGG GRATINGS MEASUREMENT*. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2015. ISBN 978-80-214-5148-3.
- [2] JELÍNEK, Michal. *Návrh optovláknového sensorového systému pro měření změn délky*. Brno, 2014. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Ing. Břetislav Mikel, Ph.D.