



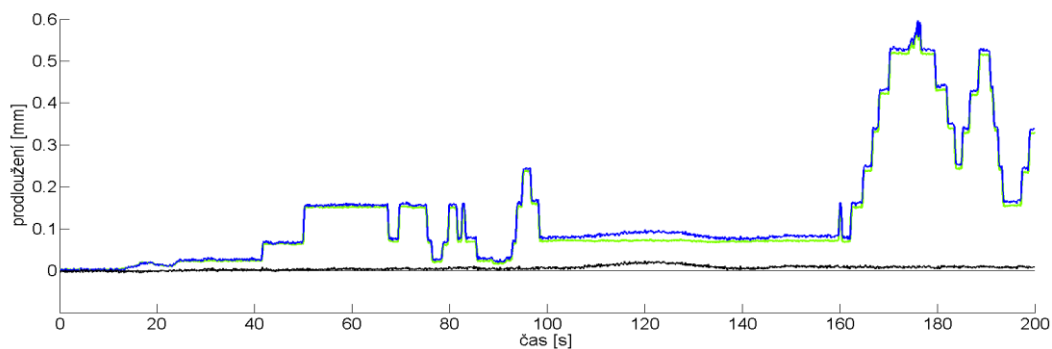
## 2. PRINCIP MĚŘENÍ

Principiální zapojení systému pro měření tvarových změn kontejnmentu je na obr. 1. V pravé části schématu je pak rozšíření systému, které jsem realizoval při vývoji stabilizačních technik s kalibrací prostřednictvím vlnoměru s rozlišením 0,1 pm. Světelné záření z optického zdroje SLED diody CS5203A o optickém výkonu 20 mW je přivedeno na vstup 1 optického cirkulátoru 1. Z optického cirkulátoru je záření přivedeno do optického přepínače, který periodicky připojuje jednotlivé Braggovy mřížky. Každý senzor je tvořen dvěma Braggovými mřížkami, kde jedna měří změnu délky senzoru a druhá slouží k teplotní kompenzaci. Počet senzorů je omezen použitým optickým přepínačem (počtem kanálů) a dále jej lze rozšířit sériovým zapojením senzorů, jejichž počet je omezen pouze spektrální šířkou optického zdroje. Vlnová délka světla odpovídající periodě Braggovy mřížky se odrazí zpět do optického cirkulátoru 1 a je přeměrována do optického spektrálního analyzátoru. Spektrální analyzátor je nahrazen laditelným optickým filtrem, který je založen na principu Fabry-Perotova rezonátoru. Filtr je rozmítán pomocí piezoelektrického krystalu a mění tak svoji rezonanční vlnovou délku. Pro přesné měření vlnové délky odražené od Braggovy mřížky, je zapotřebí, aby poloha detekovaného maxima reprezentující vlnovou délku odpovídala konstantní hodnotě řídicího napětí filtru.

## 3. STABILIZACE OPTICKÉHO FILTRU A KALIBRACE VLÁKNOVÝCH MŘÍŽEK

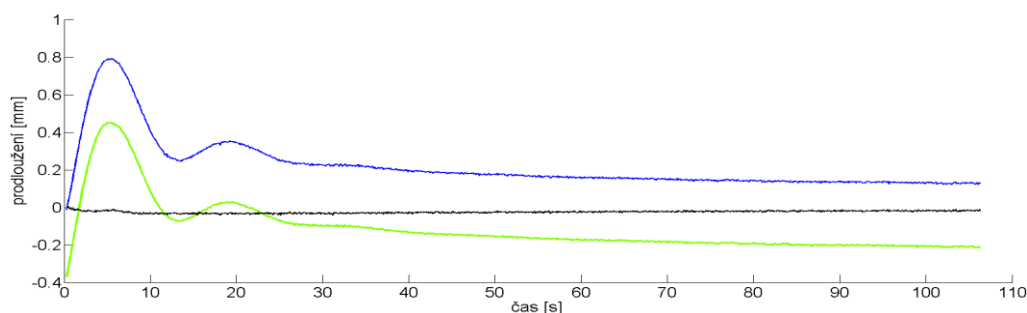
Systém pro měření tvarových změn je rozšířen o kalibrační část. Využíváme světlo procházející senzorem, které je přivedeno přes vláknové děliče VD1 a VD2 do optického cirkulátoru 2. Z optického cirkulátoru je záření přivedeno na teplotně stabilizovanou mřížku, kde se světlo odrazí a přes optický cirkulátor 2 a dělič světla VD3 je jedna část přivedena do vlnoměru a druhá do spektrálního analyzátoru.

Celý systém při každém měření měří teplotně stabilizovanou vláknovou mřížku a jednu z mřížek v senzoru. Optické spektrum teplotně stabilizované a měřicí mřížky musí být vůči sobě posunuto o minimální konstantní hodnotu, která je dána maximální možnou změnou spektra měřicí mřížky tak, aby se nepřekrývala se spektrem teplotně stabilizované mřížky. Řízení systému a kalibrace vláknových mřížek je realizována v programu LabVIEW. V programu je zpracováno odražené spektrum z teplotně stabilizované mřížky a odražené spektrum z mřížky v senzoru (obr 2 a 3 – mřížka pro měření délky). Na tyto spektra působí stejný vliv teplotně nestabilního optického filtru. Spektrum z teplotně stabilizované mřížky je tedy ovlivňováno pouze nestabilitou optického filtru a lze ho od měřeného spektra z délkové mřížky odečíst. Tímto způsobem lze získat přesnou polohu spektra z délkové mřížky. Lze tak zcela eliminovat vliv teplotní závislosti optického filtru. Odražené spektrum z délkové mřížky je pouze posunuté o konstantní hodnotu danou spektrální vzdáleností obou mřížek. Odečtením této konstantní hodnoty od odraženého spektra délkové mřížky je získáno spektrum, které lze brát za referenční pro další měření změn délky.



Obr. 2: Časový graf zobrazující délkové změny před a po kompenzaci; černá křivka - teplotně stabilizovaná mřížka, modrá křivka - délková mřížka bez teplotní stabilizace; zelená křivka - kompenzovaná délka.

Při kalibraci měření se do měřicího systému zapojí vlnoměr. Zapojení vlnoměru v obr. 1 je jednou z variant, které jsem využíval pro kalibraci celého systému. Optické vlákno s vláknovou mřížkou je předeprnuto do poloviny maximální reprodukovatelné roztažnosti vlákna. Napínání vlákna je monitorováno vlnoměrem. Pro optické vlákno 1 m dlouhé s vláknovou mřížkou  $l = 20$  mm je maximální opakovatelné protažení  $\Delta l = 100$   $\mu\text{m}$ , které odpovídá spektrálnímu posunu mřížky  $\Delta\lambda = 6$  nm. Při delším protažení optického vlákna dochází k jeho narušení. Přesný posun délkové mřížky je realizován mikro-posuvným motorizovaným stolkem se zpětnou vazbou. Při posunu motorizovaného stolku s vláknovou mřížkou se protáhne vláknová mřížka a změní se vlnová délka na vlnoměru a současně se změní snímané napětí na optickém filtru. V řídicím programu na měření tvarových změn je pak implementována kalibrační křivka, která slouží k přepočtu řídicího napětí na optickém filtru a vlnové délky z vlnoměru na výslednou hodnotu protažení optického senzoru.



Obr. 3: Stabilizace optického filtru při zapínání měřicí aparatury; zelená křivka - teplotně stabilizovaná mřížka, modrá křivka - nestabilizovaná délková mřížka, černá křivka - stabilizovaná délková mřížka.

#### 4. ZÁVĚR

V článku je prezentován systém pro teplotní stabilizaci filtru pro měření spekter vláknových Braggových mřížek v projektu pro měření tvarových změn kontejnmentu jaderné elektrárny Temelín. Systém pro měření byl rozšířen o část na odstranění teplotní nestability optického filtru. Pro průběžnou kalibraci systému byla využita teplotně stabilizovaná Braggova mřížka, která při každém měření reprezentuje měřicí etalon. Při vývoji rozšíření systému byla všechna měření kontrolována vlnoměrem s rozlišením 0,1 pm. Pro celý systém byl realizován řídicí program v LabVIEW. V poslední verzi je pak v programu implementována kalibrační křivka, která je využívána při všech měřeních pro přepočet řídicího napětí optického filtru na měření délky. S implementovanou kalibrační křivkou systém měří s přesností  $\pm 1$   $\mu\text{m}$  pro 30 minutový záznam měření.

#### PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek vznikl za podpory institucionálního financování RVO:68081731, projektu MŠMT LO1212, projektu Evropské komise CZ.1.05/2.1.00/01.0017 a grantového projektu Ministerstva vnitra České Republiky projekt č. VG20132015124.

#### REFERENCE

- [1] OTHONOS, Andreas a Kyriacos KALLI. *Fiber Bragg gratings: fundamentals and applications in telecommunications and sensing*. Boston, Mass.: Artech House, c1999, xiv, 422 p. ISBN 08-900-6344-3.
- [2] K. O. Hill, Y. Fujii, D. C. Johnson and B. S. Kawasaki, *Photo-sensitivity in optical fiber waveguides: Application to reflection filter fabrication*, *App. Phys.Lett.*, 32, 647-649, 1978.