

Věc:

## Oponentní posudek na disertační práci

Ing. Pavla Dokoupila

Téma práce:

### „Nejistota měření přetvoření a mechanického napětí pomocí odporových tenzometrů“

Disertační práce se zabývá tématem odhadu nejistot měření a/nebo zkoušek, které se objevuje v technické praxi již od druhé poloviny osmdesátých let minulého století, nicméně do dnešních dnů není vždy samozřejmostí, aby výsledky měření a/nebo zkoušek byly vyjadřovány jako údaj s nejistotou.

Disertační práce je zaměřena na oblast stanovení odhadu nejistoty při měření přetvoření a mechanického napětí při použití odporových tenzometrů. V disertační práci jsou pro odhad nejistoty použity dvě metody, a to metoda vycházející z tzv. zákona pro šíření nejistot, také nazývaného kovariační zákon pro šíření nejistot, případně jeho jednodušší verze Gaussova zákona pro šíření nejistot (v disertační práci označováno jako metoda GUM nebo GUF), a metoda Monte Carlo (MCM).

Disertační práce je členěna do osmi kapitol. Kapitola 1 definuje úvodní ustanovení, tzn. význam práce a cíle práce. Kapitola 2 uvádí rozbor teorie odhadu nejistot pro metodu GUM a MCM. V kapitole 3 a 4 je uveden rozbor teorie měření přetvoření a mechanického napětí. V kapitole 5 a 6 pak praktické aplikace odhadu nejistoty při měření přetvoření a mechanického napětí s použitím odporových tenzometrů. Kapitola 7 a 8 shrnuje dosažené výsledky a jsou zde definovány závěry z provedených analýz a experimentů. Součástí práce je seznam použité literatury (informační zdroje).

Struktura disertační práce odpovídá požadavkům kladeným na tento typ odborně-vědeckých prací. V disertační práci chybí informace o pracích / publikacích autora vztahujících se k tématu disertační práce (oblast vyjadřování nejistot, oblast tenzometrických měření). Také není zřejmé, zda jako zdroje informací byly použity i dokumenty TNI – technické normalizační informace (např. TNI 01 4109-3.1 pro odhad nejistoty metodou MCM) a všechny dokumenty JCGM (např. JCGM-104), které jsou v této oblasti využívány.

#### **Vyjádření k aktuálnosti tématu disertační práce**

Většina analýz a metodik týkajících se odhadu nejistoty pro konkrétné metodu měření nebo zkoušení je aktuální. Tato skutečnost vyplývá z faktu, že jen v málo oblastech technických

měření je zpracován „standardizovaný“ model odhadu nejistoty pro dané měření nebo zkoušku. Výhodou pro autora této práce bezesporu bylo, že v oblasti tenzometrických měření existuje celá řada publikací (viz informační zdroje), které analyzují jak metodiky tenzometrických měření, tak i zdroje možných negativních vlivů (chyb) na výsledky tenzometrických měření.

### **Vyjádření ke splnění stanovených cílů**

V disertační práci jsou stanoveny cíle pro vytvoření matematicko-technického modelu stanovení nejistoty měření přetvoření a mechanického napětí při použití odporových tenzometrů metodou GUM a MCM a s tím související dílčí kroky jako analýza chyb / dílčích nejistot.

Odhad nejistoty, ať už metodou GUM nebo MCM, vždy vychází a vyžaduje analýzu dílčích zdrojů, které ovlivňují přesnost dané hodnoty a kterých může být „velké“ množství. V disertační práci, na základě informačních zdrojů, se uvažuje o rozdělení těchto zdrojů nejistot do pěti skupin (pro měření přetvoření) a následně o 20ti dílčích nejistotách (event. 70 dílčích nejistotách), při měření mechanického napětí je situace obdobná.

Takovéto množství dílčích nejistot se v praxi při praktických měřeních jeví jako nemožné analyzovat. Proto by se dalo očekávat, že v disertační práci bude provedena i analýza vlivu jednotlivých dílčích nejistot na základě jejich velikosti a případné závěry týkající se faktu, zda danou složku nejistoty lze nebo nelze při praktických měřeních zanedbávat (podle pravidel pro zanedbávání minoritních dílčích složek nejistoty). Obdobně lze uvažovat např. i o způsobu „A“ vyhodnocování nejistoty. Pro metodu GUM byla využita „pouze“ metoda „B“ vyhodnocení nejistoty zahrnující odhad nejistoty z jiných zdrojů. Za úvahu stálo, zda by pro daná měření nemohla být experimentálně odhadnuta složka získaná způsobem „A“ vyjádření, tedy ze statistického zpracování výsledků. I když se při tenzometrických měřeních v praxi jedná o individuální měření, přesto výsledek bude určitě zatížen náhodnou proměnlivostí. Stejně tak lze uvažovat i o vlivu případných korelací.

Vytyčené cíle práce byly ale v podstatě splněny, mírnou vadou je, že mohly být více ambiciózní vzhledem k následnému využití v praxi.

### **Vyjádření k postupu řešení problému a výsledku disertace s uvedením konkrétního přínosu doktoranda**

Doktorand / v disertační práci jsou využity dobře zdokumentované a známé nástroje pro odhad nejistoty jak pro metodu GUM, tak pro metodu MCM, stejně jako analýza zdrojů „chyb“, resp. vlivů na jednotlivé měření s využitím různých tenzometrů je známá a publikována (viz informační zdroje, např. [31], [33], [34], [9], [8], [10], atd.). Základní postup řešení je tedy aplikační (např. pro metodu GUM se jedná o aplikaci zákona o šíření nejistot

na jednotlivé zdroje nejistot pravděpodobně s využitím sw, pro metodu MCM o základní metodu), přínos lze spatřovat ve způsobu kvantifikace jednotlivých zdrojů nejistot s přiřazením příslušného rozdělení, odhadu dílčí složky nejistoty na základě měření. V souvislosti se základním úkolem, přiřazením rozdělení pravděpodobnosti pro jednotlivé soubory / měřené veličiny /zdroje, by bylo přínosné uvést i důvody tohoto přiřazení (proč např. pro chybu  $\delta_o$  – chyba způsobená použitím krycích (ochranných) prostředků, která je v rozmezí 0 až 3  $\mu\text{m}/\text{m}$  (kap. 5.2.2) je přiřazeno rovnoměrné rozdělení, a pro chybu  $\delta_c$  – chyba kabelu, která je v rozmezí 0 až 10  $\mu\text{m}/\text{m}$  (kap. 5.2.2) je přiřazeno normální rozdělení). Ke zvýšení přínosu by přispěly i odpovědi na následující skutečnosti:

- Jaká pravidla byla použita pro počet míst (desetinných) při vyjadřování výsledků měření a složek nejistoty.
- Při odhadu standardní nejistoty podle metody GUM byl využit vztah 2.5, neuvažovalo se se vztahem 2.6. Jaký byl k tomu důvod? Byl vyhodnocen vliv korelace nebo bylo automaticky uvažováno, že veličiny jsou vzájemně nezávislé?
- Při výpočtech při způsobu „B“ vyhodnocení jsou používány intervaly možného výskytu hodnot (např. souhrnná chyba  $\delta_T$  – chyba pro vnější vlivy – se pohybuje v rozmezí 5 až 20  $\mu\text{m}/\text{m}$  (kap. 5.2.3) bez uvedení zdrojů těchto intervalů.
- Pro metodu MCM byla použita standardní základní metoda. Uvažovalo se i s aplikací adaptivní Monte Carlo procedury?

### **Vyjádření k významu pro praxi nebo rozvoj vědního oboru**

Význam pro praxi lze nalézt v analýze jednotlivých zdrojů nejistot – chyb. Větší přínos pro praxi při skutečných měřeních by mohlo znamenat i analýza jednotlivých zdrojů nejistoty z pohledu minoritních /zanedbatelných) a majoritních (nezanedbatelných) složek (viz část vyjádření k cílům práce).

### **Vyjádření k formální úpravě disertační práce a její jazykové úrovni**

Disertační práce splňuje předpoklady na formální úpravu, pravopisných chyb je v práci minimum (jedná se spíše o překlepy). Autor disertační práce správně pracuje s odkazy na literární zdroje. Jazyková úroveň práce je také na dobré úrovni.

**Závěr: Doporučuji práci k obhajobě a doporučuji udělení akademického titulu Ph.D.**

V Brně dne 25. ledna 2018

.....

Ing. Petr Koška, Ph.D.