

Oponentský posudok habilitačnej práce Ing. Tatiany Kelemenovej, PhD. s názvom:
„Špecifické aspekty nepriameho merania pri určovaní koeficientov trenia z hľadiska
dosiahnuteľných neistôt merania“.

Predložená habilitačná práca predstavuje prierez vedecko-výskumnej činnosti Ing. Kelemenovej, počas jej 17 ročného pôsobenia na Strojníckej fakulte Technickej univerzity v Košiciach. Na základe zoznamu jej publikácií možno konštatovať, že od roku 2003 sa začala popri iných výskumno-pedagogických aktivitách v oblasti mechatroniky a strojárstva zaoberať problematikou trenia v potrubných strojoch – tribológiou.

Ing. Kelemenová si pre zameranie svojej habilitačnej práce vybrala analýzu merania trecích vlastností materiálov a návrh zariadení a metód na meranie koeficientov trenia. Autorka spracovala výsledky svojich výskumov do štyroch okruhov problémov, ktoré nazvala tézami habilitačnej práce. Prvý okruh je prehľadom metód merania koeficientov trenia podľa dostupných noriem a špecifikácia postupov vyhodnotenia výsledkov meraní. Druhý okruh je návrhom zostavy meracieho systému a matematický model merania koeficientov trenia. Tretí okruh je návrhom merania uhla naklonenia plošiny tribometra a inicializácie pohybu telesa na plošine tribometra a experimentálne overenie vlastností navrhnutých snímačov a meracích postupov. Štvrtým okruhom problémov je experimentálne testovanie vytvoreného meracieho zariadenia. Identifikácia vplyvu rýchlosti nakláňania plošiny tribometra a stanovenie optimálneho počtu meraní z hľadiska bilancie neistôt.

V kapitole 2. nás autorka uvádza do problematiky trenia ako aj merania koeficientu trenia. Podľa jednej definície trenie je odpor proti relatívnemu pohybu, vznikajúcemu medzi dvomi k sebe pritláčanými telesami v oblasti dotyku ich povrchov v tangenciálnom smere k nim. Podľa inej definície trenie je odpor vytváraný pri klzaní dvoch povrchov, ktoré sú v kontakte. Táto definícia platí v plnej miere pre vonkajšie trenie, nevystihuje celkom vnútorné trenie, a preto **autorka** habilitačnej práce považuje za výhodnejšie **definovať trenie** takto: „Trenie predstavuje stratu mechanickej energie v priebehu, na začiatku, alebo ukončení relatívneho pohybu navzájom sa dotýkajúcich materiálových oblastí.“ Autorka v práci detailne rozlišuje a analyzuje **Statické trenie** - trenie v klúde a **Dynamické trenie** - trenie za pohybu telesa. Koeficient trenia je podľa STN EN ISO8295, ASTM F4869-96 definovaný ako pomer trecej sily k sile gravitačnej, pôsobiacej kolmo k dvom plochám, ktoré sú v kontakte. V tejto kapitole sú popísané mechanizmy na meranie trenia, matematické modely: Coulombov, Coulombov model viskóznym trením, Karnoppov, Stribeckov. Z tejto kapitoly si najviac cením popis meracích metód: Horizontal Plane Method, Inclined Plane Method, Pin-on Disc, James Machine, NBS-Brungraber Mark I, Brungraber Mark II, Meracie zariadenie English XL, ktoré podrobne popisuje.

Kapitola 3. sa týka návrhu metód merania. Analyticky popisuje model merania statického a kinematického koeficientu trenia a podrobne rozoberá vplyv rýchlosti pohybu šmykajúceho sa telesa na treciu silu. Kapitola uzaviera konkrétnym návrhom meracieho zariadenia. Podľa návrhu tribometer by mal obsahovať: **Snímač uhla naklonenia** a automatické vyhodnotenie nameranej hodnoty uhla naklonenia, čím sa odstráni komplikované a nepresné odčítavanie uhla naklonenia plošiny. **Snímanie okamihu inicializácie pohybu** šmykajúceho sa telesa po plošine a následné automatické zastavenie nakláňania plošiny tribometra, čím sa odstráni subjektívny prístup merajúceho, ktorým boli vnášané do merania hrubé chyby. **Automatickú reguláciu rýchlosti nakláňania plošiny** na zvolenú hodnotu, v intervale od 0,5°/s do 3°/s. **Snímanie prejdenej dráhy** pri meraní kinematického koeficienta trenia. **Polohovateľné snímače** pre rôzne nastavenia meranej dráhy.

Kapitola 4. sa zaoberá overovaním a kalibráciou, základnými metrologickými charakteristikami, t.j. transformačnou funkciou, hodnotením vhodnosti použitého regresného modelu reziduálnym rozptylom, regresnou analýzou, kovarianciami a znalosťou matematického modelu. Kapitola má čisto teoretický charakter a popísané metódy je možné aplikovať na hociký merací systém. Popísané metódy majú všeobecnú platnosť.

Kapitolu 5. s názvom: „**Kalibrácia snímačov pre nepriame meranie statického koeficientu trenia**“ možno považovať za podstatnú časť, teda za jadro habilitačnej práce uchádzačky. Experimentálne výsledky tu obsiahnuté smerujú k realizácii meracieho systému popísaného v ďalšej časti práce. Tu popisuje snímače naklonenia plošiny tribometra MEMSIC 2125, ktorý je akcelerometer na princípe tepelného poľa a je možné ho v statickom režime bez vplyvu zrýchlenia použiť pre meranie uhla naklonenia. Neistota výsledku merania uhla naklonenia plošiny snímačom MEMSIC 2125 určená metódou A bola vyhodnotená mikropočítačom Basic Atom Pro 28-M v spojení s osciloskopom GD 820 C zo súboru 100x nameraných hodnôt pre vybrané hodnoty uhla naklonenia. Maximálnu dovolenú chybu a neistotu merania určenú metódou B snímača uhla naklonenia MEMSIC 2125 stanovila z hodnôt definovaných výrobcom pre meranie uhla naklonenia meraním šírky impulzu čítačom integrovaným v mikropočítači Basic Atom Pro 28-M. Autorka podrobne vyšetrovala aj možnosť merania uhla naklonenia roviny snímačom polohy referenčného bodu plošiny DR30N10KB7G. K tomuto účelu zostavila meracie zariadenie. Overila činnosť snímača a pri spätnom prepočte nameraných hodnôt elektrického odporu na polohu bežca bolo možné získať matematický model tejto závislosti regresnou analýzou. Tento matematický model bolo možné implementovať do automatizovaného meracieho systému pre vyhodnotenie nameraných hodnôt mieronosnej veličiny snímača. Napokon stanovila neistoty výsledku merania snímačom DR30N10KB7G.

Ďalší problém, ktorý adeptka riešila bola identifikácia okamihu uvedenia telesa do pohybu. Toto sa spočiatku pokúsila riešiť pomocou optického reflexného snímača ORD 1114, ktorý je určený na registráciu prítomnosti objektu v danom priestore. Pre overenie tohto snímača bolo urobené veľké množstvo meraní (100 krát) za tých istých podmienok merania. Zistila, že výberová smerodajná odchýlka má pomerne neustálené hodnoty, čo pravdepodobne by viedlo k zlej opakovateľnosti merania čo by výrazne skreslilo meranie týmto snímačom. Ing. Kelemenová dospela k záveru, že pre praktické účely merania vzdialenosti je tento snímač nepoužiteľný. Ako ďalší vyšetovaný snímač na identifikáciu okamihu uvedenia telesa do pohybu meraním polohy telesa bol GP2Y0A41SK. Snímač Sharp GP2Y0A41SK je optický snímač, ktorý na meranie polohy používa triangulačnú metódu. Po dôkladnej analýze a vyhodnotení neistôt dospela k záveru, že ak bude snímač používaný v intervale hodnôt od 40 mm do 65 mm) hodnota kombinovanej neistoty bude pod hranicou 0,16 mm. Tento snímač by mohol byť použiteľný pre identifikáciu inicializácie pohybu telesa umiestneného na plošine tribometra pri meraní adhézneho koeficienta trenia. Ako posledný zo snímačov na identifikáciu okamihu uvedenia telesa do pohybu vyšetrovala snímač citlivý na magnetické pole SS495 A využívajúci Hallov jav. Snímač pri približovaní a vzdďalovaní sa voči južnému pólu permanentného magnetu vykazoval pri vzdialenosti 3mm negatívny vplyv hysterézie. Merania sa opakovali 100x pre vzdialenosti 4, 6, 8 a 10 mm. Identické merania sa zrealizovali aj pre približovanie a vzdďalovanie voči severnému pólu permanentného magnetu. Pri tejto orientácii nebola pozorovaná žiadna hysterézia. Autorka vyhodnotila neistoty výsledkov merania snímačom SS495 A. Z analýzy vyplynulo, že snímač má lepšiu neistotu pri otočení voči severnému pólu. Kombinovaná neistota bola vyhodnotená zlúčením štandardných neistôt určených metódou A a metódou B. Pomocou tohto snímača je možné zaregistrovať okamih inicializácie pohybu telesa na plošine tribometra pri meraní adhézneho koeficienta trenia. Tento snímač má zo všetkých posudzovaných snímačov najmenší vplyv na výslednú neistotu pri meraní adhézneho koeficienta trenia.

Kapitola 6. sa týka konkrétnej realizácie meracieho zariadenia s použitím elementov, ktoré boli analyzované ako najvhodnejšie k danému účelu. V roku 2005 bola vytvorená základná zostava konštrukcie sklonného tribometra. **V rámci riešenia tejto habilitačnej práce bola autorkou zrealizovaná prestavba pôvodnej zostavy z roku 2005.** Pre snímanie uhla naklonenia plošiny použitý odporový snímač DR 30N10KB7G DuraStar. Jeho uchytenie bolo realizované rovnobežne s pohyblivým vedením pre zvislé polohovanie unášača pohyblivého kĺbu. Namerané hodnoty boli spracované systémom MF624 Humusoft s podporou programu Matlab/Simulink. Na snímanie inicializácie pohybu telesa bol vybraný snímač SS495A. Automatická regulácia rýchlosti nakláňania plošiny bola realizovaná jednosmerným motorom PITTMAN 9413D319 s inkrementálnym snímačom otáčok. Na registráciu prejdenej dráhy viskózne zložky boli nainštalované laserové optické závory s elektronikou. Závory sú polohovateľné s možnosťou montáže na rôzne miesta na plošine tribometra.

Kapitola 7. je venovaná experimentálnemu vyšetreniu vplyvu parametrov meracieho reťazca na výsledok merania a bilancia neistôt. V prvej časti sa venovala vyšetrenia vplyvu rýchlosti nakláňania plošiny tribometra na výsledok merania a stanovenie optimálneho počtu meraní. Meranie bolo realizované pri rôznych rýchlostiach nakláňania plošiny tribometra (0.5; 1; 1.5; 2; 2.5; 3)°/s. Pri každej rýchlosti bolo realizovaných 100 meraní, z ktorých boli vyhodnotené aritmetické priemery a výberové smerodajné odchýlky. Z hľadiska rozptylu nameraných hodnôt (reprezentovaným výberovou smerodajnou odchýlkou) a tiež aj neistoty výsledku merania sa ukázalo, že je výhodné realizovať merania skôr pri nižšej rýchlosti nakláňania plošiny (max. 1°/s). Znižovanie rýchlosti by síce zlepšilo neistotu merania, ale na druhej strane by to zhoršilo celkovú produktivitu merania. Na základe odvodeného matematického modelu merania kinematického koeficienta trenia bolo nainštalovaná sústava pre meranie času prechodu dráhy pri rozbehu telesa na plošine tribometra. Z výsledkov bolo možné vyhodnotiť kinematický koeficient trenia. Ukázalo sa, že má nižšie hodnoty než statický koeficient trenia a so zvyšujúcim uhlom naklonenia jeho hodnota klesá. Na identifikáciu anizotropického trenia medzi telesami s poddajnými kinematickými väzbami bol vytvorený model tvorený poddajným kontaktným prvkom a nepoddajnou podložkou. Model pozostával z poddajného tuhého rámu, v ktorom boli uložené tri poddajne prvky.

Kapitola 8 je vyhodnotením záverov a prínosov práce. Za podstatný prínos práce považujem, že ako tvrdí autorka: „Analýza neistôt môže byť nápomocná aj pri návrhu zariadení, kedy už v procese koncipovania je možné tak navrhnúť merací reťazec, aby pri realizácii dosiahol požadovanú úroveň neistoty.“

Kapitola 9. sa týka implementácií získaných poznatkov do edukačného procesu v študijnom programe: Meranie a monitoring v strojárstve

K práci mám tieto pripomienky

1. Str. 164 veta: „Z predchádzajúceho je zrejme, že snímač má **lepšiu neistotu ak je otočený k severnému pólu permanentnému magnetu.**“ Ako metrológ viete, že snímač nemá neistotu. Podľa STN 01 0115 Neistota merania je parameter priradený k výsledku merania, ktorý charakterizuje rozptyl hodnôt, ktoré sa môžu zodpovedne priradiť k danej veličine. Na str. 23 Vy sama uvádzate túto definíciu: „Neistota merania je nezáporný parameter charakterizujúci rozptýlenie hodnôt veličiny, ktorý je pridružený k meranej veličine (VIM3 2.26).“
2. Str.179 (ale aj inde) „**7.1.2 Meranie kinematického koeficientu trenia**“ ale v prvej vete už máte správne: „... modelu merania kinematického koeficienta trenia bolo potrebné ..“

Záverečné hodnotenie habilitačnej práce

Ing. Kelemenová neponechala nič náhode a aby zodpovedné mohla vysloviť konečné závery vykonala veľké množstvo meraní pri analýzach každého elementu zrealizovaného meracieho systému. S potešením konštatujem, že predložená práca znamená podstatný prínos do

problematiky merania a vyhodnotenia parametrov trenia – tribológie. Autorka a realizátorka meracieho systému v práci spojila proces vlastného merania s procesom posudzovania neistôt výsledku merania, čo predstavuje významný prínos do vedného odboru 5.2.55 Metrológia.

Neoddeliteľnou súčasťou habilitačného konania je aj hodnotenie činností uchádzača v súlade s kritériami na udelenie pedagogickej hodnosti docent na SjF STU v študijnom odbore 5.2.55 Metrológia, môžem na základe predloženého materiálu konštatovať, že Ing. Kelemenová plní tieto kritéria nasledovne:

Pedagogická aktivita	Kritérium A1	320 %
	Kritérium A4	110 %
Publikačná aktivita	Kritérium B2	150 %
	Kritérium B3	0 %
	Kritérium B4	940 %
	Kritérium B5	120 %
	Kritérium B6	600 %
Vedeckovýskumné kritériá	Kritérium B7	850 %
	Kritérium C1	150 %
	Kritérium C2	650 %
	Kritérium C3	100 %
Ostatné kritériá	Kritérium D1	100 %
	Kritérium D2	40 %
	Kritérium D3	350 %

Uchádzačka navyše plnila kritérium B1 nepožadované pri habilitácii na docenta. Bola spoluautorkou vedeckej publikácie DOVICA, M.-ŽIVČÁK, J.- KELEMENOVÁ, T.: Meranie geometrických veličín v strojárstve. SjF TU Košice 2011, 290 s. ISBN 978-80-553-0807-4.

Navyše plnila aj kritérium C4, ako vedúca projektu VEGA 1/4164/07 Výskum špecifických problémov pri meraní dĺžok a bilancovaní neistôt merania.

V rámci pedagogickej aktivity viedla na SjF TU Košice od r. 1996 5 cvičení z oblasti riadenia kvality strojárskej metrológie, testovania výrobkov, mikromechatroniky a presnej mechaniky. Od r. 2010 prednáša základy metrológie a testovanie výrobkov pre bakalárske a inžinierske štúdium. Bola konzultantkou 11 diplomových prác a od r.2010 aj vedúcou 4 bakalárskych a 5 diplomových prác.

Na základe uvedených skutočností som presvedčený, že Ing. Tatiana Kelemenová, PhD. je vyhranenou vedeckou osobnosťou akceptovanou odbornou komunitou, čo dokázala svojimi publikáciami a vystúpeniami na odborných podujatiach doma a v zahraničí. Prínosom pre SjF TU Košice je jej pedagogická činnosť. Keďže uchádzačka splnil podmienky podľa vyhlášky MŠ SR č.6/2005 Z. z. predkladám Vedeckej rade Strojárskej fakulty STU v Bratislave prijať návrh na jej vymenovanie za docenta ako podklad habilitačnému konaniu a po úspešnej obhajobe pred Vedeckou radou doporučujem aby

**Ing. Tatiane Kelemenovej, PhD., bol udelený vedcko-pedagogický titul
docent v odbore 5.2.55 Metrológia**

V Bratislave 10.4.2013