

prof. Ing. Michal Holubčík, PhD.
Žilinská univerzita v Žiline
Strojnícka fakulta, Katedra energetickej techniky
Univerzitná 8215/ 1
010 26 Žilina
michal.holubcik@fstroj.uniza.sk

OPONENTSKÝ POSUDOK NA HABILITAČNÚ PRÁCU

Využitie tepelných trubíc na prenos tepla v energetických zariadeniach

Habilitant: Ing. Patrik Nemeč, PhD.
Odbor habilitačného konania: energetické stroje a zariadenia
Pracovisko habilitanta: Katedra energetickej techniky
Strojnícka fakulta
Žilinská univerzita v Žiline

Oponentský posudok na habilitačnú prácu bol vypracovaný na základe žiadosti dekana Strojníckej fakulty Žilinskej univerzity v Žiline Dr.h.c. prof. Dr. Ing. Milana Ságu, v zmysle ustanovení platnej legislatívy, uvedenej v liste zo dňa 19.2.2026.

Predmetom oponentského posudku je habilitačná práca Ing. Patrika Nemca, PhD. s názvom „Využitie tepelných trubíc na prenos tepla v energetických zariadeniach“ v rozsahu približne 102 strán vrátane obrázkov, tabuliek a použitej literatúry. Práca je koncipovaná tak, že v úvodných kapitolách sumarizuje fyzikálne princípy a konštrukčné riešenia tepelných trubíc (pracovné látky, prenos tepla pri zmene skupenstva, typológia riešení) a následne tieto poznatky aplikuje na viacero technicky relevantných úloh z oblasti energetických zariadení a chladenia výkonových systémov.

Zvolená téma je vysoko aktuálna a zodpovedá súčasným trendom v oblasti prenosu tepla, energetických zariadení a manažmentu stratového tepla. Tepelné trubice (vrátane slučkových a pulzačných konceptov) predstavujú pasívne, konštrukčne variabilné a prevádzkovo perspektívne riešenia pre odvod tepla z výkonovej elektroniky, pre rekuperáciu tepla vo vzduchotechnike, ako aj pre ciele presuny tepla v lokálnych zdrojoch (napr. krbové zariadenia). Praktický význam problematiky narastá s rastúcimi hustotami stratových výkonov vo výkonových meničoch a zároveň s potrebou zvyšovať energetickú efektívnosť systémov bez nadmerného zvyšovania zložitosti (čerpádlá, ventilátory, servisná náročnosť).

Práca je spracovaná prevažne experimentálne a aplikačne, s vhodným prepojením na konštrukčný návrh skúšaných prvkov. Autor pracuje so škálou riešení (LHP, pulzačná tepelná trubica, slučkový termosifón, výmenníky pre rekuperáciu), pričom jednotlivé koncepty nielen opisuje, ale aj overuje v reálnych alebo účelovo vytvorených podmienkach. Pozitívne hodnotím, že autor sa neobmedzil na jednu demonštračnú zostavu, ale pokryl viacero aplikácií

s rozdielnymi okrajovými podmienkami (poloha, výkonová záťaž, režim prirodzenej/nútenej konvekcie, prašné prostredie, väzba na spaľovacie zariadenie). To zvyšuje všeobecnú výpovednú hodnotu práce.

Za podstatné považujem najmä tieto výsledky:

1. LHP chladenie výkonového prvku (IGBT)

Autor experimentálne kvantifikuje vplyv plnenia pracovnou kvapalinou a ukazuje optimálne plnenie približne na úrovni 60 %, s efektívnym odvodom tepla v rádovo stowattových rozsahoch. Zaujímavé sú aj výsledky vplyvu kapilárnej štruktúry a orientácie (vertikálna vs. horizontálna poloha) na prevádzkový rozsah. Prakticky významné je porovnanie s pasívnym chladičom v režime prirodzenej konvekcie, kde LHP posúva hranicu bezpečnej prevádzky pri vyšších tepelných záťažach.

2. Pulzačná tepelná trubica pre odvod tepla z elektroniky

Autor poskytuje experimentálne dáta pre viacero úrovní dodávaného tepla a interpretuje použiteľnosť riešenia vzhľadom na teplotný limit komponentov. Výsledky naznačujú, že pri vyšších dodávaných výkonoch sa prejavia prevádzkové limity (stabilita režimu oscilácií, teplotné limity na kontaktnej ploche).

3. Prachotesné chladenie elektrotechnickej skrine

Veľmi pozitívne hodnotím zameranie na prax: chladenie v prašnom prostredí, kde je klasické ventilátorové riešenie problematické. Autor preukazuje schopnosť systému odvádzať významnú časť tepelnej záťaže pri definovaných výkonoch a porovnáva režimy prirodzenej a nútenej konvekcie vo vnútri skrine.

4. Krbová vložka – presun tepla a zníženie radiačnej zložky

Výsledky ukazujú reálne zníženie prenosu tepla do interiéru (najmä radiačnej zložky) a súčasne prenos časti tepla do akumulácie. Téma je technicky zaujímavá z pohľadu regulácie tepelných tokov v interiéri a využitia energie v čase.

5. Plynová krbová vložka – predohrev spaľovacieho vzduchu tepelnou trubicou

Autor experimentálne preukazuje zvýšenie účinnosti a zároveň nárast výkonu pri riešení s predohrevom spaľovacieho vzduchu, a to pre dve varianty výparníka. Tento výsledok je prakticky využiteľný a vhodný na ďalší vývoj konštrukcie s ohľadom na prevádzkovú bezpečnosť a stabilitu.

6. Rekuperácia tepla vo vzduchotechnických jednotkách

Autor navrhol a otestoval rekuperačný výmenník na báze slučkovej gravitačnej tepelnej trubice a diskutuje vplyv pracovnej kvapaliny (vrátane zmesí/nanokvapalín). Kapitola má aplikačný potenciál pre jednotky, kde je požadovaná pasívna a robustná rekuperácia bez krížovej kontaminácie prúdov.

Celkovo práca prináša súbor experimentálne podložených výsledkov a návrhov riešení, ktoré sú zrozumiteľne interpretované a majú jasnú väzbu na konkrétne technické aplikácie. Prínos práce vidím v kombinácii (i) šírky aplikačných oblastí a (ii) reálnej experimentálnej verifikácie. Výsledky majú potenciál slúžiť ako konštrukčné a prevádzkové podklady pre návrh pasívnych chladiacích a rekuperačných systémov. V oblasti výkonovej elektroniky ide o aktuálnu tému súvisiacu s rastúcimi stratovými hustotami a požiadavkami na spoľahlivosť. V oblasti energetických zariadení budov a lokálnych zdrojov je prínosom demonštrácia cielenej redistribúcie tepla (do akumulácie, resp. medzi prúdmi vo VZT) s kvantifikovaným efektom na účinnosť a výkon.

Práca je po odbornej stránke kvalitná, uvádzam však niekoľko pripomienok, ktoré by podľa môjho názoru zvýšili jej metodickú presnosť a prenositeľnosť výsledkov:

- V experimentálnych kapitolách by bolo vhodné jednotnejšie uviesť neistoty (teplotné snímače, meranie výkonu, prietok/konvekcia), opakovateľnosť meraní a kritériá ustálenia režimu. Pri tepelných trubiciach sú prechodové javy (začiatok, prechod do kváziustáleného režimu) často kľúčové.
- Odporúčam systematickejšie pracovať s veličinami typu tepelný odpor R_{th} , teplotný spád ΔT v definovaných miestach a jasne rozlíšiť príspevky kontaktov, rozhraní a samotnej tepelnej trubice.
- Pri riešeníach citlivých na polohu (najmä LHP a termosifón) by bolo prínosné zhrnúť pravidlá návrhu, pri ktorých orientácia zásadne mení pracovné rozsahy, a aké konštrukčné opatrenia znižujú citlivosť na polohu.
- Z výsledkov je zrejmé, že prenesený výkon je menší než dodávaný, najmä pri nižších výkonoch. Odporúčam doplniť hlbšiu analýzu, či je limitom kondenzátor, tepelný kontakt, plniaci pomer, geometria kanálikov alebo stabilita oscilácií.
- Pri porovnaní dodávaného a odoberaného výkonu by bolo vhodné jasne uzavrieť bilanciu: aké tepelné toky idú cez plášť skrine, aká je akumulácia v konštrukcii počas prechodov a aký je podiel sálania/konvekcie do okolia.
- Pri prenose tepla zo spalín/ohniska odporúčam výraznejšie diskutovať prevádzkové riziká súvisiace s poklesom teploty spalín (kondenzácia, korózia v dymovode) a okrajové režimy (nízky výkon, prerušovaná prevádzka).
- V časti s alternatívnymi kvapalinami by bolo vhodné jednoznačne zjednotiť interpretáciu ich prínosu (pri niektorých porovnaníach vychádza rozdiel výraznejší, inde minimálny). Odporúčam doplniť, či rozdiel vyplýva z teplotného rozsahu, koncentrácie, vlastností zmesi, alebo z rozptylu merania.
- V práci sa opakovane vyskytuje pojem „odparovanie“ namiesto správneho odborného termínu „vyparovanie“. Vyparovanie je fázová premena, zatiaľ čo odparovanie je v technickej praxi skôr proces prebiehajúci len z voľného povrchu kvapaliny do plynnej fázy (difúziou) pri teplotách nižších, než je teplota varu pri danom tlaku.
- Na str. 14 autor uvádza, že tepelné trubice dokážu prenášať výkony až 10^4 . Chýba však uvedenie fyzikálnej jednotky (predpokladám watty – W)
- Na str. 40 je uvedená veta „prietok môže byť klasifikovaný ako adiabatický alebo adiabatický - čo tam správne má byť uvedené?“
- Texty niektorých obrázkov (napr. obr. 7.4, 7.5, 10.5 a 10.6) sú v anglickom jazyku.

Uvedené pripomienky však nemenia celkové pozitívne hodnotenie práce; ide prevažne o doplnenia, ktoré by posilnili metodickú transparentnosť a prenositeľnosť výsledkov.

K habilitačnej práci mám nasledujúce otázky:

1. Ako si vysvetľujete kompromis medzi priepustnosťou (nižší hydraulický odpor) a kapilárnym tlakom (menšie póry – vyšší sací tlak)? Aké parametre by ste prioritizovali pri návrhu pre vyššie výkony?

2. Prečo vychádza optimum plnenia približne na úrovni 60 %? Aký mechanizmus podľa Vás rozhoduje o zhoršení pri nižšom a vyššom plnení (parné zátky, zaplavenie kondenzátora, nestabilita návratu kvapaliny)?
3. Prečo je pri pulzných trubiciach prenesený výkon pri nižších dodávaných výkonoch relatívne nízky? Je limitom kondenzátor, geometria, plniaci pomer, alebo dominujú tepelné odpory kontaktov? Aký konštrukčný zásah by priniesol najväčší nárast preneseného výkonu?
4. Pokles teploty spalín pri odoberaní tepla môže zvyšovať riziko kondenzácie v spalínovode. Aké okrajové podmienky (minimálny výkon, teplota okolitého vzduchu, dĺžka dymovodu) považujete za kritické a ako by ste ich konštrukčne/prevádzkovo ošetrili?
5. Ako sa podľa Vás mení stabilita plameňa a distribúcia teplôt v spaľovacom priestore pri predohreve? Aké merania by ste doplnili, aby ste tento vplyv objektívne podložili?

Autor splnil ciele práce: preukázal schopnosť samostatne navrhovať a experimentálne overovať systémy na báze tepelných trubíc v rôznych aplikáciách, kvantifikoval ich prínosy a interpretoval výsledky s ohľadom na praktické použitie. Práca má jasnú odbornú aj aplikačnú hodnotu a preukazuje vedecko-technickú zrelosť autora v oblasti prenosu tepla a tepelných trubíc.

Habilitačná práca Ing. Patrika Nemca, PhD. predstavuje kvalitné a odborne vyzreté dielo. Autor v nej preukázal schopnosť riešiť komplexné problémy prenosu tepla s dôrazom na experimentálne overenie a praktickú využiteľnosť. Téma je aktuálna, spracovanie je na dobrej odbornej úrovni a dosiahnuté výsledky sú relevantné pre vedeckú aj technickú prax.

Predloženú habilitačnú prácu na základe uvedeného hodnotenia

odporúčam

prijat' k obhajobe a po úspešnom habilitačnom pokračovaní udeliť mu vedecko – pedagogický titul

docent

v odbore habilitačného konania a inauguračného konania energetické stroje a zariadenia.

V Žiline 23.3.2026

.....
prof. Ing. Michal Holubčík, PhD.