

Posudek oponenta doktorské dizertační práce

Název práce: Termoelektrické moduly pro mikrogenerační zdroje

Autor: Ing. Marián Brázdil, doktorand FSI VUT v Brně

Školitel: Doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

Studijní program: Doktorský – Konstrukční a procesní inženýrství

Obor: Energetické inženýrství

Oponent: Ing. Jiří Navrátil, CSc., Ústav aplikované fyziky a matematiky,
Univerzita Pardubice

Elegantní přímá přeměna tepla na elektřinu využívající termoelektrických jevů (zejména Seebeckova a Peltierova) přitahuje pozornost vědců a vývojových pracovníků už bezmála 200 let. Počátky jejího praktického využívání lze však datovat až od poloviny 20. století, do objevu polovodičů, které představují srdce prakticky využitelných termoelektrických součástí (modulů) a z nich zkonstruovaných zařízení pro tuto realizaci této přeměny (termoelektrických generátorů). Limitujícím prvkem jejího prosazení v masivních aplikacích zůstává zejména ekonomičnost této technologie a tak je stále využívána dosud jen v oblastech, kde nemá žádnou alternativu (kosmonautika) resp. tam kde její výhody převládají nad ekonomičností této přeměny (vojenství, medicína, apod.). V posledních desetiletích se stala tato technologie jednou z alternativ pro zpracování enormních množství odpadního tepla vznikajících v nejrůznějších procesech lidské činnosti a jeho zpětné přeměny na užitečnou energii elektrickou. A právě této problematice se v předložené dizertační práci věnuje Ing. Marián Brázdil, který se během svého doktorandského studia věnoval posouzení možnosti využití termoelektrického generátoru v domovních spalovacích zařízení na tuhá paliva pro výrobu elektrické energie, která by zajistila jejich autonomnost na vnějších elektrických zdrojích.

Samotná 112 stránková, logicky členěná, dizertační práce sestává s 5 kapitol a obsahuje 38 obrázků a 16 tabulek. Hlavním motivem této dizertační bylo odpovědět na otázku, zda lze pomocí termoelektrického generátoru vlastní konstrukce, obsahujícího dostupné nízkoteplotní termoelektrické moduly obsahující pracovní termoelektrické materiály na bázi polovodivých sloučenin Bi_2Te_3 , Sb_2Te_3 a Bi_2Se_3 resp. jejich pevné roztoky, vyrobit z tepla spalin vybraných domácích kotlů dostatečného množství elektrické energie pro pohon jejich oběhových čerpadel. V rámci této experimentálně velmi rozsáhlé práce vytvořil autor nejprve matematický simulační nástroj umožňující predikci maximálního dosažitelného výkonu termoelektrického generátoru vycházející jak z hodnot množství zpracovávaného odpadního tepla a parametrů chladicího systému, tak i z fyzikálních vlastností použitých termoelektrických materiálů. Pomocí tohoto simulačního nástroje pak navrhnul optimální podobu termoelektrického generátoru pro uvažovanou aplikaci, který autor v další části práce navrhnul a zkonstruoval. Navržený termoelektrický generátor pak byl odzkoušen na experimentálním kotli bez respektování technických norem za účelem zjištění maximálního dosažitelného výkonu a pro verifikaci simulačního nástroje. Porovnáním experimentálních a teoretických hodnot výkonu generátoru bylo dosaženo velmi dobré shody. V závěrečné části práce Ing. Brázdil aplikoval tento simulační nástroj v případových studiích pro tři různé typy kotlů. Tyto výpočty ukázaly, že při respektování požadavků všech technických norem pro

provoz domácích kotlů, by takový generátor při dané konfiguraci nebyl zdaleka schopen poskytnout dostatečné množství energie pro navrženou aplikaci. V rámci dizertační práce autor také navrhnul a zkonstruoval termoelektrický generátor implementovaný do krbové vložky a testovací stand pro charakterizaci použitých termoelektrických modulů.

Zpracovaný **přehled o současném stavu** problematiky je plně odpovídající tématu dizertační a jednoznačně dokumentuje orientaci doktoranda v dané problematice a jeho schopnost aplikovat poznatky a postupy při svém studiu. Další část práce dokumentuje obrovské penzum vykonané práce jak na poli teoretickém, tak i designerském, konstrukčním a experimentálním. Z hlediska **teoretického** spatřuji přínos autora zejména ve vytvoření simulačního nástroje, který poměrně komplexně zahrnuje vstupující parametry celého procesu a velmi dobře predikuje možné výsledky. V budoucnu může posloužit jako dobrá znalostní základna pro případné následovníky i pro případnou evaluaci budoucích možných aplikací využívajících nových termoelektrických modulů resp. generátorů. Neméně významný je i **praktický přínos** doktoranda v získání unikátních znalostí pro konstrukci cílených termoelektrických aplikací a pro evaluaci termoelektrických modulů. Celá práce jako celek demonstruje komplexní a detailní orientaci Ing. Mariána Brázdila v dané problematice, tj. v implementaci termoelektrické technologie pro generaci elektřiny z odpadního tepla v malých spalovacích zařízeních. Přestože se během práce ukázalo, že vytýčený úkol (pohon oběhového čerpadla na domácím kotli) nelze z dostupnými prostředky (moduly) splnit, lze konstatovat, že z hlediska položené otázky **byl cíl práce splněn**.

Doplňují otázky k práci:

- Podařilo by se (a jak?) zvýšit výkon termoelektrického generátoru, byly-li by k dispozici *uživatelské definované moduly* s jinými parametry (*filling factor*, délka resp. průřez termoelementů, jiná geometrie)?
- Jaký byl rozdíl hodnot parametrů termoelektrických modulů udávaných výrobcí použitých modulů a hodnotami zjištěnými na zkonstruovaném testovacím *standu*, a jaký byl rozptyl těchto hodnot mezi stejnými moduly od jednoho výrobce (pokud bylo měřeno)?

Z formálního hlediska nese práce znaky velkého spěchu při její finalizaci či zestručňování. Autor se tak nevyhnul poměrně velké řadě překlepů, špatných odkazů na tabulky (str. 41 – uvažované kotle), rovnice (str. 24), popř. špatnému označení tabulek (P2). V rešeršní části práce se autor snažil překládat z originálních textů některé termíny do češtiny nepřiliš šťastným způsobem. V takovém případě bych spíše doporučil přidat, pro budoucí čtenáře do závorky originální termín (např. str. 17 – faktor plnění, tj. *filling factor*), anebo v kurzivě ponechat přímo termín originální.

Přes uvedené námitky je práce napsaná srozumitelně a splňuje požadavky standardně kladené na disertační práce v daném oboru. Ing. Marián Brázdil v ní prokázal schopnost samostatně vědecky řešit zadané téma a srozumitelně interpretovat dosažené výsledky. Práce vyhovuje požadavkům kladeným na disertační práci, a proto **doporučuji její přijetí k obhajobě**. V případě úspěšného obhájení, pak **doporučuji udělit Ing. Mariánu Brázdilovi titul PhD**.

V Pardubicích dne: 1. 08. 2019

Ing. Jiří Navrátil, CSc.

Ústav aplikované fyziky a matematiky,

Univerzita Pardubice