

# Aplikace využívající termoelektřiny

Energetický ústav, Odbor energetického inženýrství,  
Fakulta strojního inženýrství Vysokého učení technického v Brně, Technická 2896/2, 616 69, Brno



doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

tel.: +420 541 142 581, email: pospisi.j.@fme.vutbr.cz

Ing. Marian Brázdil

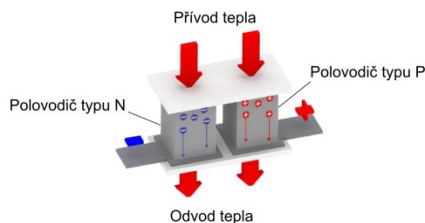
tel.: +420 541 142 591, email: brazdil@fme.vutbr.cz

## Termoelektřina

Termoelektrické jevy umožňují přímou přeměnu tepla v elektřinu. Protože tyto jevy probíhají v pevných látkách a „pracovní tekutinou“ jsou nosiče elektrického náboje, je pro termoelektrická zařízení typická:

- jednoduchost
- provoz bez chemických látek a pohyblivých součástí
- spolehlivost
- dlouhá životnost

Základním konstrukčním prvkem termoelektrických zařízení jsou tzv. termoelektrické dvojice (Obr. 1) tvořené polovodičovým p-n spojem. V principu lze jejich funkci popsat následovně: pokud je na spoj přivedeno teplo, dochází v polovodičích k přerozdělení majoritních nosičů náboje. V polovodičích typu n dochází k pohybu elektronů, v polovodiči typu p k pohybu kladných děr. Tyto náboje se následně koncentrují u chladnějších konců polovodičů, mezi kterými vzniká rozdíl potenciálů. Uzavře-li se takto vytvořený obvod, dochází k pohybu elektronů přes spoj a průtoku elektrického proudu.



Obr. 1. Termoelektrická dvojice

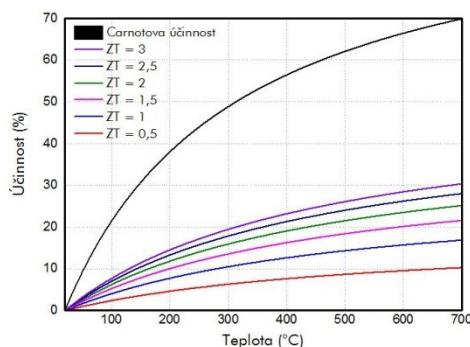
Termoelektrické dvojice se seskupují do větších celků, termoelektrických modulů a následně termoelektrických generátorů, které mohou pracovat jako zdroje elektrické energie.

V případech kdy zdrojem tepla bude jinak nevyužitě odpadní teplo, může být použití termoelektrických zařízení přínosem a způsobem jak získat jakostní elektrickou energii, jejíž výroba konvenčními způsoby přeměn by mohla být obtížně realizovatelná. Využití získané termoelektřiny je široké. V současnosti termoelektrické generátory nacházejí nejčastěji uplatnění jako malé zdroje autonomních zařízení pracujících v těžkopřístupných nebo nebezpečných oblastech.

## Účinnost přeměny

Účinnost termoelektrické přeměny je dána použitými materiály. Pro vyjádření její velikosti se používá bezrozměrný koeficient ZT, který postihuje charakteristické vlastnosti použitého polovodičového materiálu a vliv pracovních teplot (Obr. 2). Běžně dostupné termoelektrické materiály mají přibližně parametr  $ZT \leq 1$  a tedy i malou účinnost.

V nízkoteplotních aplikacích typicky okolo 5%.



Obr. 2 Účinnost termoelektrické přeměny

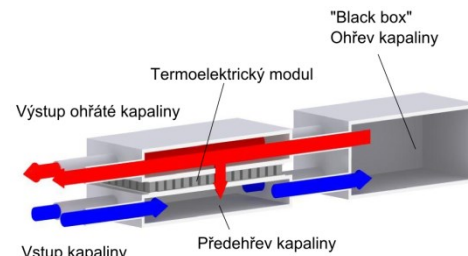
Účinnost nediskvalifikuje termoelektřinu v nízkovýkonových aplikacích. Je nevýhodou při hromadné výrobě elektrické energie. Termoelektrické aplikace využívající tepla s vyšším potenciálem jsou přijatelné v případech, kdy neexistují vhodnější způsoby přeměn odpadního tepla. Využívání odpadního tepla o teplotách nižších než 140 °C konkurenceschopnost termoelektrické přeměny naopak značně zvyšuje.

## Aplikace

Množství vyprodukovaného odpadního tepla uvolněného bez užitku do okolního prostředí, zejména v dopravě a energetickém průmyslu, je značné. V souvislosti s ropnou krizí v letech 1973 a 1979, se vzrůstajícími cenami paliv a zájmem o technologie šetřící životnímu prostředí se zvýšil zájem i o termoelektřinu. Objevily se snahy využívat termoelektřiny z odpadního tepla jako zdroje elektrické energie. Získání elektřiny je v mnoha případech ideální. S ohledem na termoelektrickou účinnost by měla aplikaci předcházet důkladná rozvaha.

Termoelektrický systém se často používá v tzv. parazitní konfiguraci, jako tepelný výměník /generátor (Obr. 3). Část absorbovaného tepla se přemění na elektrickou energii a zbylá část, vyjma tepla uvolněného do okolí, je použita na předehřev látky. Relativně nízká účinnost termoelektrické přeměny není poté tak významná. Je možné produkovat teplo i elektřinu současně, s malým vlivem nebo zcela bez vlivu na výslednou účinnost tepelného systému. Použití termoelektřiny je výhodou zejména v nízkovýkonových aplikacích, ve kterých není k dispozici zdroj elektrické energie anebo je dodávka elektřiny nestabilní.

Jednou z perspektivních oblastí je využití termoelektřiny v automobilovém průmyslu. Cílem automobilových termoelektrických generátorů je využít energii paliva, která bez užitku odchází výfukovým potrubím a chladicí soustavou automobilu do atmosféry. Účinnost zážehových motorů je přibližně 25-35%, vznětové motory dosahují účinnosti přibližně 30-45%.



Obr. 3 Konfigurace termoelektrického generátoru

Největší ztráty představují výfukové plyny: u zážehových motorů je to přibližně 30-50% přivedeného tepla, u vznětových motorů 25-45%. Ztráty chlazením jsou rovněž významné: u zážehových motorů přibližně 12-30% přivedeného tepla, u vznětových motorů 15-35%. Vývoj termoelektrických generátorů kopíruje tyto dvě linie, u vznětových motorů se soustředí i na odpadní teplo chladicí soustavy.

V předchozích letech vzniklo množství pokusných termoelektrických generátorů, jejichž cílem bylo ověřit možnosti autonomního provozu malých spalovacích zařízení, resp. krytí jejich spotřeby elektrické energie termoelektřinou vyrobenou z odpadního tepla. Takovýto systém může být také používán jako zdroj elektrické energie.

## Budoucnost

Myšlenka využití termoelektrické přeměny a termoelektrických jevů jako zdroje elektrické energie není nová. Existuje řada komerčně dostupných termoelektrických generátorů využívajících fosilních paliv, schopných dlouhodobě spolehlivého provozu. Stávající vývoj, konstrukce generátorů využívajících odpadního tepla, je dlouhodobým trendem. Snahou je stavět autonomní systémy, nezávislé na dodávkách elektřiny z rozvodné sítě. V nízkovýkonových aplikacích mohou termoelektrické mikrogenerátory výrazně ovlivnit nebo eliminovat použití chemických zdrojů elektrické energie.

Výzkum a vývoj termoelektrických materiálů a termoelektrických generátorů se koncentruje především ve velkých průmyslových zemích v Evropě, v Severní Americe, Rusku, Číně a Japonsku. Soustředí se intenzivně zejména na automobilové termoelektrické generátory a energy harvesting aplikace. V Japonsku je snahou využít termoelektrických generátorů i ve spalovacích komunálních odpadu a průmyslových spalovacích zařízeních. Cílem snah obecně je najít vhodné termoelektrické materiály a uvádět komerčně na trh termoelektrické generátory ve spojení s běžnými zařízeními. Očekává se, že v dlouhodobém horizontu přinesou termoelektrické technologie zvýšení účinnosti stávajících systémů přeměn a budou se podílet na úsporách paliv a redukcii škodlivých emisí.

# Aplikace využívající termoelektřiny

Energetický ústav, Odbor energetického inženýrství,  
Fakulta strojního inženýrství Vysokého učení technického v Brně, Technická 2896/2, 616 69, Brno



doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

tel.: +420 541 142 581, email: [pospisl.j@fme.vutbr.cz](mailto:pospisl.j@fme.vutbr.cz)

Ing. Marian Brázdil

tel.: +420 541 142 591, email: [brazdil@fme.vutbr.cz](mailto:brazdil@fme.vutbr.cz)

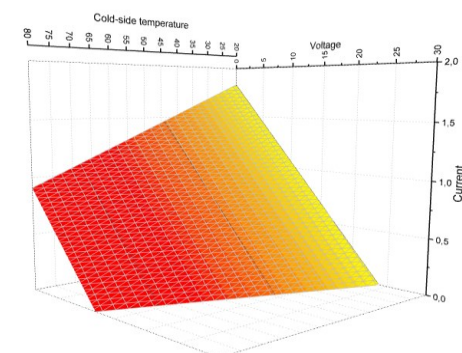
## Automatický teplovodní kotel s termoel. generátorem

Pro ověření možnosti využití termoelektřiny z odpadního tepla a výrobu elektrické energie byl navržen a zkonstruován jednoduchý termoelektrický generátor (Obr. 1) využívající odpadního tepla spalin automatického teplovodního kotle na pelety o tepelném výkonu 25 kW. Jedná se o experimentální termoelektrické zařízení, které je možné připojit ke stávajícím spalovacímu zařízení bez nutnosti zásahu do jeho konstrukce.

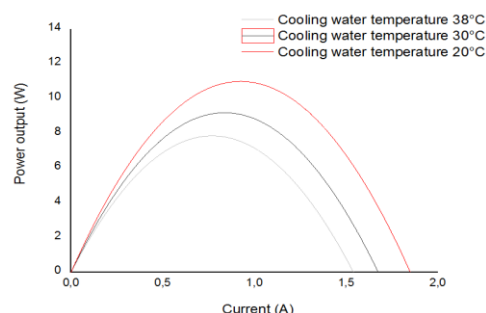


Obr. 1 Zkušební trať s pokusným termoelektrickým generátorem

Generátor je složený ze segmentů. Jeden segment se skládá ze 4 nízkoteplotních termoelektrických modulů. Výkonové charakteristiky generátoru se nacházejí na Obr. 2 a Obr. 3. V závislosti na teplotě spalin by bylo možné výsledný výkon generátoru zvýšit připojením dalších segmentů.



Obr. 2 Napětí a proud při různé teplotě chladící vody



Obr. 3 Výsledný výkon a proud pro jeden segment při různé teplotě chladící vody

## Krbová vložka s termoel. generátorem

V rozsáhlých termoelektrických systémech mohou v závislosti na tepelných podmínkách vznikat ztráty degradující výsledný výkon generátoru. Byla proto zkonstruována spalovací jednotka malého výkonu (krbová vložka) s termoelektrickým generátorem (Obr. 4). Jedná se o experimentální zařízení, sloužící k detekci vzniku ztrát termoelektrických modulů, jejich měření a ověření možnosti jejich eliminace pro účinnější termoelektrickou výrobu elektrické energie.

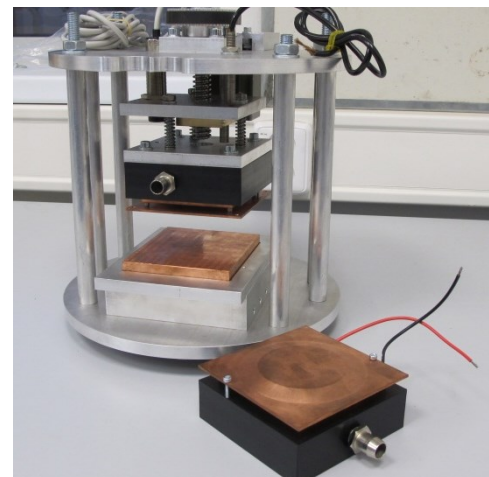


Obr. 4 Spalovací jednotka s termoelektrickým generátorem

Termoelektrický generátor obsahuje 10 nízkoteplotních termoelektrických modulů. Při prvotních měřeních dosahoval výkon generátoru 21 W. Termoelektrické moduly je možné dle potřeby zapojovat sériově, paralelně, příp. v sériově-paralelní kombinaci. Součástí vlastního generátoru je stejnosměrný měnič s technikou hlídání bodu maximálního výkonu (MPPT). Spalovací zařízení je vybaveno softwarově řízenou klapkou, omezující teplotní dynamiku termoelektrického generátoru, která zabraňuje poškození termoelektrických modulů vlivem vysoké teploty.

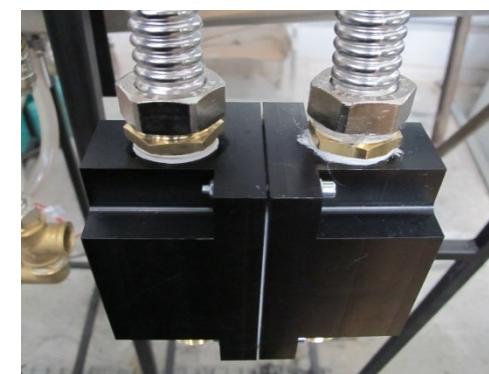
## Zkušební stand pro měření termoelektrických modulů

Termoelektrické generátory by bylo možné nasadit v aplikacích, ve kterých není možné využít odpadní teplo efektivnějšími metodami: v případech, kdy dochází ke kolísání hmotnostního toku a teploty pracovní látky, kdy není možné zajistit stabilní přísun energie o požadovaných parametrech nebo jsou zdroje tepla malé a rozptýlené. Termoelektrické moduly v takových aplikacích mohou být cyklicky namáhány. Pro potřeby testování životnosti a sledování výkonu jednotlivých termoelektrických modulů byl sestaven měřicí stand (Obr. 5) určený pro dlouhodobé zkoušky probíhající za vakua.



Obr. 5 Vnitřní část podtlakového zkušebního standu

## Mikrogenerátory a Energy-harvesting aplikace



Obr. 6 Mikrogenerátor

Malé termoelektrické generátory (jako na Obr. 6) mohou nahradit klasické chemické zdroje elektrické energie a zařízení s nimi tak získat zdroj, jehož životnost je dána pouze životností jednotlivých komponent.