



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

MĚŘENÍ A VYHODNOCOVÁNÍ VÝKONOVÝCH
PARAMETRŮ TERMOELEKTRICKÉHO GENERÁTORU
MALÉHO VÝKONU

EVALUATION OF THE POWER OUTPUT CHARACTERISTICS OF THE SMALL-
SCALE THERMOELECTRIC GENERATOR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ivana Kluzová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Marian Brázdil

BRNO 2016

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Studentka: **Ivana Kluzová**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Marian Brázdil**
Akademický rok: 2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Měření a vyhodnocování výkonových parametrů termoelektrického generátoru malého výkonu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Termoelektrické generátory umožňují přímou přeměnu tepla na elektrickou energii. V případě kotlů na tuhá paliva by bylo možné přeměnit odpadní teplo spalin na elektřinu a napájet jí elektrické komponenty kotlů, případně jí ukládat. Došlo by tím ke zvýšení efektivity spalovacího zařízení a lepšímu využití energie paliva. Z tohoto důvodu vznikl malý experimentální generátor, který využívá odpadního tepla spalin domovního automatického teplovodního kotle o výkonu 25 kW. Konstrukce generátoru není optimální, dochází k jeho modifikacím. Pro další rozvoj zařízení je potřeba důkladně proměřit a vyhodnotit výkonové parametry a po následné analýze přistoupit k úpravám.

Cíle bakalářské práce:

1. Rešerše existujících komerčních a experimentálních termoelektrických generátorů využívajících tepla spalovacích zařízení - kotlů na tuhá, kapalná nebo plynná paliva.
2. Popis experimentální tratě a postupů měření jednotlivých veličin
3. Změření základních výkonových parametrů vybraných termoelektrických modulů při různých provozních stavech spalovacího zařízení
4. Změření základních výkonových parametrů termoelektrického generátoru jako celku při různých provozních stavech spalovacího zařízení
5. Vyhodnocení výkonových charakteristik generátoru a jejich zpracování do grafické podoby

Seznam literatury:

ROWE, D. M. (ed.). Thermoelectrics handbook : macro to nano. 1st ed. [Boca Raton] : CRC Press, 2006. 1014 s. ISBN 978-0849322648.

GOLDSMID, H. J. Introduction to thermoelectricity. Heidelberg : Springer, 2009.

xvi, 242 s. Springer Series in Materials Science. ISBN 978-3-642-00715-6.

Firemní literatura výrobců termoelektrických zařízení

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16.

V Brně, dne 30. 11. 2015



doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá termoelektrickými generátory a jejich aplikacemi. V úvodu je výčet nejpoužívanějších termoelektrických modulů u jednotlivých aplikací generátorů. Dále jsou popsány jednotlivé aplikace termoelektrický generátorů, rozdělené podle rozdílného způsobu získávání tepla a jejich následné porovnání. V závěru práce se nachází popis měření a vyhodnocení výkonových parametrů vybraných termoelektrických modulů a termoelektrického generátoru testovaného na Energetickém ústavu VUT v Brně.

Abstract

This bachelor thesis deals with thermoelectric generators and their applications. The introduction is a list of the most used thermoelectric modules in each applications of generators. A description of individual applications thermoelectric generators, divided by different methods of obtaining the heat, followed by their comparison. In conclusion there is a description of the measurement and evaluation of power parameters of thermoelectric modules and thermoelectric generator tested at the Energy Institute BUT.

Klíčová slova

Termoelektrický generátor, termoelektrický modul, automatický kotel

Keywords

Thermoelectric generator, thermoelectric module, automatic boiler

Bibliografická citace

KLUZOVÁ, I. *Měření a vyhodnocování výkonových parametrů termoelektrického generátoru malého výkonu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 68 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Marian Brázdil.

Prohlášení

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracovala jsem ji samostatně pod vedením Ing. Mariana Brázdila a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 27. 5. 2016

.....

Ivana Kluzová

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Marianu Brázdilovi za cenné rady, připomínky, ochotu a vstřícný přístup během zpracovávání této práce.

OBSAH

Úvod	15
1 Termoelektrické generátory	16
2 Generátory na tuhá paliva	19
2.1 KILLANDER A BASS	19
2.2 ROWE, MIN, WILIAMS, AJ.....	19
2.3 TSUYOSHI, KAGAWA, SAKAMOTO, AJ.....	20
2.4 NUWAYHID, SHIHADDEH A GHADDAR	21
2.5 NUWAYHID A HAMADE	22
2.6 EAKBURANAWAT A BOONYAROONATE	23
2.7 MASTBERGEN, WILLSON A JOSHI	23
2.8 LERTSATITTHANAKORN.....	24
2.9 MOSER, FRIEDL, HOEFTBERGER, AJ.....	25
2.10 CHAMPIER, BÉDÉCARRATS, RIVALETTO, AJ.	26
2.11 HOSKINS, SCANNELL, YOUNG, AJ.....	27
2.12 PUNNACHAIYA, KOVITCHAROENKUL A THONG-ARAM.....	27
2.13 O'SHAUGHNESSY, KINSELLA, DEASY, AJ.....	28
2.14 BRÁZDIL, POSPÍŠIL	28
2.15 GOUDARZI, MAZANDARANI, PANAH, AJ.....	29
2.16 JUANICÓ, RINALDE, TAGLIALAVORE, AJ.	30
2.17 MA, LIN, WU, AJ.	31
2.18 MAL, PRASAD, VIJAY, AJ.	31
2.19 RAMAN, RAM A GUPTA	32
2.20 MONTECUCCO, SIVITER A KNOX.....	33
2.21 BIOLITE CAMPSTOVE	34
3 Generátory na plynná paliva.....	35
3.1 ALLEN A WONSOWSKI.....	35
3.2 QIU A HAYDEN	35
3.3 ANATYCHUK, MYKHAILOVSKY A STRUTYNSKA.....	36
3.4 QIU A HAYDEN	37
3.5 BASKAYA, KARAASLAN, CALISIR, AJ.	38
3.6 ARANGUREN, ASTRAIN, RODRÍGUEZ, AJ.....	38
3.7 CODECASA, FANCIULLI, GADDI, AJ.....	39
3.8 ZHANG, WANG, CLEARY, AJ.....	40

3.9	GENTHERM GLOBAL POWER TECHNOLOGIES	41
4	Generátory na kapalná paliva	43
4.1	LOCKWOOD.....	43
4.2	GUAZZONI A HERCHAKOWSKI	44
4.3	SMITH, NEWTON A GASSMAN	44
4.4	JOVOVIC, CRANE A KOSSAKOVSKI.....	45
4.5	GIARETTA, VERANI, GALLETTI, AJ.....	45
5	Porovnání aplikací termoelektrických generátorů.....	46
6	Popis experimentální tratě a měření jednotlivých veličin	48
7	Vyhodnocení výkonových charakteristik.....	50
	Závěr.....	55
	Seznam použitých zkratk a symbolů	64
	Seznam tabulek.....	65
	Seznam obrázků	67

Úvod

Termoelektrické generátory (TEG) jsou zařízení, která umožňují přímou přeměnu tepla na elektřinu. Oproti ostatním zařízením generujícím elektrickou energii je jejich největší výhodou absence pohyblivých částí a tichý provoz. Generátory můžeme rozlišit podle způsobu dodávání tepla na generátory získávající teplo spalováním pevných, plyných nebo kapalných paliv. Nejčastějším způsobem přenosu tepla je přirozená a nucená konvekce [1]. Na Energetickém ústavu Fakulty strojního inženýrství VUT v Brně vzniklo několik termoelektrických generátorů. Jeden z nich, TG1 [2], využívá odpadní teplo spalin automatického kotle na pelety [3]. Výsledky experimentu spolu s podrobným popisem zařízení se zabývá kapitola 2.14 předkládané práce. V současné době se pracuje na konstrukčním vylepšení, které by vedlo ke zvýšení výstupního výkonu generátoru. Mezi cíle této bakalářské práce patří změření základních výkonových parametrů vybraných termoelektrických modulů a termoelektrického generátoru jako celku při různých provozních stavech spalovacího zařízení a následné vyhodnocení tohoto měření. Měřením bude možno porovnat získané výkonové parametry s původním experimentem, během kterého byly použity jiné termoelektrické moduly. Bude sledována závislost výkonových parametrů při rozdílných spalovacích stavech zařízení. Propojení generátoru s kotlem nebude totožné s původním testováním. Tímto se bude zabývat část popisující experimentální trať a postupy měření jednotlivých veličin.

Jedním z cílů této práce je rešerše existujících komerčních a experimentálních termoelektrických generátorů využívajících tepla spalovacích zařízení. Obecné povědomí o základních principech termoelektriky a aplikacích není v současné době běžné. První kapitola se zabývá základními fakty spolu s porovnáním dostupných termoelektrických modulů. Je věnován značný prostor jejich popisu a srovnání. Dohledané aplikace jsou postupně uvedeny v kapitolách 2–5.

1 Termoelektrické generátory

Základem každého termoelektrického generátoru jsou termoelektrické moduly (TEM). Moduly jsou složeny z termoelektrických dvojic, tvořených spojením polovodičů typu P a N. Polovodiče jsou materiály, které obsahují pohybující se elektrony (polovodič typu N) a kladné díry (polovodič typu P). Přivedením tepla na P-N spoj se přerozdělují většinové nosiče nábojů. Rozdíl potenciálů vzniká koncentrací nábojů u chladnějšího konce polovodičů. Uzavření obvodu zajišťuje průtok proudu obvodem [1] [4].

V průběhu let vzniklo mnoho odlišných aplikací generátorů. Mají různé zdroje tepla a odlišnou konstrukci. Některá zařízení jsou přenosná. Mezi nejdůležitější parametry a sledované veličiny patří: výkon modulu a generátoru (P_{TEM} , P_{TEG}), účinnost modulu a generátoru (η_{TEM} , η_{TEG}), teplota na horké a studené straně modulu¹, vnitřní odpor (R_I), zátěžný odpor (R_{LOAD}), zkratový proud (I_{SC}), optimální zátěžný proud (I_{OPT}), napětí naprázdno (U_{OC}), optimální zátěžné napětí (U_{OPT}), účinnost měniče, výstupní napětí měniče (U_{OUT}), tepelný odpor (R), energetická hustota (ρ_E) a měrný tepelný tok ($\dot{q}$). U konkrétních modulů (Tab 1.1 a,b) a aplikací generátorů jsou uvedeny jejich výstupní parametry. Tyto hodnoty jsou rozděleny na hodnoty uvedené autory (černé) a hodnoty zjištěné z dostupných grafů (modré) nebo hodnoty dopočítané (zelené), které byly zjištěny v rámci této bakalářské práce. Aplikace generátorů byly v některých případech během svého vývoje vícekrát testovány. V tabulkách jednotlivých aplikací jsou uvedeny pouze nejvyšší hodnoty výstupních charakteristik dosažených během testování.

Tabulky 1.1a a 1.1b uvedené níže obsahují nejčastěji používané typy TEM v aplikacích TEG. Jejich uvedené charakteristiky byly dohledány z dostupných materiálů konkrétních výrobců. Ne všechny výstupní parametry uváděné výrobcem se shodují s parametry uvedenými při jejich použití v jednotlivých aplikacích. Jedná se o modul TEP1-1264-1.5 [5] vyráběný společností Thermanamic Electronics [6] a TEG1-12610-5.1 společnosti Thermal Electronics Corp [7]. Hodnoty uvedené v tabulkách odpovídají výkonu při jmenovitých provozních teplotách. Někteří výrobci neuvádějí všechny parametry vyráběných modulů. Parametry byly dohledány z dostupných zdrojů v rámci této bakalářské práce. Zdroje se mohou svými informacemi lišit. Konkrétně u modulu TEP1-1264-3.4 uvádí starší zdroj [8] odlišnou výšku modulu než zdroj novější [9].

U modulu GM-250-241-10-12 je dostupný vztah pro výpočet tepelné vodivosti (λ) pro jednotlivé polovodiče. Pro výpočet polovodiče p i polovodiče n byla použita střední hodnota teplot modulu. Z těchto hodnot byla určena střední hodnota tepelné vodivosti, která sloužila k výpočtu hustoty tepelného toku modulem.

Moduly typu TEC1-12710 jsou primárně určeny ke chlazení, proto není uváděn jejich výkon. Tento typ modulů je vyráběn více výrobcem a to firmou Thermanamic (tab. 1.1b) nebo Hebei I.T. [10]. Moduly se odlišují svými výstupními parametry.

¹ Často není známo, kde přesně byly tyto teploty měřeny. Hodnoty teplot jsou proto v práci označovány jako t_H a t_C . Pokud jsou uváděny hodnoty na stranách modulu, jsou značeny jako t_H a t_C .

Tabulka 1.1a: Vlastnosti použitých TEM.

Typ TEM	HZ-20 [11]	HZ-9 [12]	TEP1-12656-0.6 [13] [14]	TEP1-1264-3.4 [15] [8]	TEP1-1264-1.5 [6] [9]	TEHP1-1264-0.8 [16] [17]	TEHP1-12656-0.3 [18] [19]
Počet dvojic	71	97	126	126	127	-	126
Materiál	Bi ₂ Te ₃	Bi ₂ Te ₃	Bi ₂ Te ₃	Bi ₂ Te ₃	Bi ₂ Te ₃	Bi ₂ Te ₃	Bi ₂ Te ₃
Velikost [mm]	75×75×5,08	62,7×62,7×6,51	56×56×6	40×40×3,9	40×40×4	40×40×4	56×56×6
t_H [°C]	230	230	300	300	300	300	300
t_C [°C]	30	30	30	30	30	30	30
λ [W/mK]	2,4	1,8	2	0,9	1,23	1,54	2,18
$\dot{q}$ [W/cm ²]	9,54	5,52	9	6,2	8,3	10,4	9,8
R [K/W]	0,42	0,56	0,5	1,11	0,81	0,65	0,46
P [W]	19	9	16,2	5,4	7,3	9,8	19,3
I_{SC} [A]	15	5,8	7,4	2	3,1	5	9,5
I_{OPT} [A]	8	2,9	3,68	1	1,56	2,4	4,6
U_{OC} [V]	5	6,5	8,8	10,8	9,4	8	8,4
U_{OPT} [V]	2,38	3,28	4,4	5,4	4,7	4	4,2
R_I [Ω]	0,3	1,15	1,19	5,4	2,8	1,59	0,9
R_{LOAD} [Ω]	0,3	1,15	1,19	5,4	2,8	1,59	0,9
η [%]	4,5	4,5	5,74	5,5	5,49	5,9	6,3
ρ_E [W/cm ²]	0,34	0,23	0,52	0,34	0,46	0,61	0,62

Tabulka 1.1b: Vlastnosti použitých TEM.

Typ TEM	TEC1-12710 [20]	TEG1-12610-5.1 [21]	TEG-127-230-32e [22]	TG12-8-01L [23]	GM-250-241-10-12 [24]	G1-54-0557 [25]	Altec-1060 [26]	TEG 10W [27]
Počet dvojic	127	126	127	127	-	-	-	-
Materiál	BiSn	Bi ₂ Te ₃	Bi ₂ Te ₃	-	-	-	-	Bi ₂ Te ₃
Velikost [mm]	40×40×3,2	40×40×3	40×40×3,4	40×40×3,5	40×40×3,4	54×49×3,2	40×40×4	40×40×5
t_H [°C]	50	300	220	230	250	150	300	300
t_C [°C]	-	30	20	50	30	50	100	30
λ [W/mK]	-	0,78	0,85	0,88	1,59	-	0,56	-
$\dot{q}$ [W/cm ²]	-	7	5	4,5	10,29	-	2,8	11,8
R [K/W]	-	1,28	1,18	1,13	0,63	-	1,79	-
P [W]	-	5,1	9,59	7,95	9,32	5,7	8	9,8
I_{SC} [A]	-	2,6	3,95	3,38	-	-	-	4,9
I_{OPT} [A]	10,1	1,3	1,97	-	0,95	-	1,7	2,4
U_{OC} [V]	-	7,8	9,72	9,43	19,7	-	-	8
U_{OPT} [V]	17,2	3,9	1,86	5,25	9,85	4,8	4,8	4
R_I [Ω]	1,38	3	2,46	3,46	10,41	-	-	1,59
R_{LOAD} [Ω]	1,38	3	2,46	3,46	10,41	-	-	1,59
η [%]	-	4,5	5,08	4,97	5	-	6,5	5,21
ρ_E [W/cm ²]	-	0,32	0,6	0,5	0,58	0,22	0,5	0,61

Nejčastěji používaným modulem v TEG je typ HZ-20 od Hi-Z. Prokazuje lepší výsledky než moduly jiných výrobců. Vyššího výkonu než HZ-20 dosahuje modul TEHP1-12656-0.3. I přes vysokou hodnotu energetické hustoty patří jeho účinnost mezi nejvyšší mezi uvedenými moduly. Pouze typ Altec-1060 dosahuje účinnosti 6,5 %. Nejpoužívanějším materiálem je Bi_2Te_3 . Chladicí modul TEC1-12710 je z materiálu BiSn. Chladicí moduly bývají provozovány při nižších teplotách.

Výběr modulu pro vhodné využití v generátorech není snadný. Z tohoto důvodu se moduly testují ještě před připojením ke generátoru.

2 Generátory na tuhá paliva

Generátory na tuhá paliva nejsou první termoelektrické generátory. Nejstarší generátory získávaly teplo spalováním koksu [4]. Níže uvedené generátory na tuhá paliva jsou generátory novější. Na rozdíl od starších typů využívají dostupné komerční moduly. Získávají teplo spalováním pelet či biomasy. Výstupní výkon těchto generátorů lze zvýšit využitím měničů. Nejčastěji používaným měničem je DC/DC který mění stejnosměrné napětí na stejnosměrné napětí jiné hodnoty. Důležitým faktorem je také chlazení systému. To je zajištěno pomocí vody či vzduchu.

2.1 Killander a Bass

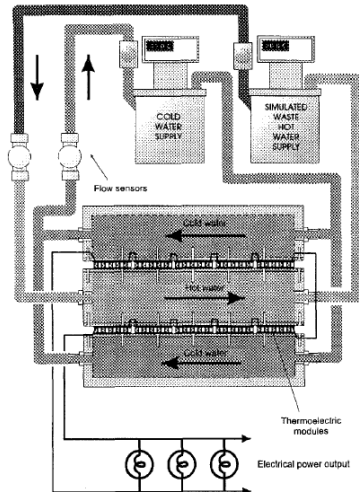
Organizace Royal Institute of Technology ve Švédsku vyvinula roku 1996 termoelektrický generátor, který měl zajišťovat dostatek elektřiny pro domácí spotřebu. Potřebné teplo získával spalováním dřeva a chlazení zajišťoval ventilátor. V průběhu testování bylo zjištěno, že umístění zařízení může způsobovat problémy. Testovaná železná kamna, ke kterým byl generátor připojen, neměla rovný povrch a tak se umístění generátoru měnilo spolu s teplotou během testování. Generátor se skládal z hliníkového tepelného kolektoru, na kterém byly umístěny moduly. Moduly byly z každé strany izolovány oxidem hlinitým (Al_2O_3). Tato izolace ovlivnila výstupní výkon, který byl 10 W. Výstupní charakteristiky zkonstruovaného generátoru jsou zobrazeny v tabulce 2.1 [28].

Tabulka 2.1: Výkonové parametry generátoru - Killander, Bass.

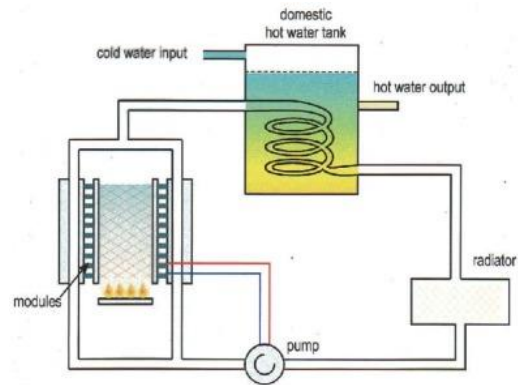
TEM	HZ-20	$I_{OPT\ TEM} [A]$	-	$U_{OC\ TEG} [V]$	-
Počet TEM	2	$U_{OC\ TEM} [V]$	-	$U_{OPT\ TEG} [V]$	-
$t_H [^{\circ}C]$	-	$U_{OPT\ TEM} [V]$	13,5	$R_{I\ TEG} [\Omega]$	-
$t_C [^{\circ}C]$	-	$\eta_{TEM} [\%]$	-	$R_{LOAD\ TEG} [\Omega]$	-
$R [K/W]$	-	$\rho_{E\ TEM} [W/cm^2]$	-	$\eta_{TEG} [\%]$	-
$\dot{q} [W/cm^2]$	-	$P_{TEG} [W]$	10	$\rho_{E\ TEG} [W/cm^2]$	0,09
$P_{TEM} [W]$	-	$I_{SC\ TEG} [A]$	-	Měnič	ano
$I_{SC\ TEM} [A]$	-	$I_{OPT\ TEG} [A]$	-	$U_{OUT} [V]$	12

2.2 Rowe, Min, Williams, aj.

Roku 1997 byl sestaven termoelektrický generátor WATT-100 (Waste-heat Alternative Thermoelectric Technology) a WATT-20 (Obr. 2.1). Oba typy byly chlazeny vodou a lišily se svými výkony. WATT-100 během testování dosáhl výkonu 95 W, zatímco WATT-20 byl sestaven pro dosažení výkonu 20 W. Generátory rozlišovaly dva různé způsoby využití tepla pro získání elektrické energie. Jednalo se o aktivní a pasivní režim zapojení modulů. V aktivním stavu se odpadní teplo přímo podílelo na vzniku elektřiny. V pasivním režimu se moduly nacházely mezi přívodem tepla a vodou (Obr. 2.2). Výstupní charakteristiky, dosažené během testování generátoru WATT-100 jsou uvedeny v tabulce 2.2 [29].



Obr. 2.1: Schématické zapojení WATT-20 [29]



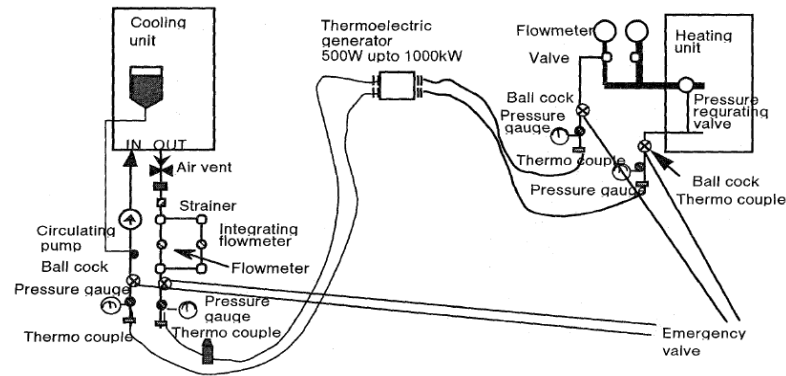
Obr. 2.2: Schéma pasivního zapojení generátoru (Rowe, Min) [29]

Tabulka 2.2: Výkonové parametry generátoru - Rowe, Min.

TEM	-	$I_{OPT\ TEM} [A]$	-	$U_{OC\ TEG} [V]$	-
Počet TEM	36	$U_{OC\ TEM} [V]$	-	$U_{OPT\ TEG} [V]$	-
$t_H [^{\circ}C]$	97	$U_{OPT\ TEM} [V]$	-	$R_{I\ TEG} [\Omega]$	-
$t_C [^{\circ}C]$	14	$\eta_{TEM} [\%]$	-	$R_{LOAD\ TEG} [\Omega]$	-
$R [K/W]$	-	$\rho_{E\ TEM} [W/cm^2]$	-	$\eta_{TEG} [\%]$	-
$\dot{q} [W/cm^2]$	-	$P_{TEG} [W]$	95	$\rho_{E\ TEG} [W/cm^2]$	-
$P_{TEM} [W]$	-	$I_{SC\ TEG} [A]$	-	Měnič	ne
$I_{SC\ TEM} [A]$	-	$I_{OPT\ TEG} [A]$	-	$U_{OUT} [V]$	-

2.3 Tsuyoshi, Kagawa, Sakamoto, aj.

V roce 1997 byl sestaven termoelektrický generátor (ALTEC), který měl využívat odpadního tepla při spalování tuhých odpadů a sloužit pro komerční účely. Generátor byl chlazen vodou a jako provozní kapalina byl použit olej. Ten ovlivňoval spolehlivost a provozní náklady zařízení. Schéma propojení generátoru je uvedeno na obr. 2.3. Výkon dosažený během testování se pohyboval okolo 470 W. Výkonové parametry testovaného generátoru jsou uvedeny v tabulce 2.3 [30].



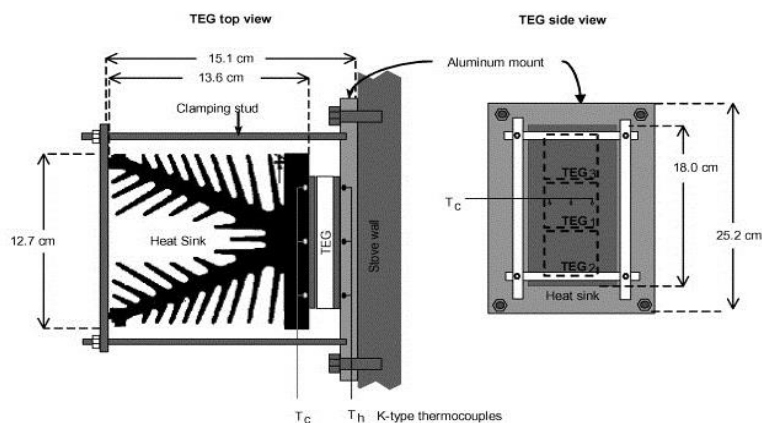
Obr. 2.3: Testovací aparatura se zapojeným generátorem (Tsuyoshi, Kagawa) [30]

Tabulka 2.3: Výkonové parametry generátoru - Tsuyoshi, Kagawa.

TEM	-	$I_{OPT\ TEM} [A]$	-	$U_{OC\ TEG} [V]$	45
Počet TEM	160	$U_{OC\ TEM} [V]$	-	$U_{OPT\ TEG} [V]$	-
$t_H [^{\circ}C]$	205	$U_{OPT\ TEM} [V]$	-	$R_{I\ TEG} [\Omega]$	-
$t_C [^{\circ}C]$	25	$\eta_{TEM} [\%]$	5	$R_{LOAD\ TEG} [\Omega]$	-
$R [K/W]$	-	$\rho_{E\ TEM} [W/cm^2]$	-	$\eta_{TEG} [\%]$	-
$\dot{q} [W/cm^2]$	-	$P_{TEG} [W]$	470	$\rho_{E\ TEG} [W/cm^2]$	-
$P_{TEM} [W]$	7	$I_{SC\ TEG} [A]$	43	Měnič	ne
$I_{SC\ TEM} [A]$	-	$I_{OPT\ TEG} [A]$	23	$U_{OUT} [V]$	-

2.4 Nuwayhid, Shihadeh a Ghaddar

V roce 2004 byl zkonstruován prototyp generátoru, který měl dosahovat vysokého výkonu na nízkou cenu. Teplo získával spalováním dřeva v kamnech. Chlazení bylo zajištěno přirozenou konvekcí a žebry. Velikost žebrování měla být dostatečně velká, aby na ně mohly být umístěny TEM (Obr. 2.4). Chlazení systému nebylo dostatečné z důvodu nerovnoměrného přenosu tepla. To bylo soustředěno na místa přilehlá k modulům. Testovaný prototyp obsahoval pouze jeden modul, který dosáhl výkonu 4,2 W. Hodnoty dosažené během testování jsou uvedeny v tabulce 2.4 [31].



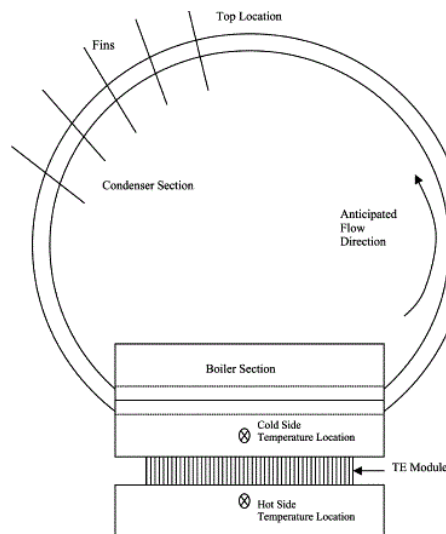
Obr. 2.4: Detail umístění generátoru (Nuwayhid, Shihadeh) [31]

Tabulka 2.4: Výkonové parametry generátoru - Nuwayhid, Shihadeh.

TEM	TEP-12656	$I_{OPT\ TEM} [A]$	-	$U_{OC\ TEG} [V]$	4,1
Počet TEM	1	$U_{OC\ TEM} [V]$	-	$U_{OPT\ TEG} [V]$	-
$t_H' [^{\circ}C]$	275	$U_{OPT\ TEM} [V]$	-	$R_{I\ TEG} [\Omega]$	-
$t_C' [^{\circ}C]$	123	$\eta_{TEM} [\%]$	-	$R_{LOAD\ TEG} [\Omega]$	-
$R [K/W]$	-	$\rho_{E\ TEM} [W/cm^2]$	-	$\eta_{TEG} [\%]$	-
$\dot{q} [W/cm^2]$	-	$P_{TEG} [W]$	4,2	$\rho_{E\ TEG} [W/cm^2]$	-
$P_{TEM} [W]$	4,2	$I_{SC\ TEG} [A]$	-	Měnič	ne
$I_{SC\ TEM} [A]$	-	$I_{OPT\ TEG} [A]$	-	$U_{OUT} [V]$	-

2.5 Nuwayhid a Hamade

Termoelektrický generátor sestavený v roce 2004, využíval systém THP (Thermosyphonic heat pipe). Systém THP lze popsat jako vzájemně na sebe navazující uzavřené smyčky s vodou proudící uvnitř (Obr. 2.5). Tato voda pomáhala konvenci a chlazení zařízení. Testování prokázalo, že dosažením teploty blízké teplotě v kotli a kondenzační teplotě se měnilo chování výparníku. Začal pracovat na přenosu latentního tepla. TEG obsahoval pouze jeden TEM dosahující výkonu 3,4 W. Jeho parametry jsou uvedeny v tabulce 2.5 [32].



Obr. 2.5: Schéma generátoru se smyčkou THP (Nuwayhid, Hamade) [32]

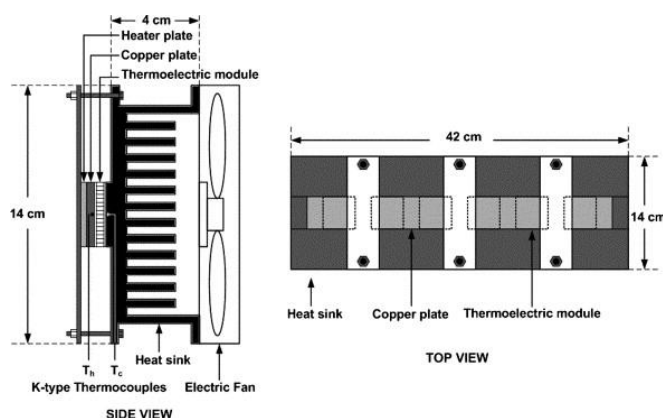
Tabulka 2.5: Výkonové parametry generátoru - Nuwayhid, Hamade.

TEM	HZ-20	$I_{OPT\ TEM} [A]$	-	$U_{OC\ TEG} [V]$	2,29
Počet TEM	1	$U_{OC\ TEM} [V]$	-	$U_{OPT\ TEG} [V]$	1,07
$t_H' [^{\circ}C]$	236	$U_{OPT\ TEM} [V]$	-	$R_{I\ TEG} [\Omega]$	-
$t_C' [^{\circ}C]$	109	$\eta_{TEM} [\%]$	-	$R_{LOAD\ TEG} [\Omega]$	-
$R [K/W]$	-	$\rho_{E\ TEM} [W/cm^2]$	0,06	$\eta_{TEG} [\%]$	-
$\dot{q} [W/cm^2]$	6	$P_{TEG} [W]$	3,4	$\rho_{E\ TEG} [W/cm^2]$	0,06
$P_{TEM} [W]$	3,4	$I_{SC\ TEG} [A]$	5,5	Měnič	ne
$I_{SC\ TEM} [A]$	-	$I_{OPT\ TEG} [A]$	3,18	$U_{OUT} [V]$	-

Dopočítaná hodnota měrného tepelného toku generátoru je správná, pouze za předpokladu konstantní hodnoty tepelné vodivosti celého zařízení. Toto není v průběhu testování možné, a proto je hodnota pouze orientační.

2.6 Eakburanawat a Boonyaroonate

Roku 2005 došlo k sestrojení termoelektrického generátoru, který bylo možno připojit ke kotli (Obr. 2.6). Využitím odpadního tepla měl produkovat výkon dostatečný k nabíjení baterie pro případné využití v rozvojových zemích. Generátor byl sestaven několikrát. První testy proběhly na samotném generátoru. Pro další testování byl připojen měnič (SEPIC) a MPPT regulátor. To ovlivnilo výstupní výkon, který byl 7,99 W. Hodnoty získané během tohoto testování jsou uvedeny v tabulce 2.6 [5].



Obr. 2.6: Detail generátoru (Eakburanawat, Boonyaroonate) [5]

Tabulka 2.6: Výkonové parametry generátoru - Eakburanawat, Boonyaroonate.

TEM	TEP1-1264-1.5	$I_{OPT\ TEM} [A]$	-	$U_{OC\ TEG} [V]$	27,8
Počet TEM	6	$U_{OC\ TEM} [V]$	7,5	$U_{OPT\ TEG} [V]$	-
$t_H [^{\circ}C]$	180	$U_{OPT\ TEM} [V]$	-	$R_{I\ TEG} [\Omega]$	17,8
$t_C [^{\circ}C]$	40	$\eta_{TEM} [\%]$	-	$R_{LOAD\ TEG} [\Omega]$	10
$R [K/W]$	-	$\rho_{E\ TEM} [W/cm^2]$	-	$\eta_{TEG} [\%]$	-
$\dot{q} [W/cm^2]$	-	$P_{TEG} [W]$	7,99	$\rho_{E\ TEG} [W/cm^2]$	0,08
$P_{TEM} [W]$	-	$I_{SC\ TEG} [A]$	-	Měnič	ano
$I_{SC\ TEM} [A]$	1,6	$I_{OPT\ TEG} [A]$	1	$U_{OUT} [V]$	6

2.7 Mastbergen, Willson a Joshi

Generátor, který byl vyvinut v roce 2005, získával teplo z připojených kamen a chlazen byl vzduchem pomocí větráku. Zjišťovala se optimální vzdálenost tohoto chlazení od chladících žebër. Před samotným testováním celého systému byly vytvořeny analytické

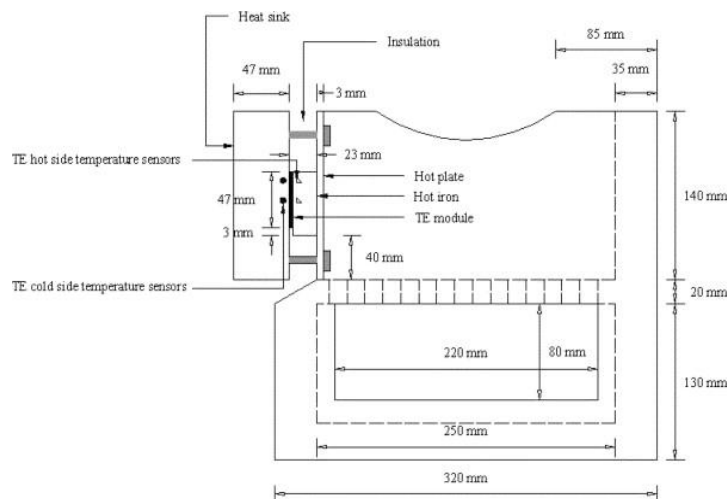
modely a výpočty popisující výkony jednotlivých komponentů a poté společně celého zařízení. Dosažený výkon modulu byl 5,9 W. Výstupní charakteristiky jsou uvedeny v tabulce 2.7 [33].

Tabulka 2.7: Výkonové parametry generátoru - Mastbergen, Willson.

TEM	TEP1-1264-1.5	$I_{OPT\ TEM} [A]$	-	$U_{OC\ TEG} [V]$	-
Počet TEM	-	$U_{OC\ TEM} [V]$	-	$U_{OPT\ TEG} [V]$	-
$t_H [^{\circ}C]$	230	$U_{OPT\ TEM} [V]$	-	$R_{I\ TEG} [\Omega]$	-
$t_C [^{\circ}C]$	50	$\eta_{TEM} [\%]$	4	$R_{LOAD\ TEG} [\Omega]$	-
$R [K/W]$	1,28	$\rho_{E\ TEM} [W/cm^2]$	0,37	$\eta_{TEG} [\%]$	-
$\dot{q} [W/cm^2]$	-	$P_{TEG} [W]$	-	$\rho_{E\ TEG} [W/cm^2]$	-
$P_{TEM} [W]$	5,9	$I_{SC\ TEG} [A]$	-	Měnič	ne
$I_{SC\ TEM} [A]$	-	$I_{OPT\ TEG} [A]$	-	$U_{OUT} [V]$	-

2.8 Lertsatitthanakorn

Termoelektrický generátor, sestavený v roce 2006, získával teplo spalováním biomasy v kamnech. Chlazení zajišťovala žebra, jejichž studená strana byla vyrobena z hliníku a podílela se na přirozené konvekci vzduchem. Horká strana použitých modulů byla umístěna uprostřed zahřívajícího plechu (Obr. 2.7). Výkon generátoru byl 2,4 W. Ostatní parametry generátoru jsou uvedeny v tabulce 2.8 [34].



Obr. 2.7: Schéma propojení generátoru s kamny (Lertsatitthanakorn) [34]

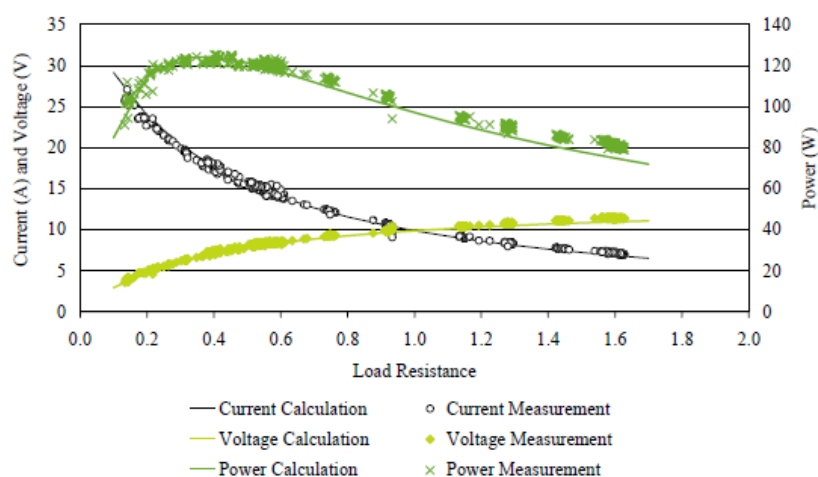
Tabulka 2.8: Výkonové parametry generátoru – Lertsatitthanakorn.

TEM	TEP1-1264-3.4	$I_{OPT\ TEM} [A]$	-	$U_{OC\ TEG} [V]$	-
Počet TEM	-	$U_{OC\ TEM} [V]$	7	$U_{OPT\ TEG} [V]$	-
$t_H [^{\circ}C]$	240	$U_{OPT\ TEM} [V]$	-	$R_{I\ TEG} [\Omega]$	-

$t_C [^{\circ}\text{C}]$	90	$\eta_{\text{TEM}} [\%]$	4	$R_{\text{LOAD TEG}} [\Omega]$	-
$R [\text{K/W}]$	-	$\rho_{\text{E TEM}} [\text{W/cm}^2]$	-	$\eta_{\text{TEG}} [\%]$	-
$\dot{q} [\text{W/cm}^2]$	-	$P_{\text{TEG}} [\text{W}]$	2,4	$\rho_{\text{E TEG}} [\text{W/cm}^2]$	-
$P_{\text{TEM}} [\text{W}]$	-	$I_{\text{SC TEG}} [\text{A}]$	-	Měnič	ne
$I_{\text{SC TEM}} [\text{A}]$	0,9	$I_{\text{OPT TEG}} [\text{A}]$	-	$U_{\text{OUT}} [\text{V}]$	-

2.9 Moser, Friedl, Hoeffberger, aj.

Roku 2008 byl sestrojen prototyp mikrokogeneračního generátoru. Generátor, stejně jako moduly, byl vyvinut ve spolupráci se společností BIOENERGY 2020+ a TEC COM. Zařízení získávalo teplo spalováním biomasy. Chlazení zajišťovala voda, která proudila okolo generátoru. Výměník generátoru byl umístěn uvnitř spalovací komory. Vývoj a testování probíhalo v několika letech. Během vývoje generátoru se podařilo zvýšit jeho výstupní výkon. Z původního generátoru TEG 250 vznikl generátor TEG 400. TEG 400 dosahoval výkonu 301 W. Obr. 2.8 ukazuje srovnání vypočtených a experimentálně zjištěných hodnot generátoru TEG 250. Generátor je zobrazen na obr. 2.9. Tabulka 2.9 uvádí výstupní parametr generátoru TEG 250. Výsledky novějšího testování nejsou uvedeny, je znám pouze výstupní výkon zařízení [35] [36] [37].



Obr. 2.8: Srovnání testovaných a vypočtených hodnot I , U a P v závislosti na R (Moser, Friedl) [35]



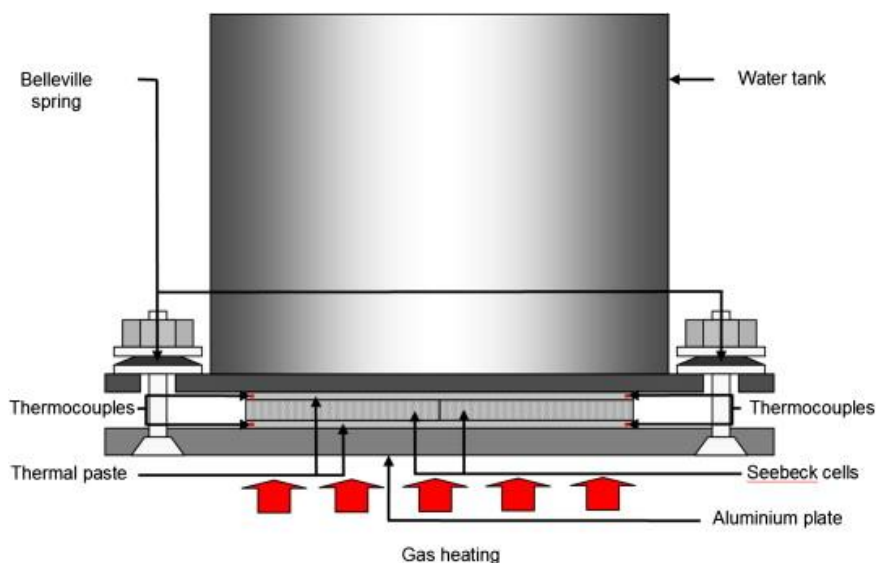
Obr. 2.9: Prototyp generátoru (Moser, Friedl) [35]

Tabulka 2.9: Výkonové parametry generátoru - Moser, Friedl.

TEM	-	$I_{OPT\ TEM} [A]$	-	$U_{OC\ TEG} [V]$	-
Počet TEM	16	$U_{OC\ TEM} [V]$	-	$U_{OPT\ TEG} [V]$	-
$t_H [^{\circ}C]$	250	$U_{OPT\ TEM} [V]$	-	$R_{I\ TEG} [\Omega]$	-
$t_C [^{\circ}C]$	60	$\eta_{TEM} [\%]$	-	$R_{LOAD\ TEG} [\Omega]$	-
$R [K/W]$	-	$\rho_{E\ TEM} [W/cm^2]$	-	$\eta_{TEG} [\%]$	-
$\dot{q} [W/cm^2]$	-	$P_{TEG} [W]$	200	$\rho_{E\ TEG} [W/cm^2]$	-
$P_{TEM} [W]$	12,5	$I_{SC\ TEG} [A]$	-	Měnič	ne
$I_{SC\ TEM} [A]$	-	$I_{OPT\ TEG} [A]$	-	$U_{OUT} [V]$	-

2.10 Champier, Bédécarrats, Rivaletto, aj.

V roce 2009 vznikl termoelektrický generátor ve spolupráci s organizací “Planète Bois”, která se zabývá spalováním biomasy. Zařízení bylo chlazeno vodou a mělo zlepšit spalovací vlastnosti zařízení v rozvojových zemích. Generátor byl několikrát testován a měněn. Měněny byly termoelektrické moduly. Původní typ TEPI-12656-0.8 byl nahrazen výkonnějším typem. Se změnou modulů se zvyšoval výkon zařízení. Původní výkon 6 W byl navýšen na 28 W. Propojení celého zařízení je zobrazeno na obr. 2.10. Výstupní charakteristiky posledního testování uvádí tabulka 2.10 [38] [39] [40].



Obr. 2.10: Schéma původní sestavy a zapojení generátoru (Champier, Bédécarrats) [38]

Tabulka 2.10: Výkonové parametry generátoru - Champier, Bédécarrats.

TEM	TEHP1-12656-0.3	$I_{OPT\ TEM} [A]$	-	$U_{OC\ TEG} [V]$	-
Počet TEM	8	$U_{OC\ TEM} [V]$	-	$U_{OPT\ TEG} [V]$	-
$t_H [^{\circ}C]$	-	$U_{OPT\ TEM} [V]$	-	$R_{I\ TEG} [\Omega]$	-
$t_C [^{\circ}C]$	-	$\eta_{TEM} [\%]$	-	$R_{LOAD\ TEG} [\Omega]$	-

R [K/W]	0,7	$\rho_{E\text{ TEM}}$ [W/cm ²]	-	η_{TEG} [%]	-
$\dot{q}$ [W/cm ²]	-	P_{TEG} [W]	28	$\rho_{E\text{ TEG}}$ [W/cm ²]	0,11
P_{TEM} [W]	-	$I_{\text{SC TEG}}$ [A]	-	Měnič	ano
$I_{\text{SC TEM}}$ [A]	-	$I_{\text{OPT TEG}}$ [A]	-	U_{OUT} [V]	-

2.11 Hoskins, Scannell, Young, aj.

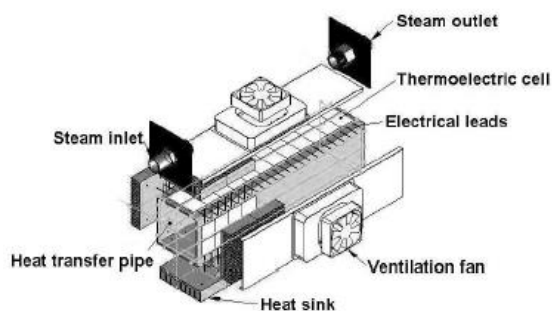
Roku 2010 byl sestaven další prototyp termoelektrického generátoru. Jeho provozem mělo být dosaženo čistšího a komplexnějšího spalování biomasy. Teplota studené strany generátoru byla během provozu udržována hliníkovým chladičem. Chladič sloužil k redukci proudění vzduchu ventilátorem. Spolu s chlazením byl ventilátor obklopen hliníkovým dílcem. Výkon dosažený během testování byl 4,76 W. Ostatní parametry získané během testování jsou uvedeny v tabulce 2.11 [41].

Tabulka 2.11: Výkonové parametry generátoru - Hoskins, Scannell.

TEM	-	$I_{\text{OPT TEM}}$ [A]	-	$U_{\text{OC TEG}}$ [V]	7,02
Počet TEM	-	$U_{\text{OC TEM}}$ [V]	-	$U_{\text{OPT TEG}}$ [V]	3,51
t_h [°C]	-	$U_{\text{OPT TEM}}$ [V]	-	$R_{\text{I TEG}}$ [Ω]	-
t_c [°C]	-	η_{TEM} [%]	-	$R_{\text{LOAD TEG}}$ [Ω]	-
R [K/W]	-	$\rho_{E\text{ TEM}}$ [W/cm ²]	-	η_{TEG} [%]	-
$\dot{q}$ [W/cm ²]	-	P_{TEG} [W]	4,76	$\rho_{E\text{ TEG}}$ [W/cm ²]	-
P_{TEM} [W]	-	$I_{\text{SC TEG}}$ [A]	2,71	Měnič	ano
$I_{\text{SC TEM}}$ [A]	-	$I_{\text{OPT TEG}}$ [A]	1,36	U_{OUT} [V]	5

2.12 Punnachaiya, Kovitcharoenkul a Thong-aram

Prototyp generátoru, sestavený v roce 2010, získával teplo spalováním uhlí. Využíval odpadní teplo a přebytek tepla v chlazení. Toto chlazení bylo umístěno na studené straně zařízení v místě, kde byl připojen ventilátor. Oproti tomu na zahřívání straně generátoru byly umístěny moduly. Na rozdíl od ostatních aplikací, tento generátor používal moduly určené primárně ke chlazení. V zahříváních místech docházelo k hromadění páry. Pára byla do systému přivedena pomocí bočních děr v konstrukci generátoru. Těmito dírami ze systému i odcházela (Obr. 2.11). Výstupní výkon generátoru byl 52,8 W. Další hodnoty zařízení jsou uvedeny v tabulce 2.12 [42].



Obr. 2.11: Detail generátoru (Punnachaiya, Kovitcharoenkul) [42]

Tabulka 2.12: Výkonové parametry generátoru - Punnachaiya, Kovitcharoenkul.

TEM	TEC1-12710	$I_{OPT\ TEM} [A]$	0,25	$U_{OC\ TEG} [V]$	126
Počet TEM	4	$U_{OC\ TEM} [V]$	61,5	$U_{OPT\ TEG} [V]$	220
$t_H [^{\circ}C]$	98	$U_{OPT\ TEM} [V]$	-	$R_{I\ TEG} [\Omega]$	250
$t_C [^{\circ}C]$	73	$\eta_{TEM} [\%]$	-	$R_{LOAD\ TEG} [\Omega]$	-
$R [K/W]$	-	$\rho_{E\ TEM} [W/cm^2]$	0,95	$\eta_{TEG} [\%]$	-
$\dot{q} [W/cm^2]$	-	$P_{TEG} [W]$	52,8	$\rho_{E\ TEG} [W/cm^2]$	0,83
$P_{TEM} [W]$	15,22	$I_{SC\ TEG} [A]$	0,64	Měnič	ne
$I_{SC\ TEM} [A]$	-	$I_{OPT\ TEG} [A]$	0,24	$U_{OUT} [V]$	-

2.13 O'Shaughnessy, Kinsella, Deasy, aj.

Roku 2012 byl navržen prototyp termoelektrického generátoru, který bylo možno připojit k vařiči v rozvojových zemích. Měl sloužit jako zdroj energie pro nabíjení baterií. Chlazení bylo zajištěno pomocí nucené konvekce vzduchem. Výstupní výkon zařízení dosáhl hodnoty 5,3 W při použití měniče (SEPIC). Výkonové parametry generátoru jsou uvedeny v tabulce 2.13 [43] [44].

Tabulka 2.13: Výkonové parametry generátoru - O'Shaughnessy, Kinsella.

TEM	TEG1 12610-5.1	$I_{OPT\ TEM} [A]$	-	$U_{OC\ TEG} [V]$	7,9
Počet TEM	1	$U_{OC\ TEM} [V]$	-	$U_{OPT\ TEG} [V]$	4,1
$t_H [^{\circ}C]$	-	$U_{OPT\ TEM} [V]$	-	$R_{I\ TEG} [\Omega]$	3,17
$t_C [^{\circ}C]$	-	$\eta_{TEM} [\%]$	-	$R_{LOAD\ TEG} [\Omega]$	2,5
$R [K/W]$	-	$\rho_{E\ TEM} [W/cm^2]$	-	$\eta_{TEG} [\%]$	-
$\dot{q} [W/cm^2]$	-	$P_{TEG} [W]$	5,3	$\rho_{E\ TEG} [W/cm^2]$	0,33
$P_{TEM} [W]$	5,3	$I_{SC\ TEG} [A]$	2,7	Měnič	ano
$I_{SC\ TEM} [A]$	-	$I_{OPT\ TEG} [A]$	-	$U_{OUT} [V]$	5

2.14 Brázdil, Pospíšil

Generátor vznikl roku 2013. Prototyp byl připojen k výstupnímu hrdlu automatického kotle na dřevní pelety tak, aby nemuselo docházet k zásahu do konstrukce samotného kotle (Obr. 2.12). Chlazení zajišťovala chladicí voda o proměnné teplotě. Generátor dosáhl výkonu 8,5 W. Ostatní výkonové parametry jsou uvedeny v tabulce 2.14 [45].



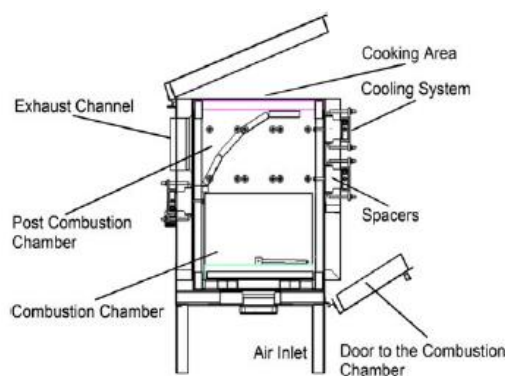
Obr. 2.12: Zobrazení testovaného generátoru propojeného s kotlem (Brázdil, Pospíšil) [46]

Tabulka 2.14: Výkonové parametry generátoru - Brázdil, Pospíšil.

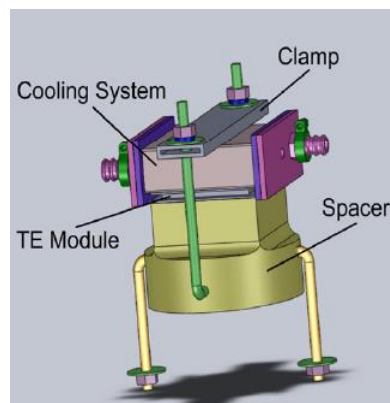
TEM	TEG-127-230-32e	$I_{OPT\ TEM} [A]$	-	$U_{OC\ TEG} [V]$	18,5
Počet TEM	4	$U_{OC\ TEM} [V]$	-	$U_{OPT\ TEG} [V]$	17
$t_H [^{\circ}C]$	138,8	$U_{OPT\ TEM} [V]$	-	$R_{I\ TEG} [\Omega]$	-
$t_C [^{\circ}C]$	26	$\eta_{TEM} [\%]$	-	$R_{LOAD\ TEG} [\Omega]$	-
$R [K/W]$	-	$\rho_{E\ TEM} [W/cm^2]$	-	$\eta_{TEG} [\%]$	-
$\dot{q} [W/cm^2]$	-	$P_{TEG} [W]$	8,5	$\rho_{E\ TEG} [W/cm^2]$	0,13
$P_{TEM} [W]$	-	$I_{SC\ TEG} [A]$	1,9	Měníč	ne
$I_{SC\ TEM} [A]$	-	$I_{OPT\ TEG} [A]$	-	$U_{OUT} [V]$	-

2.15 Goudarzi, Mazandarani, Panahi, aj.

Tento generátor byl sestaven roku 2013. Obsahoval další spalovací komoru, což mělo zvýšit účinnost spalování. Spalovací komory byly obklopeny pevným pláštěm s otvory pro přívod čerstvého vzduchu a odchod spalin (Obr. 2.13). Po připojení termoelektrického generátoru dosáhl výkon hodnoty 14,7 W. Zařízení bylo testováno pro různá množství paliva po rozdílnou dobu. Mělo dojít ke snížení produkce oxidu uhličitého (CO_2) produkovaného spalováním. Chlazení zařízení bylo zajištěno vodou (Obr. 2.14). Parametry dosažené během experimentu uvádí tabulka 2.15 [47].



Obr. 2.13: Vnitřní pohled do prototypu
(Goudarzi, Mazandarani) [47]



Obr. 2.14: Chladicí zařízení
(Goudarzi, Mazandarani) [47]

Tabulka 2.15: Výkonové parametry generátoru – Goudarzi, Mazandarani.

TEM	TEP1-12656-0.6	$I_{OPT\ TEM} [A]$	-	$U_{OC\ TEG} [V]$	-
Počet TEM	21	$U_{OC\ TEM} [V]$	-	$U_{OPT\ TEG} [V]$	-
$t_H' [^{\circ}C]$	48,3	$U_{OPT\ TEM} [V]$	-	$R_{I\ TEG} [\Omega]$	-
$t_C' [^{\circ}C]$	16	$\eta_{TEM} [\%]$	-	$R_{LOAD\ TEG} [\Omega]$	-
$R [K/W]$	-	$\rho_{E\ TEM} [W/cm^2]$	0,25	$\eta_{TEG} [\%]$	-
$\dot{q} [W/cm^2]$	-	$P_{TEG} [W]$	14,7	$\rho_{E\ TEG} [W/cm^2]$	0,02
$P_{TEM} [W]$	7,9	$I_{SC\ TEG} [A]$	-	Měnič	ne
$I_{SC\ TEM} [A]$	-	$I_{OPT\ TEG} [A]$	-	$U_{OUT} [V]$	-

2.16 Juanicó, Rinalde, Taglialavore, aj.

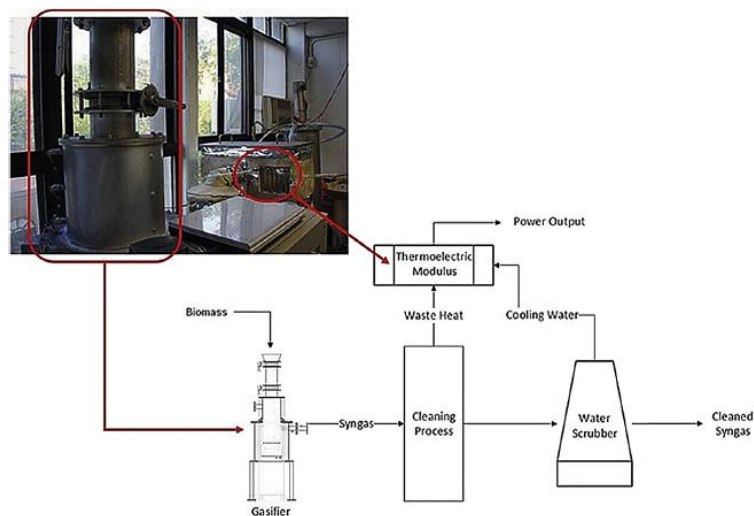
Tento sestrojený termoelektrický generátor z roku 2013, byl oproti jiným zařízením svého druhu vybaven teplotní regulací. Regulace byla schopna zvládnout proměnlivý tepelný tok. Proto bylo možné zařízení kombinovat s nestabilním zdrojem tepla, například kamny na dřevo používaných v domácnostech. O chlazení systému se staral ventilátor. Sloužil k regulaci tepelného toku žebry. Dosažený výkon generátoru byl 30,3 W. Další výstupní parametry generátoru jsou uvedeny v tabulce 2.16 [25] [48].

Tabulka 2.16: Výkonové parametry generátoru - Juanicó, Rinalde.

TEM	G1-54-0557	$I_{OPT\ TEM} [A]$	-	$U_{OC\ TEG} [V]$	-
Počet TEM	9	$U_{OC\ TEM} [V]$	-	$U_{OPT\ TEG} [V]$	-
$t_H' [^{\circ}C]$	147	$U_{OPT\ TEM} [V]$	-	$R_{I\ TEG} [\Omega]$	-
$t_C' [^{\circ}C]$	65	$\eta_{TEM} [\%]$	-	$R_{LOAD\ TEG} [\Omega]$	-
$R [K/W]$	-	$\rho_{E\ TEM} [W/cm^2]$	0,128	$\eta_{TEG} [\%]$	-
$\dot{q} [W/cm^2]$	-	$P_{TEG} [W]$	30,3	$\rho_{E\ TEG} [W/cm^2]$	0,127
$P_{TEM} [W]$	3,4	$I_{SC\ TEG} [A]$	-	Měnič	ne
$I_{SC\ TEM} [A]$	-	$I_{OPT\ TEG} [A]$	-	$U_{OUT} [V]$	-

2.17 Ma, Lin, Wu, aj.

Vyvinutý termoelektrický generátor v roce 2014, využíval jako zdroj tepla zplyňování biomasy. Konkrétně se jednalo o zplyňování japonského cedru, který produkoval velké množství spalovacích plynů a oxidu uhličitého (CO_2). Spalování probíhalo za velice vysokých teplot. Generátor využíval odpadní teplo. Schéma propojení generátoru je zobrazeno na obr. 2.15. Výkon byl 29,7 W. Ostatní parametry generátoru jsou uvedeny v tabulce 2.17 [49].



Obr. 2.15: Schéma zapojení generátoru (Ma, Lin) [49]

Tabulka 2.17: Výkonové parametry generátoru - Ma, Lin.

T_{EM}	-	$I_{OPT\ TEM} [A]$	-	$U_{OC\ TEG} [V]$	59
Počet TEM	8	$U_{OC\ TEM} [V]$	-	$U_{OPT\ TEG} [V]$	54
$t_H [^{\circ}C]$	-	$U_{OPT\ TEM} [V]$	-	$R_{I\ TEG} [\Omega]$	-
$t_C [^{\circ}C]$	-	$\eta_{TEM} [\%]$	-	$R_{LOAD\ TEG} [\Omega]$	-
$R [K/W]$	-	$\rho_{E\ TEM} [W/cm^2]$	-	$\eta_{TEG} [\%]$	-
$\dot{q} [W/cm^2]$	-	$P_{TEG} [W]$	29,7	$\rho_{E\ TEG} [W/cm^2]$	0,02
$P_{TEM} [W]$	-	$I_{SC\ TEG} [A]$	2,4	Měníč	ne
$I_{SC\ TEM} [A]$	-	$I_{OPT\ TEG} [A]$	1,2	$U_{OUT} [V]$	-

2.18 Mal, Prasad, Vijay, aj.

Roku 2014 byl sestaven prototyp termoelektrického generátoru. Teplo získával spalováním biomasy. Chlazení generátoru bylo zajištěno pomocí ventilátoru. Ventilátor rozděloval zařízení na dvě části. První část zajišťovala chlazení generátoru a druhá dodávala vzduch do spalovací komory. V první fázi vývoje generátoru se testovaly moduly. Původně byly pro konstrukci vybrány moduly HZ-14. Ty nedosahovaly optimálních výstupních hodnot, a proto byly nahrazeny typem HZ-9, který poskytoval

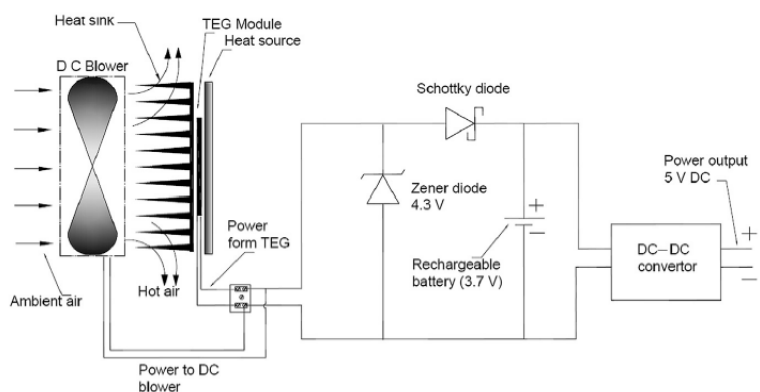
vyrovnané výstupní parametry. Generátor dosáhl výkonu 4,5 W. Ostatní parametry dosažené během testování jsou uvedeny v tabulce 2.18 [50].

Tabulka 2.18: Výkonové parametry generátoru - Mal, Prasad.

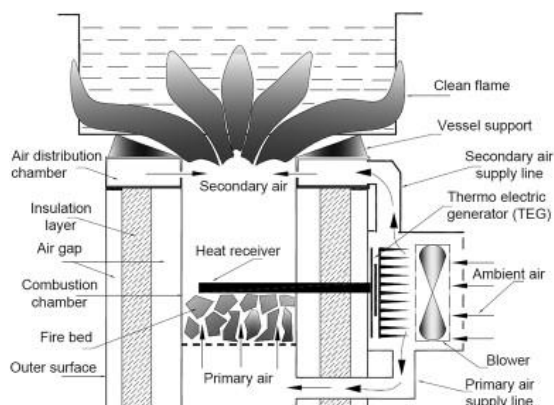
TEM	HZ-9	$I_{OPT\ TEM} [A]$	-	$U_{OC\ TEG} [V]$	6,5
Počet TEM	-	$U_{OC\ TEM} [V]$	-	$U_{OPT\ TEG} [V]$	-
$t_H [^{\circ}C]$	-	$U_{OPT\ TEM} [V]$	-	$R_{I\ TEG} [\Omega]$	-
$t_C [^{\circ}C]$	-	$\eta_{TEM} [\%]$	-	$R_{LOAD\ TEG} [\Omega]$	1
$R [K/W]$	-	$\rho_{E\ TEM} [W/cm^2]$	0,1	$\eta_{TEG} [\%]$	-
$\dot{q} [W/cm^2]$	-	$P_{TEG} [W]$	4,5	$\rho_{E\ TEG} [W/cm^2]$	-
$P_{TEM} [W]$	4	$I_{SC\ TEG} [A]$	-	Měnič	ne
$I_{SC\ TEM} [A]$	-	$I_{OPT\ TEG} [A]$	-	$U_{OUT} [V]$	-

2.19 Raman, Ram a Gupta

V roce 2014 došlo k sestrojení termoelektrického generátoru, který získával teplo spalováním dřeva. Chlazení přístroje zajišťoval ventilátor. Odváděl teplo z generátoru a dodával vzduch do spalovací komory. Propojení chlazení s generátorem je zobrazeno na obr. 2.15 a 2.16. Generátor byl testován pro různé počáteční podmínky s různými moduly. Výsledky jednotlivých testování byly následně srovnány. Nejlepších hodnot bylo dosaženo přehřátím zařízení. Generátor dosáhl výkonu 4,5 W. Ostatní dosažené parametry jsou uvedeny v tabulce 2.19 [51].



Obr. 2.16: Schéma zapojení (Raman, Ram) [51]



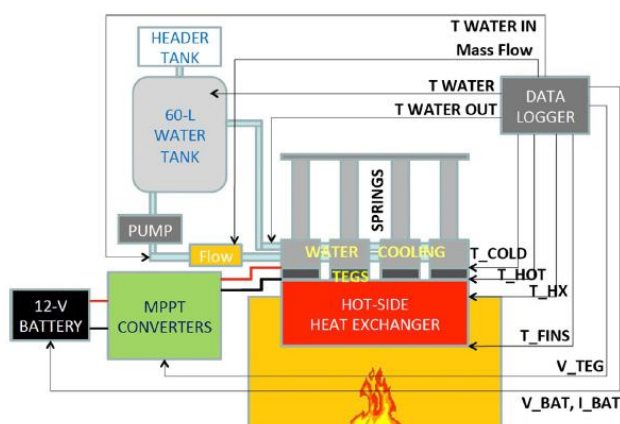
Obr. 2.17: Zobrazení generátoru (Raman, Ram) [51]

Tabulka 2.19: Výkonové parametry generátoru - Raman, Ram.

TEM	TEP1-1264-3,4	$I_{OPT\ TEM} [A]$	-	$U_{OC\ TEG} [V]$	-
Počet TEM	-	$U_{OC\ TEM} [V]$	-	$U_{OPT\ TEG} [V]$	4,5
$t_h [^{\circ}C]$	310	$U_{OPT\ TEM} [V]$	-	$R_{I\ TEG} [\Omega]$	-
$t_c [^{\circ}C]$	60	$\eta_{TEM} [\%]$	-	$R_{LOAD\ TEG} [\Omega]$	-
$R [K/W]$	-	$\rho_{E\ TEM} [W/cm^2]$	-	$\eta_{TEG} [\%]$	-
$\dot{q} [W/cm^2]$	-	$P_{TEG} [W]$	4,5	$\rho_{E\ TEG} [W/cm^2]$	-
$P_{TEM} [W]$	-	$I_{SC\ TEG} [A]$	-	Měnič	ne
$I_{SC\ TEM} [A]$	-	$I_{OPT\ TEG} [A]$	1	$U_{OUT} [V]$	-

2.20 Montecucco, Siviter a Knox

V roce 2015 byl vytvořen termoelektrický generátor na tuhé palivo. Generátor sloužil jako zdroj pro nabíjení baterií a plnil funkci zásobníku tepla vody používané v domácnostech. Chlazen byl vodou. Systém odváděl část tepla získaného spalováním recirkulací vody ze zásobníku skrz generátor. Zásobník vody musel být umístěn nad generátorem. Do systému byl připojen také MPPT regulátor. Schéma celého propojení je na obr. 2.18. Celkový výkon generátoru byl 42 W. Výstupní výkonové parametry generátoru jsou uvedeny v tabulce 2.20 [52].



Obr. 2.18: Schéma propojení generátoru (Montecucco, Siviter) [52]

Tabulka 2.20: Výkonové parametry generátoru - Montecucco, Siviter.

TEM	GM250-241-10-12	$I_{OPT\ TEM} [A]$	-	$U_{OC\ TEG} [V]$	-
Počet TEM	-	$U_{OC\ TEM} [V]$	-	$U_{OPT\ TEG} [V]$	7
$t_h [^{\circ}C]$	-	$U_{OPT\ TEM} [V]$	-	$R_{I\ TEG} [\Omega]$	-
$t_c [^{\circ}C]$	-	$\eta_{TEM} [\%]$	-	$R_{LOAD\ TEG} [\Omega]$	-
$R [K/W]$	-	$\rho_{E\ TEM} [W/cm^2]$	-	$\eta_{TEG} [\%]$	5
$\dot{q} [W/cm^2]$	-	$P_{TEG} [W]$	42	$\rho_{E\ TEG} [W/cm^2]$	-
$P_{TEM} [W]$	-	$I_{SC\ TEG} [A]$	-	Měnič	ne
$I_{SC\ TEM} [A]$	-	$I_{OPT\ TEG} [A]$	2	$U_{OUT} [V]$	-

2.21 BioLite CampStove

Společnost BioLite vyvinula řadu přenosných generátorů využívající spalování biomasy či pelet. Vznikly různé varianty těchto zařízení. Některé je možno připojit ke kamnům, jiné slouží jako kamna a generátor současně. Nejznámějším typem je CampStove (Obr. 2.19). Jedná se o malý přenosný generátor. Odpadní teplo z ohně proniká do připojeného termoelektrického modulu, kde se převádí na elektřinu. Ke generátoru je připojen USB port. Chlazení je zajištěno ventilátorem. Ventilátor pohání vzduch zpátky do hořáku (spalovací komory), kde pomáhá hoření. Je možnost na tomto přístroji i vařit. Elektrický výkon dosahuje 4 W [53].



Obr. 2.19: BioLite CampStove [53]

3 Generátory na plynná paliva

Generátory na plynná paliva jsou odlišná od těch na tuhá paliva. Hlavní rozdíly jsou v konstrukci a výkonu zařízení. Výstupní výkony generátorů spalující plyny jsou vyšší oproti menším přenosným generátorům na tuhá paliva. Nejčastěji používaným palivem generátorů je zemní plyn.

3.1 Allen a Wonsowski

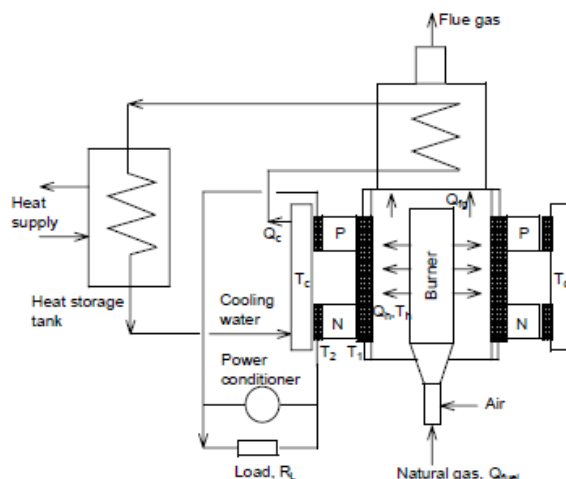
Roku 1998 byl sestaven termoelektrický generátor, který měl poskytovat dostatek elektrické energie pro základní potřeby domácností. Zdrojem tepla byla směs zemního plynu a vzduchu. Chlazení bylo zajištěno přirozenou konvekcí vzduchem. Použité moduly obklopovalo šest studených vodních chladících desek. Výstupní výkon generátoru dosáhl hodnoty 109 W. Další výstupní parametry generátoru jsou uvedeny v tabulce 3.1 [54].

Tabulka 3.1: Výkonové parametry generátoru - Allen, Wonsowski.

TEM	HZ-20	$I_{OPT\ TEM} [A]$	-	$U_{OC\ TEG} [V]$	-
Počet TEM	18	$U_{OC\ TEM} [V]$	-	$U_{OPT\ TEG} [V]$	13
$t_H [^{\circ}C]$	-	$U_{OPT\ TEM} [V]$	-	$R_{I\ TEG} [\Omega]$	-
$t_C [^{\circ}C]$	-	$\eta_{TEM} [\%]$	-	$R_{LOAD\ TEG} [\Omega]$	-
$R [K/W]$	-	$\rho_{E\ TEM} [W/cm^2]$	-	$\eta_{TEG} [\%]$	-
$\dot{q} [W/cm^2]$	-	$P_{TEG} [W]$	109	$\rho_{E\ TEG} [W/cm^2]$	0,11
$P_{TEM} [W]$	-	$I_{SC\ TEG} [A]$	-	Měnič	ne
$I_{SC\ TEM} [A]$	-	$I_{OPT\ TEG} [A]$	-	$U_{OUT} [V]$	-

3.2 Qiu a Hayden

Roku 2006 byl vytvořen termoelektrický generátor. Teplo získával spalováním zemního plynu a byl chlazen vodou. Schéma propojení generátoru zobrazeno na obr. 3.1. Zařízení bylo několikrát testováno. Při původním testování byly teploty modulů nižší než při testování z roku 2008. Dosažený výkon byl 553,9 W. Výkonové parametry generátoru jsou uvedeny v tabulce 3.2 [55] [56].



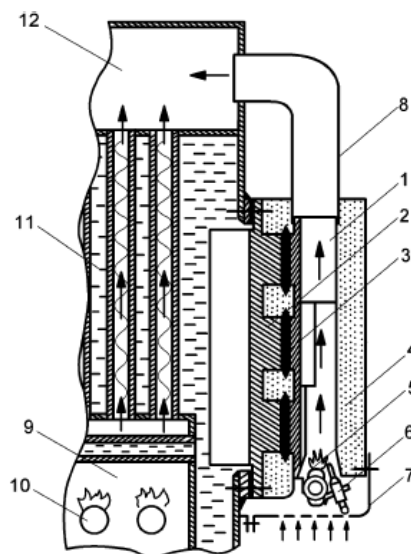
Obr. 3.1: Schéma propojení generátoru (Qiu, Hayden) [56]

Tabulka 3.2: Výkonové parametry generátoru - Qiu, Hayden.

TEM	-	$I_{OPT\ TEM} [A]$	-	$U_{OC\ TEG} [V]$	53,2
Počet TEM	-	$U_{OC\ TEM} [V]$	-	$U_{OPT\ TEG} [V]$	27,6
$t_H [^{\circ}C]$	637	$U_{OPT\ TEM} [V]$	-	$R_{I\ TEG} [\Omega]$	-
$t_C [^{\circ}C]$	85	$\eta_{TEM} [\%]$	-	$R_{LOAD\ TEG} [\Omega]$	-
$R [K/W]$	-	$\rho_{E\ TEM} [W/cm^2]$	-	$\eta_{TEG} [\%]$	-
$\dot{q} [W/cm^2]$	-	$P_{TEG} [W]$	553,9	$\rho_{E\ TEG} [W/cm^2]$	-
$P_{TEM} [W]$	20	$I_{SC\ TEG} [A]$	-	Měnič	ne
$I_{SC\ TEM} [A]$	-	$I_{OPT\ TEG} [A]$	20,1	$U_{OUT} [V]$	-

3.3 Anatychuk, Mykhailovsky a Strutynska

V roce 2010 byl vyroben termoelektrický generátor. Získával teplo spalováním zemního plynu. Generátor se skládal z výměníků vyrobených z hliníkových slitin, modulů umístěných mezi výměníky a plynného zdroje tepla (Obr. 3.2). Moduly byly zataveny k nerezové ocelové bedně, která byla naplněna inertním plynem. Generátor byl vybaven kontrolním zařízením sledujícím spalovací teploty, účinnost spáleného paliva a přehřátí výměníků. Přehřátí zabráňovalo chlazení systému ventilátorem. Byl umístěn k výstupní části kouřové komory. Jeho umístění pomáhalo odstraňování kouřových plynů z kotle. Výkon generátoru byl 65 W. Zbylé parametry získané během testování jsou v tabulce 3.3 [57].



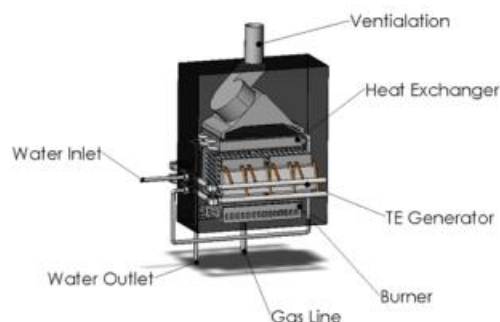
Obr. 3.2: Schéma propojení generátoru s kotlem. 1, 2 – tepelné výměníky, 3 – termoelektrické moduly, 4 – tepelně izolační prvek, 5 – hlavní hořák, 6 – startovací zařízení, 7 – spalovací pouzdro, 8 – kouřový komín, 9 – kotel, 10 – hořáky kotle, 11 – tepelné výměníky kotle, 12 – kouřová komora kotle (Anatychuk, Makhailovsky) [57]

Tabulka 3.3: Výkonové parametry generátoru - Anatychuk, Makhailovsky.

TEM	-	$I_{OPT\ TEM}$ [A]	-	$U_{OC\ TEG}$ [V]	20
Počet TEM	-	$U_{OC\ TEM}$ [V]	-	$U_{OPT\ TEG}$ [V]	12,5
t_H [°C]	285	$U_{OPT\ TEM}$ [V]	-	$R_{I\ TEG}$ [Ω]	-
t_C [°C]	35	η_{TEM} [%]	-	$R_{LOAD\ TEG}$ [Ω]	2,6
R [K/W]	-	$\rho_{E\ TEM}$ [W/cm ²]	-	η_{TEG} [%]	-
$\dot{q}$ [W/cm ²]	-	P_{TEG} [W]	65	$\rho_{E\ TEG}$ [W/cm ²]	-
P_{TEM} [W]	-	$I_{SC\ TEG}$ [A]	8,3	Měnič	ne
$I_{SC\ TEM}$ [A]	-	$I_{OPT\ TEG}$ [A]	-	U_{OUT} [V]	-

3.4 Qiu a Hayden

V roce 2011 byl sestaven odlišný plynový termoelektrický generátor. Prototyp se skládal z plynového hořáku, spalovací komory, tepelného výměníku, chladicího zařízení, termoelektrických modulů a zásobníku tepla (Obr. 3.3). Moduly byly umístěny mezi horkou stranou krycí desky se žebry a studenou stranu chlazení. Chladicí žebra snižovaly tepelný odpor působící na moduly. Chlazení zařízení zajišťovala voda. Výkon generátoru dosáhl hodnoty 161 W. Další parametry generátoru jsou uvedeny v tabulce 3.4 [58].



Obr. 3.3: Zobrazení prototypu generátoru (Qiu, Hayden) [58]

Tabulka 3.4: Výkonové parametry generátoru - Qiu, Hayden.

TEM	HZ	$I_{OPT\ TEM} [A]$	-	$U_{OC\ TEG} [V]$	39
Počet TEM	8	$U_{OC\ TEM} [V]$	-	$U_{OPT\ TEG} [V]$	18,9
$t_H [^{\circ}C]$	259	$U_{OPT\ TEM} [V]$	-	$R_{I\ TEG} [\Omega]$	-
$t_C [^{\circ}C]$	45	$\eta_{TEM} [\%]$	-	$R_{LOAD\ TEG} [\Omega]$	-
$R [K/W]$	-	$\rho_{E\ TEM} [W/cm^2]$	-	$\eta_{TEG} [\%]$	-
$\dot{q} [W/cm^2]$	-	$P_{TEG} [W]$	161	$\rho_{E\ TEG} [W/cm^2]$	-
$P_{TEM} [W]$	20	$I_{SC\ TEG} [A]$	16,5	Měnič	ne
$I_{SC\ TEM} [A]$	-	$I_{OPT\ TEG} [A]$	8,5	$U_{OUT} [V]$	-

3.5 Baskaya, Karaaslan, Calisir, aj.

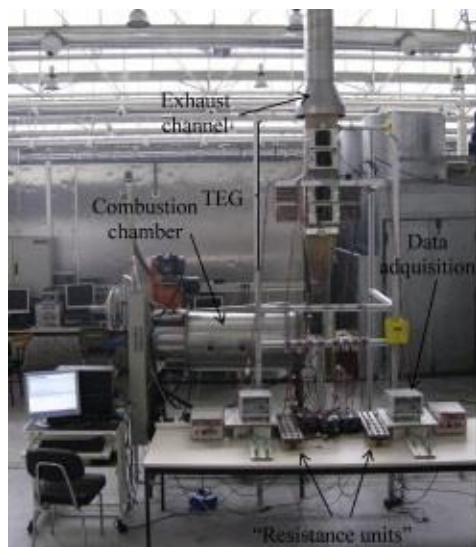
Účelem prototypu sestrojeného v roce 2014 bylo propojení generátoru s kondenzačním kombinovaným kotlem. Měla být snížena spotřeba elektrické energie a kotel měl být provozován bez připojení k elektrické síti. Generátor byl chlazen vodou a dosáhl výkonu 27,454 W. Výkonové parametry generátoru obsahuje tabulka 3.5 [17].

Tabulka 3.5: Výkonové parametry generátoru - Baskaya, Karaaslan.

TEM	TEHP1-1264-0.8	$I_{OPT\ TEM} [A]$	-	$U_{OC\ TEG} [V]$	15,94
Počet TEM	-	$U_{OC\ TEM} [V]$	-	$U_{OPT\ TEG} [V]$	9,77
$t_H [^{\circ}C]$	226,3	$U_{OPT\ TEM} [V]$	-	$R_{I\ TEG} [\Omega]$	1,7
$t_C [^{\circ}C]$	24,9	$\eta_{TEM} [\%]$	-	$R_{LOAD\ TEG} [\Omega]$	0,47
$R [K/W]$	-	$\rho_{E\ TEM} [W/cm^2]$	-	$\eta_{TEG} [\%]$	-
$\dot{q} [W/cm^2]$	-	$P_{TEG} [W]$	27,45	$\rho_{E\ TEG} [W/cm^2]$	-
$P_{TEM} [W]$	-	$I_{SC\ TEG} [A]$	-	Měnič	ne
$I_{SC\ TEM} [A]$	-	$I_{OPT\ TEG} [A]$	2,81	$U_{OUT} [V]$	-

3.6 Aranguren, Astrain, Rodríguez, aj.

Roku 2015 byl vyroben prototyp generátoru, který získával teplo spalováním zemního plynu. Zabýval se možností průmyslového využití odpadního tepla z výfukových plynů. Během experimentu se zjišťovalo optimální umístění studené strany generátoru a umístění chladiče v závislosti na měnícím se odporu. Experimentální výsledky částečně potvrdily výpočetní simulace chování generátoru. Použité moduly se spojovaly do skupin modulů. Umístily se k výfuku ze spalovací komory, na které navazovalo chlazení. To se skládalo z žeber, trubek a ventilátoru. Zapojení testového zařízení je zobrazeno na obr. 3.4. Výkon generátoru byl 21,56 W. Parametry generátoru dosažené během experimentu uvádí tabulka 3.6 [59].



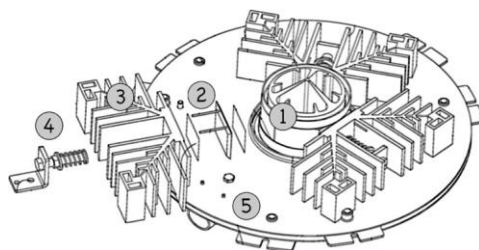
Obr. 3.4: Zapojení testovacího zařízení (Aranguren, Astrain) [59]

Tabulka 3.6: Výkonové parametry generátoru - Aranguren, Astrain.

TEM	TG12-8-01L	$I_{OPT\ TEM} [A]$	-	$U_{OC\ TEG} [V]$	-
Počet TEM	48	$U_{OC\ TEM} [V]$	-	$U_{OPT\ TEG} [V]$	-
$t_H [^{\circ}C]$	-	$U_{OPT\ TEM} [V]$	-	$R_{I\ TEG} [\Omega]$	-
$t_C [^{\circ}C]$	-	$\eta_{TEM} [\%]$	-	$R_{LOAD\ TEG} [\Omega]$	-
$R [K/W]$	-	$\rho_{E\ TEM} [W/cm^2]$	-	$\eta_{TEG} [\%]$	1,17
$\dot{q} [W/cm^2]$	-	$P_{TEG} [W]$	21,56	$\rho_{E\ TEG} [W/cm^2]$	-
$P_{TEM} [W]$	-	$I_{SC\ TEG} [A]$	-	Měnič	ne
$I_{SC\ TEM} [A]$	-	$I_{OPT\ TEG} [A]$	-	$U_{OUT} [V]$	-

3.7 Codecasa, Fanciulli, Gaddi, aj.

Sestavený prototyp generátoru z roku 2015, využíval ke svému chlazení konvekci vzduchem. Přirozené konvekce bylo docíleno vypnutím větráku, nucené jeho zapnutím. Prototyp zahrnoval vnitřní žebrovaný tepelný kolektor a vnější chlazení. U modulů docházelo k propojení materiálu na jeho obou stranách. Na teplé straně byl použit přírodní grafit, studená strana obsahovala termální vosk [60]. První testy ukázaly negativní stránky prototypu. Výstupní výkon závisel na nastavení tepelné úrovně. Na každé úrovni byl výkon velice nízký i při dosažení maximálních teplot. Dalším problémem bylo umístění. Generátor byl umístěn v horní části ohřívače. Obr. 3.5 ukazuje propojení modulů a hořáku. Při tomto umístění se teploty dostaly nad hranici povolenou pro stálý provoz. Byl sestaven další model generátoru. Ten se měl problémům vyvarovat. Hlavní změnou bylo umístění. Generátor byl posunut do středu hořáku a zvýšil se počet použitých modulů. Těmito změnami bylo dosaženo výkonu 4,94 W. Ostatní charakteristiky generátoru jsou uvedeny v tabulce 3.7 [26].



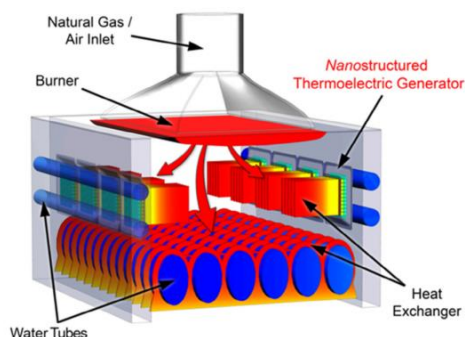
Obr. 3.5: Detailní zobrazení umístění modulů v propojení s hořákem: 1 - tepelný kolektor s vnitřními žebry, 2 - termoelektrický modul, 3 - chladičí žebra, 4 - upevňující podpěra, 5 - základ generátoru, v jehož středu je zasazen hořák (Codecasa, Fanciulli) [26]

Tabulka 3.7: Výkonové parametry generátoru - Codecasa, Fanciulli.

TEM	Altec-1060 TEGM	$I_{OPT\ TEM} [A]$	-	$U_{OC\ TEG} [V]$	15,5
Počet TEM	3	$U_{OC\ TEM} [V]$	-	$U_{OPT\ TEG} [V]$	7,49
$t_H [^{\circ}C]$	189	$U_{OPT\ TEM} [V]$	-	$R_{I\ TEG} [\Omega]$	-
$t_C [^{\circ}C]$	67	$\eta_{TEM} [\%]$	6,5	$R_{LOAD\ TEG} [\Omega]$	5,68
$R [K/W]$	-	$\rho_{E\ TEM} [W/cm^2]$	-	$\eta_{TEG} [\%]$	-
$\dot{q} [W/cm^2]$	-	$P_{TEG} [W]$	4,94	$\rho_{E\ TEG} [W/cm^2]$	-
$P_{TEM} [W]$	-	$I_{SC\ TEG} [A]$	1,2	Měnič	ne
$I_{SC\ TEM} [A]$	-	$I_{OPT\ TEG} [A]$	0,66	$U_{OUT} [V]$	-

3.8 Zhang, Wang, Cleary, aj.

Roku 2015 byl sestaven termoelektrický generátor, který využíval kogenerační systém (Obr. 3.6). Byl připojen ke kombinovanému plynovému kotli. Chlazení bylo zajištěno vodou, která měla udržovat stabilní teploty t_H a t_C . Polovodiče modulů byly připájeny tenkou vrstvou mědi a stříbra. Generátor využíval Half-Heuslerovských slitin. Slitiny jsou tepelně stabilní a mají vysokou energetickou hustotu. Výkon generátoru byl 94,5 W. Výkonové parametry generátoru jsou v tabulce 3.8 [61].



Obr. 3.6: Schématické zobrazení mikro-CHP systému (Y. Zhang, X. Wang) [61]

Tabulka 3.8: Výkonové parametry generátoru - Zhang, Wang.

TEM	-	$I_{OPT\ TEM} [A]$	-	$U_{OC\ TEG} [V]$	-
Počet TEM	8	$U_{OC\ TEM} [V]$	-	$U_{OPT\ TEG} [V]$	-
$t_H' [^{\circ}C]$	613	$U_{OPT\ TEM} [V]$	-	$R_{I\ TEG} [\Omega]$	-
$t_C' [^{\circ}C]$	113	$\eta_{TEM} [\%]$	-	$R_{LOAD\ TEG} [\Omega]$	-
$R [K/W]$	-	$\rho_{E\ TEM} [W/cm^2]$	-	$\eta_{TEG} [\%]$	24,5
$\dot{q} [W/cm^2]$	-	$P_{TEG} [W]$	94,5	$\rho_{E\ TEG} [W/cm^2]$	2
$P_{TEM} [W]$	-	$I_{SC\ TEG} [A]$	7	Měnič	ne
$I_{SC\ TEM} [A]$	-	$I_{OPT\ TEG} [A]$	3,5	$U_{OUT} [V]$	-

3.9 Gentherm Global Power Technologies

Firma Gentherm Power Technologies (GPT) vyrábí termoelektrické generátory spalující zemní plyn, propan nebo butan. Základem generátoru je hermeticky uzavřený termoelektrický modul. Jeho polovodiče se skládají z olova, cínu a teluridu. Na jedné straně modulu je umístěn plynový hořák, na straně druhé chlazení. Chlazení se skládá z hliníkových žeber. Plynový hořák je vyroben z vysokoteplotních slitin niklu. Generátory pracují při teplotě t_H' 540 °C a t_C' 140 °C. Výkony se pohybují mezi 15 a 550 W. Zařízení může být dálkově kontrolováno a ovládáno. Generátory se využívají při těžbě ropy, plynu, v telekomunikaci nebo pomáhají monitorování. Mohou být instalovány do odlehlých míst a rozvojových zemí [62] [63]. Dostupné typy generátorů jsou uvedeny v tabulce 3.9. Tabulka obsahuje nejvyšší hodnoty výkonů a napětí pro daný model při jmenovité teplotě 20 °C [64] [65].

Tabulka 3.9: Parametry dostupným modelů generátorů.

Model	$P_{TEG} [W]$	$U_{OPT\ TEG} [V]$	Palivo	Velikost [mm]
5030	21	24	Zemní plyn, propan	347×355×449
5050	50	24	Zemní plyn, propan	772×306×991
5060	60	6,7	Zemní plyn, propan	629×372×988
5100	100	48	Zemní plyn, propan	790×309×991
1120	110	6,7	Zemní plyn, propan	797×602×1150
5120	120	6,7	Zemní plyn, propan	757×372×988
5220	195	12	Zemní plyn, propan	810×450×1275
1500	500	24	Zemní plyn	1416×1416×2899
8500	520	24	Zemní plyn, propan	941×941×2464
8550	550	24	Zemní plyn, propan	1549×1549×1016

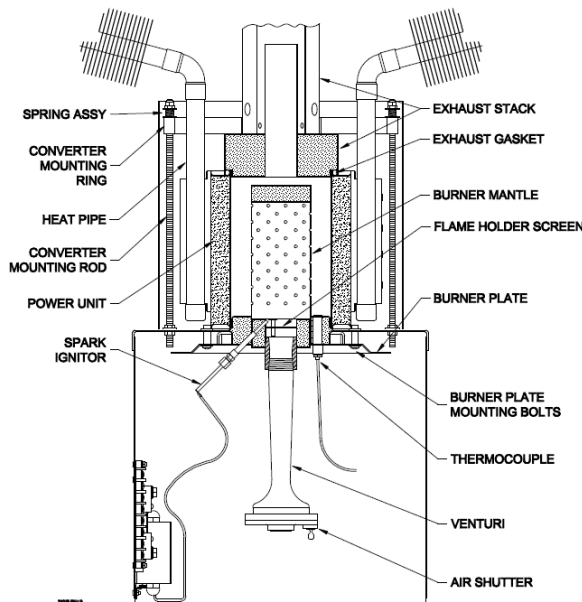
Model 8550

Tento model generátoru dosahuje nejvyššího výkonu z generátorů firmy Gentherm Global Power Technologies. Teplo získává spalováním zemního plynu nebo propanu. Generátor využívá přirozené konvekce vzduchem, která pomáhá spalování. Obsahuje 325

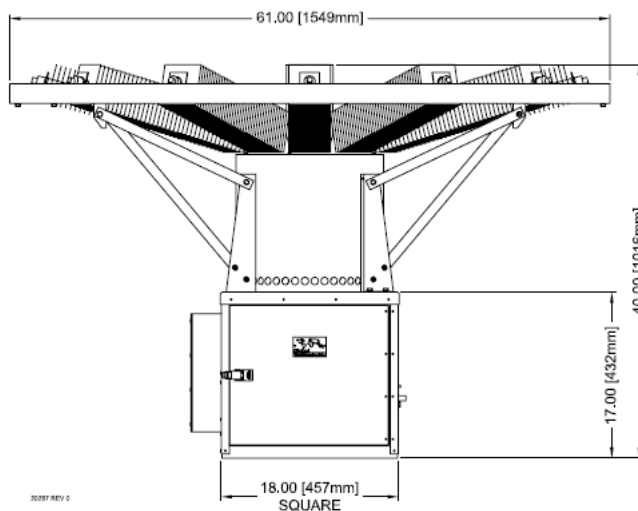
termoelektrických dvojic. Na obr. 3.7 je znázorněn spalovací prostor generátoru. Celý generátor je ukázán obr. 3.8. Dosahuje výkonu 550–560 W. Výkonové parametry generátoru jsou uvedeny v tabulce 3.10 [66] [67].

Tabulka 3.10: Výkonové parametry generátoru – GPT Model 8550.

TEM	-	$I_{OPT\ TEM} [A]$	0,085	$U_{OC\ TEG} [V]$	56
Počet TEM	-	$U_{OC\ TEM} [V]$	-	$U_{OPT\ TEG} [V]$	25
$t_H [^{\circ}C]$	538	$U_{OPT\ TEM} [V]$	-	$R_{I\ TEG} [\Omega]$	1
$t_C [^{\circ}C]$	163	$\eta_{TEM} [\%]$	-	$R_{LOAD\ TEG} [\Omega]$	1
$R [K/W]$	-	$\rho_{E\ TEM} [W/cm^2]$	-	$\eta_{TEG} [\%]$	-
$\dot{q} [W/cm^2]$	-	$P_{TEG} [W]$	560	$\rho_{E\ TEG} [W/cm^2]$	-
$P_{TEM} [W]$	10	$I_{SC\ TEG} [A]$	-	Měnič	ano
$I_{SC\ TEM} [A]$	-	$I_{OPT\ TEG} [A]$	22,4	$U_{OUT} [V]$	-



Obr. 3.7: Zobrazení spalovacího systému generátoru (GPT Model 8550) [67]



Obr. 3.8: Termoelektrický generátor – model 8550 [67]

4 Generátory na kapalná paliva

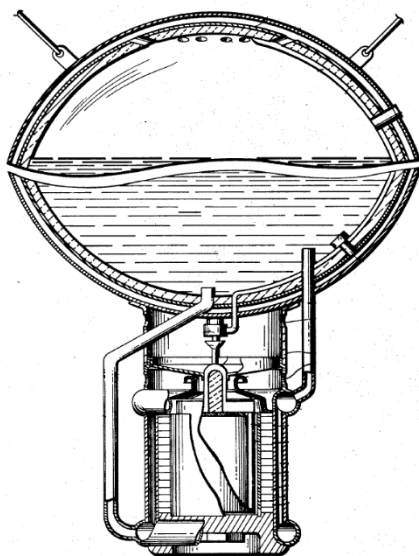
Generátory na kapalná paliva nejsou konstruovány příliš často. Jejich zastoupení je oproti generátorům na tuhá či plynná paliva výrazně nižší. V minulosti se výrobou těchto generátorů zabývala společnost Gentherm Power Technologies. V současné době zařízení nejsou na trhu a jsou v podstatě nedohledatelná. Z toho důvodu se rešerše generátorů na kapalná paliva skládá z jejich patentů.

4.1 Lockwood

Vynálezcem tohoto patentu byl roku 1968 Robert Addis Lockwood. Generátor obsahoval 280 dvojic TEM, hořák, chlazení, palivovou nádrž a regulátor napětí (Obr. 4.1). Termoelektrické moduly byly zapojeny do série a tvořily 28 řad termoelektrickým panelů. Tyto panely obklopovaly vnitřní část spalovací komory. Materiál použitých modulů byl kombinací bismutu a telluridu nebo germania a křemíku. Zařízení obsahovalo dvě oddělené proudící kapaliny. Jedna byla spalována a druhá byla použita pro chlazení. Chladicí kapalina se po průchodu generátorem vracela zpátky do palivové nádrže. To způsobilo přehřátí paliva. Použité palivo byl kapalný uhlovodík. Generátor dosáhl výkonu 100 W. Tabulka 4.1 uvádí výkonové parametry generátoru [68].

Tabulka 4.1: Výkonové parametry generátoru – Lockwood.

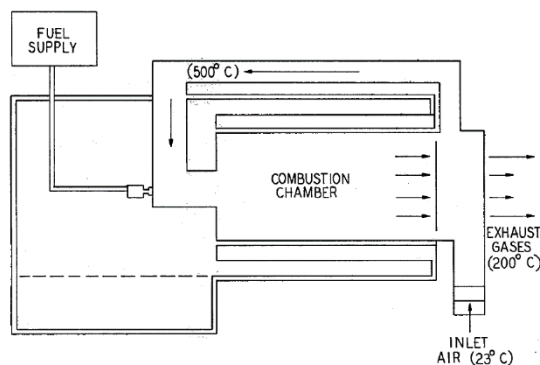
TEM	-	$I_{OPT\ TEM} [A]$	-	$U_{OC\ TEG} [V]$	-
Počet TEM	-	$U_{OC\ TEM} [V]$	47,6	$U_{OPT\ TEG} [V]$	28
$t_H [^{\circ}C]$	452	$U_{OPT\ TEM} [V]$	-	$R_{I\ TEG} [\Omega]$	-
$t_C [^{\circ}C]$	119	$\eta_{TEM} [\%]$	-	$R_{LOAD\ TEG} [\Omega]$	5,47
$R [K/W]$	-	$\rho_{E\ TEM} [W/cm^2]$	-	$\eta_{TEG} [\%]$	5
$\dot{q} [W/cm^2]$	-	$P_{TEG} [W]$	100	$\rho_{E\ TEG} [W/cm^2]$	-
$P_{TEM} [W]$	-	$I_{SC\ TEG} [A]$	-	Měnič	ano
$I_{SC\ TEM} [A]$	-	$I_{OPT\ TEG} [A]$	-	$U_{OUT} [V]$	-



Obr. 4.1: Zobrazení generátoru spalující kapalný uhlovodík (Lockwood) [68]

4.2 Guazzoni a Herchakowski

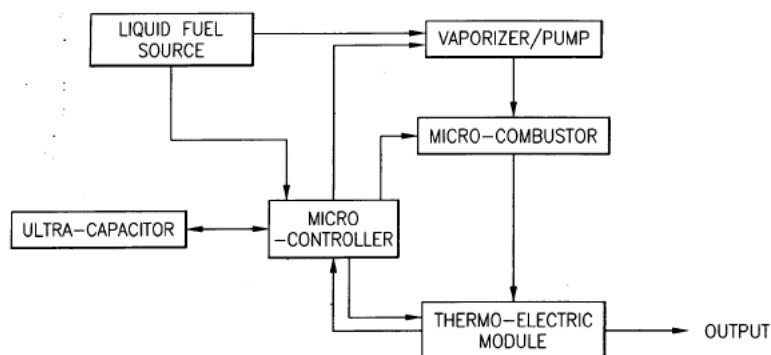
Guido Guazzoni a Andrew Herchakowski si nechali roku 1980 patentovat tento generátor. Generátor získával teplo spalováním uhlovodíkového paliva. Byl chlazen vzduchem. Vzduch, určený pro spalování, získával teplo v tepelném výměníku. Tento ohřátý vzduch byl smíchán s palivem (Obr. 4.2). Předehřátím vzduchu bylo potřeba menší množství paliva pro zahřátí spalovací komory. Generátor dosáhl výkonu okolo 500 W [69].



Obr. 4.2: Schéma spalování (Guazzoni a Herchakowski) [69]

4.3 Smith, Newton a Gassman

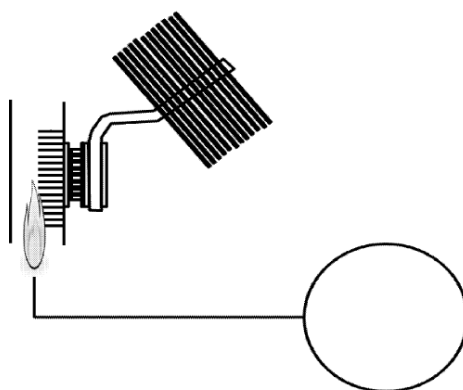
Patent byl vydán roku 2006. Generátor byl navržen pro získávání tepla spalováním různých druhů tekutých uhlíkových paliv. Tato paliva byla smíchána se vzduchem. Základem generátoru byla mikro-spalovací komora a termoelektrický modul. Celý systém byl řízen pomocí mikro-regulátoru, který byl napájen TEM. Bylo možno sledovat parametry generátoru v reálném čase v průběhu měření. Propojení celého systému je zobrazeno na obr. 4.3 [70].



Obr. 4.3: Propojení jednotlivých prvků generátoru (Smith, Newton) [70]

4.4 Jovovic, Crane a Kossakovski

Patent byl vydán roku 2013. Generátor získával teplo spalováním hořlavých kapalin, plynů nebo jejich kombinací. Obsahoval výměníky, které byly schopny přehřívat palivo. Výměníky byly v přímém spojení s termoelektrickými moduly. Odpadní teplo generátoru bylo přenášeno do žeber. Teplo bylo ze systému odváděno do okolního prostředí přirozenou konvekcí či radiací. Generátory mohly být využity na odlehlých místech, ropných potrubích nebo potrubích zemního plynu. Byly instalovány přímo na ropovody (Obr. 4.4) [71].



Obr. 4.4: Připojení TEG na ropné potrubí (Jovovic, Crane) [71]

4.5 Giaretta, Verani, Galletti, aj.

Patent tohoto generátoru vyšel roku 2015. Generátor obsahoval palivovou nádrž, spalovací komoru, ventilátor a čerpadlo. Čerpadlo dodávalo palivo do spalovací komory, kde se rozstříkovalo pomocí trysek a míchalo se se vzduchem dodávaným ventilátorem. Ventilátor se staral o chlazení. Generátor byl spojen s přenosným hořákem na kapalné palivo a měl zajistit dodávku elektrické energie do míst, kde byla nestabilní [72].

5 Porovnání aplikací termoelektrických generátorů

Generátory na tuhá a plynná paliva se liší umístěním TEM. U plyných generátorů bývají moduly začleněny přímo do kotle. To snižuje ztráty způsobené špatnou konstrukcí generátoru. Jako například komerční generátory společnosti GPT, které patří mezi nejvýkonnější. Oproti generátorům na tuhá paliva jsou jejich konstrukce větší. Experimentální aplikace TEG na tuhá paliva se často soustředí na možnost zavedení generátorů do rozvojových zemí. Společnost BioLite zdokonalila tuto myšlenku. Její komerční zařízení jsou schopny dodávat elektrickou energii prostým přístrojům za stálého chodu generátoru. To je výhoda oproti větším aplikacím, například generátoru TEG 400 (Kap. 2.9). Ten je schopen dodávat obrovský výkon, ale jeho dlouhodobý chod generátoru by byl nestabilní.

Generátory chlazené vodou dosahují lepších výkonů než chlazené vzduchem. Voda má vyšší měrnou tepelnou kapacitu než vzduch, proto je vhodnější pro chlazení termoelektrických generátorů. Chlazení vzduchem se používá u menších přenosných generátorů, kde jsou kladeny požadavky na jednoduchost a nízkou hmotnost zařízení. Tabulka 5.1 obsahuje výčet zmíněných aplikací termoelektrických generátorů a jejich srovnání.

Tabulka 5.1: Srovnání aplikací termoelektrických generátorů.

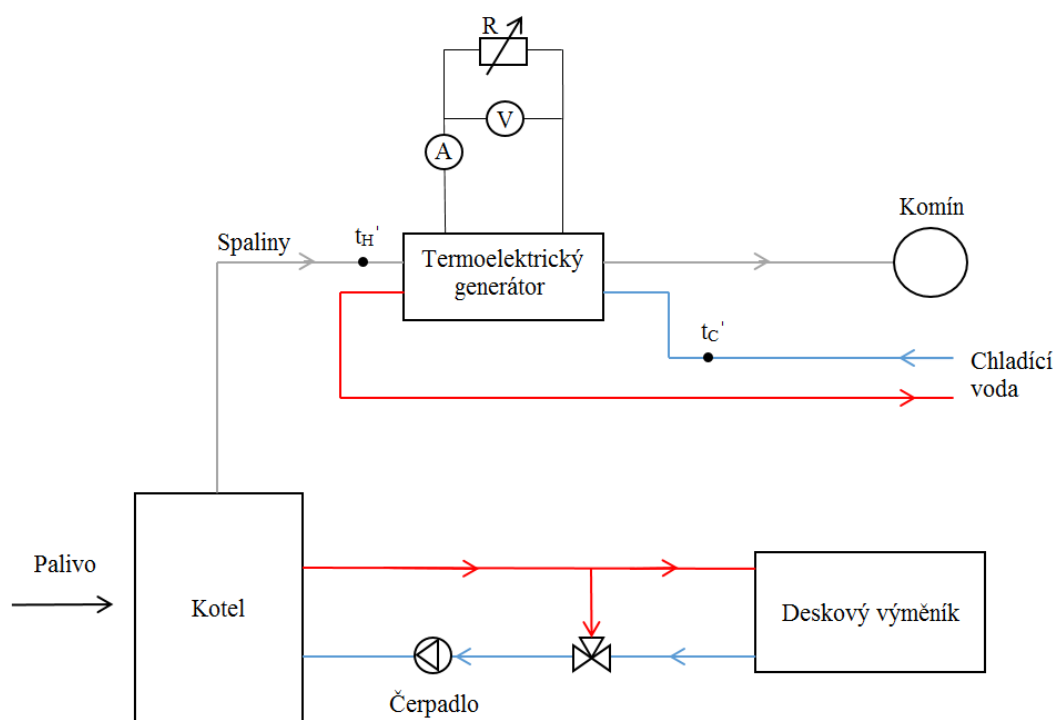
Autor	TEM	Počet TEM	Δt [°C]	P_{TEM} [W]	P_{TEG} [W]	$\rho_{E\ TEM} / \rho_{E\ TEG}$ [W/cm ²]	Konvekce	Médium
Lockwood (1968)	-	-	333	-	100	-/-	-	-
Killander (1996)	HZ-20	2	-	3,5	10	-/0,09	Nucená	Vzduch
Rowe (1997)	-	36	83	-	95	-/-	-	Voda
Tsuyoshi (1997)	-	160	180	7	470	-/-	-	Voda
Allen (1998)	HZ-20	18	200	-	109	-/0,11	Přirozená	Vzduch
Nuwayhid (2004)	TEP-12656	1	152	4,2	4,2	0,13/0,13	Přirozená	Vzduch
Nuwayhid (2004)	HZ-20	1	127	3,4	3,4	0,06/0,06	Nucená	Voda
Eakburanawat (2005)	TEP1-1264-1.5	6	140	-	7,99	-/0,08	-	-
Mastbergen (2005)	TEP1-1264-1.5	-	220	5,9	-	0,37/-	Nucená	Vzduch
Lertsatitthanakon (2006)	TEP1-1264-3.4	-	150	-	2,4	-/-	Přirozená	Vzduch
Qiu (2006)	-	325	552	-	553,9	-/-	Nucená	Voda
Moser (2008)	-	16	-	-	301	-/-	-	Voda

Champier (2009)	TEP1-12646-0.3	8	-	-	28	-/0,11	-	Voda
Anatychuk (2010)	-	-	250	-	65	-/-	Nucená	Vzduch
Hoskins (2010)	-	-	170	-	4,76	-/-	Nucená	Vzduch
Punnachaiya (2010)	TEC1-12710	4	25	15,22	52,8	0,95/0,83	Nucená	Vzduch
Qiu (2011)	HZ	8	214	20	161	-/-	Nucená	Voda
O'Shaughnessy (2012)	TEG 12610-5.1	1	200	5,3	5,3	-/0,33	Nucená	Vzduch
Brázdil (2013)	TEG-127-230-32e	4	112,8	-	8,5	-/0,13	Nucená	Voda
Goudarzi (2013)	TEP-12656-0.6	21	32,3	7,9	14,7	0,25/0,02	Nucená	Voda
Juanicó (2013)	G1-54-0557	9	82	3,4	30,3	0,128/0,127	Nucená	Vzduch
Baskaya (2014)	TEHP1-1264-0.8	-	201,4	-	27,45	-/-	-	Voda
Ma (2014)	-	8	505	-	29,7	-/0,019	-	-
Mal (2014)	HZ-9	-	150	4	4,5	0,1/-	Nucená	Vzduch
Raman (2014)	TEP1-1264-3.4	-	250	-	4,5	-/-	Nucená	Vzduch
Aranguren (2015)	TG12-8-01L	48	-	-	21,56	-/-	Nucená	Vzduch
Codecasa (2015)	Altec-1060	3	122	-	4,94	-/-	Přirozená	Vzduch
Montecucco (2015)	GM250-241-10-12	-	250	-	42	-/-	-	Voda
Zhang (2015)	-	8	500	-	94,5	-/-	-	-
BioLite	-	-	-	-	4	-/-	Nucená	Vzduch
GPT 8550	-	-	375	10	560	-/-	Přirozená	Vzduch

6 Popis experimentální tratě a měření jednotlivých veličin

Zjednodušené schéma experimentální tratě je zobrazeno na obr. 6.1. Palivo, v tomto případě dřevné pelety, byly dodávány do automatického kotle Verner A251.1, kde docházelo k jejich spalování. Kotel byl umístěn na váze, díky čemuž bylo možno sledovat aktuální množství spalovaných dřevních pelet během testování. Ohřátá voda proudila přes ochlazovací smyčku do deskového výměníku. Spaliny z kotle procházely termoelektrickým generátorem do komína. Při průchodu generátorem odevzdávaly část tepla chladicí vodě generátoru. Obr. 6.2 ukazuje reálné propojení experimentální tratě.

Teplota horké strany termoelektrického generátoru t_H' byla dána teplotou spalín vcházejících do generátoru. Teplotu studené strany generátoru t_C' určovala teplota chladicí vody generátoru. Ke generátoru byla připojena elektrická zátěž, voltmetr a ampérmetr. Díky tomu bylo možno měřit zátěžný odpor, zkratový proud a napětí a následně vykreslit zatěžovací charakteristiky. Současně s uvedenými parametry byl sledován tepelný výkon kotle, teplota chladicí vody kotle, průtok chladicí vody kotle a generátoru a tah komína.



Obr. 6.1: Zjednodušené schéma experimentální tratě



Obr. 6.2: Reálné propojení experimentální tratě

7 Vyhodnocení výkonových charakteristik

Výkonové charakteristiky termoelektrických modulů a termoelektrického generátoru se měřily při různých provozních stavech spalovacího zařízení. Měřily se při 30% a 70% výkonu kotle. Kvůli problémům s centrálním chlazením, nebylo možné měřit výkonové charakteristiky při 100% výkonu spalovacího zařízení. Teplota chladicí vody generátoru byla udržována na konstantní teplotě 15,5 °C. Průtok chladicí vody generátorem byl 0,4 m³/hod a průtok chladicí vody kotle 1,67 m³/hod.

Termoelektrické moduly byly měřeny pro různé konfigurace zapojení. Byly použity čtyři moduly TEG 10W. Všechny moduly byly proměřeny samostatně, v sériovém, sério-paralelním a paralelním propojení. Po konzultaci s vedoucím práce byl upřesněn cíl měření. V rámci této bakalářské práce budou uvedeny kompletní experimentální hodnoty pouze jednoho vybraného termoelektrického modulu a poté zapojení modulů sériově, sério-paralelně a paralelně.

V tabulkách níže jsou uvedeny záznamy z měření zatěžovacích charakteristik jednotlivých konfigurací a parametry kotle a teploty spalin, které se v průběhu měření měnily.

Modul č. 4

Tabulka 7.1 uvádí hodnoty naměřených výkonových parametry vybraného termoelektrického modulu použitého během testování. Při provozu kotle na 70 % byl výkon kotle 16,31 kW, teplota t_H 210 °C a napětí naprázdno 4,72 V. Při provozu na 30 % byl výkon kotle 7,38 kW, teplota t_H 135,5 °C a napětí naprázdno 2,72 V.

Tabulka 7.1: Změřená zátěžová charakteristika modulu 4 při různých provozních stavech kotle.

$R_{LOAD} [\Omega]$	70 %			30 %		
	I [A]	U [V]	P [W]	I [A]	U [V]	P [W]
1,50	1,60	2,39	3,83	0,98	1,47	1,44
2,50	1,19	2,98	3,54	0,72	1,80	1,30
5,50	0,67	3,72	2,49	0,40	2,20	0,88
10,50	0,39	4,41	1,72	0,22	2,43	0,54
20,50	0,21	4,40	0,93	0,12	2,57	0,31
50,50	0,09	4,58	0,41	0,04	2,67	0,11
100,50	0,04	4,64	0,19	0,02	2,70	0,05
200,50	0,02	4,68	0,09	0,01	2,72	0,03

Sériové zapojení termoelektrických modulů

Tabulka 7.2 uvádí hodnoty naměřených výkonových parametry vybraného termoelektrického modulu použitého během testování. Při provozu kotle na 70 % byl výkon kotle 18,31 kW, teplota t_H 209,6 °C a napětí naprázdno 17,75 V. Při provozu na 30 % byl výkon kotle 8,07 kW, teplota t_H 134,4 °C a napětí naprázdno 10,68 V. Některé výkonové charakteristiky nebylo možno proměřit z důvodu nevhodné elektrické zátěže.

Tabulka 7.2: Změřená zátěžová charakteristika sériového zapojení termoelektrických modulů při různých provozních stavech kotle.

$R_{LOAD} [\Omega]$	70 %			30 %		
	I [A]	U [V]	P [W]	I [A]	U [V]	P [W]
Zkrat	3,08	0,16	0,49	2,05	0,10	0,21
0,50	-	-	-	2,85	1,06	3,02
1,50	-	-	-	-	-	-
2,50	-	-	-	-	-	-
5,50	1,56	8,66	13,51	-	-	-
10,50	1,09	11,37	12,39	0,99	5,48	5,43
20,50	0,66	13,73	9,06	0,67	7,90	5,29
50,50	0,31	15,78	4,89	0,41	8,43	3,46
100,50	0,16	16,63	2,66	0,19	9,56	1,82
200,50	0,08	17,07	1,37	0,10	10,02	1,00
500,50	-	-	-	0,05	10,28	0,51

Séριο-paralelní zapojení termoelektrických modulů

Tabulka 7.3 uvádí hodnoty naměřených výkonových parametry vybraného termoelektrického modulu použitého během testování. Při provozu kotle na 70 % byl výkon kotle 19,78 kW, teplota t_H 209,9 °C a napětí naprázdno 8,71 V. Při provozu na 30 % byl výkon kotle 7,54 kW, teplota t_H 134,4 °C a napětí naprázdno 5,34 V.

Tabulka 7.3: Změřená zátěžová charakteristika séριο-paralelního zapojení termoelektrických modulů při různých provozních stavech kotle.

$R_{LOAD} [\Omega]$	70 %			30 %		
	I [A]	U [V]	P [W]	I [A]	U [V]	P [W]
1,50	2,99	4,45	13,29	1,89	2,84	5,36
2,50	2,20	5,50	12,10	1,39	3,48	4,83
5,50	1,25	6,95	8,68	0,77	4,28	3,29
10,50	0,73	7,72	5,64	0,44	4,71	2,07
20,50	0,39	8,22	3,20	0,24	4,97	1,19

50,50	0,17	8,87	1,51	0,10	5,15	0,51
100,50	0,08	8,69	0,69	0,05	5,21	0,26
200,50	0,04	8,76	0,35	0,02	5,23	0,11

Paralelní zapojení termoelektrických modulů

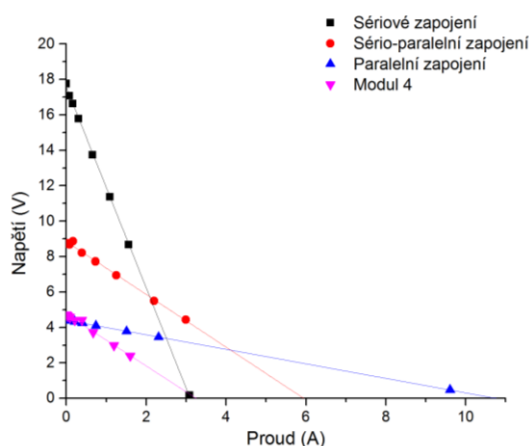
Tabulka 7.4 uvádí hodnoty naměřených výkonových parametry vybraného termoelektrického modulu použitého během testování. Při provozu kotle na 70 % byl výkon kotle 19,47 kW, teplota t_H 208,6 °C a napětí naprázdno 4,4 V. Při provozu na 30 % byl výkon kotle 8,25 kW, teplota t_H 131 °C a napětí naprázdno 2,60 V.

Tabulka 7.4: Změřená zátěžová charakteristika paralelního zapojení termoelektrických modulů při různých provozních stavech kotle.

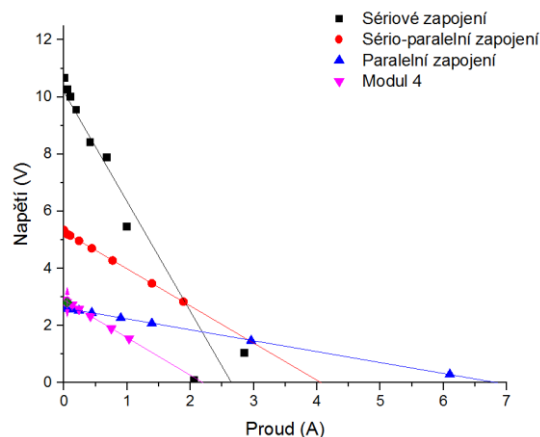
$R_{LOAD} [\Omega]$	70 %			30 %		
	I [A]	U [V]	P [W]	I [A]	U [V]	P [W]
Zkrat	9,61	0,47	4,49	6,10	0,29	1,81
0,50	4,84	2,42	11,72	2,96	1,47	4,37
1,50	2,31	3,46	7,98	1,39	2,08	2,89
2,50	1,51	3,78	5,71	0,90	2,27	2,04
5,50	0,74	4,10	3,03	0,44	2,45	1,08
10,50	0,40	4,25	1,70	0,24	2,53	0,61
20,50	0,21	4,33	0,91	0,13	2,58	0,33
50,50	0,08	4,38	0,35	0,04	2,61	0,10
100,50	0,04	4,40	0,18	0,02	2,62	0,05
200,50	0,02	4,40	0,09	0,01	2,62	0,03

Vyhodnocení

Nejlepších výstupních parametrů dosažených během testování dosahuje sériové zapojení termoelektrických modulů. Při tomto zapojení byla hodnota zátěžného napětí téměř dvojnásobně vyšší než při sério-paralelním zapojení, což bylo předpokládáno. Při sériovém zapojení se nepodařilo proměřit hodnoty optimálního napětí a proudu pro nižší zátěžový odpor. Použitá elektrická zátěž nebyla schopna tyto hodnoty proměřit. Zátěžovací křivky sledovaných konfigurací zapojení jsou zobrazeny na obr. 7.1 a 7.2. Hodnoty byly manuálně odečítány z měřících zařízení. I to mohlo způsobit značnou odchylku a nepřesnost měření.

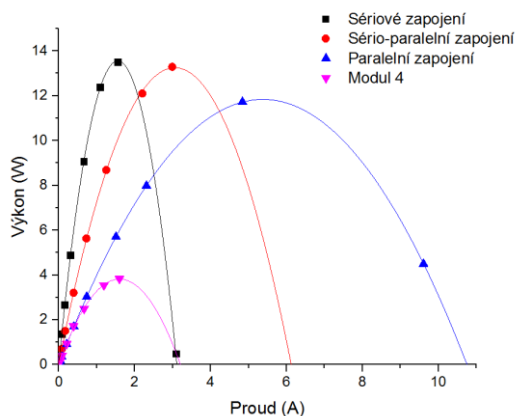


Obr. 7.1: Zatěžovací křivky různých konfigurací zapojení TEM při 70% výkonu kotle

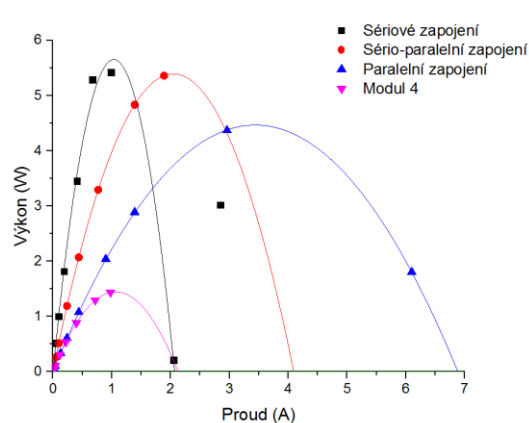


Obr. 7.2: Zatěžovací křivky různých konfigurací zapojení TEM při 30% výkonu kotle

Obr. 7.3 a 7.4 zobrazují výkonové charakteristiky sledovaných konfigurací zapojení. Z důvodu značné odchylky oproti ostatním naměřeným hodnotám byl z výkonové charakteristiky sériového zapojení při 30% provozu kotle vynechán bod při zátěžném odporu $0,5 \Omega$. Tuto odchylku považujeme za chybu měření.



Obr. 7.3: Výkonové charakteristiky různých konfigurací zapojení TEM při 70% výkonu kotle



Obr. 7.4: Výkonové charakteristiky různých konfigurací zapojení TEM při 30% výkonu kotle

Tabulka 7.5 uvádí výkonové parametry testovaného generátoru během 70% výkonu kotle při sériovém zapojení. Hodnoty termoelektrického modulu jsou vztaženy na modul č. 6. Ten v porovnání s ostatními použitými moduly dosahoval během testování nejlepších výstupních parametrů. Tabulka 7.6 uvádí hodnoty při 30% výkonu. Hodnoty

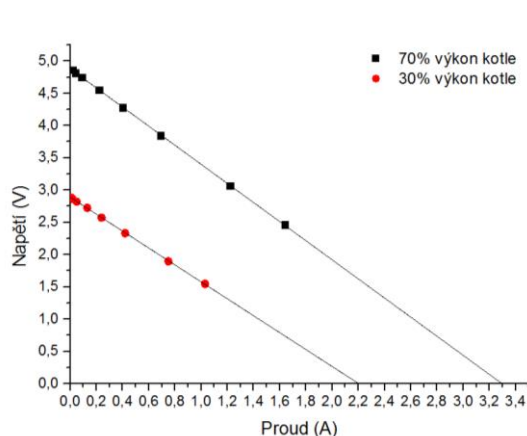
zkratového proudu, optimálního proudu, napětí naprázdno a optimálního napětí byly odečteny z grafů zátěžovacích a výkonových charakteristik pro sériové zapojení (Obr. 7.1 - 7.4) a modulu č. 6 (Obr. 7.5, 7.6).

Tabulka 7.5: Výkonové parametry testovaného generátoru při výkonu kotle 70 %.

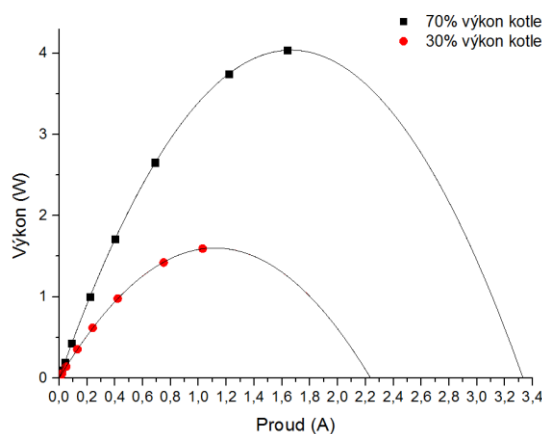
TEM	TEG 10W	$I_{OPT\ TEM} [A]$	1,64	$U_{OC\ TEG} [V]$	17,61
Počet TEM	4	$U_{OC\ TEM} [V]$	4,90	$U_{OPT\ TEG} [V]$	8,67
$t_H [^{\circ}C]$	209,9	$U_{OPT\ TEM} [V]$	2,46	$R_{I\ TEG} [\Omega]$	-
$t_C [^{\circ}C]$	15,5	$\eta_{TEM} [\%]$	-	$R_{LOAD\ TEG} [\Omega]$	1,5
$R [K/W]$	-	$\rho_{PE\ TEM} [W/cm^2]$	0,25	$\eta_{TEG} [\%]$	-
$\dot{q} [W/cm^2]$	-	$P_{TEG} [W]$	13,29	$\rho_{PE\ TEG} [W/cm^2]$	0,21
$P_{TEM} [W]$	4,04	$I_{SC\ TEG} [A]$	3,08	Měnič	ne
$I_{SC\ TEM} [A]$	3,28	$I_{OPT\ TEG} [A]$	1,56	$U_{OUT} [V]$	-

Tabulka 7.6: Výkonové parametry testovaného generátoru při výkonu kotle 30 %.

TEM	TEG 10W	$I_{OPT\ TEM} [A]$	1,13	$U_{OC\ TEG} [V]$	10,14
Počet TEM	4	$U_{OC\ TEM} [V]$	2,89	$U_{OPT\ TEG} [V]$	6,19
$t_H [^{\circ}C]$	137,4	$U_{OPT\ TEM} [V]$	1,4	$R_{I\ TEG} [\Omega]$	-
$t_C [^{\circ}C]$	15,5	$\eta_{TEM} [\%]$	-	$R_{LOAD\ TEG} [\Omega]$	1,5
$R [K/W]$	-	$\rho_{PE\ TEM} [W/cm^2]$	0,1	$\eta_{TEG} [\%]$	-
$\dot{q} [W/cm^2]$	-	$P_{TEG} [W]$	5,36	$\rho_{PE\ TEG} [W/cm^2]$	0,08
$P_{TEM} [W]$	1,59	$I_{SC\ TEG} [A]$	2,65	Měnič	ne
$I_{SC\ TEM} [A]$	2,20	$I_{OPT\ TEG} [A]$	1,03	$U_{OUT} [V]$	-



Obr. 7.5: Zátěžovací charakteristiky modulu č. 6 pro různé výkony kotle



Obr. 7.6: Výkonové charakteristiky modulu č. 6 pro různé výkony kotle

Závěr

Značný vliv na výstupní parametry termoelektrických generátorů mají použité termoelektrické moduly. Proto je snaha, při sestavování aplikací, využít nejlepších dostupných termoelektrických modulů. Parametrů, které uvádějí výrobci modulů, není mnohdy možné během testování dosáhnout. Je obtížné objektivně rozhodnout, které moduly jsou pro vyvíjené generátory ty nejlepší.

Aplikace jednotlivých termoelektrických generátorů obsahují tabulky, uvádějící jejich výkonové parametry. Mnohé generátory byly v průběhu svého vývoje několikrát testovány. Pokud není jinak uvedeno, tabulky obsahují nejvyšší experimentálně zjištěné výstupní hodnoty. Tabulky nejsou uvedeny u aplikací generátorů, u kterých byl znám pouze výkon zařízení. Autoři u testovaných generátorů často neuvádí všechny sledované parametry. Tabulky neobsahují hodnoty, které autoři neuvádí nebo nebyly měřeny. Zvláště u experimentálních aplikací termoelektrických generátorů nebývají měřící metody a použitá konstrukce zcela přesně popsány. Množství hodnot uváděných v tabulkách naznačuje kvalitu daného generátoru v porovnání s ostatními aplikacemi. V tabulce porovnávající jednotlivé aplikace (Tab. 5.1) je možno sledovat vývoj a zdokonalování konstrukce termoelektrických generátorů. Výstupní parametry generátorů se liší z hlediska způsobu získávání tepla, chlazení a použitých termoelektrických modulů. Je možno sledovat rozdíly mezi aplikacemi využívající totožné moduly. Ty často dosahují rozdílných výkonů, což může být způsobeno jejich odlišnou, případně špatnou konstrukcí nebo zapojením.

Měřený termoelektrický generátor získával teplo spalováním dřevných pelet v automatickém kotli Verner A251.1. Z důvodu neúplné funkčnosti centrálního chlazení, nebylo možno měřit generátor při 100% výkonu kotle. Měřilo se při 70% a 30% výkonu. Pro měření byly vybrány moduly podobných vnitřních parametrů a postupně byla měřena různá propojení - v sériovém, sério-paralelním a paralelním zapojení. Měření probíhalo nastavováním zátěžného odporu a následným odečítáním hodnot zátěžného napětí a proudu pro danou zátěž. Během měření nebyla elektrická zátěž schopna změřit všechny zátěžné body. Nejlepších výstupních výkonových parametrů dosáhl generátor při sériovém zapojení termoelektrických modulů, kdy bylo dosaženo výkonu 5,43 W (30 %), resp. 13,51 W (70 %). Výstupní výkon generátoru se oproti původnímu testování zvýšil téměř o 5 W. Během prvního testování (Kap. 2.14) běžel kotel na 100% výkon při teplotě spalin okolo 223 °C. Termoelektrické moduly použité během tohoto testování byly odlišné než u minulých testování. V předchozím testování byly použity moduly TEG-127-230-32e, nyní moduly TEG 10W. Lišilo se také připojení generátoru ke kotli. Původní vodorovné připevnění bylo nahrazeno propojením svislým.

Seznam použitých zdrojů

- [1] *Thermoelectrics* [online]. b.r. [cit. 2016-04-02]. Dostupné z: <http://thermoelectrics.matsci.northwestern.edu/thermoelectrics/index.html>
- [2] TERMoeLEKTRICKÝ GENERÁTOR PRO VYUŽITÍ TEPELNÉ ENERGIE SPALIN KOTLŮ MALÝCH VÝKONŮ. In: *Energetický ústav* [online]. b.r. [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://www.eu.fme.vutbr.cz/file/44/>
- [3] BRAZDIL, Marian a Jiri POSPISIL. Thermoelectric Power Generation Utilizing the Waste Heat from a Biomass Boiler. *Journal of Electronic Materials*. 2013, **42**(7), 2198-2202. DOI: 10.1007/s11664-013-2570-7. ISSN 0361-5235. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s11664-013-2570-7>
- [4] BRÁZDIL, Marian a Jiří POSPÍŠIL. Možnosti využití termoelektrických jevů pro výrobu elektrické energie z odpadního tepla. In: *Tzbinfo* [online]. b.r. [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: <http://energetika.tzb-info.cz/kogenerace/10220-moznosti-vyuziti-termoelektrickych-jevu-pro-vyrobu-elektricke-energie-z-odpadniho-tepla>
- [5] EAKBURANAWAT, Jensak a Itsda BOONYAROONATE. Development of a thermoelectric battery-charger with microcontroller-based maximum power point tracking technique. *Applied Energy*. 2006, **83**(7), 687-704. DOI: 10.1016/j.apenergy.2005.06.004. ISSN 03062619. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261905001133>
- [6] TEP1-1264-1.5. *Thermonamic* [online]. b.r. [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <http://www.thermonamic.com/TEP1-1264-1.5-English.pdf>
- [7] KINSELLA, C.E., S.M. O'SHAUGHNESSY, M.J. DEASY, M. DUFFY a A.J. ROBINSON Battery charging considerations in small scale electricity generation from a thermoelectric module. *Applied Energy*. 2014, **114**, 80-90. DOI: 10.1016/j.apenergy.2013.09.025. ISSN 03062619. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261913007721>
- [8] LERTSATITTHANAKORN, C., W. SRISUWAN, C. THANACHAYANONT, A. VORASIGHA a S. MANEEWAN COMPARATIVE INVESTIGATION OF THERMOELECTRIC POWER AND COOLING MODULES. *Experimental Techniques*. 2011, **35**(1), 33-36. DOI: 10.1111/j.1747-1567.2009.00582.x. ISSN 07328818. Dostupné také z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1747-1567.2009.00582.x>
- [9] Power Module. *Thermonamic* [online]. b.r. [cit. 2016-04-26]. Dostupné z: http://www.thermonamic.com/Power_Module_Installatio.pdf
- [10] TEC1-12710. *Hebei* [online]. b.r. [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: <http://www.hebeiltd.com.cn/peltier.datasheet/TEC1-12710.pdf>
- [11] HZ-20. *Hi-Z* [online]. b.r. [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: http://www.hi-z.com/uploads/2/3/0/9/23090410/hz-20_datasheet.pdf

- [12] HZ-9. *Hi-Z* [online]. b.r. [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <http://www.hi-z.com/uploads/2/3/0/9/23090410/hz-9.pdf>
- [13] TEP1-12656-0.6. *Thermonamic* [online]. b.r. [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <http://www.thermonamic.com/TEP1-12656-0.6-English.pdf>
- [14] GOUDARZI, A.M., P. MAZANDARANI, R. PANAHI, H. BEHSAZ, A. REZANIA a L.A. ROSENDAHL Integration of Thermoelectric Generators and Wood Stove to Produce Heat, Hot Water, and Electrical Power. *Journal of Electronic Materials*. 2013, **42**(7), 2127-2133. DOI: 10.1007/s11664-013-2545-8. ISSN 0361-5235. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s11664-013-2545-8>
- [15] TEP1-1264-3.4. *Thermonamic* [online]. b.r. [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <http://www.thermonamic.com/TEP1-1264-3.4-English.pdf>
- [16] TEHP1-1264-0.8. *Thermonamic* [online]. b.r. [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <http://www.thermonamic.com/TEHP1-1264-0.8-English.pdf>
- [17] BASKAYA, Senol, Salih KARAASLAN, Tamer CALISIR, M. ZEKI YILMAZOGLU a Turgut O. YILMAZ Experimental and Numerical Study on Thermoelectric Generator Performance Applied to a Condensing Combi Boiler. *Heat Transfer Engineering*. 2014, **36**(14-15), 1292-1302. DOI: 10.1080/01457632.2014.995002. ISSN 0145-7632. Dostupné také z: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01457632.2014.995002>
- [18] TEHP1-12656-0.3. *Thermonamic* [online]. b.r. [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <http://www.thermonamic.com/TEHP1-12656-0.3-English.pdf>
- [19] FAVAREL, Camille, Daniel CHAMPIER, Tarik KOUSKSOU, Jean-Francois ROZIS a Jean Pierre BÉDÉCARRATS. Thermoelectricity, a Promising Complementarity with Efficient Stoves in Off-Grid-Areas. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*. 2015, **3**(3), 256-268. DOI: 10.13044/j.sdewes.2015.03.0020. ISSN 18489257. Dostupné také z: <http://www.sdewes.org/jsdewes/pi2015.03.0020>
- [20] TEC1-12710. *Thermonamic* [online]. b.r. [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <http://thermonamic.com/TEC1-12710-English.pdf>
- [21] TEG1-12610-5.1. *Tecteg Power Generator* [online]. b.r. [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <http://tecteg.com/wp-content/uploads/2014/09/SpecTEG1-12610-5.1Thermoelectric-generator1.pdf>
- [22] TG127-230-32e. *Thermalforce* [online]. b.r. [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <http://www.thermalforce.de/de/product/thermogenerator/TG127-230-32e.pdf>
- [23] TG12-8-01L. *Marlow* [online]. b.r. [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: http://www.marlow.com/downloads/dl/file/id/157/product/114/tg12_8_data_sheet_rev1.pdf
- [24] GM250-241-10-12. *European Thermodynamics* [online]. b.r. [cit. 2016-04-12]. Dostupné z:

- [http://www.europanthermodynamics.com/products/datasheets/GM250-241-10-12%20\(2\).pdf](http://www.europanthermodynamics.com/products/datasheets/GM250-241-10-12%20(2).pdf)
- [25] JUANICÓ, Luis E., Fabián RINALDE, Eduardo TAGLIALAVORE a Marcelo MOLINA. Novel Heat Controller for Thermogenerators Working on Uncontrolled Stoves. *Journal of Electronic Materials* [online]. 2013, **42**(7), 1776-1780 [cit. 2016-05-27]. DOI: 10.1007/s11664-012-2429-3. ISSN 0361-5235. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s11664-012-2429-3>
- [26] CODECASA, Matteo Paolo, Carlo FANCIULLI, Roberto GADDI, Francisco GOMEZ-PAZ a Francesca PASSARETTI. Update on the Design and Development of a TEG Cogenerator Device Integrated into Self-Standing Gas Heaters. *Journal of Electronic Materials*. 2013, **42**(7), 2243-2248. DOI: 10.1007/s11664-013-2598-8. ISSN 0361-5235. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s11664-013-2598-8>
- [27] TEG 10W. In: *TEGMART* [online]. b.r. [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://www.tegmart.com/datasheets/TGPR-10W4V-40S.pdf>
- [28] KILLANDER, A. a J.C. BASS A stove-top generator for cold areas. *Fifteenth International Conference on Thermoelectrics. Proceedings ICT '96*. IEEE, 1996, , 390-393. DOI: 10.1109/ICT.1996.553511. ISBN 0-7803-3221-0. Dostupné také z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=553511>
- [29] ROWE, M.D. GAO MIN, S.G.K. WILLIAMS, A. AOUNE, K. MATSUURA, V.L. KUZNETSOV a LI WEN FU. Thermoelectric recovery of waste heat-case studies. *IECEC-97 Proceedings of the Thirty-Second Intersociety Energy Conversion Engineering Conference (Cat. No.97CH6203)*. IEEE, 1997, , 1075-1079. DOI: 10.1109/IECEC.1997.661919. ISBN 0-7803-4515-0. Dostupné také z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=661919>
- [30] TSUYOSHI, A., S. KAGAWA, M. SAKAMOTO a K. MATSUURA A study of commercial thermoelectric generation in a processing plant of combustible solid waste. *XVI ICT '97. Proceedings ICT'97. 16th International Conference on Thermoelectrics (Cat. No.97TH8291)*. IEEE, 1997, , 555-558. DOI: 10.1109/ICT.1997.667590. ISBN 0-7803-4057-4. Dostupné také z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=667590>
- [31] NUWAYHID, Rida Y., Alan SHIHADAH a Nesreen GHADDAR. Development and testing of a domestic woodstove thermoelectric generator with natural convection cooling. *Energy Conversion and Management*. 2005, **46**(9-10), 1631-1643. DOI: 10.1016/j.enconman.2004.07.006. ISSN 01968904. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0196890404001931>
- [32] NUWAYHID, R.Y. a R. HAMADE Design and testing of a locally made loop-type thermosyphonic heat sink for stove-top thermoelectric generators. *Renewable Energy*. 2005, **30**(7), 1101-1116. DOI: 10.1016/j.renene.2004.09.008. ISSN 09601481. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960148104003763>

- [33] MASTBERGEN, D., B. WILLSON a J. JOSHI Producing light from stoves using a thermoelectric generator. *Ethos*. 2005.
- [34] LERTSATITTHANAKORN, C. Electrical performance analysis and economic evaluation of combined biomass cook stove thermoelectric (BITE) generator. *Bioresource Technology*. 2007, **98**(8), 1670-1674. DOI: 10.1016/j.biortech.2006.05.048. ISSN 09608524. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960852406002860>
- [35] MOSER, W. *A biomass-fuel based micro-scale CHP system with thermoelectric generators*. Central European Biomass Conference, Graz. 2008.
- [36] MOSER, W. a G. FRIEDL Micro-CHP – Experiences with thermoelectric generators integrated in a wood pellet combustion unit. In: *BIOENERGY 2020+* [online]. b.r. [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: <http://www.bioenergy2020.eu/files/publications/pdf/I1-1570.pdf>
- [37] HOEFTBERGER, Ernst. *Grid autarchy of automated pellets combustion systems by the means of thermoelectric generators* [online]. In: . b.r. [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/269093535_Grid_autarchy_of_automated_pellets_combustion_systems_by_the_means_of_thermoelectric_generators
- [38] CHAMPIER, D., J.P. BEDECARRATS, M. RIVALETTO a F. STRUB Thermoelectric power generation from biomass cook stoves. *Energy* [online]. 2010, **35**(2), 935-942 [cit. 2016-03-08]. DOI: 10.1016/j.energy.2009.07.015. ISSN 03605442. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360544209002916>
- [39] CHAMPIER, D., C. FAVAREL, J. P. BÉDÉCARRATS, T. KOUSKSOU a J. F. ROZIS Prototype Combined Heater/Thermoelectric Power Generator for Remote Applications. *Journal of Electronic Materials* [online]. 2013, **42**(7), 1888-1899 [cit. 2016-03-08]. DOI: 10.1007/s11664-012-2459-x. ISSN 03615235. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s11664-012-2459-x>
- [40] FAVAREL, Camille, Daniel CHAMPIER, Tarik KOUSKSOU, Jean-Francois ROZIS a Jean Pierre BÉDÉCARRATS. Thermoelectricity, a Promising Complementarity with Efficient Stoves in Off-Grid-Areas. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems* [online]. 2015, **3**(3), 256-268 [cit. 2016-03-08]. DOI: 10.13044/j.sdewes.2015.03.0020. ISSN 18489257. Dostupné z: <http://www.sdewes.org/jsdewes/pi2015.03.0020>
- [41] HOSKINS, S., L. POANDL a D. SCANNELL Thermoelectric power system for improved Haitian cookstove. *Multi-Disciplinary Senior Design Conference*. 2008.
- [42] PUNNACHAIYA, S. Development of low grade waste heat thermoelectric power generator. *Sonklanakar Journal of Science and Technology*. 2010. ISSN 32.3: 307.
- [43] O'SHAUGHNESSY, S.M., M.J. DEASY, C.E. KINSELLA, J.V. DOYLE a A.J. ROBINSON Small scale electricity generation from a portable biomass

- cookstove: Prototype design and preliminary results. *Applied Energy* [online]. 2013, **102**, 374-385 [cit. 2016-03-08]. DOI: 10.1016/j.apenergy.2012.07.032. ISSN 03062619. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261912005545>
- [44] KINSELLA, C.E., S.M. O'SHAUGHNESSY, M.J. DEASY, M. DUFFY a A.J. ROBINSON Battery charging considerations in small scale electricity generation from a thermoelectric module. *Applied Energy* [online]. 2014, **114**, 80-90 [cit. 2016-03-08]. DOI: 10.1016/j.apenergy.2013.09.025. ISSN 03062619. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261913007721>
- [45] BRAZDIL, Marian a Jiri POSPISIL. Thermoelectric Power Generation Utilizing the Waste Heat from a Biomass Boiler. *Journal of Electronic Materials* [online]. 2013, **42**(7), 2198-2202 [cit. 2016-03-08]. DOI: 10.1007/s11664-013-2570-7. ISSN 03615235. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s11664-013-2570-7>
- [46] BRÁZDIL, Marian, Ladislav ŠNAJDÁREK, Petr KRACÍK a Jirí POSPÍŠIL. AUTOMATIC BIOMASS BOILER WITH AN EXTERNAL THERMOELECTRIC GENERATOR. *Acta Polytechnica*. 2014, **54**(1), -. DOI: 10.14311/AP.2014.54.0006. ISSN 1805-2363. Dostupné také z: <https://ojs.cvut.cz/ojs/index.php/ap/article/view/2039>
- [47] GOUDARZI, A.M., P. MAZANDARANI, R. PANAHI, H. BEHSAZ, A. REZANIA a L.A. ROSENDAHL Integration of Thermoelectric Generators and Wood Stove to Produce Heat, Hot Water, and Electrical Power. *Journal of Electronic Materials* [online]. 2013, **42**(7), 2127-2133 [cit. 2016-03-08]. DOI: 10.1007/s11664-013-2545-8. ISSN 03615235. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s11664-013-2545-8>
- [48] GAO, H.B., G.H. HUANG, H.J. LI, Z.G. QU a Y.J. ZHANG Development of stove-powered thermoelectric generators: A review. *Applied Thermal Engineering*. 2016, **96**, 297-310. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2015.11.032. ISSN 13594311. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1359431115012685>
- [49] MA, Hsiao-Kang, Ching-Po LIN, How-Ping WU, Chun-Hao PENG a Chia-Cheng HSU. Waste heat recovery using a thermoelectric power generation system in a biomass gasifier. *Applied Thermal Engineering*. 2015, **88**, 274-279. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2014.09.070. ISSN 13594311. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1359431114008424>
- [50] MAL, R. Thermoelectric Power Generator Integrated Cookstove: A Sustainable Approach of Waste Heat to Energy Conversion. *International Journal of Research in Engineering and Technology (IJRET)*. b.r.. ISSN 3: 35-40.
- [51] RAMAN, Perumal, Narasimhan K. RAM a Ruchi GUPTA. Development, design and performance analysis of a forced draft clean combustion cookstove powered by a thermo electric generator with multi-utility options. *Energy*. 2014, **69**, 813-825. DOI: 10.1016/j.energy.2014.03.077. ISSN 03605442. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360544214003417>

- [52] MONTECUCCO, A., J. SIVITER a A.R. KNOX Combined heat and power system for stoves with thermoelectric generators. *Applied Energy*. 2015, , -. DOI: 10.1016/j.apenergy.2015.10.132. ISSN 03062619. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261915013744>
- [53] *BioLite* [online]. b.r. [cit. 2016-03-16]. Dostupné z: <http://www.biolitestove.com/products/biolite-campstove>
- [54] ALLEN, D.T. a J. WONSOWSKI Thermoelectric self-powered hydronic heating demonstration. *XVI ICT '97. Proceedings ICT'97. 16th International Conference on Thermoelectrics (Cat. No.97TH8291)*. IEEE, 1997, , 571-574. DOI: 10.1109/ICT.1997.667594. ISBN 0-7803-4057-4. Dostupné také z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=667594>
- [55] QIU, K. a A. C. S. HAYDEN Integrated Thermoelectric Generator and Application to Self-Powered Heating Systems. *2006 25th International Conference on Thermoelectrics*. IEEE, 2006, , 198-203. DOI: 10.1109/ICT.2006.331332. ISBN 1-4244-0810-5. Dostupné také z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4133270>
- [56] QIU, K. a A.C.S. HAYDEN Development of a thermoelectric self-powered residential heating system. *Journal of Power Sources*. 2008, **180**(2), 884-889. DOI: 10.1016/j.jpowsour.2008.02.073. ISSN 03787753. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378775308003868>
- [57] ANATYCHUK, L. I., V. Ya. MYKHAILOVSKY a L. T. STRUTYNSKA Thermoelectricity in Self-Contained Heating and Boiler Systems. *Journal of Electronic Materials*. 2010, **39**(9), 1404-1407. DOI: 10.1007/s11664-010-1318-x. ISSN 0361-5235. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s11664-010-1318-x>
- [58] QIU, K. a A. C. S. HAYDEN Development of Thermoelectric Self-Powered Heating Equipment. *Journal of Electronic Materials*. 2011, **40**(5), 606-610. DOI: 10.1007/s11664-010-1473-0. ISSN 0361-5235. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s11664-010-1473-0>
- [59] ARANGUREN, P., D. ASTRAIN, A. RODRÍGUEZ a A. MARTÍNEZ Experimental investigation of the applicability of a thermoelectric generator to recover waste heat from a combustion chamber. *Applied Energy*. 2015, **152**, 121-130. DOI: 10.1016/j.apenergy.2015.04.077. ISSN 03062619. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261915005401>
- [60] CODECASA, Matteo Paolo, Carlo FANCIULLI, Roberto GADDI, Francisco GOMEZ-PAZ a Francesca PASSARETTI. Design and Development of a TEG Cogenerator Device Integrated into a Self-Standing Natural Combustion Gas Stove. *Journal of Electronic Materials*. 2015, **44**(1), 377-383. DOI: 10.1007/s11664-014-3297-9. ISSN 0361-5235. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s11664-014-3297-9>
- [61] ZHANG, Yanliang, Xiaowei WANG, Martin CLEARY, Luke SCHOENSEE, Nicholas KEMPF a Joseph RICHARDSON. *High-performance nanostructured thermoelectric generators for micro combined heat and power systems*. b.r.. DOI:

- 10.1016/j.applthermaleng.2015.11.064. Dostupné také z:
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1359431115013101>
- [62] Global (GPT) TEGs. *Gentherm Global Power Technologies* [online]. b.r. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z:
http://www.genthermglobalpower.com/sites/default/files/product_files/2.%20TEG%20Brochure%20GPT%20Penguins%20Rev%201-15_v9%20web.pdf
- [63] Global (GPT) TEGs. *Gentherm Global Power Technologies* [online]. b.r. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z:
<http://www.genthermglobalpower.com/products/global-gpt-tegs>
- [64] Přehled TEG. In: *Gentherm Global Power Technologies* [online]. b.r. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z:
http://www.genthermglobalpower.com/sites/default/files/product_files/1%20-%20Product%20Summary_International_Orange_Print%20Rev01-15.pdf
- [65] Přehled TEG. In: *Gentherm Global Power Technologies* [online]. b.r. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z:
http://www.genthermglobalpower.com/sites/default/files/product_files/1%20-%20Product%20Summary_Canada_Orange_webRev01-15.pdf
- [66] Model 8550 Thermoelectric Generators. In: *Gentherm Global Power Technologies* [online]. b.r. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z:
http://www.genthermglobalpower.com/sites/default/files/product_files/67213_rev0_8550%20spec%20sheet_0.pdf
- [67] 8550 Thermoelectric Generator. In: *Gentherm Global Power Technologies* [online]. b.r. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z:
http://www.genthermglobalpower.com/sites/default/files/product_files/54254%20rev7%20-%208550%20Manual%20GPT.pdf
- [68] *THERMOELECTRIC GENERATOR WITH LIQUID HYDROCARBON FUEL COMBUSTION HEATER*. b.r.. US3418173. Uděleno 24.12.1968. Dostupné také z:
https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?II=0&ND=3&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=19681224&CC=US&NR=3418173A&KC=A
- [69] *Liquid hydrocarbon-fueled thermo-electric generator with counter-flow type regenerative heat exchanger*. b.r.. US4218266. Uděleno 19.08.1980. Dostupné také z:
https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?CC=US&NR=4218266A&KC=A&FT=D&ND=3&date=19800819&DB=&locale=en_EP
- [70] *Fuel flexible thermoelectric micro-generator*. b.r.. US2006027258. Uděleno 09.02.2006. Dostupné také z:
http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?CC=US&NR=2006027258A1&KC=A1&FT=D&ND=3&date=20060209&DB=&locale=en_EPhttp://localhost:9719/speedDial/

- [71] *THERMOELECTRIC GENERATOR FOR USE WITH INTEGRATED FUNCTIONALITY*. b.r.. US2013340802. Uděleno 26.12.2013. Dostupné také z: https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?CC=US&NR=2013340802A1&KC=A1&FT=D&ND=3&date=20131226&DB=&locale=en_EP
- [72] *A LIQUID FUEL PORTABLE HEATER HAVING A THERMOELECTRIC GENERATOR, AND ACCORDING CONTROL METHOD*. b.r.. EP2918909. Uděleno 16.09.2015. Dostupné také z: https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?CC=EP&NR=2918909A1&KC=A1&FT=D&ND=3&date=20150916&DB=&locale=en_EPhttp://localhost:9719/speedDial/

Seznam použitých zkratk a symbolů

GPT	Gentherm Power Technologies
MPPT	Maximum power point tracking
SEPIC	Single-ended primary-inductor converter
TEG	Termoelektrický generátor
TEM	Termoelektrický modul

ΔT	Rozdíl teplot mezi horkou a studenou stranou TEM	[°C]
η_{TEG}	Účinnost generátoru	[%]
η_{TEM}	Účinnost modulu	[%]
$\rho_{\text{E TEG}}$	Energetická hustota generátoru	[W/cm ²]
$\rho_{\text{E TEM}}$	Energetická hustota modulu	[W/cm ²]
λ	Součinitel tepelné vodivosti	[W/mK]
I	Zátěžný proud	[A]
I_{OPT}	Optimální zátěžný proud	[A]
I_{SC}	Zkratový proud	[A]
P_{TEG}	Výkon generátoru	[W]
P_{TEM}	Výkon modulu	[W]
$\dot{q}$	Měrný tepelný tok	[W/cm ²]
R	Tepelný odpor	[K/W]
R_{I}	Vnitřní odpor	[Ω]
R_{LOAD}	Zátěžný odpor	[Ω]
t_{C}	Teplota studené strany modulu	[°C]
t_{H}	Teplota horké strany modulu	[°C]
U	Zátěžné napětí	[V]
U_{OC}	Napětí naprázdno	[V]
U_{OPT}	Optimální zátěžné napětí	[V]
U_{OUT}	Výstupní napětí měniče	[V]

Seznam tabulek

Tab. 1.1a: Vlastnosti použitých TEM.....	17
Tab. 1.2b: Vlastnosti použitých TEM.....	17
Tab. 2.1: Výkonové parametry generátoru - Killander, Bass	19
Tab. 2.2: Výkonové parametry generátoru - Rowe, Min.....	20
Tab. 2.3: Výkonové parametry generátoru - Tsuyoshi, Kagawa	21
Tab. 2.4: Výkonové parametry generátoru - Nuwayhid, Shihadeh	22
Tab. 2.5: Výkonové parametry generátoru - Nuwayhid, Hamade.....	22
Tab. 2.6: Výkonové parametry generátoru - Eakburanawat, Boonyaroonate	23
Tab. 2.7: Výkonové parametry generátoru - Mastbergen, Willson	24
Tab. 2.8: Výkonové parametry generátoru - Lertsatitthanakorn	24
Tab. 2.9: Výkonové parametry generátoru - W. Moser, G. Friedl	26
Tab. 2.10: Výkonové parametry generátoru - Champier, Bédécarrats	26
Tab. 2.11: Výkonové parametry generátoru - Hoskins, Scannell.....	27
Tab. 2.12: Výkonové parametry generátoru - Punnachaiya, Kovitcharoenkul	28
Tab. 2.13: Výkonové parametry generátoru - O'Shaughnessy, Kinsella	28
Tab. 2.14: Výkonové parametry generátoru - Brázdil, Pospíšil	29
Tab. 2.15: Výkonové parametry generátoru – Goudarzi, Mazandarani	30
Tab. 2.16: Výkonové parametry generátoru - Juanicó, Rinalde	30
Tab. 2.17: Výkonové parametry generátoru - Ma, Lin.....	31
Tab. 2.18: Výkonové parametry generátoru - Mal, Prasad.....	32
Tab. 2.19: Výkonové parametry generátoru - Raman, Ram.....	33
Tab. 2.20: Výkonové parametry generátoru - Montecucco, Siviter	33
Tab. 3.1: Výkonové parametry generátoru - Allen, Wonsowski	35
Tab. 3.2: Výkonové parametry generátoru - Qiu, Hayden	36
Tab. 3.3: Výkonové parametry generátoru - Anatychuk, Makhailovsky	37
Tab. 3.4: Výkonové parametry generátoru - Qiu, Hayden	38
Tab. 3.5: Výkonové parametry generátoru - Baskaya, Karaaslan	38
Tab. 3.6: Výkonové parametry generátoru - Aranguren, Astrain.....	39
Tab. 3.7: Výkonové parametry generátoru - Codecasa, Fanciulli	40
Tab. 3.8: Výkonové parametry generátoru - Zhang, Wang.....	41
Tab. 3.9: Parametry dostupným modelů generátorů.....	41
Tab. 3.10: Výkonové parametry generátoru – GPT Model 8550	42
Tab. 4.1: Výkonové parametry generátoru – Lockwood.....	43

Tab. 5.1: Srovnání aplikací termoelektrických generátorů	46
Tab. 7.1: Změřená zátěžová charakteristika modulu 4 při různých provozních stavech kotle	50
Tab. 7.2: Změřená zátěžová charakteristika sériového zapojení termoelektrických modulů při různých provozních stavech kotle.....	51
Tab. 7.3: Změřená zátěžová charakteristika sério-paralelního zapojení termoelektrických modulů při různých provozních stavech kotle	51
Tab. 7.4: Změřená zátěžová charakteristika paralelního zapojení termoelektrických modulů při různých provozních stavech kotle	52
Tab. 7.5: Výkonové parametry testovaného generátoru při výkonu kotle 70 %.....	54
Tab. 7.6: Výkonové parametry testovaného generátoru při výkonu kotle 30 %.....	54

Seznam obrázků

Obr. 2.1: Schématické zapojení WATT-20 [29].....	2020
Obr. 2.2: Schéma pasivního zapojení generátoru (Rowe, Min) [29].....	20
Obr. 2.3: Testovací aparatura se zapojeným generátorem (Tsuyoshi, Kagawa) [30].....	21
Obr. 2.4: Detail umístění generátoru (Nuwayhid, Shihadeh) [31].....	21
Obr. 2.5: Schéma generátoru se smyčkou THP (Nuwayhid, Hamade) [32].....	22
Obr. 2.6: Detail generátoru (Eakburanawat, Boonyaroonate) [5].....	23
Obr. 2.7: Schéma propojení generátoru s kamny (Lertsatitthanakorn) [34].....	24
Obr. 2.8: Srovnání testovaných a vypočtených hodnot I, U a P v závislosti na R (Moser, Friedl) [35]	25
Obr. 2.9: Prototyp generátoru (Moser, Friedl) [35]	25
Obr. 2.10: Schéma původní sestavy a zapojení generátoru (Champier, Bédécarrats) [38]	26
Obr. 2.11: Detail generátoru (Punnachaiya, Kovitcharoenkul) [42].....	2720
Obr. 2.12: Zobrazení testovaného generátoru propojeného s kotlem (Brázdil, Pospíšil) [46].....	29
Obr. 2.13: Vnitřní pohled do prototypu (Goudarzi, Mazandarani) [47]	30
Obr. 2.14: Chladicí zařízení (Goudarzi, Mazandarani) [47].....	30
Obr. 2.15: Schéma zapojení generátoru (Ma, Lin) [49].....	31
Obr. 2.16: Schéma zapojení (Raman, Ram) [51].....	32
Obr. 2.17: Zobrazení generátoru (Raman, Ram) [51].....	32
Obr. 2.18: Schéma propojení generátoru (Montecucco, Siviter) [52]	33
Obr. 2.19: BioLite CampStove [53].....	34
Obr. 3.1: Schéma propojení generátoru (Qiu, Hayden) [56]	36
Obr. 3.2: Schéma propojení generátoru s kotlem (Anatychuk, Makhailovsky) [57].....	37
Obr. 3.3: Zobrazení prototypu generátoru (Qiu, Hayden) [58]	37
Obr. 3.4: Zapojení testovacího zařízení (Aranguren, Astrain) [59].....	39
Obr. 3.5: Detailní zobrazení umístění modulů v propojení s hořákem (Codecasa, Fanciulli) [26].....	40
Obr. 3.6: Schématické zobrazení mikro-CHP systému (Y. Zhang, X. Wang) [61]	40
Obr. 3.7: Zobrazení spalovacího systému generátoru (GPT Model 8550) [67]	42
Obr. 3.8: Termoelektrický generátor – model 8550 [67]	42
Obr. 4.1: Zobrazení generátoru spalující kapalným uhlovodíkem (Lockwood) [68].....	43
Obr. 4.2: Schéma spalování (Guazzoni a Herchakowski) [69].....	44
Obr. 4.3: Propojení jednotlivých prvků generátoru (Smith, Newton) [70].....	4420

Obr. 2.1: Schématické zapojení WATT-20 [29]	20
Obr. 6.1: Schéma experimentální tratě	48
Obr. 6.2: Reálné propojení experimentální tratě	49
Obr. 7.1: Zatěžovací křivky různých konfigurací zapojení TEM při 70% výkonu kotle	53
Obr. 7.2: Zatěžovací křivky různých konfigurací zapojení TEM při 30% výkonu kotle	53
Obr. 7.3: Výkonové charakteristiky různých konfigurací zapojení TEM při 70% výkonu kotle	53
Obr. 7.4: Výkonové charakteristiky různých konfigurací zapojení TEM při 30% výkonu kotle	53
Obr. 7.5: Zatěžovací charakteristiky modulu č.6 pro různé výkony kotle	54
Obr. 7.6: Výkonové charakteristiky modulu č.6 pro různé výkony kotle	54