



Sami Jolma

**LÄMPÖSÄHKÖISTEN GENERAATTOREIDEN KÄYTTÖ,
KEHITYS JA TOIMINTA**

LÄMPÖSÄHKÖISTEN GENERAATTOREIDEN KÄYTTÖ, KEHITYS JA TOIMINTA

Sami Jolma
Opinnäytetyö
Talvi 2014
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma, energiatekniikka

Tekijä: Sami Jolma

Opinnäytetyön nimi: Lämpösähköisten generaattoreiden käyttö, kehitys ja toiminta

Työn ohjaajat: lehtori Jukka Ylikunnari, Oulun seudun ammattikorkeakoulu ja tutkimusjohtaja Kari Mäntyjärvi, Oulun yliopiston Oulun Eteläisen instituutti

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: talvi 2014

Sivumäärä: 37 + 6 liitettä

Tämä opinnäytetyö tehtiin Oulun yliopiston Oulun Eteläisen instituutin Tulevaisuuden tuotantoteknologiat -tutkimusryhmälle. Työn tarkoituksena oli tutkia ja kehittää lämmön ja sähkön yhteistuotantoa lämpösähköisillä materiaaleilla. Kaikki lämpimät kohteet tuottavat lämpöenergiaa. Materiaali- ja teknologiavalinnoilla on suuri merkitys lämpösähköisten generaattoreiden hyötysuhteeseen ja sähköntuotantoon sekä varastointiin.

Tämän energiatekniikan opinnäytetyön tavoitteena oli hankkia monipuolista tietoa lämpösähköisten generaattoreiden kehityksestä, hyötysuhteen ja tehon parantamisesta sekä selvittää tulevaisuuden ratkaisuja mikro-CHP-tuotantoon. Ongelmana oli termoelementtien huono hyötysuhde. Hyötysuhteen parantamista tutkittiin materiaali- ja puolijohdetekniikan sekä pintalämpötilaerojen avulla.

Työhön valittiin termolankoja, termoelementtejä ja erilaisia referenssilämpötiloja. Tärkein tutkimuksen kohde oli hyötysuhteen noston keinot ja sähkötehon kasvattaminen. Seebeck-ilmiö edellyttää, että lämpötilaero on suuri. Se vaikuttaa suoraan saatavaan termojännitteeseen ja sähkön tuotantoon.

Asiasanat: Seebeck-ilmiö, TEG, käyttökohteet, CHP

ALKULAUSE

Insinööriyön tein Oulun Eteläiselle instituutille. Tutkittava aihe oli haastava, sillä lämpösähköinen ilmiö ja sen fysikaalisuus olivat heti alussa terminologialtaan ja spesifisyydeltään tuntemattomia. Kaikki termit, teknologiat, käsitteet ja niiden soveltamiset oli samalla opeteltava. Uudella teknologia- ja energiamallinnuksella, visualisoinnilla ja tulevaisuuden odotuksilla pyritään miettimään mahdollisuuksia pienimuotoiseen lämmön ja sähkön yhteistuotantoon.

Kirjallisuuslähteinä käytin paljon englanninkielistä ja kotimaista kirjallisuutta, lehtiä ja internetmateriaalia, sillä asiaa on nyt vasta tutkittu Suomessa. Kirjallisuus on hyvin ulkomaalaispainotteista. USA:ssa ja Aasiassa kehitys on huomattavasti pidemmällä kuin Suomessa tai Euroopassa, ja siksi myös komponenttien ja kehitystrendien tiedot löytyvät parhaiten ulkomailta. Energiatuotantomuoto kehittyy nopeasti, kun energian kysynnälle ja tuotannolle on tarvetta. Sitä edesauttaa vahva suuntaus uusiutuvaan energiaan ja talteenottomenetelmiin.

Suurena apuna olivat lehtori Jukka Ylikunnari ja Oulun Eteläisen instituutin tutkimusjohtaja Kari Mäntyjärvi. Heidän avullaan oli suuri merkitys siihen, että työn sain käyntiin.

Oulussa 9.1.2014

Sami Jolma

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
SANASTO	6
1 JOHDANTO	7
2 LÄMPÖSÄHKÖINEN ILMIÖ	8
2.1 Seebeck-ilmiön fysikaalisuus	11
2.2 Hyötysuhde ja hyvyysluku	13
3 LÄMPÖSÄHKÖISEN ENERGIAN EHDOT JA OLEMASSA OLO	15
3.1 Exergia	15
3.2 Lämpövuoto	15
3.3 Lämmönsiirtyminen ja emissiivisyys	17
4 TEG-ELEMENTTIEN KEHITYS, MATERIAALIT JA TULEVAISUUS	20
4.1 TEG-elementtien käyttö ja kehitys	20
4.2 TEG-elementtien sovellusalueita	21
4.3 TEG-elementtien käytännön sovelluksia, tulevaisuus ja hintoja	21
4.4 Lämpösähköinen energiakeräin	27
4.5 Laskuesimerkki kohdasta 3.1: exergia	30
4.6 Lämpösähköinen putkikeräin	31
5 YHTEENVETO	33
LÄHTEET	35
LIITTEET	
Liite 1 Lähtötietomuistio	
Liite 2 Lämpösähköinen generaattori	
Liite 3 TEG-elementtien hintoja	

SANASTO

CHP	Yhdistetty lämmön- ja sähköntuotanto.
Exergia	Energian työhön kykenevä osuus.
Hyvyysluku	Termosähköä tuottavien laitteiden ZT-luku.
Lämpövuoto	Lämpövirran tiheys.
Nanotekniikka	Metrin miljardisosa tekniikka.
Peltier	Käänteinen Seebeck-ilmiö.
Seebeck	Lämmöstä sähköä.

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aihe ja tavoitteet annettiin Oulun Eteläisestä Instituutista, joka kehittää tutkimusta ja koulutusta Oulun yliopistolla sekä toimii innovaattorina yritys- ja elinkeinoelämälle (1). Työssä selvitetään lämpösähköisen ilmiön taustat, nykytila, kehitys sekä nanotekniikan mahdollisuudet.

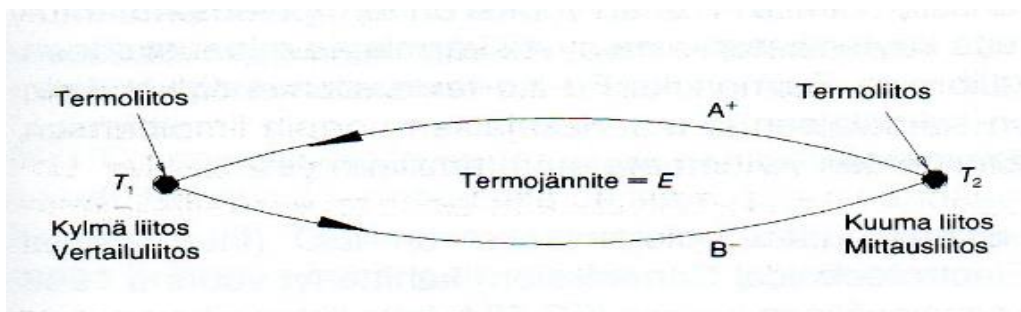
Työssä tarkastellaan ja arvioidaan, miten termodynaamiset ominaisuudet ja lämpövuon fysikaalinen merkitys vaikuttavat makro- ja mikrotason materiaaleihin. Tarkoituksena on selvittää, voidaanko materiaaleja muuttaa, hyödyntää ja kehittää niin, että häviöt kuumalla ja kylmällä pinnalla sekä väliaineen sisällä olisivat fysiikan ehtojen kannalta minimaaliset. Termosähköisiä generaattoreita voidaan käyttää kaikkialla, missä syntyy hukkalämpöä, niin teollisuudessa, autotekniikassa kuin pientaloissakin. Työssä perehdytään Seebeck-ilmiön teoriaan ja fysikaalisiin ehtoihin sekä laiteratkaisujen avulla myös pienyksiköiden CHP-ratkaisuihin. (Liite 1.)

2 LÄMPÖSÄHKÖINEN ILMIÖ

Vuonna 1822 virolainen Thomas Johan Seebeck teki havainnon, että kaksi eri metallia suljetussa kierrossa synnyttää termojännitteen. Lämpösähköinen ilmiö tarkoittaa sitä, että lämpögradienttien ollessa eri paria metalleissa syntyy jänniteero. Syntyvä jänniteero on suoraan verrannollinen mittauspisteen ja referenssipisteen lämpötilaeroon. Seebeckin johtopäätös oli, että kun kahdella eri metallilla on eri lämpötilat, syntyy metallipintojen tai metallisilmukan välille sähkömotorinen voima. (2, s. 135.)

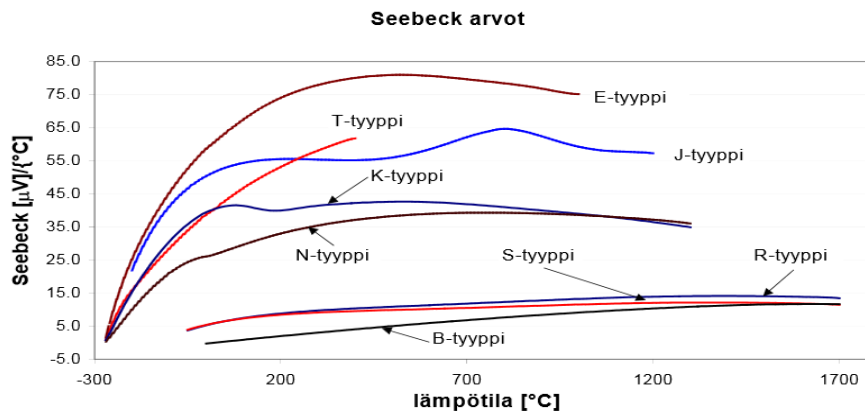
Lämpösähköinen ilmiö perustuu metallien vapaiden varauksien erilaiseen liikkuvuuteen eri lämpötiloissa, jolloin lämpötilaero aiheuttaa lämpösähköisen kentän. Eri metallit voidaan asettaa ilmiön voimakkuuden mukaan lämpösähköiseen sarjaan. Koska kahden eri metallin tapauksessa voima ei tarkkaan kumoudu, jäljelle jäävä erotusvoima saa virran liikkeelle. (2, s. 135.)

Kuvassa 1 termoelementti muodostuu kahdesta eri metallista A ja B. Ne muodostavat johdinsilmukan, jos T_1 ja T_2 ovat eri liitoslämpötiloissa. Tällöin piiriin syntyy sähkövirta ja termojännite. Piirin virta on riippuvainen päiden tai elementtien välisestä lämpötilaerosta sekä termolankojen materiaaleista. Termoparissa syntyvä lämpötilaero voidaan suoraan laskea, mikäli tiedetään johdinmateriaalit ja lämpötilat. Liitteessä 2 havainnollistetaan Seebeck-ilmiön fysikaalisuus ja kuvataan graafisesti, miten saatava teho riippuu lämpötilaerosta. Kuvassa 1 havainnollistetaan termoelementin periaate. (3, s. 40 - 41.)



KUVA 1. Termoelementin periaate (3, s. 40 - 41)

Termoelementin herkkyyttä kuvataan sen Seebeck-kertoimella. Kuvassa 2 näkyy, että arvot riippuvat lämpötilasta. Metalleilla termojännitteen suuruusluokka on yleensä 1 - 10 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$, termopari metalliseoksilla 10 - 50 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ja termopareiksi optimoidulla puolijohteilla 100 - 400 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$. (3, s. 40 - 41.)



KUVA 2. Termoelementtien Seebeck-kertoimet (4)

Termoelementit voidaan ryhmitellä termiseen sarjaan termojännitteen ja lämpötilariippuvuuden mukaan jalo-, perus- ja seostettuihin metallipareihin. Taulukossa 1 ovat yleisimpien termoelementtien termojännitteen E riippuvuus lämpötilasta, kun vertailulämpötila on 25 $^\circ\text{C}$. (3, s. 40 - 41.)

TAULUKKO 1. Termoelementit tyypeittäin (3, s. 43)

Termoparityyppi	Termoelementti	Vertailulämpötila 25 $^\circ\text{C}$	Seebeck-kerroin ($\mu\text{V}/^\circ\text{C}$)
Tyyppi E	Chromel-konstantaani, NiCr-Ko, Fe-Ko, Fe-CuNi	+900 $^\circ\text{C}$:seen asti	61
Tyyppi J	Rauta-konstantaani, Fe-Ko, Fe-CuNi	+150 $^\circ\text{C}$...+1 000 $^\circ\text{C}$	52
Tyyppi T	Kupari-konstantaani, Cu-Ko, Cu-CuNi	-260 $^\circ\text{C}$...+350 $^\circ\text{C}$	41
Tyyppi K	Chromel-Alumiini, NiCr-Ni	-200 $^\circ\text{C}$...+1 300 $^\circ\text{C}$	41
Tyyppi R	Platina-Platina, 13 %,	+400 $^\circ\text{C}$...+1 500 $^\circ\text{C}$	9

(jatkuu)

TAULUKKO 1. (jatkuu)

	Rhodium, Pt-Pt-Rh13		
Tyyppi S	Platina-platina 10 %, Rhodium, Pt-PtRh13	+400 °C...+1.500 °C	6
Tyyppi B	Platina 30 %, Rhodium-Platina 6 % Rhodium, PtRh30-PtRh6	+400 °C...+1.800 °C	5

Jalometalliryhmittelyä käytetään, kun metallit ominaisuuksien ja soveltuvuutensa perusteella on perusteltua ryhmitellä. Jaottelu on seuraava:

1. jalometallitermoelementit (R, S ja B)
2. perusmetallitermoelementit (T, E, J, K ja N)
3. nykyseosteiset väliaineet (Bi_2Te_3 , PbTe ja SiGe jne.). (3, s. 43.)

Kymmenien vuosien aikana on tutkittu materiaa makroskooppisilla menetelmillä, joissa vasta 2000-luvulla on alkanut tapahtua kehitystä mikroskooppisten ja nanosisäisten sovellusten suuntaan. Tämän jälkeen niiden kohdealueet ovat yleistyneet energiantuotantoon, teollisuuteen, pienkäyttöön, kulutuselektroniikkaan, energiakeräimiin ja CHP-tuotantoon. (2.)

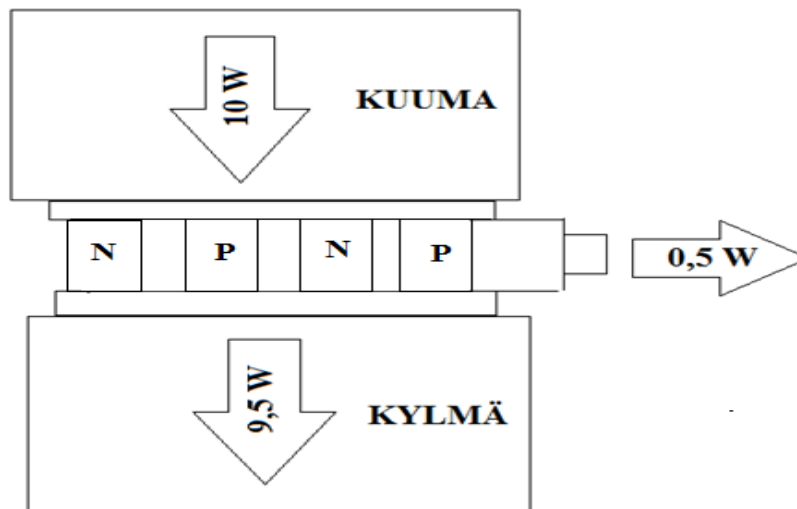
1930-luvulla käyttöön sovellettiin useita uusia metallityyppejä, kun makroskooppinen tutkimus kehittyi. Jossain vaiheessa myös radioaktiiviset materiaalit tulivat käyttöön. Radioaktiivisia johdannaisia ei juurikaan enää käytetä turvallisuussyistä. (2.)

Lämpötilaero on menetelmässä suurin vaikuttava tekijä. Halutulla lämpötilaerolla saadaan termosähköinen laite tuottamaan sähkövirtaa. Kääntäen taas, kun termosähköisen laitteen väliin kytketään jännite, syntyy laitteen pintojen välille lämpötilaero eli Peltier-ilmiö. (4.) Ilmiö perustuu täysiin Seebeckin kokeellisiin testeihin. Seebeckin johdinparin ja lämpösähköisen elementin fysiologinen ero on lämpösähköisen elementin puolijohdeteknologiassa. Puolijohdeteknologia muodostaa eron Seebeckin johdinparin ja lämpösähköisen elementin välille. Kuva 1 ha-

vainnollistaa 1820-luvulla havaitun termojännitteen synnyn periaatteen. Liitteessä 2 kuvataan TEG-elementin rakenne, fysikaalisuus ja toiminnan periaate.

Termosähköinen generaattori sisältää suuren määrän termopareja, jotka koostuvat n-tyyppin ja p-tyyppin termoelementeistä (kuva 3). Elementit on sähköisesti kytketty sarjaan ja termisesti rinnan. Termosähkögeneraattori käyttää lämpövirtaa lämpötilaeron yli tuottaakseen sähkötehoa. Lämpötilaero tuottaa halutun sähköenergian, jonka avulla voidaan määrittää ulostuleva teho ja hyötysuhde. Ylimääräistä lämpöä, jota ei pystytä muuntamaan sähkötehoksi, kutsutaan poistolämmöksi tai hukkalämmöksi. Hukkalämpöä poistetaan jäähdytyslevyillä, -siileillä, vapaalla ja/tai pakotetulla konvektiolla tai nestejäähdytyksellä. Kuvassa 3 havainnollistetaan sähköntuottoelementin 5 prosentin hyötysuhdetta. (5.)

LÄMPÖSÄHKÖINEN ELEMENTTI

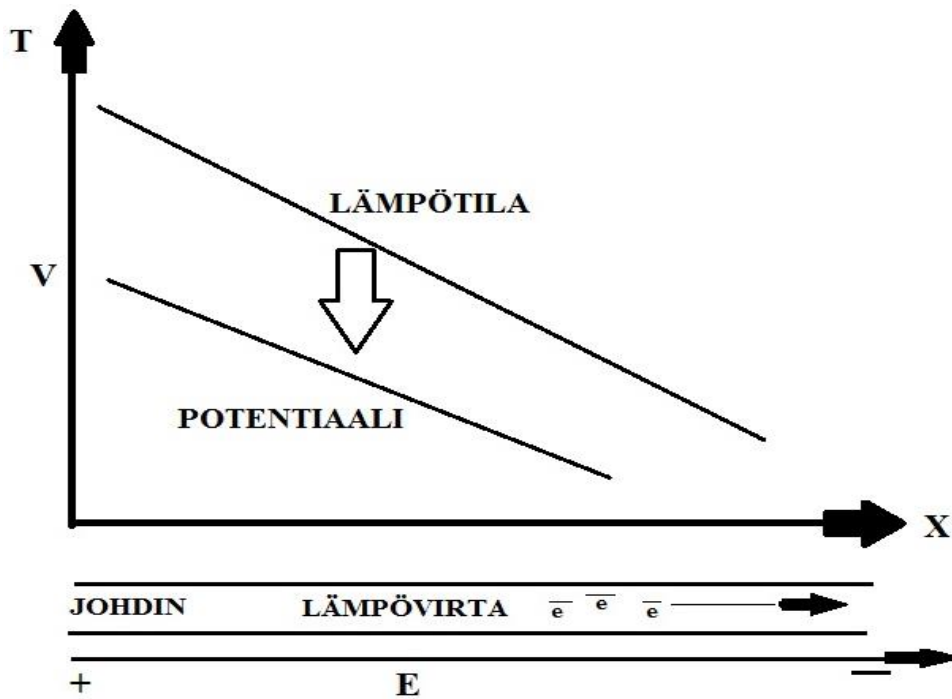


KUVA 3. Sähkön tuottoelementti (5)

Nykymakroelementeillä hyötysuhde on erittäin huono. Myöhemmin työssä selvitetään hyötysuhteen nostamisen keinoja materiaaliteknologian ja nanoteknologian keinoin. Lisäksi pohditaan hyötysuhteen nostoa jopa 20 %:iin. Siihen vaikuttavat materiaaliominaisuudet, fysikaaliset ominaisuudet ja optimaalinen lämpötilaero pintojen välillä, kuin myös materiaalin hyvyysluvun nostaminen. (5.)

2.1 Seebeck-ilmiön fysikaalisuus

Seebeck-ilmiössä lämpögradientti $\frac{\Delta T}{\Delta x}$ muodostaa johtimeen ja/tai elementtiin sähkökentän E , kuten kuva 4 osoittaa. Kuvan 4 sähkökenttä voidaan laskea kaavalla 1. (6.)



KUVA 4. Seebeckin ilmiö (6)

$$E = S \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

KAAVA 1

E = termojännite (V)

S = Seebeck-kerroin (V/K)

ΔT = lämpötilaero (K)

ΔX = johtimen mitat (X)

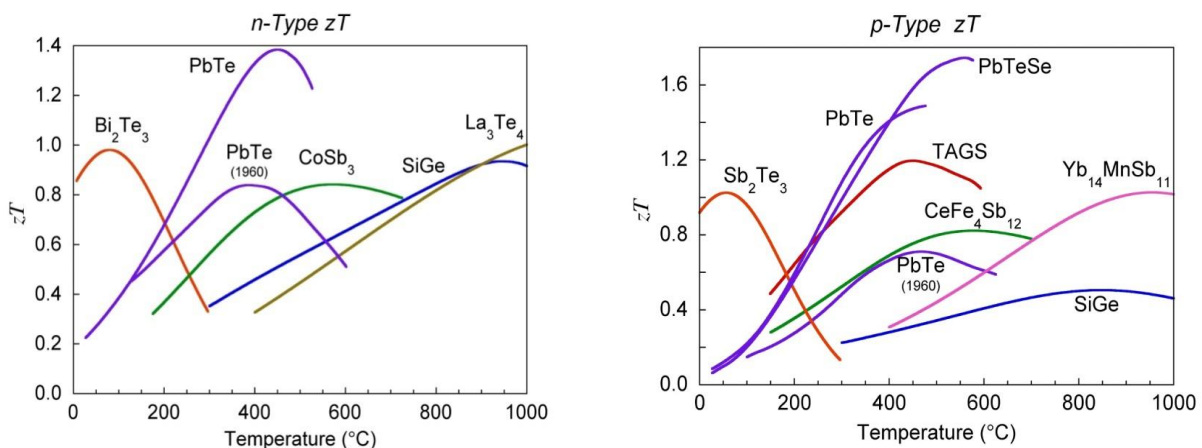
Kaavassa verrannollisuuskerrointa S kutsutaan Seebeckin kertoimeksi. Seebeckin kerroin on johtimen materiaaliominaisen lämpötilariippuvuuden kerroin. Se

ilmaisee, etteivät johtimen paksuus tai muut mitat juuri vaikuta kertoimen suuruuteen. (6.)

Johtimella on lämpögradientti $\frac{\Delta T}{\Delta X}$, joka saa aikaan johtimeen sähkökentän. Tämän potentiaali V on negatiivinen gradientti. Termojännite voidaan kirjoittaa kaavan 2 muotoon seuraavasti: $E = -\frac{\Delta V}{\Delta x}$. Avoimessa piirissä jännitettä kutsutaan Seebeckin potentiaaliksi ΔV_{12} . Seebeckin α_{12} saadaan, kun potentiaali ΔV_{12} jaetaan lämpötilaerolla. Seebeckin kerroin α_{12} kuvaa jännitteen suuruutta, joka materiaaliparilla on maksimissaan yhden kelvinasteen verran lämpötilaeroa kohti ($\mu\text{V/K}$). (6.)

Materiaalin pitää johtaa hyvin sähköä mutta huonosti lämpöä. Siksi tarvitaan materiaali, jolla on hyvä sähkönjohtavuus mutta huono lämmönjohtavuus. Metallit johtavat hyvin lämpöä. Tämä asettaa suuria haasteita sopivan materiaaliparin ja väliaineen löytämiseksi. (6.)

Lämpösähkögeneraattorin kyvykkyyttä mitataan hyvyysluvulla ZT . Luku kasvaa, kun sähkönjohtavuus kasvaa, ja pienenee, kun lämmönjohtavuus kasvaa. Nykyisin käytetyin makromateriaali on vismutti-telluridi, jonka materiaaliluku on noin 1. Kuva 5 havainnollistaa n- ja p-tyyppien lämpötilan ja ZT :n keskinäistä riippuvuutta eri materiaaleilla. (7, s. 48 - 49.)



KUVA 5. Puolijohdemateriaaliparin ja lämpötilan vaikutus ZT :n arvoon (8)

Tutkijat yrittävät ratkaista, miten nykyistä makroteknologiaa voitaisiin kehittää sekä miten nanotekniikkaa voitaisiin hyödyntää entistä paremmaksi. Nanoteknologian kehittyessä voi hyvyysluku olla 2 tai enemmän (7, s. 48 - 49.)

2.2 Hyötysuhde ja hyvyysluku

Lämpösähköisen elementin hyvyyslukuna käytetään merkintää ZT_{el} . Määriteltäessä elementin hyvyyslukua käytetään kaavaa 3 seuraavasti: $ZT_{el} = \frac{S_{el}^2}{R_i K}$, jossa S_{el} on elementin Seebeckin-kerroin. R_i on sisäinen resistanssi ja K on lämmönjohtavuuskyky. Lämpösähköisen materiaalin hyvyysluku lasketaan kaavalla 4, jossa $ZT = \frac{S^2 \sigma}{\kappa}$. S on materiaalin Seebeck-kerroin, σ on sähkönjohtavuus ja κ on lämmönjohtavuus. Tulosta kutsutaan tehokertoimeksi. (6.)

Z-hyvyysluku ilmaistaan T:n avulla, kun määritetään kokonaishyötysuhdetta. Hyötysuhde määritetään elementin tuottaman sähkötehon ja sen ottaman lämpötehon avulla. Joskus hyötysuhdetta voidaan arvioida Carnot'n hyötysuhteen kautta, mutta niin yksityiskohtaisia esimerkkejä ei tässä työssä käsitellä. (6.)

Lämmöstä noin 10 prosenttia voidaan muuntaa sähköksi. Kun materiaalitekнологia kehittyy, ZT:n arvoksi tulee lähes 2. Edelleen hyötysuhde paranee, jos ZT olisi 2,2. Tällöin lähes 20 % lämmöstä voitaisiin muuttaa sähköksi. Tämä on toistaiseksi onnistunut vain laboratoriossa. Kaikki perustuu siihen, että hyötysuhdetta voidaan nostaa vain parantamalla materiaalin sähkönjohtavuutta ja termisiä ominaisuuksia sekä minimoimalla sen lämmönjohtavuutta. (5.)

3 LÄMPÖSÄHKÖISEN ENERGIAN EHDOT JA OLEMASSA OLO

Edellä on käsitelty, mistä ja miten lämpösähköistä energiaa saadaan ja kuinka sitä voidaan hyödyntää. Perusfaktaan on hyvä perehtyä termodynamiikan käsitteen exergian, lämpövuon ja muiden fysikaaliskemiallisten vaikutuksien kautta. Muissa tekstin kohdissa on käsitelty tai käsitellään materiaalien lämpöfysikaalisia ilmiöitä, toiminnallisia periaatteita, fysiikanilmiön perusteita, laite- ja komponenttisolvelluksia.

3.1 Exergia

Termodynaamisissa systeemeissä saadaan energiaa hyötykäyttöön. Exergia kertoo hyötysuhteen avulla, kuinka laadukasta saatava lämpöteho on. Exergian hyötysuhde saadaan laskettua systeemistä saatavan exergian ja systeemistä tuotavan exergian suhteena. Maksimimäärä, jolla lämpöä voidaan muuntaa työksi, riippuu lämmönlähteen tai systeemin tilasta ja kokonaisuuden tai ympäristön olosuhteista. Exergiaa käyttäen voidaan määritellä palautumattomuuksista johtuva hyötysuhde kaikkiin mahdollisiin tapauksiin. (9.) Luvussa 4.5 on laskuesimerkki exergiasta.

3.2 Lämpövuoto

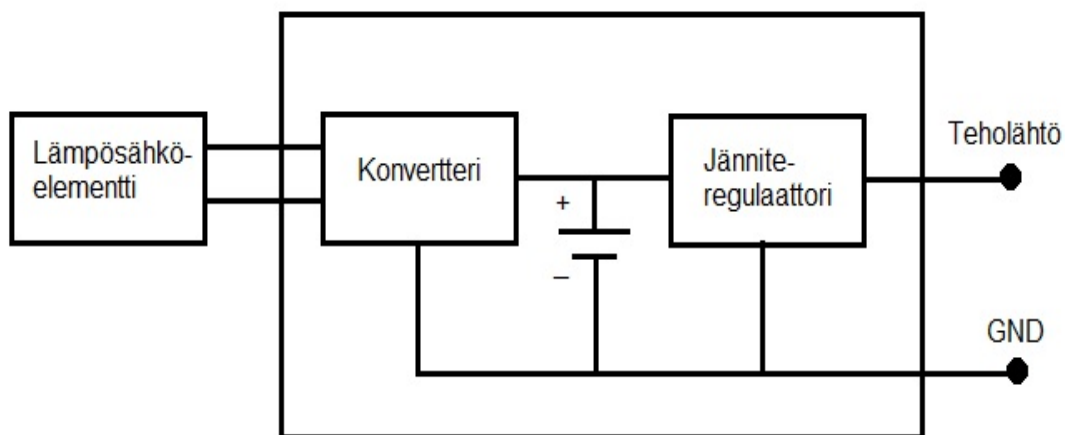
Yksi mahdollisuus kerätä käyttöenergiaa ympäristöstä on käyttää hyväksi ympäristön lämpötilaeroja. Lämpövuolla tarkoitetaan lämpöenergian siirtymistä eri lämpötilassa olevien kappaleiden pintojen välillä. Perusvaatimus lämpöenergian hyödyntämiseen tällä keinoin on se, että sovelluksessa on lämpövuoto, josta voidaan tällä hetkellä saada hyötykäyttöön vain osa, noin 5 - 10 %. Loput menevät häviöksi tai muuhun käyttöön lämpönä. Lämpövuon käyttöönotto tapahtuu siten, että se johdetaan kulkemaan lämpösähköisen elementin läpi. (5.)

Yhdessä elementissä puolijohdepareja voi olla satoja, jolloin sarjaan kytkettynä jännite saadaan hyödynnettävälle tasolle. Jännite voi olla millivolteista muutamiin voltteihin elementistä, lämpötilaerosta ja jäähdystavasta riippuen. Elementissä

syntyy lämpötilaeroon verrannollinen jännite ja lämpötilaeron neliöön verrannollinen teho. Pienikin lämpötilaeron muutos aiheuttaa havaittavan muutoksen saatavaan tehoon. (5.)

Lämpösähköelementti kytketään ohjainyksikköön, joka hoitaa elementin kuormittamisen ja muuntaa jännitteen kuormana olevan laitteen vaatimalle tasolle. Kuvassa 6 on lämpösähkögeneraattorin ohjain, jonka toiminta perustuu standardijännite DC-ohjaukseen, koska lämpösähköinen generaattori ei tuota vaihtovirtaa. (5.)

LÄMPÖSÄHKÖGENERAATTORIN OHJAIN



KUVA 6. Lämpösähkögeneraattori ja ohjainyksikkö (6)

Lämpösähkögeneraattori voi suorittaa myös energian varastoinnin. Energiavaraisto voi olla akku tai superkondensaattori. Anturin toimintaan riittää muutaman asteen lämpötilaero, kun käytetään mikrowattiluokan antureita ja pienitehoisia mitaus-, kommunikointivälineitä tai langattomia lähettimiä. Regulaattori sovelluksessa käytetään Seebeck-ilmiötä. Se muuntaa lämpövuon tehokkaammin sähkötehoksi. Tämän ilmiön hyötysuhteeksi on saatu 1 - 15 %. Tästä syystä kannattaa käyttää lämpövuota, jota ei saada eliminoiduksi tai jota käytetään lämmitystä tai lämmön poistoa varten. (5.)

3.3 Lämmönsiirtyminen ja emissiivisyys

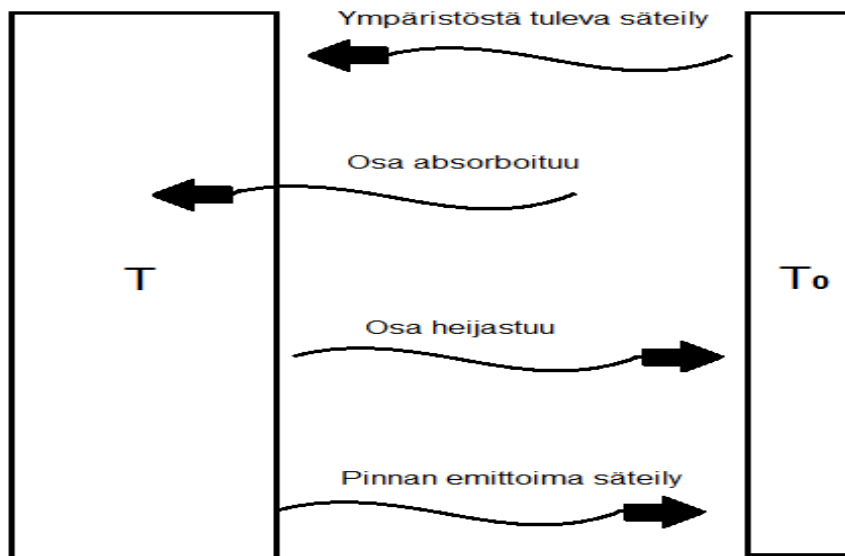
Lämpösähköisten generaattoreiden tärkeä ominaisuus on lämpöenergian muuntaminen sähköksi. Lämpö johtuu lämpimämmästä kohteesta kylmempään ja muuntuu generaattorissa lämpötilaeron ansiosta hyödynnettäväksi sähköenergiaksi. Lämmönjohtuminen voi tapahtua eri mekanismeilla kuten johtumalla, konvektiolla ja säteilyllä. Lämmönjohtumiseen vaikuttavat pinta-ala, etäisyys, lämpötilaero ja materiaali. Konvektio voi olla vapaata tai pakotettua fluidin mukana siirtymistä. Säteilylämmönsiirto ei vaadi väliainetta. Kohteen lähettämä lämpöenergia määräytyy pintalämpötilan, materiaalin ja säteilyn suunnan mukaan. Säteilylämmönsiirron todistaa Stefan-Boltzmannin säteilylaki. (10.)

Jotta voitaisiin laskea lämpösäteilynä siirtyvä lämpömäärä, on tunnettava lämpötekniset ominaisuudet, kuten ominaislämpö, lämmönjohtavuus, tiheys ja viskositeetti. Saatavan hyötysuhteen maksimaalisuus vaihtelee erilaisilla energian keruu-, vastaanotto- ja muuntolaitteilla ja prosesseilla. (10.)

Lämpösäteilyn vastaanottajana T_0 voi olla mikä tahansa kohde, aurinkokenno, TEG-elementti tai termolanka, jotka edelleen hyödyntävät vastaanottaessaan muunnettavaa lämpöenergiaa uudelleen hyödynnettäväksi. Jokainen absorboituva kohde käyttäytyy eri tavalla. Hyötysuhde on optimaalisin, kun emittoivan ja absorboivan tehon erotus on suuri. T_0 voi olla itsessään CHP-yksikkö, tai CHP-yksikkö liitetään kolmantena energiapiiriin. (10.)

Kuva 7 havainnollistaa lämmönlähteen ja sen ympäröimän kohteen välistä lämmönsiirtymistä. Säteilylähde T emittoi lämpösäteilyä pinta-alayksikköä kohti. Säteilyvoimakkuus on M . Voidaan osoittaa, että säteilyvoimakkuus on suoraan verrannollinen pinnan absoluuttisen lämpötilan T neljänteen potenssiin. (10.)

Säteilijän ja lähikohteen välinen säteilylämmönvaihto



KUVA 7. Emissiivisyyden periaate (10)

Säteilyvoimakkuus M voidaan laskea kaavalla 5. (10.)

$$M = \varepsilon\sigma T^4$$

KAAVA 5

M = säteilynvoimakkuus (W/m^2)

ε = emissiivisyys ($0 < \varepsilon < 1$)

σ = Stefan-Boltzman-vakio ($5,6705 \cdot 10^{-8} \text{ W}/\text{m}^2\text{K}^4$)

T = lämpötila (K)

Säteilyn lämpövirta kohteeseen tai ympäristöön ja takaisin on lämpökohteen emittoiman ja absorboiman tehon erotus. T on suurempi kuin T_0 , jolloin voidaan kaava 6 kirjoittaa kaavan 6 muotoon (10).

$$\Phi = \varepsilon\sigma A(T^4 - T_0^4)$$

KAAVA 6

Φ = lämpövirta (W)

ε = emissiivisyys ($0 < \varepsilon < 1$)

σ = Stefan-Boltzman-vakio ($5,6705 \cdot 10^{-8} \text{ W}/\text{m}^2\text{K}^4$)

T = säteilijän lämpötila (K)

T_0 = pintojen lämpötila (K)

Lämmöntuottaja T on ympäristöään lämpimämpi, $\Theta > 0$, joten kohde luovuttaa lämpöä säteilemällä enemmän kuin ottaa vastaan, mutta vastaavasti se pyrkii termiseen tasapainoon ympäristön kanssa, eli tasaamaan vallitsevaa lämpötilaeroa. Tämä estetään tuomalla säteilevään kohteeseen lämpöenergiaa enemmän kuin se luovuttaa. (10.)

4 TEG-ELEMENTTIEN KEHITYS, MATERIAALIT JA TULEVAISUUS

Nanotekniikaksi sanotaan tekniikkaa, jossa hyödynnetään metrin miljardisosan partikkeleita. Tavoitteena on tuottaa uudenlaisia kestäviä, keveitä, äänettämiä ja sähkönjohtavuudellaan parempia tuotteita ja komponentteja. TEG-elementeissä nanotekniikka mahdollistaa uusia tuotteita ja sovelluksia nykytekniikan vaativampiin kohteisiin, sovelluksiin, menetelmiin ja tekniikoiden yhdistelemiseen. Se mahdollistaa makro- ja mikrokomponenttien kehittämisen, ominaisuuksien parantamisen, voimassa olevien tuotteiden kehityksen sekä energiakeräimien tehokkaamman käytön. (11.)

Nanotekniikkaa hyödynnetään jo yleisesti TEG-elementtien rakennesovelluksissa langattomassa teknologiassa, perusteknologiassa, teollisessa viestinnässä, autotekniikassa, lämmönsiirtotekniikassa ja materiaaliteknologiassa. Tulevaisuuden teknologia kehittyy, kun saadaan uutta materiaa täysin hyödynnettyä ja sitä muokkaa hyötysuhde kyllin korkealle tasolle. (11.)

4.1 TEG-elementtien kehitys ja käyttö

TEG-kehitys on vaatinut onnistuakseen laajan konseptin eritasoisia ja -laatuisia sekä teknologialtaan hyvin monimuotoisia rakenteita ja niiden yhdistelmiä. TEG-teknologiassa nähdään tulevaisuudessa suuria kehitysmahdollisuuksia erityisesti energian siirtotekniikoissa, varastoinnissa, ICT:n alueilla, kone- ja kemianaloilla ja langattoman viestinnän sovelluksissa. Nykyään termoelementin sidosaine ei ole välttämättä enää silikonia tai hartsia. Kehitetyt uudet sidosaineet pohjautuvat erilaisiin metallioksideihin ja atomioksideihin. (11.)

TEG-teollisuudessa materiaalien kehitys on entistäkin haastavampaa ja monimutkaisempaa materiaali- ja puolijohdeteknologian kysynnän ja heikon hyötysuhteen vuoksi. Nykymenestystä ei voi verrata vuonna 1822 tehtyyn havaintoon. TEG-nanomateriaalit ovat koostumukseltaan epäorgaanisia tai orgaanisia puolijohdemateriaaleja. Liitteessä 2 on havainnollistettu TEG-elementti, jossa n- ja p-

tyypit ovat yleensä puolijohteita. Nanokokoluokan rakenneosilla saadaan materiaaleihin uusia ominaisuuksia. Materiaalit voivat olla useiden aineiden seoksia. Niillä on uusia ominaisuuksia esimerkiksi sähkönjohtavuuteen, lämmönjohtavuuteen, ja niillä on haluttu tietynlainen fysikaalinen tai kemiallinen koostumus. Ne eivät myöskään tule rasittamaan ympäristöä siinä määrin kuin makro- ja mikroedeltäjänsä. (11.)

Tavalliset materiaalit kuten hiili ja pii korvautuvat uusilla TEG-nanorakenteilta. Uudet ominaisuudet mahdollistavat kestävyuden, kemialliset ratkaisut ja sähkönjohtavuuden parantumisen. TEG-elementeille kehitys on hyvä asia, koska sisäistä lämpögradienttia on kehitettävä, jotta hyötysuhde ja sähköntuotanto paranevat. Nanopinnoitteet voivat olla korroosiohöyrystettyjä, jolloin ne voidaan sijoittaa hyvinkin kuumiin olosuhteisiin, esimerkiksi tulipesän piipun kylkeen, autojen hiukkasrajoittimiin, katalysaattoreihin, pientalojen piippuihin ja/tai lämminvesijohtoihin hukkalämmön energianmuuttajiksi. Vaikeasti kuljettavilla alueilla TEG-elementteihin voidaan erillisinä osina kytkeä nanokomponentteja, jotka lähettävät tulkittavaa signaalia analysoitsijoille. (11.)

4.2 TEG-elementtien sovelluksia ja kohteita

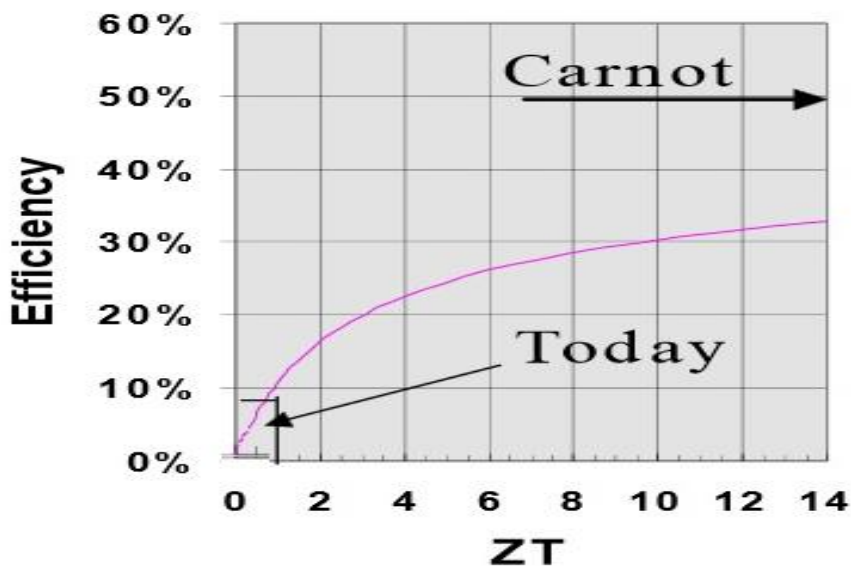
Myöhemmin työssä selvitetään esimerkein, miten puukiukaan hukkalämpö tai säteilylämpö saataisiin muunnettua sähköksi mahdollisimman tehokkaasti erilaisilla TEG-ratkaisuilla. Kriittiseksi tekijäksi muodostuu nykyisten TEG-elementtien sähköntuotto ja lämpötilaerojen hyödyntämiskyky. TEG-elementtien tulee toimia minimihäviöllä.

4.3 TEG-elementtien käytännön sovelluksia, tulevaisuus ja hintoja

Lämpösähköisten elementtien edut, luotettavuus, skaalattavuus ja äänettämyys tekevät siitä mielenkiintoisen ja lupaavan vaihtoehdon moniin uudenlaisiin sovelluskohteisiin. Lämpösähköisen ilmiön hyödyntämistä ovat rajoittaneet elementtien heikko tehontuotto ja hyötysuhde. Nanorakenteisen TEG-elementin ja uudet muut materiaalit tulevat mahdollistamaan hyötysuhteen kasvattamisen. Lämpösähköiset elementit eivät kuitenkaan tule syrjäyttämään nykyisiä lämpövoima-

koneita, mutta pienitehoisten laitteiden teholähteenä lämpösähkögeneraattori vaikuttaa lupaavalta, koska pieniä lämpötilaeroja on kaikkialla. (11.)

Materiaalitutkimuksessa olennaista on selvittää, kuinka pienet sidosmateriaalit ja niiden resistanssi vaikuttavat mittauksiin, luotettavuuteen ja saatavaan tehoon. Kuvassa 8 havainnollistetaan tämän hetken hyötysuhdetta ja ZT:n kehityssuuntaa. Liitteessä 3 on kiinalaisia, saksalaisia ja yhdysvaltalaisia TEG-elementtejä hintoineen. Liitteen 3 tiedot eivät kerro TEG-elementtien soveltuvuuskohteista eivätkä hinta-laatusuhteesta tai komponenttien hyvyydestä. (12.)



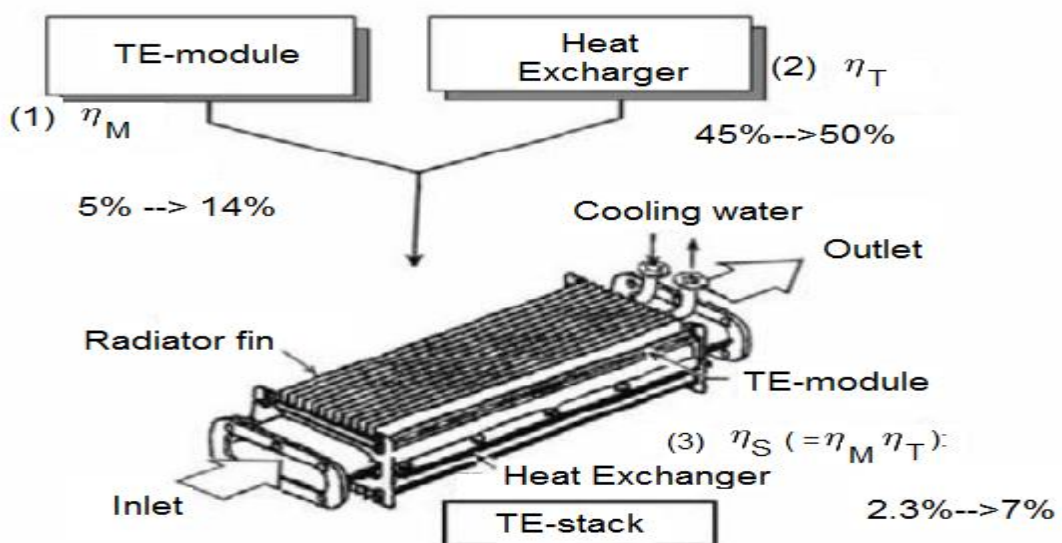
KUVA 8. Hyötysuhde nykypäivänä (12)

Tällä hetkellä termosähköisten elementtien ja sovellusten kehitystä hidastaa kysyntä ja tarve. Yksi syy on nanoteknologian kehittyminen, joka on hidastamassa perinteisten TEG-elementtien kehityksen. Nykyään on kuitenkin mahdollista, että uusilla materiaalisidoksilla voidaan saada hyvyyslukuksi lähes saada 10. (12.)

Hyvyysluvun nousu voi mahdollista nykyisilläkin Bi_2Te_3 -, PbTe - ja SiGe -oksidiyhdisteillä, mutta hyvinä vaihtoehtoina pidetään myös BiSb :tä ja FeSi_2 :tä. Kehitystä jarruttanee markkinoiden pienuus ja teknologiakehitys, joka on hidasta

ja kallista. Mutta uusien materiaalien luotettavuuden kautta on mahdollista kehittää ja nostaa TEG-elementit uudelle uralle. Materiaaliparien kannattavuus olisi kohtuullinen, jos mitattava-arvo on yli $100 \mu\text{V/K}$, jota se ei nykyisillä metallipari ja väliaineella ole. (12.) Hyötysuhde-ennuste on hyvin suuntaa antava. Tuotekehitys on ainoa keino, millä ala voi kehittyä. Uusien materiaalien testaus, sisäänajo ja ramp-up-tuotanto ovat hyvin kalliita, mutta informaatiota antavaa ja teknologiaa kehittävää. Hyötysuhteen nostoon vaikuttavat jo aiemmin kerrotut faktat sekä tieteelliset ja käytännön testit. Niiden avulla energian talteenottoa ja hyödyntämistä pyritään parantamaan. (13.)

Kuvassa 9 on esimerkki käytännön TEG-moduulisovelluksesta. Hyötysuhde on noin 6 - 8 %, kun lämpötilaero ΔT on noin $560 \text{ }^\circ\text{C}$. TEG-yksikkö sijoitetaan esimerkiksi katalysaattoriin. TEG-elementin toinen pinta on kosketuksissa kuumiin pakokaasuihin, ja toinen puolestaan moottorin jäähdytysnestekiertoelementtiin. Kuvassa 9 on kennoon rakennettu lämpösähköinen generaattoristo. (14.)

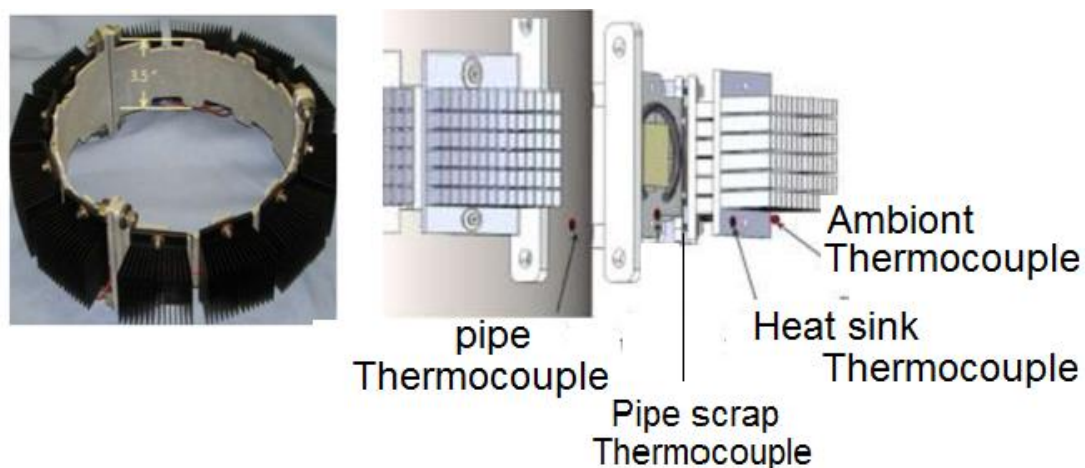


KUVA 9. Integroitu TEG-keräin pakokaasujärjestelmään (13)

Arviolta 10 kW hukkalämpötehosta voidaan saada lähes 700 W hyötykäyttöön. Uudet talteenottomenetelmät ovat täysin kehitysvaiheessa. Tulevaisuudessa saatava teho lämpötilaerosta riippuu hyvin paljon kehittyvistä materiaaleista, tekniikoista ja siitä, miten kuluttajat vastaanottavat uuden teknologian. (13.)

TEG-keräiminä nykyään toimivat litium-hybridikemnoakut, joihin on autoteknologiassa suunniteltu oma keräinyksikkö. Ne hyödyntävät hukkaenergiaa. Ennen laitteiden käyttöön saamista on ratkaistava useita ongelmia. Yksi käytännön suurin ongelma on kylmän ja kuuman lämpötilaeron optimaalinen hyödyntäminen lämmönsiirtokohteiden liitoksissa. Lämpörasituksessa on hallittava sähköenergian uudelleen hyödynnettävyys ja jäähdytysteknologia. (13.)

Hybridijärjestelmien myötä sähköisen kuormituksen hallinta on kasvanut. Järjestelmien optimoinnilla, olosuhteiden ja käyttötapojen hallinnalla voidaan erilaisia energiajärjestelmiä suunnitella käytännöllisiksi. Tekniikalla pyritään erityisesti hukkalämmön talteenottoon, toisiokeräimien kehittämiseen ja otto- ja päästötöhon parantamiseen, jotka ovat oleellinen osa koko optimoitavaa ja yhteen integroitavaa kokonaisuutta. Kuvassa 10 esitetty laitteisto on kuumille putkistoille kehitetty oma TEG-panta, jossa on 12 kappaletta jäähdytysriipaa ja jokaisen alla on yksi termoelementti. Jäähdytysriipissä on 13 jäähdytysriipaa. (14.)



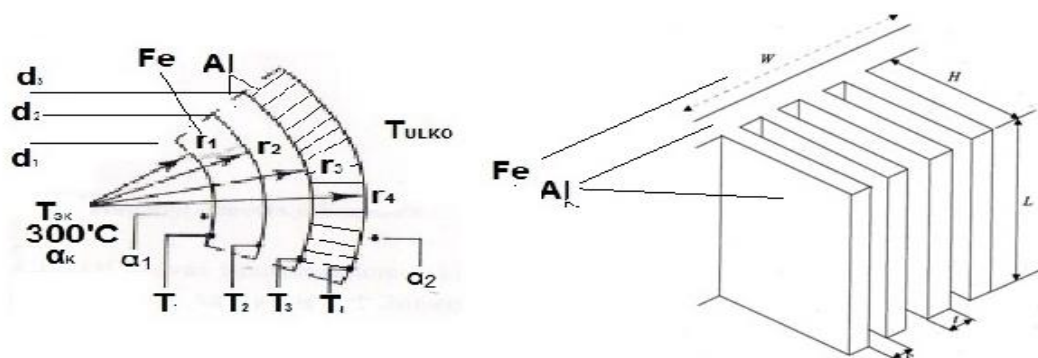
KUVA 10. Lämpösähköinen TEG-pantaenergiamuunnin (14)

Kuvan 10 panta on alumiinia, jonka keskimääräinen lämpötilan kesto on noin 230 °C. Rakenteessa on 3,5 tuuman panta. Pantaelementti voidaan kiinnittää esimerkiksi kuumaan hormiin, putkeen ja/tai kiertovesijärjestelmän putkistoon tai paikkaan, jossa lämpötilaero saadaan suureksi. (14.)

Jäähdytyksessä voidaan käyttää termisiä jäähdytysmenetelmiä, mm. ilmaa, puhaltimia, nestejäähdytystä tai jäähdytysseilejä. Konvektio tai pakotettu konvektio yhdistettynä siilijäähdytykseen on yleinen kokonaisuus. Kohde määrää, minkälaista jäähdytystä kannattaa käyttää. (14.)

Älykäs rakennelma on toteutettu siten, että lämpötilaerojen seuranta ohjataan TEG-jäähdyttimiin, jolloin lämpötilaero on lähellä haluttua. Toiminta perustuu hallittuun ja/tai haluttuun konvektioon tai jäähdyttävän pinnan lämpötilan hallintaan. Useimmiten näissä on mukana integroitussäätöohjaus. (14.)

TEG-pantoja on simuloitu ja testattu hyvin vaativissa kohteissa ja olosuhteissa. Tarkoituksena on saada haluttu lämpötilaero, joka antaisi optimaalisinta tulkittavaa vertailuarvoa. Suuria lämpötilaeroja on kokeiltu, mutta vertailulämpöteho ei olekaan yhtä hyvä. Ilman konvektiota saatu teho on 2 W/elementti, kun pakotetulla konvektiolla sähköteho nousi 2,5 W:iin/elementti. Talvella lämmönlähteen ollessa 100 - 120 °C ideaaliteho on ollut 4 - 5 W/elementti, kun jäähdyttävä kenno on noin -30 °C:ssa. (14.) Lämmönjohtumisen ja jäähdytyksen periaate esitetään kuvassa 11 (15).



KUVA 11. Monikerroksinen sylinteriputki ja jäähdytysseili (15)

Kuvan 10 TEG-pannan teho voidaan laskea liitteen 2 arvoilla. TEG-pannassa on 12 jäähdtyssiiltä ja jokaisessa on yksi termoelementti. Oletuksena on, että panta sisältää rautaputken, jonka seinämän paksuus on 5 mm ja ympäröivän alumiinipannan paksuus on 5 mm ja yhden elementin laskennallinen leveys on 56 mm. Tällöin rautaputken laskennallinen sisähalkaisijaksi saadaan 210 mm. Yhdessä siilessä on 13 jäähdtyysripaa.

Putken lämmönjohtavuudessa käytettiin seuraavia määreitä ja kaavoja 7–8 (15):

α_k = keskimääräinen lämmönsiirtymiskerroin (W/m²K)

d = putken halkaisija (mm)

λ_{Fe} = raudan lämmönjohtavuus (W/mK)

λ_{Al} = alumiinin lämmönjohtavuus (W/mK).

$$R'_t = \frac{1}{\alpha_k d_1 \pi} + \frac{\ln \frac{d_2}{d_1}}{2\pi \lambda_{Fe}} + \frac{\ln \frac{d_3}{d_2}}{2\pi \lambda_{Al}} = \text{ominaislämpövastus (mK/W)} \quad \text{KAAVA 7}$$

$$\dot{Q} = \frac{1}{R'_t} * L \Delta t = \text{lämpöteho (W)} \quad \text{KAAVA 8}$$

$\Delta T = (T_{sk} - T_{Al}) = \text{lämpötilaero (K)}$

Pystysuoran rivotetun siilen määreitä ja kaavoja ovat kaavat 9–11 (15).

Rayleihin luku = dimensioton

$$S_{optimal} = 2,714 \frac{L}{Ra^{\frac{1}{4}}} = \text{siilin ripojen väli (mm)} \quad \text{KAAVA 9}$$

$$\alpha = 1,31 \frac{\lambda_{Al}}{S_{opt}} = \text{konvektiokerroin} \quad \text{KAAVA 10}$$

$$q = \alpha(2nLH)(T_s - T_p) = \text{jäähdtysteho (W)}(15.) \quad \text{KAAVA 11}$$

Ensimmäinen iterointi tehtiin $T_{sk} = 300 \text{ °C}$ ja $T_{Al} = 100 \text{ °C}$. Tällöin $q_{sk} \neq q_{siili}$.

Lämpötila-arvoja muutettiin niin, että $T_{sk} = 280 \text{ °C}$ ja $T_{Al} = 20 \text{ °C}$. Tällöin $q_{sk} \approx q_{siili}$ ja olivat tehoarvoiltaan riittävän lähellä toisiaan. Saatu 245 W/12 elementille olivat liitteen 2 käyrästön mukaiset tulokset. Esimerkki laskettiin vapaalla konvektiolla.

4.4 Lämpösähköinen energiakeräin

Kuvassa 12 on periaatepiirros ja laskuesimerkki 1 tulisijaratkaisusta, jonka toiminta perustuu Seebeck-ilmiöön. Lämpötilaeron avulla johdinparilla kehitetään termojännite. On huomattavasti kannattavampaa, kun jäähdytys saadaan suoraan luonnosta, esimerkiksi avannosta. Hyötysuhde on heikompi, jos käytetään vapaata ilmaa tai pakotettua konvektiota. Talvella saatava hyöty on optimaalisinta, koska referenssilämpötila saadaan alhaiseksi. Taulukossa 2 esitetään interpoloitavat arvot J-tyyppin termoelementille, joka valittiin laajan lämpötila-alueen perusteella kuvan 12 mukaiseen systeemiin. Tarkoituksena on laskemalla osoittaa, että johdinelementit tuottavat termojännitettä. Sarjaankytkentä tai 4-kertainen kytkentä 4-kertaistaa jännitteen, tai x -määrä kytkentöjä x -kertaistaa jännitteen, virran pysyessä samana. Vastaavasti rinnankytkentä moninkertaistaa virran. Vastaavaasti R tai I tulisi jostakin saadaan selville, jotta teho P voitaisiin laskea.

Taulukossa 2 on J-tyyppin termoelementin laskenta-arvot millivolteina, kun vertailulämpötila 0 °C . Taulukosta poimitaan sopivimmat lämpötila-arvot. Oletetaan, että kiukaanpiippu on 537 °C ja jäähdytyspää upotetaan 0 °C :n veteen (3, s. 137). Lineaarinen interpolointi lasketaan seuraavalla kaavalla, käyttäen taulukon 2 arvoja.

TAULUKKO 2. J-typin termoelementti (3, s. 137)

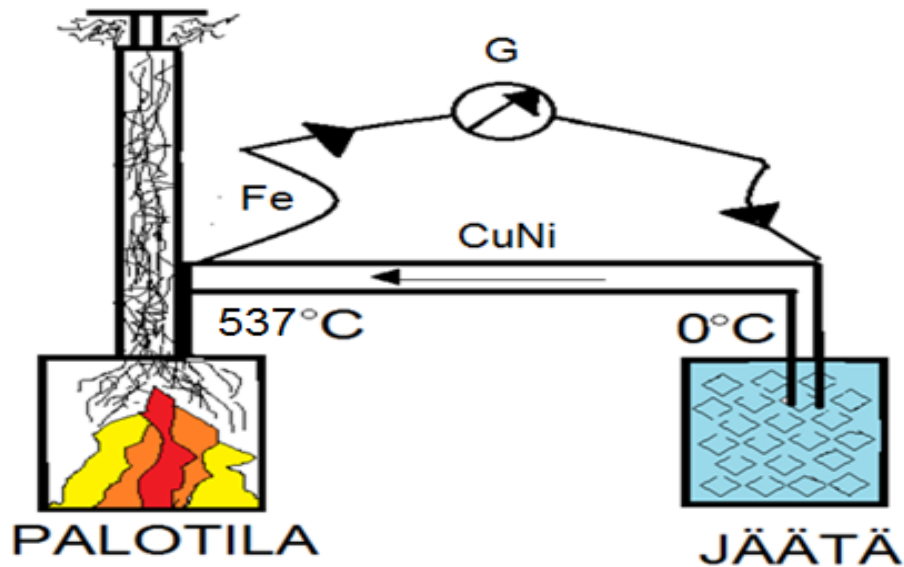
J-typin (Fe-CuNi)-termoelementti

°C	0	-10	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90
-200	- 7,890	- 8,096								
-100	- 4,632	- 5,036	- 5,426	- 5,801	- 6,159	- 6,499	- 6,821	- 7,122	- 7,402	- 7,659
0	0	- 0,501	- 0,995	- 1,481	- 1,960	- 2,431	- 2,892	- 3,344	- 3,785	- 4,215
°C	0	+10	+20	+30	+40	+50	+60	+70	+80	+90
0	0	0,507	1,019	1,536	2,058	2,585	3,115	3,649	4,186	4,725
100	5,268	5,812	6,359	6,907	7,457	8,008	8,560	9,113	9,667	10,222
200	10,777	11,332	11,887	12,442	12,998	13,553	14,108	14,663	15,217	15,771
300	16,325	16,879	17,432	17,984	18,537	19,089	19,640	20,192	20,743	21,295
400	21,846	22,397	22,949	23,501	24,054	24,607	25,161	25,716	26,272	26,829
500	27,388	27,949	28,511	29,075	29,642	30,210	30,782	31,356	31,933	32,513
600	33,096	33,683	34,273	34,867	35,464	36,066	36,671	37,280	37,893	38,510
700	39,130	39,754	40,382	41,013	41,647	42,283	42,922	43,563	44,207	44,852
800	45,498	46,144	46,790	47,434	48,076	48,716	49,354	49,989	50,621	51,249
900	51,875	52,496	53,115	53,729	54,341	54,948	55,553	56,155	56,753	57,349

Taulukossa 2 havainnollistetaan tilannetta, jossa kuumen ja kylmän pään välille syntyy jännite-ero. Lämpötilaero aikaan saa jännitteen kahden eri metallin välille. Lämpötilaerosta syntyvä jännite voidaan laskea taulukon 2 arvoilla.

J-typin termoelementti on paljon käytetty monissa sovelluksissa sen huokoisuuden vuoksi. Lämpötila-alueella $-150 - 1\ 000\ ^\circ\text{C}$. Kestoiä on hyvä, kun käyttöalue on noin $500\ ^\circ\text{C}$. J-typin elementti ei ole herkkä hapettumaan ja kestää hyvin pelkistäviäkin olosuhteita. (2, s. 40 - 41.)

Lähtötiedot ovat seuraavat: termopari on J-tyyppiä eli rauta-konstantaania ja piipun lämpötila $537\ ^\circ\text{C}$ ja sen referenssilämpötila on $0\ ^\circ\text{C}$. Seuraavassa lasketaan kuvan 12 mukaisesti lineaarisella interpoloinnilla taulukon 2 lämpötiloilla $530\ ^\circ\text{C}$ ja $540\ ^\circ\text{C}$ ja niitä vastaavilla jännitearvoilla.



KUVA 12. Kuuman ja kylmän lämpötilaero

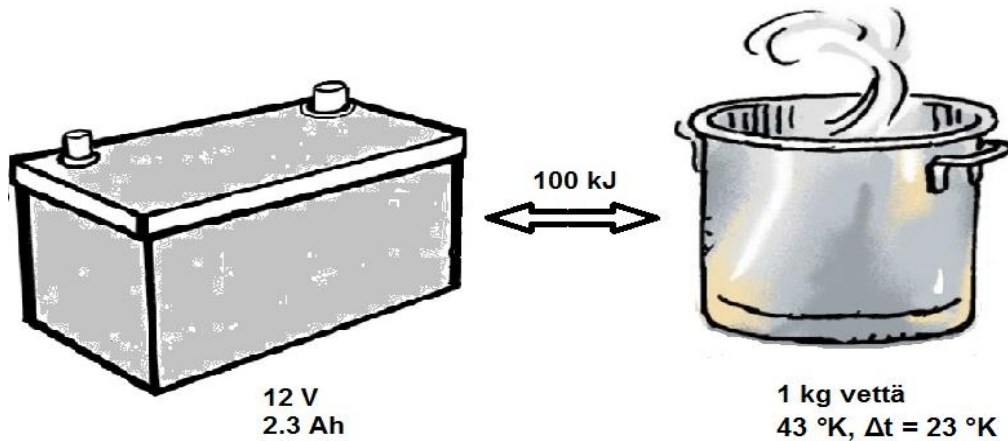
$$29,075\text{mV} + \frac{(29,642\text{mV} - 29,075\text{mV})}{10^\circ\text{C}} * 7^\circ\text{C} = 29,4894\text{ mV}$$

Interpoloinnin jälkeen saadaan tulokseksi 29,4894 mV. Jos sarjaan lisätään toinen johdosto, tulos kaksinkertaistuu, ja jos 4, tulos nelinkertaistuu. Jos sarjassa on 34 johdinta, galvanometri näyttäisi 1,00264 V.

Piirin teho voidaan laskea kaavalla 10 $P = UI$, jos virta I tiedetään. Se voidaan laskea kaavalla 11 $P = \frac{U^2}{R}$, jos resistanssi R tiedetään. Molemmissa kaavoissa on kaksi tuntematonta tekijää, joten J-tyyppin termoelementin tehon laskenta ei onnistu.

4.5 Laskuesimerkki kohdasta 3.1: exergia

Seuraavassa on esimerkki exergiasta. Exergian havainnollisuus esitetään laskuesimerkin avulla. (Kuva 13.)



KUVA 13. Akun ja kattilan exergia (muokattu 16; 17)

Käytetään seuraavia laskentakaavoja:

$$E_{\text{Akku}} = UIt$$

$$= 12 \text{ V} * 2,3 \text{ A} * 3600 \text{ s}$$

$$= 99\,360 \text{ J} \approx \underline{100 \text{ kJ}}$$

$$E_{\text{Kattila}} = cm\Delta t$$

$$= 4,19 \text{ kJ/kg} * 1 \text{ kg} * 23 \text{ K}$$

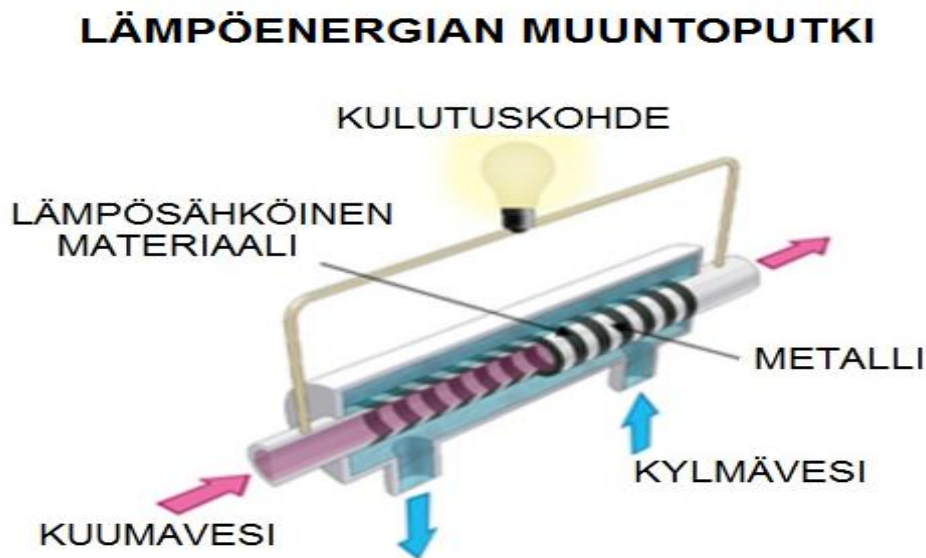
$$= 96\,370 \text{ J} \approx \underline{100 \text{ kJ.}}$$

Verrattaessa akun ja kattilan sisäenergioita voidaan todeta, että lähtötilanteessa molemmat sisältävät lähes saman verran exergiaa eli hyödyksi saatavaa energiaa. Poikkeuksen tekee se, että akku tuottaa hyödyksi käytettävää energiaa tyhjentymiseen asti. Kattilan hyötyenergia voidaan olettaa loppuvan, kun lämpötila on laskenut esimerkkitalassa 43 °C:sta ympäristön 20 °C:seen. Tällöin loppuenergia on anergiaa, jota ei voida enää hyödyntää.

Esimerkillä pyritään todistamaan, että TEG-lämpösähköisen elementin sisäenergiassa on exergiaa niin kauan kuin on lämpötilaeroa. Myös exergiaa on niin kauan kuin on sisäenergiaa. Kattilan hyödynnettävä exergia loppuu, vaikka lämpötilaa olisikin jäljellä.

4.6 Lämpösähköinen putkikeräin

Kuvassa 14 on Panasonicin kehittämä lämpösähköisen energian muuntoputki. Putki voidaan asentaa kohteeseen, jossa syntyy hyödynnettävää hukkalämpöä. Lämpösähköinen putkikeräin on suunniteltu kuumien putkien energiamuuntimeksi muuntamaan lämpö hyödynnettäväksi sähköenergiaksi. (18.)



KUVA 14. Panasonicin lämpösähköinen energian muuntoputki (18)

Lämpösähköisen energiakeräimen teho on kolmin- tai nelinkertainen aiemmin käytettyihin keräimiin verrattuna. Verrattu analyysi perustuu valmistajan tietoihin. Putken teho perustuu sen koko pinta-alan hyödyntämiseen keräimenä. Läpi virtaava kuuma vesi lämmittää koko putken. Kuvassa energia keräimiksi putken ympärille on sijoitettu neljä 20 cm:n putkikeräintä. Putkikeräimiltä saatava teho riittää tuottamaan sähkön kannettavan television tai led-valaistuksen tarpeeseen. Vielä suuremmat putkikeräimet voisivat antaa merkittäviä energia- ja kustannussäästöjä hukkalämpöä tuottavissa kohteissa. (18.)

Putkikeräimen kiinnostavuutta lisääisivät tekniset tuotetiedot optimaalisesta lämpötilaerosta eli tieto, millä lämpötilaerolla putkikeräimen energian muuntohyötysuhde on parhaimmillaan. Panasonicin suunnitelmissa on tuoda tuote markkinoille vuonna 2018. (18.)

5 YHTEENVETO

Tämä opinnäytetyö tehtiin Oulun yliopiston Eteläisen instituutin Tulevaisuus tuotantoteknologiat -tutkimusryhmälle. Tarkoituksena oli selvittää lämpösähköisten generaattoreiden historia sekä Seebeck-ilmiön havainnoista ja teorian perusteella kehitetty nykyaikainen termosähköinen generaattori. Lisäksi työssä tutkittiin materiaalien kehitystä, hyvyysluvun noston mahdollisuuksia, teknisiä sovelluskohteita ja lämpötilaerojen vaikutusta saatavaan hyötysuhteeseen sekä termojännitteeseen.

Opinnäytetyö rajattiin Seebeck-ilmiöön, termolankoihin ja termoelementteihin, joilla lämmöstä tuotetaan sähköä. Maailmassa on suuria hukkalämmöntuottajia kuten liikenne, teollisuus ja asuminen. 60 - 70 % hukkalämmöstä voidaan ottaa hyötykäyttöön eli lämmön ja sähkön yhteistuotantoon. Kaikkia kolmea pääkohdetta käsiteltiin, tutkittiin ja arvioitiin energiankeräyskohteina. Pääesimerkit esitettiin joko teoreettisesti tai laskuesimerkeillä.

Työssä iso painoarvo asetettiin energiankeruuelementeille, koska niiden hyötysuhde on huono. Se on keskimäärin 5 %, mutta hyvilläkin materiaalipareilla ja optimaalisella lämpötilaerolla voidaan päästä vain lähelle 10:tä prosenttia.

Materiaalitutkimus pyrkii löytämään optimaaliset materiaaliparit sekä puolijohteiden n- ja p-tyyppien ihanneseokset, jotta teoriassa päästäisiin yli 10 prosentin hyötysuhteeseen. Kuumen ja jäädyttävän puolen lämpötilaeron on oltava juuri oikea. Lämmönluovuttajan tehon on oltava tasainen, välittäjämaterialin homogeeninen sekä kuumen että väliaineen ja kylmän puolen lämpötilaeron on oltava juuri tietynlainen. Yksiselitteistä vastausta ongelmaan ei ole, koska jäädytyksessä voidaan käyttää vapaata tai pakotettua konvektiota, jäädytyssiilejä tai nestettä.

Työn suurimmat ongelmat olivat ulkomaalaiset ammattitermistöt ja niiden kääntäminen suomenkieliseksi ammattisanastoksi. Tekniikan kehitys termeineen on nopeampaa kuin suomenkielinen terminologia. Lisäksi ongelmia tuottivat eri val-

mistajien internetsivujen monimutkaisuus sekä asioiden ja teknisten tietojen saatavuus. Kotimaisilta valmistajilta tai maahantuojilta ei tuotetietoja ollut saatavilla.

Omilla esimerkeillä onnistuin laskemaan pelkkien kurssimateriaalien, oppikirja- ja/tai internettietojen arvioperusteella hyväksyttävät tulokset valitsemille termolangoille, termoelementeille ja/tai termoelementtisysteemille. Apuna olivat muiden kurssien muistiinpanot ja laskuesimerkit. TEG-pantalasku tuloksellaan vastaa hyvin liitteen 2 vertailutietoja ja tuloksia. Saatu 245 W/12 elementille on hyvin vertailukelpoinen tulos. Laskennallinen tulos osoittaa, että lämpö- ja materiaali-tekniisillä arvioinneilla voi ilman tuotetietojakin laskea valmistajan tuotteen toiminnan edellytykset. Kyseinen TEG-panta oli lähtötietopohdinnassa, josta pyydettiin teoreettista arviointia tai toimivuuden osoittamista laskennallisesti. Työssä ei pyritty etsimään valmiita ratkaisuja TEG-rakenteille, vaan selvittämään ne itse.

Elementtien kehitykseen vaikuttavat niiden hyötysuhteen kehitys ja kuluttajien vastaanotto. Kuluttajien luottamus ja teknologian vastaanotto vaikuttavat suoraan tuotekehitykseen ja energiankeruutekniikan hyödyntämiseen, koska lämpöenergiaa on kaikkialla. Energiaputkikeräintä voi verrata TEG-pantakeräimeen, vaikka energiaputkikeräin on vielä prototyypivaiheessa, mutta se saattanee teohyötysuhteella olla parempi kuin monimutkaisempi TEG-pantakeräin.

TEG-pantakeräin tai energiaputkikeräin voivat hyvinkin olla pientalouden energian muuntimia niin valaistukseen kuin pienenergialaitteiden käyttöön. Molemmista saatava teho riittää hyvin pienenergiakäyttöön. Hyötykäytöstä puuttuu vain suomalainen innovaatio.

LÄHTEET

1. Oulun Eteläinen instituutti. Esittely. Saatavissa: www.oei.fi. Hakupäivä 26.9.2013.
2. Lindell, Ismo 1994. Sähkötekniikan historia. Tampere: Otatieto Oy.
3. Halko, Pekka – Härkönen, Sakari – Lähteenmäki, Ilkka – Välimaa, Taisto 1996. Teollisuuden mittaustekniikan perusteet. Hki: Oy Edita Ab.
4. Weckström, Thua 2002. Lämpötilan mittaus. Helsinki: Mittatekniikan keskus. Julkaisu J1/2002. Saatavissa: www.mikes.fi/dokuments/upload/MIKES_J1_2002.pdf. Hakupäivä 31.8.2013.
5. Huovila, Henrik – Tervo, Jyrki 2012. Lämmöstä käyttöenergiaa. Promaint. 26 vsk. S. 58 - 61.
6. Rossi, Tuomas 2011. Lämpösähköisen elementin karakterisointi. Espoo: Aalto-yliopisto, sähkötekniikan korkeakoulu. Kandidaatintyö.
7. Rantanen, Kalevi 2013. Sähköä lämmöstä. Tekniikan maailma. Nro 2. S. 48 - 49.
8. Snyder, G. Jeffrey – Toberer, Eric S 2008. California institute of technology. Thermoelectrics. Caltech materials science. Saatavissa: <http://www.its.caltech.edu/~jsnyder/thermoelectrics>. Hakupäivä 25.6.2013.
9. Fagerholm, Nils-Erik 1986. Termodynamiikka. Jyväskylä: Gummerus Oy:n kirjapaino. Otakustantamo.
10. Suvanto, Kari 2003. Tekniikan fysiikka 1. Hki: Edita Prima Oy.
11. Itävaara, Merja – Linder, Markus – Kauppinen, Esko. Helsinki 2008. Tulevaisuusvaliokunta. Eduskunnan tulevaisuusvaliokunnan teknologia arviointeja nro 26. Nanomateriaalien mahdollisuudet ja haitat. Saatavissa:

- <http://www.nanobusiness.fi/uploads/nano-esiselvitys.pdf>. Hakupäivä 13.7.2013.
12. Vining, Cronin B. 1994. Thermoelectric technology of the future. Defense science research council workshop. La Jolla, California. July 21. Saatavissa: http://www.poweredbythermolife.com/pdf/Thermoelectric_Technology_of_the_Future.pdf. Hakupäivä 16.9.2013.
13. Juhala, Matti – Kankare, Johannes – Laamanen, Mikko 2010. Katsaus ajoneuvojen oheisjärjestelmän energiankulutukseen ja –tuottamiseen. Espoo: Aalto-yliopiston Teknillinen korkeakoulu. Saatavissa: http://www.transec.fi/files/542/Katsaus_ajoneuvojen_oheisjarjestelmien_energiankulutukseen_ja_tuottamiseen.pdf. Hakupäivä 15.9.2013.
14. Moczygomba, Joshua. Marlow. Inc. Energy harvesting teg power strap for industrial, chemical, oil, gas application. Product overview and performance. Saatavissa: http://www.marlow.com/media/marlow/images/support_guide/EverGen_Power_Strap_White_Paper.pdf. Hakupäivä 21.9.2013.
15. Mäkelä, Veli-Matti 2013. T350603 Lämmönsiirtotekniikka, 3 op. Opintojakson oppimateriaali keväällä 2010. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tekniikan yksikkö.
16. The Online Automotive World. 2014. BatteryStuff.com. Saatavissa: <http://www.batterystuff.com/blog/the-online-automotive-world.html>. Hakupäivä 8.1.2014.
17. One Pot Wonders! 2009. Blogi. I Heart Cooking Clubs. Saatavissa: <http://iheartcookingclubs.blogspot.fi/2009/10/one-pot-wonders.html>. Hakupäivä 8.1.2014.

18. Luoto, Janne 2013. Hukkalämmöstä energianlähde – termosähköiset putket tekevät sähköä kuumasta vedestä. Tekniikka & Talous. Energia. 4.1.2013. Saatavissa: <http://www.tekniikkatalous.fi/energia/hukkalammosta+energianlahde+ndash+termosahkoiset+putket+tekevat+sahkoa+kuumasta+vedesta/a867798>. Hakupäivä 20.11.2013.
19. Seebeck Thermoelectric Generator. 1261G-7L31-24CX1. 2011. Tuoteseloste. Saatavissa: http://www.customthermoelectric.com/powergen/pdf/1261G-7L31-24CX1_spec_sht.pdf. Hakupäivä 25.10.2013.
20. Thermoelectric generator. 2011. Tuoteseloste. EVERREDtronics Ltd. Saatavissa: <http://www.everredtronics.com/TEG.html>. Hakupäivä 25.10.2013.
21. TEG thermoelectric power module selection. 2000. Tuoteseloste. Thermal Electronics Corp. Saatavissa: <http://espressomilkcooler.com/teg-thermoelectric-power-module-selection/>. Hakupäivä 25.10.2013.
22. Thermoelectrical generators. 2008. Tuoteseloste. Saatavissa: <http://www.eureca.de/pdf/cooling/seebeck-elements/TEG-English-V101.pdf>. Hakupäivä 25.10.2013.
23. Thermoelectric power generation modules. 2009. Tuoteseloste. Merit Technology Group. Saatavissa: http://www.meritgroup.com/P_PGM.asp. Hakupäivä 25.10.2013.

LÄHTÖTIETOMUISTIO

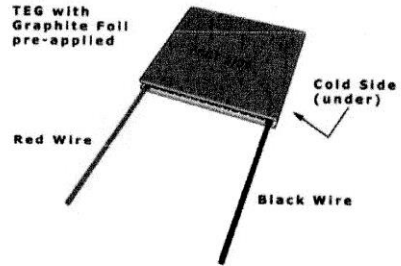
Työn tiedot	Tekijä ¹ Sami Jolma	Tilaaaja ² Oulun Yliopisto
	Tilaaajan yhdyshenkilö ja yhteystiedot ³ Kari Mäntyjärvi	
	Työn nimi ⁴ LÄMPÖSÄHKÖISTEN GENERAATTOREIDEN KÄYTTÖ, KEHITYS JA TOIMINTA	
	Työn kuvaus ⁵ Työn tarkoituksena on kartoittaa lämpösähköisen Seebeck-ilmion taustoja, kehitystä, toimintaperiaatteita ja verrata niitä termodynamiikan asettamiin ehtoihin. Myös tarkastellaan ilmiöön liittyviä käyttökohteita ja tulevaisuuden näkymiä sekä hyötysuhteen nostamisen keinoja nanoteknologian keinoin.	
	Työn tavoitteet ⁶ Työssä selvitetään lämpösähköisten elementtien pienimuotoista sähkön ja lämmöntuotantoa ja mahdollista CHP-tuotantoa, jota kartoitetaan jo testatuilla elementeillä mutta arvioidaan uudelleen henkiin herätetyllä tekniikalla ja sen näkymillä. Jäähdytys- ja nanotekniikka voivat olla uuden alku.	
	Tavoiteaikataulut ⁷ Kevät/ kesä 2013	
	Päiväys ja allekirjoitukset ⁸ 29/4/2013 Oulu Tekijän allekirjoitus 	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Tekijän nimi, puhelinnumero ja sähköpostiosoite. 2. Työn teettävän yrityksen virallinen nimi. 3. Sen henkilön nimi ja yhteystiedot, joka yrityksessä valvoo työn suoritusta. 4. Työn nimi voi olla tässä vaiheessa työnimi, jota myöhemmin tarkennetaan. 5. Työ kuvataan lyhyesti. Siinä esitetään muun muassa työn tausta, lähtötilanne ja työssä ratkaistavat ongelmat. 6. Esitetään lyhyesti ja selvästi työn tavoitteet. 7. Esitetään projektin tavoiteaikataulu. Silloin, kun työllä on välitavoitteita, myös ne merkitään aikatauluun. Tavoiteaikataulun ja oppilaitoksen yleisaikataulun perusteella tekijä laatii oman aikataulunsa. 8. Lähtötietomuistio päivätään ja sen allekirjoittavat tekijä ja tilaaajan yhdyshenkilö. 		

TEG Specification Sheet



Seebeck Thermoelectric Generator

Part #	T_{max} (°C)
1261G-7L31-24CX1	300°C

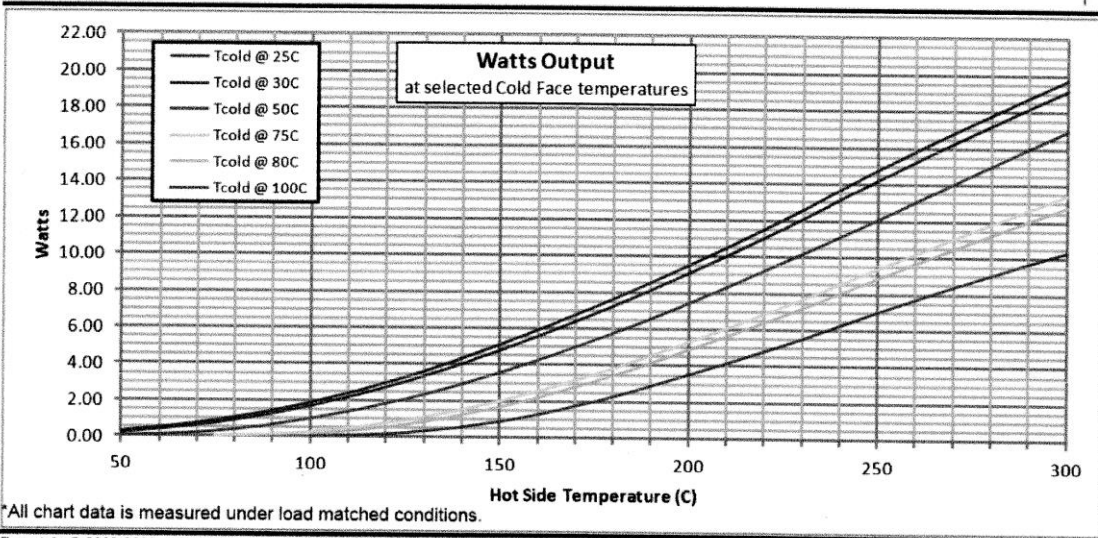
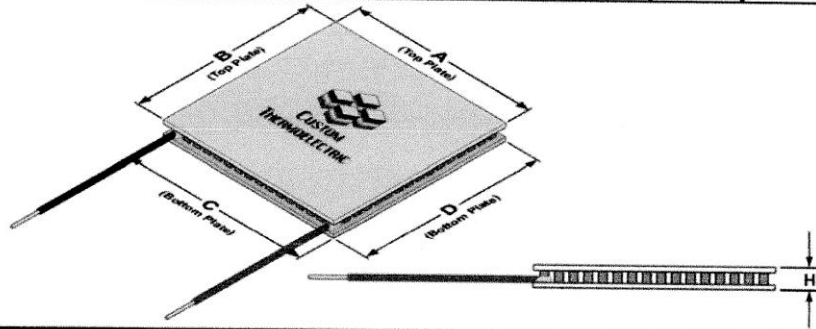


Note:
Hot side is rated to a maximum of 300°C continuous
Cold side is rated to a maximum of 180°C continuous.

Both sides of the TEG have a graphite foil pre-applied as a thermal interface material (TIM). There is no need to add any additional thermal grease or compounds.

Top Plate				Bottom Plate				Height w/ Foil		Lapped Height	
A		B		C		D		H		H	
mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in
56.0	2.205	56.0	2.205	56.0	2.205	56.0	2.205	5.0	0.197	4.6	0.181

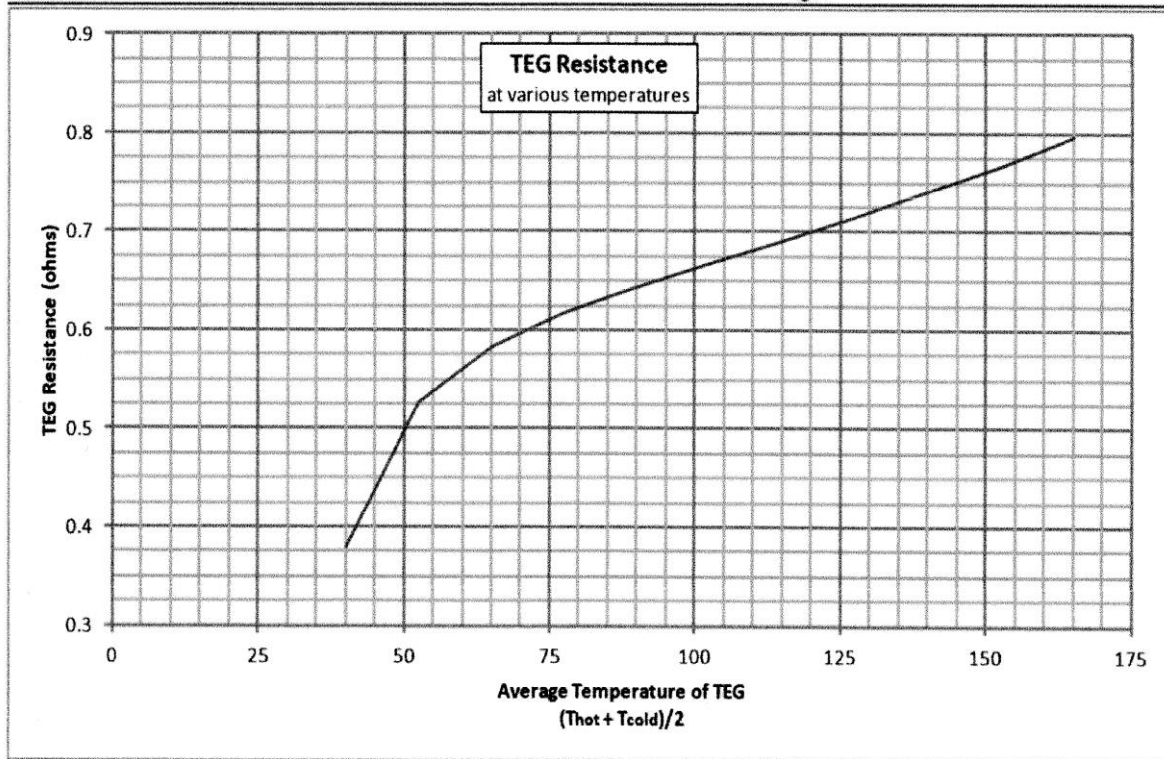
Weight (w/o leads)
60 grams
AC Resistance
.38 ohms @ 27°C



*All chart data is measured under load matched conditions.

Copyright © 2008-2011. All rights reserved. Custom Thermoelectric 11941 Industrial Park Road, STE 5, Bishopville, MD 21813
Tel 443-926-9135 FAX: 443-926-9137 WEB www.customthermoelectric.com E-mail: temodule@customthermoelectric.com
All technical information and data in this document is based on tests and measurements and is believed to be accurate and reliable. Product testing by the purchaser is recommended in order to confirm expected results for specific applications. Materials and specifications are subject to change without notice. REV 11-29-2011

TEG Specification Sheet



How to use the Charts:

1. Determine the Hot Side and Cold Side temperatures the TEG will be exposed to
2. Find the Hot Side temperature using the horizontal (X) axis on the Volts, Amps, or Watts chart.
3. Follow a vertical line from the Hot Side temperature until you meet the curve that represents the Cold Side temperature. Mark this point. [It is OK to interpolate between the lines if your cold side value is between one of the curves]
4. Follow a horizontal line left from this point towards the vertical (Y) axis and read off the value where it intercepts.

Example:

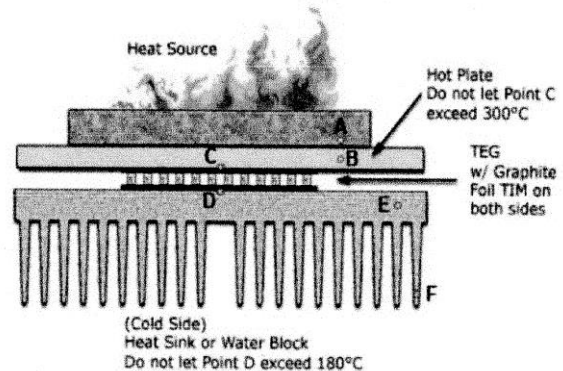
You determine the Hot Side temperature will be 250°C and the Cold Side temperature will be 30°C. Look at the Volts chart. Find the 250°C value on the horizontal (X) axis and follow a vertical line up until you meet the 30°C blue Cold Side curve. The vertical 250°C line and the 30°C blue curve meet just between two of the horizontal grey lines. Follow a line to the left until you meet the vertical (Y) axis. The line corresponds to about 3.25 volts, since it is about halfway between the 3.2 volt grey line and the 3.3 volt grey line. Using the same method on the Amps chart shows an output of approximately 4.39 amps.

About Load Matching:

TEGs will deliver the maximum Power output (Volts x Amps) when the load resistance equals the TEGs internal resistance. Use the above chart "TEG resistance" to determine the TEGs resistance. Simply add the values of both the hot and cold side temperatures and divide by two to get the average temperature. If you cannot match the load, then always try to keep the load resistance higher than the TEG resistance rather than lower.

About Temperatures and Points of Measurement:

TEGs generate electrical power based off of a provided temperature difference. The greater the temperature difference, the greater the power output. But it is also important to know where these temperatures are measured at, else your design will give you unexpected results. Consult the diagram below. temperature measurement points are labeled as A, B, C, D, E, and F. Point A is the temperature of your heat source. Point B is typically the measurement on the hot plate of your assembly and will be lower value than Point A. Point C is measured just at the TEG to hot plate interface and is the actual Hot side temperature the TEG will "see". Point D is measured at the Cold side to sink interface and is the Cold side temperature the TEG will "see". Point E is measured elsewhere on the Sink and is usually less than point D. Point F is measured on the edge of the sink and is usually much lower than point D or E. All the charts are based off of measurements taken at points C and D. Keep in mind, also, that the heat is passing through the TEG and will end up on the cold side. This will raise the temperature of your Sink and will have an effect on Point D, usually raising it higher than you think it is.





[Thermoelectric Modules](#) | [Embedded System](#) | [LED Lighting](#)

[Home](#) | [How to/FAQ](#) | [Products](#) | [Technical Info](#) | [Contacts](#) | [Search](#)

>> Thermoelectric Generator -TEG

A thermoelectric generator relies on the "thermoelectric effect" to convert heat directly into electricity. It is a solid state device with no moving parts and so it is completely silent and extremely reliable. Due to the high reliability of thermoelectric power supplies they have been used for years to provide electrical power in space missions where solar power is not available. Two examples of the many space missions that have relied on thermoelectric power supplies are the "Voyager" that was sent into deep space and has operated successfully for more the 20 years and the "Apollo" lunar missions where thermoelectric power supplies powered equipment that was left behind for more than a decade.

RoHs compliant

Part. Number	P-N Couples	I _{max} (A)	U _{max} (V)	Q _c Max ΔT=0 (W)	DTmax Q _c =0(C) Th=27 C	Dimensions (mm; +/- 0.1) L x W x H	P/N Element Size (mm)	Unit Pric (US\$) <=10 pcs	Unit Pric (US\$) >10 pcs
TEG031-40A	31	40	3.5	85.5	65	40 x 40 x 5.7	4.0x4.0x2.0	\$ 28.2	\$ 26.4
TEG031-40B		50		106.9		40 x 40 x 5.3	4.0x4.0x1.6	\$ 27.5	\$ 25.8
TEG031-40C		60		128.3		40 x 40 x 5.0	4.0x4.0x1.35	\$ 24.0	\$ 23.5
TEG031-40D		80		171.1		40 x 40 x 4.7	4.0x4.0x1.0	\$ 21.8	\$ 20.5
TEG031-40E		100		213.9		40 x 40 x 4.5	4.0x4.0x0.8	\$ 19.2	\$ 18.2
TEG071-30A	71	10	8.5	52.7	65	30 x 30 x 3.7	1.6x1.6x1.2	\$ 26.5	\$ 24.5
TEG071-30B		12		63.2		30 x 30 x 3.7	1.7x1.7x1.2	\$ 26.0	\$ 24.0
TEG071-30C		15		79		30 x 30 x 3.7	1.9x1.9x1.2	\$ 25.3	\$ 23.5
TEG071-40A		18		94.8		40 x 40 x 4.4	2.5x2.5x1.7	\$ 24.5	\$ 23.6
TEG071-40B		24		126.4		40 x 40 x 4.0	2.5x2.5x1.3	\$ 21.5	\$ 20.3
TEG127-40A	127	10	15.2	94.2	67	40 x 40 x 3.7	1.6x1.6x1.2	\$ 12.5	\$ 11.3
TEG127-40B		12		113.0		40 x 40 x 3.7	1.7x1.7x1.2	\$ 13.5	\$ 12.6
TEG127-50A		15		141.3		50 x 50 x 4.0	2.0x2.0x1.25	\$ 18.6	\$ 16.9
TEG127-50B		18		169.6		50 x 50 x 4.0	2.1x2.1x1.2	\$ 19.8	\$ 18.2
TEG127-50C		24		226.1		50 x 50 x 3.75	2.4x2.4x1.2	\$ 21.9	\$ 20.5
TEG127-50D		30		289.0		50 x 50 x 3.9	2.5x2.5x1.0	\$ 23.2	\$ 21.9
TEG127-62A		30		350.0		62 x 62 x 5.1	3.0x3.0x1.35	\$ 29.0	\$ 26.9
TEG288-62A		288		10			370.0	67	62 x 62 x 4.0

Contact Us

North America: 1-800-769-2395 USA: 1-815-349-7004 Outside North America: 1-905-751-1362 Email: tecteg@rogers.com

TEG Products

- ▶ Thermoelectric Power Generator Systems for Sale
- ▶ TEG Thermoelectric Power Module Selection
- ▶ Thermoelectric TEG Power Modules Under 200°C
- ▶ Solar Hot Water Heater & Power Generators
- ▶ How Thermoelectric Power Generation Works
- ▶ TEG Power Generator & Thermoelectric Generator
- ▶ TEG Cascade 800°C Hot Side Thermoelectric Power Modules

TEG Thermoelectric Power Module Selection



 All modules below with **PayPal** IN STOCK ready to ship usually within 2-3 days from payment of order.

- All modules come with cold side silt ceramic for greater endurance against effects of Thermal Cycling.
- Hot side standard graphite cover.
- Graphite cold side (optional).
- Aluminum flame sprayed hot side junctions for superior High Temperature applications up to 320°C**

Data Based on: Hot Side 300°C Cold side 30°C	 TEG1-12610-5.1 View Pricing	 TEG1-12611-6.0 View Pricing	 TEG1-12611-8.0 View Pricing	 TEG1B-12610-5.1 View Pricing	 TEG1-12610-4.3 View Pricing	 TEG1-1263-4.3 View Pricing
Size	40 x 40 mm	56 x 56 mm	56 x 56 mm	40 x 40 mm	40 x 40 mm	30 x 30 mm
Hot Side Temperature (°C)	300	300	300	300	300	300
Cold Side Temperature (°C)	30	30	30	30	30	30
Open Circuit Voltage(V)	7.8	8.4	9.5	7.2	10.7	10.7
Match Load Resistance(Ohms)	3.0	1.2	1.8	1.8	5.4	5.4
Match Load Output Voltage (V)	3.9	4.2	4.8	3.6	5.3	5.3
Match Load Output Current (A)	1.3	3.4	2.7	2.0	1.0	1.0
Match Load Output Watts (W)	5.1	14.6	13	7.1	5.2	5.2
Heat Flow Across Module Watts (W)	-128	-365	-325	-148	-115	-115
Heat Flow Density(w/cm2)	-8.0	-11.6	-10.4	-9.2	-7.5	-13 w
AC Resistance (Ohms) Measured under 27°C @1000Hz	-1.3-1.8	-5.7	-7 -10	-8-1.0	-2.7-3.6	-2.7-3.6
All Specifications Mechanical & Outputs At Three T °C Data Points						

**Normal operating hot side temperature is recommended at 300°C or below. Always have an active cold side when applying heat to the hot side. Temperatures listed are at hot side junctions. Results above are based on ideal lab conditions, material preparation. Results will vary based on system design.



DT = Hot side - Cold side





EURECA Messtechnik GmbH
Eupener Straße 150
50933 Köln
Germany

Tel.: +49 (0)221 430 823-90
Fax: +49 (0)221 430 823-94
Web: <http://www.eureca.de>
EMail: info@eureca.de

Thermoelectrical generators (SEEBECK elements) with prices for smaller volumes

Thermoelectrical generators are in principle identical compared to peltier elements. Here the Seebeck effect is used to generate an electrical power out of a temperature difference, which is applied to the element. Due to this fact they are suitable to exploit residual heat or for regenerative power generation. Another large field of use is the power supply of devices far from power lines.

Beside the most important technical data this overview shows also the prices for our thermoelectrical generators. Please note that the prices drop fast at higher volumes, as they are needed e.g. to build up powerful generator blocks for power plants. Please request the prices for needed higher volumes and we will prepare an individual quotation.

Normally we have the elements listed in this overview on stock, so that smaller volumes for evaluation purposes can be shipped immediately.

The following tabular shows elements for a maximum operating temperature of up to 120 degree celcius. The indicated values are measured at a temperature difference of 100K.

Designation	No load voltage [V]	Short circuit current [A]	Max. power [W]	Size L x B x H [mm]	Unit price 1+ [Euro]	Unit price 10+ [Euro]	Unit price 100+ [Euro]
TEG1-9.1-9.9-0.2/100	2,7	0,3	0,2	9,1 x 9,9 x 2,3	69,95	58,45	31,05
TEG1-30-30-2.1/100	5,4	1,6	2,1	30,0 x 30,0 x 3,6	34,95	29,25	16,15
TEG1-40-40-4.7/100	5,4	3,5	4,7	40,0 x 40,0 x 3,4	51,95	43,30	23,20
TEG2-40-40-4.7/100	5,3	3,5	4,7	40,0 x 40,0 x 3,4	17,95	14,95	8,30
TEG1-40-40-10/100	8,2	4,9	10,1	40,0 x 40,0 x 3,2	97,65	81,40	38,65

The elements TEG1-40-40-4.7/100 and TEG2-40-40-4.7/100 provide almost identical technical data. The TEG2-40-40-4.7/100 is made in China and provides higher tolerances and a reduced life time, is however much cheaper.


The following table shows elements for maximum operating temperatures of up to 150 degree celcius. The indicated values are measured at a temperature difference of 200K.

Designation	No load voltage [V]	Short circuit current [A]	Max. power [W]	Size L x B x H [mm]	Unit price 1+ [Euro]	Unit price 10+ [Euro]	Unit price 100+ [Euro]
TEG1-9.1-9.9-0.8/200	5,4	0,6	0,8	9,1 x 9,9 x 2,3	76,25	63,55	33,75
TEG1-30-30-8.5/200	10,8	3,2	8,5	30,0 x 30,0 x 3,6	37,90	31,60	17,40
TEG1-40-40-19/200	10,8	7,0	19,0	40,0 x 40,0 x 3,4	56,30	46,90	25,10
TEG2-40-40-19/200	10,6	7,0	19,0	40,0 x 40,0 x 3,4	36,50	30,40	16,80
TEG2-50-50-40/200	10,3	15,3	40,0	50,0 x 50,0 x 3,4	67,30	53,80	30,90

The elements TEG1-40-40-19/200 and TEG2-40-40-19/200 provide almost identical technical data. The TEG1-40-40-19/200 is again made in China and provides higher tolerances and a reduced life time, is however cheaper.



You can find closer technical data on our web pages at: <http://www.eureca.de>



[Home](#) [About Us](#) [Products](#) [Production Equipments](#) [Peltier Technology](#) [Order Online](#) [Feed Back](#) [Contact Us](#)

Products List
HOME

Thermoelectric Cooling Modules

- TEC 127 Couples Series
- TEC Other Couples Series
- TES Series
- Special Series
- Multistage Series
- Custom Design Modules

Power Generation Modules

Thermoelectric Material

- Te,Bi,Se,Sb.
- N,P Dices and Crystalbar
- Ceramic Plates




Heat Exchanger

- Aluminum & Copper Heatsink
- Cooling Water Plate
- Heat Pipe

Other Products

Accessories

Power Generation Module

Thermoelectric Power Generation Modules

TYPE	Open circuit	Load output	Load output	Load output	Heat flow through (W)	Internal resistance (Ω)	DIMENSI ONS (mm)
	Voltage (V)	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)			
TEG1-12630-2.6	8.8V	4.3V	0.6A	2.6W	60W	7	30x30
TEG1-12635-2.8	8.8V	4.3V	0.66A	2.8W	64W	6.5	35x35
TEG1-12640-2.6	8.8V	4.3V	0.6 A	2.6W	60W	7	40x40
TEG1-12640-5.9	8.8V	4.2V	1.4A	5.9W	140W	3	40x40
TEG1-12656-11	8.8V	4.2V	2.5A	10.5W	240W	1.7	56x56
TEG1-12656-15	8.8V	4.2V	3.5A	14.7W	350W	1.2	56x56
TEG1-12740-2.1	6.1V	3.0V	0.7A	2.1W	80W	2.54	40x40
TEG1-12740-1.7	6.3V	3.2V	0.53A	1.7W	55W	4.01	40x40
TEG1-28760-1.7	12V	6.1V	0.28A	1.7W	55W	17.3	60x60
TEG1-25862-7.2	17V	12V	0.6A	7.2W	180W	20	62*62
TEG1-12640-2.1	8V	3.5V	0.6A	2.1w	53W	5.8	40*40
Custom Design							

The above-mentioned specification are based on that the hot side temperature is at 230°C and cold side at 30°C.

