

Tapani Piri

**ENERGIAA TUOTTAVAN LAATAN HYÖDYNTÄMINEN ENERGI-  
ANTUOTANNOSSA**

# **ENERGIAA TUOTTAVAN LAATAN HYÖDYNTÄMINEN ENERGI- ANTUOTANNOSSA**

Tapani Piri  
Energiaa tuottavan laatan hyödyntäminen  
energiantuotannossa  
Kevät 2017  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Koulutusohjelma, suuntautumisvaihtoehto

---

Tekijä: Tapani Piri

Opinnäytetyön nimi: Energiaa tuottavan laatan hyödyntäminen energiantuotannossa

Työn ohjaaja: Kimmo Illikainen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät/2017

Sivumäärä: 30

---

Energiantuotannon suunta on menossa jatkuvasti ympäristöystävällisempään suuntaan. Käytössä olevia uusiutuvia energianlähteitä ovat tuuli-, vesi-, aurinkoenergia tuloaan ovat tekemässä myös energiantuotantolaatat.

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää pietsosähköistä ja vauhtipyöräenergiantuotantotapaa hyödyntävä laatan käyttöä julkisilla paikoilla energiantuotannossa. Työssä selvitettiin laattojen asennusten kannattavuutta esimerkkikohteeseen.

Työssä perehdyttiin laatan rakenteeseen ja energiantuotantoon. Näiden tietojen perusteella laskettiin laatan energian tuottoa ja kustannuksia esimerkkikohteessa.

Opinnäytetyössä saatiin selvitettyä laattojen hyödyntäminen energiantuotannossa. Tulosta voidaan hyödyntää ja verrata muihin uusiutuviin energianlähteisiin.

---

Asiasanat: energiantuotanto, uusiutuvaenergia, energialaatta

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Civil Engineering, Structural Design

---

Author: Tapani Piri

Title of thesis: Using Energy-producing Tile in Energy production

Supervisor: Kimmo Illikainen

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2017 Pages: 30

---

All the time energy production is going to ecological direction. Nowadays the use of renewable energy sources includes wind, hydro and solar energy. There is joining also energy production tiles.

The aim of this thesis was to determine the piezoelectric energy production method utilizing the use of tiles in public places for energy production. The aim of this thesis was to explore the profitability of the tile installation in an example place.

In this thesis the structure of tile and the energy production of tile was studied. Based on this data, the tile energy production and costs were calculated in an example place.

The thesis was cleared use of tiles in energy production. The results can be utilized and compared with other renewable energy sources.

---

Keywords: energy production, renewable energy, energy producing tiles

# SISÄLLYS

1 JOHDANTO	5
2 PAVEGEN SYSTEMS	6
2.1 PaveGen energialaatta	7
3 PIETSOSÄHKÖ	13
3.1 Pietsosähkön historiaa	13
3.2 Pietsosähköinen ilmiö	13
3.3 Pietsosähköiset materiaalit	14
3.4 Pietsosähköinen energiankeruu	15
4 VAUHTIPYÖRÄ	16
5 WASHINGTON, CONNECTICUT AVENUE	18
6 ENERGIALAATAN KÄYTTÖ HELSINKI-VANTAAN LENTOKENTÄLLÄ	21
7 YHTEENVETO	25

# SANASTO

## Alkeiskoppi:

Alkeiskoppi on kiderakenteen perusosa. Se on pienin rakenne, jota toistamalla kiderakenne saadaan rakennettua. Alkeiskoppi rakentuu molekyyleistä, atomeista tai ioneista, joita voidaan kuvata kovina, pyöreinä palloina.

# 1 JOHDANTO

Viimeisen muutaman kymmenen vuoden aikana uusiutuvat energianlähteet ovat tehneet nousuaan, joihin kuuluvat aurinko-, tuuli- ja vesivoima. Rakennusten sisällä uusituvia energian lähteitä on muun muassa tärinään perustuvaa energiantuotantoa, jota kutsutaan pietsosähköiseksi energiantuotannoksi.

Opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä pietsosähköisiä materiaaleja ja vauhtipyörää hyväksi käyttävää energiaa tuottavan laatan kustannuksia, energian tuotantoa ja sen käyttöä julkisilla paikoilla. Tavoitteena oli myös vertailla laatan tuottamaa energiaa sen kustannuksiin. Yksi tavoitteista oli tutkia laatan ongelmakohtia.

Työssä perehdyttiin PaveGen Systems yrityksen kehittämään V3-laattaan. Työn aluksi perehdyttiin laatan ominaisuuksiin ja laatan energian tuotantotapaa.

Työssä tutkittiin pietsosähköistä ilmiötä, pietsosähköisiä materiaaleja ja vauhtipyörän ominaisuuksia. Työssä myös tutkittiin, miten laatta tuottaa ihmisten askeleista energiaa. Työn lopussa saatiin esimerkkikohteisiin asennettujen laattojen kustannuksia ja energiantuottomääriä.

Työssä käytettiin esimerkkikohteena julkisia paikkoja, joihin V3-laatat on asennettu ja mihin ne voitaisiin asentaa. Ensimmäinen kohde sijaitsee Washingtonissa, johon PaveGen on asentanut 2016 kesällä V3-laattoja. Suomeen laatta ei ole vielä rantautunut, joten työssä lasketaan Helsinki-Vantaan lentokentälle asennettujen V3-laattojen energiantuotto ja kustannukset.

## 2 PAVEGEN SYSTEMS

Laurence Kemball-Cook perusti PaveGen Systemsin vuonna 2009. PaveGenin visio on uudelleen määrittää kestävyyttä rakennettuun ympäristöön, uudella lattiatekniikalla, joka tuottaa sähköä ihmisen askelista. PaveGenin tavoite on tuoda laatta jokaiselle 7,4 miljardille ihmiselle maapalolla. Kemball-Cookin ja PaveGenin tavoite on, että tulevaisuudessa jokainen ihmisen ottama askel tuottaisi energiaa kineettisen laatan avulla. (1.)

Pavegen on hyvin menestynyt nuoresta iästään huolimatta, siitä kertovat monet palkinnot:

2011: Shell Livewire Entrepreneur of the year finalist.

2011: Laurence Kemball-Cook was announced winner of the Studio East Westfield Environmental Awards.

2011 Pavegen won the award for the Sustainability Prize at the Institute of Engineering and Technology Awards (IET).

2011: Awarded Silver for the Best Green Technology Award at the International Green Awards.

2012: Laurence won the energy prize award in the 'Individual' category at the WTN Awards in New York.

2012: Laurence took first place in the Santander Entrepreneurship Award.

2012: Laurence was voted the Most Inspirational Young Person at the Climate Week Awards.

2012: Pavegen was announced the winner of the UK Trade & Investment Award in the 'Exporting for Growth' Prize.

2013: Laurence was voted Businessman of the year at the international PEA awards.

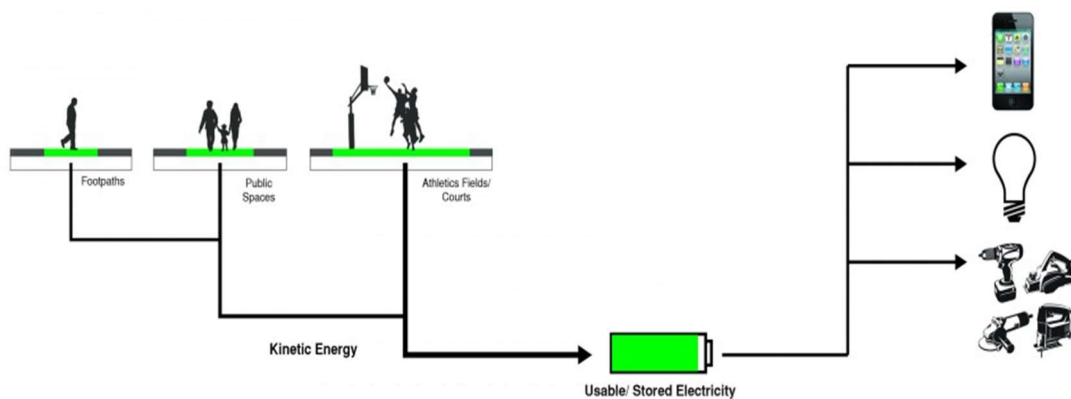
2014: Pavegen won the 2 Degrees Award for Energy and Carbon Management (Long-Term Payback).

2014 Pavegen was the PEA Awards Champion in the Energy Saving Idea category, while on the same night the inventor, Laurence Kemball-Cook, won Business Person of the Year. (4.)



## 2.1 PaveGen energialaatta

PaveGenin ensimmäinen kineettinen laatta oli muodoltaan suorakulmainen, laatan rakenne ja mitat esitetään kuvassa 2. Tämä laatta julkaistiin 2009, jolloin PaveGen Systems perustettiin. Askeleen kohdistuessa keskelle laattaa, laattaa painuu noin 2-5 mm. Laatan painuminen on yksi kulmapisteistä energian tuotantoon. Painuessaan pietsosähköiset materiaalit aktivoituvat ja luovat varauksen läpi materiaalin. Energiavaraus aiheuttaa vauhtipyörään pyörimisliikkeen, joka tuottaa energiaa. Pietsosähköisestä ilmiöstä ja pietsosähköisistä materiaaleista tutkitaan lisää kappaleessa 3. Vauhtipyörästä tutkitaan lisää kappaleessa 4. Kuvassa 1 on esitetty laatan tuottamia energian käyttökohteita.



*Kuva 1 Laatan tuottamaa energiaa voidaan käyttää moniin tarkoituksiin (4.)*



*Kuva 2. Energialaatta (2.)*

Ensimmäisessä laatussa energiantuottoanturi sijaitsee laatan keskellä, tällöin tehokkain energiantuotto on laatan keskellä. Laatan reunoissa painumaa ei pääse tapahtumaan, joten energian tuottoa reunoissa ei tapahdu. Laatan rakenne sisältä esitetään kuvassa 3.

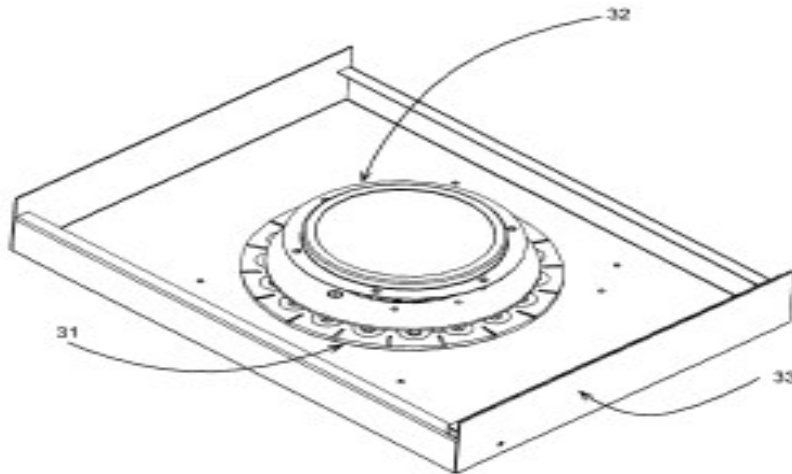


FIG. 6

*Kuva 3 Laatan rakenne sisältä (4.)*

Vuonna 2016 PaveGen kehitti uuden kineettisen laatan nimeltään V3. Uusi vakinainen laatta on muodoltaan kolmion muotoinen, kineettinen laatta on esitetty kuvassa 4. Kolmiomuoto mahdollistaa maksimaalisen energian tuotannon riippumatta siitä, mihin kohtaan laattaa askel kohdistuu. Aikaisempi neliön muotoinen laatta pystyi tuottamaan ainoastaan 20 prosenttia askelista energiaksi. Nykyinen V3-laatta takaa lähes 100 prosentin energiantuoton askelista. Tämä perustuu useampiin talteen ottaviin antureihin. Vanhan laatan yhden energiaa talteen ottavan anturin sijasta uudessa V3-laatussa on kolme anturia, jotka on sijoitettu kolmion kärkiin. Kolme anturia mahdollistaa laatan painuman jokaisesta laatan kohdasta.

Laatan energian tuotto on riippuvainen ihmisistä, kuinka paljon he painavat ja kuinka nopeaa he kulkevat laatan päältä. Ihmisen paino ja kävely- ja juoksu nopeus vaikuttaa laattaan kohdistuvaan voimaan. Mitä painavampi ihminen kävelee tai juoksee laatan päältä, laattaan kohdistuu suurempi voima. Keskimääräinen energian tuotto on 5 wattia energiaa yhdestä askeleesta, tällä voidaan esimerkiksi pitää yhtä led-katuvalaisinta 30 sekuntia toiminnassa. Energiantuotto voidaan määrittää laattaan kohdistuvan voiman ja voiman vaikutusajan avulla. Energian tuottoa käsitellään opinnäytetyössä kappaleessa 4.

V3-laatan kolmion jokaisen sivun mitta on 500 mm. Laatassa käytettyjä materiaaleja ovat teräs, kierrätetty alumiini ja komposiitti. V3-laatta on paljon tyylikäämpi, tehokkaampi ja tuottaa 200 kertaa enemmän energiaa tehokkaamman vauhtipyörän ansiosta, kuin vanha kineettinen laatta. V3 laatan asennuskustannukset vaihtelevat 75-160\$ riippuen asennus paikasta. (2; 8.)

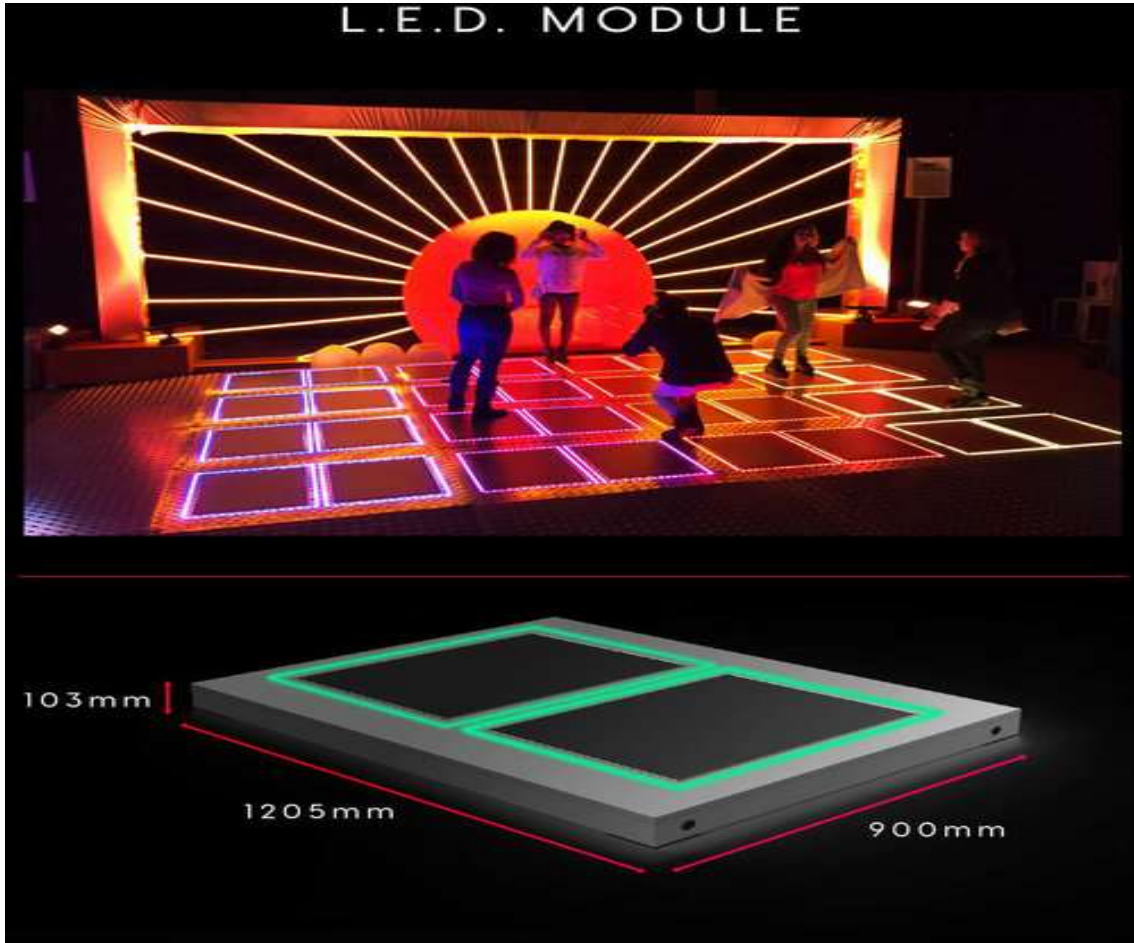
2009 julkaistun laatan asennuskustannukset ovat olleet 2011: 4000\$, 2013: 200\$. Aikaisempiin kustannuksiin nähden kustannukset ovat pienentyneet suuresti. Tulevaisuudessa varmasti kustannukset tulevat putoamaan entisestään.

Laatan yksi ongelmakohdista on sen käyttöikä. Käyttöiästä ei ole vielä käytännön kokemusta, koska V3-laattaa ei ole vielä käytetty kovinkaan pitkään. Joissain lähteissä arvioidaan käyttöiäksi viisi vuotta, mutta nämä ovat vain arvioita. Jos tämä viisi vuotta on käytännössäkin todellista, se on aika lyhyt käyttöikä energiantuotannon saralla. Laatan rakennetta ajatellessa laatan antureiden käyttöikä on heikoin ja ne ovat myös tärkeimmät osat laatassa. Jos ja kun laataan pitää tehdä huoltotoimenpiteitä viiden vuoden käytön jälkeen, se tuo lisää kustannuksia jo valmiiksi hintavalle laatalle.



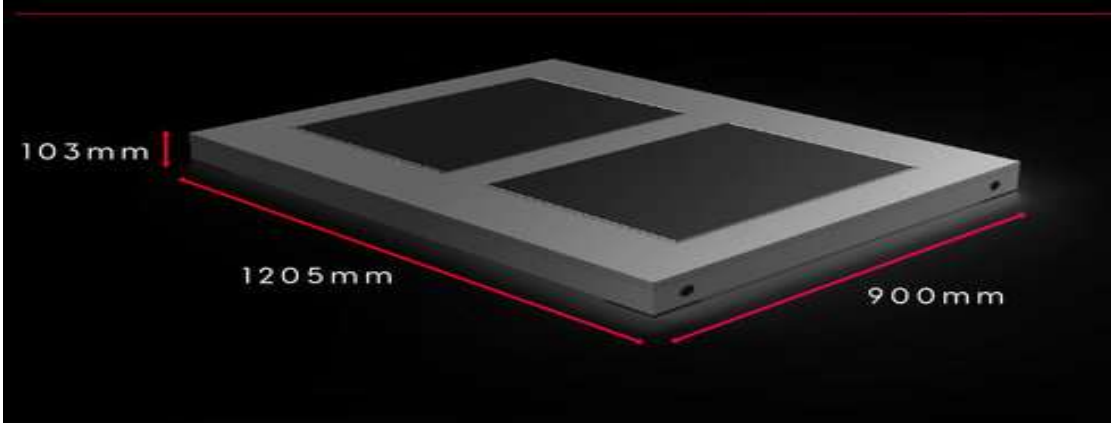
*Kuva 4 PaveGen V3 energialaatta (2.)*

PaveGen on myös kehittänyt laatan tapahtumia varten, jolloin laatta on helppo asentaa ja purkaa. Tapahtumiin tarkoitettuja laattoja on kahdenlaisia. Tanssita-  
pahtumiin tarkoitettuja, joissa on led-valot ja laatta ilman led-valoja. Kuvassa 5  
esitetty laatta ledeillä ja kuvassa 6 ilman ledejä. Tässä opinnäytetyössä ei kui-  
tenkaan tutkita näitä edellä mainittuja laattoja.



*Kuva 5 L.E.D MODULE (1.)*

# PAVEGEN MODULE



*Kuva 6 PAVEGEN MODULE (1.)*

## 3 PIETSOSÄHKÖ

### 3.1 Pietsosähkön historiaa

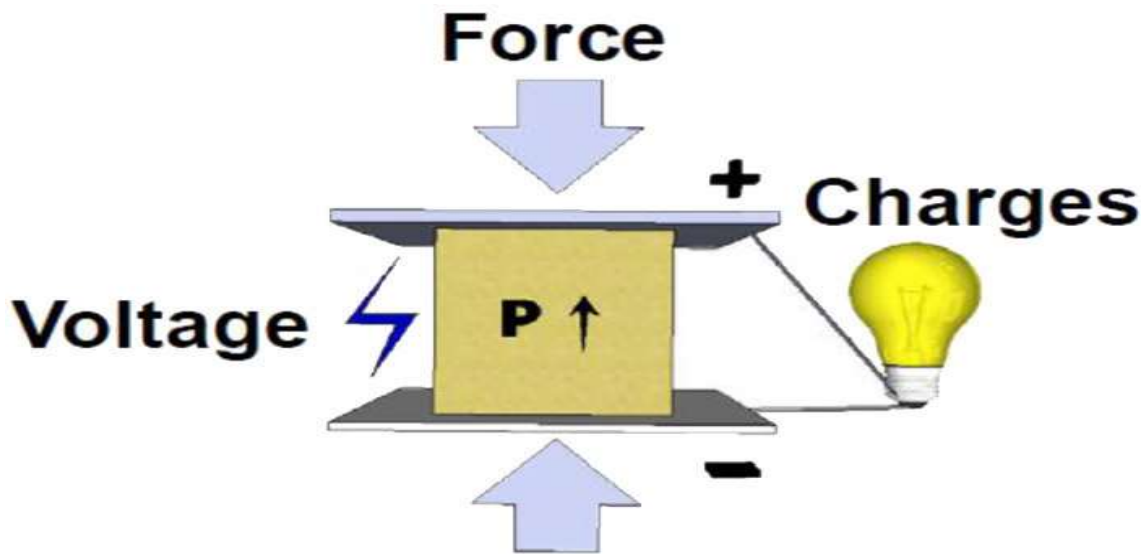
Pietsosähköilmiön nimen alkuosa tulee kreikankielisestä sanasta *piezo*, joka tarkoittaa puristamista. Pietsosähköinen ilmiö tapahtuu luomalla painetta pietsosähköisiin materiaaleihin. Pietsosähköiset materiaalit löydettiin 1700-luvun keskivaiheilla. Vasta 1880-luvulla pietsosähköinen ilmiö havainnollistettiin. Tämä johtuu pitkälti siitä, että mittalaitteisto ei ollut tarpeeksi kehittynyttä, jotta kokeiluissa tuotettuja pieniä määriä energiaa olisi havaittu (3.).

### 3.2 Pietsosähköinen ilmiö

Pietsosähkö on kolmanneksi suurin energian keräysmuoto aurinkosähkön ja sähködynamiikan jälkeen. Pietsosähkön tutkiminen on yleistynyt suuresti, pietsosähköä käytetään tärinässä ja liikkeessä (6.).

Pietsosähköistä ilmiötä kutsutaan tiettyjen materiaalien mekaanisen venymän vaikutuksesta syntyvää jännitettä, tämä on suoraan verrannollinen venymään. Pietso nimitys tulee kreikankielisestä sanasta *piezo*, joka tarkoittaa puristamista (7).

Pietsosähköinen ilmiö syntyy, kun pietsosähköiset materiaalit luovat jännitteen materiaaliin, kun ne ovat puristettuja. Ilmiö esitetty kuvassa 7. Mekanismi perustuu materiaalissa olevaan molekyyliarakenteeseen, kun materiaali puristetaan molekyylit uudelleenjärjestäytyvät ja syntyy dipoli eli molekyyli, jossa on kaksi erimerkkisesti varautunutta osaa (4.)



Kuva 7 Pietsosähköinen ilmiö (4.)

### 3.3 Pietsosähköiset materiaalit

Pietsosähköisen ilmiön perustana on pietsosähköisten materiaalien rakenne. Pietsosähköiset materiaalit ovat kiteisiä aineita, joiden alkeiskopit ovat epäsymmetrisiä massakeskipisteeseen nähden. Kun alkeiskoppia puristetaan kasaan, alkeiskopin ionien suhteellinen etäisyys muuttuu alkeiskopin massakeskipisteestä, joka tekee alkeiskopista sähködipolin. Syntyneiden dipolien vaikutus kasaantuu koko materiaalin yli, mikä synnyttää jännite-eron materiaalien päiden väliin. Lisäksi materiaalin on oltava eriste, jottei varaus pääse purkautumaan materiaalista. (7.)



Pietsosähköisiä materiaaleja:

- alumiinitridi (AlN)
- lyijyzirkonititanaatti ((PZT)  $\text{PbZr}_{0.525}\text{Ti}_{0.475}\text{O}_3$ )
- bariumtitanaatti ( $\text{BaTiO}_3$ )
- lyijymetaniobaatti ( $\text{PbNb}_2\text{O}_6$ )
- litiumsulfaatti ( $\text{LiSO}_4$ )
- kvartsi ( $\text{SiO}_2$ )
- litiumtantalaatti ( $\text{LiTaO}_3$ )
- litiumnibataatti ( $\text{LiNbO}_3$ )
- kaliumdjyetyfosfaatti ((KDP)  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ )

### 3.4 Pietsosähköinen energiankeruu

Eri energiankeruumenetelmiä vertaillaan yleensä niiden tehokkuuden suhteen, eli paljonko ne tuottavat tehoa tilavuusyksikköä kohden. Mekaanisista värähtelyistä saadaan helposti tehokkuus  $300 \mu\text{W}/\text{cm}^3$ , nykyisin yli  $1\text{mW}/\text{cm}^3$ . (12.)

Pietsosähköinen energian keruu perustuu laitteen käytön tuottamiin värähtelyihin, paineeseen tai magneettikenttään, joilla voidaan aiheuttaa mekaanista jännitystä pietsomateriaaleihin. Pietsosähköiset menetelmät tuottavat suoraan tarpeeksi suurta jännitettä eivätkä vaadi mitään ulkoista jännitettä toimiakseen. Yleisimmin käytössä olevat pietsosähköiset energiakerääjät perustuvat joko yhdestä tai useammasta pietsokeraamikerroksesta toteutettuihin toisesta päästä kiinnitettyihin tai muunlaisiin ulokkeisiin. Värähdellessään palkki venyy ja puristuu kasaan ja tuottaa elektrodien välille jännitettä. Käytännössä tämä jännite on hetkittäistä, mutta tasaistenkin värähtelyjen tapauksessa kerätty teho on pientä ja vaihtelevaa. (12.)

Pietsomateriaalien värähtelyjen tuottaman pienen tehon vuoksi, uudessa V3-energialaatussa käytetään vauhtipyörää. Vauhtipyörän ansiosta ulos saadaan paljon isompi teho.

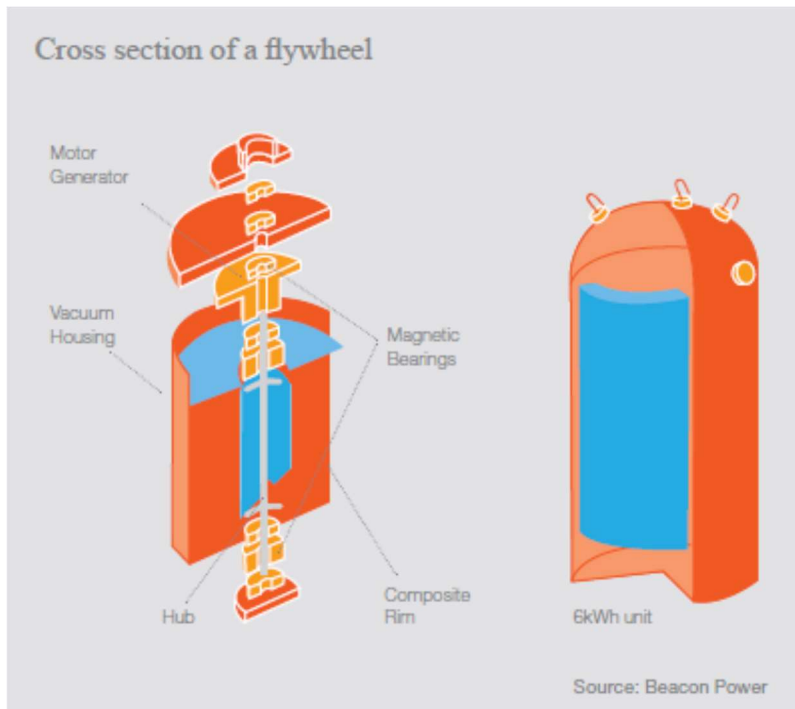
## 4 VAUHTIPYÖRÄ

Vauhtipyöriä on erityyppisiä ja niiden etuja ovat nopea reagointiaika, hiljainen käyttö, vähäiset huoltovaatimukset ja tehokkuus sähkön laadun ylläpidossa. Lisäksi vauhtipyörän voi ladata ja purkaa loputtomiin eikä sen varastointi kyky heikkene toisin kuin esimerkiksi akuilla. Etuna on myös pitkä elinikä. (10, s 11)

Vauhtipyörän toimivuus perustuu siihen, että sähköenergiaa voidaan muuttaa liike-energiaksi ja toisinpäin. Vauhtipyörä voidaan siis kiihdyttää haluttuun pyörimisnopeuteen sähköverkosta otetulla sähköenergialla, jolloin vauhtipyörä varastoit tämän energian liike-energiaksi. Kun sähköenergia on muutettu liike-energiaksi, se voidaan muuttaa helposti takaisin sähköenergiaksi. (10, s.10)

Vauhtipyörän koostumus esitetään kuvassa 8:

- roottori, joka pyörii ja toimii energiavarastona
- moottori-generaattorista, jolla roottori saadaan pyörimään ja vastaavasti liike-energia voidaan purkaa sähköksi
- laakereista, joiden tehtävä on vähentää kitkaa
- suojakuoresta, joka suojaa mahdollisissa vikatilanteissa syntyviltä sirpaleilta.



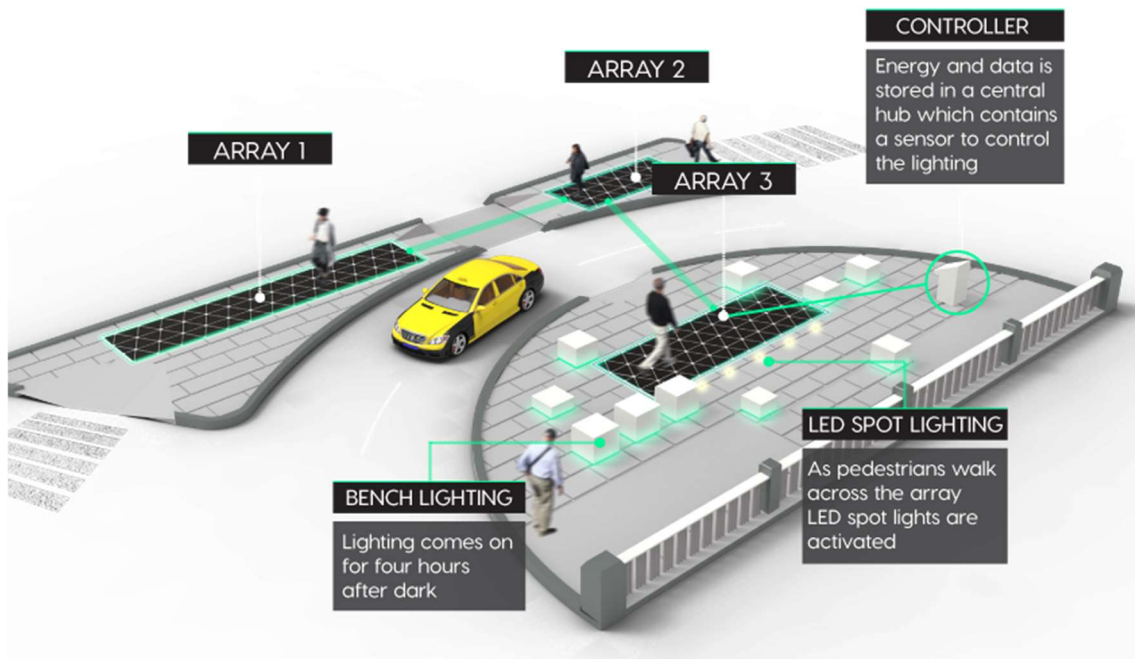
*Kuva 8 Vauhtipyörän rakenne (10, s 11.)*

Tavallisesti vauhtipyörät ovat kooltaan suuria, mutta energialaatussa vauhtipyörä on pieni. Energialaatan tapauksessa ihmisen askeleen vaikutuksesta vauhtipyörä alkaa pyörimään, jonka tuottaa energiaa. Vauhtipyörän pyörimisnopeus on 1500RPM, mikä tuottaa 5 wattia yhdeltä askeleelta jatkuvaa energiaa. Jotta vauhtipyörä tuottaa energiaa, se tarvitsee askeleen vähintään kymmenen sekunnin välein, mitä useammin sen paremmin tapahtuu energiantuottoa.

Laatassa olevan vauhtipyörän pienen koon takia laatan energiantuotto on minimaalista. Suuremmalla vauhtipyörällä energiantuottoa saataisiin nostettua, mutta se suurentaisi laatan kokoa ja kustannuksia.

## 5 WASHINGTON, CONNECTICUT AVENUE

Lokakuussa 2016 PaveGen asensi Washingtoniin Valkoisen talon lähetyville 240 neliöjalkaa eli 22,2m<sup>2</sup> V3-laattaa. Connecticut Avenuella kävelee, joka päivä 10 000 ihmistä asennettujen laattojen yli. Connecticut Avenuella on kolme eri V3-laatasta. Laatatot on esitetty kuvassa 9.



*Kuva 9 Connecticut Avenue*

Asennettujen laattojen asennuskustannuksiksi kertyi 200 000 yhdysvaltain dollaria. Asennettujen laattojen kokonaismäärä on 194 kpl. Yhdelle laatalle jäävä hinta on laskettu kaavassa 1. Kaavassa 2 on määritetty hinta yhdelle neliölle.

$\$1$  = Yhden laatan hinta

$\$_{\text{kok}}$  = Laattojen kokonaishinta

$n$  = laattojen määrä

$$\$_1 = \frac{\$_{kok}}{n} = \frac{200\,000 \$}{194} = 1030 \$$$

*Kaava 1*

Yhdelle laatalle kertyvä kokonaishinta on noin 1000\$.

$\$_{1,ft^2}$  = Yhden neliöjalan hinta

$\$_{kok,ft^2}$  = Kokonaishinta

$ft^2_{kok}$  = Kokonaisneliöjalka määrä

$$\$_{1,ft^2} = \frac{\$_{kok,ft^2}}{ft^2_{kok}} = \frac{200\,000\$}{240 ft^2} = 833,3 \$/ft^2$$

*Kaava 2*

Yhdelle neliöjalalle kertyvä kokonaishinta 833,3 \$, tämä vastaa hyvin PaveGenin ilmoittamaan hintahaarukkaan (75-160\$).

Opinnäytetyössä arvoitiin, että 10 000:sta ihmisestä jokainen askeltaa 5 askelta V3 laataston päällä. Kokonaisaskelmäärä lasketaan kaavassa 3.

$n_{1,askel}$  = Yhden ihmisen askelmäärä laatastolla

$n_{kok}$  = Kokonaisaskelmäärä laatastolla

$n_{ihmiset}$  = Ihmisten määrä

$$n_{kok} = n_{ihmiset} * n_{1,askel} = 10\,000 * 5 \text{ askelta} = 50\,000 \text{ askelta}$$

*Kaava 3*

Kokonaisaskelmäärä on siis 50 000 askelta.

Yksi laatta tuottaa yhdellä askeleella 5 wattia, tämä kerrottuna kokonaisaskelmäärällä saadaan Connecticut Avenuella olevien V3-laattojen tuottama kokonaisenergia yhdessä päivässä. Kokonaisenergia lasketaan kaavassa 4.

$E_{kok}$  = kokonaisenergia [W]

$E_1$  = Energia yhdellä askeleella [W]

$n_{kok}$  = Kokonaisaskelmäärä laatastolla

$$E_{kok} = E_1 * n_{kok} = 5 W * 50\,000 = 250\,000 W \quad \text{Kaava 4}$$

Vuodessa tuotettu kokonaisenergian määrä lasketaan kaavassa 5.

$E_{kok,v}$  = kokonaisenergia vuodessa

$$E_{kok,v} = E_{kok} * 365 \text{ päivää} = 250\,000 W * 365 = 91\,250\,000 W \quad \text{Kaava 5}$$

Kaavassa 5 lasketulla kokonaisenergian määrällä voidaan pitää led-katulamppuja 6336 vuorokautta eli 17,36 vuotta toiminnassa.

Muutetaan watit jouleiksi ja kWh. Kaavassa 6 esitetään muunnos wateista jouleiksi. Ihmisen yksi askel kestää keskimäärin 0,68 sekuntia, jota hyödynnetään laskuissa.

$$91\,250\,000 W * 0,68s = 62\,050\,000 J = 62\,050 kJ \quad \text{Kaava 6}$$

$$1 kJ = 0,27778 kWh$$

Kaavassa 7 muutetaan joulet kilowattitunneiksi.

$$62\,050 J * 0,27778 = 17\,236,2 kWh \quad \text{Kaava 7}$$

Verrataan laattojen asennuskustannuksia ja laattojen tuottamaa energiaa kaavassa 8.

$$\frac{200\,000 \$}{17\,236,2 kWh} = 11,60 \frac{\$}{kWh} \quad \text{Kaava 8}$$

Yhdelle kilowattitunnille kertyy hintaa 11,60\$.

## 6 ENERGIALAATAN KÄYTTÖ HELSINKI-VANTAAN LENTOKENT- TÄLLÄ

Helsinki-Vantaan lentokentän kautta matkusti 2016 17 184 681 ihmistä. Ku-  
vassa 9 näkyy vuoden 2016 matkustajamäärät.

FINAVIA

MATKUSTAJAT 2016

	12/16						Vuoden alusta					
	Kotimaa		Kansainvälinen		Yhteensä		Kotimaa		Kansainvälinen		Yhteensä	
	Matkustajat	Muutos-%	Matkustajat	Muutos-%	Matkustajat	Muutos-%	Matkustajat	Muutos-%	Matkustajat	Muutos-%	Matkustajat	Muutos-%
Helsinki	254 592	4,1	1 113 929	9,6	1 368 521	8,5	2 679 885	3,4	14 504 796	4,9	17 184 681	4,6
Enontekiö	0	/0	20 819	10,2	20 819	10,2	630	107,9	21 643	2,9	22 273	4,4
Halli Kuorevesi	0	/0	0	/0	0	/0	47	/0	7	-50,0	54	285,7
Helsinki-Malmi	0	/0	0	/0	0	/0	0	-100,0	34	142,9	34	100,0

Kuva 10 Matkustajamäärät (5.)

Työssä arvioitiin PaveGen energialaattojen tuottamaa energiaa, jos jokainen matkustaja kävelisi laattojen päältä. Arvioitiin, että parhain sijainti laatoille on lähtö- ja tuloporttien käytävät. Matkustajien täytyy kulkea niiden kautta päästäkseen tai poistuakseen koneeseen.

Terminaali 1 ja terminaali 2 on lähtö ja tulo portteja yhteensä 27. Laatat asennetaan porttien käytäville 1 metrin leveydelle ja 2,2 metrin matkalle.

Työssä laskettiin käytävälle laattojen lukumäärä viiden metrin matkalle. Laskettiin keskiverto ihmisen askelpituus ja kuinka monta askelta ihminen ottaa 2,2:n metrin matkalla. Yhden ihmisen kävelemä askelmäärä yhdellä portilla esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Yhden henkilön askelmäärä

Askelpituus (m)	Matka (m)	Askelmäärä/portti
0,79	2,2	1,74

Helsinki-Vantaan lentokentän kautta kulki 17 184 681 ihmistä vuonna 2016. Arvioitiin, että matkustajat jakautuvat tasaisesti 27:lle portille. Taulukossa 2 esitetty keskimääräinen askelmäärä vuodessa yhdelle portille asennetuille laatoille.

Yhdelle portille kertyvä ihmismäärä esitetään kaavassa 9.

$n_{\text{kok,ihm}}$  = Kokonaisihmismäärä vuodessa

$n_{\text{portti}}$  = Porttien määrä

$n_{\text{portti,ihm}}$  = Ihmismäärä yhdelle portille

$$n_{\text{portti,ihm}} = \frac{n_{\text{kok,ihm}}}{n_{\text{portti}}} = \frac{17\,184\,681}{27} = 636\,467 \text{ ihmistä} \quad \text{Kaava 9}$$

Yhdelle portille kertyvä ihmismäärä siis 636 467.

**TAULUKKO 2. Vuoden askelmäärä yhdelle portille**

Ihmisiä vuodessa/portti	Askelmäärä/Ihminen	Askelmäärä vuodessa
636 467	1,74	1 107 453

Yhdelle portille asennettujen V3-laattojen tuottama energianmäärä vuodessa laskettu kaavassa 10.

$E_{\text{vuodessa,portti}}$  = Kokonaisenergianmäärä vuodessa yhdelle portille [W]

$n_{\text{askel,portti}}$  = Askelmäärä yhdelle portille

$E_1$  = Energiantuotto yhdellä askeleella [W]

$$E_{\text{vuodessa,portti}} = n_{\text{askel,portti}} * E_1 = 1\,107\,453 * 5 \text{ W} = 5\,537\,265 \text{ W}$$

*Kaava 10*

Kaikkien porttien energiantuottomäärä lasketaan kaavassa 11.

$E_{\text{vuodessa,kok}}$  = Kokonaisenergianmäärä vuodessa [W]

$E_{\text{vuodessa,portti}}$  = Kokonaisenergianmäärä vuodessa yhdelle portille [W]



$n_{\text{portti}}$  = Porttien lukumäärä

$$E_{\text{vuodessa,kok}} = E_{\text{vuodessa,portti}} * n_{\text{portti}} = 5\,537\,265\,W * 27 = 149\,506\,155\,W$$

*Kaava 11*

Kokonaisenergialla vuodessa voidaan pitää esimerkiksi led-katulamppuja 10 382 vuorokautta eli 28,4 vuotta toiminnassa.

Lasketaan yhdelle portille asennettujen laattojen kokonaishinta. Käytetään hyväksi Washingtonin kohteelle lasketun yhden neliöjalan arvoa eli  $833,3\, \$/_{ft^2}$ .

Muunnetaan Yhdysvaltain dollarit euroiksi ja neliöjalat neliömetreiksi, esitetään kaavassa 12 ja 13.

$$1\,ft^2 = 0,092903\,m^2$$

*Kaava 12*

$$1\,\$ = 0,95\,\text{€}$$

*Kaava 13*

Yhden neliömetrin arvo, lasketaan kaavassa 14.

$$833,3\, \$/_{ft^2} = 833,3 * 0,95\,\text{€} / 0,092903\,m^2 = 8521,4\, \text{€} / m^2$$

*Kaava 14*

Yhdelle portille asennettujen V3-laattojen pinta-ala on  $2,2\,m^2$  ( $1m * 2,2m$ ). Pinta-alan mukaan voidaan laskea asennettujen laattojen kustannukset. Yhdelle portille asennettujen laattojen kustannukset esitetään kaavassa 15.

$A_1$  = Laattojen pinta-ala yhdellä portilla

$\text{€}_1$  = Kustannukset yhdellä portilla

$\text{€}_{m^2}$  = Laattojen kustannus  $\text{€} / m^2$

$$\text{€}_1 = A_1 * \text{€}_{m^2} = 2,2\,m^2 * 8521,4\, \text{€} / m^2 = 18\,747\, \text{€}$$

*Kaava 15*

27:lle porteille asennettukokonaiskustannukset lasketaan kaavassa 16.

$$\text{€}_{\text{kok}} = \text{€}_1 * 27 = 18747\, \text{€} * 27 = 506\,169\, \text{€}$$

*Kaava 16*

Verrataan kokonaiskustannuksia laattojen tuottamaan kilowattitunti määrään.

Ihmisen yksi askel kestää keskimäärin 0,68 sekuntia.

Kertomalla sekuntimäärä kokonaisenergiamäärällä vuodessa saadaan joulemäärä. Tämä lasketaan kaavassa 17.

$$149\,506\,155\text{ W} * 0,68\text{s} = 101664185,4\text{ J} = 101664,185\text{ kJ} \quad \text{Kaava 17}$$

Joulet muunnetaan kilowattitunneiksi kaavassa 18.

$$1\text{ kJ} = 0,27778\text{ kWh}$$

$$101664,1854\text{ kJ} = 28\,240\text{ kWh} \quad \text{Kaava 18}$$

Asennuskustannuksia verrataan laattojen tuottamaan kilowattituntimäärään kaavassa 19.

$$\frac{506\,169\text{ €}}{28240\text{ kWh}} = 17,92\frac{\text{€}}{\text{kWh}} \quad \text{Kaava 19}$$

Yhdelle kilowattitunnille kertyy hintaa 17,92 euroa.

Laattojen takaisinmaksuaika lasketaan kaavassa 20. Yhden kilowatin hinnaksi ajatellaan 0,1€.

$$\frac{506\,169\text{€}}{0,1\text{€} * 28240} = 179\text{ vuotta} \quad \text{Kaava 20}$$

## 7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää PaveGen Systemsin laattojen käyttöä julkisten rakennusten energiantuotannossa. Esimerkkikohteena olivat Washingtonin Connecticut Avenue ja Suomen Helsinki-Vantaan lentokenttä, johon laskettiin 2016 matkustajien määrän mukaan energiantuotto.

Työssä laskettujen tulosten perusteella laattojen kustannukset ovat suuria verrattuna niiden energiantuottokykyyn. Energiantuotto ei ole vielä esimerkiksi aurinkoenergian tasolla. Energiantuotto ei ole mielestäni riittävällä tasolla, jotta ne olisivat kannattavia asentaa paikkaan kuin paikkaan, esimerkiksi Helsinki-Vantaalle. Helsinki-Vantaalle asennettujen laattojen takaisin maksu aika olisi 180 vuotta, joka on todella pitkä aika. Asentaminen on kannattavaa kaupungeissa, joissa on paljon enemmän ihmisiä ja suurempia ihmiskeskittymiä.

Laatan ongelmakohtia ovat edellä mainitut suuret kustannukset, pieni energiantuottokyky. Etuina näen sen, että ihmiskeskittymissä laatta on todella tehokas energiantuottoväline. Ihmiset tulevat liikkumaan jalan tulevaisuudessa satoja vuosia eteenpäin ja ihmismäärä maapallolla kasvaa joka päivä.

Opinnäytetyön perusteella voidaan päätellä, että PaveGen Systemsin laatat ovat vielä tuore keksintö ja niiden energiantuotto tulee vielä kehittymään. Täälläkin hetkellä laatat ovat kannattavia asentaa suuriin ihmiskeskittymiin ja näen, että tulevaisuudessa kyseiset laatat nostavat suosiotaan ja tulevat olemaan isossa osassa energiantuotantoa. Tulevaisuudessa laattojen kustannukset tulevat varmasti vielä laskemaan ja laattojen asennukset tulevat vielä kannattavammaksi asentaa.

Laatastojen asennuskohteiden todellisia energiantuotto arvoja ei ole annettu julkiseksi, joten laskelmia ei voida verrata todellisiin arvoihin.

## LÄHTEET

1. PaveGen 2016. Saatavissa: <http://www.pavegen.com/about/>. Hakupäivä 17.11.2016
2. PaveGen –Product. Saatavissa: <http://www.pavegen.com/product>  
Hakupäivä 23.11.2016
3. Use of piezoelectrics. Saatavissa: <https://energyphysics.wikispaces.com/Use+of+Piezoelectrics+%28Human+Powered+Energy%29>  
Hakupäivä 23.11.2016
4. Piezoelectric is the key. Saatavissa: <https://kinetictiles.wordpress.com/>  
Hakupäivä 23.11.2016
5. Matkustajamäärät. Saatavissa: <https://www.finavia.fi/fi/tietoa-finaviasta/tilastot/2016/> Hakupäivä 8.3.2017
6. Pietsosähkö. Saatavissa: <https://wiki.metropolia.fi/pages/viewpage.action?pagelid=18973107> Hakupäivä 21.2.2017
7. Männistö, Juhomatti 2011. Pietsosähköiset materiaalit. Saatavissa: [www.courses.physics.helsinki.fi/fys/lukseminaari/kl2011/Mannistokooste.pdf](http://www.courses.physics.helsinki.fi/fys/lukseminaari/kl2011/Mannistokooste.pdf) Hakupäivä 27.2.2017
8. Brueck, Hilary. In Washington, DC, People Are Using Their Feet To Turn On The Lights. Saatavissa: <https://www.forbes.com/sites/hilarybrueck/2016/11/18/pavegen-energy-generating-side-walk/#340543a078da> Hakupäivä 27.2.2017
9. PaveGen, Washington. Saatavissa: <http://www.pavegen.com/washington>  
Hakupäivä 27.2.2017

10. Seppänen, Juha. Sähköenergian varastointitekniikat älykkäässä sähköverkossa. Saatavissa: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/74282/Seppanen\\_Juha.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/74282/Seppanen_Juha.pdf?sequence=1)  
Hakupäivä 27.2.2017
  
11. Wikipedia. Pietsosähköinen ilmiö. Saatavissa: [https://fi.wikipedia.org/wiki/Pietsos%C3%A4hk%C3%B6inen\\_ilmio%C3%B6](https://fi.wikipedia.org/wiki/Pietsos%C3%A4hk%C3%B6inen_ilmio%C3%B6)  
Hakupäivä 28.2.2017
  
12. Pekkarinen, Lauri. Pietsosähköisen kuitukomposiitin energiankeruominaisuudet. Saatavissa: <http://jultika.oulu.fi/files/nbnfioulu-201305311396.pdf> Hakupäivä 13.3.2017

