



Ajoneuvojen ja työkoneiden langattoman tiedonsiirron käyttöenergia

Kirjoittajat: Jukka Kämäräinen, Niko Niskala, VTT

Luottamuksellisuus: julkinen

Raportin nimi Ajoneuvojen ja työkoneiden langattoman tiedonsiirron käyttöenergia		
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot		Asiakkaan viite
Projektin nimi Micro power solutions for embedded control system for vehicles		Projektin numero/lyhytnimi MICOVE
Raportin laatija(t) Jukka Kämäräinen, Niko Niskala		Sivujen/liitesivujen lukumäärä 37/0
Avainsanat energian keräys, energian langaton siirto, induktiivinen tehon siirto		Raportin numero VTT-R-00950-09
Tiivistelmä <p>Langattomuuden visio on pystyä poistamaan tarve kaikkiin kaapelointeihin anturille / toimilaitteelle. Jotta tähän päästään, tulee laitteen tehonkulutus saada niin pieneksi, että se voidaan synnyttää anturi- tai toimilaittekomponentissa (energian keräys) tai se voidaan siirtää laitteelle langattomasti.</p> <p>MICOVE projekti tutkii osaltaan näitä mahdollisuuksia nimenomaan työkoneiden ja hyötyajoneuvojen näkökulmasta.</p>		
Luottamuksellisuus	julkinen	
Kajaani 7.12.2010 Laatija	Tarkastaja	Hyväksyjä
Jukka Kämäräinen Tutkija		
Niko Niskala, Tutkimusharjoittelija		
VTT:n yhteystiedot		
Jakelu (asiakkaat ja VTT)		
<i>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</i>		

Alkusanat

Kajaanissa on aloitettu Ajoneuvotietojärjestelmät kehittämisohjelma (ATJ). VTT on osaltaan kehittänyt osaamistaan Kajaanissa ATJ tarpeita vastaten. ATJ-kehittämisohjelmassa langaton tiedonsiirto on eräs keskeinen kehityksen kohde. Tässä MICOVE projektissa on tarkoitus kartoittaa menetelmät, joiden avulla anturit ja toimilaitteet saisivat käyttöenergiansa langattomasti. Projektissa tehdään lisäksi tutkimusta langattoman induktiivisen tehonsiirron toimivuudesta erilaisissa käyttöympäristöissä. Aiheesta on parhaillaan tekeillä yksi diplomityö, jossa edellä mainittuja asioita tutkitaan.

Kajaanissa 10.2.2008

Tekijät

Jukka Kämäräinen

Niko Niskala

Sisällysluettelo

Alkusanat.....	2
1 Johdanto.....	4
2 Energian keräys.....	5
2.1 Valo.....	5
2.2 Tärinä/liike.....	6
2.2.1 Piezo generaattori.....	7
2.2.2 Sähköstaattinen generaattori	10
2.2.3 Sähkömagneettinen generaattori	11
2.3 Lämpöero.....	13
2.4 Tuuli	14
2.5 Säteilevä sähkömagneettinen energia.....	15
2.6 Hydraulikka	16
3 Energian langaton siirto.....	18
3.1 Induktiivinen tehon siirto.....	20
3.1.1 Tutkimuksia muualla	20
3.1.2 Induktiivisen tehon siirron toiminta ja tutkimus	21
3.1.3 Tutkimuksen rajaukset ja menetelmät.....	26
3.1.4 Alustavat simulointitulokset.....	26
3.1.5 Johtopäätökset.....	28
3.2 Radiotaajuus tekniikka	29
3.3 Valo (Laser)	30
3.4 Ultraääni.....	31
4 Hydraulisen sähkögeneraattorin prototyyppi.....	32

1 Johdanto

Langaton tekniikka on laajalti käytössä kulutustavaraelektronikassa. Teollisuuteen on jo ensimmäisiä kaupallisia ja standardoituja langattomia verkkoja saatavilla. Tulevaisuudessa ajoneuvotekniikassa tullaan ottamaan käyttöön langatonta tekniikkaa.

Erilaisissa työkoneissa on paljon käytössä antureita ja muuta elektroniikka. Näiden tehon syöttö ja erilaiset ohjaus- ja datasiinaalit tehdään kaapeleilla. Kaapelit menevät usein monimutkaisten mekaanisten rakenteiden ohi ja joutuvat voimakkaan kulutuksen kohteiksi. Kaapelit joudutaan suojaamaan mekaanista rasitusta vastaan. Langaton tekniikka mahdollistaa tämän tyyppisten johdotuksien poiston. Jotta langaton tekniikka olisi täysin langatonta, niin myös sähkölaitteiden vaatima käyttöjännite pitää pystyä saamaan langattomasti. Tähän on kaksi vaihtoehtoa. Joko käyttöjännite tehdään paikallisesti energian keräimellä tai käyttöteho syötetään langattomasti.

VTT on ollut mukana laajassa projektissa (APOLLO), jossa on kehitetty älyrengasta. Tavoitteena on ollut kehittää rengas, joka osaa aistia oman kunnon. Rengas tuottaa tietoa itsestään erilaisilla antureilla. Tieto lähetetään langattomasti renkaasta. Antureiden käyttöjännite tuotetaan renkaassa. Projektissa kokeiltiin muutamia eri energian louhintamenetelmiä. Lisäksi energiaa kokeiltiin lähettää langattomasti [1,2].

2 Energian keräys

Energiaa voidaan kerätä ympäristöstä monella eri tavalla. Vaihtoehtoina on jonkun aineen liikkeestä, jolloin puhutaan inertiaenergiasta. Toinen vaihtoehto on lämpötilaerot ja kolmas säteilevä energia.

Energiaa voidaan kerätä monenlaisesta liikkeestä. Liike voi olla jatkuvaa yhdensuuntaista, edestakaista heilumista tai tärinää. Tässä keskitytään ajoneuvoihin asennettavien pienten laitteiden energian keräykseen. Tuuli on ilman virtausta, jonka avulla on mahdollista kerätä energiaa ajoneuvoissa. Tärinää ja heilumista on ajoneuvoissa, joten ne ovat mahdollisia energialähteitä. Voimakkaasta äänestä voidaan kerätä energiaa. Ääni on ilman painevaihtelua, siis eräänlaista ilman liikettä. Jotta äänestä saadaan tehoa, niin äänen on oltava hyvin voimakasta.

Lämpötilaerosta saadaan energiaa. Ajoneuvoissa on aina paikkoja, joissa tulee suuriakin useiden kymmenien asteiden lämpötilaeroja.

Säteilevästä energiasta voidaan kerätä energiaa. Säteily voi esiintyä valona, lämpönä tai RF säteilynä. RF säteily voi olla ihmisen aiheuttamaa tai luonnon säteilyä. Näistä kaikista voidaan kerätä energiaa.

2.1 Valo

Aurinkokennot muuttavat auringon säteilyenergian sähköksi. Aurinkokennon toiminta perustuu valosähköiseen ilmiöön, jossa valon fotonit irrottavat aineesta elektroneja. Aurinkokeräimellä auringon säteilyenergia voidaan kerätä talteen lämpönä. Keski-Suomessa keskimääräinen auringon valon teho on $11\text{mW}/\text{cm}^2$. Huipputeho on reilusti suurempi kesällä täydellä auringonpaisteella. Talvella teho on keskitehoa pienempi. Parhaat aurinkokennot toimivat 30 – 40 % hyötysuhteelle jolloin saadaan keskimääräiseksi tehoksi Suomessa noin $3,3 - 5,5\text{mW}/\text{cm}^2$

Sisätiloissa toimistohuoneessa valomäärä on keksimäärin 300 – 500 Lux, joka on 0,48 – 0,81 mW/ cm². Parhaimmilla sisäkäyttöön tehdyt kennot saavuttavat noin 20 % hyötysuhteen, joten niistä saadaan 100 – 160 uW/cm²

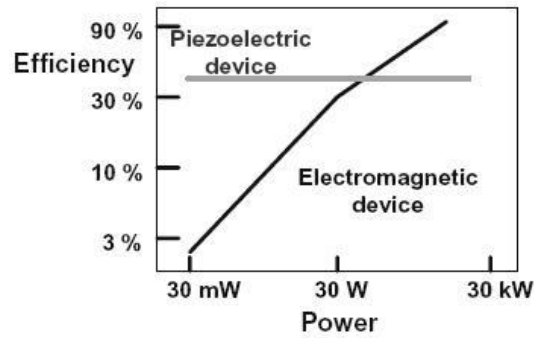
Aurinkokennoja valmistetaan useilla eri menetelmillä. Piistä on valmistettu jo pitkään aurinkokennoja. Piistä valmistetut kennot voidaan jakaa yksikiteisiin, monikiteisiin ja amorfisiin kennoihin. Yksikiteiset kennot ovat parhaita hyötysuhteeltaan, mutta ovat kalliita valmistaa. Ohutkalvotekniikalla saadaan halvempia kennoja, mutta niiden hyötysuhde ei pärjää piistä valmistetuille kennoille. GaAs kiteet ovat parhaita hyötysuhteeltaan. Parhaat hyötysuhteet on saatu monikerroskennoilla, jotka on valmistettu GaAs:stä.

VTT on tutkinut menetelmiä tehdä painotekniikalla aurinkokennoja. Painotekniikalla kennon valmistus olisi hyvin halpaa. Painettujen kennojen hyötysuhde ei ole kuitenkaan kuin 0,5 – 2 % luokkaa [9].

2.2 Tärinä/liike

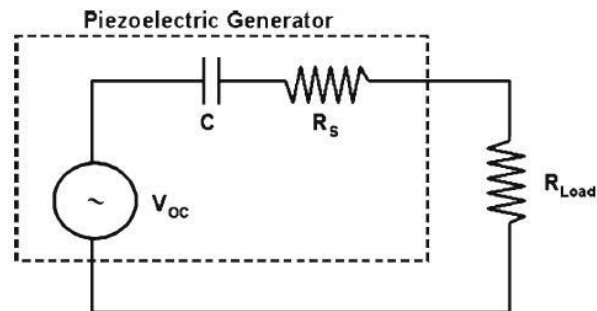
Tärinän tai jatkuvan edestakaisen liikkeen energia voidaan muuttaa sähköiseen muotoon usealla eri tavalla. Paljon tutkittu menetelmä on piezo elementti, joka muuttaa mekaanisen liikkeen suoraan sähköpotentiaaliksi. Toinen käytetty menetelmä perustuu sähkömagneettiseen induktioon (Faradayn laki), jossa magneettikentän muutos indusoi kelaan sähkömotorisen voiman. MEMS teknologialla on toteutettu energian keräimiä, jotka perustuvat kapasitanssin muutokseen. Kun kondensaattorin jännite tai varaus pysyy samana ja kapasitanssi muuttuu, niin kondensaattoriin latautunut energia lisääntyy.

Tärinästä ja liikkeestä voidaan kerätä energiaa hyvin monenlaisissa ympäristöissä. Koneissa ja laitteissa tärinän taajuus on yleensä kymmeniä hertsejä ja sitä suurempi. Tärinän mekaaninen liike on yleensä aika pientä, jolloin energiakeräimen fyysinen koko on suurempi kuin mekaanisen liikkeen amplitudi. Tällöin resonoivat keräimet toimivat huomattavasti paremmalla hyötysuhteella, kuin resonoimattomat. Koneissa on usein muutamia taajuuksia, joilla ne



Kuva 2. Piezo ja elektromagneettisen laitteen tehokkuus [10]

Piezokiteen sisäinen impedanssi on hyvin suuri ja taajuudesta riippuvainen. Taajuuden kasvaessa impedanssi pienenee. Kuvassa 3 on resonoimattoman piezogeneraattorin elektroniikka yksinkertainen piirimalli. Mallin mukaisessa laitteessa saadaan kuormaan kaavan 1 mukainen jännite. R_s on piezon sarja resistanssi, C piezon oma kuormakapasitanssi ja V_{oc} on avoimen piezon jännite.

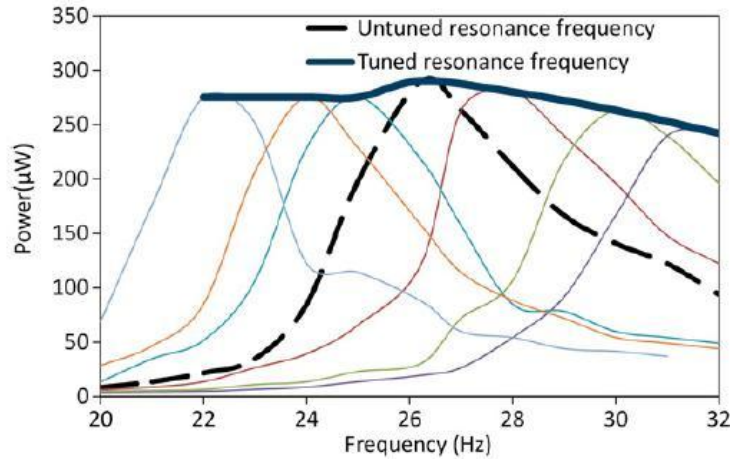


Kuva 3. Piezogeneraattorin piirimalli [3]

$$V_{Load} = V_{OC} \left| \frac{R_{Load}}{R_{Load} + \frac{1}{j\omega C} + R_s} \right| \quad , \text{jossa } R_s = \frac{\tan \delta}{2\pi f C} \quad (1)$$

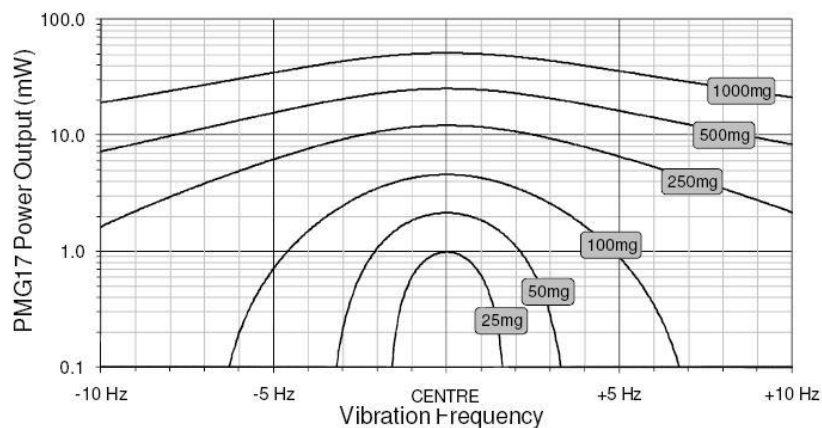
Piezogeneraattori toimii huomattavasti paremmalla hyötysuhteella, kun kineettisen energian värähtelytaajuus on sama kuin piezovärähtelijän ominaistaajuus. Kuvassa 4 on piezogeneraattorista saatavan tehon ja mekaanisen värähtelyn taajuuden suhde. Tässä piezogeneraattorin ominaistaajuutta voidaan

säätää, jolloin generaattorista saadaan hyvin tehoa laajalla taajuusalueella. Ilma säätöä teho olisi mustan katkoviivan käyrän mukainen. 26 Hz teho olisi noin 300 μW , mutta vain 3 Hz verran pienemmällä taajuudella saisi vain kymmenesosan tehon.



Kuva 4. Piezogeneraattorin tehon suhde mekaanisen värähtelyn taajuuteen [4]

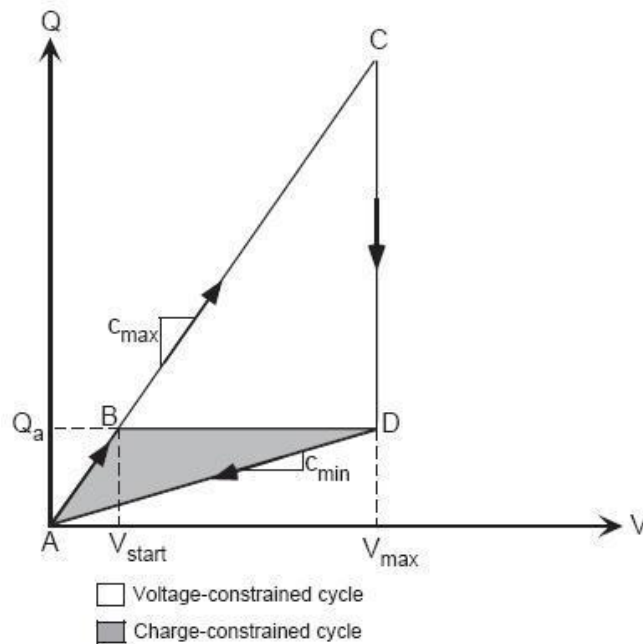
PGM Perpetuumilla on kaupallinen piezogeneraattorin PGM17. Sen resonanssitaajuus on 100 tai 120 Hz. 25 mg värähtelyssä saadaan 1 mW teho. Vastaavasti 1 g värähtelyssä saadaan 50 mW teho. Laite on 55 mm korkea ja sen halkaisija on 55 mm [5].



Kuva 5. PGM17 piezogeneraattorin teho värähtelytaajuuden kuvaajana [5]

2.2.2 Sähköstaattinen generaattori

Sähköstaattisessa generaattorissa mekaaninen värähtely muuttaa kondensaattorin kapasitanssia. Kun kapasitanssi muuttuu ja jännite tai varaus pysyy samana, niin kondensaattoriin latautuu energiaa. Kuvassa alla on esitetty sähköstaattisen generaattorin kondensaattorin varauksen ja jännitteen suhde. Vakio varauksella toimiva systeemi on kuvassa A – B – D - A. Ensin kondensaattori ladataan varaukseen Q_a . Kondensaattorin kapasitanssin pienentyessä (B - D) varauksen Q pysyessä samana jännite nousee, koska $Q = CU$. D - A aikana siirretään kerätty energia kondensaattorista pois ja sykli toistuu uudelleen. A – C – D - A tapauksessa jännite pysyy samana, mutta varaus muuttuu. Jälleen kapasitanssi pienenee ja D - A aikana siirretään kerätty energia pois kondensaattorista [6].



Kuva 6. Sähköstaattisen energian keräimen toiminta [6]

Julkaistut sähköstaattiset generaattorit on toteutettu MEMS tekniikalla. Kooltaan ne ovat hyvin pieniä. Julkaisussa *Electrostatic Energy Harvester and Li-Ion Charger Circuit for Micro-Scale Applications*, on simuloimalla mallinnettu sähköstaattista energian harvestointia. Maksimi teho on 38 μ W [22].

Toisessa julkaisussa on tehty käytännön prototyyppi, josta saadaan 2,2 uW teho ihmisen kehon liikkeistä. Laitteen koko on noin 20x20x5mm [7].

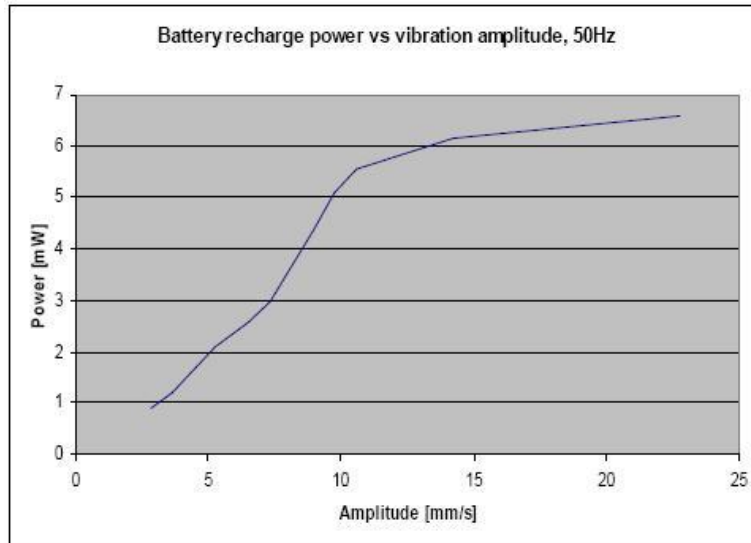
2.2.3 Sähkömagneettinen generaattori

Sähkömagneettisen generaattorin toiminta perustuu Faradayn lakiin, jossa magneettikentän muutos indusoi kelaan sähkömotorisen voiman. Muutos saadaan aikaan magneetin tai kelan liikkeellä, magneettisen piirin muutoksella tai magnetisoinnin muutoksella (magnetostriktio). Näistä kaksi ensimmäistä on hyvin yleisesti käytössä monissa eri laitteissa.

Sähkömagneettiseen induktioon perustuva energian keräys sopii parhaiten matalataajuisen ja suuriamplitudisen mekaanisen energian keräykseen. Toinen selkeä käyttökohde on pyörivästä liikkeestä saatavan energian keräys.

Sähkömagneettista energiankeräystä on kokeiltu mm. ihmiskehoon liitettävissä ja kannettavissa laitteissa. Jalkaan asennettavaan anturiin on tehty keräin jolla saadaan parhaimmillaan noin 3,5 mW teho juoksemalla. Kävelemällä teho on 1 mW luokkaa [8].

VTT:llä on toteutettu induktiivinen energian keräyslaite mekaaniselle värähtelylle, jonka taajuus on 50 Hz ja amplitudi 10 mm/s. Laite tuottaa 11 mm/s amplitudissa noin 5,5 mW tehon. Kuvassa alla laitteesta saatavan tehon suhde värähtelyn amplitudiin. [9].



Kuva 7. Induktiivisen energiakeräimen teho eri värähtelyn amplitudeilla.

Magnetostriktiiviseen materiaaliin perustuva prototyypikeräin tuottaa 1,1 kHz taajuisesta ja 0.82 g voimakkuuden värähtelystä 576 uW [11].

2.3 Lämpöero

Kun kaksi eri materiaalia olevaa johdetta on kytketty yhteen ja johtimien välillä on lämpötilaero, niin johtimien avoimen päiden välissä on potentiaaliero. Tällöin puhutaan Seebeckin ilmiöstä. Potentiaalierosta saadaan energiaa kaavalla,

$$E = \Delta V = \alpha_{ab} \Delta T,$$

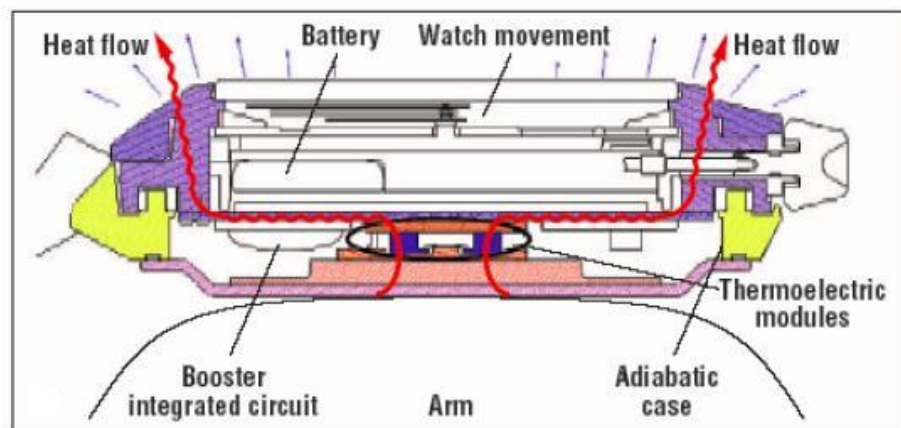
(2)

missä $\alpha_{ab} = \alpha_b - \alpha_a$.

α_a ja α_b ovat materiaalin ominaisuuksia. Seebeckin ilmiö on epälineaarinen, joten suurilla lämpötilaeroilla yhtälö ei pidä paikkaansa. Kun em. liitoksen läpi kulkee virtaa, puhutaan Peltier ilmiöstä. Samalla vapautuu tai absorboituu lämpöä.

Energian keräyksessä termopariin perustuvat energian muuntimet eivät ole hyötysuhteeltaan kovin hyviä. Parhaissa tapauksissa päästään 20 % luokkaan.

Käytännön laitteista hyvä esimerkki on Seikon valmistama Peltier kello, jossa saadaan ihmisen kehon ja ympäröivän ilman lämpötilaerosta muutaman nW teho, jolla rannekello toimii. Alla on kellon toiminnasta esittävä kuva.



Kuva 8. Seikon Peltier kello

Micropelt valmistavaa erittäin pieniä kaupallisia termopareja energian keräykseen. 4 x 3 mm eli noin 12mm² kokoisesta termoparista saadaan 1,5 mW teho 10K lämpötilaerossa [14].

Julkaisussa *Microscale Silicon Thermoelectric Generator with Low Impedance for Energy Harvesting* toteutetaan termopari, jossa 1 mm² kokoisesta laitteesta saadaan 10K lämpötilaerossa noin 11uW. [15]

2.4 Tuuli

Ilman virtauksen energia noudattaa seuraava kaavaa,

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2} \rho v^3 \quad (3)$$

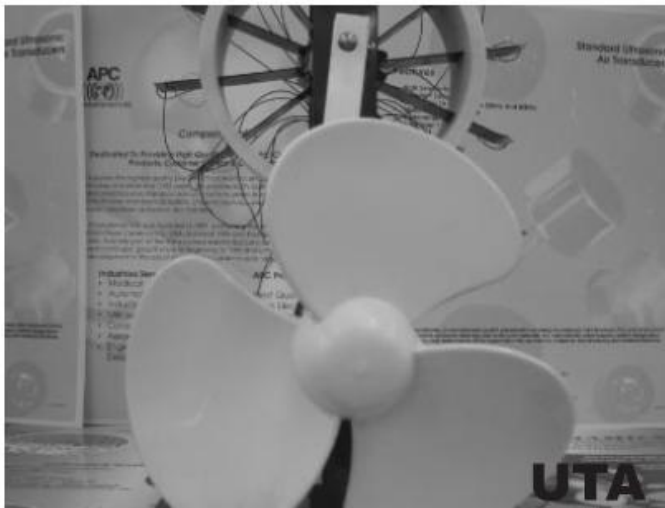
jossa ρ on ilman tiheys [kg/m³], P/A on teho poikkipinta-ala yksikköä kohti [W/m²] ja v on virtauksen nopeus [m/s]. Tuuliturbiinin hyötysuhde ei ole kuitenkaan 100 %, joten vain osa tuosta tehosta saadaan kerättyä. Realistinen hyötysuhde on noin 30 %. Lisäksi generaattorin hyötysuhde tulee ottaa mukaan, jolloin kokonaishyötysuhde on noin 20 %. Tällä hyötysuhteella 1m/s tuulessa saadaan noin 12 uW/cm² [8].

Kaupallinen kannettava tuuliturbiini (HYmini) tuottaa parhaimmillaan 1 W tehon. Kuvassa 9 on laite sijoitettu käyttäjän käsivarteen. Laite toimii yli 4m/s tuulella. Laite lataa 1200 mAh akkua, kun generaattori toimii [12].



Kuva 9. Kannettava tuuligeneraattori

Pienissä tuuligeneraattoreissa on kokeiltu piezon käyttöä energian muuttamiseksi sähköiseen muotoon. Alla olevassa kuvassa on eräs toteutus. Laitteesta saadaan noin 10 mW teho. Piezon käyttö pyörivän mekaanisen energian muuttamiseen sähköiseen muotoon ei ole kovin järkevää. Pienellä induktiivisella generaattorilla saadaan huomattavasti yksinkertaisemmalla rakenteella aikaan energian keräys [13].



Kuva 10. Peitsogeneraattorilla toimiva tuulimylly

2.5 Säteilevä sähkömagneettinen energia

Ympäristössä on runsaasti säteilevää sähkömagneettista energiaa, joka on peräisin erilaisista RF lähettimistä. Osa lähettimistä on tahattomasti aiheutettuja. RF kenttien voimakkuuksissa on suuria paikallisia eroja. Radio- ja TV lähetysmastojen ja GSM tukiasemien lähistöllä on voimakkaampia kenttiä kuin mentäessä asutusalueitten ulkopuolelle. Lähetetty RF teho vaimenee kaukokentässä etäisyyden neliöön verrannollisesti. RF energiaa on mahdollista kerätä talteen, mutta siitä saatava teho on aika pieni. Seuraavalla kaavalla voidaan laskea RF vastaanottimella saatava teho P_r ,

$$P_r = P_t \frac{G_t G_r \lambda^2}{(4\pi R)^2}, \quad (4)$$

jossa P_t on lähetetty teho, G_t on lähetysantennin vahvistus, G_r on vastaanotinantennin vahvistus, λ on aallonpituus ja R on lähettimen ja vastaanottimen välinen etäisyys. Jos 500 m päässä on GSM tukiasema, joka lähettää 80 W teholla ja lähetysantennin vahvistus on +10 dB, niin 0dB vahvistuksen vastaanotinantennille saadaan kaavan 2 mukaan noin 3,4 uW teho.

RF kenttien energian keräyksestä saatava teho on pieni ja vaihtelee ympäristön mukaan hyvin paljon. Voi olla tilanteita, jolloin päästään jopa milliwatti luokkaan, kun lähellä on voimakas RF lähetin. Radio ja TV lähetysten tehot ovat reilusti voimakkaampia, kuin GSM tukiaseman teho, mutta ne toimivat matalammalla taajuudella, jolloin vastaanottimen antennin koko on huomattavasti suurempi, kuin GSM 1,8 GHz taajuisen lähetyksen vastaanotossa. Hyvin toimivan antennin koko on vähintään aallon neljäsosan kokoinen. Pienempiä antenneja kyllä käytetään, mutta antennin vahvistus pienenee.

2.6 Hydrauliiikka

Työkoneissa ja monissa laitteissa mekaniikan tarvitsema voima toteutetaan hydrauliiikalla. Tietyissä laitteissa on helpoin tapa saada käyttöjännite sähkölaitteille muuttamalla hydrauliiikkateho sähköksi. Hydrauliiikkajärjestelmän paine on yleensä 100 – 300 bar. Kovasta paineesta saadaan pienellä virtauksella paljon tehoa. Alla olevalla kaavalla voidaan laskea saatava teho.

$$P = \frac{5}{3} Q_e \Delta p \eta_t, \text{ jossa} \quad (5)$$

Q_e = virtaus (l/min)

Δp = paine-ero (bar)

η_t = kokonaishyötysuhde.

1 W sähköteho saadaan noin 0,02 l/min virtauksella ja 100 bar paine-erolla, kun kokonaishyötysuhde on 30 %. Voidaankin todeta, että pienten tehojen tapauksessa hyötysuhteella ei ole suurta merkitystä, koska virtaus on kuitenkin niin pientä. Mekaaninen rakenne on pyrittävä pitämään mahdollisimman yksinkertaisena, jos halutaan saada luotettava energiankeräin. Tällöin pieni hammasratas tyyppinen hydraulikkamoottori ja induktiivinen sähkögeneraattori ovat tunnettua toimintavarmaa tekniikkaa.

3 Energian langaton siirto

Energiaa voidaan siirtää langattomasti RF-tekniikalla, induktiivisesti, laserilla tai ultraäänellä.

Aihetta on tutkittu laajalti, mutta vielä ei ole löydetty ehdotonta parasta tekniikkaa. Edellä luetelluista tekniikoista yksikään ei ole selvästi muita parempi. Suurin ongelma on tekniikan hyötysuhde. Vain murto-osa energiasta saadaan vastaanotettua. Vaikeinta langaton energian siirto on silloin, mikäli lähettimen tai vastaanottimen pitää pystyä liikkumaan vapaasti. Jos molemmat ovat liikkumattomia toisen suhteen, niin silloin energiaa voidaan suunnata vastaanotinta kohti ja parantaa hyötysuhdetta.

Radiotaajuuden ja induktiivisen siirron maksimi tehoja rajoittavat viranomaisten vaatimukset. Euroopan parlamentti on asettanut rajat sähkömagneettisten kenttien altistumiselle EU alueella. Ne löytyvät direktiivistä 2004/40/Ey. Alla on taulukko jossa on kehon maksimi virtatiheydet ja maksimi SAR arvot eri taajuuksille [23].

Taulukko 1:

Altistumisen raja-arvot (3 artiklan 1 kohta). Kaikki ehdot täytettävä

Taajuus	Pään ja vartalon virrantiheys J (mA/m ²) (rms)	Koko kehon keskimääräinen SAR (W/kg)	Paikallinen SAR (pää ja vartalo) (W/kg)	Paikallinen SAR (raajat) (W/kg)	Tehotiheys S (W/m ²)
enintään 1 Hz	40	—	—	—	—
1 — 4 Hz	40/f	—	—	—	—
4 — 1 000 Hz	10	—	—	—	—
1 000 Hz — 100 kHz	f/100	—	—	—	—
100 kHz — 10 MHz	f/100	0,4	10	20	—
10 MHz —10 GHz	—	0,4	10	20	—
10 — 300 GHz	—	—	—	—	50

Taulukko 1. SM- kenttien altistumisen raja-arvot [23]

Radiotaajuuksia hallitsee Suomessa viestintävirasto. Induktiivisia laitteita kenttien voimakkuuksia rajoittaa voimassa oleva ETSIn standardi EN 300-330-1, jossa määritellään maksimi magneettikentän voimakkuudet eri taajuuksille. Alla on taulukossa magneettikentän voimakkuuden maksimi arvot [24].

Table 4: H-field limits at 10 m

Frequency range (MHz)	H-field strength limit (H_f) dB μ A/m at 10 m
$0,009 \leq f < 0,315$	30
$0,009 \leq f < 0,03$	72 or according to note 1
$0,03 \leq f < 0,05975$ $0,06025 \leq f < 0,07$ $0,119 \leq f < 0,135$	72 at 0,03 MHz descending 3 dB/oct or according to note 1
$0,05975 \leq f < 0,06025$ $0,07 \leq f < 0,119$ $0,135 \leq f < 0,140$	42
$0,140 \leq f < 0,1485$	37,7
$0,1485 \leq f < 30$	-5 (see note 4)
$0,315 \leq f < 0,600$	-5
$3,155 \leq f < 3,400$	13,5
$7,400 \leq f < 8,800$	9
$10,2 \leq f < 11,00$	9
$6,765 \leq f \leq 6,795$ $13,553 \leq f \leq 13,567$ $26,957 \leq f \leq 27,283$	42 (see note 3)
$13,553 \leq f \leq 13,567$	60 (see notes 2 and 3)
NOTE 1: For the frequency ranges 9 to 70 kHz and 119 to 135 kHz, the following additional restrictions apply to limits above 42 dB μ A/m: <ul style="list-style-type: none"> - for loop coil antennas with an area $\geq 0,16$ m² table 4 applies directly; - for loop coil antennas with an area between 0,05 m² and 0,16 m² table 4 applies with a correction factor. The limit is: table value + $10 \times \log(\text{area}/0,16 \text{ m}^2)$; - for loop coil antennas with an area $< 0,05$ m² the limit is 10 dB below table 4. 	
NOTE 2: For RFID and EAS applications only.	
NOTE 3: Spectrum mask limit, see annex G.	
NOTE 4: For further information see annex H.	

Taulukko 2. Magneettikentän raja arvot ETSIn standardista EN 300 330-1 [24]

3.1 Induktiivinen tehon siirto

Induktiivista tehonsiirtoa voidaan käyttää lyhyillä välimatkoilla eli puhutaan lyhyen kantaman tehonsiirtolinkeistä. Linkit perustuvat tyypillisesti kahteen johdinsilmukka-antenniin. Tyypillisesti linkki toimii etäisyydellä, joka on luokkaa maksimissaan suuremman antennin halkaisija. Käytettävänä taajuuksina on lupa vapaat ISM-taajuuskaistan taajuudet, tyypillisesti <130 kHz tai 13,56 MHz (myös muut taajuudet mahdollisia). Suurempaa taajuutta käytettäessä kelan kierrosmäärää voidaan pienentää ja keloista saadaan tarvittaessa pienempiä.

3.1.1 Tutkimuksia muualla

Induktiivista tehonsyöttöä on tutkittu erilaisissa implanteissa. Näissä sovellutuksissa siirtoetäisyys on lyhyt, maksimissaan muutamia senttejä. Suomessa on Tampereen yliopistolla kokeiltu 125 kHz taajuudella toimivaa ihon alle laitettavaa EKG sensoria. Lukijalaite lähettää 125 kHz taajuudella tehon anturille, joka lähettää induktiivisesti 125 kHz taajuudella dataa lukijalle [25].

VTT:llä on kokeiltu esimerkiksi henkilöauton renkaaseen (APOLLO projekti) asennettavan anturin langattomaan tehon syöttöön induktiivista menetelmää. 50 mm etäisyydelle on saatu yli 100 mW teho taajuudella 6,78 MHz [1,2].

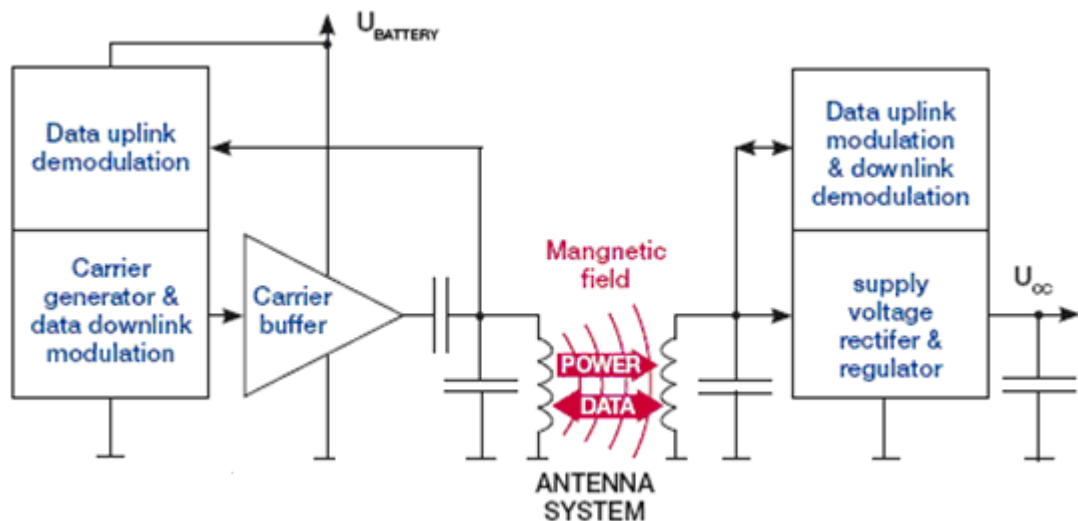
Julkaisussa *Inductive Powering of Sensor Modules* toteutetaan 13,56 MHz taajuudella toimiva induktiivinen tehon siirto. Yli 10 cm päähän saadaan yli 1 mW teho. 10 mW teho saadaan 7 cm päähän. 3 cm etäisyydelle saadaan 30 mW teho. Lähetin kelan halkaisija on 16 cm ja vastaanottimen kelan halkaisija on 6 cm. Systemin hyötysuhde esimerkiksi 8 cm tehon siirrolla on hyvin pieni, noin 1 % luokkaa [21].

Massachusettsin teknillinen korkeakoulu (MIT) on kehittänyt magneettiseen resonanssiin perustuvan menetelmän tehon langattomaan siirtoon. Kyseisen menetelmän ovat nimenneet WiTricityksi. Lähettimen ja vastaanottimen kelan Q arvo on erittäin korkea, yli 2000, jolloin saadaan lähetinkelaan syötetty teho

muutettua magneettikentäksi hyvällä hyötysuhteella. Vastaavasti vastaanottimen kela resonoi voimakkaasti samalla taajuudella, jolloin saadaan vastaanotossa muutettua magneettikenttä virraksi hyvällä hyötysuhteella. [17].

3.1.2 Induktiivisen tehon siirron toiminta ja tutkimus

Induktiiviset linkit toimivat lähikentässä (aallonpituus 13.56 MHz:llä ~22 m, Maxwellin kriteerin mukainen lähikentän raja ~3,5 m), jossa muuttuva magneettikenttä indusoi kelaan ja aikaansaa muuttuvan sähkövirran. Näin ollen induktiivinen tehonsiirto perustuu linkin aktiivipään synnyttämään magneettikenttää, joka generoi passiivipäälle tarvittavan sähkötehon. Kuvassa 11 on induktiivisen tehon- ja tiedonsiirtolinkin tyypillinen rakenne. Vasen puoli on aktiivipää ja oikea puoli passiivipää. Kuvassa näkyvät myös antennien virituskondensaattorit.



Kuva 11. Induktiivisen tehon- ja tiedonsiirtolinkin rakenne

Induktiivisilla linkeillä voidaan myös siirtää dataa, eli samalla kun induktiivinen kytkeytyminen aikaansaa tehonsiirtymisen voidaan saman kytkeytymisen kautta siirtää dataa eri modulaatiomenetelmiä hyväksikäyttäen. Modulaatiomenetelminä voi olla amplitudinsiirtoavainnus (ASK), taajuudensiirtoavainnus (FSK) tai vaiheensiirtoavainnus (PSK).

Induktiivisia linkkejä on tutkittu jo pitkään ja niiden teoria tunnetaan hyvin. On kuitenkin olemassa käytännön ongelmia, jotka aiheuttavat linkkien hyötysuhteen heikkenemistä.

Tutkimuksessa on tarkoitus selvittää kuinka induktiivisten linkkien ympäristössä olevat materiaalit (ferro-, dia- ja paramagneettiset materiaalit) vaikuttavat linkkien toimintaan ja tehonsiirron hyötysuhteeseen. Materiaalit aiheuttavat erilaisia ongelmia joiden vaikutuksen suuruutta ja toisaalta vaikutuksen minimoimista, sekä mitoituksen optimointia tutkimuksessa on tarkoitus selvittää, simuloida sekä varmistaa simulointitulokset käytännön mittauksilla.

Ongelmia induktiivisissa linkeissä aiheutuu antennikelojen induktanssien ja kelojen välisen kytkentäkertoimen muuttumisesta ympäristön materiaalien vaikutuksesta. Tämä ajaa tietyissä olosuhteissa resonanssiin viritetyn antennin epäviireeseen, joka aiheuttaa linkin suorituskyvyn heikkenemisen ja pahimmassa tapauksessa linkin toiminta estyy kokonaan. Toisaalta muuttuva ympäristö aiheuttaa myös antennikelojen hyvyyslukujen heikkenemistä. Hyvyysluvun (Q_1 , Q_2) heikkeneminen taas vaikuttaa linkin hyötysuhteeseen kuten kaavasta 6 voidaan nähdä. Kaava ilmaisee induktiivisen linkin hyötysuhteen kun linkki on viritetty optimaalisesti. Kolmanneksi induktiivisen linkin hyötysuhde voi heiketä ympäristön materiaalien aiheuttamasta kytkentäkertoimen k heikkenemisestä.

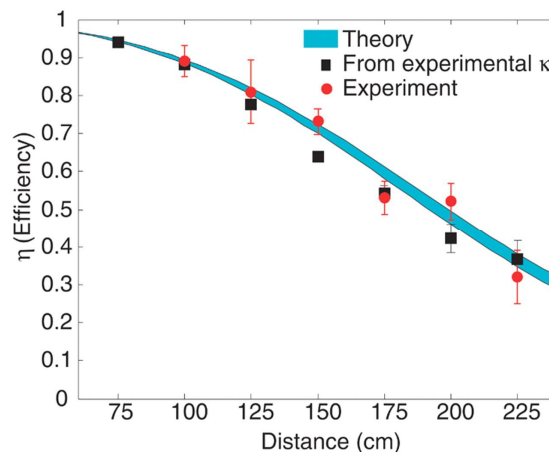
$$\eta_{OPT} = \frac{P_L}{P_{IN}} = \frac{k^2 Q_1 Q_2}{\left(1 + \sqrt{1 + k^2 Q_1 Q_2}\right)^2} \quad (6)$$

Yllä oleva kaava 6 pitää paikkaansa vain kun linkki on viritetty toimimaan optimaalisilla komponenttiarvoilla. Ympäristöolosuhteiden muuttuessa linkin hyötysuhde ja toiminta muuttuu huomattavasti ja tällöin yllä oleva kaava ei enää päde, vaan on lähestyttävä hyötysuhteen laskentaa piirimallin kautta osoitinlaskennan avulla. VTT:llä on kehitetty optimointiohjelma, jolla voidaan tarkastella induktiivisen linkin hyötysuhteen muuttumista, kun komponenttien arvot muuttuvat epäideaalisista arvoistaan. Tätä ohjelmaa kehitettäessä on mm. johdettu optimaalisten komponenttien laskentakaavat.

Hyötysuhdetta voitaisiin helposti kasvattaa Q -lukuja kasvattamalla. Tämä ei kuitenkaan ole järkevää, koska tällöin linkki on hyvin kapeakaistainen, eli käytännössä pienikin muutos ajaa linkin epäviireeseen ja hyötysuhde romahtaa.

$$BW = \frac{f_{RES}}{Q} \quad (7)$$

Käytännössä linkit mitoitetaan siten, että niiden antennikelojen Q -luvut ovat luokkaa 30 - 60. Jo edellä mainittu Massachusettsin teknillinen korkeakoulu (MIT) on tehnyt kokeen, jossa ~60 W tehoa on siirretty jopa kahden metrin matka. Tässä kokeessa on kuitenkin käytetty keloja joiden Q -luku on erittäin korkea (yli 2000). Seuraavassa kuvassa (kuva 12) on esitetty kyseisen kokeen hyötysuhteen muuttuminen etäisyyden funktiona [17].



Kuva 12. Hyötysuhteen muuttuminen etäisyyden funktiona (käytössä hyvin korkeat Q -luvut)

Tehonsiirtoa ei voi rajattomasti siirtää induktiivisesti, koska magneettikentälle on määritetty maksimiarvot, jotka nähdään seuraavasta kuvasta 13.

AVAILABLE & PRACTICAL RFID FREQUENCIES

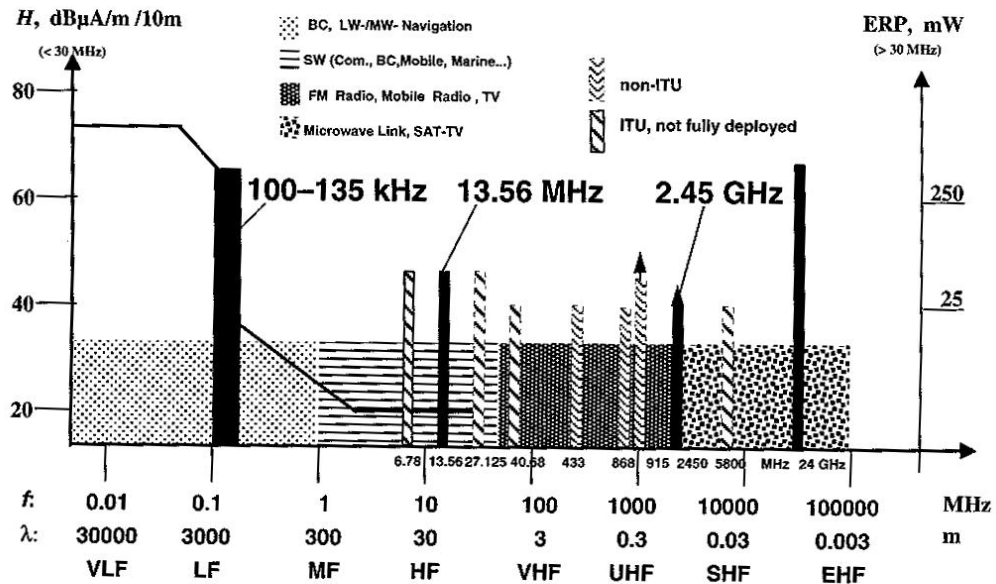


Figure 5.1: The frequency ranges used for RFID systems range from the myriametric range below 135 kHz, through short wave and ultrashort wave to the microwave range, with the highest frequency being 24 GHz. In the frequency range above 135 kHz the ISM bands available worldwide are preferred

Kuva 13. Magneettikentän voimakkuuden rajat eri taajuuksilla

Induktiivisia linkkejä voidaan siis käyttää lyhyen kantaman tehon- ja datansiirtoon. Ajoneuvoympäristöissä sovelluskohteita voisi olla useitakin. Esimerkiksi erilaiset ohjaimet voitaisiin toteuttaa induktiiviseen kytkeytymiseen perustuvalla linkillä, jolloin toistuvasta liikkeestä väsyvät ja murtuvat kaapelit voidaan poistaa. Induktiivista linkkiä on ajoneuvoympäristössä käytetty mm. renkaan paineen monitorointiin (VTT APOLLO Projekti).

Ympäristön vaikutusta kelojen induktanssiin ja kelojen väliseen kytkentäkertoimeen voidaan simuloida erilaisilla FEM-simulointiohjelmistoilla, kuten HFSS, Comsol Multiphysics jne. Eräs ehkä helpoimmin lähestyttävät ohjelma on MIT:n yliopiston kehittämä FastHenry simulointiohjelma, jolla saadaan suhteellisen helposti omaksuttavalla tavalla simuloitua erilaisia kela rakenteita ja johtavien rakenteiden vaikutusta kelojen ominaisuuksiin. Simulointitulosten pohjalta voidaan arvioida linkin hyötysuhdetta ja arvioida eri mitoitus vaihtoehtojen vaikutusta lopputulokseen, sekä arvioida linkin herkkyyttä muuttuvissa olosuhteissa. Sopivaa optimointia käyttäen linkki voidaan mitoitaa toimimaan mahdollisimman hyvin. Toinen tutkimuksen kohteena oleva

ratkaisumalli on adaptiivisuus antennien virittymisessä. Tähän on mahdollisuutena esimerkiksi kondensaattoripankki, jolla resonanssitaajuuden siirtymistä ympäristön vaikutuksesta johtuen voidaan kompensoida. Kolmas ratkaisumalli on suojaavat materiaalit, jotka mahdollistavat antennikelan asettamisen metallitasojen päälle ja näin saadaan materiaalin vaikutus linkin toimintaan estettyä.

Kirjallisuudessa aiheesta löytyy tutkimuksia jonkin verran. Usein niissä on kuitenkin käsitelty ympäristön vaikutusta yhteen yksittäiseen antennikelaan, eikä kahden kelan muodostamia systeemejä ole tarkasteltu simuloinnin ja ympäristön vaikutuksen näkökulmasta. Toisaalta aiheesta on tutkittu paljon erilaisissa implanttisovelluksissa, kulunvalvonta ja etätunnistus sovelluksissa.

Alustavien mittausten ja simulointien perusteella on jo nähty, että saadut simulointitulokset korreloivat vastaavanlaisten käytännön mittausten kanssa. Näitä mittauksia ja simulointeja on tarkoitus jatkaa, sekä pyrkiä selvittämään voidaanko simulointi tuloksiin luottaa riittävästi ja mikä on niiden tarkkuus. Mikäli jatkotutkimukset osoittavat, että simulointitulokset ja käytännön mittaukset ovat riittävän tarkkoja, voidaan välttää linkin sijoituspaikalla tapahtuva virittäminen. Toisaalta jatkotutkimuksissa on tarkoitus tutkia ja selvittää mitä menetelmiä adaptiiviseen antennien virittämiseen on olemassa ja kuinka adaptiivisuus voidaan toteuttaa käytännössä.

Vaikka induktiivisia linkkejä on tutkittu suhteellisen laajastikin kirjallisuudessa ja julkaisuissa. On aiheesta silti vielä paljon mielenkiintoisia ja käytännön toteutusta helpottavia sekä tukevia tutkimuskohteita. Kirjallisuudessa ja julkaisuissa olevissa kaavoissa ei helposti käy selväksi, että ne pätevät vain optimaalisilla komponentinarvoilla. Tutkimuksella on siis uutuusarvoa. Nykyään puhutaan myös paljon NFC:stä (Near Field Communication) ja RFID:stä (Radio frequency identification). Näihin sovelluksiin tutkimuksesta on myös hyötyä. NFC:tä käytetään ja tullaan käyttämään tulevaisuuden UBI-sovelluksissa (UrBan Interactions), jotka ovat tänä päivänä tutkimuksen painoalueina useissa tutkimuksissa.

3.1.3 Tutkimuksen rajaukset ja menetelmät

Työssä on perehdytty pääasiassa induktiiviseen tehonsiirtoon 13,56 MHz taajuudella. Induktiivisilla linkeillä on mahdollista siirtää samaa kytkeytymistä hyväksikäyttäen myös dataa eri taajuuksilla. Rajaus on tehty koska aiheesta on tekeillä diplomityö ja ilman rajausta työn aihe olisi turhan laaja.

Esiselvityksen aikana on käynyt ilmi, että induktiivisten linkkien antenni keloja voidaan simuloida eri ohjelmia hyväksikäyttäen. Simulointi tuloksia tullaan vertailemaan käytännön mittauksiin, ja näin vertaamaan kuinka hyvin simuloinneilla voidaan linkin käyttäytymistä erilaisissa ympäristöolosuhteissa ennustaa, sekä kuinka induktiivisen linkin tehonsiirron hyötysuhdetta voidaan parantaa.

3.1.4 Alustavat simulointitulokset

Alla olevassa kuvassa 14 on esitetty simuloinnissa käytetty simulointimalli. Simuloinnissa on kaksi kela (kela 1 ja kela 2), joiden keskipisteiden välinen etäisyys pidetään vakiona ja se on 40 mm. Kelan 2 läheisyyteen tuodaan kuparista tasoa, jonka koko on kelaan nähden suuri (600 mm x 600 mm x 4 mm). Tämä taso on diskretisoitu 40 x 40 osaan, simulointia varten. Tason keskipiste tuodaan seuraaville etäisyyksille kelan 2 keskipisteestä: 43,5 mm, 44,0 mm, 45,5 mm, 48,5 mm, 53,5 mm, 63,5 mm, 73,5 mm, 83,5 mm, 93,5 mm, eli käytännössä kelan 2 ja tason välinen etäisyys muuttuu seuraavasti: iholla, 0,5 mm, 2,0 mm, 5,0 mm, 10,0 mm, 20,0 mm, 30,0 mm, 40,0 mm, 50,0 mm. (kuvassa alempi kela) läheisyyteen

Kela 1 (ylempi):

$$N = 1$$

$$d = 50 \text{ mm}$$

$$l = 1 \text{ mm}$$

$$\text{langan } \varnothing = 1 \text{ mm}$$

Kela 2 (alempi):

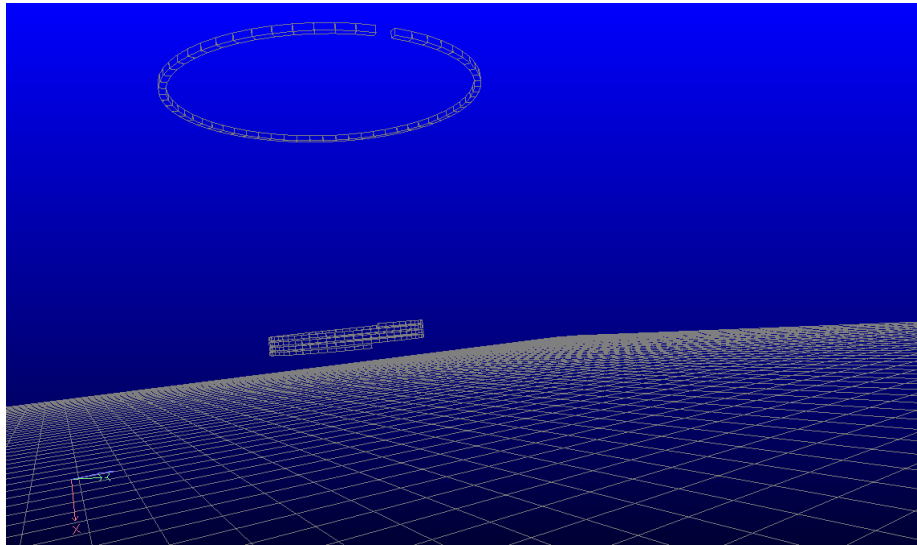
$$N = 4$$

$d = 24 \text{ mm}$

$l = 3 \text{ mm}$

langan $\varnothing = 0,5 \text{ mm}$

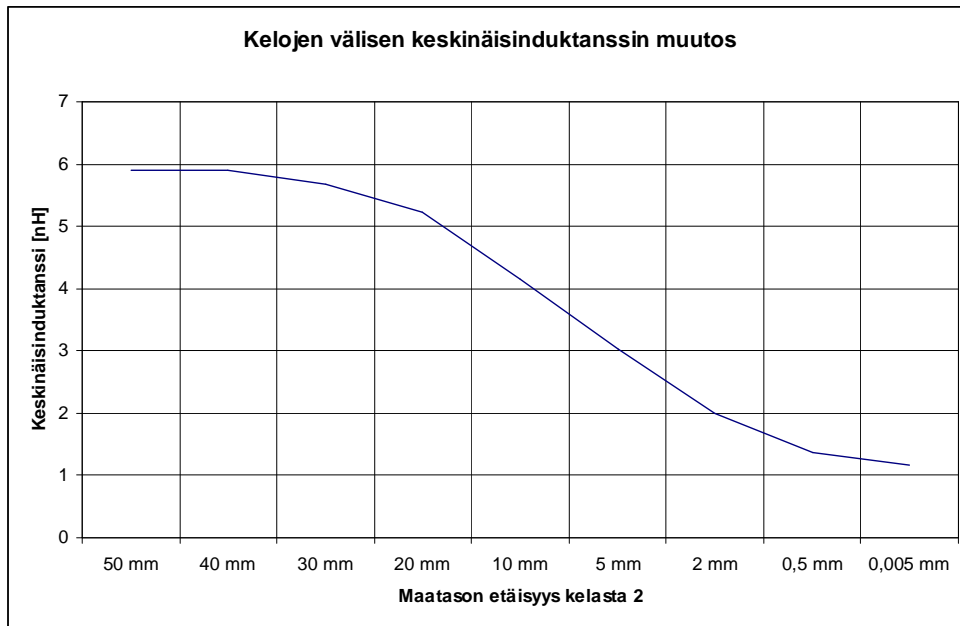
Simuloinneissa materiaalina on kupari niin keloilla kuin liikkuvalla maatasollakin. Kelat on luotu c-kielellä tehdyllä Coilgen ohjelmalla, joka luo annettujen lähtötietojen perusteella kelamallit jotka käyvät FastHenrylle.



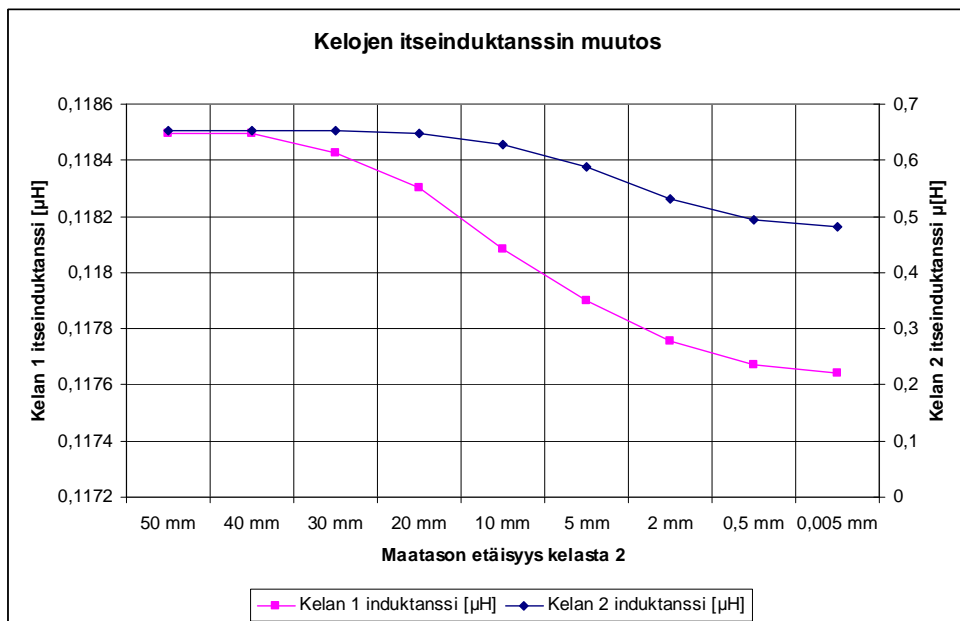
Kuva 14. Simulointitilanne FastHenry simulaattorille. Kuvassa kaksi kelaa ja kupari taso joka lähestyy pienempää kelaa.

Taulukko 3. Fasthenryllä saatuja simulointituloksia.

Maatason etäisyys kelasta 2	Keskinäis-induktanssi [nH]	Kelan 2 induktanssi [μ H]	Kelan 1 induktanssi [μ H]	Kelan 2 resistanssi [Ohm]	Kelan 1 resistanssi [Ohm]	Taajuus [MHz]
50 mm	5,901455017	0,653297039	0,118493498	0,014939563	0,164085096	13,56
40 mm	5,901455017	0,653297039	0,118493498	0,014939563	0,164085096	13,56
30 mm	5,681340685	0,652077212	0,118424362	0,014939746	0,164100116	13,56
20 mm	5,22167354	0,647983652	0,118300504	0,014940112	0,164163236	13,56
10 mm	4,144166715	0,627679791	0,118081924	0,014940995	0,164632707	13,56
5 mm	3,024827815	0,587208776	0,117900993	0,014941944	0,165973822	13,56
2 mm	1,997292218	0,532419427	0,117756627	0,014942751	0,167543977	13,56
0,5 mm	1,374904688	0,493937442	0,117671225	0,014943	0,167009404	13,56
0,005 mm	1,159660524	0,480495972	0,117640487	0,014943008	0,16632484	13,56



Kuva 15. Kelojen välisen keskinäisinduktanssin muutos, kun taso lähestyy kelaa 2.



Kuva 16. Kelojen itseinduktanssien muutos tason lähestyessä kelaa 2.

3.1.5 Johtopäätökset

Alustavien mittausten perusteella simulointitulokset ja mittaukset korreloivat toisiaan jollakin tarkkuudella. Sopivan mittalaitteen puuttumisesta johtuen vielä ei kuitenkaan voida tarkemmin sanoa kuinka hyvä tarkkuus simuloinneilla on todellisiin tilanteisiin nähden. Tarkoitukseen soveltuva mittalaite on hankinnassa.

Tutkimusta on siis hyvä jatkaa simuloinneilla ja mittauksilla. Aiheesta on parhaillaan tekeillä yksi diplomityö, jossa edellä mainittuja asioita tutkitaan.

3.2 Radiotaajuus tekniikka

RF tekniikalla voidaan siirtää langattomasti energiaa. Aikaisemmin esitetty kaava 4 käy myös langattoman energian siirron mallintamiseen. Siirron hyötysuhteeseen vaikuttaa molempien antennien vahvistus, käytetty aallonmitta ja siirrettävä etäisyys. Säteilevä teho vaimenee etäisyyden neliön suhteella, joten pitemmillä etäisyyksillä RF tekniikka on parempi, kuin aikaisemmin esitelty induktiivinen tekniikka. Pidemmillä aallonmitoilla on parempi hyötysuhde, mutta pidemmät aallot tarvitsevat myös suuremman antennin, kuin lyhyemmät aallot.

Tampereen Korkeakoulussa on tutkittu RF tekniikalla toimivaa langatonta energian siirtoa.

26dBm lähetysteholla ja 2,4 GHz taajuudella saadaan 1m päähän 20 mW teho. Vastaanotettu teho on noin 20 osa lähetetystä tehosta. Lähetysantennina oli torviantenni, jonka vahvistus oli 9.1 dB. Vastaanottoantennin koko oli noin 74x70mm. [15].

Toisessa julkaisussa on Tampereen Korkeakoulussa kokeiltu 5,8 GHz taajuutta langattoman tehon siirtoon. 26dBm lähetysteholla ja 5,8 GHz taajuudella saadaan 1m päähän 34mW teho. Vastaanotettu teho on noin 12 osa lähetetystä tehosta. Lähetysantennina oli torviantenni, jonka vahvistus oli 20dB. Vastaanottoantennin koko oli noin 104x57mm. Tämä 5,8 Ghz laitteen voimakkaampi vastaanotettu teho selittyy huomattavasti suuremmasta lähetinantennin vahvistuksesta. [16]

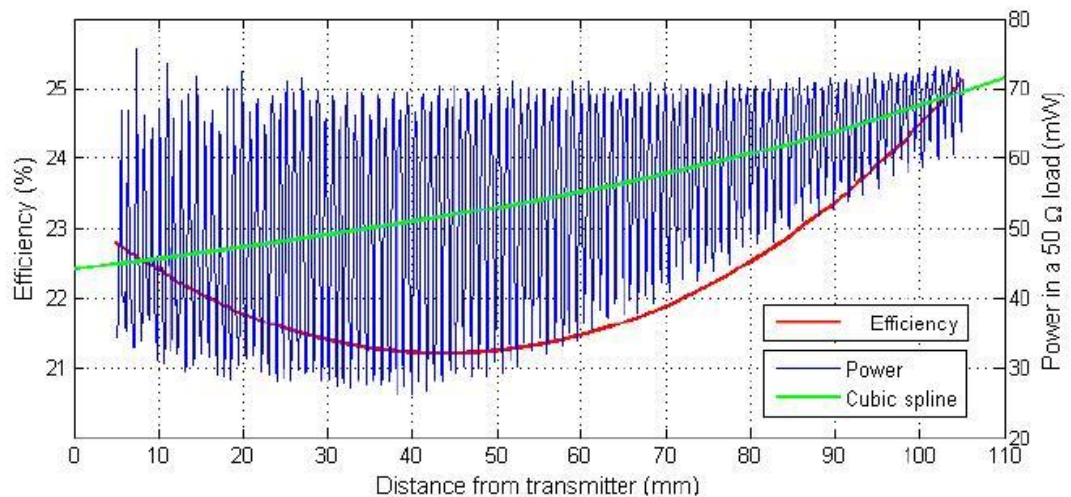
3.3 Valo (Laser)

Laservalo soveltuu hyvin pitemmän matkan energian langattomaan siirtoon. Lasersäde saadaan suunnattua optiikalla erittäin tarkasti, jolloin energiaa ei säteile ympäristöön. Pitkillä matkoilla lasersäde on paras ratkaisu langattoman energian siirtoon. Lasersäde vaimenee huomattavasti vähemmän etäisyyden kasvaessa verrattuna muihin tekniikoihin. Lasersäteellä on suunniteltu siirrettävän maahan energiaa langattomasti suurista maata kiertävistä aurinkoenergiaa keräävistä satelliiteista [20].

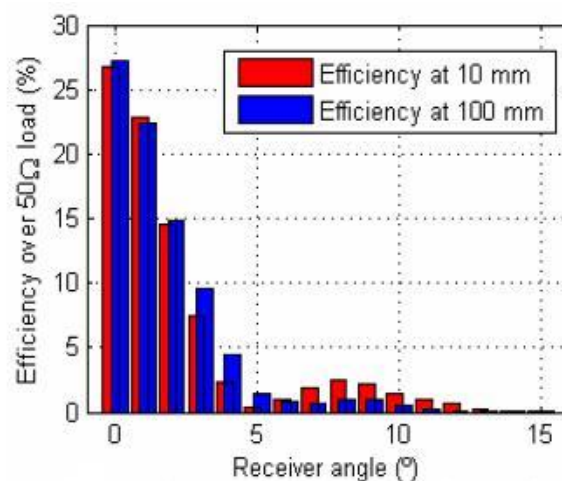
Miehittämättömien ilma-alusten energia lähteeksi on kokeiltu laseria. NASA on kokeillut tekniikkaan mm. pienessä sähkölennokissa. Tässä sovelluksessa energia on saatu siirrettyä aika hyvällä hyötysuhteella, mutta tekniikka vaatii paljon elektroniikka ja mekaniikka, että lasersäde on kokoajan suunnattuna kohti lennokkia [19].

3.4 Ultraääni

Ultraäänitekniikassa siirretään energiaa käytännössä ilmanpaineen vaihtelulla. Ilmanpaine vaihtelee kuultavaa äänitaajuutta korkeammalla taajuudella. Tampereella on kokeiltu ultraääntä implanttien tehon syöttöön. Siirtoetäisyys on ollut 5 – 105 mm. Alla olevassa kuvaajassa on hyötysuhde eri etäisyyksillä. Käytetty taajuus oli 840 kHz. Sekä lähetin, että vastaanotin suuntaavat voimakkaasti. Toisessa kuvassa on hyötysuhde eri vastaanottimen kulmilla. Jo 5 asteen erolla hyötysuhde putoaa noin 1 %:iin, joten liikkuvassa systeemissä tekniikka ei ole kovin käyttökelpoinen. [18]



Kuva 17 Hyötysuhde etäisyyden funktiona



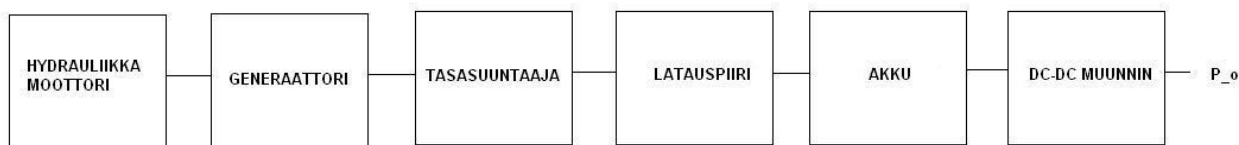
Kuva 18 Hyötysuhde eri vastaanottoantennin kulmilla

4 Hydraulisen sähkögeneraattorin prototyyppi

Ajoneuvoissa ja työkoneissa hydraulikkaa ja pneumatiikka käytetään paljon. Ensimmäinen energiakeräimen prototyypissä haluttiin saada muutamien kymmenien wattien sähköteho hydraulikasta. Kaupallisia hydraulikalla toimivia sähkögeneraattoreita valmistetaan meillä Suomessakin, mutta ne ovat kooltaan ja tehoiltaan aivan liian suuria langattoman tiedonsiirron tehontarpeisiin.

Laitteen kokonaiskoon tavoite on 5 cm x 5 cm x 5 cm. Tehotavoite on sen verran suuri, että generaattorin tekniikaksi valittiin induktiivinen generaattori, jota pieni hydraulikkamoottori pyörittää.

Pieniä muutaman watin tehon tuottavia sähkögeneraattoreita löytyi kaupallisia malleja muutamia, jotka sopivat tarkoitukseen. Hydraulikkamoottoreita on hyvin monenlaisia. Tässä tapauksessa moottorilta vaadittiin aika suurta kierrosnopeutta, jotta sähkögeneraattorin koko ei olisi liian suuri. Tavoitteena oli 3000 RPM kierrokseen yltävä moottori. Kuvassa 19 on hydraulisen sähkögeneraattorin lohkokaavioesitys.



Kuva 19 Hydraulinen sähkögeneraattorin lohkokaavioesitys

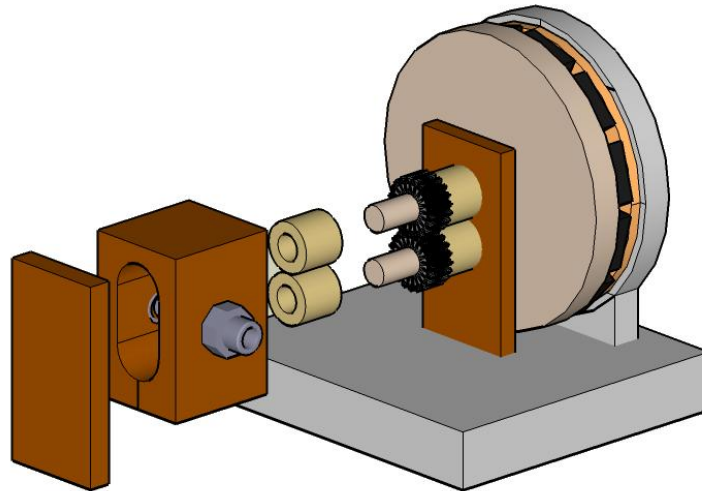
Pienellä hydraulikkamoottorilla pyöritetään generaattoria. Teoreettisesti mekaanista tehoa saadaan 10 bar paineesta ja 1000RPM noin 10 W. Sähkögeneraattori toimiessa noin 50 % hyötysuhteella, saadaan 2000 kierroksilla 10 W sähkötehoa. Tasasuuntaajalla saadaan generaattorin tuottama vaihtojännite tasasuunnattua. Generaattorin teholla ladataan akkua, joka toimii energian varastona. Laitteesta otetaan tehoa DC-DC muuntimen kautta. Muuntimella saadaan haluttu ulostulojännite.

Hydrauliikkamoottorin koko on noin 3 x 3 x 2 cm. Moottori on hammasratas moottori. Hammasratasmoottori tyyppinä on sovellutukseen sopivin, koska siinä on aika vähän vääntöä, mutta kierrosluku on aika korkea. Moottorille tulevan hydrauliikan maksimi paine on rajoitettu 50 - 100bar. Sopiva kierrostilavuus on luokkaa 0,2 cm³/kierros. Kun hydrauliikkamoottorin kokonaishyötysuhde on 60 %, saadaan moottorista mekaanista tehoa noin 20 W (3000 RPM & 50 bar).

Generaattorin koko on noin 5 x 5 x 2 cm. Generaattorista on hyvä saada noin 5 – 10 W teho 3000 RPM kierroksilla. Kuvassa 20 on räjäytyskuva yksinkertaisesta kahdella hammasrattaalla toimivasta hydrauliikkamoottorista ja sähkögeneraattorista jota hydrauliikkamoottori pyörittää. Generaattori aksiaalimallinen, koska kestopagneettien kulmanopeus suhteutettuna generaattorin tilavuuteen on aksiaalimallisessa generaattorissa parempi, kuin radiaalissa toteutuksessa. Aksiaalissa toteutuksessa siis pienemmällä pyörimisnopeudella saadaan sama teho, jos näiden eri toteutustavalla tehtyjen generaattoreiden tilavuus on sama.

Ensimmäiseen prototyyppiin haluttiin löytää kustannussyistä pieni kaupallinen hammasratasmoottori. Halutun kokoluokan moottorin löytäminen kävi kuitenkin mahdottomaksi. Vastaavalla kahden hammasrattaan mekaniikalla toimivia nestepumppuja löydettiin. Kaksi hyvin pientä pumppua tilattiin ja kokeiltiin niiden toimintaa hydrauliikkamoottorina, mutta varsin pian todettiin, että mekaanisen pienen pumpun käänteinen toimiminen moottorina ei kuitenkaan onnistunut. Pumput oli tehty alle 10 bar paineille, jolloin niiden mekaaninen rakenne ei soveltunut suuremmille paineille. Painetta kasvattaessa niiden mekaniikka jumiutui.

Pienimmät kaupalliset kahden hammasrattaan tekniikalla toimivat hydrauliikkamoottorit ovat kooltaan 0,3 – 0,5 cm³/kierros. Näillä saadaan 40 – 100 W mekaaninen teho, kun hyötysuhde on 50 %, kierrokset 3000 RPM ja paine 50 bar. Tällaisella moottorilla saadaan maksimi tehoksi 100 – 400 W painetta kasvattamalla.



Kuva 20 Pieni hydraulinen generaattori

Projektin jatkossa toteutetaan muutaman sadan watin hydraulikkageneraattori kaupallisilla komponenteilla ja lisäksi tutkitaan hydraulikkajärjestelmien paluuletkun virtauksella toimivan hydraulikkageneraattorin toimivuutta. Paluuletkussa ei generaattorin moottorissa ole suurta paine eroa, vaan pyörimisliike saadaan aikaan nesteen virtauksesta pienellä turbiinilla. Tällä ratkaisulla on tarkoitus saada muutaman watin teho, joka riittää tiedonsiirron tarpeisiin.

Lähdeviitteet

- [1] VTT, APOLLO projekti, Intelligent Tyre for Accident-free Traffic, Final Report Including Technical Implementation Plan, 25.7.2005, ist
- [2] VTT, APOLLO projekti, Intelligent Tyre Systems – State of the Art and Potential Technologies, 22.5.2005, ist
- [3] Shashank Priya, Advances in energy harvesting using low profile piezoelectric transducer, 31 May 2006, Springer Science
- [4] Vinod R Challa (,M G Prasad, Yong Shi and Frank T Fisher), A vibration energy harvesting device with bidirectional resonance frequency tenability, 8 tammikuuta 2008, IOP Publishing
- [5] PGM17 datasheet, <http://www.perpetuum.co.uk>
- [6] Loreto Mateu (,Francesc Moll), Review of Energy Harvesting Techniques and Applications for Microelectronics, 2005, Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers
- [7] P.D. Mitcheson(, E.M. yeatman, A.S. Holmes, T.C. Green, P.Miao, B.H. Stark), Energy harvesting Micro-Generator, Imperial College London
- [8] Juho Rautakorpi, Ympäristöstä ja käyttäjän aktiviteetista kerätty energia urheiluinstrumentin energialähteenä, 1.4.2008, TKK
- [9] VTT sisäinen julkaisu
- [10] Kenji Uchino, Piezoelectric actuators 2006/Expansion from IT/robotics to ecological/energy applications, 18 Sep 2006, Springer Science,
- [11] Lei Wang (, F. G. Yuan), Vibration energy harvesting by magnetostrictive material, 3.6.2008, IOP Publishing
- [12] <http://www.hymini.com/>
- [13] Shashank Priya (, Chih-Ta Chen, Darren Fye, Jaff Zahnd), Piezoelectric Windmill: A Novel Solution to remote Sensing, 24.12.2004, Japanese Journal of Applied Physics
- [14] <http://www.micropelt.com/>

- [15] Heikkinen J. (, Kivikoski M.), Performance and Efficiency of Planar Rectennas for Short Range Wireless Power Transfer at 2.45 GHz, 2 October 2001, Microwave and Optical Technology Letters
- [16] Heikkinen J. (, Kivikoski M.), Low-profile Circularly Polarized Rectifying Antenna for Wireless Power Transmission at 5.8GHz, 2003,IEEE Microwave and Wireless Components Letters
- [17] Andre Kurs (, Aristeidis Karalis, Robert Moffatt, J.D. Joannopoulos, Peter Fisher, Marin Soljac), Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances, 6 July 2007, Science Express
- [18] Satu Arra (, Jarkko Leskinen, Janne Heikkilä, Jukka Vanhala), Ultrasonic Power and Data Link for Wireless Implantable Applications, 2007, IEEE
- [19] <http://www.nasa.gov/centers/dryden/news/NewsReleases/2003/03-54.html>
- [20] Henry W. Brandhost, POWOW Power Without Wires, February 2001, IEEE AES Systems Magazine
- [21] T. O'Donnell (,O.Chevalerais, G. Grant,S.C.O`Mathuna), Inductive Powering of Sensor Modules, 2005, IEEE
- [22] Erick O.Torres (,Gabriel A. Rincon-Mora), Electrostatic Energy Harvester and Li-Ion Charger Circuit for Micro-Scale Applications, IEEE
- [23] <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:184:0001:0009:FI:PDF>
- [24] <http://www.etsi.org/website/homepage.aspx>
- [25] Jarno Riistama (,Juho Väisänen, Sami Heinisuo...),Wireless and inductively powered implant for measuring electrocardiogram, 2007, Medical and Biological Engineering