Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Joonas Valo

Liike-energian käyttö hissikapulan lämpimänä pitämisessä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

20.4.2020

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Joonas Valo Liike-energian käyttö hissikapulan lämpimänä pitämisessä 33 sivua + 2 liitettä 20.4.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine	automaatiotekniikka
Ohjaajat	ohjaaja Marco Fiilin ohjaava opettaja Kai Virta

Tämän insinöörityön tarkoituksena oli tutkia eri liike-energian keruumetodien käyttöä lasketteluke-skuksen hissikapuloiden lämmityksessä. Tavoitteena oli toteuttaa hissikapulan sisään asennettava lämmitysyksikön prototyyppi, joka saa käyttöenergiansa hissikapulan kyydissä ollessa aiheutuvista lisäliikkeistä.

Työssä tutkittiin ensin teoreettisella tasolla, mikä eri keruumetodeista toimisi parhaiten hissikapulan liikkeiden kanssa. Samalla laskettiin teoreettiset lämpövastuksen käyttöön tarvittavat energiamäärien arviot. Parhaaksi nähdyn metodin valinnan jälkeen kyseistä metodia alettiin kokeilemaan rakentamalla kapulan sisään mahtuva sähkömagneettinen generaattori ja tämän tuottamaa tehoa mitattiin. Samalla rakennettiin ja testattiin kokeellista lämmityselementtiä ja muita tarvittavia piirin osia.

Tehtyjen kokeiden jälkeen päädyttiin tulokseen, että tarvittavaa energiamäärää ei saada kerättyä sähkömagnetismilla halutussa skaalassa. Vaikkakin tarvittava energiamäärä lasketun lämmityselementin käyttöön on varsin pieni, sähkömagneettisen generaattorin tuottama energia on vain murto-osa tarvitusta energiasta. Tämän lopputuloksen myötä asiakkaalle suunniteltiin teoreettisen lämmitysyksikön piirikaavio. Tätä suunniteltua piirikaviota voidaan käyttää lämmitysyksikön jatkokehitykseen.

Avainsanat	liike-energia, lämmitys, magnetismi

Author Title Number of Pages Date	Joonas Valo Kinetic Energy in Heating of a T-bar Lift Seat 33 pages + 2 appendices 20th of April 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and Automation Engineering
Professional Major	Automation Technology
Instructors	Marco Fiilin, Instructor Kai Virta, Senior Lecturer

The purpose of this thesis work was to study different methods of harvesting kinetic energy and the potential of applying the methods to heating a seat of a T-bar lift. The goal was to produce a prototype heating unit, that could be installed in the lift and could independently generate the required energy from movement of the lift.

At the start of the project, different kinetic energy harvesting methods were studied and compared on theoretical level. Estimates for heating a theoretical heating element were calculated. After selecting the best method for the application, experimental electromagnetic generators were built, and their generated energy was measured. A test heating unit and other parts of the circuit were built and tested along with the generators.

The conclusion was reached after the tests and calculations. The required energy couldn't be generated with the generators of this scale. The generators were able to generate a fraction of the required energy. After this conclusion, a theoretical circuit diagram of the heating unit was drawn to the customer. The circuit drawing created can be used to further develop the prototype heating unit.

Keywords	Heating, kinetic energy, magnetism

Sisällys

Lyhenteet

1 Johdanto 1

2 Teoria 2

2.1 Liike-energia 2
2.2 Energian kerääminen 3
2.2.1 Sähkömagneettinen keruu 4
2.2.2 Pietsosähköinen keruu 6
2.2.3 Sähköstaattinen keruu 8

3 Laskenta 10

4 Suunnittelu 13

4.1 Energiankeräysyksikkö 14
4.2 Akku 15
4.2.1 Nikkelikadmium (NiCd) 16
4.2.2 Nikkelimetallihydridi (NiMH) 17
4.2.3 Litiumioni (Li-Ion) 18
4.3 Lämpövastus 20

5 Toteutus 21

5.1 Rakennus 21
5.2 Testaus 24
5.3 Piirikaavio 27
5.4 Materiaalikustannukset 28

6 Yhteenveto 29

Lähteet 32

Liite 1: Teoreettiset laskennat 1

Liite 2: Teoreettisen prototyypin piirikaavio 1

Lyhenteet

AC	Vaihtovirta.
DC	Tasavirta.
Li-Ion	Litium-ioni. Akkutyyppi.
MFC	Macro-fiber Composite. Pietsosähköisissä toteutuksissa käytetty kalvomainen materiaali.
NiCd	Nikkelikadmium. Akkutyyppi.
NiMH	Nikkelimetallihydridi. Akkutyyppi.
VAC	Vaihtojännite.
VDC	Tasajännite.

1 Johdanto

Insinöörityön tarkoituksena on tutustua eri liike-energian keräysmetodeihin ja niiden käyttömahdollisuuksiin laskettelukeskuksen kapulahissien lämmityksessä. Työn tilannut asiakas on huomannut, että talvella laskettelukeskuksissa käytettävien kapulahissien istuimiin kerääntyy lunta ja jäätä lämpötilan muutosten ja lumisateen takia. Tämän lisäksi kovemmilla pakkasilla ilmassa oleva vesi myös tiivistyy istuimen pintaan huurteeksi. Istuimessa oleva lumi, jää ja huurre sulavat laskettelijan istuessa kapulassa, täten kastellen heidän housunsa. Kylmempinä päivinä tämä voi aiheuttaa laskettelijoille suurta epämukavuutta ja pahimmassa tapauksessa pilata heidän laskettelupäivänsä. Tämän lisäksi jään sulaessa irti se voi tarttua laskettelijan housuihin, joka voi aiheuttaa heidän liukumisen kapulan päältä ja mahdollisesti loukkaantumisen.

Työ tehtiin yksityiselle asiakkaalle, Marco Fiilinnille. Marco on pitkäaikainen hiihtäjä ja laskettelija. Hän on harrastanut hiihtoa jo nuoresta iästä alkaen ja hyvin aktiivisesti vuosittain eri hiihtokeskuksissa Suomessa ja ympäri Keski-Eurooppaa. Marco on laskettelu-vuosiensa aikana huomannut, kuinka hän on useasti melkein pudonnut kapulahissistä juuri istuinosasta irronneen jään takia. Lisäksi hän oli usein joutunut laittamaan housunsa kuivaamaan laskettelupäivän jälkeen takamukseen sulaneen jään takia. Hän oli vuosien ajan kiinnittänyt huomiota hissien satunnaisiin lisäliikkeisiin ja miettinyt, voisiko niitä hyödyntää johonkin.

Näiden huomioiden perusteella Marco sai idean liike-energialla toimivasta lämmitysyksiköstä. Hissiin kohdistuvan liike-energia voitaisiin kerätä talteen jollain liike-energian keräysmetodilla ja käyttää istuinosaan asennettavan lämpövastuksen ajamiseen. Tämä lämpövastus pitäisi hissikapulan kuivana ja lämpimänä, jolloin vältyttäisiin laskettelijan housujen kastumiselta ja liukastumiselta.

Marco oli ideansa saatuaan yhteydessä paikallisiin yritysrahoituskeskuksiin ideastaan. Näistä yrityksistä on annettu hyväksyntä tämän idean kasvattimesta mahdolliseksi yritykseksi, yritysnimellä Good Feeling. Jos työstä saataisiin toteutettua valmis prototyyppi, voitaisiin kehitystyötä jatkaa ja yritys perustaa. Valmista tuotetta voitaisiin myös soveltaa muihinkin käyttötarkoituksiin, kuten polkupyörän istuimeen.

Työssä käydään läpi lämmitysyksikön suunnittelu- ja testausprosessia. Alussa perehdytään työn teoriaosuuteen; liike-energiaan ja sen eri keruumetodeihin. Lisäksi tässä yhteydessä laskettiin tarvittavat teoreettiset laskut eri osien vaatimille arvoille ja valittiin paras vaihtoehto liike-energian keruumetodeista. Teoreettisen tutkinnan kautta päästiin suunnittelemaan lämmitysyksikön eri osia ja niiden sijoittelua. Marco halusi, että energiankeruuyksikkö voitaisiin mahduttaa hissikapulan sisään. Tämä asetti rajoituksia suunnitteluprosessille. Suunnittelun yhteydessä rakennettiin testiyksiköitä ja tehtiin kokeita, joilla testattiin valitun liike-energiankeruumetodin tehokkuutta.

2 Teoria

Tässä luvussa käydään läpi työn teoreettisia osia. Luvussa perehdytään liike-energiaan, energian louhintaan ja sen eri metodeihin, sekä lämmittimen eri osien teoreettisiin laskuihin.

2.1 Liike-energia

Energia on monissa fysiikan eri osa-alueissa käytettävä keskeinen yleissuure. Yleensä energia määritetään työn tekokyvyksi. Energiaa esiintyy ympäristössä monissa eri muodoissa, joihin kuuluvat mm. lämpöenergia, mekaaninen energia, säteilyenergia ja ydinenergia. Energia on muiden suureiden joukossa erikoinen, sillä sitä ei voi luoda tyhjästä. Energian kokonaismäärä on aina vakio, eikä se häviä käytön jälkeen. Ainoastaan sen olomuoto muuttuu. Esimerkiksi auton polttomoottori muuttaa polttoaineeseen varatun kemiallisen energian mekaaniseksi energiaksi moottorissa. Tämä energia taas varautuu autoon liike-energiaksi, kun moottori auttaa vaihteiston kautta auton liikkeelle. Auton jarruttaessa autoon sitoutunut liike-energia muuttuu jarrujen tai renkaiden kautta kitkaenergiaksi ja lämmöksi. [Suvanto: 155–161.]

Liike-energia on kappaleen liikkeeseen sitoutunutta energiaa. Sitoutuva energia voi tulla monesta eri lähteestä. Vuoristoradassa vaunujen noustessa radan huippukohtiin, nostoon käytetty työ sitoutuu vaunuihin potentiaalienergiana. Tämä potentiaalienergia muuntuu liike-energiaksi vaunun lähtiessä laskeutumaan. Autolla kiihdyttäessä moottorin tekemä työ sitoutuu autoon liike-energiana. Kappaleen liike-energia riippuu kappaleen massasta ja sen nopeuden itsearvosta. Kappaleen liike-energia voidaan esittää kaavalla 1.

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \tag{1}$$

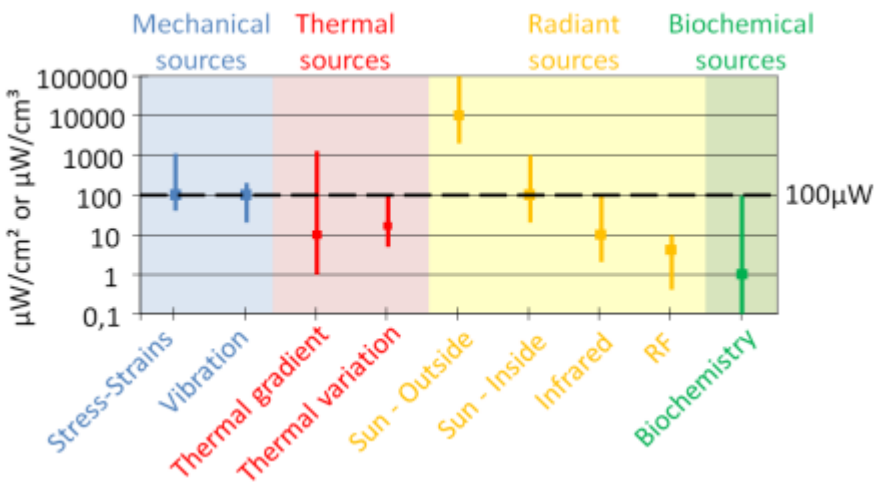
E_k on liike-energia
m on kappaleen massa
v on kappaleen nopeuden itseisarvo

Kaavasta voidaan todeta, että liike-energia on suoraan verrannollinen nopeuden neliöön. Kappaleen liike-energian muutos on aina sama kuin eri voimien kappaleeseen tekemä työn summa. Tätä kutsutaan työenergiaperiaatteeksi. Työ voi olla ulkoisten voimien tai sisäisten voimien aiheuttamaa. Ulkoiset voimat ovat esimerkiksi kappaleeseen kosketuksesta siirtyvät voimat, kuten lentävään lehteen vaikuttava tuuli. Sisäiset voimat ovat kappaleessa sisäisesti tehtyä työtä, kuten jalkojen lihasten tekemä työ ihmisen liikkuessa. [Suvanto: 159-161; Inkinen & Tuohi: 136–137.]

2.2 Energian kerääminen

Energian keräämisellä tarkoitetaan erilaisten ympäröivien energioiden muuntoa sähköksi. Tämä energia voidaan riippuen sen käyttötavasta joko varastoida akkuihin tai ohjata suoraan haluttujen laitteiden käyttöön. Energian keräyksessä eri energiatyypit voidaan jakaa neljään eri alakategoriaan: mekaaninen energia, lämpöenergia, säteilyenergia ja kemiallinen energia. Mekaanisen energian lähteitä ovat esimerkiksi kappaleen liike-energia, laitteiden mekaaninen värinä ja tiettyjen materiaalien rasitus. Lämpöenergian lähteitä voivat olla esimerkiksi luonnossa esiintyvät lämmönlähteet tai erilaisten laitteiden käytöstä muodostuvat hukkalämmöt. Säteilyenergian lähteistä ilmeisin on auringon säteily. Kemiallisen energian esimerkkejä ovat kaikenlaiset poltettavat aineet, kuten polttoaineet, puu ja kivihiili. [Nisu 2016: 15–17; Priya & Daniel 2009: 22.]

Kuvasta 1 nähdään, kuinka eri energianlähteiden energiatiheydet eroavat toisistaan. Kuvasta huomataan, kuinka suurin potentiaalinen energianlähde on aurinko. Eritoten ulkona kerättävällä aurinkoenergialla on todella suuri energiatiheys, jopa 15000 µW/cm3. Tästä seuraavaksi tehokkaimpana ovat eri liike-energian metodit ja lämpögradientti. Liike-energianlähteille löytyy useita eri louhintatapoja, joihin perehdytään seuraavaksi. [Boisseau ym. 2012: 2.]



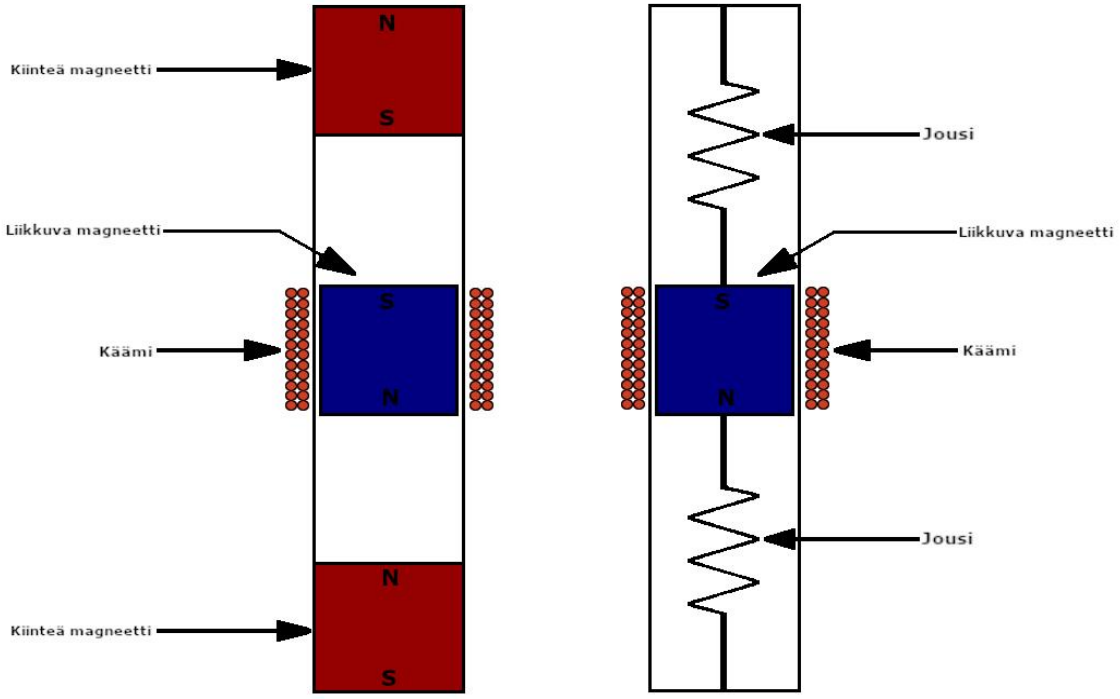
Kuva 1. Kuvaaja ympäristöstä löytyvien energianlähteiden energiatiheyksistä. [Boisseau ym. 2012: 2.]

2.2.1 Sähkömagneettinen keruu

Sähkömagneettinen keruu perustuu sähkömagneettiseen induktioon, jonka Michael Faraday ja Joseph Henry löysivät 1830-luvun alkupuolella. He huomasivat, että he saivat luotua potentiaalieron johtimeen liikuttamalla magneettia sen läheisyydessä. Tätä jännitteen muutosta kutsutaan myös sähkömotoriseksi voimaksi. Tähän jännitteeseen vaikuttaa käämiin kierrettyjen kierrosten lukumäärä, magneettikentän vahvuus ja magneetin liikkeen nopeus. [Inkinen ym. 2002: 166; Kaźmierski & Beeby 2011: 18.]

Käämiin muodostuvan virran napaisuus vaihtelee sen mukaan, minkä suuntainen magneettikenttä vaaditaan kumoamaan johtimen lähelle tuodun magneetin muodostama magneettikenttä. Tätä ilmiötä kutsutaan Lenzin laiksi sen löytäjän Heinrich Lenzin mukaan. Tämä ilmiön takia indusoituva virta on vaihtovirtaa, joka täytyy ottaa huomioon käämiin kytketyssä piirissä. Tämä ilmiö huomioidaan myös energian laskemisessa yhtälössä esiintyvänä etumerkkinä. [Inkinen ym. 2002: 166; Kaźmierski & Beeby 2011: 18.]

Sähkömagneettisessa keräämisessä rakennetaan käämi, jonka magneettivuota manipuloidaan läheisyyteen sijoitetuilla kestomagneetilla. Magneetti voi olla käämin ympärillä tai käämin sisäpuolella. Käämin sisäpuolella liikkuvaa magneettia voidaan ohjata sen läheisyyteen sijoitetuilla kiinteillä kestomagneeteilla tai magneettiin kiinnitetyillä jousilla. Magneettivuon muutos indusoi käämiin vaihtovirran, joka voidaan ottaa talteen sen päistä. Kuvassa 2 esitellään lineaarisen sähkömagneettisen generaattorin perusrakenne kiinteillä magneeteilla ja jousilla. [Kaźmierski & Beeby 2011: 18.]



Kuva 2. Lineaarisen sähkömagneettisen generaattorin toimintaperiaate. Vasemmalla liikkuvan magneetin ohjaus kiinteillä magneeteilla ja oikealla liikkuvan magneetin ohjaus jousilla. [Nisu 2016: 20.]

Sähkömagneettista keruuta voidaan toteuttaa sekä lineaarisella että pyörivällä liikkeellä. Lineaarisessa liikkeessä generaattori rakennetaan siten, että kaksi sylinteriä on päällekkäin. Toisessa sylinterissä on kestomagneetteja ja toisessa sylinterissä on induktioon käytettävä käämi. Riippuen tilanteesta toinen näistä sylintereistä on kiinteästi paikoillaan ja toinen voi liikkua vapaasti. Vapaasti liikkuva sylinteri liikkuessaan lineaarisella radallaan aiheuttaa sähkön indusoitumisen käämiin. Aaltogeneraattorit ovat yksi esimerkki lineaarisen energian keräämisestä. Pyörivän liikkeen generaattorin toimintaperiaate on hyvin samanlainen lineaarisen kanssa, mutta liike on pyörivää. Yleensä tämä toteutetaan rakentamalla ulkoinen sylinteri kiinteäksi ja sisäinen sylinteri vapaasti liikkuvaksi. Yleisimpiä pyörivän liikkeen generaattoreita ovat tuuli- ja vesivoimalat. [Nisu 2016: 16, 21.]

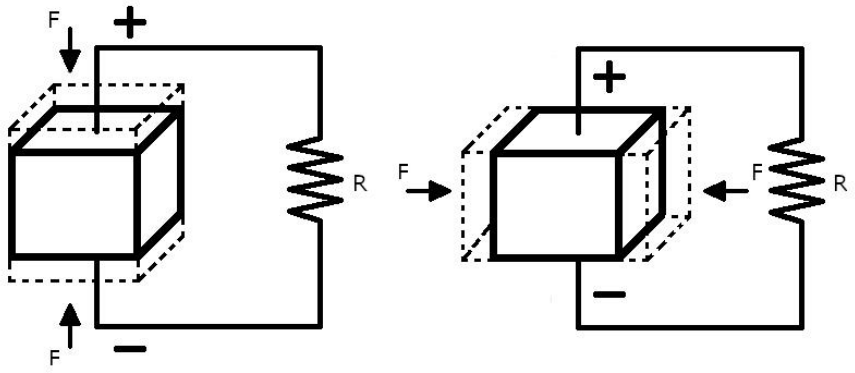
Sähkömagneettisen keräämisen etuna on, että erillistä jännitelähdettä ei tarvita generaattorin käynnistykseen ja virrantuotto on suurta suhteutettuna muihin louhintamenetelmiin. Jännitteentuotto sen sijaan ei ole hirveän suurta verrattuna virrantuottoon. Sähkömagneettinen louhinta toimii paremmin makrotason toteutuksissa kuin mikrotason toteutuksissa, koska mikrotasolla generaattorit eivät välttämättä pysty tuottamaan sovelluksiin tarvittavaa energiaa huonon kytkentäkertoimen takia. [Kaźmierski & Beeby 2011: 18; Nisu 2016: 19–20.]

2.2.2 Pietsosähköinen keruu

Pietsosähköinen keruu perustuu Jacques ja Pierre Curien vuonna 1880 löytämään pietsosähköiseen ilmiöön. He huomasivat tietyillä materiaaleilla olevan kyky tuottaa sähköä fyysisen rasituksen ja muovailun kautta. Materiaalin kohdistuva fyysinen rasite, kuten puristus tai taivutus, muuttaa materiaalin sähköpotentiaalia ja tuottaa sähkövirtaa suhteessa rasituksen määrään. [Kaźmierski & Beeby 2011: 21.]

Pietsosähköisiä generaattoreita on yleensä kahden tyyppisiä riippuen materiaalissa kiinni olevien kytkentänapojen sijainnista ja rasituksen sunnasta. Nämä tyypit ovat nimetty moodeiksi 31 ja 33. Moodissa 31 generaattoriin kohdistuva rasite suunnataan kohtisuoraan napoja vasten. Esimerkkinä taivutettava tanko, jonka kytkentänavat ovat tangon sivuissa, lasketaan moodin 31 mukaiseksi elementiksi. Moodissa 33 rasite kohdistetaan materiaalin napojen suuntaisesti. Esimerkiksi pietsosähköinen elementti, jota puristetaan kytkentänapojen suuntaisesti, on moodi 33:n mukainen elementti. Moodi 31 on

kahdesta tyypistä yleisimmin käytetty, vaikkakin kytkennällä on heikompi kytkentäkerroin verrattuna moodiin 33. Kytkentäkertoimella tarkoitetaan suhdetta, jolla kappaleeseen kohdistuva rasite muuntuu sähkövirraksi. Kuvassa 3 havainnollistetaan kahden tyypin toimintaperiaatteet. [Kaźmierski & Beeby 2011: 21.]



Kuva 3. Pietsosähköisen generaattorin kaksi tyyppiä: moodi 33 vasemmalla ja moodi 31 oikealla. F kuvaa materiaaliin kohdistuvaa fyysistä rasitetta. [Kaźmierski & Beeby 2011: 21.]

Parhaat materiaalit pietsosähköisen generaattorin toteuttamiseen ovat joko pietsosähköiset polymeerit, kuten polyvinyylideenifluoridi tai yksikiteiset keraamit. Näillä kahdella materiaalilla on tutkittu olevan parhaat löydetyt jännitteen- ja tehontuottovakiot. Valitettavasti näiden materiaalien massatuottaminen on vaikeaa ja kallista, joten tutkijat ovat keskittyneet etsimään ja kehittämään sopivaa korviketta näiden kahden materiaalin väliltä. Tällä hetkellä parhaat kompromissimateriaalit ovat monikiteisiä keraameita. [Priya & Daniel 2009: 27–33.]

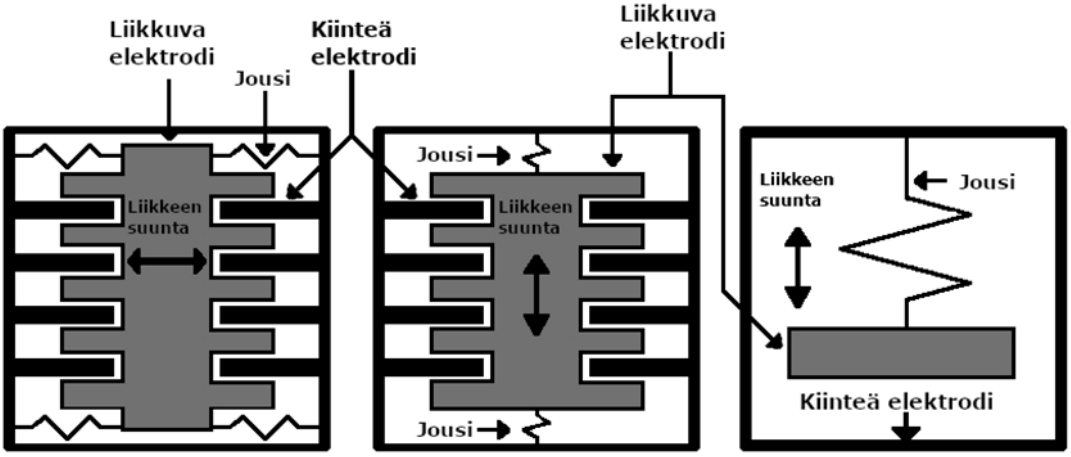
Pietsosähköistä keruuta on tutkittu mm. pietsosähköisten generaattoreiden sijoittamisella kengän pohjaan ja keräämällä kävellessä generaattoriin kohdistuvaa painovoimaa. Nämä tutkimukset ovat osoittaneet, että kävelemisellä on mahdollista tuottaa 2–4 milliwattia energiaa ja juoksemisella 6 milliwattia. Tämä energiamäärä riittää esimerkiksi erilaisten anturien käyttöön. [Mainio 2018.]

Pietsosähköisten generaattorien potentiaalisia käyttökohteita ovat mm. siltojen ja kerrostalojen runkorakenteisiin asennettavat anturit. Näillä tarkkaillaan siltojen värähtelytaajuuksien muutoksia ja taloissa maanjäristyksen jälkeen ilmeneviä muutoksia. Lisäksi antureilla voisi olla tulevaisuudessa käyttöä esimerkiksi erilaisten kaasuanturien virtalähteenä. Esimerkiksi palomiehillä voisi olla käytössä kaasuantureita myrkyllisten kaasujen tunnistamiseen tulipalojen sammutusoperaatioissa. [Nisu 2016: 20–21; Kaźmierski & Beeby 2011: 21; Mainio 2018.]

2.2.3 Sähköstaattinen keruu

Sähköstaattinen keruu perustuu säätökondensaattorin elektrodien liikkeen aiheuttamaan jännitesiirtymään. Kondensaattorin elektrodien irtaantuessa toisistaan, niiden välille muodostuva jännite kasvaa. Kondensaattorin varauksen laskeminen aiheuttaa varautuneen jännitteen siirtymisen eteenpäin joko akustoon tai jännitettä tarvitsevalle laitteelle. Sähköstaattiset generaattorit toimivat yleensä joko jännitystä rajoittaen tai kondensaattorin varausta rajoittaen. [Kaźmierski & Beeby 2011: 23.]

Sähköstaattiset generaattorit luokitellaan kolmeen eri tyyppiin: In-plane overlap, In-plane gap closing ja Out-of-plane gap closing. In-plane overlapissä kondensaattori on rakennettu siten, että elektrodeissa on ulokkeita. Osa elektrodeista on kiinteitä ja osa on jousien varassa liikkuvia. Jousien varassa olevan elektrodin ulokkeet menevät kiinteiden elektrodien ulokkeiden kanssa limittäin. Liike-energian aiheuttama ravistava liike heiluttaa jousien varassa olevaa elektrodia, joka aiheuttaa limittäisen alueen koon muuttumisen. Tämä aiheuttaa kondensaattorin kapasitanssin muuttumisen. In-plane gap closing toimii hyvin samalla tavalla kuin In-plane overlap, mutta limittäisen alueen koon muuttumisen sijaan alueen etäisyys muuttuu liikkeen mukana. Out-of-plane gap closingissa on kaksi elektrodilevyä, joiden välimatka muuttuu liikkeen voimasta. Kuvassa 4 havainnollistetaan eri generaattorien rakenne-erot. [Kaźmierski & Beeby 2011: 23–24.]



Kuva 4. Sähköstaattisen generaattorin eri rakenteet. Vasemmalta oikealle: In-plane overlap, In-plane gap closing ja Out-of-plane gap closing. [Kaźmierski & Beeby 2011: 25.]

Sähköstaattinen keruu toimii parhaiten mikrotason toteutuksissa. Sähköstaattisen louhinnalla on muutamia ongelmia. Yksi näistä on mahdollinen jännitteen kasvu liian suureksi, joka voi aiheuttaa laitteiston vahingoittumisen. Tämä voidaan estää kytkemällä generaattorin yhteyteen jännitteensäädin, joka rajoittaa jännitteen laitteistolle turvalliseksi. Jännitteensäätimenä voi toimia erillinen piiri tai pelkkä lisäkondensaattori. Tämän lisäksi generaattori tarvitsee alustavan jännitteen, jotta sen sisällä tapahtuva polarisaatio alkaa. Alustavan jännitteen voi tuottaa joko erillinen jännitelähde tai valmiin näennäisjännitteen sisältävä elektreetti. Sähköstaattisen generaattorien lähtöimpedanssi on varsin korkea, minkä takia niiden käyttämistä virtalähteinä ei suosita. [Nisu 2016: 20; Kaźmierski & Beeby 2011: 30.]

3 Laskenta

Tässä luvussa käydään läpi energiankeruuyksikön eri osien teoreettisia laskentoja. Näihin kuuluvat mm. lämmityselementin vaatima teho ja energiankeräysyksikön tuottama teho. Ensimmäisenä ja tärkeimpänä tarvitsee laskea lämmityselementtiin tarvittava teho, jotta istuinosa saadaan pidettyä kuivana. Teoreettisissa tutkinnoissa päädyttiin kahteen sijoituspaikkaan: lämmityselementti voi olla joko istuinosan päällä tai istuinosan sisäpuolella. Riippuen lämmityselementin sijoituksesta täytyy laskea joko itse alumiinilevyn lämmitykseen vaadittava teho tai itse istuimen lämmittämiseen tarvittava teho. Kaikki nämä laskut löytyvät työn ohessa olevasta liitteestä 1.

Lasketaan ensin tilanne, jossa lämmityselementti on sijoitettu istuinosan päälle. Oletetaan, että lämmityselementti on alumiinipala, johon on kytketty lämmitysvastus. Alumiinilla on hyvä lämmönjohtavuus, joka auttaa istuimen lämmityksessä. Alumiinikappaleen mitat ovat 340 x 40 x 2 mm. Tämä kappale kattaisi yhden puoliskon istuimesta, joten näitä kappaleita tarvittaisiin kaksi. Käytetään näissä laskuissa kuitenkin yhtä kappaletta laskentojen helpottamiseksi. Kappaleen massa on n. 70 g. Alumiinikappale halutaan lämmittää 10 asteeseen -20 asteesta. Tarvittava energia kappaleen lämmitykseen saadaan kaavalla 2.

$$Q = m * c * \Delta T \tag{2}$$

Q on tarvittava lämpömäärä
m on massa
c on aineen keskimääräinen lämpökapasiteetti
ΔT on lämpötilan muutos

Alumiinin ominaislämpökapasiteetti on 0,9 kJ/kg*K ja lämpötilan muutos on 30 astetta. Annetuilla arvoilla tarvittavaksi lämpömääräksi saadaan 1,89 kJ. Tällä arvolla saadaan laskettua tarvittava teho kaavalla 3.

$$P = \frac{Q}{t} \tag{3}$$

P on tarvittava teho
Q on lämpömäärä
t on aika

Oletetaan, että lämmityselementti halutaan saada nopeasti lämpimäksi. Annetaan tarvittavaksi ajaksi 1 minuutti. Annetuilla arvoilla saadaan laskettua tarvituksi tehoksi 31,5 W. Tarvittu tehon määrä skaalautuu halutun aikamääreen mukaan. Kymmenessä minuutissa tarvittava teho laskee 3,2 wattiin.

Seuraavaksi lasketaan tilanne, jossa lämmityselementti on sijoitettu istuinosan sisään. Lämmityskappaleen on tarkoitus johtaa lämpö muovisen istuinosan läpi. Tarvittavan lämmön laskemiseen voidaan käyttää samaa kaavaa kuin aiemmin, mutta joitain arvoja täytyy muuttaa. Pidetään muovikappaleen koko ja massa samana kuin alumiinikappale. Muovin ominaislämpökapasiteetti vaihtelee tarkan muovityypin mukaan, mutta yleinen annettu arvo on 1,67 kJ/kg x K (Spesific Heat of Solids 2003.) Näillä arvoilla lasketuksi lämpömääräksi saadaan 3,507 kJ. Tällä arvolla taas voidaan laskea yllä olevan kaavan mukaan, että minuutissa lämpiämiseen tarvittava teho on 58,4 W. Kymmenessä minuutissa tarvittava teho laskee 5,8 wattiin. Kuten aiemmassakin tilanteessa, nämä arvot vastaavat vain yhtä puoliskoa hissistä ja nämä arvot pitää kertoa kahdella, jotta saadaan koko istuimen tarvitsema teho.

Seuraava laskettava arvo on lämmityselementin tarvitsema virta. Oletetaan, että kytkennässä käytetään aiemmin laskettuja arvoja ja testeissä käytettyä jännitteensäädintä. Lämmityselementin tarvitsema teho riippuu elementin asennustavasta ja halutusta lämpiämisnopeudesta. Tarvittavat arvot virran laskentaan saadaan jo aiemmin määritetyistä ja lasketuista arvoista. Virran laskentaan voidaan käyttää kaavaa 4.

$$I = \frac{P}{U} \tag{4}$$

I on virta
P on teho
U on jännite

Käytetään tehon laskemiseen aiemmin määritettyjä tehoarvoja ja jännitteenä testeissä käytetyn jännitteensäätimen antamaa maksimijännitettä 3,3 V. Näillä arvoilla voidaan laskea, että minuutissa lämpiämiseen tarvitaan alumiinilevyn lämmityksessä 9,55 A tai itse istuimen lämmityksessä 17,7 A. Kymmenen minuutin lämpiämiseen tarvitaan joko 0,96 A alumiinilevylle tai 1,77 A itse istuimelle.

Viimeinen laskettava arvo on tarvittava käämin koko. Käämiin koon voi laskea Faradayn induktiolain avulla. Kun käämin induktiota lasketaan, tämä laki kirjoitetaan kaavana 5.

$$E = -N * \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \tag{5}$$

E on tuotettu jännite
N on käämissä olevien johdinkierrosten lukumäärä
ΔΦ on magneettivuon muutos
Δt on kulunut aika

Kaavan etumerkki on Lenzin lain mukainen magneettikentän muutosta vastustava virta. Yhtälön voi kirjoittaa auki, jotta kaavaa voidaan helpommin käyttää erilaisten induktiotilanteiden laskemiseen. Tällöin kaava muuttuu muotoon 6.

$$E = -N * \frac{\Delta(\mathrm{B}*\mathrm{A})}{\Delta t} \tag{6}$$

E on tuotettu jännite
N on käämissä olevien johdinkierrosten lukumäärä
B on magneettivuon tiheys
A on magneettikenttää kohtisuoraan olevan pinnan pinta-ala
Δt on kulunut aika

Oletetaan, että tarvittava jännite on 0,5 V. Tämä riittäisi kokeissa käytetyn jännitteensäätimen ohjaamiseen. Kokeissa käytetyn käämin halkaisija on 3 cm. Tästä voidaan laskea, että käämin pinta-ala on noin 7,07 cm^2. Käytettyjen neodyymimagneettien magneettikentän arvo on magneetin datalehtisen mukaan välillä 1,4 – 1,46 T. Käytetään laskuissa minimiarvoa 1,4 T, jolloin magneettikäämin muutokseksi saadaan -1,4 T. Magneetti tulisi liikkumaan käämin läpi nopeasti, joten annetaan kuluneeksi ajaksi 0,5 sekuntia. Näillä arvoilla voidaan laskea, että tarvittava käämin kierrosten määrä on noin 253.

4 Suunnittelu

Tässä luvussa käydään läpi lämmitysyksikön teoreettista suunnittelua, eri toteutusvaihtoehtoja sekä suunnittelun aikana esiintyneitä haasteita. Ennen varsinaisen suunnittelutyön aloittamista täytyi hissikapulasta mitata tarpeellisia arvoja eri elementtien skaalausta varten. Nämä mitat ovat istuinosan koko, istuinosan muovin paksuus ja putken sisähalkaisija. Asiakas toimitti aloituspalaverin yhteydessä kaksi irrallista hissikapulaa, joita sai käyttää mahdollisten prototyyppien tekemiseen. Mittausten tuloksena istuinosan koko yhdeltä puolelta on 34 x 4 cm, muovin paksuus n. 2 mm ja putken sisähalkaisija on n. 3 cm. Kuvassa 5 näytetään yksi näistä kapuloista.

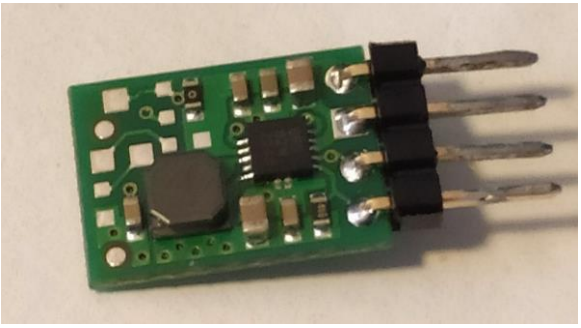
Kuva 5. Yksi prototyyppien rakentamista varten saaduista hissikapuloista.

4.1 Energiankeräysyksikkö

Energiankeruuyksikön suunnittelussa tuli pitää mielessä, että yksikön tulisi mahtua hissikapulan putken sisään. Putken sisähalkaisija oli n. 3 cm. Tämän lisäksi energiankeruuyksikköön pitäisi kytkeä tasamuuntaja, jotta kerätty vaihtovirta voidaan muuntaa tasavirraksi akkuun varastointia varteen.

Eri liike-energian keruumetodeihin tutustuttua parhaaksi vaihtoehdoksi osoittautui sähkömagneettinen keruu. Tällä metodilla olisi paras mahdollisuus tuottaa tarpeellinen energia lämmitykseen. Lisäksi sähkömagneettinen generaattori olisi käytännössä helpoin rakentaa. Pietsosähköinen keruun tuottama energia on tutkimuksissa rajoittunut parhaimmillaan milliwatteihin, eikä riittäisi lämmitysyksikön käyttöön tai isomman akun lataamiseen. Tämän lisäksi pietsosähköisten materiaalien saatavuus on rajoitettua. Sähköstaattinen keruu taas ei pystyisi tuottamaan tarpeeksi energiaa vaaditussa skaalassa. Lisäksi sähköstaattinen generaattori tarvitsisi lisävirtalähteen toimiakseen.

Testeissä mitattujen indusoitujen jännitteiden perusteella tasamuuntajan perään olisi tarpeellista kytkeä jännitteensäädin, joka kasvattaisi tulevan jännitteen tarpeeksi suureksi akun latausta varten. Jännitteensäätimen yhteyteen olisi hyvä kytkeä kondensaattori, joka auttaa vaihtojännitteen aiheuttaman sykkivän jännitteen tasoittamisessa. Lisäksi valitun akkutyypin mukaan tulisi piirin yhteyteen rakentaa latauspiiri, jotta akkujen lataus onnistuisi turvallisesti ja tehokkaasti. Energiankeruuyksikön kokeissa käytettiin Pololun U1V11F3 -jännitteensäädintä. Tämä pystyy tuottamaan 3,3 VDC pienistä jännitteistä. Tarvittava jännite säätimen käynnistymiseen on 0,5 VDC, mutta operointijännite voi vaihdella 0,3–1,2 VDC välillä. Kuvassa 6 näytetään tämä jännitteensäädin.



Kuva 6. Pololun U1V11F3 -jännitteensäädinpiiri.

4.2 Akku

Akku on tärkeä osa koko energiankeruuyksikköä. Akut rakentuvat sähköpareista, jotka voidaan ladata johtamalla niihin virtaa. Virran suunta määrittää sen, latautuuko vai purkautuuko sähköpari. Sähköparit rakentuvat positiivisesta elektrodista anodista, negatiivisesta elektrodista katodista, ja elektrodien välisestä ionijohteesta. Riippuen akun tyypistä, voi sähköpareja olla useampi. [Liimatainen 2013: 9–10.]

Akut jaotellaan yleensä kahteen pääluokkaan. Ensimmäisessä luokassa olevat akut ovat ne akut, joita käytetään energian varastointiin. Tässä käyttötarkoituksessa akku antaa virtaa toiselle laitteelle vain tarvittaessa. Näitä akkuja ladataan yleensä jollain toisella virtalähteellä, kuten verkkovirralla. Esimerkkinä UPS-järjestelmät käyttävät näitä akkuja tietokoneiden suojauksessa sähkökatkoilta. Toisessa luokassa olevat akut ovat pariston korvikkeena käytettävät akut. Nämä akut ovat yleensä pienikokoisia ja ne ladataan uudestaan niiden tyhjennyttyä. Näitä akkuja käytetään yleensä kulutuselektroniikassa korvaamaan kertakäyttöisiä alkali- ja sinkkiparistoja. [Liimatainen 2013: 9–10.]

Akun valinnassa täytyi ottaa huomioon lämmityselementin käyttöympäristö. Akut olisivat vaihtelevissa lämpötiloissa, eritoten pakkasessa. Eri akkutyyppien välillä on suuria tehoeroja eri lämpötiloissa. Lisäksi eri akkutyypit soveltuvat paremmin eri käyttötarkoituksiin kuin toiset. Akkujen yhteisjännite pitää määrittää sen mukaan, minkälainen latausjännite ja -virta saadaan tuotua akulle. Akkuja kannattaa ladata n. 17 % suuremmalla jännitteellä kuin akku on luokiteltu, jotta lataus olisi tehokasta. Akun lataaminen luokitusta alemmalla jännitteellä on mahdollista, mutta se rajoittaa akun jännitteen latausjännitteen tasolle. Jännitesuosituksen lisäksi lataukseen käytettävä virta täytyy pitää 10–20 % akun luokitellusta virrasta akkutyypin mukaan. Tämä varmistaa akun turvallisen latauksen. [BU-401: How Do Battery Chargers Work? 2019.]

Koska koko energiankeruuyksikkö olisi tarkoitus asentaa hissikapulan sisään, valittujen akkujen olisi myös hyvä mahtua kapulan sisään. Tämä rajoittaisi potentiaaliset akkuvaihtoehdot kolmeen eri tyyppiin: nikkelikadmiumakut, nikkelimetallihydridiakkuihin ja litiumioniakkuihin.

4.2.1 Nikkelikadmium (NiCd)

Nikkelikadmiumakut ovat yksi pisimpään käytössä olleista akkutyypeistä. NiCd-akkujen katodit valmistetaan nikkelihydroksidista ja anodit kaliumhydroksidista. NiCd-akut toimivat hyvin vaihtelevissa lämpötiloissa. Lisäksi akuilla on pitkä elinikä, yleensä yli 500 latauskertaa. NiCd-akkujen itsepurkautumistaso on varsin korkea; akun varauksesta purkautuu n. 20 % kuukaudessa varastoinnissa. Tämän takia akut täytyy useimmiten ladata uusiksi pidempien säilytysaikojen jälkeen. [Comparison of NiCd, NiMH, and Li-Ion Batteries 2020.]

NiCd-akkujen heikkoutena on niissä esiintyvä ”muisti-ilmiö”. Jos akkua ei pureta täysin tyhjäksi tasaisin väliajoin ja sitä puretaan aina tietyn verran ennen latausta, akku ”oppii” yleisen purkausmäärän ja täyteen latautumisen sijaan latautuu vain yleisen käyttömäärän mukaan. Tämä ilmiö voidaan välttää purkamalla ja lataamalla akku täysin ajoittain. Tämä prosessi on hyvä tehdä useamman kerran, mikä lyhentää akun elinkaarta. Yksittäisten akkukennojen jännite on myös varsin matala, 1,2 volttia. Suurempien jännitetasojen saavuttamiseksi akkuja täytyy kytkeä sarjaan. [BU-203: Nickel-based Batteries 2019.]

NiCd-akut sisältävät nikkeliä ja kadmiumia, jotka ovat kumpikin ovat haitallisia ympäristölle. Eritoten kadmium on jo pieninä määrinä haitallista vesieliöille. Tämän takia NiCd-akut luokitellaan ongelmajätteeksi ja niiden käyttöä pyritään rajoittamaan erikoistilanteisiin. NiCd-akkuja käytetään teollisuudessa esimerkiksi varavirtalähteiden akustona. Suomessa NiCd-akkuja ei kierrätetä, vaan ne lajitellaan AkkuSer-nimisen yrityksen kierrätyskeskuksessa ja toimitetaan niille erikoistuneelle käsittelijälle kierrätettäväksi. NiCd-akut ovat yleensä halvin vaihtoehto akkua valittaessa suhteessa saatujen latauskertojen määrään. [Kumpusalo 2018; What’s the difference between Nickel Cadmium (Nicad), Nickel-Metal hybrid (NiMH), and Lithium Ion (Li-Ion)? 2020; Comparison of NiCd, NiMH, and Li-Ion Batteries 2020; Valio 2019: 6.]

4.2.2 Nikkelimetallihydridi (NiMH)

NiMH-akut ovat nykyään yksi yleisimpiä kuluttajakäytössä olevia ladattavia akkutyyppejä. Näissä akuissa anodissa käytetty kadmium on korvattu erilaisilla metalliseoksilla. Näissä metalliseoksissa käytettään nikkeliä, kobolttia ja yhdistelmää harvinaisemmista maametalleista. NiMH-akut antavat NiCd-akkuihin verrattuna isomman kapasiteetin samassa kokoluokassa. Tämän takia akut ovat myös NiCd-akkuja painavampia. Akkujen toimintalämpötila-alue on pienempi kuin NiCd-akuilla, mutta vielä varsin laaja. Lisäksi NiMH-akuilla muisti-ilmiötä ei esiinny niin paljoa kuin NiCd-akuilla. NiMH-akkujen itsepurkautuminen on suurempaa kuin NiCd-akuilla; kuukauden aikana akusta purkautuu n. 30% varauksesta. Tämä on yksi NiMH-akkujen suurimpia heikkouksia. Lisäksi NiMH-akut vaativat varsin monimutkaisen latauspiirin, jotta akun optimaalinen lataus on mahdollista. NiMH-akkujen kennojännite on sama kuin NiCd-akuilla, joten suurempien jännitteiden saavuttaminen vaatii myös kennojen kytkemistä sarjaan. Kuvassa 7 näytetään yksi esimerkki NiMH-akuista, testeissä käytetty Panasonicin Eneloop -akkupaketti. [BU-203: Nickel-based Batteries 2019; Valio 2019: 5.]

Kuva 7. Panasonicin Eneloop NiMH -akkukennoista rakennettu akkupaketti.

Akkujen sisältämä nikkeli on ympäristölle haitallista, jonka takia NiMH-akut luokitellaan myös ongelmajätteeksi. Nikkeli on kadmiumiin verrattuna paljon miedompi myrkky ja sitä on myös mahdollista kierrättää. Tämä on auttanut NiMH-akkujen yleistymisessä kuluttajamarkkinoilla. AkkuSerin kierrätysprosessissa akut murskataan ja niistä erotellaan mekaanisesti ja magneettisesti uudelleenkäytettävät materiaalit. [Kumpusalo 2018; What's

the difference between Nickel Cadmium (Nicad), Nickel-Metal hybrid (NiMH), and Lithium Ion (Li-Ion)? 2020; Comparison of NiCd, NiMH, and Li-Ion Batteries 2020.]

4.2.3 Litiumioni (Li-Ion)

Litiumioniakuista on viime vuosina tullut aina vain yleisimpiä kuluttajakäytössä. Litiumioniakut käytetään litiumin yhdisteitä ja grafiittia korvaamaan nikkeli ja muut elektrodimateriaalit. Li-Ion -akut ovat saatavilla olevista akuista energiatehokkaimpia. Akut pystyvät vapauttamaan paljon energiaa lyhyessä ajassa, mikä tekee niistä erinomaisia akkuja erilaisten käsityökalujen akkuihin. Li-Ion -akkujen kennojännite on 3,6 V, mikä on kolminkertainen verrattuna NiCd- ja NiMH-akkuihin. Lisäksi akut voidaan ladata nopeasti verrattuna NiCd- ja NiMH-akkuihin. Myös muissa akuissa ilmenevää muisti-ilmiötä ei esiinny Li-Ion -akuissa. [BU-204: How Do Lithium Batteries Work? 2011; Comparison of NiCd, NiMH, and Li-Ion Batteries; What's the difference between Nickel Cadmium (Nicad), Nickel-Metal hybrid (NiMH), and Lithium Ion (Li-Ion)? 2020.]

Li-Ion-akut ovat paljon ympäristöystävällisempiä kuin muut akut, koska niiden valmistuksessa ei ole käytetty raskasmetalleja. Li-Ion -akkuja kierrätetään suoraan AkkuSerillä. Kierrätysprosessissa akuista erotellaan koboltti- ja kuparirikasteet uudelleenkäyttöä varten. Koboltti ja kupari ovat litiumkarbonaatin kanssa arvokkaimmat kierrätettävät materiaalit Li-Ion -akuista. [BU-204: How Do Lithium Batteries Work? 2011; Comparison of NiCd, NiMH, and Li-Ion Batteries 2020; Kumpusalo 2018; What's the difference between Nickel Cadmium (Nicad), Nickel-Metal hybrid (NiMH), and Lithium Ion (Li-Ion)? 2020; Valio 2019: 23.]

Li-Ion -akkujen suurin heikkous on niiden epävakaus. Akun ylilataus tai vahingoittuminen voi helposti aiheuttaa akun sisäisen lämpöryntäyksen. Akun lämmetessä tarpeeksi paljon, napojen välinen erotin alkaa vahingoittumaan ja pahimmassa tapauksessa aiheuttaa niiden välille oikosulun. Oikosulun tapahtuessa akun sisällä alkaa eksoterminen kierre. Akku alkaa vapauttamaan enemmän energiaa, joka kasvattaa akun lämpötilaa. Lämpötilan kasvu aiheuttaa vielä suuremman energian vapautumisen. Tämä kierre johtaa lopulta akun vuotoon tai pahimmillaan jopa räjähtämiseen. Tämän ongelman voi osittain välttää kytkemällä akkuun suojapiirin, joka estää akun käytön yli- tai alijännitteessä. Täten akun vahingoittuminen latauksen vuoksi estetään. [Kasurinen 2018: 22.]

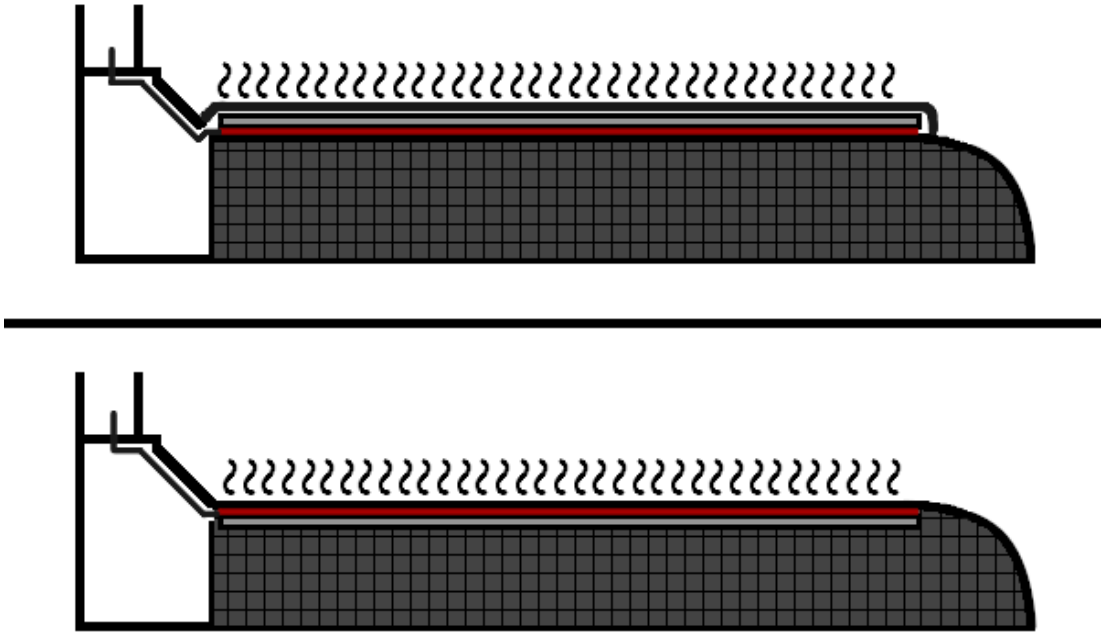
Vuonna 2016 Samsung veti markkinoilta Samsung Galaxy Note 7-puhelimensa puhelimen suunnitteluviasta ja akun valmistusvirheestä johtuneista räjähdysvaarasta. Puhelimen ylänurkan ahtaus ja liian suuri akku saattoivat aiheuttaa akun hajoamisen, joka johti mahdolliseen räjähdykseen (kuva 8). Tämä johti maailmanlaajuiseen korjausohjelmaan, jossa akku vaihdettiin. Valitettavasti uusissa akuissa oli uutena ongelmana mahdollinen hitsausvirhe, joka aiheutti akkuun myös potentiaalisen räjähdysvaaran. Lopulta Samsung päätti vetää koko puhelimen pois markkinoilta syyskuussa 2016. [Newcomb 2017; Shead 2016.]

Kuva 8. Samsung Galaxy Note 7-puhelin, jonka akku on valmistusvirheen takia syttynyt palamaan. [Newcomb 2017.]

Epävakaisuuden lisäksi litiumioniakkujen ongelmana on huono toimivuus äärilämpötiloissa. Äärilämpötiloissa akun varauskapasiteetti heikkenee selkeästi. NASA:n tekemissä kokeissa litiumakkukennojen maksimikapasiteetti laski -40 ºC lämpötilassa 12 prosenttiin verrattuna huoneenlämmössä oleviin akkukennoihin. Li-Ion -akkujen toinen ongelma on kosteuden aiheuttamat vaarat. Akkuun joutuva vesi aiheuttaa litiumin nopean hapettumisen, vahingoittaen tai jopa räjäyttäen akun. [What’s the difference between Nickel Cadmium (Nicad), Nickel-Metal hybrid (NiMH), and Lithium Ion (Li-Ion)? 2020.]

4.3 Lämpövastus

Lämpövastuksen suunnittelussa suurimmaksi haasteeksi osoittautui itse vastuselementin sijoitus. Elementin pitäisi pystyä lämmittämään istuinta, mutta se ei saisi aiheuttaa epämukavuutta hissin käyttäjälle. Lämpövastuksen tehokkuuden kasvattamiseksi lämpövastus asennettaisiin alumiinilevyyn, jotta vastuksesta lähtevä lämpö leviää tasaisemmin. Kapulan tutkimisen jälkeen tultiin lopputulokseen, että lämmityselementin toteuttamiseen on kaksi käytännöllistä vaihtoehtoa. Nämä vaihtoehdot esitellään kuvassa 9.



Kuva 9. Suunnitellut lämpövastuksen sijoituspaikat. Ylhäällä vastus sijoitettuna alumiinilevyn ja pehmusteen kanssa istuimen päälle. Alapuolella vastus sijoitettuna istuimen sisään.

Ensimmäisessä vaihtoehdossa lämpövastus asennetaan alumiinilevyyn ja sijoitetaan istuinosan päälle ja päällystetään jonkinlaisella pehmustemateriaalilla. Lämmityselementin johtimille porataan kapulan muoviosaan läpivientireiät, jotta ne saadaan vietyä energiankeruupiirille. Tämä vaihtoehto olisi yksinkertaisin toteuttaa, koska itse kapulaa ei tarvitsisi muokata läpivientireikien tekemisen lisäksi. Tämän takia kyseinen vaihtoehto olisi helppo myydä asiakkaille erillisenä päivityssarjana hissikapuloihin.

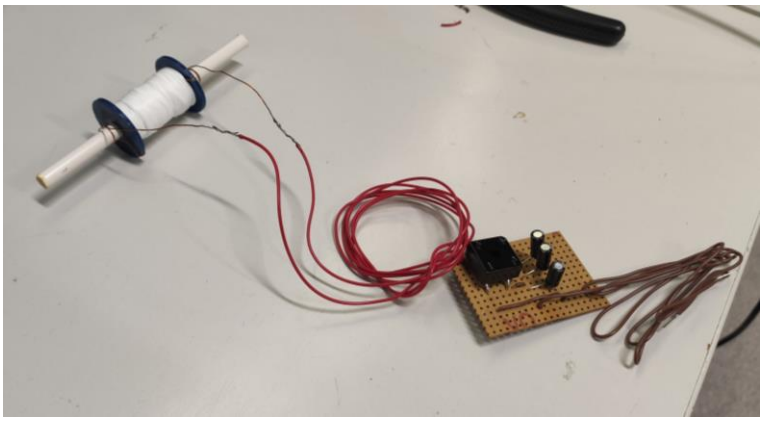
Toisessa vaihtoehdossa lämmityselementti sijoitetaan istuinosan sisään. Istuinosan sisusta on ontto lukuun ottamatta harvaa tukiverkkoa, joka pitäisi poistaa ennen lämmityselementin asennusta. Asennuksen jälkeen elementin päälle täytyisi rakentaa jonkinlainen uusi tukielementti, koska istuimen rakenne ei kestäisi laskettelijan painoa ilman tukirakennetta. Aiemmin poistetun tukiverkon voisi mahdollisesti käyttää uudestaan pienellä leikkaamisella. Tämä olisi kahdesta vaihtoehdosta työläämpi, koska se vaatisi istuinosan laajempaa muuntelua. Tämä vaikeuttaisi tuotteen myymistä päivityssarjana, sillä istuimen muuntelu vaatisi paljon työtunteja isompien kapulahissikokonaisuuksien päivitykseen. Tämä vaihtoehto olisi helpoin toteuttaa valmiiksi rakennettuna kapulana, jonka asiakas voisi tilata suoraan tehtaalta.

5 Toteutus

Tässä luvussa käydään läpi testiyksiköiden rakennusta ja testausta. Kappale sisältää myös testimateriaaleille lasketut materiaalikustannukset.

5.1 Rakennus

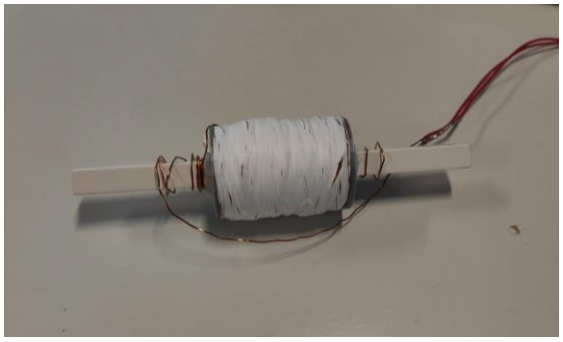
Ensimmäinen kokeellinen energiankeruuyksikkö rakennettiin 7 mm muoviputken ympärille. Putkeen liimattiin kaksi 3D-tulostettua kiekkoa, joilla käämi saatiin pidettyä tiiviissä nipussa. Kiekkojen välillä oli 33mm tilaa käämin rakentamiselle. Kiekkojen väliin käämittiin 0,5 mm paksuista lakattua kuparilankaa noin 20 metriä. Käämin kokonaisvastukseksi saatiin yleismittarilla mitattuna 2,0 Ω. Käämi kytkettiin pitkillä johdoilla kytkentälevyssä olevaan tasasuuntaussiltaan, joka muuntaa käämissä indusoituneen vaihtovirran tasavirraksi. Kuvassa 10 näkyy ensimmäinen rakennettu kokeellinen energiankeruuyksikkö. Piirilevyssä on muutamia kokeeksi kytkettyjä kondensaattoreita, jotka eivät olleet kytkettynä muuhun piiriin.



Kuva 10. Ensimmäinen rakennettu magneettikäämi, joka on kytketty tasasuuntaussiltaan.

Tämän käämin rakentamisen ja kokeilun jälkeen päätettiin kokeilla, onko eri paksuisella käämilangalla vaikutusta indusoituneen jännitteen määrään. Rakennettiin toinen käämi, jossa käytettiin 0,3 mm paksuista lankaa. Lankaa käämittiin n. 55 metriä 12mm:n levyiselle alueelle. Käämin mitatuksi resistanssiksi saatiin 11,4 Ω. Käämi kytkettiin tasasuuntaussiltaan ja sille tehtiin samat testit kuin ensimmäiselle käämille. Käämiin indusoitunut jännite oli hieman alhaisempi kuin ensimmäisellä käämillä: 0,04–0,08 V. Tästä voidaan päätellä, että ohuemmalla langalla voidaan indusoida jännitettä samalla tasolla kuin paksummallakin langalla. Lankaa vain tarvitaan selkeästi enemmän.

Seuraava käämi rakennettiin 8mm paksun neliskanttisen putken ympärille. Putken sisähalkaisija oli 6 mm, jotta neodyymimagneetit mahtuivat putken sisään. Käämin levyjen väliä kasvatettiin 7 mm, jotta käämiin kierrosmäärää saataisiin kasvatettua. Käämiä varten käämittiin kuparilankaa noin 45 metriä. Mitattu kokonaisvastuu käämille oli 3,7 Ω. Kuvassa 11 esitellään tämä magneettikäämi.

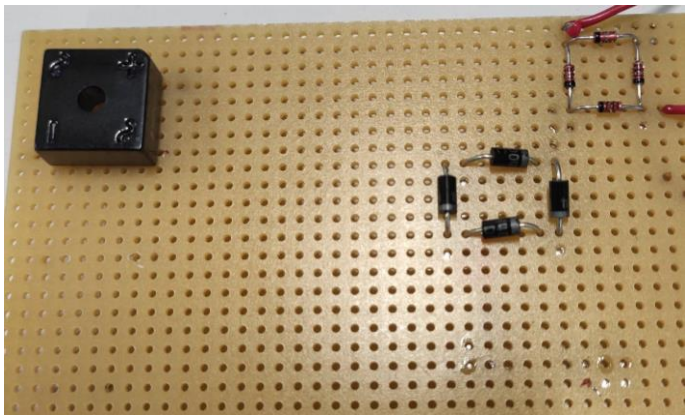


Kuva 11. Toinen rakennettu magneettikäämi.

Käämin testien jälkeen päädyttiin kokeilemaan tasasuuntaussillan rakentamista itse diodeista. Diodit toimivat siten, että ne päästävät jännitteen läpi määritettyyn suuntaan vain sen ylittäessä diodille määritetyn päästöjännitteen rajan. (Inkinen ym. 2002: 573) Vastakkaiseen suuntaan kulkeva jännite ei pääse diodien läpi. Päästöjänniteraja aiheuttaa sen, että osa kerätty jännite laskee päästöjännitteen verran. Alustavissa piireissä käytettiin valmista KBPC610-tasasuuntaussiltaa. Rakentamalla tasasuuntaussillan itse sopivista diodeista, voidaan sillan päästöjännitettä vähentää. Tällöin kerättävän jännitteen määrä kasvaa.

Testejä varten rakennettiin kaksi tasasuuntaussiltaa 1N4005- ja 1N4148-diodeista. Näiden lisäksi testissä aiottiin käyttää myös 1N4004-diodeja, mutta diodin datalehden tutkinnan jälkeen ainoana erona 1N4005-diodeihin nähden oli pienempi estojänniteraja. Estojänniteraja on diodille annettu raja, joka ilmaisee diodin jännitteen kestävyyden estosuunnassa.

Testisiltojen rakennuksen jälkeen käämi kytkettiin kumpaankin siltaan vuoron perään ja testattiin indusoitunut jännite sillan navoista. 1N4005-sillasta indusoitunut jännite vaihteli 0,3 V:n ja 0,5 V:n välillä, mikä oli samalla tasolla valmiin tasasuuntaussillan kanssa. 1N4148-sillan tuottama jännite vaihteli taas 0,3 V:n ja 0,6 V:n välillä, mikä oli marginaalisesti parempi tulos verrattuna muihin testattuihin siltoihin. Myöhemmissä testeissä päädyttiin käyttämään tätä diodisiltaa. Kuvassa 12 näytetään testatut tasasuuntaussillat.



Kuva 12. Testatut tasasuuntaussillat. Vasemmalta oikealle: valmis KBPC610-silta, 1N4005-diodeista rakennettu silta ja 1N4148-diodeista rakennettu silta.

5.2 Testaus

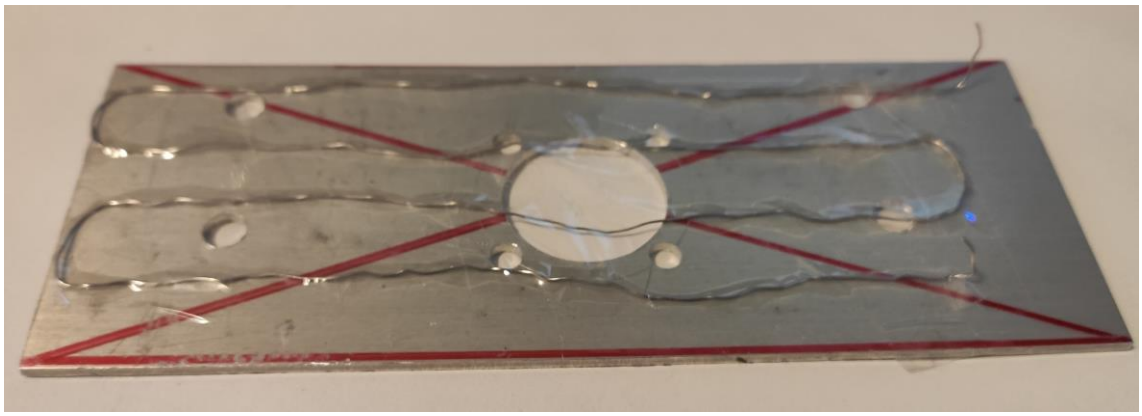
Ensimmäisen testikäämin rakentamisen ja johtojen kytkennän jälkeen käämiin indusoituva jännite mitattiin yleismittarilla. Muoviputken sisään laitettiin kaksi 4 x 19mm Alnico-tankomagneettia, putken päät suljettiin ja käämiä ravistettiin käsivoimin. Jännite mitattiin tasasuuntaussillan plus- ja miinusnavoista. Ravistamisen taajuus pyrittiin pitämään tasaisena testien aikana, noin 4 Hz. Ravistamalla käämin kautta indusoitiin tasajännitettä 0,05–0,10 V. Jännitteensäädin vaati vähintään 0,50 volttia toimiakseen.

Näiden kokeilujen tuloksista pääteltiin, että suuremman jännitteen toteuttamiseksi tarvittaisiin isompi käämi ja vahvempia magneetteja. Ensimmäisessä käämissä käytettiin Alnico-tankomagneetteja, joita käytetään yleensä erilaisten instrumenttimikrofonien ja kaiuttimien valmistuksessa. Näiden tuottama magneettikenttä on kuitenkin varsin heikko. Vahvemmat magneetit, kuten neodyymimagneetit, voisivat tuottaa vahvemman magneettikentän muutoksen. Automaatiopuolen laboratorioinsinöörin kyseltyä elektroniikkaosastolta hän sai käsiinsä 5 mm neodyymimagneettikuutioita, joita pystyttiin käyttämään kokeiluissa. Ainoana ongelmana oli niiden koko ja muoto; ne eivät mahtuneet ensimmäisessä käämissä käytettyyn putkeen. Tämän takia jouduttiin rakentamaan uusi käämi isomman putken ympärille.

Toisen käämin rakentamisen ja kytkennän jälkeen toteutettiin samanlainen koe kuin ensimmäiselle käämille. Kokeen tuloksena käämi indusoi tasajännitettä 0,20–0,40 V. Koska jännite ei vielä riittänyt jännitteensäätimen aktivointiin, jouduttiin käämiin kiertämään lisää käämilankaa. Käämiin kierrettiin 20 metriä lisää lankaa ja testi tehtiin uudestaan. Tällä kertaa indusoitunut jännite kasvoi välille 0,30–0,50 V.

Magneettikäämin alustavissa kokeiluissa mitattiin vain indusoitunutta jännitettä. Toinen tärkeä mitattava suure on indusoituva virta. Virran testausta varten piiriin tarvitsi kytkeä jonkinlainen kuorma. Tämän takia piiriin kytkettiin 39 Ω:n vastus, jonka toinen pää jätettiin irralliseksi. Vastuksen suuruus määräytyi testeissä käytetyn lämmitysvastuksen resistanssin mukaan. Vastuksen liittämisen jälkeen piiriin kytkettiin yleismittari. Yleismittari piti kytkeä sarjaan, jotta vastukselle tuleva virta pystyttiin mittaamaan. Kytkennän jälkeen toteutettiin samanlainen koe kuin jännitteen mittauksessakin: käämiin asetettiin neodyymimagneetit, sen päät suljettiin ja sitä ravistettiin käsivoimin noin 4 Hz:n taajuudella. Samalla mitattiin yleismittarilla virta. Käämiin indusoitunut virta oli hyvin pieni, 2 µA. Tällä virran arvolla ja indusoituneella jännitteellä voidaan laskea, että käämin tuottama teho on noin 1 µW.

Ensimmäiset vastuslangan kokeilut tehtiin leikkaamalla noin metrin pituinen pätkä vastuslankaa ja teippaamalla se 63 x 159 x 2 mm kokoiseen alumiinilevyyn. Vastuslanka taiteltiin siten, että lanka peitti levyn mahdollisimman tasaisesti koko alueelta ja teipattiin kiinni levyyn. Kuvassa 13 näytetään tämä testilevy. Teippauksen jälkeen vastuslangan päät kytkettiin johtoihin ja johdot kytkettiin virtalähteeseen. Virtalähteestä ajettiin lankaan useita eri jänniteitä ja virtoja, joilla kokeiltiin langan lämpenemisnopeutta ja -tehoa.



Kuva 13. Lämmitystesteihin käytetty levy, johon on teipattu kiinni vastuslankaa.

Lämpövastuksen kokeiluissa tarkkaa lämpötilaa ei pystytty mittaamaan, vaan lämpötilaa kokeiltiin käsin. 3,3 voltin jännitteellä ja 3 ampeerin virralla vastuslanka lämpeni puolessa minuutissa selkeästi lämpimäksi, muttei polttavan kuumaksi. Tämä jännite voisi riittää jo istuimen lämpimänä pitoon, mutta annetun virran saanti voi olla vaikeaa. Nostamalla jännitettä kahdella voltilla lanka oli jo selkeästi polttavan kuuma. Lämpötila kasvu oli niin suuri, että levy tuntui selkeästi lämpimältä toiseltakin puolelta.

Näiden kokeiden jälkeen testattiin vastuslangan lämmitystä jännitteensäätimen kautta, joka oli kytketty säädettävään jännitelähteeseen. Lämmitys toimi hyvin samalla tavalla, vaikkakin hitaammin kuin suoralla kytkennällä. Tämä johtuu jännitteensäätimen alemmasta 1,2 A ulostulovirrasta, joka laskee vastukselle tulevaa maksimitehoa. Lopuksi testattiin vielä vastuslangan käyttäytymistä testiakulla. Testiakkuna toimi Panasonicin Eneloop-kennoista rakennettu akku, jonka jännite oli 3,6 V ja maksimivaraus 2000 mAh. Vastuslangan päät kytkettiin pihdeillä akun liitoskorviin. Noin puoli minuuttia kytkennän jälkeen vastuslanka oli jo selkeästi lämmin ja alumiinilevykin oli lämmennyt jonkin verran.

Järjestelmän eri elementteihin tehtyjen testien ja teoreettisten laskujen vertailun jälkeen päädyttiin lopputulokseen, että lämmityksen toteuttaminen tällä tavalla ei olisi mahdollista järkevästi. Laskettelijan matkatessa kapulassa aiheutuu suuria lisäliikkeitä eri kohdissa, kuten kapulalta poistuttaessa ja hissitolppien kohdalla. Tarvittavan liike-energian tuottaminen näillä liikkeellä on käytännössä mahdotonta, ellei laskettelija itse aiheuta jollain tavalla lisäliikkeitä kapulalla liikkuessaan. Liike on liian epäsäännöllistä vakaaseen energian tuottoon. Vaikka liikkeet saataisiin toteutumaan säännöllisesti, käämin tuottama

kokonaisteho jäisi minimaaliseksi pienen induktiovirran takia, eikä sillä saisi piiriin kytkettyä akkua lataamaan lämmitysyksikön vaatimaa energiamäärää. Tuotetut energiamäärät voisivat riittää pienitehoisten sensorien ajamiseen, mutta eivät riitä lämmityselementtien ajamiseen vakaasti.

Marcon kanssa käytyjen keskustelujen jälkeen päädyttiin siihen, että valmiin prototyypin sijaan suunnitellaan lämmitysyksikölle teoreettisen prototyypin piirikaavio. Tämän kaavion tarkoituksena olisi esittää, miten energiankeruuyksikön tai vaihtoehtoisesti vakaa vaihtovirtalähteen tuottama vaihtovirta saadaan muutettua tasavirraksi ja ohjattua lämmitysyksikölle ja sen yhteyteen kytketylle akulle. Piirikaavion komponenteille laskettiin myös tarpeellisten materiaalien kustannukset.

5.3 Piirikaavio

Liitteessä 2 olevassa piirikaaviossa esitetään suunniteltu teoreettinen energiankeruupiiri, jolla lämpövastusta ajettaisiin. Piiri tarvitsee minimissään 0,5 volttia toimiakseen, mutta tulojännitteen suositellaan olevan tätä korkeampi jännitteensäätimen vakaan toiminnan takaamiseksi. Tuleva vaihtovirta viedään tasasuuntaussillalle, jossa se muunnetaan tasavirraksi. Tasasuuntaussillan jälkeen jännite ohjataan Pololu U1V11A -jännitteensäätimelle, joka kasvattaa jännitteen 5,25 volttiin. U1V11A-säätimen lähtöjännite on säädettävissä, jos halutaan käyttää erikokoisia akkuja, mutta 5,25 V on piirin maksimilähtöjännite. Jännitteensäätimen yhteydessä on rinnankytkettynä kondensaattori, jonka tarkoitus on tasoittaa tasasuuntaajan aiheuttamaa jännitteen sykkimistä. Kasvanut jännite ohjataan LM317-jännitteensäätimeen, jonka tarkoitus on rajoittaa lähtövirtaa. Tämä toteutetaan säätimessä olevalla ADJ-pinnillä, jonka yhteyteen kytketyllä vastuksella voidaan määrittää lähtövirta. Vastuksen resistanssiarvo jännitteensäätimelle saadaan kaavalla 7:

$$R1 = \frac{V_{REF}}{I_{OUT}} \tag{7}$$

R2 on vastuksen resistanssiarvo
V_{REF} on piirin referenssijännite
I_{OUT} on haluttu lähtöjännite

Virran rajoitus tehdään, jotta akun lataus olisi turvallista. LM317-jännitteensäädin aiheuttaa lämpötilan mukaan vaihtelevan jännitteenalenemisen. Talvisäästä aiheutuva lämpötilavaihtelun takia jännite alenee noin 2,25 V, jolloin akkua lataavaksi jännitteeksi saadaan 3,0 V. Akun rinnalle on kytkettynä myös itse lämpövastus, jonka resistanssi on n. 11 Ω. Tämä vastaa noin kahta metriä 0,5 mm vastuslankaa tai kuutta metriä 1,0 mm vastuslankaa. Tällöin virran pitäisi riittää sekä akun lataamiseen ja vastuksen lämmittämiseen. Vaikkakin lämmitys ei toteudu ihan laskettujen nopeuksin mukaan, pitäisi arvioidun virran riittää lämmityksen lisätä lämmitysaikaa noin 2,5 minuuttia. Tässä piirikaaviossa lämpövastusta ajetaan pääasiassa tulevalla vaihtovirralla ja itse akkua käytettäisiin varavirtalähteenä tulovirran loppuessa väliaikaisesti.

5.4 Materiaalikustannukset

Suurimpana materiaalikustannuksena energiankeruuyksikön kokeiluissa oli itse magneettikäämi. Testikäämiin käytettyä kuparilankaa oli n. 60 metriä. Itse energiankeruupiiriin testeihin käytettyjä diodeja ja kondensaattoreita saatiin koululta suoraan. Tarpeelliset testitarvikkeet hankittiin elektroniikkakauppa Partcon Vantaan myymälästä. Taulukossa 1 käydään läpi testejä varten ostettujen tarvikkeiden ja komponenttien hinnat.

Taulukko 1. Testitarvikkeiden ostohinnat Partcolta.

Materiaali	**Määrä**	**€/kpl**	**€/m**	**Yht.**
Käämilanka 0,5mm	69 m		0,20	13,80
Käämilanka 0,3mm	55 m		0,09	5,20
Vastuslanka 0,5mm	3 m		2,85	8,56
Pololu U1V11F3	1	7,57		7,57
Tankomagneetti 4*19mm	2	1,06		2,11
Akkupaketti 3,6V 2000mAh	1	15,80		15,80

Testeihin käytettyjen materiaalin kustannusten lisäksi teoreettiselle prototyyppipiirille laskettiin myös tarvittavien komponenttien hinnat. Tässä ei ole otettu huomioon itse virtalähdettä, sillä piirissä voidaan käyttää useaa eri virtalähdettä. Taulukossa 2 esitetään teoreettiseen prototyypin komponenttien hinnat.

Taulukko 2. Teoreettisen prototyypin komponenttien hinnat.

Materiaali	Määrä	€/kpl	Yht.
Pololu U1V11A-piiri	1	5,05	5,05
LM317-piiri	1	1,42	1,42
1N4148-diodi	4	0,05	0,20
Vastus 1 Ω	1	0,05	0,05
Kondensaattori 0,33 µF	1	0,25	0,25
Kondensaattori 0,1 µF	1	0,25	0,25
Akkupaketti 3,6 2000 mAh	1	15,80	15,80

6 Yhteenveto

Tämän työn tarkoituksena oli tutkia ja mahdollisuuksien mukaan suunnitella liike-energialla toimiva lämmitysyksikkö lasketteluhissien kapuloille. Valitettavasti tehtyjen laskentojen, kokeiden ja tutkimuksen perusteella päädyttiin loppupäätökseen, että lämmityselementin ajaminen pelkällä liike-energialla on käytännössä mahdotonta vaaditussa skaalassa.

Liike-energian käyttö suurempien energiamäärien keräämiseen on toistaiseksi hyvin rajoitettua. Nykytekniikoilla saatavat energiamäärät soveltuvat hyvin pienen skaalan mikropiirien ja itsenäisten sensorien käyttöjännitteiden saavuttamiseen, mutta jo alemman tason makrokäytössä energiamäärät ovat riittämättömiä jatkuvaan käyttöön. Useampia watteja vaativiin sovelluksiin tarvitaan jonkinlainen uusi innovaatio liike-energiankeruuteknologiassa. Tällä hetkellä tutkisin itse muita potentiaalisia energianlähteitä liike-energian sijaan.

Mietittyäni muita vaihtoehtoja tämän insinöörityön ongelmaan, muutama vaihtoehto nousi esiin. Ensimmäisenä tulee mieleen kapulahissin käyttöön tarvittavan jännitteen käyttö myös mahdollisten istuinlämmittimien ajamiseen. Kapulahissit tarvitsevat jo luonnostaan jännitteen, jotta hissi liikkuu. Tämän jännitteen voisi osittain ohjata jollain tavalla hissin linjoja ja jarruja pitkin jokaiselle kapulalle ja sillä voitaisiin lämmittää kapulassa olevaa lämmityselementtiä. Tämän toteuttaminen käytännössä on epävarmaa, mutta tällä voitaisiin teoriassa tuoda vakaa energianlähde lämmityselementille.

Jos istuimen lämmittämiseen haluttaisiin silti käyttää jotain energiankeruumetodia, tehokkain ympäristön energianlähde tällä hetkellä on aurinko. Kuten kuvassa 1 nähtiin, auringon säteilyn energiatiheys on suuri verrattuna muihin ympäristössä löytyviin energianlähteisiin. Aurinkopaneelitekniikka on kehittynyt huimasti viime vuosina ja samalla paneelien hintakin on laskenut. Kapulahissin tolppien yhteyteen voitaisiin asentaa aurinkopaneeleita, joilla kerätyn energian avulla voitaisiin ajaa lämmityselementtejä.

Tässäkin ratkaisussa on ongelmansa. Jos on yhtään pilvisempi päivä, energiankeruu tyssää siihen. Aurinkopaneeleilla kerätyn energian yhteyteen olisi hyvä yhdistää joku vakaampi energianlähde, jotta lämmittimien toiminta voidaan taata säästä riippumatta. Tosin tätä varajärjestelmää olisi hyvä käyttää jokaisessa ratkaisussa, jossa käytettäisiin energiankeruuta.

Lasketteluvaatteiden valmistajat ovat myös yrittäneet ratkaista tämän kyseisen ongelman vaatteidensa suunnittelulla. Nykyiset lasketteluvaatteet ovat useimmiten valmistettu materiaaleista, jotka joko vedenpitäviä tai suoraan hylkivät vettä. Nämä vaatevalinnat teoriassa ratkaisevat tämän ongelman suoraan ilman mitään isompia investointeja itse laskettelukeskuksille. Tämä tietenkin vaatii laskettelijoiden omaa investointia varusteisiinsa ja kaikki eivät ole valmiita tai halukkaita maksamaan enemmän omista varusteistaan. Eritoten aloittelevat tai laskettelua kokeilevat eivät välttämättä halua maksaa jopa satoja euroja lasketteluvaatteista. Tämän takia istuinten lämmitys olisi toinen vaihtoehto ongelman ratkaisuun.

Työn suurimmaksi haasteeksi osoittautui eri liike-energian keruumetodeista löytyvän tiedon hakeminen. Suomenkielisiä aiheeseen liittyviä töitä löytyi vain yksi: Timo Nisun diplomityö nimellä ”IoT sensorien energian louhinta.” Tämän takia suurin osa tässä työssä käytetyistä materiaaleista oli eri englanninkielisiä töitä. Näissä töissä käytettyä terminologiaa ei löytynyt suomeksi käännettynä paljoa, joka lisäsi töiden tutkimisen vaikeutta. Lisäksi työ sisälsi paljon elektroniikkatyötä, josta kokemusta löytyi rajoitetusti.

Jälkeen päin pohtiessani asiaa tämä aihe olisi soveltunut paremmin elektroniikan tutkinto-ohjelman opinnäytetyöksi tai innovaatioprojektiksi. Työ vaati paljon elektroniikan tuntemusta ja jonkin verran kokemusta piirien suunnittelusta, mikä oli oma haasteensa automaatiotekniikan opiskelijalle. Tästä huolimatta tämä työ oli opettavainen kokemus. Valitettavasti teoreettisen piirikaavion mukaisen prototyypin rakentaminen estyi työn aikana iskeneen koronaepidemian aiheuttamien komplikaatioiden takia. Prototyyppiä olisi ollut kiinnostavaa päästä kokeilemaan käytännössä.

Vaikka valmista energiankeruuyksikköä ei saatu toteutettua, työn tiedoilla ja tuotetuilla piirikaaviolla saatiin luotua perusta valmiin tuotteen kehitykselle. Tästä kehitystyötä voidaan jatkaa ja muita energiankeruulähteitä voidaan tutkia. Toivottavasti jatkokehityksen myötä saadaan toteutettua valmis, kaupallistettava lämmitysyksikkö.

Lähteet

Boisseau, S; Despesse, G; and Ahmed-Seddik, B. 2012. Electrostatic Conversion for Vibration Energy Harvesting, Small-Scale Energy Harvesting. Intech.

BU-203: Nickel-based Batteries. 2019. Verkkoaineisto. Battery University. <https://batteryuniversity.com/learn/article/nickel_based_batteries>. 27.11.2019. Luettu 16.4.2020.

BU-204: How Do Lithium Batteries Work? 2011. Verkkoaineisto. Battery University. <https://batteryuniversity.com/learn/article/lithium_based_batteries>. Luettu 16.4.2020

BU-401: How Do Battery Chargers Work? 2019. Verkkoaineisto. Battery University. <https://batteryuniversity.com/learn/article/all_about_chargers>. 21.11.2019. Luettu. 16.4.2020

Comparison of NiCd, NiMH, and Li-Ion Batteries. Verkkoaineisto. 2 Way Radio Solutions. <https://www.2wayradiosolutions.com/uploads/NiCd%20NiMH%20Li-Ion.pdf>. Luettu 16.4.2020.

Inkinen, Pentti; Tuohi, Jukka. 1992. Momentti 1: Insinöörifysiikka. Otava.

Inkinen, Pentti; Manninen, Reijo; Tuohi, Jukka. 2002. Momentti 2: Insinöörifysiikka. Otava.

Kasurinen, Henri. 2018. Litiumioniakut ja niiden soveltaminen kapasitanssimittarissa NCM-20. Verkkoaineisto. Tampereen teknillinen yliopisto. <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/26083/Kasurinen.pdf?sequence=4&isAllowed=y>. 20.5.2018. Luettu 16.4.2020.

Kaźmierski, Tom & Beeby, Steve. 2011. Energy Harvesting Systems. Springer.

Kumpusalo, Jukka. 2018. Mitä akuista kierrätetään ja miten. Verkkoaineisto. Tulevaisuuden Akkuekosysteemi. <https://akkuekosysteemi.com/2018/04/06/mita-akuista-kierratetaan-ja-miten>. 6.4.2018. Luettu 11.3.2020.

Liimatainen, Lauri. 2013. Akut – Käytetyimpien akkutyyppien kehitys. Verkkoaineisto. Centria Ammattikorkeakoulu. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/66012/liimatainen_lauri.pdf?sequence=1>. 1.11.2013. Luettu 16.4.2020.

Mainio, Tapio. 2018. Oulussa kerätään energiaa lenkkitossuun - ”Vastaavaa tulosta ei ole aiemmin saavutettu missään”. Verkkoaineisto. <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/oulussa-kerataan-energiaa-lenkkitossuun-vastaavaa-tulosta-ei-ole-aiemmin-saavutettu-missaan/e0e36c61-5cec-3f6e-b404-876dd1308cfc>. 14.1.2018. Luettu 16.4.2020.

Newcomb, Alyssa. 2017. Samsung Finally Explains the Galaxy Note 7 Exploding Battery Mess. Verkkoaineisto. NBC News. <https://www.nbcnews.com/tech/tech-news/samsung-finally-explains-galaxy-note-7-exploding-battery-mess-n710581>. Luettu 16.4.2020.

Nisu, Timo. 2016. IoT sensoreiden energian louhinta. Verkkoaineisto. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. <https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/125355/Diplomityo_Timo_Nisu.pdf?sequence=2&isAllowed=y>. 20.9.2016. Luettu 16.4.2020.

Priya, Shashank. Inman, Daniel. 2009. Energy Harvesting Technologies. Springer.

Sara, Chitta; O'Donnel, Terence; Wang, Ningning; McCloskey, Paul. 2008. Electromagnetic generator for harvesting energy from human motion. Verkkoaineisto. < https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924424708001398>. 15.3.2008. Luettu 16.4.2020.

Shead, Sam. 2016. Samsung is halting sales of its Note 7 smartphone following reports of battery explosions. Verkkoaineisto. Business Insider. <https://www.businessinsider.com/samsung-note-7-smartphone-battery-explosion-2016-9?r=US&IR=T>. Luettu 16.4.2020.

Spesific Heat of Solids. 2003. Verkkoaineisto. The Engineering Toolbox. <https://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-solids-d_154.html> Luettu 16.4.2020

Suvanto, Kari. 2012. Tekniikan Fysiikka 1. Edita Publishing Oy.

Valio, Johanna. 2019. Akkuekosysteemi – nykytilaselvitys. <https://media.sitra.fi/2018/06/17112857/tulevaisuuden-akkuekosysteemi-nykytilaselvitys-2.0-10.06.2019.pdf>. Luettu 16.4.2020

What's the difference between Nickel Cadmium (Nicad), Nickel-Metal hybrid (NiMH), and Lithium Ion (Li-Ion)? Verkkoaineisto. Battery Universe. <https://www.batteryuniverse.com/help/battery-chemistries>. Luettu 16.4.2020.

Liite 1: Teoreettiset laskennat

Teho

Tilanne 1:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$m = 0{,}07\ kg = 70\ g$
$c = 0{,}9\ kJ/kg \cdot K$
$\Delta T = 20 - (-10) = 30°C = 30K$

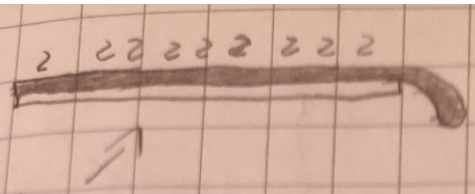
$Q = 0{,}07\ kg \cdot 0{,}9\ kJ/kg \cdot K \cdot 30K$
$= 0{,}07 \cdot 0{,}9\ kJ \cdot 30$
$= 1{,}89\ kJ \Rightarrow 1890J$

$$P = \frac{Q}{t}$$

$t_1 = 1min = 60s$
$t_2 = 10min = 600s$

$P_1 = \frac{1890J}{60s} = 31{,}5W$

$P_2 = \frac{1890}{600s} = 3{,}15\ W$



Tilanne 2:

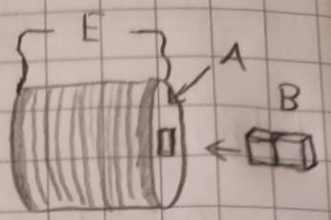
$m = 0{,}07\ kg = 70g$
$c = 1{,}67\ kJ/kg \cdot K$
$\Delta = 20 - (-10) = 30°C = 30K$

$Q = 0{,}07\ kg \cdot 1{,}67\ kJ/kg \cdot K \cdot 30\ K$
$= 0{,}07 \cdot 1{,}67\ kJ \cdot 30$
$= 3{,}507\ kJ = 3507\ J$

$t_1 = 1\ min = 60s$
$t_2 = 10\ min = 600s$

$P_1 = \frac{3507\ J}{60s} = \underline{58{,}4\ W}$
$P_2 = \frac{3507\ J}{600s} = \underline{5{,}84\ W}$

Käämin koko



$$E = -N \cdot \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

$$\Rightarrow \boxed{E = -N \cdot \frac{\Delta (B \cdot A)}{\Delta t}}$$

$E = 0{,}5\,V$
$B = 1{,}4\,T$
$\Delta t = 0{,}5\,s$

$$A = \pi r^2 = \pi \cdot (1{,}5\,cm)^2 = 7{,}07\,cm^2 = 7{,}07 \cdot 10^{-4}\,m^2$$

$$0{,}5 = -N \cdot \frac{-1{,}4 \cdot 7{,}07 \cdot 10^{-4}}{0{,}5}$$

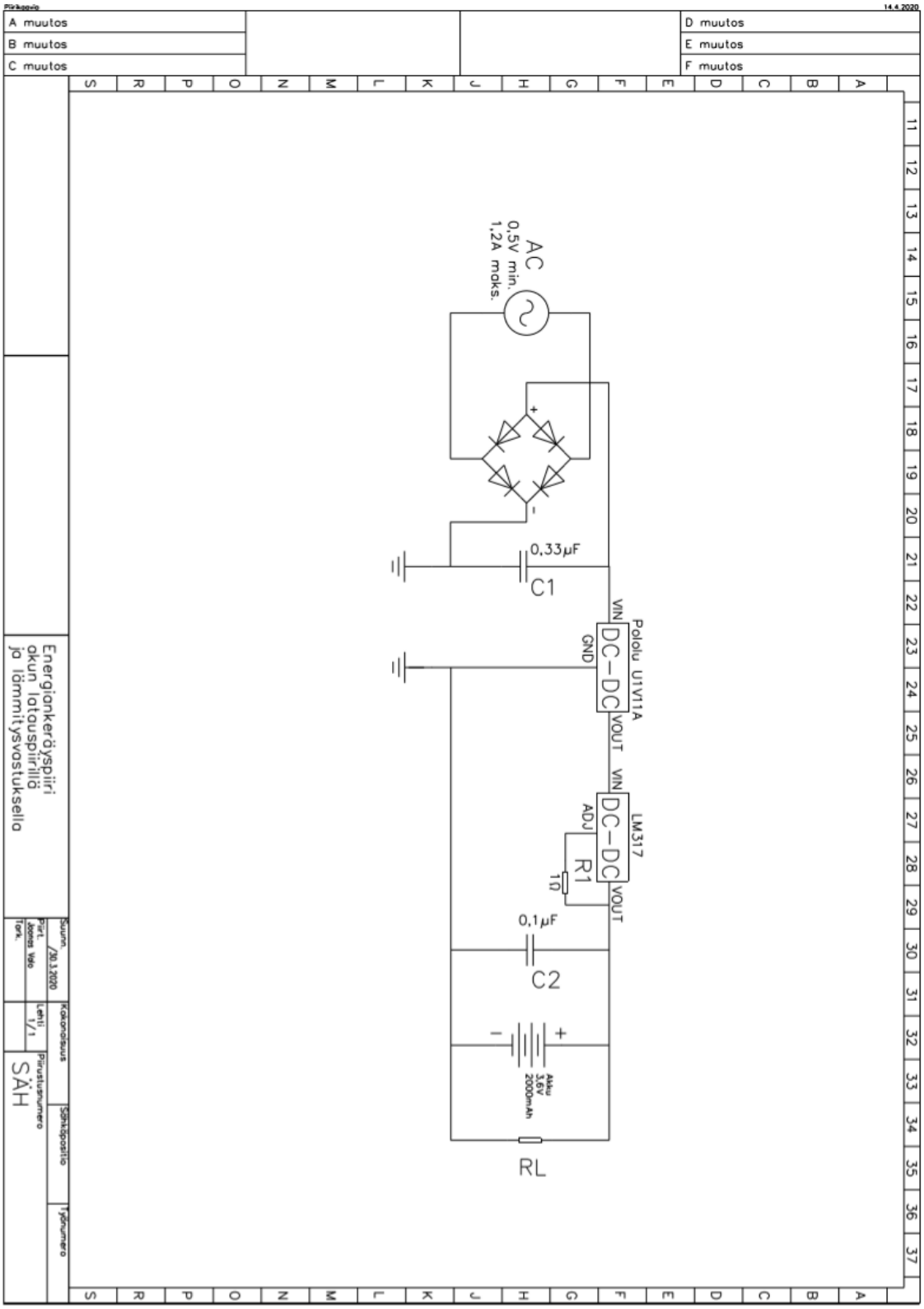
$$\Rightarrow 0{,}5 = -N \cdot -0{,}00198$$

$$\Rightarrow -N = \frac{0{,}5}{-0{,}00198}$$

$$-N = -252{,}525 \approx \underline{\underline{253}}$$

Lämmitysvastuksen ampeerit

$$P = U * I \Rightarrow \boxed{I = \frac{P}{U}}$$

U	P	I
3,3V	31,5W	31,5 / 3,3 ≈ 9,55A
3,3V	3,15W	3,15 / 3,3 ≈ 0,96A
3,3V	58,4W	58,4 / 3,3 ≈ 17,7A
3,3V	5,84W	5,84 / 3,3 ≈ 1,77A
5V	31,5W	31,5 / 5 = 6,3A
5V	3,15W	3,15 / 5 = 0,63A
5V	58,4W	58,4 / 5 = 11,68A
5V	5,84W	5,84 / 5 = 1,17A

Liite 2: Teoreettisen prototyypin piirikaavio