



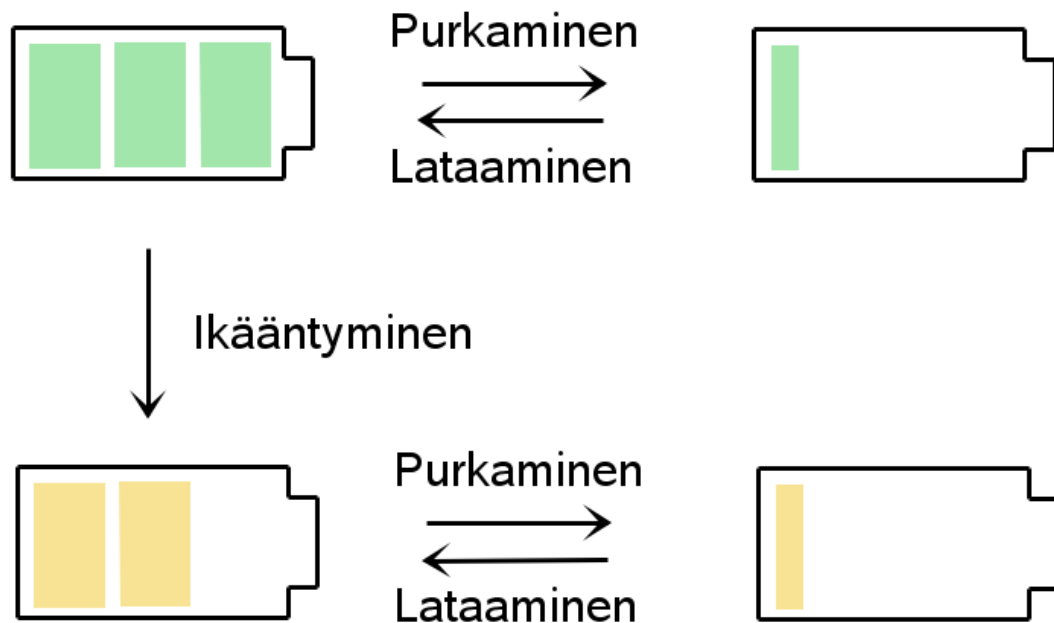
Akkujen ikääntyminen

TuKoKe 2023

Anssi Laine

Tampereen klassillinen lukio

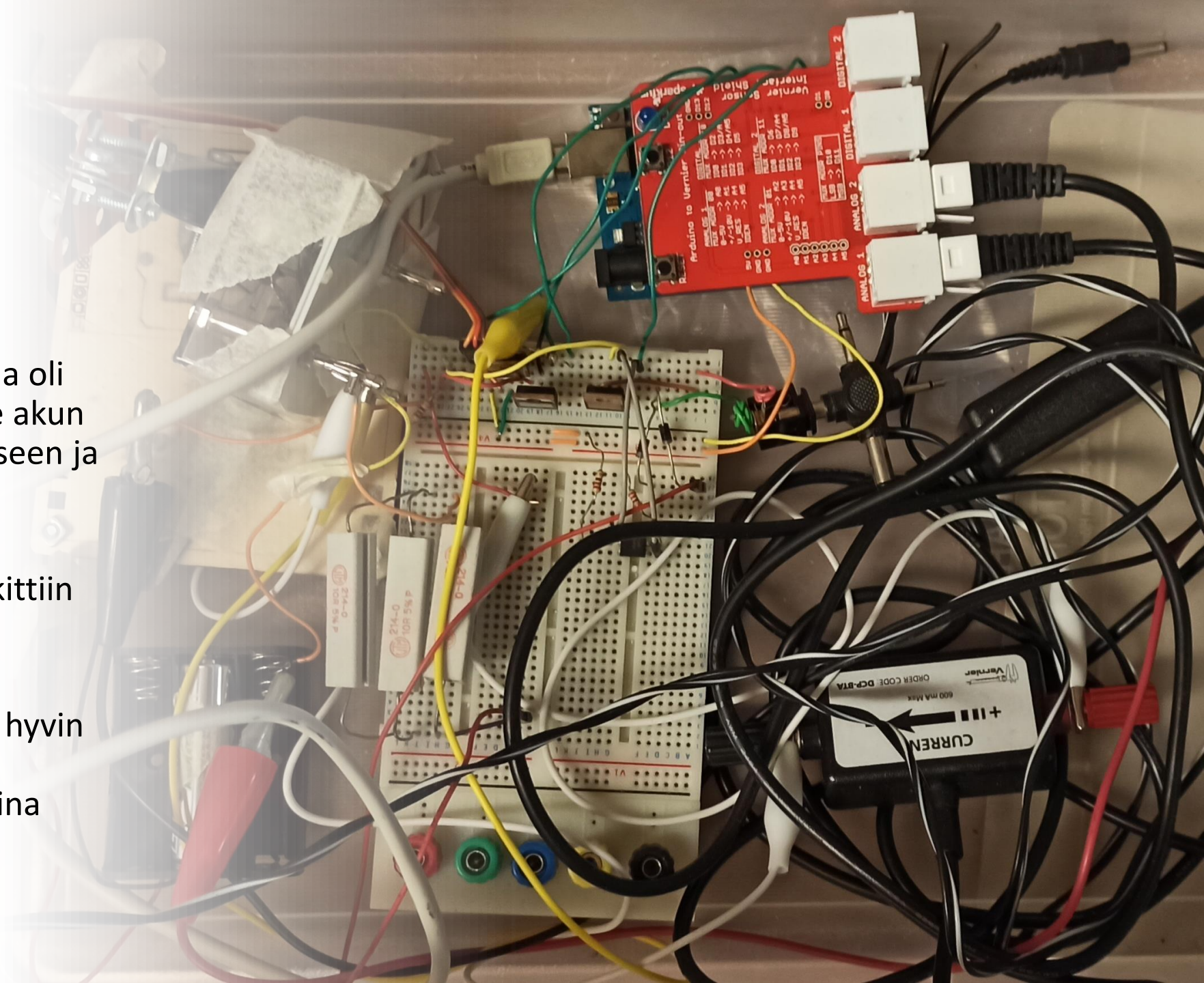
Akkujen ikääntyminen lyhyesti



- Akku on laite, joka varastoi energiaa sähkökemiallisesti
- Akku eroaa paristosta siinä, että sen voi ladata uudelleen
- Ikääntyminen tarkoittaa akun ominaisuuksien heikkenemistä useiden lataus- ja purkauskertojen välillä
- Ikääntyminen ei siis tarkoita samaa kuin akun tyhjentäminen, joka on vain väliaikainen tila

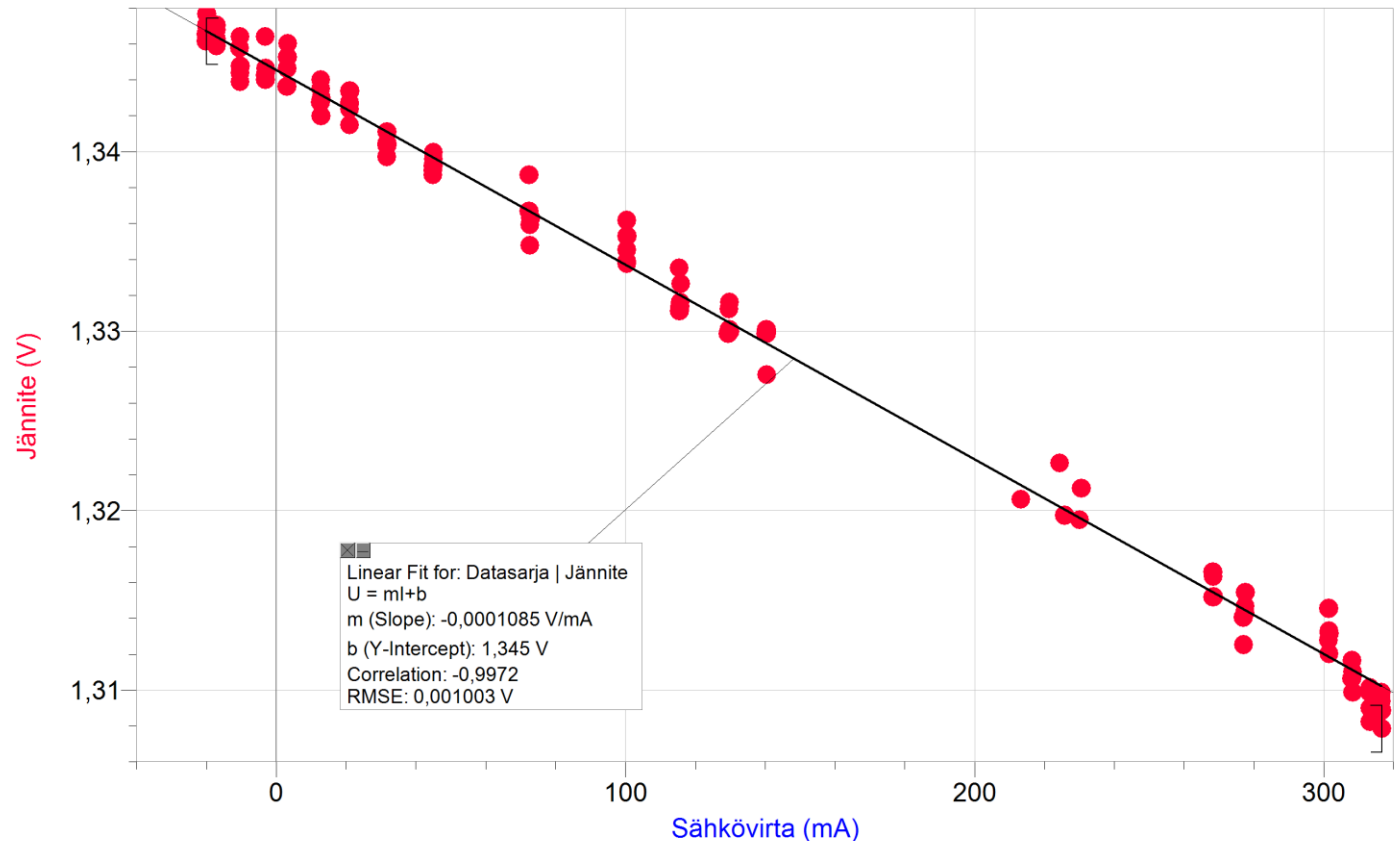
Tutkimuksen tarkoitus

- Tutkimuksen tarkoituksena oli laatia automaattinen laite akun ominaisuuksien mittaamiseen ja tutkia sen avulla akkujen ikääntymistä
- Akkujen ikääntymistä tutkittiin sisäisen resistanssin ja kapasiteetin avulla
- Akkujen ikääntyminen on hyvin hidas prosessi, joten automatisointi on lähes aina välttämätöntä



Sisäisen resistanssin mittaaminen

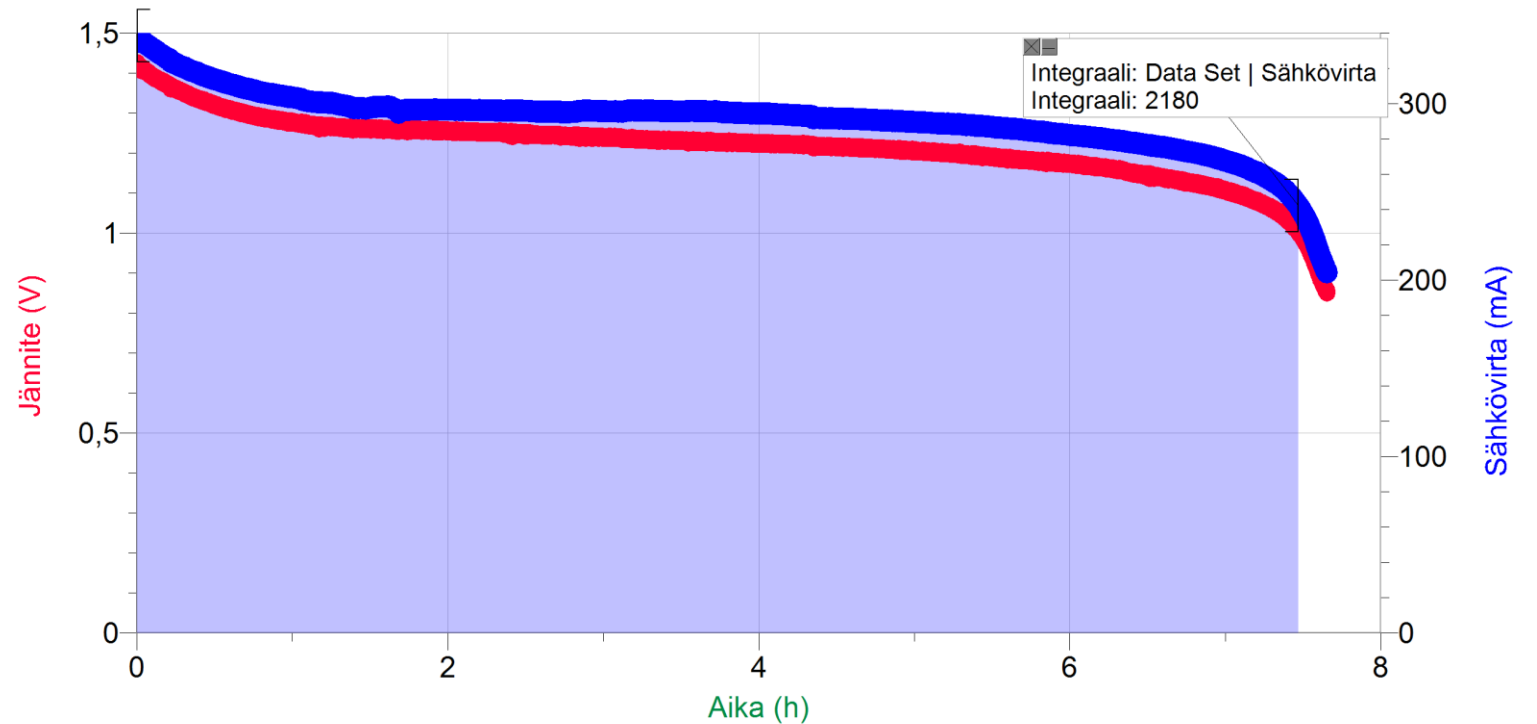
- Sisäinen resistanssi on suure, joka kuvaa sitä, kuinka paljon akun jännite pienenee sähkövirran kasvaessa
- Sisäinen resistanssi määritettiin tässä tutkimuksessa kuormituskäyrän kulmakertoimen avulla
- Kuormituskäyrässä on mitattu jännitettä sähkövirran funktiona



Esimerkki kuormituskäyrästä. Huomaa, että jänniteasteikko ei ala nolasta. Kulmakertoimesta saadaan sisäinen resistanssi 108,5 mΩ.

Kapasiteetin mittaaminen

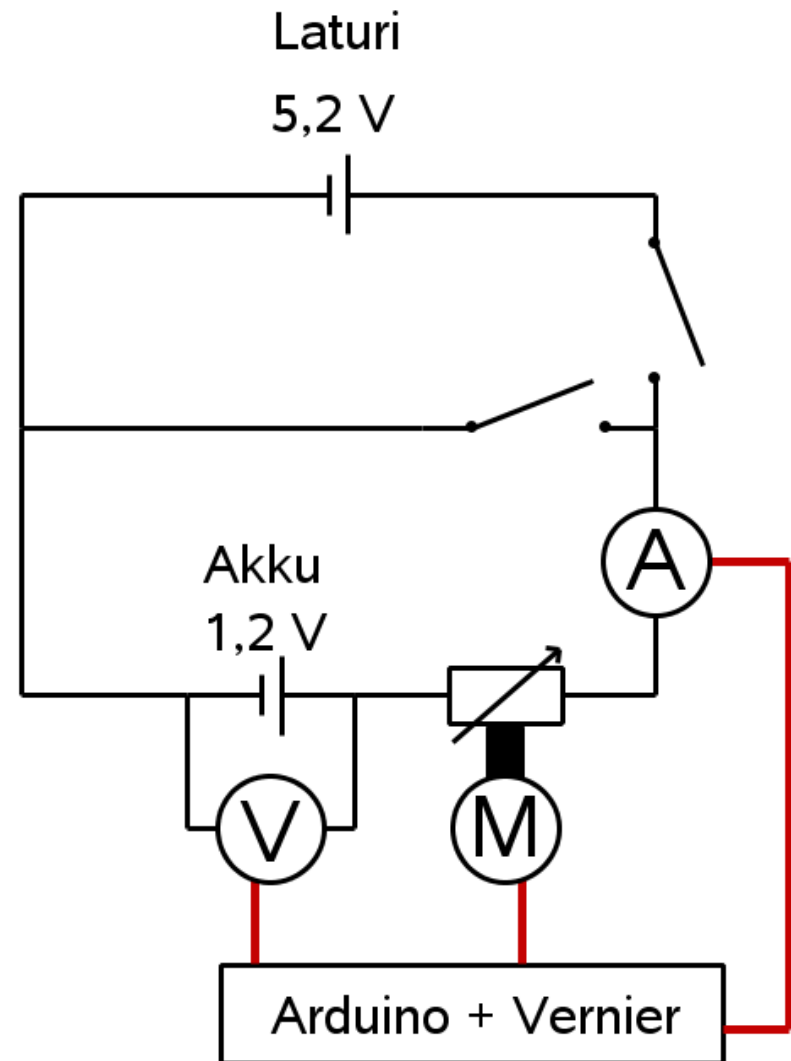
- Kapasiteetti kuvaa suurinta akkuun mahtuvaa sähkövarausta
- Yksikkönä on kuitenkin yleensä mAh (milliampeeritunti)
- Kapasiteetti määritettiin tässä tutkimuksessa purkautumiskäyrän ja graafisen integroinnin avulla

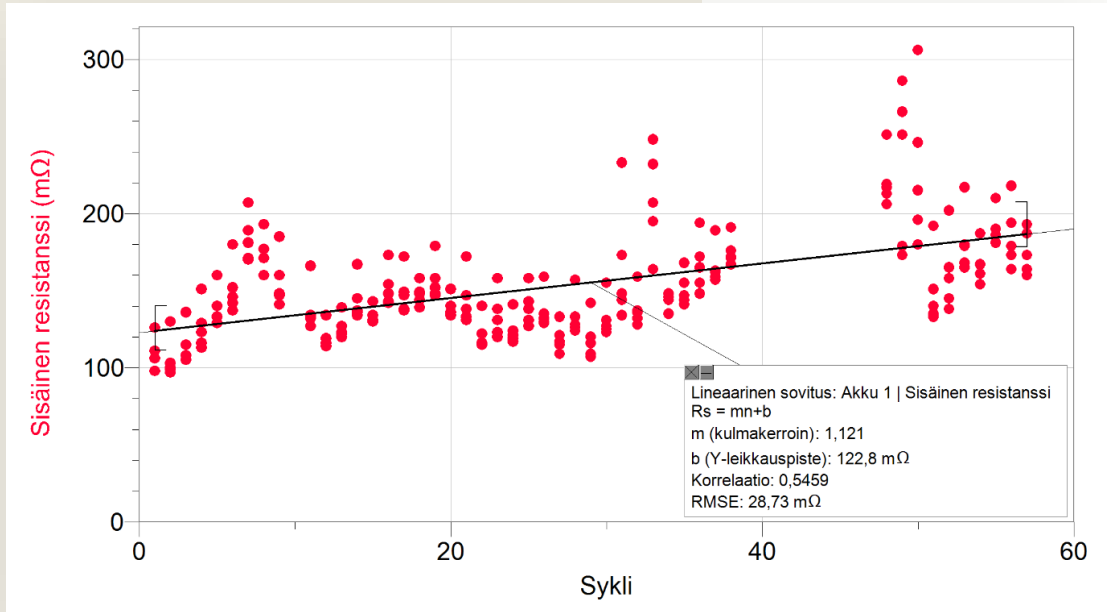


Esimerkki purkautumiskäyrästä ja siihen tehdystä integraalista.
Kapasiteetti saadaan siis pinta-alasta: 2180 mAh

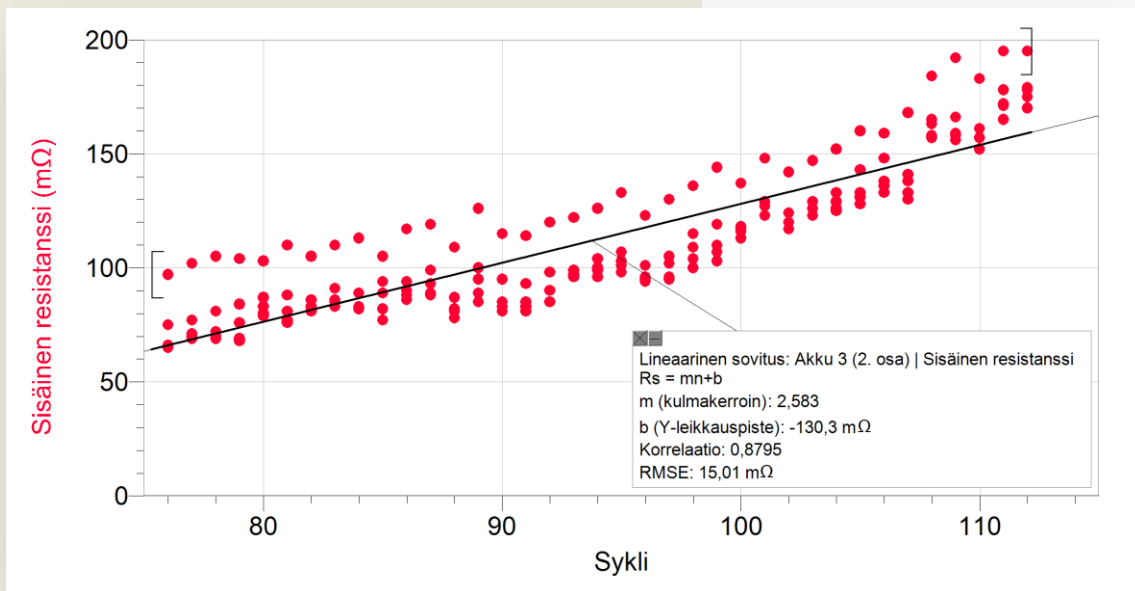
Mittausjärjestely

- Mittauslaitteen tuli voida itsenäisesti mitata sisäinen resistanssi ja kapasiteetti sekä ladata ja purkaa akkua
- Laitteen toiminta perustui Arduinoon, joka ohjasi muun laitteen toimintaa esimerkiksi transistorien avulla
- Oikealla on esitetty laitteen kytkentäkaaviosta yksinkertaistettu versio, todellinen on esityksen lopussa
- Arduino ohjaa servomoottorilla potentiometrin resistanssia ja kytkinten avulla akun latautumista ja purkautumista





1. akulla mittauks tulokset vaihtelivat paljon ja osa mittauksista jouduttiin poistamaan



3. akulla tulokset olivat paljon luotettavampia.

Tulokset

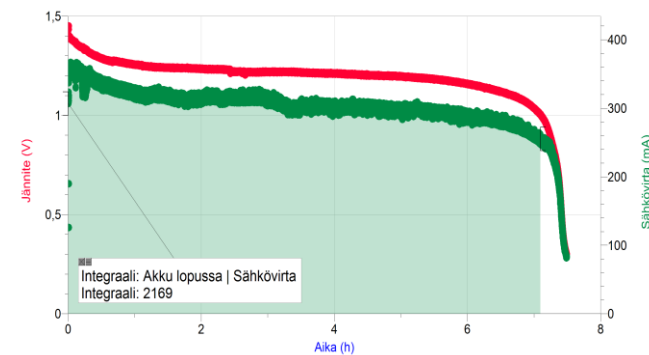
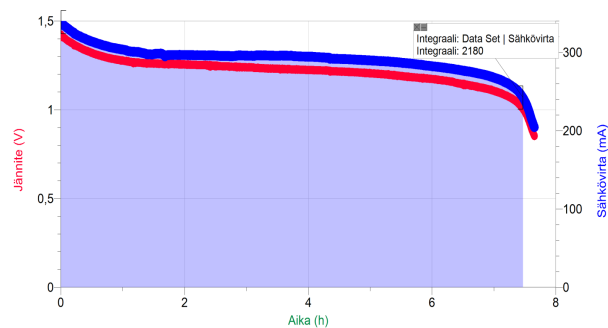
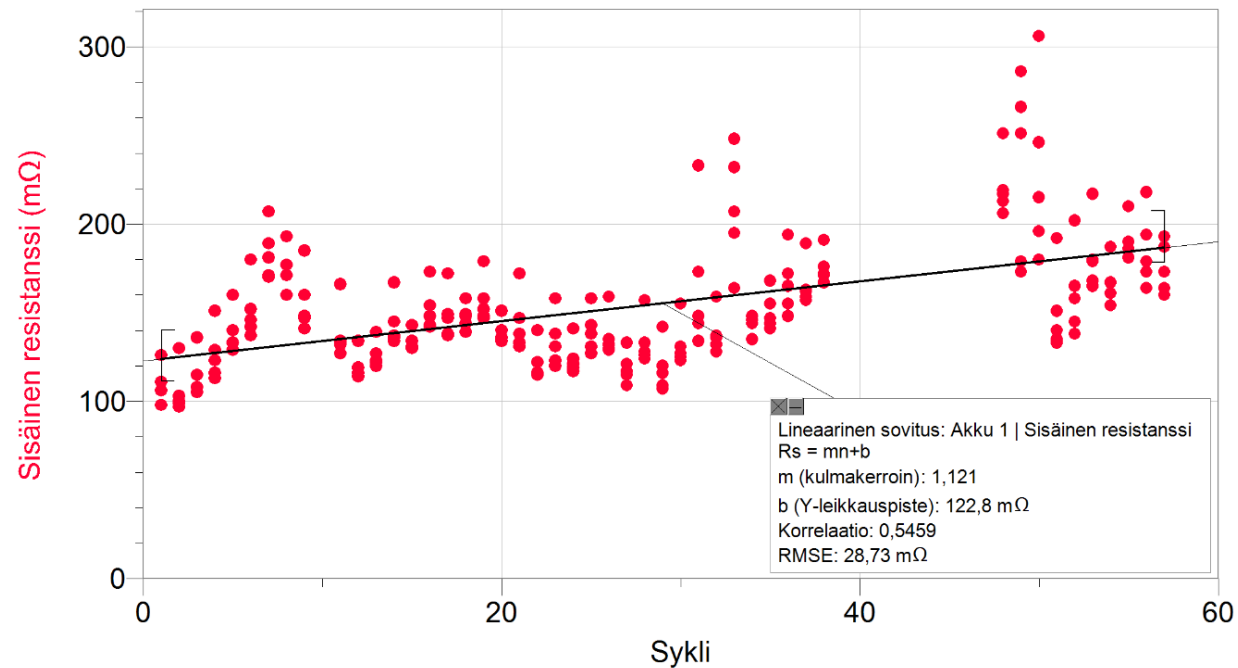
- Tutkimuksessa saatiin vaihtelevia tuloksia
- Ensimmäisillä tutkituilla akuilla saadut tulokset olivat melko epäluotettavia ja siksi mittausjärjestelyä paranneltiin lähes koko tutkimuksen ajan
- Viimeisellä akulla saatiin kaikkein luotettavimmat tulokset

	R_{s1} (mΩ)	R_{s2} (mΩ)	ΔR_s (mΩ)	$\frac{\Delta R_s}{R_{s1}}$	$\frac{\Delta R_s}{\Delta n}$ (mΩ)
Akku 1	122,8	186,7	63,9	0,520	1,121
Akku 2	130,3	174,9	44,6	0,342	1,354
Akku 3 (1.)	164,8	210,2	45,4	0,275	0,697
Akku 3 (2.)	66,0	159,0	93,0	1,409	2,583

Eri akkujen sisäisen resistanssin muutoksia kootusti.

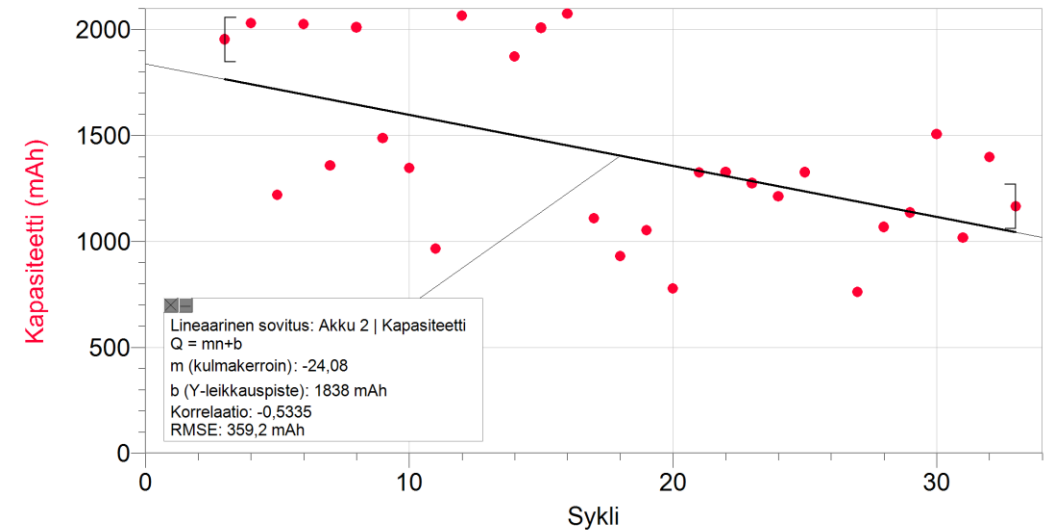
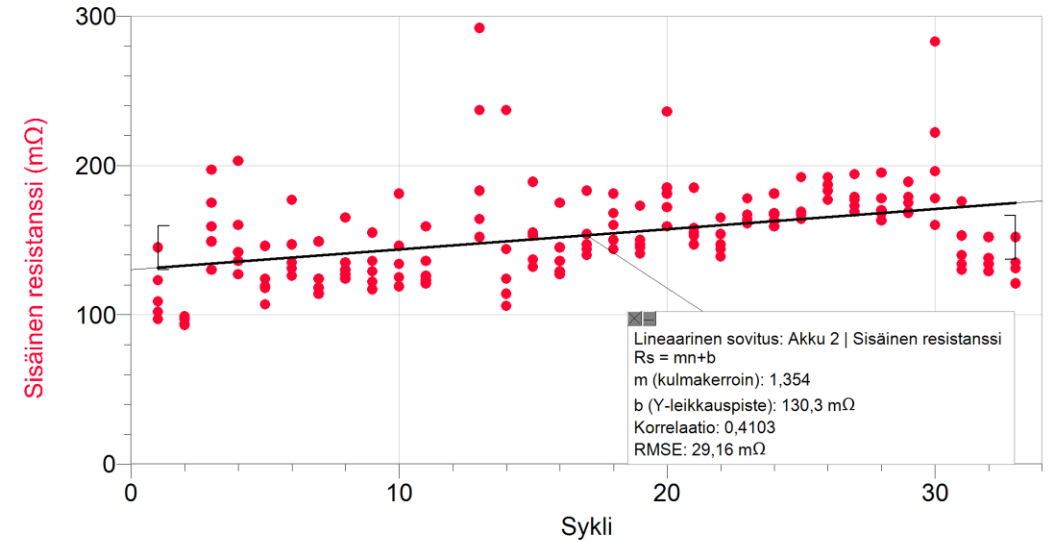
1. akku

- 1. Akulla sisäinen resistanssi kasvoi hieman, mutta suuret epätarkkuudet hankaloittivat johtopäätösten tekemistä
- 1. akulle ei mitattu kapasiteettia jatkuvasti
- Kapasiteetti määritettiin purkautumiskäyristä manuaalisesti mittausten alussa ja lopussa, mutta merkittävää muutosta ei havaittu



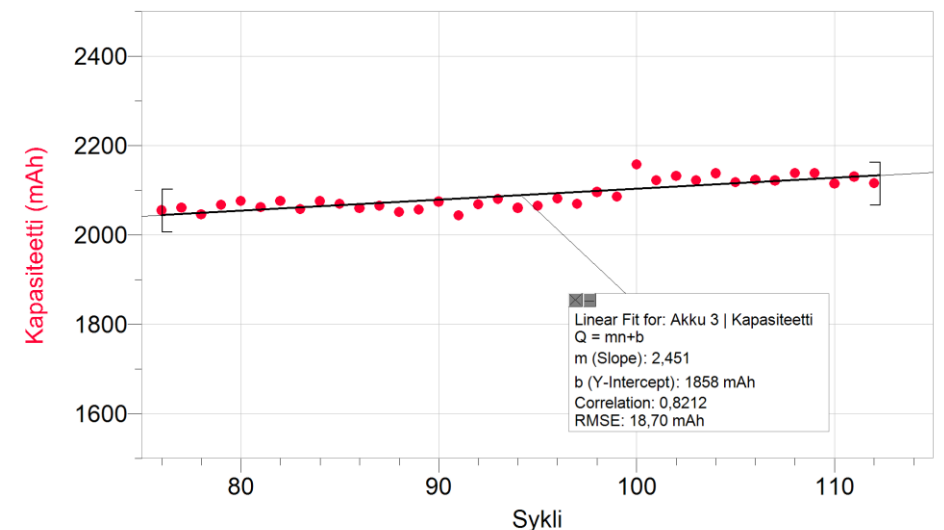
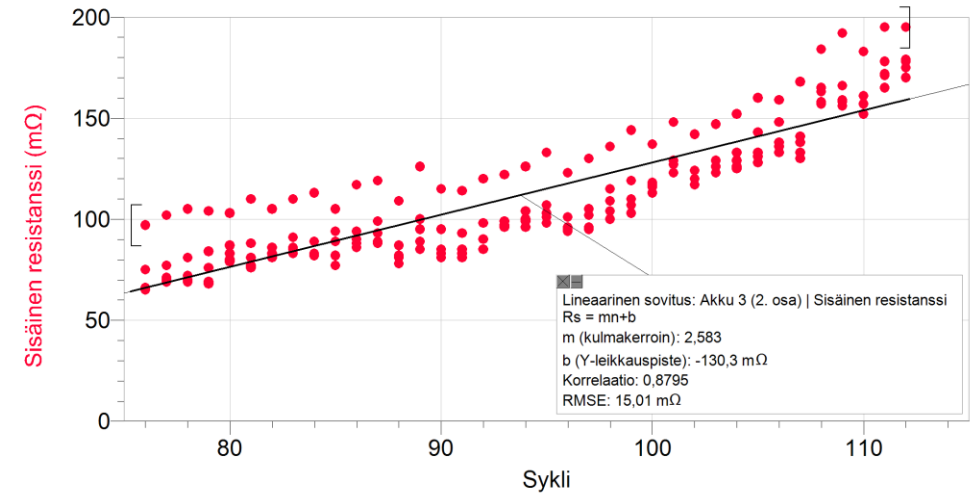
2. akku

- 2. akulla sisäinen resistanssi myös kasvoi hieman, mutta tuloksissa oli edelleen paljon epätarkkuutta
- 2. akulla mitattiin myös kapasiteettia jatkuvasti, mutta tulokset olivat hyvin epäluotettavia, sillä akun lataaminen täyteen ei aina onnistunut
- Kapasiteetissa ei myöskään 2. akulla nähty merkittävää laskua, sillä mittaustulokset olivat niin epäluotettavia



3. akku

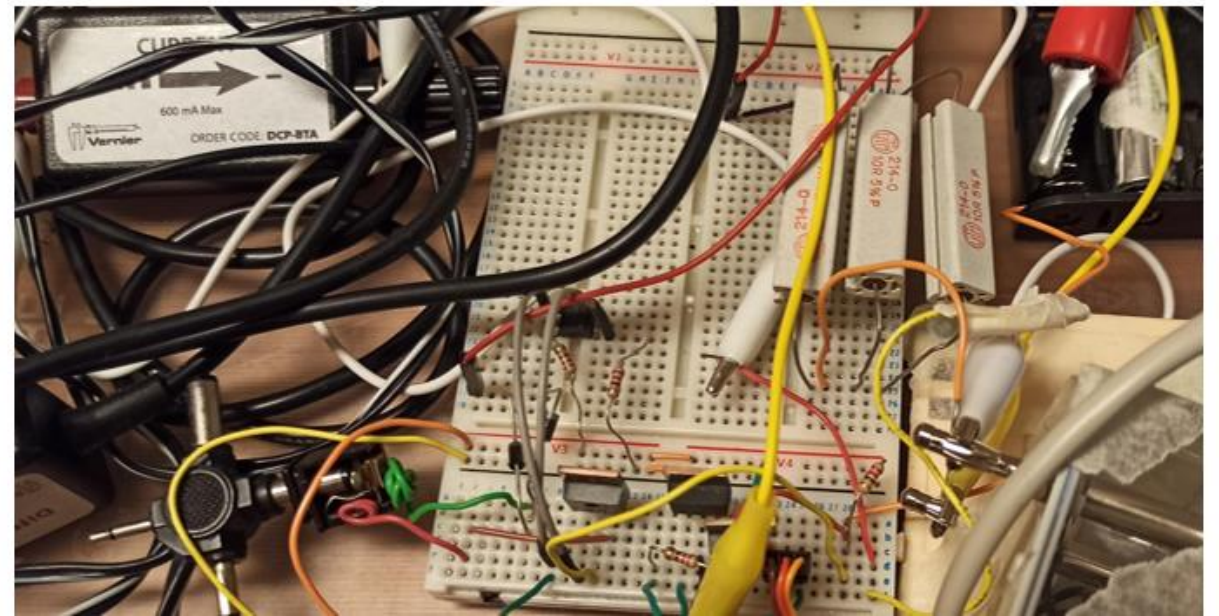
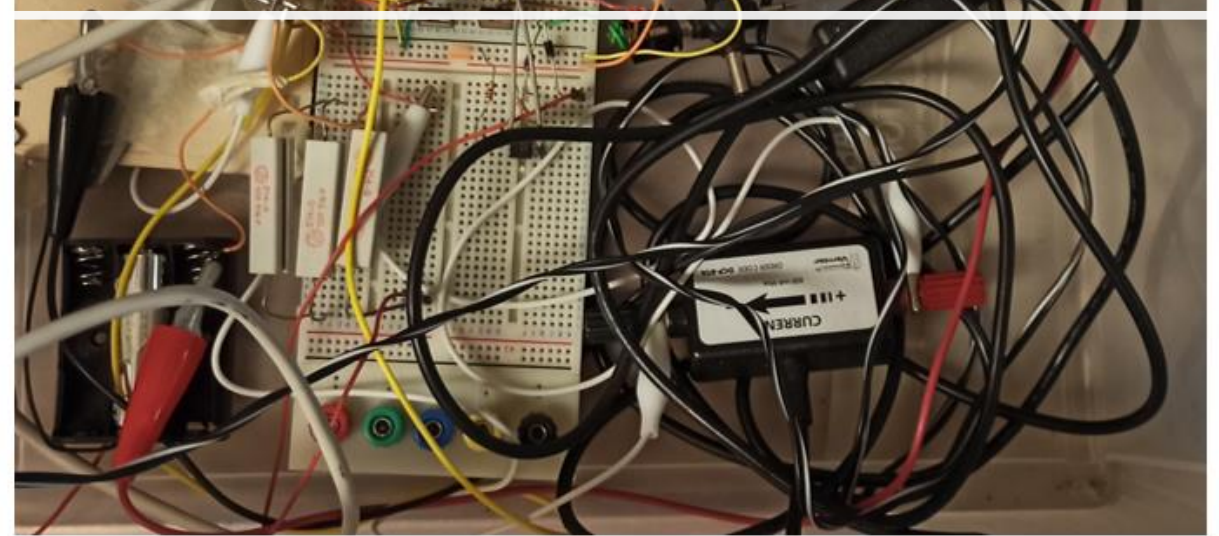
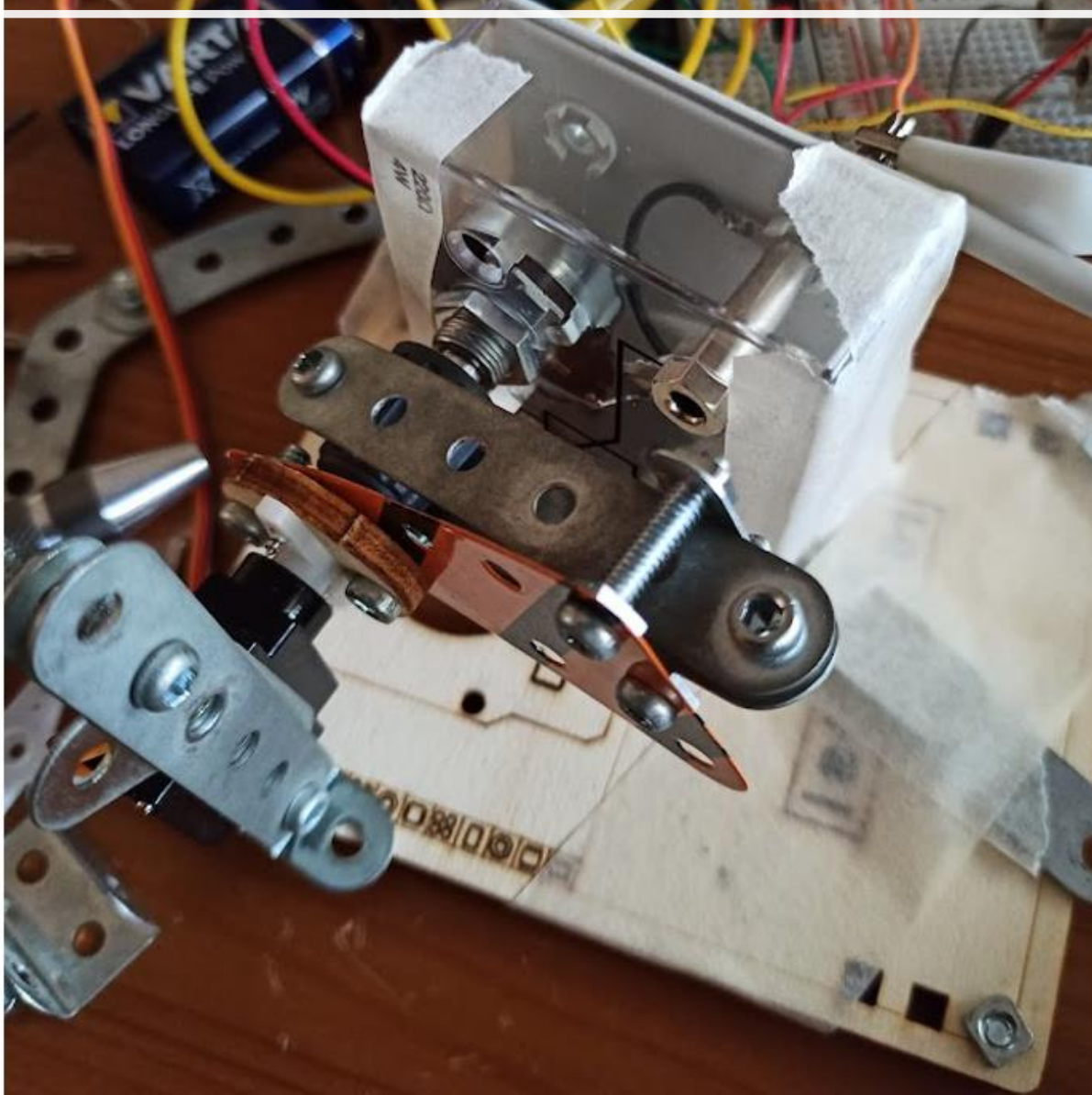
- 3. akulla mittaukset onnistuivat huomattavasti paremmin kuin aiemmilla akuilla ja siksi sillä tehtiin eniten syklejä
- Sisäisessä resistanssissa nähdään erittäin selvää kasvua ja voidaan myös huomata, että sisäisen resistanssin kasvunopeus ei ole täysin vakio
- 3. akulla kapasiteetin mittaukset onnistuivat hyvin, mutta kapasiteetti pysyy hyvin tasaisena, eikä syklejä voitu tehdä tarpeeksi, jotta kapasiteetin vähentyminen voitaisiin huomata
- 3. akun tulokset jaettiin kahteen osaan, sillä mittausjärjestelyn muokkauksen jälkeen tulokset olivat paljon luotettavampia
- 1. osa oli pitkälti ensimmäisten akkujen kaltainen, joten tässä on käsitelty vain 2. osaa



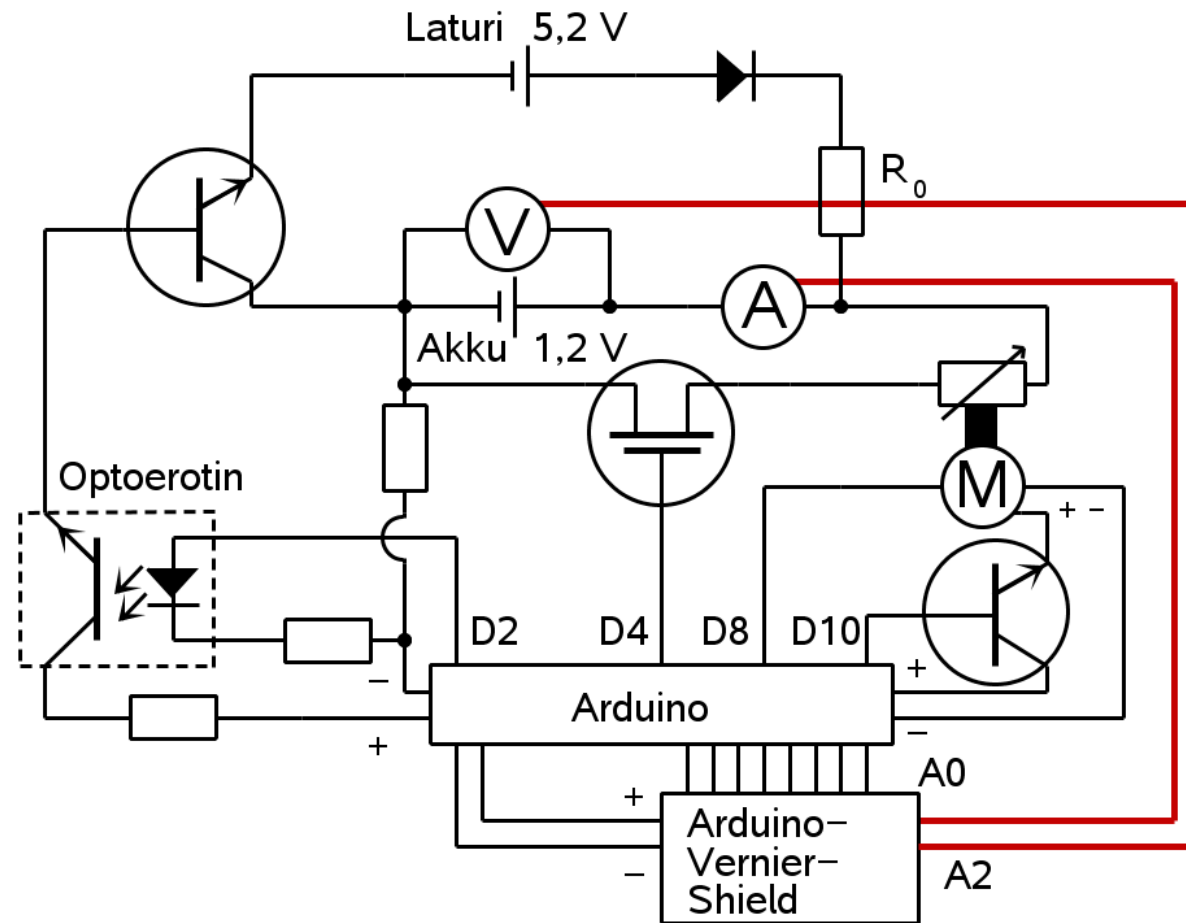
Yhteenveto

- Tutkimuksessa voitiin havaita akkujen ikääntymistä, sillä sisäisen resistanssin kasvu oli kaikilla akuilla selvää
- Myös kapasiteetissa olisi voitu nähdä muutoksia pidemmällä mittausjaksolla
- Tutkimuksen perusteella voidaan ainakin todeta, että nykyaikaiset akut ovat hyvin pitkäikäisiä ja niiden kapasiteetti ei juurikaan pienene ensimmäisen sadan syklin aikana
- Lisäksi tutkimuksessa onnistuttiin laatimaan laite, joka voi automaattisesti mitata akkujen sisäistä resistanssia ja kapasiteettia

Kuvia mittausjärjestelyn käytännön toteutuksesta



Todellinen kytkentäkaavio



Tietoja käytetyistä akuista

- Käytetyt akut olivat nikkelimetallihydridiakkuja (NiMH)
- Tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia ikääntymistä yleisellä tasolla, ei niinkään minkään tietyn akun tai teknologian kohdalla, joten teknologian valinnalla ei ollut sinänsä merkitystä
- NiMH-akut valittiin tutkimukseen hinnan, saatavuuden ja turvallisuuden perusteella



Kuva käytetyistä akuista. Kaikki kolme tutkittua akkua olivat Energizerin valmistamia, muita käytettiin laitteiston testaamiseen.

Valmistajan antamia tietoja akuista:

Kapasiteetti	2300 mAh (0,2 C)
Nimellisjännite	1,2 V
Sis. resistanssi	30 - 40 m Ω
Suurin purkuvirta	2,0 C (4600 mA)

Lähde: <https://data.energizer.com/pdfs/nh15-2300.pdf>