



Ilari Iivonen

Digitaalisten akkuteistereiden toiminta ja eroavaisuudet

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Ajoneuvotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

29.3.2022

Tiivistelmä

Tekijä: Ilari Iivonen
Otsikko: Digitaalisten akkutestereiden toiminta ja eroavaisuudet
Sivumäärä: 35 sivua + 6 liitettä
Aika: 29.3.2022

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Ajoneuvotekniikka
Ammatillinen pääaine: Autosähkötekniikka
Ohjaajat: Lehtori Pasi Kovanen

Opinnäytetyössä perehdyttiin digitaalisen akkutesterin toimintaan ja useamman tällaisen laitteen eroavaisuuksiin. Työn tavoitteena oli selvittää, miten erilaiset digitaaliset akkutesterit erottavat eri varaustiloissa olevia akkuja. Aluksi perehdyttiin 12 V:n lyijyakun sekä akun kunnan testaamisen teoriaan. Tietoa etsittiin aiheeseen liittyvistä kirjallisuuslähteistä, tutkimuksista sekä useista verkkoaineistoista.

Työssä esitellään lyijyakun rakennetta, ominaisuuksia ja toimintaa sekä erilaisia lyijyakutyyppejä. Lisäksi työssä tarkastellaan akun ikääntymistä ja sen vaikutuksia. Työn kannalta oleellista oli selvittää myös erilaisia keinoja lyijyakun kunnan määrittämiseen. Osana akun kunnan määrittämistä esitellään tapoja määrittää akun sisäinen resistanssi. Akun sisäinen resistanssi on oleellinen asia työssä tutkittavien testerien toiminnassa.

Teoriaosuuden jälkeen kuvataan käytännön testejä, joissa vertailtiin erilaisia digitaalisia akkutestereitä, niiden ominaisuuksia sekä kykyä tunnistaa eri varaustiloissa olevia ja erityyppisiä akkuja. Akkuja testattiin kolmessa eri varaustilassa. Vertailussa oli mukana viisi erilaista digitaalista akkutesteriä. Testattavia akkuja oli neljä kappaletta.

Käytännön testeistä huomattiin selviä yhtenäisyyksiä useampien testerien mittavirtojen suuruudessa sekä virtapulssien taajuudessa. Mittavirtojen pulssitukset ovat kuitenkin kaikissa testereissä hieman erilaisia. Testien perusteella huomattiin, että akun varaustilan muuttuessa saattoi testeri antaa akkutestistä täysin erilaisen tuloksen. Oleellisena huomiona todettiin myös, että testattaessa AGM- tai EFB-akkuja on käytössä syytä olla testeri, josta voidaan valita testattavalle akulle oikea akkutyyppi.

Avainsanat: lyijyakku, akkutesteri, sisäinen resistanssi

Abstract

Author: Ilari Iivonen
Title: Investigating and comparing the Functions of Digital Battery Testers
Number of Pages: 35 pages + 6 appendices
Date: 29 March 2022

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Automotive Engineering
Professional Major: Automotive Electronics Engineering
Supervisors: Pasi Kovanen Senior Lecturer

In this thesis the operation of a digital battery tester and the differences between several digital battery testers were studied. The goal of the thesis was to find out how different digital battery testers recognize batteries in different states of charging.

The structure, properties, and operation of a lead-acid battery and different types of lead-acid batteries are presented in this thesis. In addition, the thesis examines the aging of a lead-acid battery and its effects. It was also important to find out different ways to determine the condition of a lead-acid battery. As a part of determining the condition of a lead-acid battery, ways to determine internal resistance of a lead-acid battery are presented. Internal resistance of a lead-acid battery is essential in the operation of the testers being studied.

At first, the theory of a 12 V lead-acid battery and the theory of testing the condition of lead-acid battery were studied. The information was found from related literature sources, previous research, and several online materials.

After the theoretical part, practical tests are described. Practical tests compared different digital battery testers, their characteristics and ability to identify different types of batteries in different states of charging. The batteries were tested in three different states of charging. Five different digital battery testers were included in the comparison. There were four batteries to be tested. In the practical test clear similarities were observed in the magnitude of the test currents of several testers as well as in the frequency of the current pulses. The pulsations of the test currents were slightly different in all the testers. Based on the tests, it was found that when the state of charge changed, the testers could give a completely different result from the battery test. It was noticed that when testing an AGM or EFB battery, it is advisable to have a tester from which the correct battery type for the battery under test can be selected.

Keywords: lead-acid battery, battery tester, internal resistance

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Akku ajoneuvossa	2
2.1	Akun tehtävä	2
2.1.1	Käynnistysakut	3
2.1.2	Syväpurkausakut	3
2.2	Lyijyakun rakenne ja yleisimmät lyijyakkutyypit	4
2.2.1	Lyijyakun rakenne ja ominaisuudet	4
2.2.2	AGM-akku	6
2.2.3	EFB-akku	7
2.3	Lyijyakun toiminta	7
2.3.1	Elektrolyytin rikkihappopitoisuuden vaikutus akun varaustilaan	8
2.3.2	Reaktiot purettaessa lyijyakkua	9
2.3.3	Reaktiot varattaessa lyijyakkua	9
2.4	Lyijyakun sulfatoituminen	10
2.5	Sisäinen resistanssi	11
2.6	Työturvallisuus ajoneuvon akun kanssa työskennellessä	11
3	Akun kunnan selvittäminen	12
3.1	Mittaaminen yleismittarilla	12
3.2	Testaaminen kuormittamalla	13
3.3	Testaaminen digitaalisella akkutesterillä	14
3.4	Sisäisen resistanssin määrittäminen	16
3.4.1	DC-kuormitusmenetelmä	16
3.4.2	Konduktanssimenetelmä	18
3.4.3	AC-impedanssi	19
4	Työssä tutkittavat testerit ja niiden ominaisuudet	19
4.1	Bosch Bat 121	19
4.2	Bosch Bat 131	20
4.3	Midtronics Exp-717	20
4.4	Seal-tech SBCtx	21
4.5	Quicklynks Ba101	21

5	Käytännön testaukset	21
5.1	Testausjärjestely	21
5.2	Bosch Bat 121	23
5.3	Bosch Bat 131	25
5.4	Midtronics Exp-717	26
5.5	Seal-tech SBCtx	28
5.6	Quicklynks Ba101	30
6	Tuloksien analysointi	32
6.1	Testivirrat	32
6.2	Testisyklin taajuus ja muutokset testisyklin kestossa	33
6.3	AGM- ja EFB-akkujen testaaminen	33
7	Yhteenveto	34
	Lähteet	36

Liitteet

Liite 1: Testausjärjestelyn havainnekuva

Liite 2: Bosch Bat 121:n testisykli ja mittavirta

Liite 3: Bosch Bat 131:n testisykli ja mittavirta

Liite 4: Midtronics EXP-717:n testisykli ja mittavirta

Liite 5: Seal-tech SBCtx:n testisykli ja mittavirta

Liite 6: Quicklynks Ba101:n testisykli ja mittavirta

Lyhenteet

AC: Alternating Current, vaihtosähkö.

CCA: *Cold Crank Amps*. Kylmäkäynnistysvirta, akulle määritelty arvo. CCA:n määrittelyssä on useampia eri standardeja.

DoD: Depth of Discharge, purkaussyvyys

SoC State of Charge, akun varaustila.

1 Johdanto

Tässä insinööriyössä tutkitaan erilaisten digitaalisten akkutestereiden toimintaa sekä niiden eroavaisuuksia. Työn tavoitteena on selvittää, miten erilaiset digitaaliset akkutesterit erottavat eri varaustiloissa olevia akkuja. Kyseisestä laitteesta käytetään usein nimeä sysäyskuormatesteri. Sysäyskuormatesteri on korjaamoilla käytössä oleva mittalaite, jolla voidaan tarkastaa ajoneuvon 12 V:n akun kunto. Akkutesteri on oleellinen työkalu korjaamon päivittäisessä toiminnassa. Työn alussa selvitettiin useammalta korjaamolta puhelimitse, millaisia testilaitteita akun kunnan selvittämiseen niillä on käytössä. Tämän selvityksen avulla voitiin työssä testata sellaisia sysäyskuormatestereitä, joita korjaamoilla on käytössä. Selvitykset kohdistuivat suurempiin korjaamoihin, joilla on jonkin automerkin edustus.

Jotta voidaan syventyä akkutestereiden toiminnan selvittämiseen, perehdytään aluksi 12 V:n lyijyakun sekä ajoneuvon akun testaamisen teoriaan. Teoriaosuudessa lähteinä käytetään aiheeseen liittyvää kirjallisuutta, tutkimuksia sekä verkkoaineistoja.

Testerien vertailua varten suunniteltiin mittausjärjestely, jolla pystytään tutkimaan akkutesterien toimintaa ja kykyä tunnistaa erilaisia akkuja. Käytännön testeissä tarvittiin akkuvaraajaa sekä digitaalista keinokuormaa, joka mahdollisti akun purkamisen hallitusti ja tarkasti tiettyyn varaustilaan. Akkutestin aikana testerin mittavirtaa mitattiin ohjelmisto-oskilloskoopilla. Käytännön testeissä käytettiin eri varaustiloissa olevia sekä uusia että kuluneita akkuja.

2 Akku ajoneuvossa

2.1 Akun tehtävä

Yleisesti ajoneuvossa tarvittava sähköenergia saadaan generaattorilta. On kuitenkin tilanteita, joissa generaattori ei tuota sähköä, esimerkiksi ajoneuvon käynnistäminen. Tällöin tarvittava energia otetaan akusta. (Juhala ym. 2005: 281.) Akku on energiavarasto, johon varastoidaan sähköenergiaa kemiallisena energiana. Akussa olevaa energiaa voidaan myöhemmin purkaa auton sähkölaitteille. (Nieminen 2008: 108.) Akun tehtäviä on tuottaa sähköenergiaa käynnistinmoottorille sekä kompensoida eroa tuotetun ja kulutetun sähköenergian välillä, mikäli kulutus on suurempi kuin sen hetkinen energian tuotto. Akku pysyy myös tasaamaan sähköjärjestelmän jännitehuippuja suojatakseen herkkiä elektroniikkakomponentteja. Tämä onnistuu akun suuren varauskyvyn ansiosta. (Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics 2007: 400.)

Bensiinikäyttöisessä henkilöautossa käynnistinmoottorin tarvitsema teho on 0,7–2,0 kW ja dieselmootorillisessa henkilöautossa 1,4–2,6 kW. Vaikka käynnistystapahtuma on nopea ja hetkellinen, akun jännite laskee hetkellisesti huomattavasti, sillä käynnistysvirta on suuri. (Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics 2007: 401.) On tärkeää määritellä ajoneuville oikean kokoinen akku. Näin ehkäistään akkujännitteen liiallinen lasku käynnistyksen aikana. Pohjoismaiden kylmien olosuhteiden vuoksi on tärkeää, että akku on hyväkuntoinen ja riittävän suuri. Lämpötilan laskiessa akun teho pienenee, minkä lisäksi käynnistystapahtumassa tarvitaan suurempi teho kuin lämpimällä säällä. (Juhala ym. 2005: 281.)

Nykypäivän henkilöautoissa on huomattavan suuri määrä elektroniikkaa ja sähköä käyttäviä laiteita. Ajotilanteessa kaikille näille kuluttajille pitää pystyä tuottamaan sähköenergiaa. Tilanteessa, jossa generaattori ei pysty tuottamaan kaikille kuluttajille sähköä, sähköjärjestelmän jännite laskee akkujännitteen tasolle ja tarvittava energia otetaan akusta. Tällöin akusta puretaan sähköä kuluttajille rajallinen aika. Vastaavasti ajotilanteessa, jolloin generaattori tuottaa riittävästi

virtaa, saadaan akkuun varattua energiaa talteen. (Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics 2007: 401.)

2.1.1 Käynnistysakut

Käynnistysakuista käytetään englanniksi termiä SLI Battery. Lyhenne SLI tulee sanoista starting, lightning ja ignition, eli käynnistys, valaistus ja sytytys. Käynnistysakun tärkein tehtävä on tuottaa käynnistinmoottorille sen tarvitsema sähköenergia. Käynnistysakku pystyy tuottamaan hetkellisesti suuren virran. Se myös kestää suurivirtaisen lyhyen purkujakson, jonka jälkeen ajoneuvon käynnistyttyä latausgeneraattori alkaa varata akkua. Tämäntapaiset käyttösyklit vaativat akulta suuren tehotiheyden ja pitkän käyttöiän. (Jung Ym. 2016: 39.) Suuri tehotiheys edellyttää, että akun sisäinen resistanssi on pieni (Linden & Reddy 2002). Suuri tehotiheys on saavutettu ohentamalla elektrodilevyjä ja lisäämällä niiden lukumäärää. Samalla levy-pinta-alaa on saatu kasvatettua. Käynnistysakut eivät kestä purkamista alhaiseen varaukseen, sillä ohuet elektrodilevyt liukenevat nopeasti toistuvista mataliin varaustiloihin purkamisesta. (Jung Ym. 2016: 39.)

2.1.2 Syväpurkausakut

Syväpurkausakut kestävät huomattavasti enemmän lataussyklejä kuin käynnistysakut. Syväpurkausakun parempi syklinen kestävyys saavutetaan käyttämällä paksuja elektrodilevyjä, jotka on kovetettu korkeassa lämpötilassa- ja kosteudessa. Lisäksi käytetään matalan ominaispainon omaavaa elektrolyyttiä. Syväpurkausakut sopivat ominaisuuksiensa vuoksi esimerkiksi veneilykäyttöön, sillä niitä voidaan purkaa alhaisiin varaustiloihin useita kertoja vaurioittamatta niitä. Syväpurkausakut on useimmiten suunniteltu niin, että niiden kapasiteettia rajoitetaan elektrolyytin määrällä eikä aktiivisen materiaalin määrällä levyissä. Tällä keinolla maksimoidaan levyjen käyttöikä. (Jung Ym. 2016: 42.) Taulukossa 1 on verrattu käynnistys- ja syväpurkausakun syklistä ikää, kun akkua on purettu tiettyyn varaustilaan. Varaustiloista 100 % tarkoittaa, että akku on purettu täysin tyhjäksi.

Taulukko 1. Käynnistys- ja syväpurkausakun syklinen ikä eri varaustiloihin purettaessa (How does the Lead Acid Battery Work).

(DoD)		Käynnistysakku	Syväpurkausakku
100 %		12–15 sykliä	150–200 sykliä
50 %		100–120 sykliä	400–500 sykliä
30 %		130–150 sykliä	1000+ sykliä

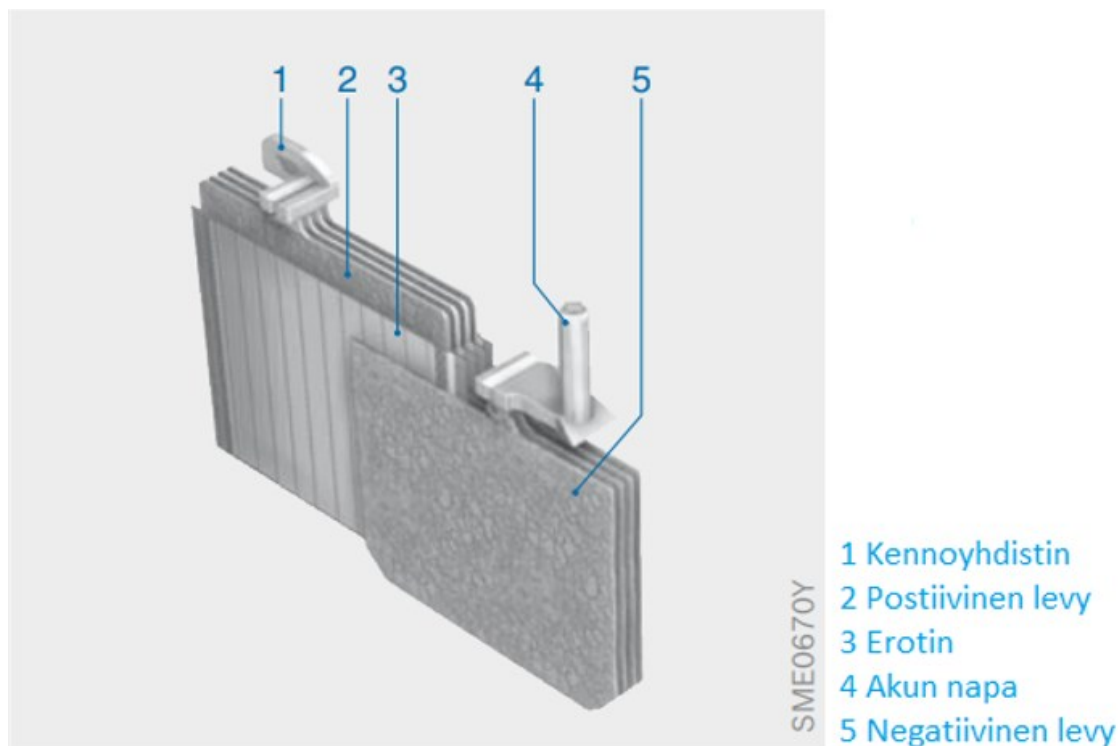
2.2 Lyijyakun rakenne ja yleisimmät lyijyakkutyypit

Tässä luvussa esitellään lyijyakun rakenne ja ominaisuudet. Samalla kuvataan perinteisen nesteakun rakenne. Nesteakun lisäksi luvussa esitellään myös työn kannalta oleelliset lyijyakkutyypit, jotka ovat AGM- ja EFB-akku.

2.2.1 Lyijyakun rakenne ja ominaisuudet

Lyijyakkua ympäröi kotelo, joka on happoa kestävä muovia. Kotelon sisällä on elektrolyytti joko nestemäisessä muodossa tai AGM-akuissa lasikuitumattoon imeytettynä. Kotelo on jaettu akun kennojen määrää vastaavaan osaan. Kenno koostuu positiivisista ja negatiivisista elektrodilevyistä. Elektrodilevyt on erotettu toisistaan erottimilla, jotteivät positiiviset- ja negatiiviset levyt pääse koskettamaan toisiaan. Levyjen osumisesta toisiinsa aiheutuisi oikosulku. Lisäksi erottimet tukevat elektrodilevyjä ja vaimentavat värinöitä. Erottimen valmistamisessa voidaan käyttää muovia, kumia tai lasikuitua. Akun kapasiteetti määräytyy akun levyjen lukumäärän ja koon mukaan. Suuremmalla levy-pinta-alalla saadaan

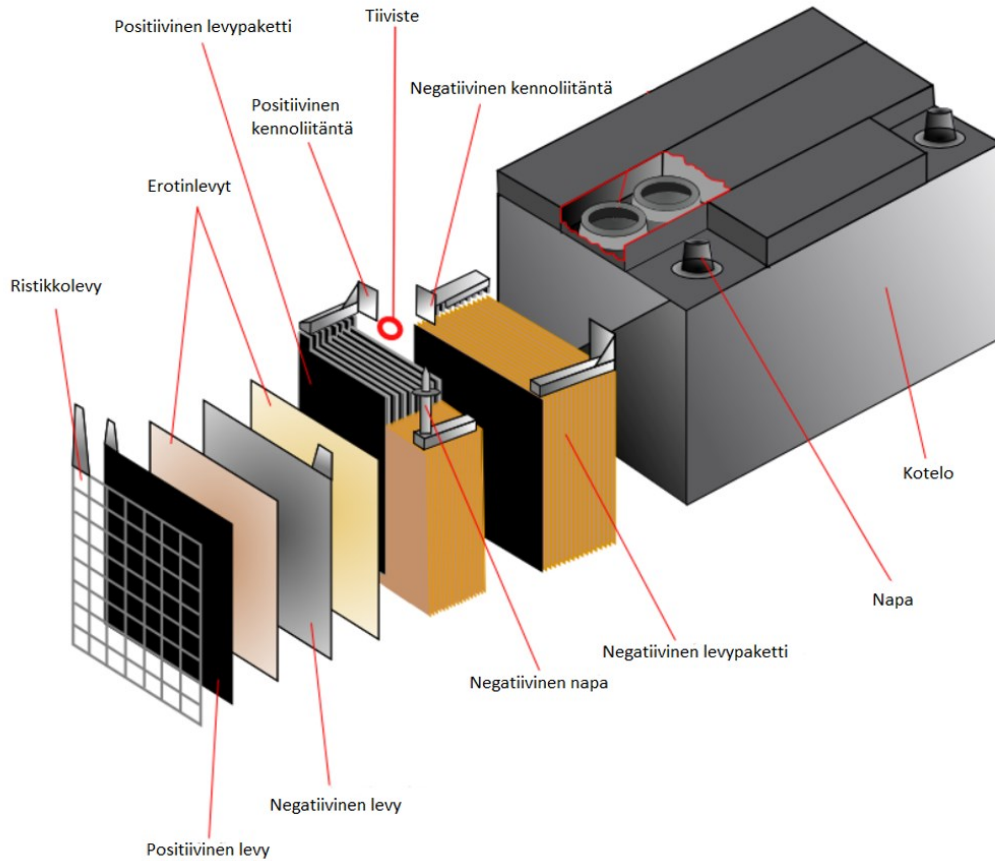
kasvatettua akun kapasiteettia. Akkukennon nimellisjännite on noin 2 V, eikä se riipu levyjen pinta-alasta. Negatiivisia levyjä on akussa aina yksi enemmän kuin positiivisia, sillä negatiiviset reagoivat positiivisia levyjä huonommin. (Juhala ym. 2005: 284–285.) Akkulevypaketti on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Akkulevypaketti (Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics 2007: 403).

Elektrolyytti on laimennettua rikkihappoliuosta, joka täyttää levyjen erottimien huokoset. Elektrolyytissä on noin 39 % rikkihappoa ja 61 % puhdasta vettä. Akun navat sekä kennojen- ja levyjen liittimet ovat lyijyä. Aikaisemmin akkujen jokaisessa kennossa oli huoltoluukku, josta voitiin täyttää elektrolyyttiä. Sen kautta poistuivat myös akun varauksen aikana syntyvät kaasut. Nykyään uusiin autoihin asennettavissa akuissa ei ole enää huoltoluukkuja. Varauksessa syntyvien kaasujen poistumista varten on kuitenkin omat tuuletuskanavat. Elektrodi-levyt ovat lyijyverkkoa, jotka on päällystetty aktiivisella materiaalilla. Positiivisten levyjen aktiivinen materiaali sisältää huokoista lyijydioksidia (PbO_2). Negatiivisen levyn aktiivinen materiaali koostuu puhtaasta lyijystä (Pb). Sekä negatiiviset että positiiviset levyt on yhdistetty toisiinsa niiden yläpuolella olevalla

kennoyhdistimellä. Liitin on materiaaliltaan lyijyä. (Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics 2007: 403–404.) Lyijyakun rakenne on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Lyijyakku (Weal & Kumar Vasant 2013).

2.2.2 AGM-akku

Lyhenne AGM tulee englanninkielisistä sanoista Absorbent Glass Matt. AGM-akussa elektrolyytti on imeytetty hienorakenteiseen lasikuitumattoon. Koska elektrolyytti ei ole nestemäisenä, ei AGM-akussa ole vaarana elektrolyytin roiskuminen esimerkiksi kuljettaessa tai onnettomuuden yhteydessä. Akku on ilmatiivis, ja sen sisäisen kierron avulla minimoidaan vedyn syntyminen, jolloin myös veden kuluminen on vähäistä. Näin akusta on saatu huoltovapaa. Lasikuitumatto on joustavaa, minkä takia se voidaan asentaa akkulevyjä vasten. Tätä kautta voidaan ehkäistä aktiivisen materiaalin irtoamista ja erottumista

akkulevyistä. AGM-akut ovat yleisiä ajoneuvokäytössä, koska tavallinen nesteakku ei ole riittävän kestävä ja vakaa nykyautojen start & stop -järjestelmän aiheuttamalle rasitukselle. AGM-akulla on hyvin alhainen sisäinen resistanssi, joten se pystyy tuottamaan suuria virtoja. AGM-akku on pitkäikäinen eikä ole kovin altis sulfatoitumiselle. Se kestää hyvin myös purkamista mataliin varaustiloihin. Sen lisäksi AGM-akun suurimpia etuja on huomattavasti nopeampi varaaminen kuin nesteakussa. AGM-akku ei kestä yhtä korkeita lämpötiloja kuin nesteakku, ja se on huomioitava akun sijoituksessa. (Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics 2007: 413; BU-201a: Absorbent Glass Mat.)

2.2.3 EFB-akku

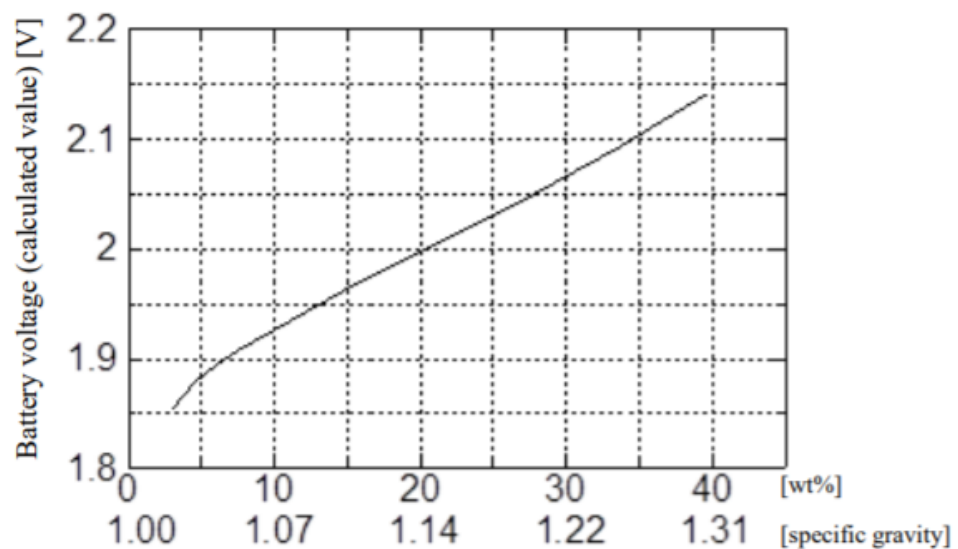
EFB eli enhanced flooded battery on tavallisesta lyijyakusta kehitetty parempi versio. EFB-teknologia on kehitetty erityisesti autojen start & stop -toiminnon vuoksi. EFB-akun syklinen kestävyys ja kyky vastaanottaa varausta ovat myös tavallista lyijyakkua parempia. EFB-akku kestää siis purkamista ja syväpurkausta tavallista akkua paremmin. EFB-akussa positiivisten elektrodilevyjen ympärillä on huokoista polyesterimateriaalia, joka vahvistaa levyjä sekä estää aktiivisen materiaalin irtoamista. Myös negatiivisten elektrodilevyjen suorituskykyä on parannettu lisäämällä ylimääräistä hiiltä. Samoin ristikkolevyjen rakennetta on kehitetty. EFB-akun rakenne on suunniteltu niin, että elektrolyytti sekoittuu auton liikkeiden mukaan. Tällä vähennetään happokerrostumia. (Garche ym. 2017: 107–111.)

2.3 Lyijyakun toiminta

Tässä luvussa käsitellään lyijyakkua purkaessa ja varattaessa tapahtuvia reaktioita. Luvussa kuvataan myös, miten lyijyakun elektrolyytin rikkihappopitoisuus vaikuttaa lyijyakun varaustilaan.

2.3.1 Elektrolyytin rikkihappopitoisuuden vaikutus akun varaustilaan

Akun varaus riippuu elektrolyytin rikkihappopitoisuudesta. Kuten luvussa 2.2 todettiin, on elektrolyytissä noin 39 % rikkihappoa ja 61 % puhdasta vettä. Tällöin akku on täyteen varattu. Elektrolyytin rikkihappopitoisuuden laskiessa akun jännite laskee. Teoreettisesti akun ollessa täyteen varattu eli rikkihappopitoisuuden ollessa noin 39 % elektrolyytin ominaispaino on noin 1,3. Tällöin akun yhden kennon jännite on noin 2,1 V. Rikkihappopitoisuuden laskiessa alle 7 %:n on elektrolyytin ominaispaino noin 1,05 ja kennojännite 1,9 V ja akku on täysin purtetu. Kuvassa 3 on esitetty kuvaaja yhden akkukennon jännitteen suhteesta elektrolyytin rikkihappopitoisuuteen ja ominaispainoon. Ominaispaino ja rikkihappopitoisuus on esitetty vaaka-akselilla ja kennojännite pystyakselilla. (Lead-acid Battery Handbook 2020: 4–5.)



Kuva 3. Kennojännite suhteessa elektrolyytin rikkihappopitoisuuteen ja ominaispainoon (Lead-acid Battery Handbook 2020: 4).

Täyteen varatussa akussa positiivinen levy on lyijyoksidia, kun taas negatiivinen levy lyijyä. Kun lyijyakkua puretaan, muuttuvat sekä positiivinen että negatiivinen levy lyijysulfaatiksi ja rikkihappopitoisuus elektrolyytissä laskee. (Juhala ym. 2005: 283.) Lyijyoksidista valmistetun positiivisen elektrodin joutuessa kosketukseen elektrolyyttiliuoksen kanssa, syntyy positiivisen levyn pintaan lyijysulfaattia. Samaan aikaan positiivisesta elektrodista irtautuu happi-ioni elektrolyytin

sekaan. Tällöin lyijystä valmistettu negatiivinen elektrodi reagoi elektrolyyttiliuoksen kanssa, jolloin myös negatiivisten levyjen pinnalle syntyy lyijysulfaattia. Reaktion aikana vapautuu negatiiviseen elektrodiin kaksi elektronia. Kun negatiiviseen elektrodiin on muodostunut elektroneja, on akkukennon positiivisen ja negatiivisen elektrodin välillä jännite-ero. (Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics 2007: 407–408; Lead-acid Battery Handbook 2020: 4–5.)

2.3.2 Reaktiot purettaessa lyijyakkua

Lyijyakkua purettaessa negatiivinen elektrodi vapauttaa elektroneja muodostaakseen lyijyjoneita. Lyijyjionit yhdistyvät elektrolyytissä sulfaatti-ioneihin ja muodostavat lyijysulfaattia negatiivisen elektrodin pintaan. Samaan aikaan negatiivisesta elektrodista lähtöisin olevat elektronit kulkevat akkua kuormittavan kuorma lävitse ja palaavat positiiviselle elektrodille muodostaen sille negatiivisen varauksen. Negatiivisesti varautuneet elektronit sitovat itseensä elektrolyytissä olevia vetyioneja. Sitoutuneet vetyionit poistavat happi-ioneja positiivisen elektrodin lyijysulfaatista, jolloin muodostuu vettä. Lyijydioksidi, josta happi erottuu, säilyy lyijyjoneina. Jäljelle jääneet lyijyjionit yhdistyvät sulfaatti-ioneihin elektrolyytissä, jolloin myös positiiviselle elektrodille muodostuu lyijysulfaattia. (Lead-acid Battery Handbook 2020: 5.) Liiallisen purkamisen seurauksena lyijy-akku menettää kapasiteettiaan. Tällöin myös akun käyttöikä lyhenee. (Meena ym. 2014.)

2.3.3 Reaktiot varattaessa lyijyakkua

Akussa tapahtuu sitä varattaessa erilaisia kemiallisia reaktioita. Akkua varattaessa reaktiot ovat seuraavat:

- Lyijysulfaatti miinuslevyssä muuttuu lyijyksi.
- Lyijysulfaatti positiivisessa levyssä muuttuu lyijyoksidiksi.
- Elektrolyyttinesteen rakenne muuttuu. Veden määrä vähenee ja rikkihappo lisääntyy. (Juhala ym. 2005: 283.)

Varattaessa lyijyakkua kemialliset reaktiot ovat käytännössä päinvastaiset kuin akkua purkaessa. Kun akkua halutaan varata, kytketään siihen kiinni jonkinlainen varaaja. Kun akkua varataan, elektronit virtaavat positiivisesta elektrodista negatiiviseen elektrodiin, jolloin akkua purettaessa muodostunut lyijysulfaatti muuttuu takaisin lyijyksi. Reaktion aikana vapautuu sulfaatti-ioneja. Negatiivisten elektronien virratessa pois positiivisesta elektrodista, muodostuu positiiviseen elektrodiin positiivinen sähkövaraus. Tässä reaktiossa vesi hajoaa hapeksi ja typpi-ioneiksi. Reaktioiden seurauksena positiiviseen elektrodiin purkureaktiossa muodostuneelta lyijysulfaatilta puuttuu elektroneja, jolloin se reagoi hapen kanssa. Lyijysulfaatin ja hapen reagoidessa vapautuu sulfaatti-ioneja ja muodostuu lyijydioksidia. (Lead-acid Battery Handbook 2020: 6.) Lyijyakun yli-varaaminen voi aiheuttaa akun lämpenemisen, positiivisen levyn syöymiseen ja akun kemiallisten ominaisuuksin heikkenemiseen. Edellä mainitut seikat lyhentävät lyijyakun käyttöikä. (Meena ym. 2014.)

2.4 Lyijyakun sulfatoituminen

Kuten aiemmissakin luvuissa on mainittu, lyijyakun purkautuessa molemmille levyille muodostuu lyijysulfaattia. Myöhemmin varattaessa akkua sulfaatti muuttuu takaisin aktiivisiksi materiaaleiksi. Tämä on välttämätön osa lyijyakun toimintaprosessia. Purkausprosessissa syntyvä lyijysulfaatti on koostunut pienistä tasaisesti jakautuneista kiteistä. Kiteet muodostavat huokoisen massan ja ovat erittäin johtavia. (Natarajan 2021.)

Akun itsepurkautumisen tai syvän purkamisen takia muodostuu lyijysulfaattia. Näiden yhteydessä on havaittu, että levyjen aktiivinen materiaali muuttuu lähes kokonaan lyijysulfaatiksi. Nyt kiteet eivät kuitenkaan ole enää pieniä vaan kooltaan suurempia. (Natarajan 2021.) Tätä reaktiota on vaikea tai lähes mahdoton peruuttaa. Akun sulfatoituminen nostaa akun sisäistä resistanssia, mikä haittaa akussa tapahtuvia kemiallisia prosesseja. Tällöin akun varaaminen ei enää välttämättä onnistu. Mikäli akku ei ole vielä täysin sulfatoitunut, voi akun varaaminen onnistua. (Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics 2007: 432–433.) On kuitenkin suuri riski, että akun levyt vahingoittuvat

peruuttamattomasti. Tämän tapainen reaktio vaatii käyttäjältä jo selvää väärinkäyttöä. Akun sulfatoituminen voidaan huomata alentuneesta kapasiteetista, akkua varattaessa muodostuvien kaasujen aikaisemmasta ilmaantumisesta, epänormaalista väristä positiivisten levyjen pinnalla, elektrolyytin alhaisesta ominaispainosta tai negatiivisten levyjen tilavuuden lisääntymisellä, joka ilmenee akun ulkoisena pullistumisena. (Natarajan 2021.)

2.5 Sisäinen resistanssi

Käynnistyksessä tarvittavan suuren virran vuoksi käynnistysakun tulee olla suunniteltu matalalla sisäisellä resistanssilla. Mitä alhaisempi akun sisäinen resistanssi on, sitä tehokkaampi akku on ja sitä enemmän saadaan tehoa myös käynnistinmoottorille. Alhaiseen sisäiseen resistanssiin pyritään paksuilla mutta mahdollisimman lyhyillä johtimilla, huokoisilla erottimilla ja matalan resistanssin omaavalla elektrolyytillä. (Linden & Reddy 2002; Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics 2007: 448.) Suuremmalla akkulevyjen määrällä, eli laajemmalla levypinta-alalla, akun kapasiteetti on suurempi, jolloin myös akkukennon sisäinen resistanssi on matalampi (Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics 2007: 419). Lyijyakun sisäinen resistanssi kasvaa lähes lineaarisesti elektrolyytin ominaispainon laskiessa. Myös lämpötilalla on vaikutus sisäiseen resistanssiin. Akun sisäinen resistanssi muuttuu lähes 50 % lämpötilojen -18 °C ja 30 °C välillä. Akun alhainen sisäinen resistanssi myös vaimentaa auton sähköjärjestelmän jännitehuiput. (Linden & Reddy 2002; Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics 2007: 448.) Pelkän sisäisen resistanssin perusteella ei saada kuitenkaan lineaarista korrelaatiota akun kapasiteettiin. Akkukennojen resistanssin nousu liittyy ikääntymiseen ja antaa joitain merkkejä akun kunnan heikkenemisestä. (Buchmann 2004.)

2.6 Työturvallisuus ajoneuvon akun kanssa työskennellessä

Sähköisiä mittauksia suorittaessa on syytä toimia äärimmäisen huolellisesti, jotta vältetään virheitä, jotka voivat johtaa sekä henkilö- että esinevahinkoihin. Virheellinen kytkentä voi johtaa ajoneuvon erilaisten sähköisten komponenttien

rikkoutumiseen. (Nieminen 2008: 15–16.) Akkua irrottaessa akun negatiivinen napa tulee irrottaa aina ensin. Näin vältetään mahdollisilta oikosuluilta. Oikosulku voi aiheutua, mikäli positiivinen kaapeli irrotetaan ensin ja sillä osutaan maapisteeseen maakaapelin ollessa vielä akussa kiinni. Oikosulun voi aiheuttaa myös metallinen työkalu jäädessä akun positiivisen navan ja jonkin maapisteen väliin maakaapelin ollessa vielä kytkettynä akkuun. (Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics 2007: 433.)

Akkujen kanssa työskennellessä yleisimpiä riskejä ovat elektrolyytin roiskuminen sekä mahdolliset räjähdykset typen, hapen ja vaarallisten kaasujen syntymisen johdosta. Vaaratilanteet voidaan välttää oikeilla varotoimilla. Tärkeimpiä varotoimia ovat silmien sekä käsien suojaaminen. Työskennellessä akkujen kanssa työtilan tulee olla hyvin ilmastoitu. (Linden & Reddy 2002.) Iäkkäämissä ajoneuvoissa, joissa on kennotulpilla varustettu akku, voidaan elektrolyyttiä joutua lisäämään. Vettä ja rikkihappoa sekoittaessa tulee noudattaa erityistä huolellisuutta. Kaadettaessa vettä rikkihappoon syntyy suuri määrä lämpöä. Näitä kahta ainetta sekoittaessa on tärkeää huomioida, että rikkihappo tulee sekoittaa aina veteen, eikä vettä rikkihappoon. Mikäli rikkihappoon kaadetaan vettä, vesi höyrystyy ja synnyttää roiskeita, jotka voivat aiheuttaa vakavia vaurioita tai henkilövahinkoja, sillä rikkihappo on erittäin syövyttävää. (Juhala ym. 2005: 284.)

3 Akun kunnon selvittäminen

3.1 Mittaaminen yleismittarilla

Yleismittarilla voidaan selvittää akun varaustila mittaamalla jännite akun napojen väliltä. Mitatessa yleismittari ei saa kuormittaa akkua, eikä muitakaan akkua kuormittavia laitteita tule olla kytkettynä päälle. Akkujännite voidaan mitata aikaisintaan puoli tuntia akun käytön jälkeen, jotta akku on ns. lepotilassa. (Juhala ym. 2005: 289.) Haasteita jännitemittaukseen aiheuttaa pitkä odotusaika ennen

mittausta sekä jännitemittauksen tarkkuus. Akkuvalmistajat suosittelevat jopa 24 tunnin odotusta ennen jännitemittauksen suorittamista. Nykyautoissa akkujännitteen mittaaminen ei myöskään ole välttämättä täysin tarkka. Määrittäessä akun varaustilaa jännitemittauksen avulla tulee mitata avoimen piirin jännite. Nykyautoissa akku on jatkuvasti pienten ylläpitotoimintojen kuormitusten alaisena. (BU-903: How to Measure State-of-charge.) Jännitemittaus ei näin ollen anna aina täysin tarkkaa kuvaa akun tilasta. Taulukossa 2 on esitetty, millaista varaustilaa eri napajännitteet tarkoittavat.

Taulukko 2. Akun jännitteen ja varaustilan suhde (Juhala ym. 2005: 289).

Akun jännite (V)	Varaustila (%)
12,6	100
12,4	75
12,2	50
12,0	25

Akun jännitettä mitattaessa on syytä ottaa huomioon, että mitattu jännite kuvastaa vain akun sen hetkistä varaustilaa, eikä siitä saada suoraa kuvaa akun kunnosta. Napajännitteen perusteella ei voida määritellä esimerkiksi akun kykyä kestää kuormaa. (Car battery testing instruction.)

3.2 Testaaminen kuormittamalla

Lyijyakun kunto voidaan todeta kuormittamalla. Kuormittaminen voidaan tehdä ns. hiilipakkatesterillä. Akun ikääntyessä ja sen kunnan heiketessä alkaa sen sisäinen resistanssi nousta. Akkua kuormittaessa akun napajännite alenee. Huonompikuntoisessa akussa napajännite alenee enemmän, kun taas parempikuntoisessa akussa napajännitteen lasku on vähäisempää. Ennen kuormituskokeen aloitusta tulisi huolehtia, että akun jännite on yli 12,4 V tai vaihtoehtoisesti elektrolyytin tiheys on yli 1,220 kg/dm³. Jännite voidaan mitata yleismittarilla ja elektrolyytin tiheys ominaispainomittarilla. Kuormittaessa akkua tulee määritellä

oikea kuormitusvirta. DIN-normin mukaiselle akulle kuormitusvirran määrittely on esitetty alla kaavassa 1. Kaavassa Q kuvastaa akun kapasiteettiä. (Juhala ym. 2005: 292–293.)

$$I_L = \frac{3Q}{1h} \quad (1)$$

SAE-normin mukaisille akuille kuormitusvirtana käytetään akun kylmäkäynnistysvirrasta puolta vastaavaa ampeerimäärää. Akkua kuormitetaan 10–15 sekunnin ajan, minkä jälkeen mitataan akun jännite. Jännitemittauksen tulosta verrataan taulukkoon ja vertailun avulla voidaan päätellä, onko akku vielä käyttökelpoinen. Esimerkiksi 20 °C:n lämpötilassa akun jännitteen tulisi pysyä yli 9,6 V:n tasolla. (Juhala ym. 2005: 292–293.) Yleisesti hiilipakkatestereissä on oma mittari, josta voidaan seurata napajännitteen muutoksia kuormituksen aikana. Hyväkuntoisella akulla jännitemittarin neulan tulisi kuormituksen aikana pysyä paikallaan, eikä laskea. Nykyaikaiset hiilipakkatesterit antavat myös äänimerkin, kun akkua on kuormitettu oikean aikaa.

Mikäli hiilipakkatesteriä ei ole käytössä, akkua voidaan kuormittaa myös auton omien kuluttajien avulla. Tällainen testi voidaan tehdä esimerkiksi käynnistimoottorin avulla. Tarkoituksena on mitata akun napajännitteen laskua käynnistyshetkellä. Hyväkuntoisella akulla jännitteen tulisi pysyä käynnistyshetkelläkin yli 10 V:n tasolla.

3.3 Testaaminen digitaalisella akkutesterillä

Korjaamoilla akku voidaan hiilipakkatesterin lisäksi testata myös digitaalisella akkutesterillä. Akkutesteri on korjaamolla käytössä lähes päivittäin. Akku voidaan testata, mikäli epäillään sen kunnan olevan heikentynyt. Akkutesti voidaan suorittaa myös normaalina määräaikaishuoltoon kuuluvana toimenpiteenä. Työn yhteydessä keskusteltiin myös joidenkin korjaamoiden kanssa niissä käytössä olevista akkutestereistä. Korjaamoiden kanssa keskustellessa tuli ilmi, että automerkkien maahantuojilta tulee tarkat vaatimukset, millainen akkutesteri mihinkin autoon tulee korjaamolla olla. Joidenkin merkkien kohdalla akun testaus

suoritetaan suoraan kyseisen merkin diagnoositestillä. Kuvassa 6 on havainnekuva sysäyskuormatesteristä.



Kuva 4. Bosch Bat 131 -akutesteri (Alkuperäiset ohjeet Bat 131 – Akkutesteri 2019).

Testerit kytetään akun napojen välille ja testiä varten testeristä valitaan akun kylmäkäynnistysvirta ja standardi, jonka mukaan se on määritetty. Erilaisia standardeja ovat DIN, IEC, SAE, EN ja JIS. Kylmäkäynnistysvirta on yleensä merkitty akkuun. Eri normeissa kylmäkäynnistysvirta on määritelty eri tavoilla. Testeristä riippuen ennen testiä voidaan syöttää myös testattavan akun tyyppi tai akun lämpötila. Akkutestin tuloksena digitaalinen akkutesteri antaa akun jännitteen, arvion akusta saatavilla olevasta kylmäkäynnistysvirrasta sekä kirjallisen

selosteen akun kunnosta. Esimerkiksi Boschin Bat 121 -akutesterin seloste akun kunnosta voi olla: akku hyvä, akku varattava, akku uusittava, akku uusittava/kenno oikosulku. Tulokset saadaan testerin omalle näytölle, lisäksi useammassa testereissä on oma tulostin, jolla tulokset saadaan myös tulostettua. (Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics 2007: 430; Juhala ym. 2005: 293–294.) Testeri voidaan vaihtoehtoisesti kytkeä myös autosta löytyviin lisävirtapisteesiin. Kytettäessä testeri lisävirtapisteeseen tulee käytössä olla testeri, josta on mahdollista valita, että testi suoritetaan lisävirtapisteen kautta. Tällöin testeri huomioi akkukaapeleiden vaikutuksen mittaukseen.

Sysäyskuormatesteri kuormittaa akkua lyhyillä virtapulsseilla. Samalla testeri mittaa virtapulssien aiheuttamaa jännitteen muutosta. Testerin toiminta perustuu konduktanssin määrittämiseen. Konduktanssi kuvaa akun ominaissähköjohtavuutta. Konduktanssin määrittämistä käsitellään luvussa 3.4.1. Testeriin on määritetty tietyt ominaiskäyrät konduktanssin ja jännitteen muutoksesta. Ennen testiä syötettävä kylmäkäynnistysvirran arvo määrittää, millaista ominaiskäyrää testeri lähtee seuraamaan. Testituloksen poiketessa määritellystä käyrästä testeri määrittelee akun vialliseksi. Konduktanssi on sisäisen resistanssin käänteisarvo. Sisäisen resistanssin avulla testeri arvioi akusta saatavilla olevan kylmäkäynnistysvirran.

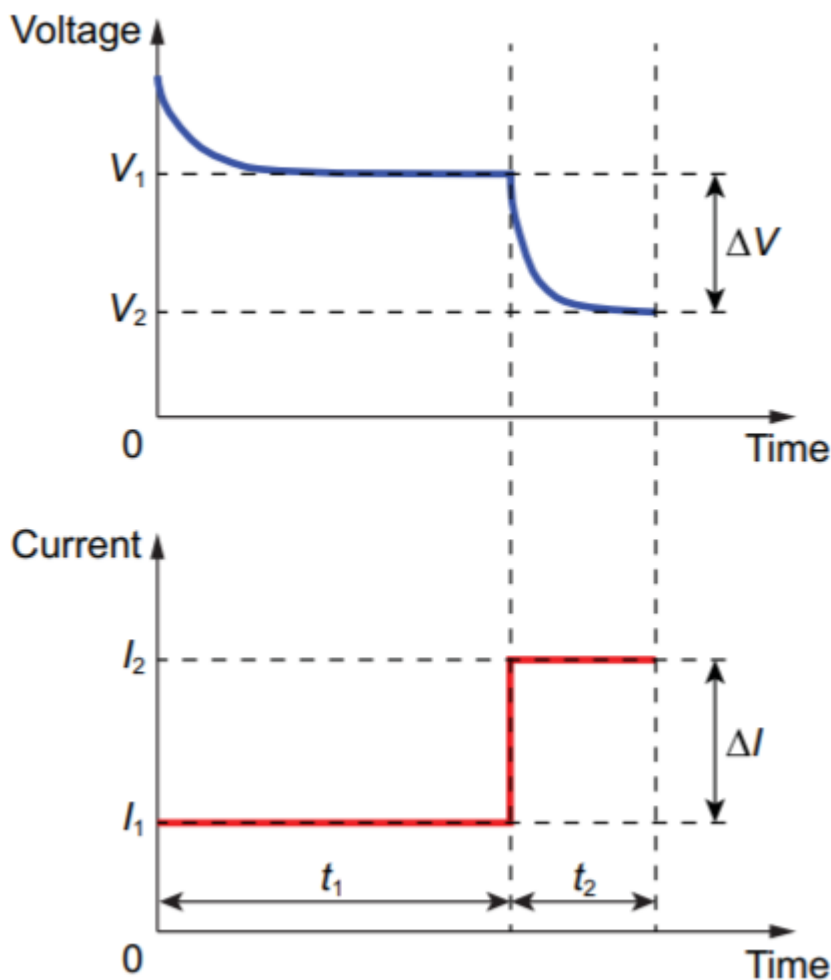
3.4 Sisäisen resistanssin määrittäminen

Akulle voidaan määritellä sisäisen resistanssin arvo AC- ja DC-puolille. AC-puolen sisäisestä resistanssista käytetään termiä AC-impedanssi. Kaikki määrittelymenetelmät ovat vastuspohjaisia. Sisäisen resistanssin määrittämisen avulla saadaan selville akun kyky välittää kuormitusvirtaa. (Buchmann 2004.)

3.4.1 DC-kuormitusmenetelmä

Akun DC-puolen sisäinen resistanssi voidaan määritellä kuormitusmenetelmällä. Kuormitusmenetelmässä voidaan käyttää joko yhtä tai kahta eri suuruista kuormaa. DC-kuormitusmenetelmässä akkuun kytketään kuorma. Kuormavirran

suuruus riippuu kuorman resistanssista. Kuormittaessa akkua akun napajännite laskee. Sisäinen resistanssi saadaan laskettua kuormavirrasta ja napajännitteen muutoksesta. Yleisesti käytössä on myös kaksivaiheinen kuormitusmenetelmä. Kaksivaiheisessa kuormitusmenetelmässä akkua kuormitetaan ensin pienemmällä kuormalla ja sen jälkeen suuremmalla kuormalla. Sisäinen resistanssi lasketaan ohmin lain avulla. Kaksivaiheisella kuormitusmenetelmällä saadaan laajempi kuva akun kunnosta. Mittaustulokset ovat resistanssin arvoja, joten kuormitusmenetelmälläkään ei saada tietoa akun kapasiteetista. Määrittäessä sisäistä resistanssia kuormitusmenetelmällä syntyy huomattava määrä lämpöä, joten mittalaitteen jatkuvassa käytössä on syytä pitää taukoja mittausten välissä. (Buchmann 2004; BU-902: How to Measure Internal Resistance.) Kuvassa 4 on esitetty kaksivaiheisen kuormitusmenetelmän jännite- ja virtakuvaajat.



Kuva 5. Kaksivaiheisen kuormitusmenetelmän jännite ja virta (Chung 2021: 5).

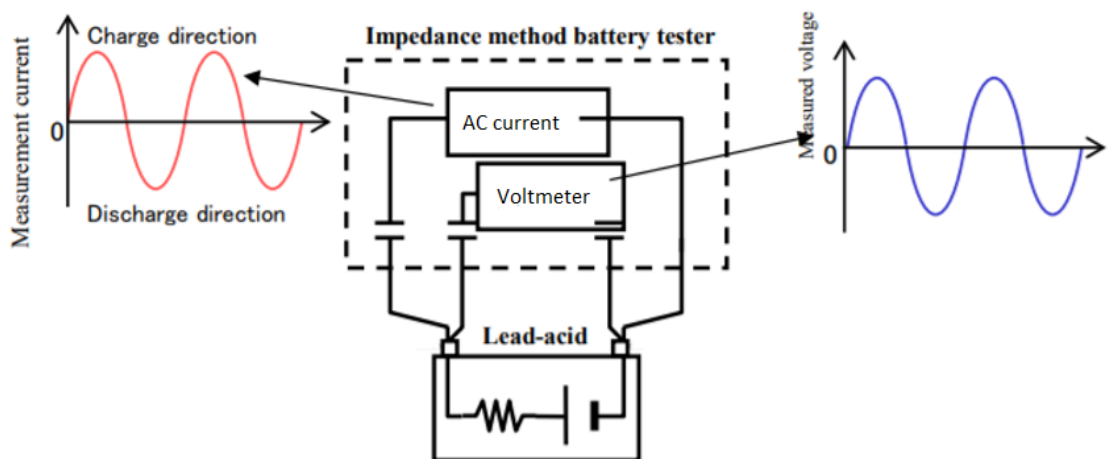
3.4.2 Konduktanssimenetelmä

Konduktanssimenetelmässä määritetään akun konduktanssi, joka on resistanssin käänteisarvo. Konduktanssi kuvaa kykyä johtaa sähkövirtaa ja sen yksikkö on siemens. Konduktanssimenetelmässä kontrolloidaan purkuvirtaa. Konduktanssi saadaan määriteltä vortapulssien suuruudesta ja niiden aiheuttamista jännitteenmuutoksista. Yleisesti vortapulssien taajuus on 80–100 Hz. Tällä taajuudella 70–90 Ah:n lyijyakun induktiivinen ja kapasitiivinen reaktanssi ovat lähellä toisiaan. Näin saadaan aikaan minimaalinen jänniteviive, joka minimoi reaktanssin. Taajuus on suurempi suuremmille akuille ja matalampi pienempi-kokoisille akuille. Konduktanssimenetelmällä toimivat mittalaitteet ovat

pienikokoisia eivätkä lämpene käytön aikana. (Buchmann 2004; BU-902: How to Measure Internal Resistance.)

3.4.3 AC-impedanssi

Testattaessa AC-puolen impedanssia, akkuun syötetään vaihtovirtaa tietyllä taajuudella. Taajuuden vaihtelulla voidaan saada aikaan erilaisia arvoja impedanssille. Yleisin menetelmä on kuitenkin 1000 Hz:n testi. 1000 Hz:n testissä virtapulssien taajuus on 1000 Hz ja sisäinen resistanssi lasketaan jännitteen muutoksesta sekä virran ja jännitteen vaihesiirrosta. Tällä tavoin määritelty sisäinen resistanssi eroaa suuruudeltaan DC-puolen sisäisestä resistanssista. (Lead-acid Battery Handbook 2020: 17). Kuva 6 esittää AC-impedanssin määrittämistä.



Kuva 6. AC-impedanssin määrittäminen (Lead-acid Battery Handbook 2020: 17).

4 Työssä tutkittavat testerit ja niiden ominaisuudet

4.1 Bosch Bat 121

Bat 121 -testerissä ei ole mahdollista valita testattavan akun tyyppiä. Testin jälkeen saadaan kirjallinen seloste akun kunnosta, akkujännite ja käynnistysteho

prosentteina. Käynnistysteho on akusta mitatun kylmäkäynnistysvirran suhde testeriin syötettyyn nimelliskylmäkäynnistysvirtaan. Ennen testiä testerille syötetään akun kylmäkäynnistysvirta ja sen standardi. Bat 121 -testerit tunnistaa DIN, IEC, SAE, EN ja JIS -standardit. Akun lämpötilaa ei määritellä testerille tarkasti, vaihtoehtoina ovat alle tai yli 0 °C.

4.2 Bosch Bat 131

Bosch Bat 131 -testerillä voidaan testata 6 V:n ja 12 V:n käynnistysakkujen kunto. Bat 131 on yhteensopiva nesteakkujen, AGM-akkujen, geeliakkujen sekä EFB-akkujen kanssa. Ennen testausta on testeriin valittava testattava akkutyyppejä. Akkutesti voidaan valita suoritettavaksi joko autossa olevalle tai irrallaan olevalle akulle. Bat 131:llä voidaan testata akkuja 100–2000 A:n nimelliskylmäkäynnistysvirralla. Kylmäkäynnistysvirta ja akkustandardi tulee syöttää testeriin ennen akkutestin suorittamista. Bat 131 tunnistaa standardit EN, EN2, DIN, SAE, IEC ja JIS. Testin tuloksena saadaan kirjallinen seloste akun kunnosta, mitattu napajännite sekä akusta saatavilla olevan kylmäkäynnistysvirran arvo. Bat 131 -testerillä voidaan suorittaa lisäksi käynnistysjärjestelmän ja latausgeneraattorin testaus. Näissä kahdessa testissä voidaan käyttää testeriin lisävarusteena saatavilla olevaa virtapihtiä.

4.3 Midtronics Exp-717

Midtronics EXP-717 -testeristä määritetään ennen testiä akun tyyppi, akun kapasiteetti sekä kylmäkäynnistysvirta ja kylmäkäynnistysvirran standardi. Testeritukee JIS, DIN, SAE, IEC ja EN -standardeja. Valittavia akkutyypppejä ovat tavallinen, VRLA, spiraali ja geeliakku. Testeristä on mahdollista valita akkutesti suoritettavaksi autossa tai autosta irti olevalle akulle. Testin aikana voidaan testerillä mitata akun lämpötila. Testerit pyytää kohdistamaan laitteen akkuun kohti tietyissä tilanteissa, jolloin se mittaa akun lämpötilan. Testituloksena saadaan akun jännite sekä kirjallinen seloste akun kunnosta. Seloste voi olla: ”akku hyvä”, ”lataa ja testaa uudelleen”, ”vaihda akku” tai ”kenno huono/vaihda akku”. Joissain tapauksissa testerit voi kysyä käyttäjältä, onko testattava akku varattu

ennen testiä. Tarvittaessa voidaan käyttää myös testerissä olevaa Deep scan test -vaihtoehtoa, joka antaa tarkemman kuvan akun kunnosta.

4.4 Seal-tech SBCTX

Seal-tech SBCTX -testerillä voidaan tehdä akku- ja generaattoritesti. Akkutestiä varten valitaan, onko akku autossa vai irrallaan, sekä onko akun lämpötila yli- vai alle 0 °C. Lisäksi syötetään akun kylmäkäynnistysvirta ja sen standardi. Valittavia standardeja ovat EN, DIN SAE ja IEC. Testerillä voidaan testata akkuja 30–1500 A nimelliskylmäkäynnistysvirralla.

4.5 Quicklynks Ba101

Quicklynksin Ba101 -testerit edustaa vertailtavista testereistä kaikista edullisinta laitetta. Kyseistä laitetta myy esimerkiksi Motonet. Lisäksi samanlaista tuotetta on saatavilla lukuisista verkkokaupoista eri nimien alla. Testerit on myös fyysisesti kooltaan selkeästi pienin. Testerillä voidaan suorittaa akkutesti, käynnistysjärjestelmän testi sekä latausjärjestelmän testi. Testeristä voidaan valita akkutyyppiä perinteinen, AGM-spiraali, normaali AGM, geeli tai EFB. Testerit tukee seuraavia standardeja: DIN, JIS, EN, IEC, GB, SAE, MCA, BCI, CA. Akkutestin tuloksena saadaan akusta saatavilla oleva kylmäkäynnistysvirran arvo, napajännite, sisäinen resistanssi milliohmeina sekä kirjallinen kuvaus akun kunnosta. Myös Quicklynksillä voidaan suorittaa generaattoritesti sekä käynnistysjärjestelmän testaus.

5 Käytännön testaukset

5.1 Testausjärjestely

Käytännön testauksissa vertailtiin testerien kykyä tunnistaa erikuntoisia, eri varaustiloissa olevia akkuja. Lisäksi testeissä pyrittiin selvittämään kunkin testerin testisykli sekä mittavirta. Testereillä testattiin kolmessa eri varaustilassa olevia akkuja. Testattaviksi akuiksi valittiin kaksi jo käytöstä poistettua akkua sekä

uudet EFB- ja AGM-akut. Taulukossa 3 esitetty työssä käytetyt akut ja niiden tiedot.

Taulukko 3. Työssä käytettävien akkujen ominaisuudet.

Akun merkki	Kapasiteetti (Ah)	Kylmäkäynnistysvirta (A) EN-standardi
Sznajder Silver	100	800
Bosch S3 022	45	330
Biltema AGM	70	760
Biltema EFB	65	560

Ensimmäisessä testissä akut oli varattu täyteen, toisessa akun napajännite oli noin 12,4 V, ja kolmannessa testissä akku oli purettu noin 12,2 V:n napajännitteeseen. Akut varattiin täyteen testejä edeltävänä päivänä. Tällä menettelyllä akut saivat levätä yli 12 tuntia. Riittävällä lepoajalla haluttiin varmistaa akkujen olevan varmasti lepojännitteessä ennen testejä. Akkujen purkamisessa käytettiin digitaalista Aim TTi LD400P -keinokuormaa. Akut purettiin haluttuihin varaustiloihin 50 mV:n tarkkuudella; tämän tarkkuuden nähtiin olevan riittävä kyseisen työn kannalta. Akkujen annettiin levätä 20 min purun jälkeen, minkä jälkeen tarkastettiin akun jännite Fluke 179 -yleismittarilla. Akkutesterien tuloksissa testerien mittaaman napajännitteet poikkeavat hieman 50 mV:n tarkkuudesta. Midtronicsin testerillä suoritettiin testit vain täyteen varatuille ja 75 %:n varaustilaan puretuille akuille.

Työssä tutkittavilla testereillä suoritettiin akkutesti jokaiselle akulle kolmessa varaustilassa. Testin aikana mitattiin akun napajännitettä sekä testerin mittavirtaa. Mittalaitteena käytettiin PicoScope 4423 -oskilloskooppi. Testerin mittavirtaa mitattiin oskilloskooppiin liitetyn virtapihdin avulla. Mittauksen tarkoitus oli selvittää kunkin testerin testisykli ja testivirta. Liitteessä 1 on esitetty testausjärjestely. Akun napoihin on kytketty Bosch Bat 121 -akutesteri sekä oskilloskoopin

mittajohtimet. Oskilloskooppiin kytketty virtapihti on asetettu akkutesterin positiivisen kaapelin ympärille. Vastaava järjestely suoritettiin kaikilla vertailtavilla testereillä. Työssä tutkittavat testerit on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7. Työssä tutkitut laitteet.

5.2 Bosch Bat 121

Bat 121 on tutkittavista testereistä vanhinta mallia. Testerin testisykli kestää alle yhden sekunnin ja on vertailtavien testereiden testeistä lyhin. Testerit aloittaa testin yhdellä hieman pidemmällä 500 mA:n suuruisella virtapulsilla, jota seuraa useampi 500 mA:n suuruinen virtapulssi. Näiden jälkeen testerit nostaa testivirran 2 A:n tasolle. Suurempia virtapulsseja syötetään akkuun huomattavasti kauemmin. Testisykli on esitetty liitteessä 2. Myös testerin testivirta on vertailtavista testereistä suurin.

Bat 121 ei anna akusta saatavilla olevaa kylmäkäynnistysvirran arvoa suoraan. Testerin käyttöohjeiden mukaan testerit antavat käynnistyskapasiteetin, joka on

saatavilla olevan kylmäkäynnistysvirran suhde akulle määritettyyn kylmäkäynnistysvirran nimellisarvoon prosentteina. Tässä luvussa esitetystä taulukosta on akuista saatava kylmäkäynnistysvirta laskettu testerin antaman prosenttilukeman ja nimelliskylmäkäynnistysvirran avulla.

Testerin antamat kylmäkäynnistysvirrat AGM- ja EFB-akuille ovat jopa suurempia kuin akkujen nimelliskylmäkäynnistysvirrat. EFB-akun kohdalla voidaan huomata, että testerin mittaama käynnistysteho laskee vain 8 % täyteen varatusta akusta, kun akku on purettu 12,2 V:n jännitteeseen. Sznajderin ja Boschin akut ovat jo käytöstä poistettuja, joten etukäteen oli tiedossa, että kyseiset akut ovat heikkokuntoisia. Sznajderin kohdalla testeri tunnistikin tämän heti kahdessa ensimmäisessä varaustilassa, mutta 12,2 V:n varaustilassa testeri ilmoittaa akun olevan vielä hyvä ja kaipaavan vain varausta. Testeri ilmoittaa täyteen varatun akun olevan vaihtokuntoinen, mutta mikäli akku testataan alhaisessa varaustilassa, saattaa tämä aiheuttaa virheellisiä käsityksiä akun kunnosta, ellei akkua testata täyteen varaamisen jälkeen uudelleen. Testeri ei kuitenkaan ehdota uudelleen testaamista. Taulukossa 4 on Bat 121 -testerin akkutestien tulokset.

Taulukko 4. Bat 121 -akkutestien tulokset.

	Napajännite (V)	CCA (A)	CCA Mitattu (A)	CCA mitattu (%)	Kunto
Sznajder Silver	12,7	800	488	61	Uusittava
	12,37		480	60	Uusittava
	12,2		432	54	Hyvä/Varattava
Bosch S3 022	12,97	330	267	81	Hyvä
	12,44		248	75	Hyvä
	12,17		208	63	Hyvä/Varattava

	Napajännite (V)	CCA (A)	CCA Mitattu (A)	CCA mitattu (%)	Kunto
Biltema AGM	13,04	760	813	107	Hyvä
	12,33		760	100	Hyvä/Varattava
	12,13		692	91	Hyvä/Varattava
Biltema EFB	13,01	560	666	119	Hyvä
	12,41		661	118	Hyvä
	12,17		622	111	Hyvä/Varattava

5.3 Bosch Bat 131

Bat 131 -testerin testisykli oli tutkittavista testereistä pitkäkestoisin. Testisykli kestää noin 6,8 sekuntia. Akkutestin keston vaikuttaa kuitenkin myös testerin käyttäjä. Testeri aloittaa virtapulssien syöttämisen heti testin alettua, mutta lopettaa sen testerin kysyessä akun lämpötilaa kesken testin. Käyttäjä valitsee lämpötilaksi yli tai alle 0 °C. Tämän jälkeen testeri jatkaa vielä virtapulssien syöttöä hetken. Jokaisen akkutestin ohessa testeri ei kuitenkaan kysy lämpötilaa. Testivirran suuruus on noin 1,1 A, eikä se muutu testin missään vaiheessa.

Huonokuntoisen Sznajderin akun testeri tunnisti kaikissa varaustiloissa huonoksi. Boschin akun testitulokset ovat ristiriitaisia. Täyteen varattuna ja 12,2 V:n varaustilassa akku on testerin mukaan hyvä. Kuitenkin 12,4 V:n varaustilassa testeri ohjeistaa uusimaan akun. Näiden kolmen testin perusteella on hyvin kyseenalaista määrittellä akun todellista kuntoa. AGM-akun kohdalla tulokset ja mitatut kylmäkäynnistysvirrat ovat loogisia. Testeri tunnistaa akun hyväkuntoiseksi kaikissa varaustiloissa. EFB-akun tuloksissa mitatut kylmäkäynnistysvirrat ovat huomattavan suuria suhteessa akun nimelliskylmäkäynnistysvirtaa. Vielä 12,2

V:n varaustilassakin testerin mittaama kylmäkäynnistysvirta on 87 A akun nimelliskylmäkäynnistysvirtaa suurempi. Liitteessä 3 on esitetty Bat 131 -testerin testisykli ja mittavirta. Taulukossa 5 on Bat 131 -testerin akkutestien tulokset.

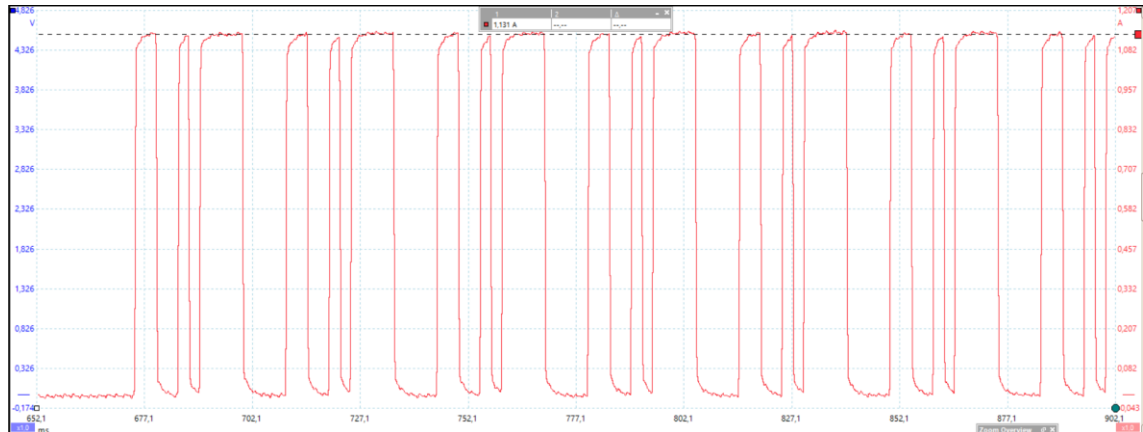
Taulukko 5. Bat 131 -akkutestien tulokset.

	Napajännite (V)	CCA (A)	CCA mitattu (A)	CCA mitattu (%)	Kunto
Sznajder Silver	12,7	800	577	72	Vaihda akku
	12,38		516	65	Vaihda akku
	12,23		443	55	Vaihda akku
Bosch S3 022	13,07	330	283	86	Akku kunnossa
	12,46		244	74	Vaihda akku
	12,21		198	60	Hyvä/Varattava
Biltema AGM	13,04	760	757	100	Akku kunnossa
	12,34		654	86	Hyvä/Varattava
	12,15		593	78	Hyvä/Varattava
Biltema EFB	13,01	560	747	133	Akku kunnossa
	12,43		705	126	Akku kunnossa
	12,19		647	116	Hyvä/Varattava

5.4 Midtronics Exp-717

Midtronics Exp-717 -testerin testisyklin kesto on noin 5,6 sekuntia. Testin kesto ei kuitenkaan ole aina sama, sillä testeri saattaa kysyä kesken testin käyttäjältä tietoja. Testeri voi pyytää kohdistamaan testerin akkuun mitataksaan akun

lämpötilan tai kysyä käyttäjältä, onko kyseessä taxitesti. Testivirta pysyy testin aikana yhtä suurena, noin 1,1 A:n tasolla. Ensin testeri syöttää yhden noin 20 ms:n virtapulssin, minkä jälkeen on lyhyt tauko, ennen kuin testeri alkaa taas syöttämään noin 1,1 A:n suuruisia virtapulsseja. Virtapulsseista on selvästi huomattavissa, että ne tulevat kolmen hieman eripituisen pulssin sarjoissa, mikä on selvästi nähtävissä kuvasta 8.



Kuva 8. Midtronicsin virtapulssit

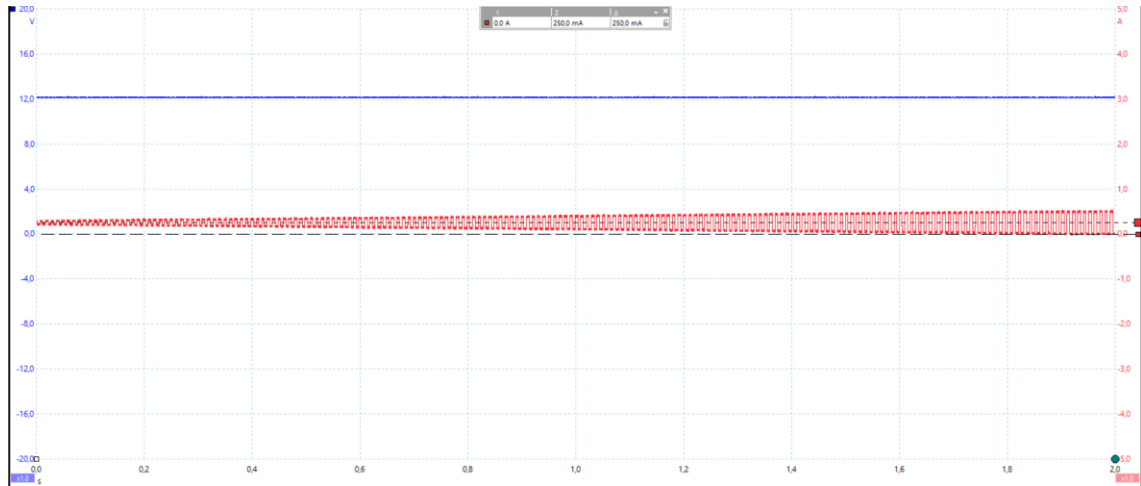
Taulukossa 6 on esitetty akkutestien tulokset. Midtronicsin testerillä suoritettiin testit vain kahdessa varaustilassa oleville akuille johtuen laitteen laina-ajasta. Midtronicsista saatiin testituloksena vain akun napajännite ja kirjallinen seloste akun kunnosta. Sznajderin akun testeri tunnisti molemmissa varaustiloissa huonoksi. Boschin akku oli testerin mukaan hyväkuntoinen täyteen varattuna, ja 12,43 V:n varaustilassa testeri pyysi varamaan akun. Testeristä ei ollut erikseen valittavissa testiä AGM- eikä EFB-akuille. Tästä huolimatta testeri tunnisti kuitenkin molemmat akut hyväkuntoisiksi eikä testien kanssa ilmennyt ongelmia. Midtronicsin testisykli ja mittavirta on esitetty liitteessä 4.

Taulukko 6. Midtronics EXP-717 -akutestien tulokset.

	Napajännite (V)	CCA (A)	Kunto
Sznajder Silver	12,70	800	Vaihda akku
	12,38		Vaihda akku
Bosch S3 022	12,99	330	Akku kunnossa
	12,43		Lataa
Biltema AGM	13,01	760	Akku kunnossa
	12,33		Lataa
Biltema EFB	12,98	560	Akku kunnossa
	12,42		Akku kunnossa

5.5 Seal-tech SBCTx

Seal-tech SBCTx:n testisykli kestää noin 6 sekuntia. Virtapulssien syöttö alkaa yhdellä noin 1,8 sekuntia kestäväällä 250 mA:n pulssilla, jonka jälkeen virta laskee hetkellisesti 0 A:n tasolle. Testeri alkaa syöttämään hiljalleen kasvavia virtapulssseja. Virtapulssit alkavat pienemmistä ja niiden amplitudi kasvaa, kunnes ne ovat noin 500 mA:n suuruisia. Kuvasta 9 voidaan huomata virtapulssien amplitudin kasvu. Musta katkoviiva on asetettu 0 mA:n tasolle ja sen avulla voidaan todeta, että alun pienempien virtapulssien aikana testerin testivirta ei laske 0 A:n tasolle. Toinen katkoviiva on asetettu 250 mA:n tasolle ja sen avulla huomataan, että virtapulssien amplitudin kasvaessa pulssien keskikohta pysyy 250 mA:n tasolla.



Kuva 9. Seal-tech SBCtx:n amplitudin kasvu.

Huonokuntoisen Sznajderin akun testeri tunnisti täyteen varattuna huonokuntoiseksi. Kuitenkin 12,4 V:n ja 12,2 V:n varaustiloihin purettuna testeri pyytää lataamaan akun ja testaamaan sen jälkeen uudestaan. Testeri toimi samalla tavalla myös Boschin akun kanssa, vaikka akku olikin täyteen varattuna testerin mukaan hyväkuntoinen. AGM- ja EFB-akut testeri tunnisti kuitenkin alhaisissakin varaustiloissa hyväksi mutta käski varaamaan. Testerin mitaamat kylmäkäynnistysvirrat AGM- ja EFB-akuille ovat huomattavan suuria, ja useimmissa varaustiloissa mitatut virrat ylittävät akun nimelliskylmäkäynnistysvirran arvon. Todennäköisin syy on, ettei testeristä voida valita erikseen akkutyyppejä. Taulukossa 7 on Seal-tech SBCtx -testerin akkutestien tulokset. Liitteessä 5 on esitetty Seal-tech SBCtx -testerin testisykli ja mittavirta.

Taulukko 7. Seal-tech SBCtx akkutestien tulokset.

	Napajännite (V)	CCA (A)	CCA mitattu (A)	CCA mitattu (%)	Kunto
Sznajder Silver	12,76	800	582	73	Vaihda akku
	12,35		526	66	Lataa + Testaa
	12,18		458	57	Lataa + Testaa
Bosch S3 022	13,02	330	292	88	Akku ok
	12,44		254	77	Lataa + Testaa
	12,24		208	63	Lataa + Testaa
Biltema AGM	13,02	760	925	122	Akku ok
	12,30		802	106	Hyvä + Lataa
	12,18		732	96	Hyvä + Lataa
Biltema EFB	13,06	560	752	134	Akku ok
	12,45		717	128	Akku ok
	12,15		661	118	Hyvä + Lataa

5.6 Quicklynks Ba101

Quicklynks Ba101 -testerin testisykli poikkeaa muista testereistä huomattavasti korkeammalla taajuudella. Testisyklin kokonaiskesto on kuitenkin samaa luokkaa kuin muilla. Virtapulsseja syötetään noin 4,6 sekuntia. Testisykli on

vertailtavista testereistä yksinkertaisin. Testivirta on noin 1,1 A, eikä virtapuls-sien muoto muutu testin aikana.

Akkutestien tulokset on esitetty taulukossa 8. Testerin mukaan huonokuntoinen Sznajderin akku on vaihtokuntoinen kaikissa varaustiloissa. Täyteen varattuna Boschin akku on testerin mukaan hyvä, mutta sekä 12,4 V:n että 12,2 V:n varaustiloissa testeri käskee vaihtamaan akun. AGM-akusta mitatut kylmäkäynnistysvirrat ovat suuria suhteutettuna nimelliskylmäkäynnistysvirtaan, vaikka teste-ristä oli valittavissa akkutyypiksi AGM. Testeri kuitenkin tunnistaa akun hyvä-kuntoiseksi kaikissa varaustiloissa. EFB-akusta mitatut kylmäkäynnistysvirrat ovat kaikissa varaustiloissa yli akun nimelliskylmäkäynnistysvirran. Kuitenkin vertailussa olleista testereistä Quicklynksin mittaamat kylmäkäynnistysvirrat ovat lähimpänä akun nimelliskylmäkäynnistysvirran arvoa. Testeri tunnistaa akun kaikissa varaustiloissa hyväkuntoiseksi. Sekä 12,4 V:n että 12,2 V:n varaustiloissa testeri käskee varaamaan akun. Testisykli ja mittavirta on esitetty liitteessä 6.

Taulukko 8. Quicklynks Ba101 -akkutestien tulokset.

	Napajännite (V)	CCA (A)	CCA mi-tattu (A)	CCA mi-tattu (%)	Kunto
Sznaj-der Silver	12,75	800	610	76	Vaihda akku
	12,40		545	68	Vaihda akku
	12,26		470	59	Vaihda akku
Bosch S3 022	13,13	330	295	89	Akku ok
	12,49		260	79	Vaihda akku
	12,23		216	65	Vaihda akku
Biltema AGM	13,09	760	815	107	Akku ok
	12,34		695	91	Hyvä/Varat-tava

	Napajännite (V)	CCA (A)	CCA mitattu (A)	CCA mitattu (%)	Kunto
	12,15		630	83	Hyvä/Varattava
Biltema EFB	13,04	560	655	117	Akku ok
	12,43		620	111	Hyvä/Varattava
	12,20		570	102	Hyvä/Varattava

6 Tuloksien analysointi

6.1 Testivirrat

Testereistä mitatuista testivirroista huomataan, että testereiden käyttämät virrat ovat useammat lähes samansuuruisia, noin 1,1 A:n luokkaa. Poikkeuksena tästä ovat vertailtavista testereistä vanhin Boschin Bat 121 ja Seal-tech SBCtx. Virran suuruuden lisäksi Bat 121 eroaa muista myös testin sen osalta, että kyseinen testeri käyttää kahta erisuuruista testivirtaa ja testisykli on myös huomattavasti muita vertailtavia laitteita lyhyempi. Seal-tech SBCtx -testerissä testivirta on suuruudeltaan vain noin 500 mA.

Kaikissa testereissä testivirtojen muoto ja pulssitukset ovat erilaisia. Bat 121 -testerin testivirta on hyvin yksinkertaista kanttiaaltoa kahtena eri suuruisena virtana. Samoin on myös uudemmassa Bat 131- sekä Quicklynks Ba101 -testerissä. Näissä kahdessa taajuus on kuitenkin suurempi. Lisäksi virran suuruus pysyy koko ajan samana. Seal-tech SBCtx- sekä Midtronics EXP-717 -testeri eroavat muista testivirtojen pulssituksen osalta. Seal-techissä virta alkaa pienistä pulsseista, joista se kasvaa hiljalleen täysikokoisiksi pulsseiksi. Midtronicista taas on selvästi huomattavissa, että virtapulssit tulevat kolmen hieman erilaisen pulssin sarjoissa.

6.2 Testisyklin taajuus ja muutokset testisyklin kestossa

Testisyklin taajuus on suurimmassa osassa testereistä 80–100 Hz. Tämän taajuuden pitäisi olla optimaalinen kyseisten konduktanssimenetelmällä toimivien akkutestereiden toiminnassa, kuten aikaisemmin luvussa 3.4.1 on todettu.

Quicklynks Ba101- ja Bosch Bat 121 -testerissä testisyklin taajuus erosi muista testereistä huomattavasti. Ba101 -testerin taajuus oli noin 200 Hz, kun taas Bat 121 -testerin taajuus oli vain noin 40 Hz.

Testisyklien kestot eivät juurikaan muuttuneet testattavan akun akkutyypin tai varaustilan vaikutuksesta. Poikkeuksena olivat Bat 121- ja Quicklynksin testeri. Bat 121:n testisykli AGM-akulle oli kaikissa kolmessa varaustilassa noin 200 ms lyhyempi kuin muiden akkujen testit. Quicklynksin testisyklin oskilloskooppimitauksista voidaan huomata, että se on lähes sekunnin lyhyempi täyteen varatuille akuille. Tämä huomio tehtiin kaikkien testattujen akkujen osalta. Muilla testereillä testisyklissä ei havaittu merkittäviä muutoksia.

6.3 AGM- ja EFB-akkujen testaaminen

Kaikkien testereiden osalta voidaan huomata EFB-akuista mitattujen kylmäkäynnistysvirtojen olevan suuria. Mitatut virrat ylittävät useammassa varaustilassa jopa akun nimelliskylmäkäynnistysvirran. Tämä huomio voidaan tehdä kaikkien vertailtavien testereiden kohdalla. Testattaessa EFB-akkua Bat 121 -testerillä testeri ei selvästikään pysty suorittamaan testiä EFB-akulle loogisesti. Mitattu kylmäkäynnistysvirta eroaa vain 7 % täyteen varatun ja 12,2 V:n varaustilaan puretun akun välillä. Muilla testereillä ero on noin 20 %. Mitatut kylmäkäynnistysvirrat EFB-akuille olivat lähimpänä akun nimelliskylmäkäynnistysvirtaa Quicklynksin testituloksissa.

AGM-akuille lähes kaikki testerit näyttivät huomattavan suuria kylmäkäynnistysvirtoja. AGM-akun testeistä Bat 131:n mitaamat kylmäkäynnistysvirrat olivat lähimpänä akun nimelliskylmäkäynnistysvirtaa. Testien perusteella voidaan

todeta, että AGM- sekä EFB-akkujen kunnan määrittäminen on kyseenalaista, mikäli ei ole käytössä testeriä, josta testattavan akun tyyppi voidaan valita.

7 Yhteenveto

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää digitaalisen akkutesterin toimintaperiaate sekä verrata erilaisten testerien toimintaa ja ominaisuuksia. Työssä vertailtiin viittä erilaista akkutesteriä. Vertailussa oli korjaamokäytössä olevien laitteiden lisäksi mukana myös edullisempi normaalien kuluttajien käyttöön suunnattu testeri. Testattaviksi akuiksi valittiin kaksi käytöstä poistettua akkua ja kaksi uutta akkua. Uudet akut olivat toinen tyypiltään AGM-akku ja toinen EFB-akku. Käytöstä poistetut akut valittiin, sillä niiden tiedettiin jo ennalta olevan elinkaarensa päässä. Tositilanteissa akut ovat useimmiten jo käytettyjä, ja testerin tehtävä on tunnistaa, onko akku vielä käyttökelpoinen. Testerien vertailua helpotti, että kyseisten akkujen tiedettiin jo etukäteen olevan huonokuntoisia ja osattiin odottaa testerin määrittelevän ne huonokuntoisiksi. AGM- ja EFB-akut valittiin, sillä kaikissa testereissä ei ole mahdollisuutta valita erikseen testattavan akun tyyppiä. Näin pyrittiin selvittämään miten näiden akkujen testitulokset eroavat, mikäli testeristä voidaan valita testattavalle akulle oikea akkutyyppi.

Tarkoituksena oli luoda tutkimus, josta selviää kyseisten akkutesterien toimintatapa sekä suorittaa vertailu, josta selviää erilaisten testerien kyky erottaa eri varaustilassa olevia akkuja. Työtä tehdessä selvisi, että kyseisten laitteiden datalehdet eivät ole julkisessa levityksessä olevia dokumentteja. Tiedon saaminen myös suoraan valmistajalta osoittautui vaikeaksi. Tietyt tiedot testerien toiminnasta sekä testereihin määritellyt konduktanssiprofiilit ovat valmistajien salaista tietoa.

Testien perusteella huomattiin, että vaikka testerien tulokset ovat pääasiassa johdonmukaisia, oli joukossa pari hyvin ristiriitaista tulosta. Vertailussa ei ilmenyt radikaalia eroa eri testerien välille, vaan testerien kirjalliset selostukset eri varaustiloissa olevien akkujen kunnossa olivat hyvin samanlaisia. Merkittävin ero ilmeni Boschin akkua testattaessa. Akku oli kaikkien testereiden mukaan

täyteen varattuna hyväkuntoinen. Muissa varaustiloissa Quicklynksin testerin mukaan akku oli vaihtokuntoinen, mutta muut testerit määrittivät akun vielä hyväkuntoiseksi. Saman akun kohdalla Bat 131 -testerin akkutestin tulokset olivat hyvin ristiriitaisia. Täyteen varattuna akku oli testerin mukaan hyvä ja 12,4 V:n varaustilassa vaihtokuntoinen. 12,2 V:n varaustilassa akku oli testerin mukaan jälleen hyväkuntoinen mutta vain varauksen tarpeessa. Johtopäätöksenä voidaan todeta, ettei tällaisilla testereillä voida tehdä täysin varmaa päätelmää akun kunnosta, mutta niiden perusteella pystytään arviomaan akun kuntoa kohtuullisen hyvin. Testituloksiin voi tulla eroa riippuen akun varaustilasta. Tuloksista voidaan lisäksi huomata, että muita testereitä huomattavasti halvempi kuluttajien käyttöön suunnattu testeri antoi hyvinkin loogisia tuloksia. Quicklynks näytti tuomitsevan akut vaihtokuntoiseksi hieman muita testereitä herkemmin.

Lähteet

Alkuperäiset ohjeet Bat 131 – Akkutesteri.2019. Verkkoaineisto. Bosch. <http://mediathek.bosch-automotive.com/files/bosch_wa/989/131.pdf>. Päivitetty 2.3.2019. Luettu 27.10.2021.

Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics. 2007. E-kirja. Robert Bosch GmbH .

BU-201: How does the Lead Acid Battery Work. Verkkoaineisto. Battery University. <<https://batteryuniversity.com/article/bu-201-how-does-the-lead-acid-battery-work>>. Päivitetty 21.10.2021. Luettu 28.10.2021.

BU-201a: Absorbent Glass Mat. Verkkoaineisto. Battery University. <<https://batteryuniversity.com/article/bu-201a-absorbent-glass-mat-agm>>. Päivitetty 21.2.2021. Luettu 8.11.2021.

BU-902: How to Measure Internal Resistance. Verkkoaineisto. Battery University. <<https://batteryuniversity.com/article/bu-902-how-to-measure-internal-resistance>>. Päivitetty 4.11.2021. Luettu 30.11.2021

BU-903: How to Measure State-of-charge. Verkkoaineisto. Battery University. <<https://batteryuniversity.com/article/bu-903-how-to-measure-state-of-charge>>. Päivitetty 4.11.2021. Luettu 10.11.2021.

Buchmann, Isidor. 2004. Does internal resistance reveal battery capacity? Rapid-test methods for stationary and automotive batteries. Batteries International, s. 82–85.

Car battery testing instruction. Verkkoaineisto. Batteryworld, varta-automotive. <<https://batteryworld.varta-automotive.com/en-gb/battery-test-car>>. Luettu 26.10.2021.

- Chung, Hsien-Ching. 2021. Charge and discharge profiles of repurposed LiFePO_4 batteries based on the UL 1974 standard. *Scientific Data*. Vol. 8, s. 1–12.
- Garche, Jürgen; Karden, Eckhard; Moseley, Patrick & Rand, David. 2017. *Lead-Acid Batteries for Future Automobiles*. E-Kirja. Elsevier.
- Juhala, Matti; Lehtinen, Arto; Suominen, Matti & Tammi, Kari. 2005 *Moottorialan sähköoppi*. Helsinki: Suomen Autoteknillinen liitto Ry.
- Jung, Joey; Zhang, Lei & Zhang, Jiunjun. 2016. *Lead-Acid Battery Technologies: Fundamentals, Materials and Application*. E-kirja. CRC Press.
- Lead-acid Battery Handbook, Facilitating Accurate Measurement of Lead-acid Batteries*. 2020. E-kirja. Hioki E.E. Corporation.
- Linden, David & Reddy, Thomas B. 2002. *Handbook Of Batteries*. New York: Mc Graw-Hill.
- Meena, Neetu; Baharwani, Vishakha; Sharma, Deepak; Sharma, Arvind; Choudhary, Bishnu; Parmar, Piyush & Stephen, Ritchie B. Charging and discharging characteristics of Lead acid and Li-ion batteries. Verkkoaineisto. <https://www.researchgate.net/publication/269308977_Charging_and_discharging_characteristics_of_Lead_acid_and_Li-ion_batteries>. 13.4.2014. Luettu 20.10.2021.
- Natarajan, Ramesh. Sulfation in Lead Acid Batteries – A phenomenon less understood!. Verkkoaineisto. <<https://www.linkedin.com/pulse/sulfation-lead-acid-batteries-phenomenon-less-ramesh-natarajan>>. 13.1.2021. Luettu 20.10.2021.
- Nieminen, Simo. 2008. *Auton sähkölaitteet*. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit.

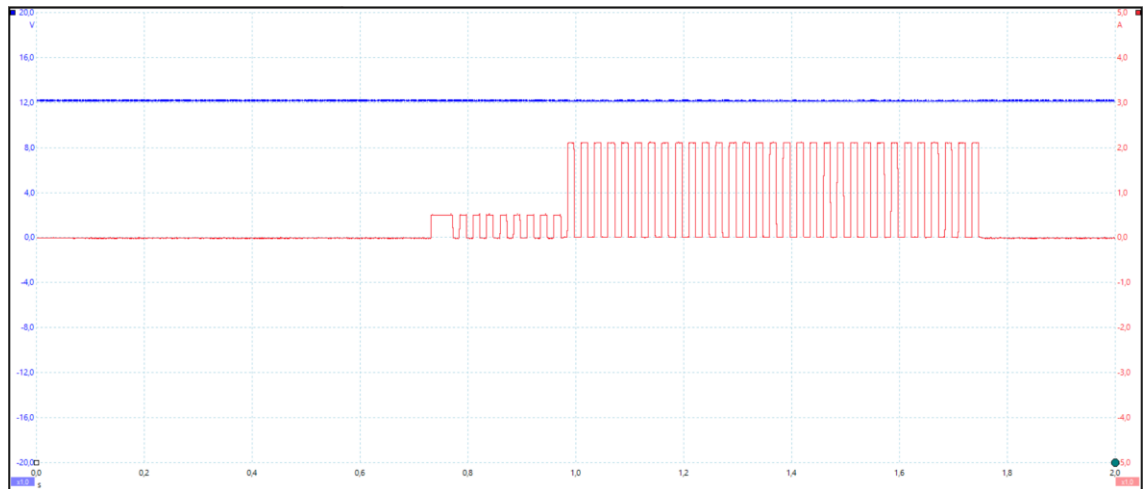
Weal, Emily & Kumar Vasant, R. 2013. Verkkoaineisto. Lead/acid batteries. University of Cambridge. Verkkoaineisto. <https://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/batteries/batteries_lead_acid.php>. Luettu 14.10.2021.

Testausjärjestelyn havainnekuva



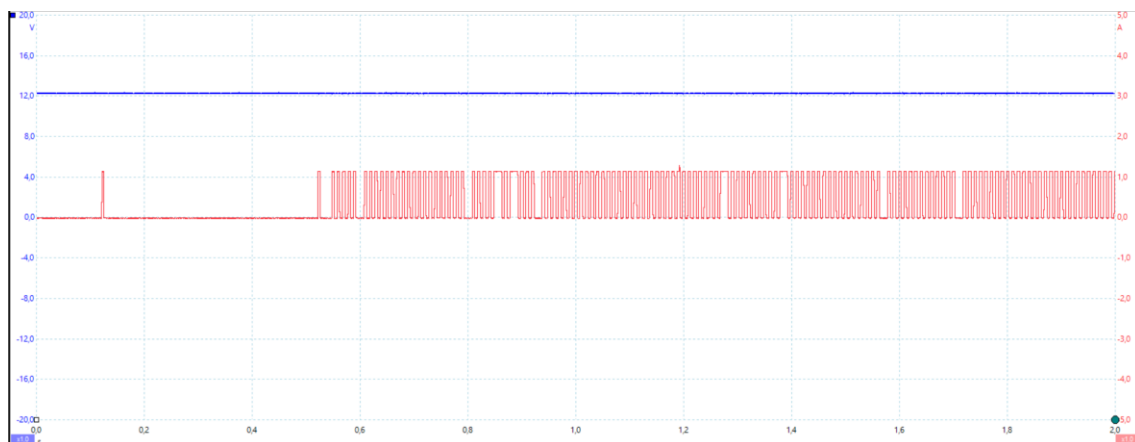
Kuva 1. Testausjärjestely.

Bosch Bat 121:n testisykli ja mittavirta

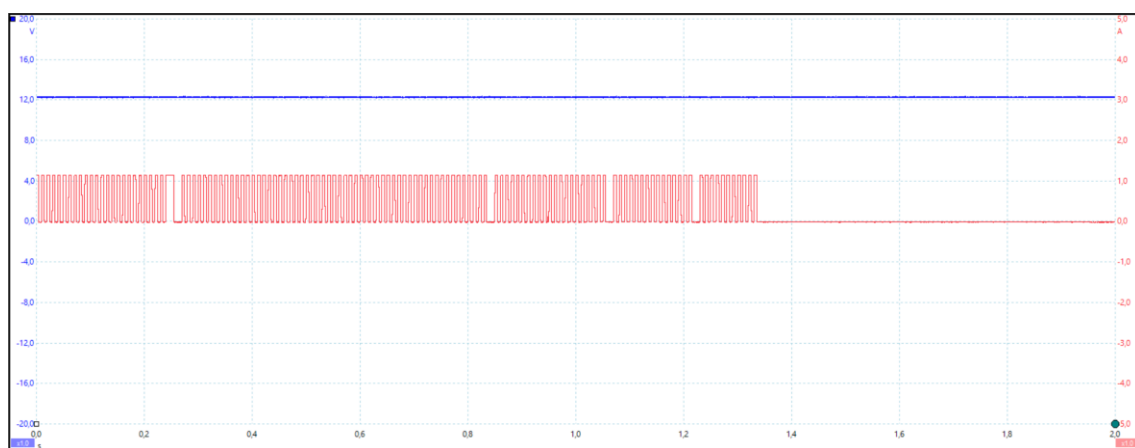


Kuva 1. Bat 121 -testerin testisykli ja mittavirta.

Bosch Bat 131:n testisykli ja mittavirta

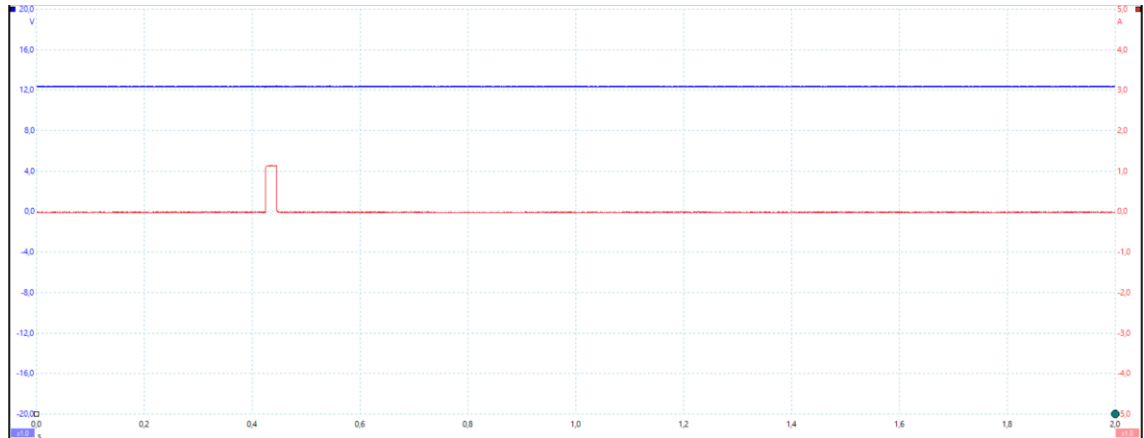


Kuva 1. Bat 131 -testerin testisykli ja mittavirta.

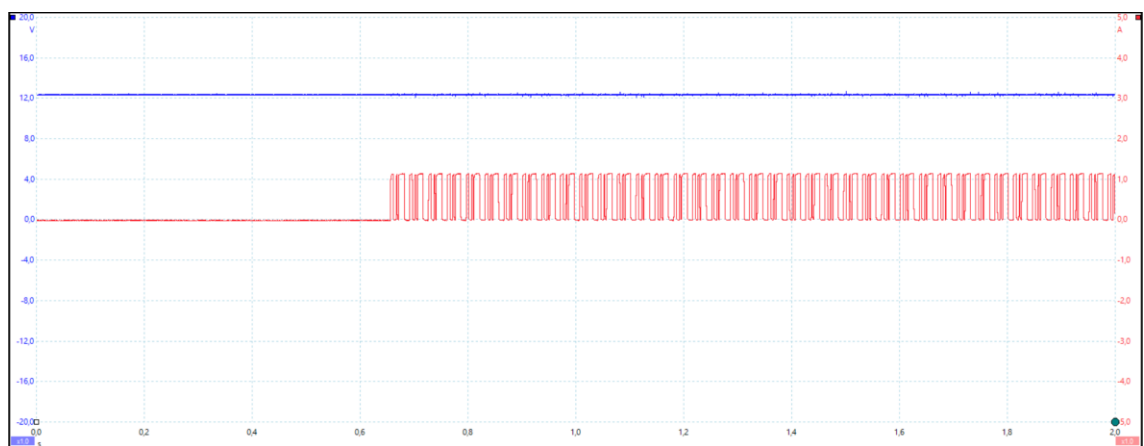


Kuva 2. Bat 131 -testerin testisykli ja mittavirta.

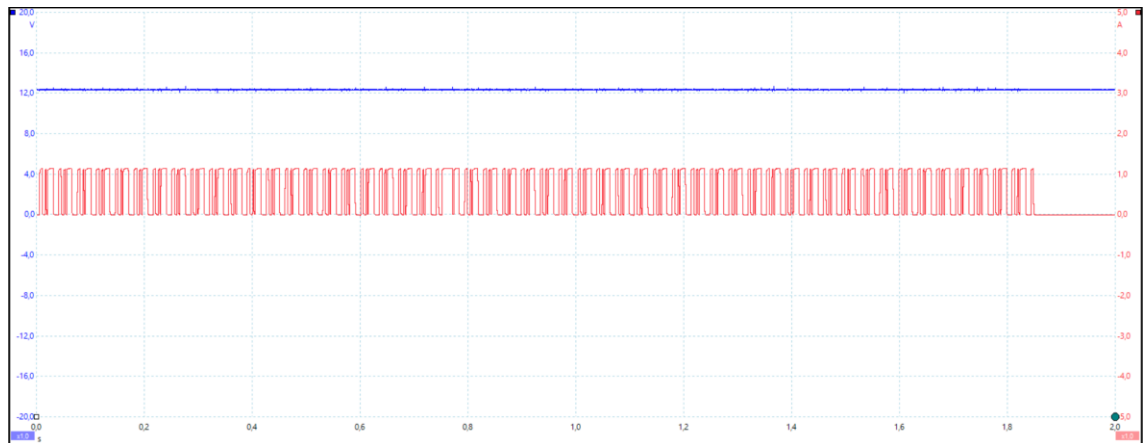
Midtronics EXP-717:n testisykli ja mittavirta



Kuva 1. Midtronics EXP-717 -testerin testisykli ja mittavirta 1.

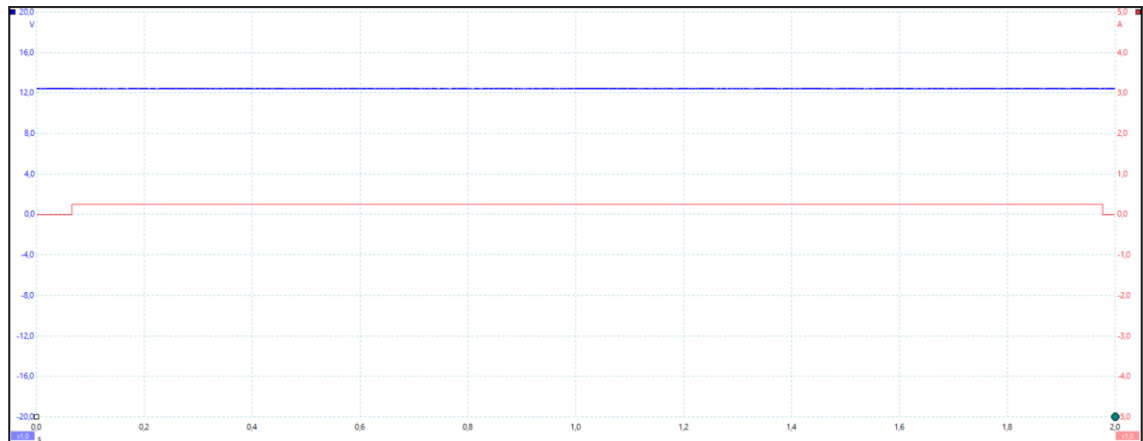


Kuva 2. Midtronics EXP-717 -testerin testisykli ja mittavirta 2.

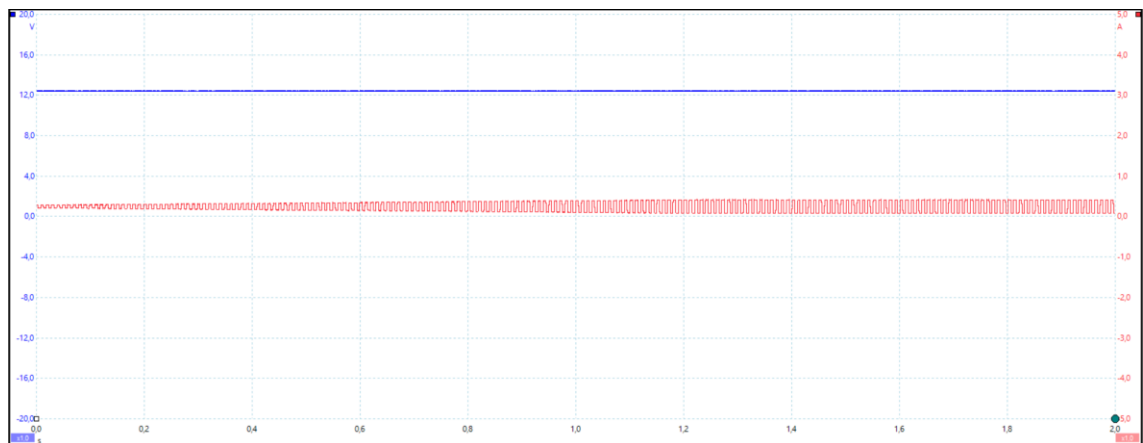


Kuva 3 Midtronics EXP-717 -testerin testisykli ja mittavirta 3

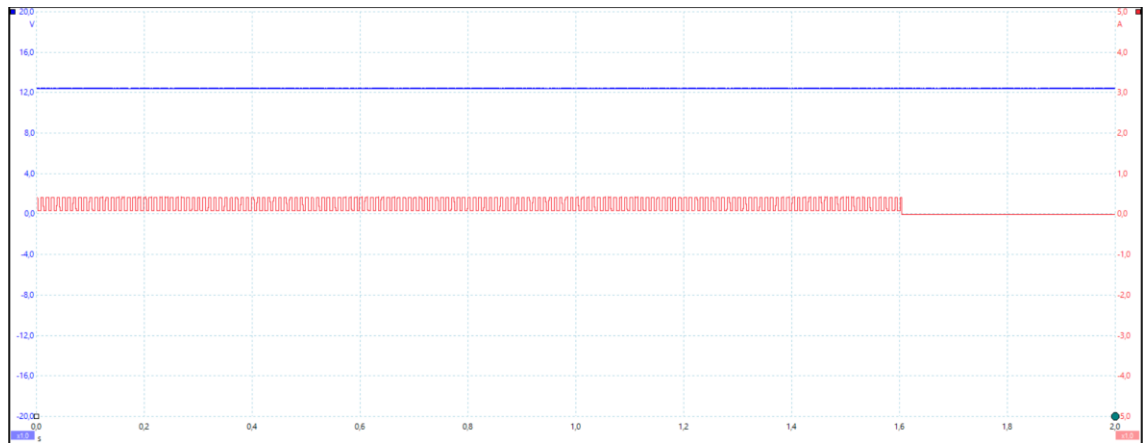
Seal-tech SBCtx:n testisykli ja mittavirta



Kuva 1. Seal-tech SBCtx -testerin testisykli ja mittavirta 1.

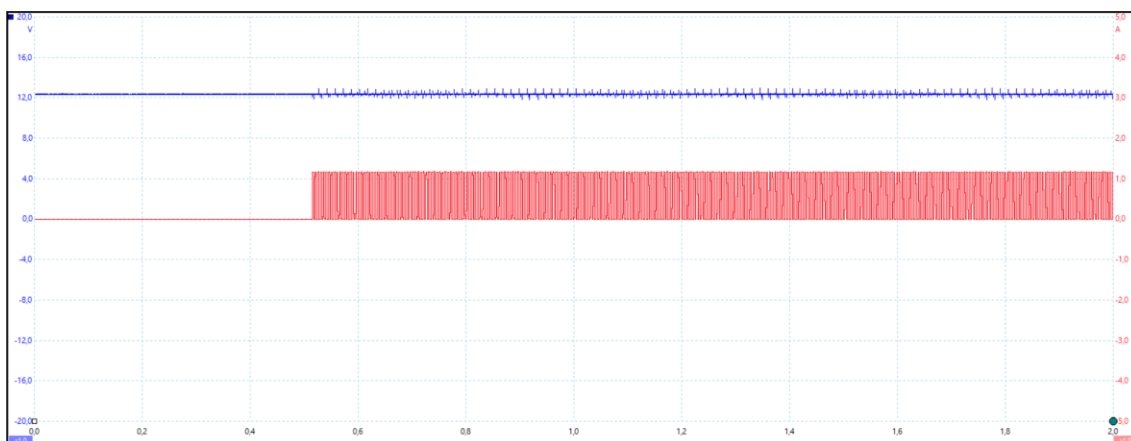


Kuva 2. Seal-tech SBCtx -testerin testisykli ja mittavirta 2.

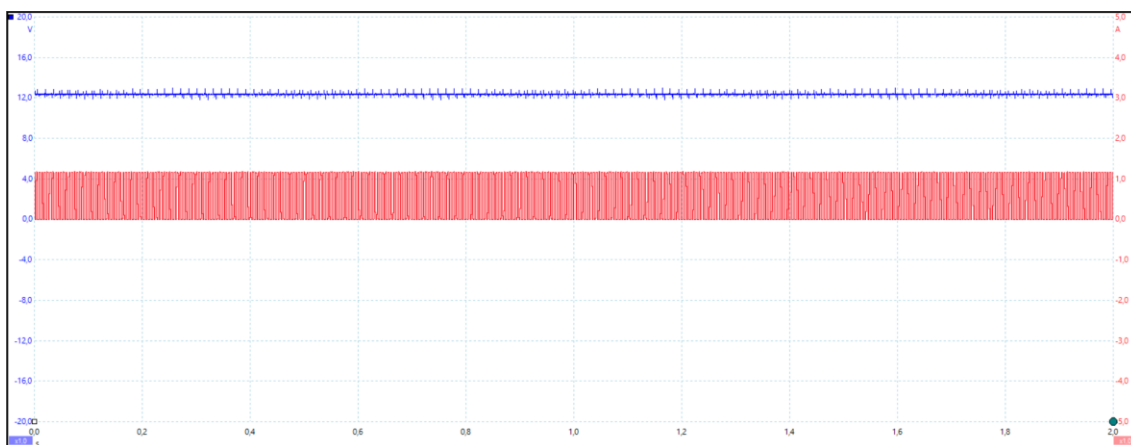


Kuva 3 Seal-tech SBCtx -testerin testisykli ja mittavirta 3

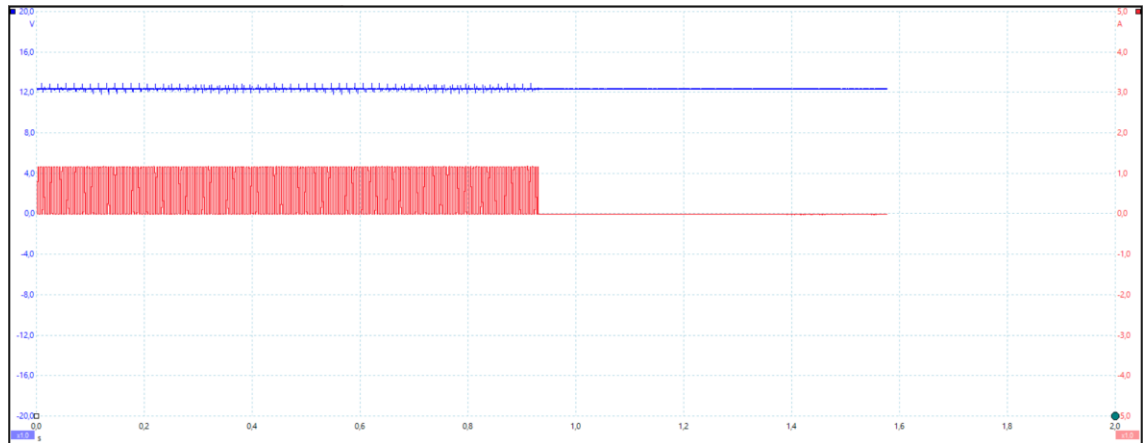
Quicklynks Ba101:n testisykli ja mittavirta



Kuva 1. Quicklynks Ba101 -testerin testisykli ja mittavirta 1.



Kuva 2. Quicklynks Ba101 -testerin testisykli ja mittavirta 2.



Kuva 3. Quicklynks Ba101 -testerin testisykli ja mittavirta 3.