



Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Satakunta University of Applied Sciences

MATIAS AERIKKALA

# **Akuston kunnonvalvontajärjestelmän uusiminen**

SÄHKÖ- JA AUTOMAATIOTEKNIIKAN  
TUTKINTO-OHJELMA  
2024

## TIIVISTELMÄ

Aerikkala, Matias: Akuston kunnonvalvontajärjestelmän uusiminen  
Opinnäytetyö, AMK  
Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Helmikuu 2024  
Sivumäärä: 59

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli uudistaa OL1- ja OL2-ydinvoimalaitosyksiköiden akustojen kunnonvalvontajärjestelmä sen ikääntymisen vuoksi. Työn tilaajan toimi Teollisuuden Voima Oyj. Vanha järjestelmä koostui TMC 2001d-akumittarista, TMC95-tietokannasta ja Anton Paar DMA35N-ominaispainomittarista. Työn tavoitteena oli myös käydä läpi akuston kunnonvalvonnan erilaisia menetelmiä, ja perehtyä uuden järjestelmän vaatimuksiin, sekä akustoille suoritettaviin mittauksiin ja tarkastuksiin.

Työ aloitettiin perehtymällä käytössä olleeseen vanhaan järjestelmään, laitosalueella suoritettaviin mittauksiin ja käymällä läpi nykyisen järjestelmän ongelmat. Perehtymisen jälkeen luotiin tilaajan kanssa vaatimukset uudelle järjestelmälle, ja etsittiin mahdollisia korvaajia vanhan järjestelmän tilalle. Etsintä suoritettiin aluksi tiedonhaun kautta, jonka jälkeen valittiin parhaat vaihtoehdot tarkempaan vertailuun. Osaa järjestelmävaihtoehdoista päästiin koekäyttämään ja valintaan vaikuttivat mittarien ja tietokantojen toiminnot, sekä omat kokemukset koekäytöistä.

Työn lopputuloksena saatiin laitoksille uusi akuston kunnonvalvontajärjestelmä Gossen Metrawattilta, johon sisältyy Metracell Bt Pro-mittari, ja sen tietokanta BT Pro Manager. Lisäksi vanhan ominaispainomittarin tilalle hankittiin uudempi malli DMA35 Basic, joka on mahdollista yhdistää Metracell Bt Pro:hon. Järjestelmää käyttävät sähkökunnossapitoasentajat koulutettiin luo-tujen käyttöohjeiden ja annetun perehdytyksen avulla.

Avainsanat: Akusto, kunnonvalvonta, kunnossapito, ydinvoima

## Abstract

Aerikkala, Matias: Renewal of the battery condition monitoring system  
Bachelor's thesis, University of Applied Sciences  
Electrical and Automation Engineering  
February 2024  
Number of pages: 59

The purpose of this thesis was to renew battery monitoring system of OL1-, and OL2-nuclear power units due to aging. The client of the thesis was Teollisuuden Voima Oyj. Old system consisted of TMC 2001d-battery tester, TMC95-database, and Anton Paar DMA35N-density meter. The purpose was also to go through different methods of battery monitoring, and to familiarize with demands for the new system, and the measurements and inspections performed for the batteries.

Thesis was started with familiarizing with the old system and performed measurements in the power plant area and going through the problems with the old system. After this, demands for the new system were established together with the client, and substituent systems for the old system were researched. First the research was carried out by information retrieval, and after that the best options were chosen for the more precise comparison. Testing was performed for a part of the options, and the final choice was based on the functions of the battery tester, database, and the testing experience.

As a result, a new battery monitoring system was obtained for the power plants from Gossen Metrawatt. The new system consists of Metracell BT Pro-battery tester, and BT Pro Manager-database. Old density meter was replaced with Anton Paar DMA35 Basic, which is possible to connect with Metracell BT Pro. The electrical maintenance technicians using the system were trained by creating instructions and giving familiarization.

Keywords: Battery, condition monitoring, maintenance, nuclear

## ALKUSANAT

Haluan esittää kiitokset Teollisuuden Voima Oyj:lle, ja varsinkin OL1- ja OL2-laitosyksiköiden sähkökunnossapidon jäsenille, jotka ovat olleet apuna tätä opinnäytetyötä tehdessä. Olen toiminut kyseisessä kunnossapitotiimissä kolmena kesänä, sekä nyt suoritettuna opinnäytetyön aikana, ja tiimin jäsenien avulla olen kartuttanut omia tietojani ja taitojani monella eri osa-alueella.

# SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	8
2 TEOLLISUUDEN VOIMA OYJ .....	9
2.1 Laitosyksiköt.....	9
2.1.1 Olkiluoto 1 ja Olkiluoto 2 .....	9
2.1.2 Olkiluoto 3.....	10
3 LAITOSTEN AKUT JA AKKUTYYPIT .....	11
3.1 Akustojen käyttötarkoitus.....	11
3.2 Akustojärjestelmän rakenne ja käytetyt akkutyytit .....	12
3.2.1 Vesiakku .....	13
3.2.2 Geeliakku.....	14
3.3 Laitepaikkatunnus .....	15
4 AKUSTON KUNNONVALVONTA.....	17
4.1 Visuaalinen tarkastus .....	18
4.2 Suoritettavat mittaukset kestovarauksessa .....	18
4.2.1 Kennojännitemittaus .....	18
4.2.2 Konduktanssimittaus.....	19
4.3 Kuormituskokeet ja mittaukset.....	20
4.3.1 Ylimenojännite .....	21
4.3.2 Virtamittaus.....	21
4.3.3 Ominaispainomittaus .....	22
5 NYKYINEN JÄRJESTELMÄ .....	23
5.1 Akkumittari TMC 2001d.....	23
5.2 Tietokanta TMC95.....	24
5.3 Ominaispainomittari DMA35N .....	25
5.4 Ongelmakohdat .....	26
6 UUDEN JÄRJESTELMÄN VAATIMUKSET .....	26
6.1 Mittarin vaatimukset.....	26
6.2 Tietokannan vaatimukset.....	28
6.3 Ominaispainomittarin vaatimukset.....	29
7 JÄRJESTELMÄVAIHTOEHTOJEN VERTAILU .....	30
7.1 Fluke BT500-sarja .....	30
7.2 Gossen Metrawatt Metracell BT Pro.....	31
7.3 Megger Bite 5 .....	33
7.4 Kiinteä valvontajärjestelmä.....	33
8 UUDEN JÄRJESTELMÄN VALINTA .....	34

8.1 Valintaperusteet .....	34
8.2 Valinnan lopputulos .....	35
9 JÄRJESTELMÄN KÄYTTÖÖNOTTO .....	36
9.1 Asennustyöt.....	36
9.2 Akustojen tietojen luominen.....	37
9.2.1 Akkukohtaiset arvot .....	38
9.2.2 Akustokohtaiset arvot .....	39
9.3 Mittarin käyttöönotto .....	41
9.4 Tulosten siirto ja tarkastelu.....	42
9.5 Käyttöohjeiden luonti .....	46
9.6 Ominaispainomittarin käyttöönotto .....	47
9.7 Uuden järjestelmän hyvät ja huonot puolet.....	47
10 YHTEENVETO JA TAVOITTEISIIN PÄÄSY .....	49
LÄHTEET .....	51
LIITE 1: YLEISNÄKYMÄ MITTARIN MEASUREMENT-, JA DATA- VALIKOISTA.....	54
LIITE 2: YLEISNÄKYMÄ MITTARIN SETTINGS-, JA INFO-VALIKOISTA ..	55
LIITE 3: METRACELL BT PRO-MITTARIN MITTAUSTOIMINNOT .....	56
LIITE 4: RAPORTIN ENSIMMÄINEN SIVU .....	57
LIITE 5: RAPORTIN TOINEN SIVU .....	58
LIITE 6: RAPORTIN KOLMAS SIVU.....	59

## LYHENTEET

BWR = Boiling water reactor (Kiehutusvesireaktori)

EPR = European pressurized water reactor  
(eurooppalainen painevesireaktori)

IrDA = Infrared Data Association

KPA = Käytetty polttoaine

OL1 / OL2/ OL3 = Voimalaitosyksikkö Olkiluoto 1, 2 ja 3

OPzS = Avoin putkilevyrakenteinen vesiakku

OPzV = Suljettu putkilevyrakenteinen geeliakku

PWR = Pressurized water reactor (Painevesireaktori)

RFID = Radio frequency identification (Radiotaajuinen etätunnistus)

SBS = Static bypass switch (Staattinen ohituskytkin)

SQL = Structured Query Language (Rakenteinen kyselykieli)

TVO = Teollisuuden Voima Oyj

UPS = Uninterruptable power system (Katkeamaton tehonsyöttölähde)

VAC/UAC = Vaihtojännite

VDC/UDC = Tasajännite

VLJ = Voimalaitosjäte

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on parantaa OL1- ja OL2-ydinvoimalaitosyksiköiden akustojen kunnonvalvontaa. Laitoksilla käytössä oleva kunnonvalvontajärjestelmä on tarkoitus vaihtaa uuteen, sillä nykyisen järjestelmän korjaaminen ja päivittäminen on jo lähes mahdotonta sen ikääntymisen vuoksi. Tällä hetkellä käytössä on TMC2001d-jännitemittareita ja niiden tietokanta TMC95, joiden lisäksi on käytössä ominaispainomittari Anton Paar DMA35N.

Työssä perehdytään aluksi laitosten akkujen toimintaan, akustojen käyttötarkoituksiin, akuille suoritettaviin mittauksiin ja kunnonvalvontajärjestelmän tarkoitukseen. Lisäksi selvitetään vaatimukset, jotka uuden valvontajärjestelmän tulee täyttää. Tiedonhaku toteutetaan suurimmaksi osaksi internetistä ja yrityksen sisäisistä asiakirjoista tapahtuvan tiedonhaun perusteella.

Työn tavoitteena on löytää vaatimusten mukainen uusi kunnonvalvontajärjestelmä. Järjestelmän löytämisen jälkeen tavoitteena on asentaa ja käyttöönottaa järjestelmä, sekä perehdyttää ja kouluttaa laitosten akustojen kunnossapidosta vastaavat henkilöt. Tämä tapahtuu käyttöohjeiden ja käytännössä tapahtuvan ohjeistuksen avulla.

Tässä tutkimuksessa keskitytään vertailemaan eri laitteiden ja laitteistojen teknisiä ominaisuuksia. Kerätessä henkilöiden mielipiteitä ja tarpeita laitteista, ei kerätä henkilötietoja, ja tutkittavilta on kysytty suostumus haastatteluun. Tutkimuksessa mukana olleille henkilöille ei esitetä voimakkaita kysymyksiä. Kaikki kerättävä tieto käsitellään anonyymisti ja luottamuksella ilman henkilötietoja keskittyen teknisiin ominaisuuksiin. Tutkimuksessa mukana oleviin henkilöihin pyritään luomaan luottamuksellinen suhde. (Tutkimuseettinen neuvottelukunta, 2019.)



## 2 TEOLLISUUDEN VOIMA OYJ

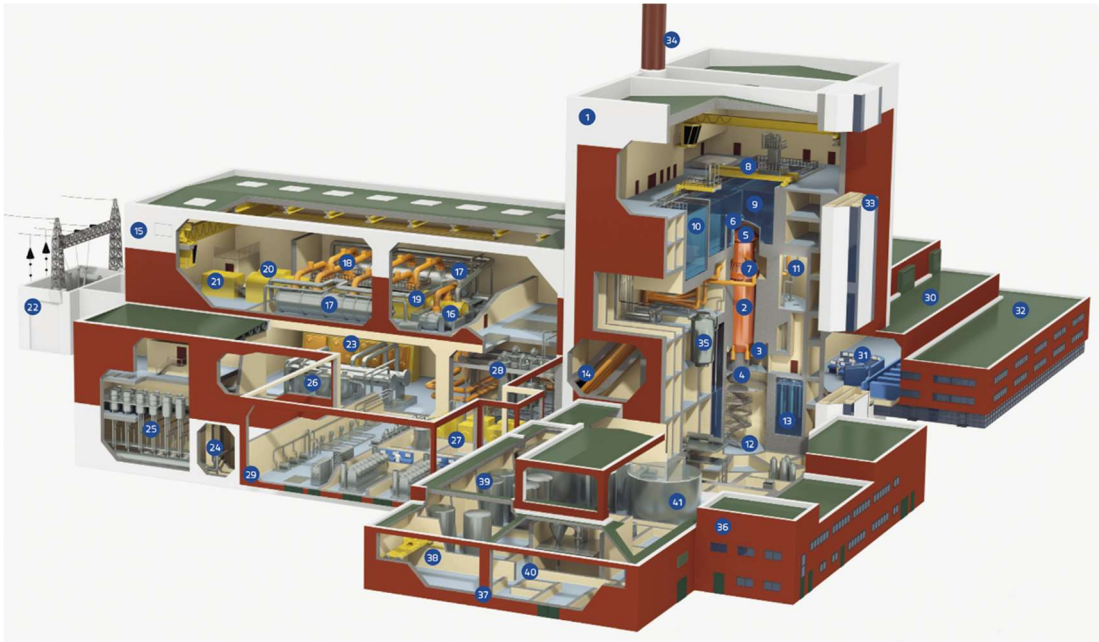
Teollisuuden Voima Oyj (TVO) on 1969 perustettu ydinvoimaa tuottava listamaton osakeyhtiö. Yhtiö tuottaa sähköä omistajilleen omakustannehintaan. TVO:n suurin omistaja on Pohjolan Voima Oy, joka omistaa yhtiöstä 58,5 %. Muita omistajia ovat EPV Energia Oy, Fortum Power and Heat Oy, Kemira Oyj ja Oy Mankala Ab. Teollisuuden Voima-konserniin kuuluvat myös tytäryhtiö TVO Nuclear Services Oy (TVONS) ja ydinjätehuoltoyhtiö Posiva Oy, joista TVONS on kokonaan TVO:n omistama. Posivan omistajat ovat TVO ja Fortum, josta 60 % omistusosuus kuuluu TVO:lle. (Teollisuuden Voima Oyj, n.d.-a.)

### 2.1 Laitosyksiköt

TVO:lla on kolme käytössä olevaa ydinvoimalaitosyksikköä Olkiluodossa Eurajoella. Laitosyksiköistä kaksi vanhinta ovat olleet käytössä jo yli 40 vuotta, ja uusin laitosyksikkö on ollut vakituiseissa käytössä vuoden 2023 keväästä asti. OL3-laitoksen avulla Suomen päästöttömän sähkötuotannon osuus on jo 93 %, ja Olkiluodosta tulee jo 30 % koko Suomen sähköntuotannosta. (Teollisuuden Voima Oyj, n.d.-b)

#### 2.1.1 Olkiluoto 1 ja Olkiluoto 2

OL1 ja OL2 (Kuva 1) ovat kiehutusvesireaktoreita (BWR). Ensimmäisen laitoksen rakentaminen aloitettiin 1974, ja se kytkettiin valtakunnalliseen verkkoon 2.9.1978. OL2-laitosyksikön rakennustyöt alkoivat 1975, ja sen liittäminen verkkoon tapahtui 18.2.1980. Molemmat laitokset ovat lähes identtisiä, muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta. Molemmat reaktorit ovat ASEA-Atomin (nykyisin Westinghouse) valmistamia. Molempien laitosten nettoteho on nostettu asteittain alkuperäisestä 660 MW:sta nykyiseen 890 MW:iin. (Teollisuuden Voima Oyj, 2007.)



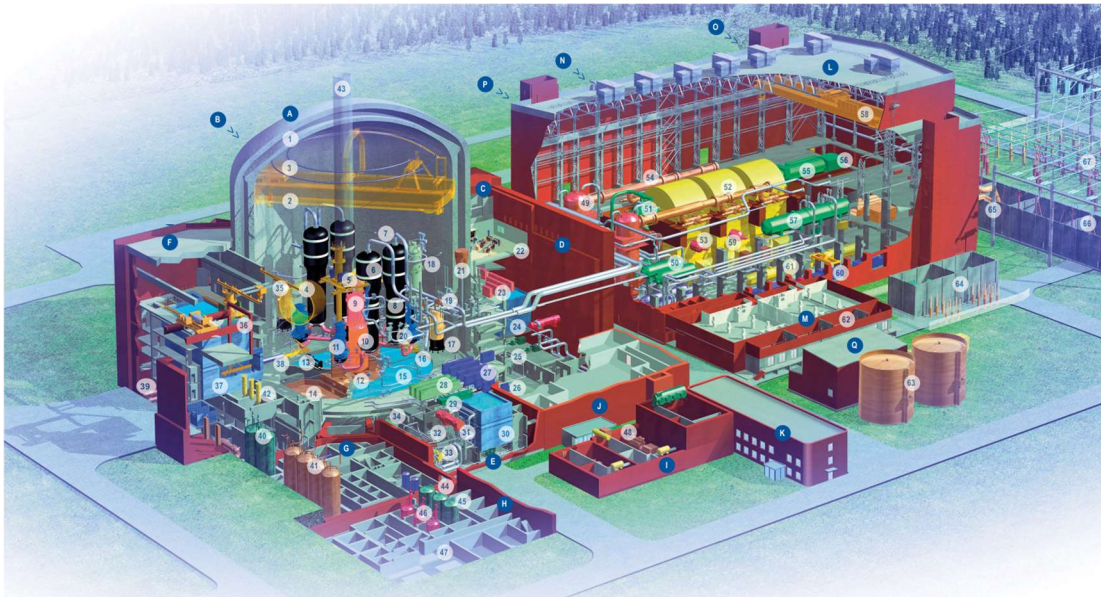
Kuva 1: Halkileikkaus Olkiluoto 1 ja Olkiluoto 2-laitosyksiköistä. (Teollisuuden Voima Oyj, 2007)

### 2.1.2 Olkiluoto 3

TVO:n kolmas reaktori, ranskalaisen Arevan rakennuttama OL3 (Kuva 2) on eurooppalainen painevesireaktori (EPR). Se on kolmannen sukupoven kiehu-  
tusvesireaktori (BWR), ja sen huipputeho on 1600 MW. OL3:n oli tarkoitus ra-  
kennustöiden alkaessa olla maailman ensimmäinen valmis EPR. (Teollisuu-  
den Voima Oyj, 2010)

Vuonna 2000, TVO haki periaatepäätöstä valtioneuvostolta painevesireaktorin rakentamiseen. Vaihtoehtoina oli kuusi erilaista reaktoryyppiä, sekä kaksi si-  
jaintivaihtoa, Loviisa tai Eurajoki. Periaatepäätös tuli valtioneuvostolta myön-  
teisenä tammikuussa 2002, josta se eteni eduskunnalle, jossa päätös hyväk-  
syttiin toukokuussa 2002 sellaisenaan. Saman vuoden syyskuussa TVO aloitti  
tarjouskilpailun reaktorin rakentamisesta. Vuonna 2003 TVO ilmoitti hake-  
vansa rakennuslupaa EPR-reaktorille Eurajoen Olkiluotoon. Kesäkuussa 2005  
rakennustyöt alkoivat, ja ydinvoimalaitosyksikön suunniteltu valmistumisvuosi  
oli 2009. Lukuisien viivästysten takia OL3:n säännöllinen sähköntuotanto alkoi  
vasta 16. huhtikuuta 2023. TVO haki vuonna 2008 periaatepäätöstä myös nel-  
jännelle ydinvoimalaitosyksikölle, mutta johtuen OL3-laitoksen

myöhästymisestä, TVO ilmoitti vuonna 2015 ettei se aio hakea rakennuslupaa. (Teollisuuden Voima Oyj, 2010.)



Kuva 2: OL3-laitoksen halkileikkaus (Teollisuuden Voima Oyj, 2009)

### 3 LAITOSTEN AKUT JA AKKUTYYPIT

#### 3.1 Akustojen käyttötarkoitus

OL1- ja OL2-laitosyksiköillä on useita tuhansia akkuja, jotka muodostavat eri tarkoituksiin käytettäviä akustoja. Akustojen on tarkoitus turvata laitosten toiminnan kannalta kriittisimpien laitteiden ja järjestelmien toiminta mahdollisissa hätätilanteissa, jolloin laitteistot eivät saa virtaa verkosta tai dieselgeneraattorilta. Akustojen kapasiteetit ja jännitteet ovat määritelty niiden laitteiden mukaan, joita akustot turvaavat.

OL1- ja OL2-laitosyksiköiden akustoihin kuuluvat myös laitosten ulkopuolella sijaitsevat akustot VLJ-luolassa, KPA-luolassa ja muualla ulkoalueilla. Akustojen tarkastuksista, korjauksista, asennuksista ja testauksista vastaavat OL1- ja OL2-laitosyksiköiden sähkökunnossapitotiimi KU3. Tiimin vastuulla on n.

100 akustoa, ja akkujen kokonaismäärä on n. 5000, jonka vuoksi kunnonvalvontajärjestelmän toimivuus on tärkeää.

### 3.2 Akustojärjestelmän rakenne ja käytetyt akkutyypit

Laitosyksiköillä akustoja on useassa eri järjestelmäkokonaisuudessa, ja akustot vaihtelevat jännitetasoiltaan ja kapasiteeteiltaan niiden käyttötarkoitusten mukaan. Järjestelmäkokonaisuuteen kuuluu useita komponentteja, kuten syöttömuuntajat, muuntajakatkaisijat, UPS-laitteet ja UPS-katkaisijat. Osa akustoista on turvaamassa tasajänniteverkossa olevia laitteita ja osa turvaa vaihtojänniteverkossa olevia laitteita. Tasajännite-, eli DC-verkkoa turvaavat akustot ovat nimellisjännitetasoiltaan 24, 48 ja 106 VDC. Vaihtojännite-, eli AC-verkkoa turvaavat akustot ovat nimellisjännitteeltään 216 VDC. Akustossa olevien akkujen määrä vaihtelee jännitetason mukaan.

AC-verkon järjestelmiin kuuluvat laitteet ja akustot saavat normaalitilanteessa syöttönsä UPS-laitteen kautta. UPS-laitteen tasasuuntaajat muuttavat vaihtojännitteen akustolle syötettäväksi tasajännitteeksi. Vikatilanteissa UPS-laitteen SBS-kytkin kääntää puolestaan järjestelmän syötön automaattisesti akustolta lähteväksi, jolloin vaihtosuuntaaja muuntaa akustolta tulevan tasajännitteen kolmivaiheiseksi vaihtojännitteeksi, jolloin akusto puolestaan syöttää järjestelmään kytkettyjä laitteita ja komponentteja. DC-puolen akustojen syöttö toimii samoin kuin AC-verkon akustojen, mutta vikatilanteissa syötön siirto tapahtuu tasasuuntaajan syöttökatkaisijan kautta.

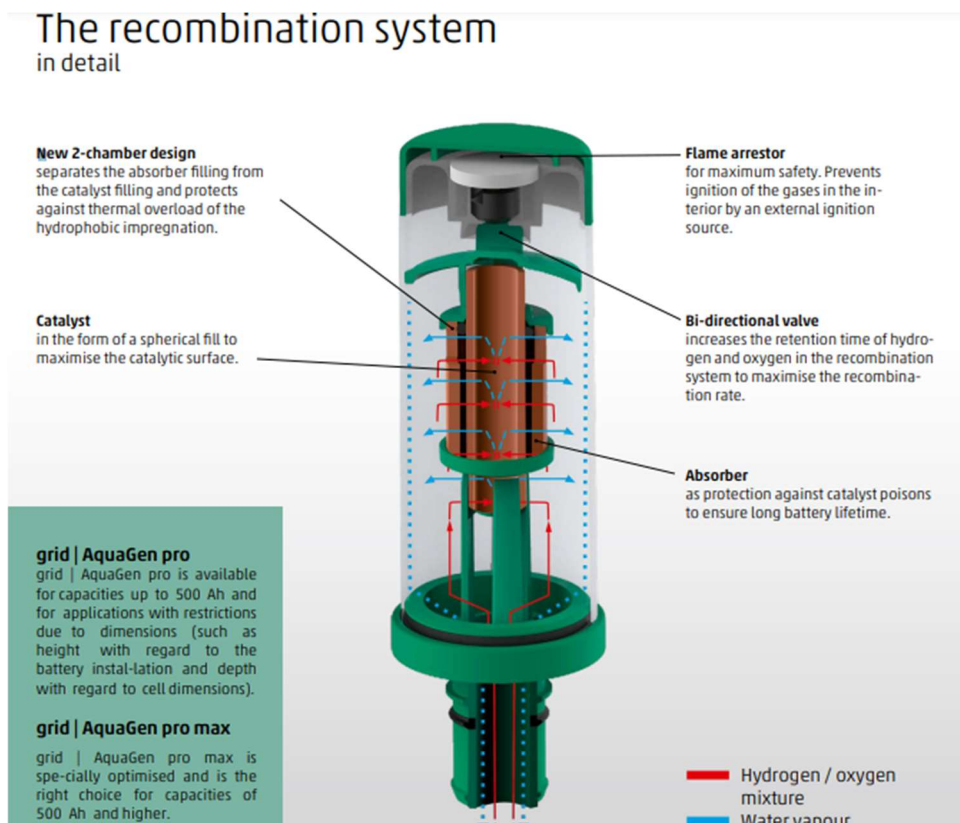
Akusto koostuu yksittäisistä paikallisakuista, ja niiden määrä vaihtelee vaaditun jännitetason ja kapasiteetin mukaan. Paikallisakulla tarkoitetaan kiinteästi asennettua akkua, jota ei ole tarkoitus siirrellä paikasta toiseen sen elinkaaren aikana. Akut ovat yleensä kytkettynä sarjaan, jolloin saadaan akuston kokonaisjännite nousemaan vaaditulle tasolle, ja joissakin tapauksissa samassa järjestelmässä on kaksi akustoa kytkettynä rinnan, jolloin tuplataan akuston kapasiteetti, jännitteen pysyessä samana. (SFS-EN IEC 62485-2:2018, 2018, s.10)

### 3.2.1 Vesiakku

Suurin osa laitossyksiköiden akuista on OPzS-lyijyakkuja eli avoimia putkilevy-akkuja. Lyhenne OPzS muodostuu saksan kielen sanoista Ortsfest (stationary), PanZerplatte (tubular plate) ja Flüssig (flooded). Avoimia lyijyakkuja kutsutaan myös vesiakuiksi tai märiksi akuiksi, sillä niissä on korkkina toimiva rekombinaatiojärjestelmä, jonka irrottamalla veden lisääminen akkuun on mahdollista. Veden lisäämistarvetta seurataan aina mittausten yhteydessä. Lyijyakkujen kennojännite on 2 V, ja yksittäisen akun kokonaisjännite muodostuu sen kennojen määrästä. Laitosten akut ovat suurimmaksi osaksi yksikennoisia, muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta. Akkujen kapasiteetit vaihtelevat laitoksilla n. 100 Ah–900 Ah välillä. (Solarkobo, 2020.)

Lyijyakun rakenne koostuu positiivisista putkimaisista lyijylevyistä, negatiivisesta litteästä lyijylevystä, sekä elektrolyytistä. Elektrolyytti koostuu rikkihaposta sekä veden yhdistelmästä, ja rikkihapon osuus elektrolyytistä on yleensä n. 33 %. Vesiakkujen ollessa kestovarauksessa, elektrolyytti lämpenee ja aiheuttaa veden haihtumista, jonka vuoksi vettä pitää lisätä väliajoin, jotta elektrolyytin pinta pysyy riittävällä tasolla. (Savree, n.d.)

Veden haihtumista voidaan vähentää akun kanteen asennettavalla tulppamallisella rekombinaatiojärjestelmällä. (Kuva 3). Järjestelmä kerää veden haihtumisen aikana muodostuvat kaasut, ja tulpan sisällä sijaitseva katalysaattori yhdistää ne, jolloin muodostuu vesihöyryä joka kondensoituu järjestelmän seinämille ja valuu takaisin akkuun. (Hoppecke, 2022.)



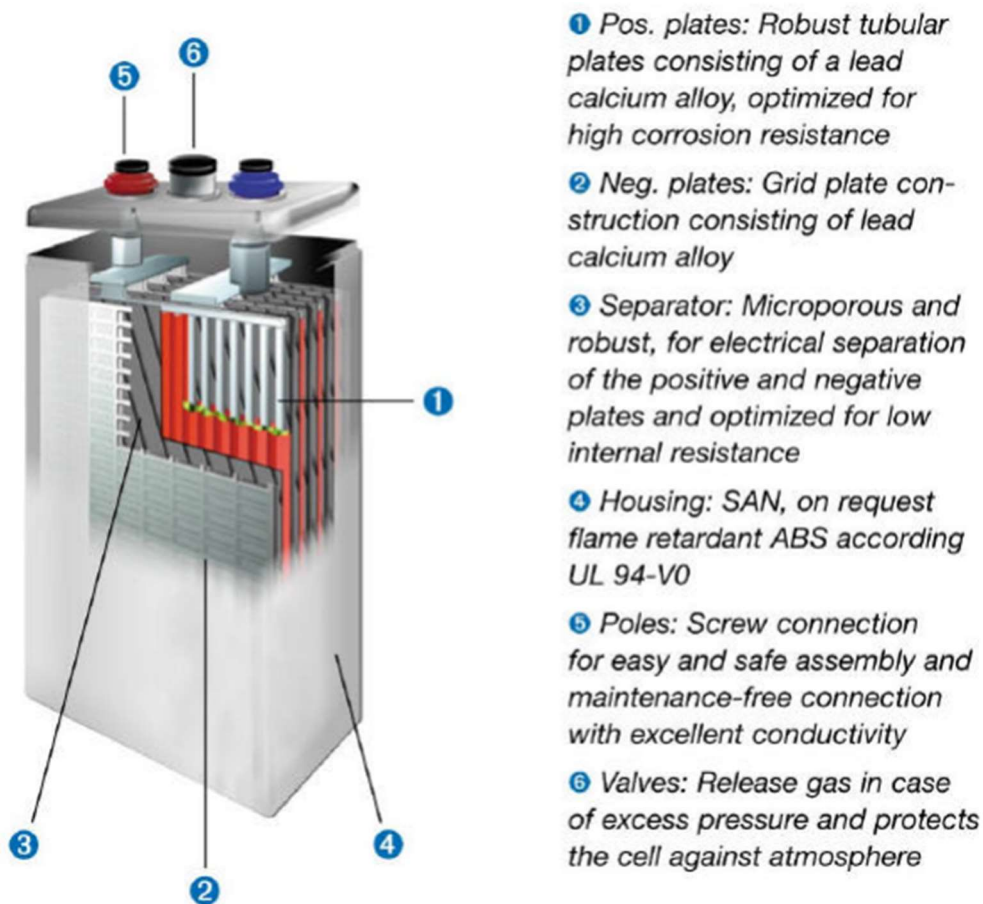
Kuva 3: Rekombinaatiojärjestelmän rakenne. (Hoppecke, 2022)

### 3.2.2 Geeliakku

Laitosalueella on käytössä myös OPzV-geeliakkuja (Kuva 4), eli suljettuja putkilevyakkuja. Lyhenne muodostuu muutoin samoista sanoista kuin OPzS-akuissa, mutta V-kirjain tulee saksan kielen sanasta Verschlossen (Sealed). Näiden akkujen sisäinen rakenne on muutoin samanlainen kuin vesiakuissa, mutta elektrolyytti on hyytelömäistä siihen lisätyn silikaatin (piiliuos) vuoksi. Elektrolyytin hyytelömäisyys mahdollistaa geeliakkujen asentamisen myös kyljelleen. Geeliakkujen elektrolyytti on herkempi lämpötilavaihteluille kuin vesiakkujen, jonka vuoksi geeliakkuja ladataessa tulee kiinnittää huomiota lataukseen. Liian suuri latausvirta tai latausjännite aiheuttaa silikaatin lämpenemistä ja kovenemista, jolloin akun kapasiteetti laskee. Ne ovat myös rakenteeltaan suljettuja, joka tekee niistä huoltovapaita, ja ne ovat hinnaltaan hieman OPzS-akkuja kalliimpia. (Sino Voltaics, n.d.)



Laitosyksiköillä on käytössä geeliakkuja vain parissa järjestelmässä. Geeliakkuja on lähinnä OL1- ja OL2-rakennusten ulkopuolella sijaitsevista akustoista. Laitosten sisällä geeliakkuja on vain yhdessä järjestelmässä ja ne ovat Sonnenschein A706/210-ryhmäakkuja. Ryhmäakulla tarkoitetaan akkua, jossa on vähintään kaksi kennoa kytkettynä sarjaan. A706/210 on kolmikennoinen ryhmäakku, jossa kennojännite on 2V, ja akun kokonaisjännite on 6V. (Sonnenschein, n.d.)



Kuva 4: OPzV- akun rakenne. OPzS-akun rakenne samanlainen, mutta venttiilin tilalla on rekombinaatiojärjestelmä. (Sonnenschein, 2003)

### 3.3 Laitopaikkatunnus

Laitopaikkatunnuksella tarkoitetaan järjestelmän erilleen asennetun toiminnallisen kokonaisuuden yksilöityä tunnusta. OL1- ja OL2-laitoksilla käytetään ASEA-Atomin standardoitua tunnusjärjestelmää, kun taas OL3-laitoksella käytetään KKS-koodin mukaista järjestelmää. Laitopaikkatunnuksen tarkoitus on

kertoa laitteen tai toiminnallisuuden kokonaisuuden sijainti järjestelmässä. Akustoilla on omat laitepaikkatunnuksensa, joka kertoo olennaiset tiedot akustosta.

Esimerkkinä laitepaikkatunnuksesta toimii OL1-laitosyksikön akusto 1.672B391

1. Laitostunnus = 1.

Laitostunnus kertoo missä laitoksessa laite sijaitsee. Esimerkissä akusto sijaitsee OL1-laitoksella.

2. Järjestelmätunnus = 672

Kertoo mikä järjestelmä on kyseessä. Laitoksilla on kahdeksan järjestelmäryhmää, jonka kertoo järjestelmätunnuksen ensimmäinen numero (6), joka tarkoittaa järjestelmän olevan sähkölaitteistoa. Järjestelmäryhmillä on alaryhmät, jonka kertoo järjestelmätunnuksen toinen numero (7), joka tarkoittaa kyseessä olevan tasasähköverkko. Viimeinen numero (2) on juokseva numero, joka erittelee alaryhmien erilliset toiminnalliset kokonaisuudet, ja tässä tapauksessa on kyseessä 110V tasasähköverkko.

3. Komponenttilaji = B

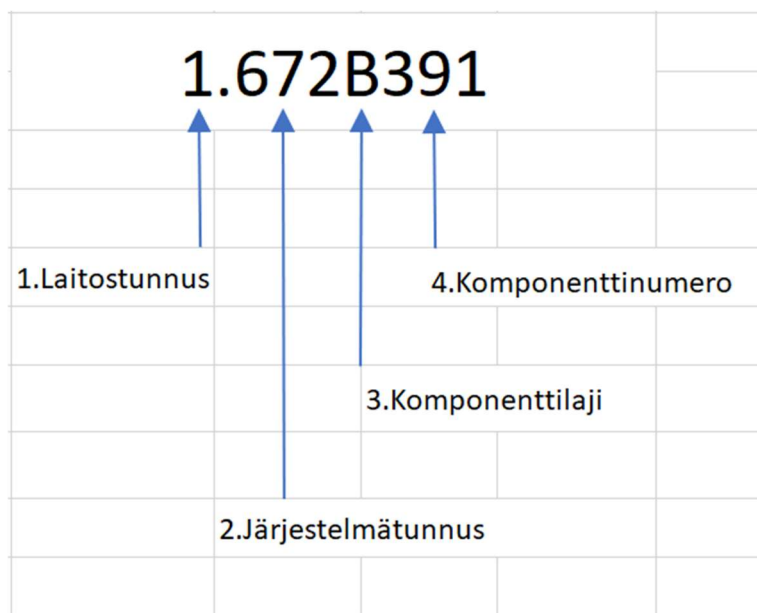
Komponenttilaji kertoo minkä tyyppinen laite on kyseessä. Komponenttilajit merkitään yhdellä kirjaimella, jotka ovat erikseen määritelty standardissa. B voi tarkoittaa joko akustoa tai B-subia, tässä tapauksessa kyseessä on akusto.

4. Komponenttinumero = 391

Kummallakin laitoksella on neljä toisistaan riippumatonta osajärjestelmää, joita kutsutaan subeiksi (Sub-system). Osajärjestelmät ovat nimetty A-, B-, C- ja D-subeiksi. Päävirtapiiriin kuuluvissa komponenteissa komponenttinumeron ensimmäinen luku kertoo pääsääntöisesti sub-tunnuksen. Esimerkissä ensimmäisenä numerona on 3, joka



tarkoittaa sen kuuluvan C-subiin. Komponenttinumeron kaksi viimeistä numeroa (91) on akustolle määritelty luku. (Olkidoc-ohje 113901, 2020.)



Kuva 5: Laitepaikkatunnus (Olkidoc-ohje 113901, 2020)

## 4 AKUSTON KUNNONVALVONTA

Akustojen kunnonvalvonta on yksi kunnossapitomenetelmistä, jonka avulla seurataan akkujen toimintakuntoisuutta. Valvonnalla on tarkoitus varmistaa jokaisen yksittäisen akun sekä akuston toimintakuntoisuus. Kunnonvalvontaa toteutetaan usein eri tavoin, kuten akkukohtaisilla jännitemittauksilla, kapasiteettikokeilla, akkujen sisäisen impedanssin mittauksella, visuaalisilla tarkastuksilla tai elektrolyytin ominaispainomittauksilla. Kunnonvalvonnan yksi tärkeä osa on myös tulosten tarkastelu, joka hoidetaan usein tietokannoissa. Mittaustuloksille on yleensä määritelty raja-arvot, joita tulokset eivät saa ylittää. OL1- ja OL2-laitosyksiköillä suoritettavat akustoihin liittyvät mittaukset on selostettu alla. Laitosten akut ovat normaalitilanteessa aina kestovarauksessa, eli niitä ladataan jatkuvasti, poikkeuksena vuosittaiset kuormituskokeet, mahdolliset vikatilanteet tai huoltotoimenpiteet.

#### 4.1 Visuaalinen tarkastus

Akuille suoritetaan visuaalisia tarkastuksia, joissa tarkistetaan elektrolyytin pinnankorkeus, johtimien ja liittimien kunto, mahdolliset vuodot, sekä akustojen ja huonetilojen yleinen kunto. Akut on asennettu telineisiin, joiden alapuolella olevat valuma-altaat tulee tarkistaa mahdollisten vuotojen varalta. Valuma-altaiden tarkoituksena on estää elektrolyytin leviäminen vuototilanteissa.

Akkuja tarkastaessa kaikki halkeamien, vuotojen ja muiden normaalista poikkeavien havaintojen syyt tulee selvittää. Akkujen navoissa näkyvät värimuutokset saattavat tarkoittaa liitoskohdassa suurta lämpötilaa, joka usein johtuu löysästä liitoksesta. Akkuihin kohdistuvat iskut saattavat aiheuttaa pienen halkeaman akun koteloon, joka ajan kuluessa mahdollisesti suurenee ja alkaa vuotamaan, jonka vuoksi halkeamaa ei huomata heti. Yksittäisessä akussa oleva vika vaikuttaa yleensä koko akuston toimintaan, johtuen akkujen sarjakytkennästä.

#### 4.2 Suoritettavat mittaukset kestovarauksessa

Akustoille suoritettavilla mittauksilla saadaan tarkkaa tietoa akkujen kunnosta, ja niiden avulla kyetään ennakoimaan mahdollisia huolto- tai korjaustoimenpiteitä. Kestovarauksen aikana akustoille suoritetaan lähinnä kennojännitemittauksia ja geeliakuille myös konduktanssimittauksia, ja mittausten aikaväli on muutamia kuukausia.

##### 4.2.1 Kennojännitemittaus

Kennojännitemittauksella tarkoitetaan yksittäisen akun navoista mitattavaa jännitettä, joka kertoo akkukohtaisen jännitetason. Yksittäistä akkua kutsutaan usein myös kennoksi, sillä suurin osa akuista on varustettu yhdellä kennolla. Jännitemittauksia suoritetaan säännöllisin väliajoin, ja mittaus suoritetaan manuaalisesti akuston mittaukseen tarkoitettulla mittarilla. Mittausten tarkoituksena on varmistaa jännitteen olevan raja-arvojen sisällä. Akkujen

kennojännitteet ovat normaaleissa olosuhteissa kestovarauksessa eli puskuvarauksessa n. 2,23–2,25 V. Puskuvarausjännitteellä tarkoitetaan akkuvarauhan luomaa jännitetasoa, jonka tulee olla suurempi kuin akuston nimellisjännite ylläpitääkseen akuston varaustilaa (YVL E.7, 2019, s. 44).

Laitoksilla kennojen raja-arvoiksi on määritelty kestovarauksen aikana  $2,23 \pm 0,10$  V, joiden ulkopuolelle jäävät akut siirtyvät tarkkailukennoiksi. Tarkkailukennoja mitataan useammin kuin muita kennoja, ja niistä mitataan myös ominaispaino. Kriittiset raja-arvot ovat  $2,23 \pm 0,14$  V, joiden ulkopuolelle jäävät akut vaihdetaan uusiin. (Olkidoc-ohje 102308, 2022.)

Akut ovat kestovarauksessa, jotta kennojännite pidetään optimaalisena, sillä sen avulla estetään akkulevyjen hapettuminen tai sulfatoituminen. Alhainen kennojännite aiheuttaa akulle sulfatoitumista, eli akun levyjen pinnoille alkaa muodostua suuria lyijysulfaattirakeita, jotka ovat kemiallisesti passiivisia, eli sähköä johtamattomia. Liian korkea kennojännite puolestaan alkaa aiheuttaa korroosiota, joka aiheuttaa myös sähköön johtavuuden heikkenemistä akun osissa. (Bryan Veldboom, 2022.)

#### 4.2.2 Konduktanssimittaus

Konduktanssimittauksella mitataan akun kykyä johtaa sähkövirtaa, ja konduktanssin (G) yksikkö on Siemens (S). Konduktanssi on resistanssin (R) käänteisarvo, ja sen avulla voidaan arvioida akun kapasiteettia. Konduktanssin laskeminen voidaan suorittaa kaavan 1 mukaan, jossa I kuvaa virtaa, ja V jännitettä, tai jakamalla luku 1 resistanssilla. Laitoksilla on käytössä Celltraq Advantage-konduktanssimittari, jolla on oma tietokantansa. (Vedantu, 2023.)

Kaava 1.  $G = \frac{I}{V}$  tai  $G = \frac{1}{R}$

Konduktanssimittauksia suoritetaan laitoksilla vain suljetuille akuille, joille ei saada ominaispainomittauksia suoritettua, sekä yli 10 vuotta vanhoille vesiakuille. Laitosten sisällä käytössä oleville Sonnenschein A706/210-akuille on

ohjeessa 102308 määritelty hälytysraja-arvoksi 980 S, ja viallisen akun raja-arvoksi 840 S. Mittaukset suoritetaan Celltron Advantage-konduktanssimittarilla. Mittarin johtimet asetetaan akun – ja +-napoihin, jolloin mittari lähettää virtaa akun läpi, ja laskee virran johtavuuden. (Olkidoc-ohje 102308, 2022.)

#### 4.3 Kuormituskokeet ja mittaukset

Akustoille suoritetaan säännöllisin väliajoin kuormituskokeita, joiden perusteella arvioidaan akustojen kapasiteetti. Kuormituskoe havainnollistaa akuston toimintakyvyn mahdollisessa sähkökatkotilanteessa. Kuormituskokeessa suoritetaan kestovarauksen aikana tehtävien mittausten lisäksi liitinkaapeli- tai -kiskojen ylimenojännitemittauksia, kokonaisjännitemittauksia, ominaispainomittauksia ja virtamittauksia. Laitosten tärkeimpien akustojen kuormituskokeeseen liittyvät suoritustavat ja raja-arvot ovat määritelty Olkidoc-ohjeessa 102308, eli kuormituskoeohjeessa.

Koe aloitetaan mittaamalla akkujen kennojännitteet. Jos joidenkin akkujen kennojännite on tarkkailukennoalueella, suoritetaan ominaispainomittaus kyseisille akuille. Jos jokin akuista ylittää kriittiset jänniteraja-arvot, kokeen suorittamista lykätään, kunnes vikaantuneet akut ovat vaihdettu. (Olkidoc-ohje 102308, 2022.)

Kokeen suorittamistapa vaihtelee hieman järjestelmän mukaan. Kuormituksen aikana akustoja syöttävät tasasuuntaajat sammutetaan, mutta akustoja ei irtikytketä akuston syöttämistä DC-kiskoista, jolloin niiden osakuormituksena toimii normaali käytönaikainen kuorma. Osa kuormituskokeista suoritetaan kytkemällä akustohuoneissa sijaitseviin koekuormitusliittimiin säädettävät kuormavastukset, joiden avulla säädetään kuorma vastaamaan akustolle määriteltyä virtaa. Virran määrittäminen suoritetaan mittaamalla virtashuntin ylimenojännitettä yleismittarilla, josta lasketaan Ohmin lailla siinä kulkeva virta. Osassa kuormituksista taas käytetään kuormavastusten tilalla sähköpuhaltimia, ja säädetään UPS:n DC-virta vaaditulle tasolle. (Olkidoc-ohje 102308, 2022.)

Akustoon kytketään yleismittarit mittaamaan akuston kokonaisjännitettä ja virtashuntin ylimenojännitettä, joita luetaan kokeen aikana säännöllisin väliajoin. Kokeen aikana suoritetaan myös akkukohtaisia kennojännitemittauksia, virtamittauksia ja ylimenojännitemittauksia, joista voidaan tarkastaa miten yksittäiset akut reagoivat kuormitukseen. (Olkidoc-ohje 102308, 2022.)

Jokaiselle akustolle on määritetty erilliset kuormitustekniset alarajajännitteet, jonka alapuolelle jännite ei saa kuormituskokeen aikana laskea. Jännitettä seurataan kokeen aikana akustoon kytketyllä yleismittarilla. Jännitteen laskeessa alle määritellyn rajan, kuormituskoe keskeytetään välittömästi. Jännite-rajat ovat 1,75–1,87 V/kenno, riippuen järjestelmästä. Akustokohtainen alarajajännite koostuu kennokohtaisesta alarajasta, joka kerrotaan akustossa olevien kennojen määrällä, esim.  $1,75 \times 108 = 189\text{V}$ . (Olkidoc-ohje 102308, 2022.)

#### 4.3.1 Ylimenojännite

Kuormituskokeiden aikana suoritetaan liitinkiskojen tai -kaapelien ylimenojännitemittauksia eli mitataan jännitehäviötä. Jännitehäviöllä tarkoitetaan kahden mitattavan kohteen potentiaaliero, joka kertoo mittajohdinten välisen jännitteen eron. Akkujen ollessa kytkettynä sarjaan, mittaus suoritetaan asettamalla mittarin toinen mittajohdin akun negatiiviseen napaan kytkettyyn välijohtimeen, ja toinen mittajohdin johtimen toiseen päähän, joka on kiinnitetty seuraavan akun positiiviseen napaan. Normaaliolanteessa jännitehäviö on kuormituskokeen aikana 0–50 mV. (The Electricity Forum, n.d.)

#### 4.3.2 Virtamittaus

Kokeiden aikana mitataan akkujen välisissä liitinkaapeleissa tai -kiskoissa kulkevaa virtaa. Akkujen välillä on yksi tai kaksi liitinkaapelia tai -kiskoa, ja niistä voidaan virtamittauksella havaita mahdolliset löysät liitokset tai akun sisäiset johtavuusongelmat. Kuormituksen aikana kaapeleissa kulkee virtaa, jonka tulisi jakautua aina tasaisesti kummallekin liitinvälille. Kahden akun välisten

liitinvälien suuret erot virroissa tarkoittavat joko liitinvälin kasvanutta resistanssia, tai kasvanutta akun sisäistä impedanssia.

#### 4.3.3 Ominaispainomittaus

Avoimille lyijyakuille suoritetaan kuormituskokeiden, mahdollisten vikaantuneiden tai yli 10 vuotta vanhojen akkujen mittausten yhteydessä elektrolyytin ominaispainomittauksia. Ominaispainolla tarkoitetaan aineen tiheyden suhdetta vertailuaineen pitoisuuteen, joka on yleensä vesi. Akkujen elektrolyytin ominaispaino muuttuu suhteessa kennon varaustilaan, ja siitä voidaan päätellä suurin piirtein akun kapasiteetti. Lyijyakussa elektrolyytin tiheys on suurempi sen ollessa täyteen ladattuna, kun taas tyhjentyessään tiheys pienenee. Kaava elektrolyyttille on latauksen aikana  $PbO_2 + Pb + 2H_2SO_4 \leftarrow 2PbSO_4 + 2H_2O$ , ja purkautumisen aikana  $PbO_2 + Pb + 2H_2SO_4 \rightarrow 2PbSO_4 + 2H_2O$ . (Savree, n.d.)

Rikkihapon ominaispaino on normaaliolosuhteissa  $1,83 \text{ g/cm}^3$ , ja veden ominaispaino on  $1,00 \text{ g/cm}^3$ . Lyijyakuissa elektrolyytti koostuu rikkihapon ja veden yhdistelmästä, ja ominaispaino vaihtelee n.  $1,22\text{--}1,26 \text{ g/cm}^3$  välillä akun ollessa kestovarauksessa. Tähän vaikuttaa lämpötila ja elektrolyytin pinnankorkeus akussa, johtuen latauksen aikana tapahtuvasta veden haihtumisesta. Sen vuoksi akun elektrolyytin pinnankorkeuden tulisi ominaispainoa mitattaessa olla mahdollisimman lähellä maksimia tarkan mittaustuloksen saamiseksi. Handy-mathin taulukosta on mahdollista tarkistaa rikkihapon prosentuaalinen osuus elektrolyytin painosta  $20^\circ\text{C}$ :n lämpötilassa. Taulukon mukaan ominaispainon ollessa  $1,24 \text{ g/cm}^3$ , on normaaleissa olosuhteissa elektrolyytissä n. 33 % rikkihappoa, ja 67 % vettä. (Handy-math, n.d.)

## 5 NYKYINEN JÄRJESTELMÄ

Nykyinen kunnonvalvontajärjestelmä koostuu akkumittaukseen tarkoitetusta TMC2001d-jännitemittarista, ja sen tietokantana toimii TMC95-ohjelmisto. Järjestelmä on G. Jost- Electronicin vuonna 2004 markkinoille tuoma akustojen kunnonvalvontaan tarkoitettu monipuolinen kokonaisuus. Järjestelmässä on laitosyksiköillä osana myös Anton Paar DMA35 ominaispainomittari, jota käytetään elektrolyytin ominaispainon mittaukseen. Osana järjestelmää on myös konduktanssimittari Celltron Advantage suljettujen akkujen konduktanssimittauksiin. Tässä työssä konduktanssimittaria ei käsitellä muuten kuin konduktanssimittauksiin liittyvissä kappaleissa, tätä mittaria ei ole tarkoitus korvata.

### 5.1 Akkumittari TMC 2001d

Akustojen mittauksissa käytettävä TMC2001d (Kuva 6) on akkujen mittaukseen suunniteltu digitaalinen jännitemittari. Mittarilla on mahdollista valita mitattava akusto manuaalisesti, tai RFID-tunnisteiden avulla, ja mittarilla on mahdollista mitata jännitettä mV- tai V-alueella. V-alueella mittarilla on mahdollista mitata jännitettä jopa  $\pm 600$  VDC, kun taas mV-alueella rajat ovat  $\pm 2450$  mV eli  $\pm 2,45$  VDC. Mittausalueilla on eroja myös tulosten tarkkuudessa, sillä mV-alueella mittari esittää tuloksen 0,10 mV tarkkuudella, kun taas V-alueen tarkkuus on 100 mV. (Manualzz, 2003.)

Mittarilla on mahdollisuus mitata jännitteitä eri tavoilla, kuten yleismittarina, kierrosmittauksella tai aikavälimittauksena. Yleismittarina voidaan mitata jännitteitä ilman tallennusta. Kierrosmittauksessa mitataan yksittäisen akuston jokaisen akun kennojännite, jonka jälkeen mittarin näytölle ilmestyy akkujen pienin ja suurin jännite, sekä kaikkien akkujen jännitteiden keskiarvo. Aikavälimittauksessa mittari tallentaa määritetyin aikavälein mitattavan kohteen jännitteen. Tätä toimintoa voidaan käyttää kuormituskokeiden aikana akuston kokonaisjännitteen seuraamiseen. Mittari on mahdollista yhdistää liitäntäjohdon avulla Anton Paar DMA35N-ominaispainomittariin, jolloin DMA:lla mitatut tulokset saadaan siirrettyä TMC95-tietokantaan. (Manualzz, 2003.)



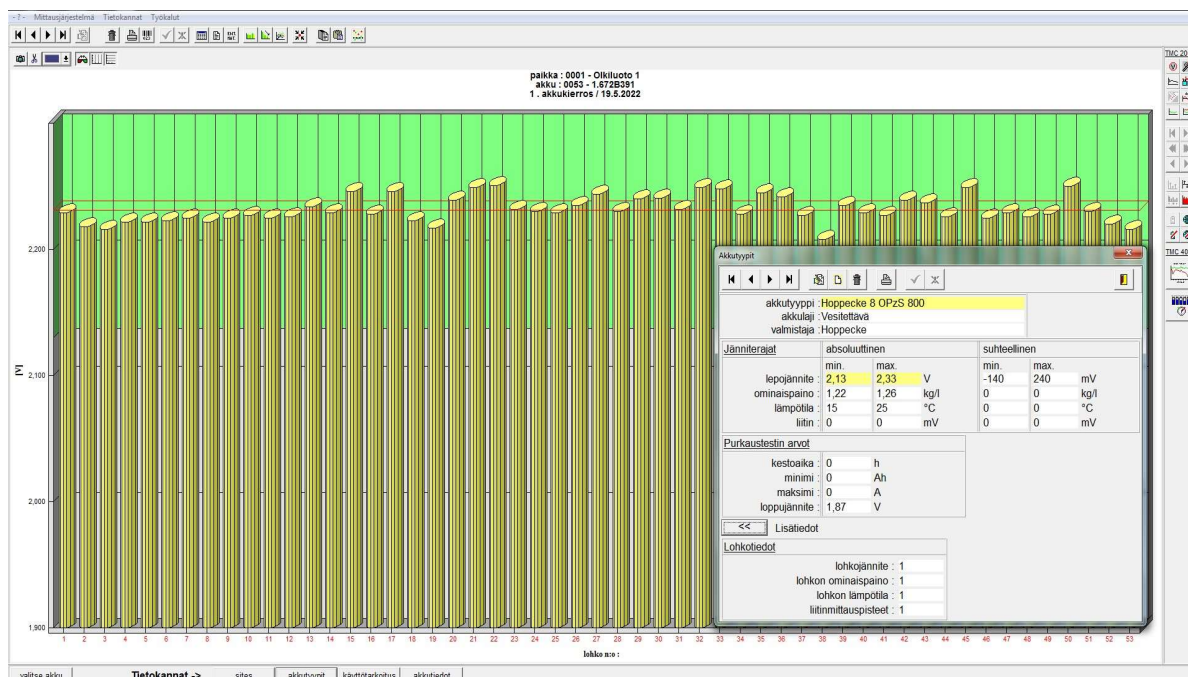
Kuva 6: TMC-2001d-akkumittari (Manualzz, 2003)

## 5.2 Tietokanta TMC95

TMC95 (Kuva 7) on monipuolinen tietokanta, jossa akuston mittauksia on mahdollista lukea trendikuvaajana, vertailukuvaajana tai trenditaulukkona. Tietokannassa on mahdollista määritellä alueet, akustot, akkutyyppit, akuston tiedot ja käyttötarkoitukset. Akustoille ja akuille voidaan määritellä useita raja-arvoja, kuten ominaispainolle, kennojännitteille tai kokonaisjännitteille.

Tietokantaan tallennetaan kaikki mittaustulokset, ja tietokanta näyttää mittauksen ajankohdat, sekä kertoo mittauskertojen lukumäärän kyseiselle akustolle. Akustoille on omat paikka- ja akkunumeronsa kuten kuvan 7 kuvaajan yläpuolella näkyy. Osa tietokannan toiminnoista on tarkoitettu TMC4001- kapasiteettimittarille, jota ei laitoksilla ole käytössä.





Kuva 7: TMC95-tietokannassa 1.672B391-akuston mittaustulokset esitettynä. (TMC95, 2023)

Kuvaajien avulla kyetään tarkistamaan ovatko mitatut tulokset asetettujen rajojen sisällä. Taulukkomuodossa rajojen ulkopuolelle jäävät tulokset korostuvat punaisena, ja rajojen sisällä olevat tulokset näkyvät vihreänä. Kuvassa 7 näkyy 1.672B391-akuston vertailukuvaaja, jossa jokainen akku on esitetty kolmiulotteisena pylväänä, ja taustalla näkyvä vihreä alue esittää hyväksytyjen raja-arvojen sisällä olevaa aluetta. Kuvaajan yläpuolella näkyy akuston laitepaikkatunnus, päivämäärä sekä kuinka mones mittauskierros on kyseessä. Pienellä välilehdellä näkyy akustolle määritellyjä tietoja ja raja-arvoja.

### 5.3 Ominaispainomittari DMA35N

Laitosten nykyisenä ominaispainomittarina toimii Anton Paar DMA35N, joka on nesteiden ominaispainon mittaukseen tarkoitettu digitaalinen mittari. Mittarissa on pilli, joka upotetaan elektrolyyttiin, josta mittari ottaa noin 2 ml kokooisen näytteen. Näytteenoton jälkeen se ilmoittaa näytöllä ominaispainomittauksen tuloksen, josta se on tallennusnapilla mahdollista tallentaa muistiin. Mittaukset suoritetaan akusto kerrallaan, jokaisen akuston mittauksen jälkeen tulokset siirretään TMC95-mittariin, josta ne taas siirretään tietokantaan. (Anton Paar, 2003.)

## 5.4 Ongelmakohdat

Akuston kunnonvalvontajärjestelmän uusiminen on tarpeen sen vanhentumisen vuoksi, sillä järjestelmä on ollut käytössä lähes 20 vuotta. Ikäntymisen lisäksi järjestelmän poistaminen käytöstä on tärkeää myös tietoturvallisuussyistä, sillä TMC95 toimii Windows 7-käyttöjärjestelmällä, jonka Extended-tuki on loppunut 2020 tammikuussa, sekä sen maksullinen jatkotuki loppui vuoden 2022 lopussa. TMC:n valmistaja on myös lopettanut tukensa tietokannalle, jonka vuoksi tietokannasta ei ole tulossa uudemmille käyttöjärjestelmille versiota, eikä tietokannan mahdollisia vikoja saada korjattua. Akkumittarissa on myös alkanut esiintyä toimintahäiriöitä ikänsä takia, eikä varaosia ole saatavilla. (Microsoft, n.d.)

## 6 UUDEN JÄRJESTELMÄN VAATIMUKSET

Järjestelmävaatimuksia tarkasteltiin aluksi erikseen mittarin ja tietokannan osalta. Vaatimuksissa käytiin läpi mittarilta vaadittavat ja toivottavat toiminnot, jonka jälkeen pohdittiin tietokannalta vastaavia toimintoja. Järjestelmän hankinnassa otettiin huomioon tilaajan vaatimukset, ja kysyttiin asentajilta kokemuksia vanhasta järjestelmästä ja ehdotuksia kunnonvalvontajärjestelmän kehittämiseksi. Tarkoituksena oli löytää käsikäyttöinen mittari, etäjärjestelmää harkittiin testattavaksi yksittäiseen akustoon, mutta kustannusten takia etäjärjestelmän hankinta jokaiseen akustoon todettiin olevan kustannuksiltaan liian suuri.

### 6.1 Mittarin vaatimukset

Mittarilla on tarkoitus laitoksilla mitata lähtökohtaisesti akustojen kennojännitteitä. Tarkoituksena oli valita tärkeimmät kriteerit, joiden avulla uusien järjestelmämahdollisuuksien suurin piirteinen rajausta voitiin suorittaa. Alla tärkeimmät vaatimukset, joita mittarille annettiin.

- Jännitemittauksen virhemarginaali

Mittarin päätarkoitus on mitata akkujen jänniteitä, joten jännitemittaus osoittautui tärkeimmäksi tarkastelukohteeksi. Akustojen määritetyt rajavot ovat kohtalaisen tarkat, joten oli tärkeää varmistaa mittarin tulosten tarkkuus.

- RFID-tunnistus

Laitosalueella on jokaisella akustolla oma laitepaikkatunnuksensa, ja ne ovat hyvin samankaltaisia, jonka vuoksi RFID-tunnisteiden lukumahdollisuus mittarilla tuli ottaa huomioon. Manuaalisesti kirjoittaessa tai mittarista etsiessä väärän akuston valitseminen olisi erittäin todennäköistä, joka saattaisi mahdollistaa tulosten päätyminen väärään osoitteeseen tietokannassa, ja sitä kautta mahdollisten korjaus- ja huoltotoimenpiteiden suuntaamisen väärään akustoon tai akkuun.

- Mittausnopeus

Akustojen mittauksia suoritetaan usein saman päivän aikana usealle eri akustolla. Tämän vuoksi mitattavia akkuja saattaa olla useita satoja, ja mittarin nopea toiminta tuli ottaa huomioon asentajien näkökannasta. Parin sekunnin viive mitattaessa tai mittaustuloksen tallentuessa aiheuttaa mittaustehtävien huomattavaa viivästymistä, sekä suurimpien akustojen kuormituskokeiden aikana vääristää tuloksia johtuen tiheästä mittausvälistä.

- Fyysinen koko

Mittaukset suoritetaan käsin, ja mittaajalla tulee olla molemmat mitta-johtimet käsissään. Mittarin tulee mahtua joko taskuun, tai sen tulee olla muulla tavoin mahdollista kuljettaa mukana akustolla liikkuesssa.

- Tiedonsiirtomahdollisuudet

Mittarin ja tietokannan välinen helppo yhdistäminen tuli ottaa huomioon, sillä datan siirtoa tapahtuu usein, ja sen tulee olla nopeasti ja helposti suoritettavaa.

- Laiteliitäntämahdollisuudet

Valinnassa otettiin huomioon myös mahdollisuudet muiden mitta- tai lisälaitteiden yhdistämiseen. Ominaispainomittarin liittäminen akkumittariin tai tietokantaan mahdollistaisi mittaustulosten siirtämisen automaattisesti oikeaan akustoon tietokannassa, kuten TMC:n kanssa on tehty. Kuormituskokeiden aikana suoritetaan virtamittauksia, joten tietokantaan sopiva tallentava virtamittari myös helpottaisi tulosten tarkastelua.

- Käyttäjäystävällisyys

Mittarin käyttäjinä toimivat laitosten kaikki sähkökunnossapitoasentajat, joten uuden tietokannan tulee olla yksinkertainen mutta monipuolinen, jotta sen yleisimpien toimintojen käyttäminen ei vaadi laajaa perehtymistä.

- Konduktanssimittaus

Mahdollisuus konduktanssimittaukseen otettiin myös huomioon mittarin valinnassa, mutta sen tärkeyden koettiin olevan vähäinen. Konduktanssimittauksia suoritetaan vain geeliakuille, ja yli 10 vuotta vanhoille vesiaakuille, joten mittauksia suoritetaan harvoin, ja laitoksilla on jo muutama vuoden ikäinen konduktanssimittari jolle on oma tietokantansa.

## 6.2 Tietokannan vaatimukset

Akuston kunnonvalvontajärjestelmässä tärkeässä asemassa on myös tietokanta, jossa tallennettuja tuloksia tarkastellaan. Tietokannan tehtävänä on esittää suoritettujen mittausten tulokset mahdollisimman selkeästi käyttäjilleen. Jännitemittarissa tulosten tarkastelu on usein haastavaa ja aikaa vievää. Tavoitteena oli löytää tietokanta, joka mahdollistaisi omien tallennuspaikkojen

luomisen jokaiselle akustolle. Näissä tallennuspaikoissa olisi mahdollista asettaa ja tarkastella yksittäisten akkujen arvoja. Oleelliset tarkasteltavat asiat olivat:

- Tulosten tarkastelumahdollisuudet  
Tietokannan tärkeimpänä tehtävänä on tallettaa tulokset ja esittää ne käyttäjälle selkeässä muodossa. Tietokannassa tulee olla mahdollista korostaa raja-arvojen ulkopuolelle jäävät tulokset kuten TMC95-tietokannassa. Useiden satojen korostamattomien tulosten läpikäyminen mahdollistaisi virhetulosten jäämisen huomaamatta.
- Helppokäyttöisyys  
Mittauksia suoritetaan usein ja tietokannan käytön tulee olla nopeasti opetettavissa. Järjestelmän käyttäjillä on lukuisia muitakin ohjelmia käytössä, joten tietokannan käytön tulee olla helposti muistettavissa.
- Arvojen määrittely  
Tietokannassa tulee olla mahdollista luoda kaikille akustoille omat muistipaikkansa, sekä siellä tulee olla mahdollista määritellä akustoja, akkumalleja ja niiden raja-arvoja. Akustokohtaiset ja akkukohtaiset raja-arvot vaihtelevat paljon, ja tietokannassa tulee olla mahdollista määritellä vähintään ylä- ja alarajat jokaisen akun jännitteelle. Akustojen kokonaisjännitettä seurataan lähinnä kuormituskokeiden aikana mittarilla, muutoin jännitteen seuranta tapahtuu tasasuuntaajissa olevista näytöistä tai valvomosta. Akustot tulee olla mahdollista nimetä niiden laitepaikkatunnuksien mukaan, ja yhdelle akustolle tulee olla mahdollista määritellä vähintään 108 akkua.

### 6.3 Ominaispainomittarin vaatimukset

Ominaispainomittausten vähäisyyden vuoksi ominaispainomittarille ei asetettu erityisiä vaatimuksia, vaan tavoitteena oli löytää digitaalinen ominaispainomittari, jolla on mahdollista tallettaa tuloksia, ja siirtää ne johonkin tietokantaan

tarkasteltavaksi. Anton Paarin ominaispainomittareista otettiin uudempia mittareita tarkasteltavaksi, mutta ominaispainomittarin lopullinen valinta ja hankinta siirrettiin akkumittarin ja tietokannan tilaamisen jälkeiseksi tehtäväksi prioriteetin perusteella.

## 7 JÄRJESTELMÄVAIHTOEHTOJEN VERTAILU

Akuston kunnonvalvontaan tarkoitettujen järjestelmävaihtoehtojen tarkastelu aloitettiin etsimällä internetistä mahdollisia vaihtoehtoja. Laajojen akustojen mittaukseen tarkoitettujen järjestelmien määrä osoittautui todella pieneksi, ja suuri osa vaihtoehtoista karsittiin jo alkutekijöissä. Akkujen mittaukseen tarkoitetuista mittareista halvimmat ovat tarkoitettu lähinnä ajoneuvojen akkujen mittaukseen, eikä niillä ole tietokantaa. Järjestelmien vertailu suoritettiin aluksi tiedonhaun avulla, jossa tarkasteltiin sisältävätkö mittarit ja tietokannat välttämättömät toiminnot. Mahdollisesti sopivista vaihtoehtoista tarkempaan vertailuun valittiin kolme käsikäyttöistä mittaria ja niiden tietokannat, sekä yksi kiinteästi asennettava valvontajärjestelmä. Fluken sekä Gossen Metrawattin mittarien vertailussa käytettiin hyväksi myös niillä suoritettujen koekäyttöjen kokemuksia.

### 7.1 Fluke BT500-sarja

Ensimmäiseksi vaihtoehdoksi valikoitui Fluken akkuanalysointisarja BT500, josta on saatavilla 510-, 520- ja 521-mallit. Fluken BT500-sarja on akkujen ja akustojen mittaukseen tarkoitettu mittari, jossa on monipuoliset toiminnot akkujen mittaukseen. Mittarille on myös lisenssillä toimiva monipuolinen Fluke-View-tietokanta. OL3-laitosyksiköllä akkumittauksissa on käytössä BT500-sarjan parhaiten varusteltu malli BT521, joka mahdollisti mittarin kokeilemisen käytännössä. (Fluke, n.d.)

Positiivista mittarissa on selkeäkäyttöisyys, ja sen avulla on mahdollista suorittaa tarvittavat mittaukset akustoille. Mittarilla on mahdollista asettaa akustolle jännitealarajat, mutta ei ylärajoja. Mittausten aikana on mahdollista suorittaa yksittäisen akun mittauksia uudelleen. Tämän toiminnon avulla virheellisen tuloksen antanut akku voidaan mitata useaan kertaan, jonka avulla voidaan varmistaa, ettei tulos johtunut mittausvirheestä.

Negatiivista mittarissa on sen suuri koko, sekä suoritettujen koekäytön perusteella sen mittausaika on todella pitkä. Fluken tietokannassa ei ole mahdollista erotella raja-arvojen ulkopuolelle meneviä tuloksia, vaan ne pitää itse käydä läpi, joka on helpointa suorittaa siirtämällä tulokset Exceliin. OL3-laitosyksiköllä akkujen määrä on huomattavasti pienempi, joka mahdollistaa tämänkaltaisen järjestelmän käyttämisen, mutta OL1- ja OL2-laitosyksiköillä aiheuttaisi huomattavasti ylimääräistä työtä. Mittarilla on myös mahdollista tallettaa vain 999 mittaustulosta ennen muistin täyttymistä, joka aiheuttaisi kuormituskokeiden aikana mahdollisesti muistin täyttymisen jo yhden päivän aikana. Mittarilla akustot tulee valita manuaalisesti, joka kasvattaa riskiä väärän akuston valitsemiseen.

## 7.2 Gossen Metrawatt Metracell BT Pro

Toiseksi järjestelmävaihtoehdoksi valikoitui Gossen Metrawatt Metracell BT Pro. Järjestelmä koostuu Metracell BT Pro-akkumittarista, ja BT Pro Manager-tietokannasta. Tietokanta ei vaadi lisenssiä, ja sen ilmaisen demoversion saa ladattua ilmaiseksi. Täyden version saa ladattua luomalla käyttäjätunnuksen Gossen Metrawattin sivuille, ja rekisteröimällä tilatun laitteen sarjanumerot käyttäjälle. (Gossen Metrawatt, n.d.)

Mittarin ja tietokannan todettiin täyttävän vaadittavat kriteerit, esitettyjen kysymysten jälkeen sovimme palaverin Gossen Metrawattin, sekä heidän Suomessa toimivan jälleenmyyjän, Kontram Oy:n kanssa. Palaverissa Gossen Metrawattin edustaja esitteli tietokannan ja mittarin ominaisuuksia ja mahdollisia käyttökohteita, sekä sovimme mahdollisesti koekäyttöön otettavasta

mittarista. Palaverin jälkeisen pohdinnan jälkeen Kontramin kanssa sovittiin koekäyttöön hankittavasta mittarista, sekä keskusteltiin mahdollisista jatkotoimenpiteistä järjestelmän tilaamiseen liittyen.

Ennen mittarin saapumista, tietokantaan luotiin jo osa akustoista ja akuista, sillä tietokannan ilmaisversio oli mahdollista ladata suoraan Gossen Metrawat-tin sivuilta. Akkujen, akustojen ja raja-arvojen määrittely osoittautui helpoksi, ja tietokannan käyttö oli selkeää. Ennalta valmisteltu tietokanta mahdollisti muutaman päivän mittaisen koekäytön aikana keskittymisen mittarin toimintojen ja tulosten tarkasteluun.

Mittari osoittautui koekäytön perusteella mittausajaltaan todella nopeaksi, ja RFID-tunnistus varmisti mittausten suorittamisen ja tulosten siirtämisen oikealle akustolle. Mittarilla on mahdollista suorittaa kaikki tarvittavat mittaukset kuten Flukellakin, ja lisäksi Metracell on mahdollistaa yhdistää Anton Paarin ominaispainomittareihin IrDA:n avulla. Mittari on pieni ja kevyt, joten se mahtuu joko asentajan taskuun, tai hihnan avulla se voi roikkua kaulalla. Mittausten aikana mittari ilmoittaa yhdellä merkkiäänellä mittauksen olevan raja-arvojen sisällä. Mittaustulosten ollessa raja-arvojen ulkopuolella mittari pitää kaksi merkkiääntä, jotka vaihtelevat kestoiltaan riippuen siitä, onko tulos raja-arvojen ylä- vai alapuolella. Tulosten tarkastelu tietokannassa on selkeää, ja tietokanta esittää raja-arvojen ulkopuolelle jääneet tulokset punaisella, ja raja-arvojen sisäpuolella olevat arvot vihreällä.

Ainoaksi huonoksi puoleksi mittarissa osoittautui yhteyden luominen tietokannan ja mittarin välille vain Bluetoothilla. Yhdistäminen vaatii aluksi mittarin yhdistämistä tietokoneeseen, ja tietokannan Bluetoothin lisäasetuksista pitää etsiä mittarin käyttämä sarjaportti, jonka jälkeen on mahdollista yhdistää mittari tietokantaan.



### 7.3 Megger Bite 5

Kolmantena vaihtoehtona oli Megger Bite5. Mittari eroaa Fluken ja Gossenin mittareista kosketusnäyttönsä puolesta. Meggerillä akustojen luominen ja arvojen määrittely on suunniteltu tehtäväksi mittarissa, eikä tietokannassa kuten kahdella muulla mittarivaihtoehdolla. Mittarilla on mahdollista suorittaa tarvittavat mittaukset, sekä mittariin on saatavilla virtamittari, jolla on mahdollista tallettaa tuloksia. (Megger, n.d.)

Mittarista puuttui RFID-tunnistustoiminto, eikä tietokannassa ollut mahdollisuutta tarkastella mittaustietoja yhtä kattavasti kuin Fluken ja Gossenin tietokannoissa. Mittarin muistiin mahtuu 1000 impedanssimittausta, tai 512 virta- ja jännitemittausta, jonka vuoksi mittari ei sovellu hyvin kuormituskokeiden aikana tapahtuvaan käyttöön. Meggerin käyttämä Power DB-tietokanta vaikuttaa olevan suunniteltu lähinnä raporttien luomiseen PDF-muodossa, eikä se sovellu riittävän hyvin vanhojen tulosten vertailuun. Puuttuvien ominaisuuksien vuoksi mittaria ei hankittu koekäyttöön. (Megger, n.d.)

### 7.4 Kiinteä valvontajärjestelmä

Yhdeksi tarkasteltavaksi vaihtoehdoksi otettiin myös etäjärjestelmä. Tämänkaltaisilla järjestelmillä olisi mahdollista seurata reaaliajassa akkujen napajännitteitä, resistansseja ja elektrolyytin pinnankorkeutta. Vertailuun otettiin Eagle Eye akuston valvontajärjestelmä, jossa elektrolyytin pintaa seurataan infrapunasensoreilla, ja jokaisen akun napoihin kiinnitetään johtimet seuraamaan kennojännitteitä. Etuna manuaalisesti suoritettaviin mittauksiin verrattuna on järjestelmän aiheuttama hälytys välittömästi jonkin arvon laskiessa raja-arvojen ulkopuolelle. Manuaalisesti suoritettavien mittausten aikavälit ovat usein kuukausia, jolloin vikaantuneita akkuja ei huomata heti. (Eagle Eye Power Solutions, n.d.)

Suuren akustomäärän takia kustannusten laskettiin nousevan huomattavan korkeaksi järjestelmästä saatavaan hyötyyn nähden, joten etäluettavaa järjestelmää ei hankittu koekäyttöön. Järjestelmän hankintaa harkittiin yksittäiselle

akustolle, mutta akkujen napoihin tarvittavat mittajohtimien kiinnitykset kuitenkin olisivat tarkoittaneet akun rakenteellista muutosta, ja johtuen opinnäytetyön aikataulusta kyseinen vaihtoehto ei tähän työhön päässyt kunnolla mukaan.

## 8 UUDEN JÄRJESTELMÄN VALINTA

### 8.1 Valintaperusteet

Valinnassa otettiin huomioon työssä aikaisemmin määritetyt vaatimukset, sekä omat käyttökokemukset käyttöön saaduista Fluken ja Gossen Metrawattin mittareista. Järjestelmän valinnassa käytiin työn tilaajan kanssa läpi mittarien ja tietokantojen hyvät ja huonot puolet, sekä vertailtiin kustannuksia. Valinta kohdistui alustavien rajausten jälkeen lähinnä Fluke B521- ja Metracell BT Pro-mittarien ja niiden tietokantojen vertailuun.

Mittareista Fluke sisälsi enemmän toimintoja, mutta akustomittauksen osalta nämä ylimääräiset toiminnot eivät olleet oleellisia. Fluken mittauksen viiveaika oli vaikuttava tekijä mittarien vertailussa, sillä se oli huomattavasti hitaampi kuin TMC, kun taas Metracell oli huomattavasti nopeampi kuin TMC. Fluken vähäinen muisti vaikutti myös osaltaan valintaan, Metracellin muistiin on mahdollista tallentaa 300 000 tulosta, Fluken muistiin vain 999 tulosta. Gossen Metrawattin mahdollisuus tunnistaa akustot RFID-tunnisteiden avulla vaikutti myös päätökseen.

Tietokannoissa vaikutti Fluken tietokannan puutteet, tulosten siirto tietokannasta Exceliin tarkastelun helpottamiseksi aiheuttaa huomattavasti ylimääräistä työtä varsinkin kuormituskokeiden aikana. Tietokannat olivat muilta osin molemmilla riittävän monipuoliset, ja valinnan teko perustuikin lähinnä mittarien toimintojen vertailuun.

## 8.2 Valinnan lopputulos

Järjestelmän valintaan vaikuttavien tekijöiden vertailun perusteella parhaaksi vaihtoehdoksi valikoitui Gossen Metrawatt Metracell BT Pro. Järjestelmä sisälsi vaadittavista toiminnoista samat kuin Fluke, mutta mittarin (Kuva 8) RFID-tunnistus, fyysinen koko, mittausnopeus, ominaispainomittarin liittämismahdollisuus ja tietokannan toiminnot ratkaisivat valinnan Gossen Metrawattin hyväksi.



Kuva 8: Gossen Metrawatt Metracell BT Pro (Gossen Metrawatt, n.d.)

Mittarien tilaamisen jälkeen suoritettiin ominaispainomittarin hankinta. Tiedonhakuun ja valinnan tekemiseen vaikutti huomattavasti Metracell BT Pro-mittarin yhdistysmahdollisuudet, ja ominaispainomittarin valinta kohdistuikin Anton Paar DMA-mittareihin. Anton Paarin valikoimasta sopivaksi vaihtoehdoksi valittiin DMA35 Basic, jonka yhdistäminen Metracelliin tapahtuu infrapunalähdettimen avulla.

## 9 JÄRJESTELMÄN KÄYTTÖÖNOTTO

### 9.1 Asennustyöt

Työssä ei fyysisiä asennustöitä vaadittu, vaan asennustyöt koostuivat tietokannan asentamisesta tietokoneille. Tietokanta asennettiin kahdelle koneelle, ja tietokannan lataaminen onnistui Gossen Metrawatin MyGmc-sivujen kautta. Sivulle luotiin käyttäjä, ja tilille rekisteröitiin tilattujen mittarien sarjanumerot. Mittarien rekisteröimisen jälkeen aukesi linkki järjestelmän BT Pro Manager-tietokannan lataamiseen. Tietokanta asennettiin kahdelle tietokoneelle, ja tietokanta toimii molemmissa koneissa samalla käyttäjällä.

Oletuksena BT Pro Manager käyttää paikallista manuaalista varmuuskopiointia, mutta varmuuskopiointi on mahdollista suorittaa myös palvelimen kautta. Palvelin pohjaisen varmuuskopioinnin lisäksi Gossen Metrawattin sivuilta löytyi hyvät ohjeet miten palvelin pohjaisen varmuuskopioinnin voi asentaa. Tietokannan haluttiin suorittavan automaattisesti varmuuskopiointi, sillä tietokannalla on useita käyttäjiä, eikä voitaisi olla varmoja säännöllisestä manuaalisesta varmuuskopioinnin tekemisestä. (Gossen Metrawatt, 2023.)

BT Pro Manager käyttää sulautettua Firebird SQL-tietokantaa. Tietokanta on mahdollista asettaa palvelimella toimivaksi, jolloin se vaatii erillisen Firebird 3-palvelinohjelmiston asentamista koneille. Palvelinohjelmiston asennus suoritettiin tietotekniikkatiimin jäsenen avulla. BT Pro Manager käyttää normaalisti paikallisessa varmuuskopioinnissa \*CS\_DATA.FDB-nimellä olevaa SQL-tietokantaa, joka sijaitsee tietokoneen kovalevyllä C:\ProgramData\Cellizer\CS-Manager\Database. \*CS\_DATA.FDB kopioitiin C-asemalta D-asemalle, jossa se sijoitettiin Firebird-palvelimen kansioon. Tietokannan asetuksissa asetettiin palvelimen IP-osoite, sekä luotiin palomuuriaukset sisäverkon palomuurille, ja asetettiin palomuurin käyttämä portti. (Gossen Metrawatt, 2023.)

Koekäytön aikana luotiin jo suuri osa akustoista tietokantaan, ja siitä luotiin manuaalisesti varmuuskopio, joka asetettiin uusiin tietokantoihin.

Varmuuskopion avulla säästettiin huomattavasti aikaa, sillä tietoja ei tarvinnut alkaa manuaalisesti kopioimaan toiselta tietokannalta. Samalla varmistuttiin manuaalisen varmuuskopioinnin toiminnasta.

## 9.2 Akustojen tietojen luominen

BT Pro Managerissa hallitaan akkumittauksiin liittyviä tuloksia ja määritellään tietoja ja raja-arvoja. Tietojen luominen tapahtuu tietokannan "Definitions"-valikossa, joka on kuvassa 9 ympyröity punaisella. "Definitions"-valikon alapuolella on "View readings"- ja "Download readings"-valikot. Kuvassa on numeroitu "Definitions"-valikon alavalikot 1–6.

1. Area

Valikossa luodaan alueet, kuten OL1, OL2, ulkoalueet jne.

2. Battery

Valikossa luodaan akusto ja määritellään akuston raja-arvot ja tiedot.

3. Block type

Valikossa luodaan akkumalli esim. Hoppecke 8 OPzS 800, ja määritellään akkumallin raja-arvot.

4. Block technology

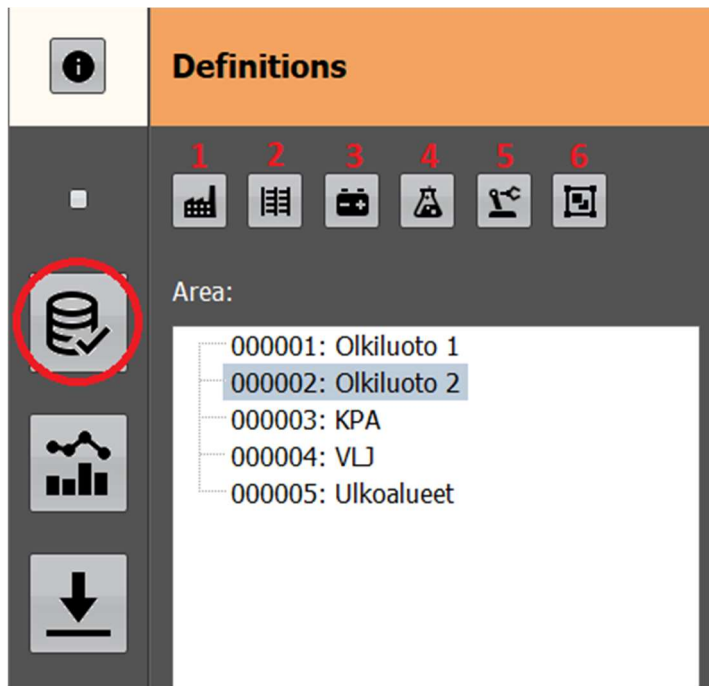
Määritellään käytettävät akkutyypit, kuten AGM, vesiakku, geeliakku jne.

5. Manufacturer

Luodaan akkumallien valmistajat.

6. Group

Valikossa voi luoda erilaisia ryhmiä helpottamaan akustojen erittelyä.



Kuva 9: Definitions-valikon alavalikot numeroituna, sekä lista luoduista alueista. (BT Pro Manager, 2023)

Aluksi luotiin alueet, OL1, OL2, KPA, VLJ ja ulkoalueet helpottamaan suuren akustomäärän erittelyä toisistaan. Tämän jälkeen luotiin akkujen valmistajat ja akkutyypit, joita ovat esim. vesiakku ja geeliakku. Yleisten tietojen jälkeen luotiin akkumallit, joiden avulla luotiin lopulta akustot.

### 9.2.1 Akkukohtaiset arvot

Mittauksiin on määritetty erinäisiä akkukohtaisia raja-arvoja, joiden sisällä normaalitilanteessa mittausten tulee olla. Raja-arvot asetetaan "Block type"-alavalikossa (Kuva 10), jossa on mahdollisuus eritellä raja-arvot mittaustavan mukaan. Esimerkkinä on käytetty Hoppecken 8 OPzS-akkua, joka on käytössä kuvassa 5 laitepaikkatunnuksen esimerkkinä olleessa 1.672B391-akustossa.

"Float UDC" -kenttiin asetettiin akulle määritellyt kestovarausjännitteen rajat, joiden ulkopuolelle asettuessaan akku siirtyy tarkkailukennoksi. "Discharge UDC"-kenttiin asetettiin kuormituskokeissa käytettävät akkukohtainen raja-arvot, alarajana 672-järjestelmässä on 1,87V / akku. Tietokannassa ei ollut mahdollista määrittää eri akustoille akkukohtaisia alarajoja, vaan rajat menevät

aina akkumallin mukaan. Joitakin akkumalleja on käytössä useassa eri akustossa, ja akustojen jänniteraja-arvot vaihtelevat, jonka takia joistakin akkumalleista luotiin useampi versio. Nämä eroteltiin toisistaan kuormituskoeohjeen mukaisilla kennojänniterajoilla, jotka ovat 1,75–1,87 V. ”Density”-kenttään asetettiin ominaispainolle asetetut raja-arvot, jotka ovat 1,22–1,26 g/cm<sup>3</sup>.

**Definitions**

**Block type**

Name: Exide 8 OPzS 800 LA/1,87V

User name: KUJ

Manufacturer: Exide

Technology: Vesäkki

Container:

Block voltage: 2,000 [V]

Cell count: 1

Nom. capacity: 834,000 [Ah]

Polepairs: 1

Definition of a single measuring point (MPoint):

	Absolute		Relative		Mpoints per block
	min.	max.	min.	max.	
Float UDC	2,240	2,130	40,000	40,000	1
Charge UDC	0,000	0,000	0,000	0,000	1
Discharge UDC	0,000	1,870	0,000	0,000	1
Density	0,000	1,220	0,000	0,000	1
Temperature	0,000	15,000	0,000	0,000	1
R <sub>el</sub>	0,000	0,000	0,000	0,000	1
R <sub>ct</sub>	0,000	0,000	0,000	0,000	1
Connector_U	0,000	0,000	0,000	0,000	1
Connector_R	0,000	0,000	0,000	0,000	1
Float IDC	0,000	0,000	0,000	0,000	1
IAC			0,000	0,000	1
UAC			0,000	0,000	1

(Capacity test) Discharge time Rated capacity Discharge current Cut off voltage Active

Definition 1 [hh:mm] 0,000 [Ah] 0,000 [A] 0,000 [V] ☐

Definition 2 [hh:mm] 0,000 [Ah] 0,000 [A] 0,000 [V] ☐

Definition 3 [hh:mm] 0,000 [Ah] 0,000 [A] 0,000 [V] ☐

Remarks

Kuva 10: Tietokannan ”Definitions”-valikon ”Block type”-alavalikko, jossa määritellään akkumallin tiedot. (BT Pro Manager, 2023)

### 9.2.2 Akustokohtaiset arvot

Akkukohtaisten tietojen luomisen jälkeen luotiin akustot ja määriteltiin niiden tiedot ”Battery”-alavalikossa (Kuva 11). Akustot nimettiin niiden laitepaikkatunnusien mukaan, ja ”Battery-ID”-kenttään valittiin seuraava vapaa numero vasemmalla olevan puurakenteen mukaan. Akustot luotiin numeraalisessa järjestyksessä niiden laitepaikkatunnusien mukaan selkeyden vuoksi, sillä akustot näkyvät puurakenteessa sekä mittarissa Area-ID:n ja Battery-ID:n mukaisessa järjestyksessä. Alue, akkumalli ja ryhmä valittiin alasvetovalikoista, jonka jälkeen asetettiin ”Blocks/String”-kenttään akustossa olevien akkujen määrä. Asettamisen jälkeen tietokanta laski itse akuston nimellisjännitteen sekä kestovaraus-, ja kuormituskoejänniterajat. Akuston nimellisjännite on 106

VDC, kun taas 672-järjestelmän nimellijännite on 110 VDC. ”String voltage”-kenttään asetettiin järjestelmän nimellijännite, sillä kuormituskoerajat laske-  
taan sen perusteella. 672-järjestelmässä kuormituskokeen alarajajännite on  
90 % nimellijännitteestä, eli alaraja on ”Discharge UDC”-kohdan ”Absolute  
min”-kenttään merkitty 99 VDC. ”Float UDC”-kentissä on kuormituskoeoh-  
jeessa määritellyt kestovarauksen jänniterajat. (Olkidoc-ohje 102308, 2022)

Akustolle on mahdollista asettaa sen asennuspäivä, sekä tietokanta näyttää  
automaattisesti edellisen sille suoritettun kestovaraus- tai kuormituskoemit-  
tauskerran. ”RFID”-kenttään ilmestyy RFID-tunnisteen yksilöllinen osoite, joka  
ensin määritellään mittarin avulla. Akustolle on mahdollista määrittää myös yk-  
sittäisiä erilaisia akkuja ”redefined block type”-kentässä, jos akustosta vaihde-  
taan vain yksittäisiä viallisia akkuja.

The screenshot shows the 'Definitions' tab in the BT Pro Manager software. The left sidebar contains a list of battery definitions: 000001: Olkiluoto 1, 000002: Olkiluoto 2, 000003: KPA, 000004: VLJ, and 000005: Ulkoalueet. The main area displays the 'Battery' configuration form for the selected battery (000001: Olkiluoto 1). The form includes various fields for configuration, such as Name, Aux. name, Battery-ID, Area-ID, Area, Group, Tour-no., String count, Blocks / String, String voltage, Act. Block no., redefined block type, Maintenance (Last, Next, Interval), Discharge (Last, Next, Interval), Clamp, Installation date, RFID, Building, Floor, Room, and GPS coordinates (Latitude, Longitude, Altitude).

Kuva 11: Definitions-valikon Battery-alavalikko, jossa määritellään akuston tiedot ja raja-arvot. (BT Pro Manager, 2023)



### 9.3 Mittarin käyttöönotto

Mittarien saapuminen ajoittui kuormituskokeiden alkamisen yhteyteen, ja etukäteen valmiiksi luodun tietokannan avulla päästiin heti aloittamaan asentajien ohjeistus mittarin ja tietokannan käyttöön. Asentajat perehdytettiin mittarin käyttöön pareittain, jonka avulla voitiin varmistua jokaisen pääsevän kokeilemaan mittarin toimintaa.

Käyttöönoton alussa kokeiltiin mittarin toimintoja, joita ei koekäytön aikana ehditty kokeilemaan. Jokaisen akuston kuormituksen alussa mittarilla määriteltiin ensin RFID-tunnisteet, jonka jälkeen voitiin suorittaa kennojännitemittauksia. RFID-tunnisteen määrittäminen suoritettiin siirtämällä ensin kaikkien akustojen tiedot tietokannalta mittariin. Metracell BT Pro:ssa valitaan valikosta ”Show bat-def”-toiminto (liite 1), jonka jälkeen etsitään aukeavasta valikosta oikea akusto. Akuston valinnan jälkeen mittari asetetaan tunnisteeseen lähelle, jolloin mittari lukee tunnisteeseen osoitteen ja tallentaa sen. Määrittelyssä tulee olla tarkka, sillä mittarilla ei saa määriteltä tunnistetta poistettua, vaan se tulee poistaa tietokannassa.

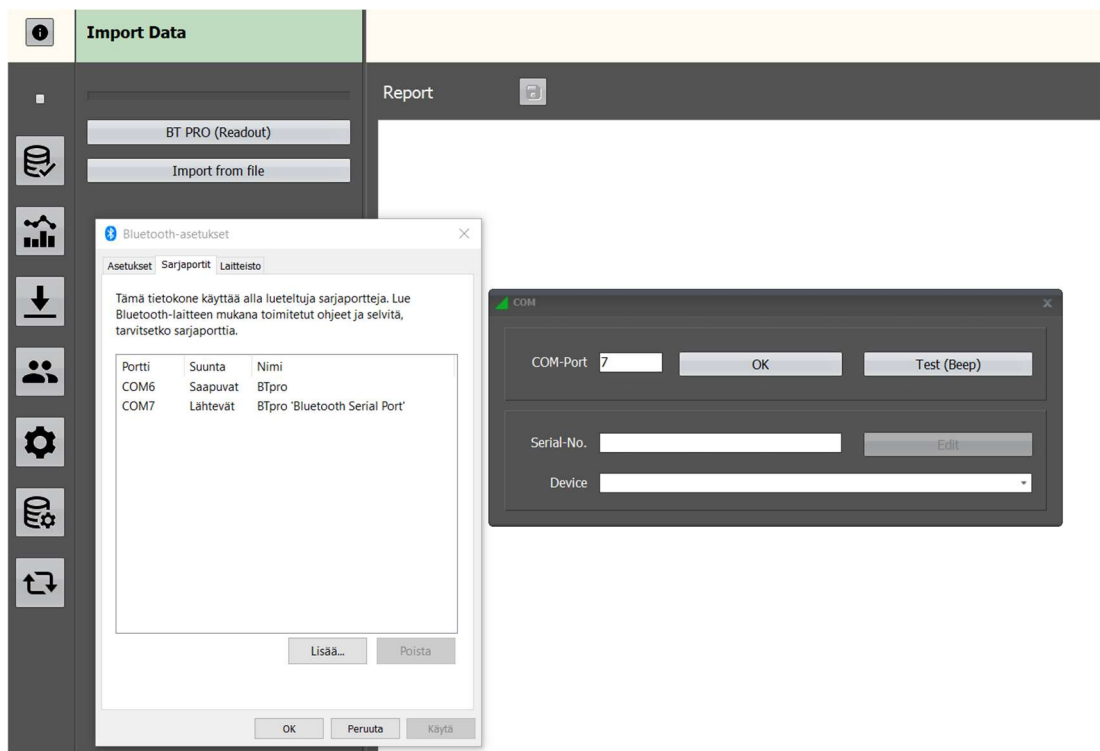
Kuormituskokeiden alussa mittauksia suoritettiin Metracell BT Pro:lla sekä TMC2001d-mittarilla, kunnes varmistettiin uuden järjestelmän toimivan varmasti. Mittarin toiminnan varmistamisen jälkeen aloitettiin myös ylimenojännitemittausten suorittaminen Metracellilla, ja lopulta TMC-2001d:n käyttö voitiin lopettaa kokonaan. Mittarista asetettiin polariteetti ”off”-asentoon (liite 2), jolloin estettiin miinusmerkkisten tulosten mittaus kennojännitemittauksissa. Asetus ei kuitenkaan vaikuta ”Connector”-mittausten polariteettiin, vaan jännitehäviömittauksissa tulee silti kiinnittää huomiota johtimien asettamisessa akun napoihin oikein päin.

Mittarin ”measurement menu” (liite 3) sisältää kaikki mittaustavat, jotka Metracellilla on mahdollista valita. Kuormituskokeissa käytetään ”Discharge”-toimintoa, ja kestovarausjännitteissä ”Float”-toimintoa. Erona mittaustoiminnoissa on vain se että ”Discharge”-toiminnon avulla tietokanta näyttää alku- ja loppumittauksen tulokset samassa kuvaajassa, ja kertoo mittauskertojen välissä

kuluneen ajan. Kuormituskokeiden aikana kävi ilmi, että ”Discharge”-toiminnolla mitattaessa mittari tulee tyhjentää, jos tuloksia siirretään jonkin akuston alku- ja loppumittauksen välissä tietokantaan. Jos mittarilla suoritetaan aloitusmittaus johonkin akustoon, ja tulokset siirretään tietokantaan tyhjentämättä mittaria siirron jälkeen, mittari ei suostu loppumittaukseen seuraavalla kerralla siirtämään, sillä se olettaa loppumittauksen siirtyneen jo aikaisemman siirron aikana.

#### 9.4 Tulosten siirto ja tarkastelu

Mittaustulosten tarkistaminen on oleellinen osa kunnonvalvontaa, ja tietokannassa on mahdollista tarkastella tuloksia taulukkomuodossa tai viiva-, ja pylväsdiagrammina. Asentajille ohjeistettiin tulosten siirtäminen tietokantaan, ja miten tarkistetaan tuloksien olevan raja-arvojen sisällä. Jokainen mittari käyttää omaa sarjaporttia (COM-port) tietokoneeseen yhdistyäkseen, ja oikean mittarin valinta tapahtuu tietokannassa ”Download readings”-valikossa. Oikeiden sarjaporttien etsiminen tapahtui avaamalla tietokoneen Bluetoothin lisäasetukset, josta katsottiin mitkä portit ovat lähteviä. (Kuva 12)

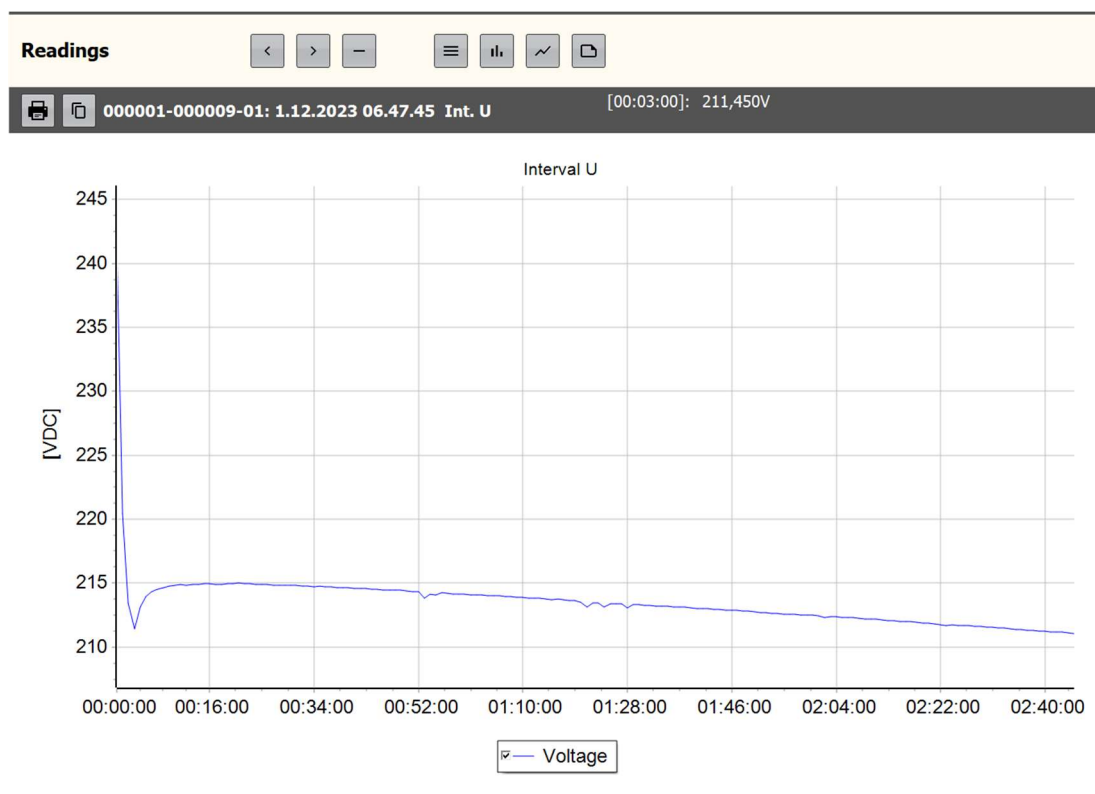


Kuva 12: "Download readings"-valikko ja tietokoneen Bluetoothin lisäasetusten välilehti. (BT Pro Manager, 2023)

Mittarien erottamiseksi jokaiseen mittariin luotiin tarrat, jotka kertovat mittarin käyttämät sarjaportit. Haasteeksi osoittautui mittarien sarjaporttien eriävät numerot eri tietokoneilla. Tietokanta asennettiin kahdelle koneelle ja yksittäinen mittari siis käyttää eri sarjaportteja, riippuen siitä kumpaan koneeseen mittari yhdistetään, eikä sarjaportteja ole mahdollista vaihtaa. Mittarien sarjaporteissa ei kuitenkaan tullut päällekkäisyyksiä, eli jos mittari nro. 1 käyttää sarjaporttia 7 ensimmäisellä koneella, muut mittarit eivät käytä sarjaporttia 7 toisella koneella. Tämä estää mittarien yhdistämisessä esiintyvät sekaannukset.

Tulosten tarkastelu tapahtuu tietokannan "View readings"-valikossa. Kuvassa 13 on mittaustulos 665-järjestelmän akuston kuormituksesta, jonka nimellisjännite on 216 V. Kyseessä on akusto, johon ei kytketty kuormavastuksia, vaan akusto kuormitettiin sen omalla käytönaikaisella kuormalla ja UPS-laitteeseen kytketyillä sähköpuhaltimilla. Mittarissa käytettiin "Interval"-mittausta eli aikavälimittausta, ja mittajohtimet oli kytketty akustolle meneviin – ja +-johtimiin. "Interval"-mittaus on Metracellin mittaussetus, jonka avulla se mittaa määritetyin aikavälein sen mittajohtimiin kohdistuvan jännitteen. Mittarissa asetettiin

mittausväliksi 60 sekuntia, jonka takia tietokannassa näkyy pienetkin vaihtelut jännitetasossa. Jännitetason pienet notkahdukset johtuvat käytönaikaisessa kuormassa olevien laitteiden käynnistymisistä, jotka hetkellisesti laskevat akuston jännitettä.

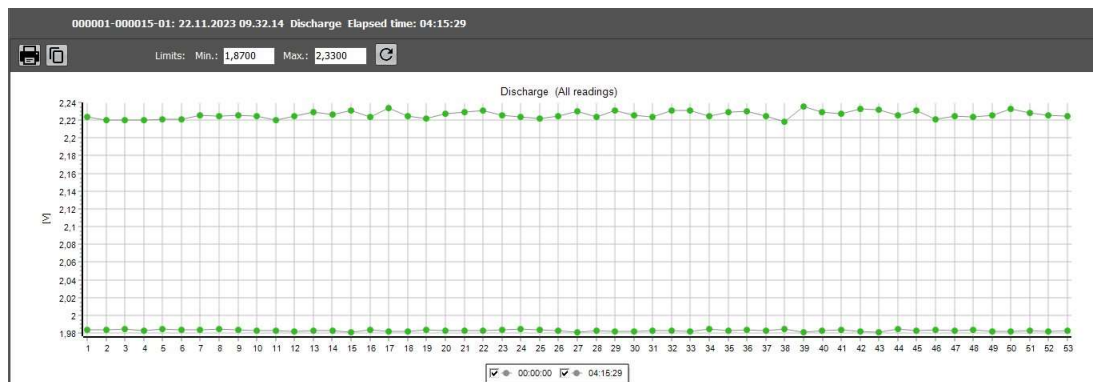


Kuva 13: Aikavälimittaus 665-akustosta. Mittausväli 60 sekuntia. (BT Pro Manager, 2023)

Akuston kuormituksen alussa kestovarausjännite on 241 VDC, ja tasasuuntaajan sammuttamisen jälkeen se laskee nopeasti alaspäin. Kuvan 13 käyrässä näkyvä jännitekuoppa johtuu siitä, että elektrolyytillä kestää hetki lämmetä. Jännitekuopan jälkeen jännite nousee seuraavan 10 minuutin ajan, jonka jälkeen se laskee tasaisesti loppukuormituksen ajan, muodostaen loppujännitteeksi n. 211 VDC. Kuormitustekninen alaraja 665-akustoille on 189 VDC, joten akuston todettiin olevan käyttökuntoinen.

Kuvassa 14 näkyy 1.672B391-akustolle suoritettujen kuormituskokeiden akkukohdaiset jännitteet viivadiagrammina. Ylempänä oleva kuvaaja näyttää ennen kuormitusta mitatut jännitteet, ja alempi kuvaaja näyttää kuormituskokeen

loppumittauksen jännitteet. "Limits"-kentissä on mahdollista tarkentaa tarkasteltavia raja-arvoja tarpeen vaatiessa.



Kuva 14: 1.672B391-akuston kuormituskokeen aloitus- ja lopetusmittauksen tulokset. (BT Pro Manager, 2023)

Liitteissä 4–6 on 1.672B391-akuston kuormituskokeesta tulostettava raportti, jonka ensimmäisellä sivulla (liite 4) näkyy yleiset tiedot akustosta, kuten akuston laitepaikkatunnus, akkumalli ja akkujen määrä. Raportin toisella sivulla (liite 5) näkyy kuvan 14 mukaisesti kuormituskokeen alku- ja lopetusmittaukset viivadiagrammina, ja kolmannella sivulla (liite 6) lisäksi taulukkomuotona. Raportin ensimmäisen sivun "Test result"-kohdassa on mahdollista eritellä värikoodein tulosten hyväksyminen. Vihreä tulos tarkoittaa tuloksen olevan raja-arvojen sisällä, punainen ulkopuolella. Lisäksi keltaisella voi merkitä sellaisen tuloksen, joka on vielä hyväksyttävä, mutta saattaa olla lähellä hylättyä arvoa.

Tietokannan yhteiskäyttö molemmilla tietokoneilla sujui hyvin. Tietokantaan siirretyt tulokset näkyivät molemmissa koneissa lähes heti siirron jälkeen, eikä tietokannassa esiintynyt ongelmia, vaikka samalle käyttäjälle kirjaututtiin molemmilla koneilla samaan aikaan. Tietojen ja tulosten päivittyminen onnistuu tietokannassa olevalla "Refresh"-napilla, jolloin se päivittää toisella koneella tallennetut muutokset. Tietokantaan sisään kirjautuessa tämä tapahtuu automaattisesti. Kuormituskokeiden aikana käytettiin lähinnä toista konetta mahdollisten ongelmien välttämiseksi, ja yhteiskäytön toimivuutta testattiin lähinnä testikäyttöön luoduilla akustoilla ja testimittauksilla.

## 9.5 Käyttöohjeiden luonti

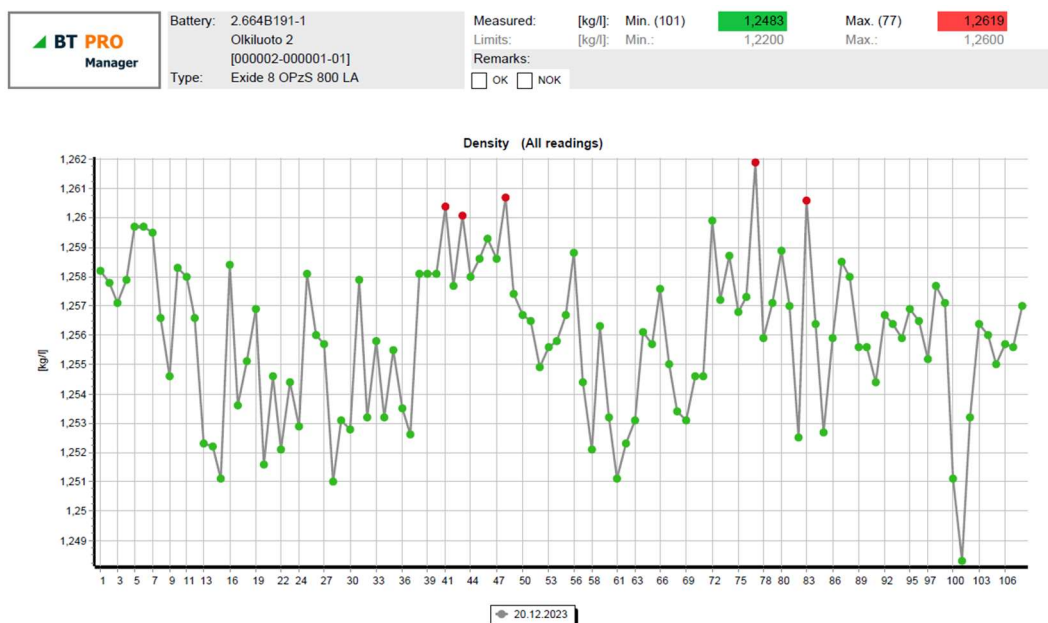
Akkumittarin, ominaispainomittarin ja tietokannan käyttöön luotiin kahdet erilliset ohjeet. Molemmat ohjeet luotiin Metracell BT Pron oman käyttöohjeen ja omien käyttökokemuksien perusteella, joihin otettiin huomioon laitosten vaatimukset. Lyhyempi viisisivuinen ohje on luotu asentajille kuormituskokeiden yhteyteen, ja sen tarkoitus oli toimia ohjeistuksena järjestelmään pidetyn perehdytyksen jälkeen. Ohjeissa on lyhyesti selitetty RFID-tunnisteiden määrittely, kennojännitemittaus, ylimenojännitemittaus, ominaispainomittaus ja tulosten siirto tietokantaan. Laajempi 13-sivuinen ohje luotiin uusille käyttäjille, jonka avulla on mahdollista käyttää järjestelmää ilman aikaisempaa perehdytystä tai kokemusta. Ohjeeseen lisättiin yksityiskohtaiset ohjeistukset kaikista laitosalueella tarvittavista toiminnoista, joita olivat:

1. Tietokannan ja mittarin välisen yhteyden luominen
2. RFID-tunnisteiden määrittely
3. Alueiden, akkujen ja akustojen luominen tietokannassa
4. Tietojen siirto tietokannasta mittariin
5. Kennojännitemittaus
6. Ylimenojännitemittaus
7. Aikavälimittaus
8. Ominaispainomittaus
9. Mittaustulosten siirto tietokantaan
10. Tulosten tarkastelu mittarissa ja tietokannassa

Ohjeiden luomisessa haasteeksi osoittautui asian lähestyminen asentajien näkökulmasta. Koekäytön, järjestelmän hankinnan ja käyttöönoton aikana tapahtunut perehtyminen vaikeutti asettumista ikään kuin uudeksi käyttäjäksi, sillä järjestelmän käyttäminen sujui jo ilman ohjeita. Ohjeissa tuli esittää asiat mahdollisimman selkeästi, ja varsinkin laajemman ohjeen luomisessa tuli pohtia onko järjestelmän uuden käyttäjän mahdollista käyttää järjestelmää sujuvasti ilman mitään aikaisempaa kokemusta.

## 9.6 Oinaispainomittarin käyttöönotto

Kuormituskokeiden aikana päästiin käyttöönottamaan myös uusi ominaispainomittari. Anton Paar DMA35 Basic on toiminnoiltaan lähes samanlainen kuin edeltävä DMA35N, joten mittariin perehtyminen onnistui vaivattomasti. Akkuja mitattaessa DMA:lla valitaan asetuksista mitattavaksi aineeksi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, eli rikkihappo. Oinaispainomittaukset suoritetaan akusto kerrallaan, jonka jälkeen tulokset pitää siirtää Metracelliin, ja sen jälkeen ominaispainomittari tulee tyhjentää. Tietokantaan siirto tapahtuu Metracellilla samanlaisesti kuin muutkin mittaustulokset. Kuvassa 15 on OL2-laitoksen akuston 2.664B191-1 ominaispainotulokset raporttimuodossa, ja kuvaajassa näkyy miten raja-arvojen ulkopuolelle jääneet tulokset korostuvat punaisella.



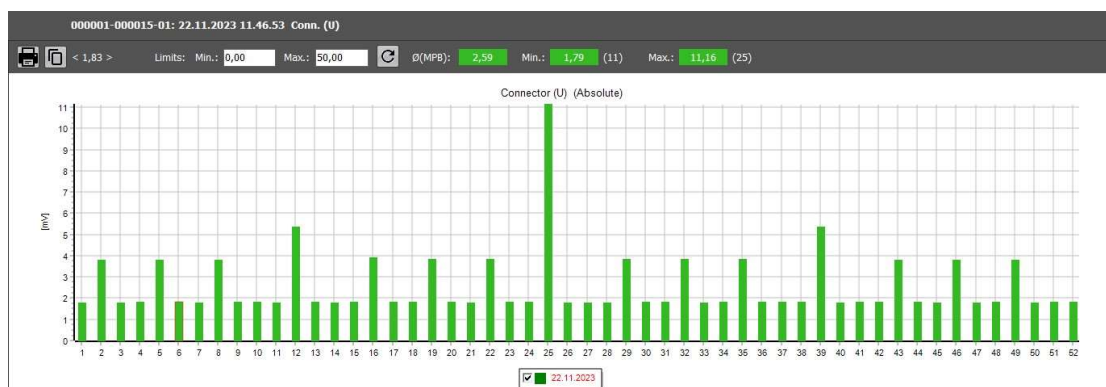
Kuva 15: 2.664B191-1-akuston ominaispainomittauksista tulostettava raportti. (BT Pro Manager, 2023)

## 9.7 Uuden järjestelmän hyvät ja huonot puolet

Gossen Metrawattin järjestelmän avulla saatiin kuormituskokeiden aikana suoritettavat ylimenojännitemittaukset huomattavasti nopeammaksi. Aikaisemmin mittaukset suoritettiin yleismittarilla, ja tulokset kirjattiin paperille, kun taas Metracellin "Connector"-mittauksella on mahdollista tallettaa tulokset suoraan

mittarille. Mittarin "Interval"-mittauksella on mahdollista saada akuston kokonaisjännitteestä valmis kuvaaja tietokantaan, aikaisemmin tulokset on kirjattu paperille, ja sieltä siirretty Exceliin kuvaajan luomiseksi.

Puutteita Gossenin järjestelmässä havaittiin joiltakin osin. "Interval"-mittauksen, eli aikavälimittaukset tulokset ovat tarkasteltavissa vain viivadiagrammina, eikä tuloksia saa taulukkomuotoon, sekä interval-mittausten tulostusyrittäminen raporttimuodossa aiheuttaa tietokannan jumittumisen. Tietokannassa on mahdollista valita näkyviin vain tietyllä mittausasetuksella mitatut tulokset, esim. pelkkiä kestovarausjännitteitä tarkastellessa tietokanta ei näytä puurakenteessa akustojen nimiä, ja tulokset näkyvät vain "Area-ID":n ja "Battery-ID":n perusteella, kuten kuvan 16 vasemmassa yläreunassa näkyy. ID-numeroista luotiin lista, jossa näkyy mitkä ID:t vastaavat mitäkin akustoa. Akuston laitepaikkatunnus on mahdollista myös tarkistaa valitsemalla vasemmassa yläreunassa "Print"-napilla, jolloin aukeaa raporttinäkymä jossa lukee akuston yleiset tiedot. Tulosten tarkastelu molemmilla edellä mainituilla tavoilla on kuitenkin epäkäytännöllistä sen hitauden vuoksi.



Kuva 16: Tulokset ylimenojännite-, eli jännitehäviömittauksista 1.672B391-akustosta. (BT Pro Manager, 2023)

Metracell BT Pro-mittariin on mahdollista hankkia yhteensopiva virtamittari, mutta virtamittauksen mahdollisuus rajoittuu vain "Interval"-mittaukseen, eli mittarilla ei ole mahdollista mitata kuormituskokeiden aikana akkujen välisissä kaapeleissa tai kiskoissa kulkevia virtoja. Akustojen kuormituskokeissa virranmittaus suoritetaan mittaamalla virtashuntin ylimenojännitettä, joten virtamittaria ei hankittu sen tarpeettomuuden vuoksi.



Gossen Metrawattille lähetettiin kehitysehdotus tietokantaan sopivasta tallentavasta mittarista, jonka avulla kuormituskokeiden aikaiset virtamittaustuloksetkin olisi mahdollista saada samaan tietokantaan muiden mittaustulosten kanssa. Muista havaituista ongelmakohdista ja kehityskohteista otettiin myös yhteyttä Gossen Metrawattiin, mutta mahdolliset muutokset ongelma-kohtiin eivät tähän työhön ehtineet mukaan.

## 10 YHTEENVETO JA TAVOITTEISIIN PÄÄSY

Uuden järjestelmän käyttäjinä toimivat pääasiassa sähkökunnossapitoasentajat, joiden mielipiteiden perusteella voitiin arvioida lopputuloksen onnistumista. Luotujen ohjeiden ja lyhyen perehdytyksen avulla asentajat kykenivät suorittamaan kaikki tarvittavat mittaukset, ja heiltä saadun palautteen perusteella mittarin ja tietokannan todettiin olevan huomattavasti parempia kuin vanhat.

OL1- ja OL2-laitosten vanha akustojen kunnonvalvontajärjestelmä korvattiin uudella järjestelmällä tavoitteiden mukaisesti. Uusi järjestelmä koostuu Gossen Metrawatt Metracell BT Pro-akkumittarista, BT Pro Manager-tietokannasta, sekä Anton Paar DMA35 Basic-ominaispainomittarista. Uuden järjestelmän käyttöön luotiin suppea sekä laaja ohje, ja järjestelmän käyttäjille annettiin henkilökohtaiset perehdytykset. Järjestelmän avulla laitosalueella suoritettavat mittaukset saatiin nopeammiksi ja virtamittausta lukuun ottamatta kaikki akustojen mittaukset on jatkossa mahdollista tallettaa samaan tietokantaan.

Työssä esiin tullut kiinteästi asennettava valvontajärjestelmä voisi olla kiinnostava vaihtoehto akuston valvontaan. Tällainen järjestelmä saattaisi olla sopiva pienemmän akustomäärän valvontaan. TVO:n mittakaavassa vastaava järjestelmä kuitenkin aiheuttaa valtavat kustannukset, jonka vuoksi

järjestelmää ei hankittu. Varsinkin akustojen sijaitessa kaukana valvontaa toteuttavien henkilöiden työpaikasta, järjestelmän avulla olisi mahdollista saada reaaliaikaista tietoa sen kunnosta.

Haasteeksi työssä osoittautui suurikokoisten akustojen kunnonvalvontaan liittyvien materiaalien puute. Suurin osa materiaalista kohdistuu yksittäisten pienten akkujen testaukseen ja niiden huoltoihin. TVO:n akustomäärät ovat määrältään poikkeuksellisia, eikä vastaavia akustoja ole useassa paikassa. Osaltaan tämä karsii myös akuston mittauksiin käytettävien kunnonvalvontajärjestelmiäkin, sillä vähäisen kysynnän vuoksi monet tunnetut mittauslaitteiden valmistajat eivät tuo markkinoille suurille akkumäärille tarkoitettuja mittareita.

Akustojen määrä tosin saattaa tulevaisuudessa olla yksityis- ja teollisuuskäytössä suurempi, sillä aurinko- ja tuulivoimaenergian suurimpia ongelmia on sen tuotannon vaihtelevuus, jota yritetään ratkaista varastoimalla energiaa esim. akkuihin. Omakotitaloissa aurinkopaneelit tuottavat suurimman osan sähköstä päivisin, jolloin asukkaat ovat yleensä töissä, joten pienellä akustolla olisi mahdollista varastoida energiaa myöhempään käyttöön. Tämä saattaa tarkoittaa myös uusien akustojen kunnonvalvontaratkaisujen syntymistä.

## LÄHTEET

Anton Paar. (26.09.2003). DMA35N Instruction manual.

[https://archive-resources.coleparmer.com/Manual\\_pdfs/Shortcut%20to%20Instruction%20Manuals.lnk.pdf](https://archive-resources.coleparmer.com/Manual_pdfs/Shortcut%20to%20Instruction%20Manuals.lnk.pdf)

Bryan Veldboom. (20.4.2022). What Causes Battery Sulfation and Corrosion?

<https://www.batteriesplus.com/blog/power/car-battery-sulfation-corrosion>

BT Pro Manager. (2023). Oma kuvakaappaus BT Pro Manager-tietokannasta.

Eagle Eye Power Solutions. (n.d.) VIGILANT™ Next Generation Battery Monitoring System. Haettu 20.9.2023 osoitteesta <https://eepowersolutions.com/products/battery-monitoring-systems/vigilant-next-generation-battery-monitoring-system/>

Fluke. (n.d.) BT500-akkuanalysointisarjan yleistiedot. Haettu 11.9.2023 osoitteesta <https://www.fluke.com/fi-fi/tuote/sahkotestaus/akkuanalysointit/fluke-500>

Gossen Metrawatt. (n.d.). Metracell BT Pro. Haettu 18.9.2023 osoitteesta

<https://www.gossenmetrawatt.de/en/products/metracell-bt-pro/>

Gossen Metrawatt. (2023). Setup of the BT PRO Manager network variant.

<https://support.gossenmetrawatt.de/Main/SetupOfTheBTPROManagerNetworkVariant>

Handy-math. (n.d.). The Complete Aqueous Sulfuric Acid Solutions Density-Concentration Calculator. Haettu 4.12.2023 osoitteesta <https://www.handy-math.com/cgi-bin/sulfurictble11.cgi?submit=Entry>

Hoppecke. (2022). Recombination system for stationary batteries.

[https://www.hoppecke.com/fileadmin/Redakteur/Hoppecke-Main/Products-Import/grid\\_aquagen\\_pro\\_brochure\\_en.pdf](https://www.hoppecke.com/fileadmin/Redakteur/Hoppecke-Main/Products-Import/grid_aquagen_pro_brochure_en.pdf)

Manualzz. (2003). TMC-2001D Manual. <https://manualzz.com/doc/11095214/tmc-2001d-manual>

Megger. (n.d.) Megger Bite5-mittarin yleistiedot. Haettu 13.9.2023 osoitteesta

<https://megger.com/battery-tester-bite5>

Microsoft. (n.d.). Extended Security Updates. Haettu 23.11.2023 osoitteesta

<https://learn.microsoft.com/en-us/lifecycle/products/windows-7>

Olkidoc-ohje 113901 (2020). Tunnusjärjestelmä. Teollisuuden Voima Oyj. Eurojoki

Olkidoc-ohje 102308 (2022). OL1/OL2 - 664-, 665- ja 670-järjestelmien akkukokeet. Teollisuuden Voima Oyj. Eurajoki

Savree. (n.d.). Haettu 19.11.2023 osoitteesta <https://savree.com/en/encyclopedia/flooded-lead-acid-battery>

Sino Voltaics. (n.d.). Haettu 26.11.2023 osoitteesta <https://sinovoltaics.com/learning-center/storage/gel-battery/>

SFS-EN IEC 62485-2:2018. (2018). Akkujen ja akkuasennusten turvallisuusvaatimukset. Osa 2: Paikalliset. Suomen standardoimisliitto. <https://online.sfs.fi>

Sonnenschein. (n.d.). Haettu 3.10.2023 osoitteesta <https://cdn.tayna.com/datasheets/Sonnenschein%20A700%20Range%20Data%20Sheet.pdf>

Sonnenschein. (2003). Handbook for Gel-VRLA-Batteries. <http://www.sonnenschein.org/PDF%20files/GelHandbookPart2.pdf>

Solarkobo. (5.1.2020). OpzS and OPzV batteries. <https://www.solarkobo.com/post/opzs-and-opzv-batteries>

Teollisuuden Voima Oyj. (n.d.-a). TVO-konserni. Haettu 24.7.2023 osoitteesta <https://www.tvo.fi/yhtio/hallintojajohtaminen/tvo-konserni.html>

Teollisuuden Voima Oyj. (n.d.-b) TVO-konserni. Haettu 19.9.2023 osoitteesta <https://www.tvo.fi/tuotanto/laitosyksikot/ol3.html>

Teollisuuden Voima Oyj. (2007). Olkiluoto NPP - units 1 & 2. <https://www.tvo.fi/ajankohtaista/julkaisut.html>

Teollisuuden Voima Oyj. (2009). Yleistietoa Olkiluoto 3:sta. [https://www.tvo.fi/uploads/File/2009/OL3\\_perusesite\\_2009\\_FI\\_final.pdf](https://www.tvo.fi/uploads/File/2009/OL3_perusesite_2009_FI_final.pdf)

Teollisuuden Voima Oyj. (2010). Ydinvoimalaitosyksikkö OL3. <https://www.tvo.fi/ajankohtaista/julkaisut.html>

The Electricity Forum. (n.d.). Voltage Drop explained. Haettu 20.10.2023 osoitteesta <https://www.electricityforum.com/voltage-drop>

TMC95. (2023). Oma kuvakaappaus TMC95-tietokannasta.

Tutkimuseettinen neuvottelukunta. (2019.) Ihmiseen kohdistuvan tutkimuksen eettiset periaatteet ja ihmistieteiden eettinen ennakkoarviointi Suomessa. <https://tenk.fi/fi/ohjeet-ja-aineistot>






















Vedantu. (22.12.2023). Siemens - Unit of Energy Measurement <https://www.vedantu.com/physics/siemens>

YVL E.7. (2019). Ydinlaitoksen sähkö-, ja automaatiolaitteet. Säteilyturvakeskus. <https://www.stuklex.fi/fi/yvl-ohje>

# LIITE 1: YLEISNÄKYMÄ MITTARIN MEASUREMENT- JA DATA-VALIKOISTA






















## 7 Menu and Functions

### 7.1 Overview

On	Main Menu Level		1 <sup>st</sup> Submenu Level		2 <sup>nd</sup> Submenu Level		3 <sup>rd</sup> Submenu Level		4 <sup>th</sup> Submenu Level				
Start	Display	Keys	Display A	Keys	Display	Keys	Display	Keys	Display	Keys			
<div> Initial Display 2 sec</div> <div></div>	MEASUREMENT		MULTIMETER		2.45 VDC (S-)		Start measurement (short tone), and measurement (short tone), display value		End measured value recording, return to MULTIMETER display				
					24.5 VDC (S+)								
					600 VDC (S+)								
					300 V AC (S+)								
					QUIT								
			FLOAT	START		Start measurement (short tone), and measurement (short tone), display value		WANT TO QUIT WITH SAVING?					
						WAITING FOR DMA35				WANT TO QUIT WITHOUT SAVING?			
			DISCHARGE	SELECT. BATT		Battery database display, brief tone indicates RFID readiness to read		In case of manual selection, return to display.					
						AREA: XXXX		AREA: 0000		For RFID			
						BATTERY: XXXX		BATTERY: 0000					
						BLOCKS: XXXX*		BLOCKS: 0000					
						MIN: XX.XXX [Unit]		MIN: 0000 [Unit]					
						MAX: XX.XXX [Unit]		MAX: 0000 [Unit]					
						INT [s]: XXXX**		INT [s]: 0000					
						CLAMP A: XXXX ***		CLAMP A: 0000					
						CLAMP mV: XXXX ***		CLAMP mV: 0000					
						QUIT							
						DATA					SHOW DATA	Display of measurement with indication of measurement type, date, time etc.	
	Display measured value evaluation	View evaluation via all keys, then automatic return											
	EXPORT (CSV)	BT CSV EXPORT (CONNECT)	- - -	DEVICE PAIRED? EXPORT TARGET OK?									
	SHOW BAT-DEF	Battery database display, brief tone indicates RFID readiness to read		In case of manual selection, return to display. In case of RFID, display read result.	For RFID								
	CLEAR DATA	DO YOU REALLY WANT TO DELETE?		DELETING DATA! PLEASE WAIT!	- - -		Brief tone indicates deletion, return to CLEAR DATA/BATT, display						
	CLEAR BAT-DEF	DO YOU REALLY WANT TO DELETE?		DELETING DATA! PLEASE WAIT!									
	QUIT												

## LIITE 2: YLEISNÄKYMÄ MITTARIN SETTINGS- JA INFO-VALIKOISTA

(continued)

On	Main Menu Level		1 <sup>st</sup> Submenu Level		2 <sup>nd</sup> Submenu Level		3 <sup>rd</sup> Submenu Level		4 <sup>th</sup> Submenu Level	
Start	Display	Keys	Display A	Keys	Display	Keys	Display	Keys	Display	Keys
	SETTINGS		SYSTEM		SET TIME & DATE		DATE: XX.XX.X TIME: XX:XX:XX			
					SEL. LANGUAGE		ENGLISH DEUTSCH		Menu is displayed in selected language, return to SEL. LANGUAGE display	
					TEST HEADSET		Read out test signal	- - -		
					TEST TRANSP.		WAITING FOR RFID -----> ( ) <-----		WAITING FOR RFID <RFID Number>	→
					QUIT					
			MEASUREMENTS		POLARITY ON		POLARITY ON	—	Brief tone signals selection, display remains in menu	
					POLARITY OFF		POLARITY OFF	—		
					QUIT					
			BT SETTINGS		LINK COMPUTER		BT PAIRING: WAITING FOR PC	- - -	List with all detected BT devices is displayed,	→
					LINK HEADSET		PUT HEADSET IN PAIRING MODE →		BT PAIRING: SEARCH HEADSET	→
					LINK DMA35 V4		PLEASE DISCOVER BTpro WITH DMA35	→		
					REM. PAIRINGS		DO YOU REALLY WANT TO DELETE?		DELETING DATA! PLEASE WAIT!	←
					QUIT					
			CSV EXPORT		EXPORT TARGET		SCANNING FOR BT DEVICES.	- - -	NO BT DEVICES FOUND	
					FILENA, FIXED		FILENA, FIXED	—	Detected BT devices are listed	→
					FILENA, UNIQ.		FILENA, UNIQ.	—		
					QUIT					
			FACTORY ONLY		FACTORY USE ONLY PASSWORD: XXXXX					
			QUIT							
	INFO		VERSION: VXXX ENTRIES: XXXX MEMORY: XXXX% BATTERY: XXXX%							
	POWER OFF									

## LIITE 3: METRACELL BT PRO-MITTARIN MITTAUSTOIMINNOT

### 7.3 Measurement Menu

Select → MEASUREMENT in the **main menu** and then press the **OK** key in order to open the menu.

Table 11: List of Functions Available in the **MEASUREMENT** Menu

Measurement	Description
<b>MULTIMETER</b>	DC and AC voltage measurements without storing measured values
<b>FLOAT</b>	Periodic measurement of block voltages. This measurement is used for quarterly recording of float voltage, for example in UPS systems.
<b>DISCHARGE</b>	Multiple measurement of block voltages at short intervals during discharging (capacity test)
<b>CHARGE</b>	Multiple measurement of block voltages at short intervals during charging (capacity test)
<b>RESISTANCE</b>	Periodic measurement of the internal resistance of the blocks
<b>TEMPERATURE</b>	Measurement of block temperature with an IR temperature sensor
<b>CONNECTORS</b>	Measurement of voltage drop to determine connector loss between blocks
<b>INTERVAL U</b>	Measurement of the voltage of a battery at any desired time intervals (voltage curve)
<b>INTERVAL U + I</b>	Measurement of the voltage and current of a battery at any desired time intervals (voltage and current curves) Example: Recording of discharge current during discharging.
<b>DMA 35 (IrDA)</b>	Measurement of acid density and electrolyte temperature within a block. Measurements are performed with the DMA 35 Basic density meter (version 3) from Anton Paar GmbH. Data are transferred from the sensor to the battery tester via infrared (Infrared Data Association – IrDA).
<b>DMA 35 (BT)</b>	Measurement of acid density and electrolyte temperature within a block. Measurements are performed with the DMA 35 density meter (version 4) from Anton Paar GmbH. Measured values are transferred from the sensor to the battery tester via wireless interface.
<b>QUIT</b>	Exit the <b>MEASUREMENT</b> menu and return to the <b>main menu</b> .



#### Note!

The required parameters for the device under test must be defined before starting a measurement. Use the battery database to this end (⇒ "Performing Measurements" ■ 62 and ⇒ "Transferring the Battery Database to the Battery Tester" ■ 47).

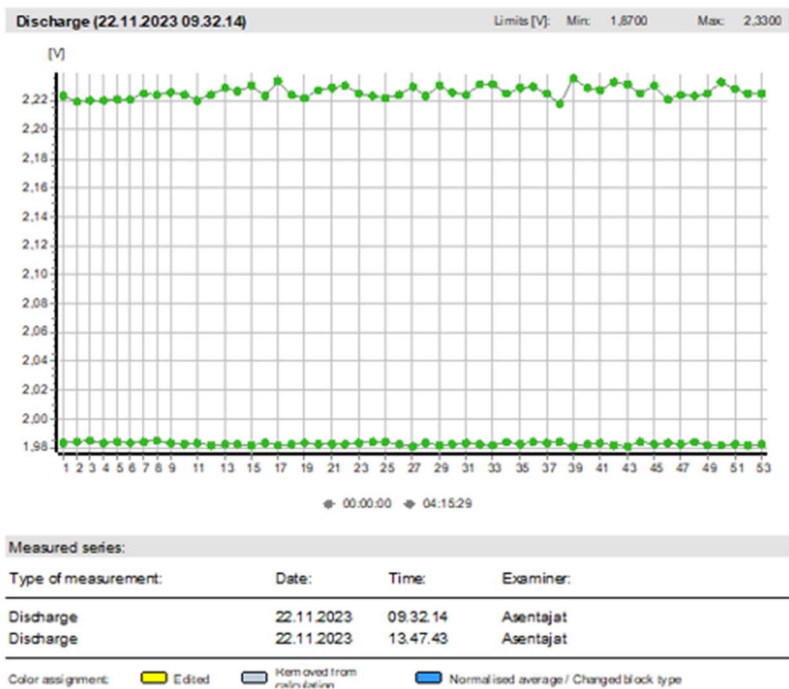
Manual entries should only be made in exceptional cases.



## LIITE 4: RAPORTIN ENSIMMÄINEN SIVU

BT PRO Manager		Test protocol	
		Date: 28.12.2023	
<b>Area:</b>		<b>Battery:</b>	
Olkiluoto		Identification: 1.672B391	
27160 Eurajoki		Block type: Hoppedie 8 OPzS 800	
Suomi		Manufacturer: Hoppedie	
Olkiluoto 1		Block count: 53	
Asentaja		Nominal voltage: 110 V	
Area-ID: 1		Installed: 28.4.2022	
		Battery-ID: 15	
		String: 1	
<b>Test result:</b>			
<b>Result:</b> <input checked="" type="checkbox"/>	<b>Battery:</b>		<b>Block:</b>
	Voltage UDC: <input checked="" type="checkbox"/> 104.9 [V]		Voltage UDC: <input checked="" type="checkbox"/>
	Voltage UAC: <input type="checkbox"/>		Voltage UAC: <input type="checkbox"/>
	Current IDC: <input type="checkbox"/>		Temperature: <input checked="" type="checkbox"/>
	Current IAC: <input type="checkbox"/>		Density: <input checked="" type="checkbox"/>
	Room temp: <input checked="" type="checkbox"/> 20 [°C]		Resistance: <input type="checkbox"/>
Isolation res: <input type="checkbox"/>		Electrolyte level: <input checked="" type="checkbox"/>	
<b>Remarks:</b>			
1.672B391 Kuormituskoe			
Date / Signature		Created by: Asentajat	
BT PRO Manager (V2.02)		{JED-10-45286478717} 1/3	

## LIITE 5: RAPORTIN TOINEN SIVU



## LIITE 6: RAPORTIN KOLMAS SIVU

Nr.	U	U	Nr.	U	U
No.	[V]	[V]	No.	[V]	[V]
	00:00:00	04:15:29		00:00:00	04:15:29
1	2,2238	1,9835	51	2,2282	1,9825
2	2,2198	1,9838	52	2,2254	1,9815
3	2,2203	1,9846	53	2,2248	1,9824
4	2,2205	1,9831			
5	2,2214	1,9841	Min:	2,2181	1,9809
6	2,2209	1,9834	Max:	2,2355	1,9848
7	2,2255	1,9837	Av.:	2,2262	1,9828
8	2,2243	1,9845	Sum:	117,99	105,09
9	2,2258	1,9833			
10	2,2244	1,9825			
11	2,2205	1,9829			
12	2,2244	1,9819			
13	2,2291	1,9823			
14	2,2265	1,9824			
15	2,2310	1,9813			
16	2,2238	1,9832			
17	2,2337	1,9816			
18	2,2244	1,9822			
19	2,2218	1,9832			
20	2,2275	1,9823			
21	2,2288	1,9824			
22	2,2307	1,9827			
23	2,2254	1,9832			
24	2,2235	1,9844			
25	2,2218	1,9837			
26	2,2246	1,9824			
27	2,2303	1,9812			
28	2,2237	1,9830			
29	2,2311	1,9814			
30	2,2257	1,9822			
31	2,2241	1,9831			
32	2,2312	1,9823			
33	2,2314	1,9820			
34	2,2249	1,9841			
35	2,2295	1,9826			
36	2,2298	1,9837			
37	2,2248	1,9830			
38	2,2181	1,9843			
39	2,2355	1,9809			
40	2,2294	1,9823			
41	2,2277	1,9834			
42	2,2328	1,9814			
43	2,2316	1,9811			
44	2,2252	1,9844			
45	2,2311	1,9823			
46	2,2212	1,9835			
47	2,2243	1,9824			
48	2,2238	1,9840			
49	2,2254	1,9818			
50	2,2331	1,9819			