

Aapo Roukkula

Akustojen kunnonhallintajärjestelmien selvitys

TIIVISTELMÄ

Tekijä(t) Otsikko	Aapo Roukkula Akustojen kunnonhallintajärjestelmien selvitys
Sivumäärä Aika	46 sivua + 2 liitettä 8.3.2011
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikan koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaaja(t)	Ins. Pekka Korpela, Kunnossapitopäällikkö Tekn. Lis. Jarno Varteva, Lehtori
<p>HelenService on Helsingin Energian liiketoiminto, joka tuottaa kunnossapitopalveluita energia-alan ja teollisuuden yrityksille. Tämä insinöörityö on tehty HelenServicen Verkkoprosessi-liiketoiminnon sähköasemajärjestelmät -yksikölle, joka vastaa pääasiassa sähköasemien kunnossapitopalveluista. Sähköasemien akustojen ja niihin liittyvien tasasähköjärjestelmien kunnossapito on yksi sähköasemajärjestelmät-yksikön tärkeistä osaamisalueista. Yksikkö huoltaa mm. Helen Sähköverkko Oy:n sähköasemien paikallisakustoja ja Helsingin Energian voima-, lämpö- ja jäähdytyslaitosten akustoja.</p> <p>Tässä insinöörityössä selvitettiin markkinoilla olevia akustojen kunnonhallintajärjestelmiä ja niiden ominaisuuksia, koska nykyisen käytössä olevan kunnonhallintajärjestelmän elinkaari on päättymässä. Kunnonhallintajärjestelmällä tarkoitetaan kannettavaa akkumittauslaitetta tai kiinteää kaukomittausjärjestelmää ja niihin liittyviä ohjelmistoja. Tässä työssä on keskitytty pääasiassa kannettaviin mittauslaitteisiin ja niiden ohjelmistoihin. Työssä selvitettiin eri järjestelmien ominaisuuksia ja niiden soveltuvuutta uudeksi kunnonhallintajärjestelmäksi.</p> <p>Työ toteutettiin tutkimalla eri mittalaitteita ja niihin liittyviä ohjelmia arvioimalla niiden ominaisuuksia teoriassa ja käytännössä. Työssä tutkittiin neljää mittauslaitetta, joista kolme saatiin koekäyttöön alalla toimivilta yrityksiltä. Varsinaisia koemittauksia suoritettiin kahdella laitteella. Järjestelmiä arvioitaessa vertailupohjana käytettiin vanhaa kunnonhallintajärjestelmää, jota myös uuden järjestelmän tulisi suurimmilta osin vastata. Työssä tutkittiin myös impedanssin, resistanssin ja konduktanssin mittaamista ja niillä saavutettavia hyötyjä akkujen kunnossapidossa.</p> <p>Työn tulokseksi saatiin markkinoilla olevien laitteiden ja niiden ominaisuuksien kartoitus. Työtä voidaan käyttää tukena uuden järjestelmän tyyppiä valittaessa. Mitään tiettyä mallia ei työn lopputuloksena päätetty, mutta kahta mallia suositettiin. Työ toimii samalla myös tietopakettina sähköasemien akkukäytöistä ja niihin liittyvästä kunnossapitotoiminnasta.</p>	

abstractAuthor(s) Title	Sonja Holappa M.A
Number of Pages Date	46 pages + 2 appendices 8 Mar 2011
Degree	Bachelor in engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructor(s)	Engr. Pekka Korpela, Maintenance manager Lic. Tech. Jarno Varteva, Senior Lecturer

HelenService is the business activity of Helsingin Energia, which produces maintenance services for industry and energy sector companies. This thesis is carried out for HelenService's substation systems unit, which is a part of the network process business activity. The substation systems unit is responsible for substation maintenance. The maintenance of local batteries and DC systems is a very important part of the competence of the substation systems unit. The unit maintains, among others, Helen Sähköverkko Oy's local batteries and the batteries of Helsingin Energia's cooling, heating and power facilities.

This study is about battery management systems available on the market and their properties. This thesis was written because the life cycle of the old system is reaching its end. A battery management system includes a portable measurement device or a remote measurement system and analyzing software. This work concentrates mainly on portable measurement systems and their analyzing software. The goal of the thesis was to learn about the properties of the systems and their applicability for the new battery management system.

The thesis was carried out by researching different kinds of measurement systems and analyzing programs both in theory and in practice. Four measuring systems were researched in this thesis, and three of the systems, borrowed from companies in the measurement devices sector, were actually tested. The proper test measurements were completed using two devices. The current battery management system was used for the comparison while the systems were researched. The idea was that the new system had to be equipped with at least the same properties than the current system. Impedance, resistance and conductance measurements and the benefits they bring to battery maintenance were also researched in this thesis.

This study was successful in creating a useful survey of the battery management systems on the market. In the future, the thesis could be of valuable help when a new battery management system is to be chosen. While not actually choosing any of the models for the new system, the study makes some recommendations to facilitate the decision. The thesis also works as a guide for substation battery maintenance.

Tiivistelmä

Abstract

Sisällys

1 Johdanto	1
2 HelenServicen akustojen kunnonhallintapalvelut	2
2.1 Prosessiakustojen puolivuotishuolto ja vuosihuolto	3
2.2 Kapasiteettikokeet ja akustojen uusinnat	3
2.3 Toimenpide-ehdotukset	4
2.4 Akustojen mittauslaitteisto	4
2.5 Akustojen viat	5
3 Sähköasemilla käytettävät akkutyypit	6
3.1 Akun suureet	6
3.1.1 Elektrolyyttiliuoksen rikkihappopitoisuus	6
3.1.2 Akun kapasiteetti	7
3.1.3 Akun impedanssi ja konduktanssi	7
3.2 Lyijyakku	8
3.2.1 Lyijyakkujen tyypit	8
3.2.2 Avoin ja suljettu rakenne	9
3.3 Nikkeli-Kadmium-akut	9
4 Sähköaseman omakäyttöjärjestelmä	10
4.1 Omakäytön pääkeskus, OKP	10
4.2 Tasasähkökeskus, OKT	10
4.3 Akusto	11
4.4 Omakäyttöjärjestelmän rakenne	11
5 Uudelta mittauslaitteelta vaadittavat ominaisuudet	13
5.1 Laitteen mittaamat suureet	13
5.2 Mittauslaitteen fyysiset ominaisuudet	14

5.3 Mittauslaitteen osat	15
5.3.1 Mittauspäät	15
5.3.2 Lisävarusteet	15
5.4 Kunnonhallintaohjelma	15
5.4.1 Tietokanta	16
5.4.2 Mittaustulosten käsittely	17
6 Akun impedanssi ja sen mittaaminen	18
6.1 Mittalaittevalmistajien näkemyksiä vastussuureiden mittaamiseen	21
6.1.1 Sisäisen resistanssin mittaus	21
6.1.2 Sisäisen impedanssin mittaus	22
6.2 Konduktanssin suhde akun kapasiteettiin	23
6.2.1 Mittausmenetelmät	23
6.2.2 Kokeen tulokset ja niiden käsittely	24
6.3 Yhteenveto vastus- ja johtavuussuureiden mittauksesta	24
7 Akuston kaukokäyttöinen mittaus- ja valvontajärjestelmä	25
7.1 Kaukovalvontajärjestelmän rakenne	25
7.1.1 Keskusyksikkö	26
7.1.2 Anturit	26
7.2 Järjestelmään liitettävät ominaisuudet	26
7.2.1 Kapasiteettikokeet	26
7.2.2 Jännitteiden tasauskenttä	27
7.2.3 Eristystilan valvonta	27
7.3 Yhteenveto akustojen jatkuvasta valvonnasta	27
8 Cellizer TMC-2001e-laitte sekä TMC-95-ohjelma	28
8.1 Mittausominaisuudet	28
8.2 Ulkoiset ominaisuudet	28
8.3 Lisäominaisuudet	29
8.4 TMC-95 Battery Manager-akustojen hallintaohjelma	29
8.5 Yhteenveto laitteesta ja ohjelmasta	30

8.5.1 Yhteenveto laitteen mittausominaisuuksista	30
8.5.2 Yhteenveto laitteen käytettävyydestä	30
8.5.3 Yhteenveto TMC-95-ohjelmasta	30
9 Midtronics Celltron MAX-laite sekä Celltraq-tietokantajärjestelmä	32
9.1 Mittausominaisuudet	32
9.2 Ulkoiset ominaisuudet ja käytettävyys	32
9.3 Celltraq-ohjelmisto	33
9.3.1 Mittaustulosten analysointi	34
9.3.2 Tietokanta	34
9.4 Yhteenveto laitteesta ja Celltraq-ohjelmistosta	35
9.4.1 Yhteenveto laitteen mittausominaisuuksista	35
9.4.2 Yhteenveto laitteen käytettävyydestä	35
9.4.3 Yhteenveto Celltraq-ohjelmasta	35
10 Megger Bite 3-laite ja ProActiv -kunnonhallintaohjelma	36
10.1 Mittausominaisuudet	36
10.2 Ulkoiset ominaisuudet ja käytettävyys	37
10.3 Lisäominaisuudet	37
10.4 ProActiv- ja PowerDB -ohjelmistot	37
10.4.1 Mittaustulosten analysointi	38
10.4.2 Tietokanta	38
10.4.3 PowerDB -raporttisovellus	39
10.5 Yhteenveto Bite 3-laitteesta ja sen sovelluksista	40
10.5.1 Yhteenveto laitteen mittausominaisuuksista	40
10.4.2 Yhteenveto laitteen käytettävyydestä	40
10.4.3 Yhteenveto ProActiv-ohjelmasta	40
11 Albér Cellcorder CRT-400 -laite ja BAS-kunnonhallintaohjelma	41
11.1 Laitteen mittausominaisuudet	41
11.2 BAS-kunnonhallintaohjelma	42

11.2.1 Ohjelman ominaisuudet pääpiirteittäin	42
11.2.2 Mittaustulosten analysointi	43
11.3 Yhteenveto CRT-400-laitteesta ja BAS-kunnonhallintaohjelmasta	43
12 Yhteenveto	44
Lähteet	45
Liitteet	Liite 1. Paikalliskuston konduktanssin mittaustulokset Liite 2. Kuvaaja paikalliskuston purkauskokeesta

1 JOHDANTO

Tässä insinöörityössä tutkitaan erilaisia paikallisakkujen mittaus- ja kunnonhallintajärjestelmiä, jotka keskittyvät lyijyakkujen kunnonhallintaan. Työssä selvitetään markkinoilla olevien mittauslaitteiden ja niihin kuuluvien ohjelmistojen soveltuvuutta HelenServicen uudeksi akustojen kunnonhallintajärjestelmäksi. Tutkittujen mittausjärjestelmien vertailupohjana käytettiin n. 20 vuotta HelenServicen käytössä ollutta järjestelmää, jonka elinkaari on päättymässä. Elinkaaren päättymisen syinä ovat järjestelmän melko vanha tekniikka ja kunnossapito-ongelmat. Korvattava järjestelmä sisältää kannettavan DMS-1000-mittauslaitteen ja BMS-ohjelman. BMS-järjestelmä soveltuu erittäin hyvin akustojen kunnossapidon tarpeisiin, minkä vuoksi eräs tutkimuksen pääongelmista onkin löytää markkinoilta vähintään yhtä hyviä järjestelmiä.

Akustojen kunnonvalvonnan merkitys on korostunut viime vuosina. Niiden tärkeä rooli teollisuuden, energiantuotannon ja -jakelun sekä sairaalatekniikan laitteistojen varavoimanlähteenä on korostanut niiden merkitystä. Erityisesti tietoteknisten järjestelmien käyttövarmuuden parantaminen UPS-järjestelmillä on lisännyt akustojen määrää ja niiden kunnonvalvonnan tarvetta.

Akustojen kuntoa valvotaan tavallisesti etämittauksella toteutetulla kaukovalvonnalla ja kannettavilla mittauslaitteilla, joiden avulla eri akustoista ja niiden mittaustuloksista voidaan muodostaa laajoja tietokantoja niiden kunnonhallinnan tueksi. Tässä insinöörityössä käsitellään pääasiassa sähköasemien akustojen kunnonhallintaa ja sen toteuttamista kannettavilla mittauslaitteilla, koska lähes puolet HelenServicen kunnossapitoalueen akuista ovat sähköasemien akkukäyttöjä. Työssä esitellään myös akustojen jatkuvan kaukomittauksen kautta tapahtuvaa kunnonvalvontaa.

Työssä käsitellään ja tutkitaan lisäksi akun sisäisten impedanssien, resistanssien ja konduktanssien mittaamisen merkitystä osana akustojen kunnossapitoa. Näiden suureiden mittaus on saanut yhä suuremman merkityksen etenkin suljettujen lyijyakkujen kuntoa arvioitaessa, koska suljettujen lyijyakkujen kunnonvalvonta ja huolto on rajoitettumpaa kuin avointen lyijyakkujen johtuen niiden huoltovapaudesta. Vaikka suurin osa HelenServicen kunnossapitoalueen akuista on rakenteeltaan avoimia, on impedanssin, konduktanssin ja resistanssin mittaus tärkeä esille otettava asia, sillä suljettujen lyijy-

akkujen käyttö lisääntyy jatkuvasti. Suurin osa työssä esiteltävistä kannettavista mittauslaitteista mittaa jotakin näistä suureista.

Työssä ei ollut päätarkoituksena päättää tulevaa kunnonhallintajärjestelmää vaan lähinnä kartoittaa markkinoilta löytyviä mittauslaitteita ja niiden ominaisuuksia. Työtä käytetään apuna, kun uusi mittausjärjestelmä valitaan. Uuden mittausjärjestelmän käyttöä on arvioitu 10 vuotta.

Työssä keskitytään pääasiassa laitteiden sekä niiden ohjelmistojen teknisiin ominaisuuksiin ja käytettävyyteen. Laitteiden hankintahintoihin ja kustannuksiin ei ole työn kirjallisessa osuudessa juurikaan keskitytä, vaikka hinnat ja kustannukset ovat tarkalleen tiedossa. Työn alussa käsitellään lyhyesti HelenServicen akustojen kunnossapitopalveluita sekä akkutyyppejä ja niiden käyttötarkoitusta, jotta lukija saisi hyvän peruskäsityksen akuista ja niiden kunnossapidosta.

2 HELENSERVICEN AKUSTOJEN KUNNONHALLINTAPALVELUT

HelenServicen akustojen kunnossapitopalvelut toteutetaan asiakkaille erillisten tilausten kautta tai kausittaisten sopimusten kautta, jolloin asiakkaalle kuuluvien akustojen kunnossapitopalvelut ovat täysin ulkoistettu palvelun tuottajalle. HelenServicen suurimmille asiakkaille kuuluvia akustoja huolletaan käytönaikaisesti ja keskeytysten kautta. Keskeytysten kautta suoritetaan akustojen kapasiteettikokeita, pika- ja tasoitusvarausta, akkuvaraajien huoltoa sekä akustojen vaihtoa.

HelenServicen käytönaikaisiin huoltopalveluihin sisältyy prosessiakustojen puolivuotis- ja vuosihuollot sekä erilaisten apujärjestelmien akustojen vaihdot, huollot ja mittaukset. Prosessiakustolla tarkoitetaan akustoa, jota käytetään sähkökatkon aikana sähköenergian siirtoon ja jakeluun liittyvässä prosessissa ohjaus-, suojaus- ja kaukokäyttöjärjestelmien tarvitseman tehon syöttämiseen. Akustoja huolletaan ja mitataan puolivuotis- ja vuosihuollossa niin ettei niihin liittyvien toiminnan kannalta elintärkeiden laitteiden toiminnot häiriinny. [1, s. 1 - 2.]

2.1 Prosessiakustojen puolivuotishuolto ja vuosihuolto

Puolivuotishuollossa mitataan akustojen kenno- ja napajännitteet, elektrolyytin tiheys tarkkailtavista kennoista sekä akkutilan lämpötila. Tarkkailtavaksi kennoksi valitaan aina ne kennot, joiden kennojännitteet, ja ominaistiheydet ovat alhaisimmat. Tarkkailukennoja valitaan joka akustosta vähintään 2 kappaletta tai n. 10 % koko kennomäärästä. Puolivuotishuollossa tarkastetaan silmämääräisesti kennojen nestepintojen korkeudet, akuston mekaaninen kunto, akkunapojen liitosten kireys ja kunto. Lisäksi akkutilan ilmastointi ja siisteys tarkastetaan.

Puolivuotishuollossa suoritetaan tarvittaessa myös tislattun veden lisäystä, akkuvaraajan jännitteensäätöä sekä akkunapojen puhdistusta, kiristystä ja rasvausta. Akustotilan lämpötilaa säädetään tarvittaessa +20 °C tasolle ja akustotila myös puhdistetaan tarvittaessa. Vuosihuolto käsittää samat huoltotoimenpiteet kuin puolivuotishuolto, lisäksi siihen kuuluu kaikkien kennojen elektrolyyttien tiheysmittaus kaikista vesitettävistä akustoista. [1, s. 1.]

2.2 Kapasiteettikokeet ja akustojen uusinnat

HelenService suorittaa asiakkailleen akustojen kapasiteettikokeita, joiden perusteella saadaan selville akkujen kapasiteetti eli tieto siitä, kuinka kauan akusto kykenee ilman akkuvaraajaa syöttämään prosessin laitteita riittävällä teholla, ennen kuin kennojännitteet laskevat sallitun rajan alapuolelle. Kapasiteettikoe tehdään aina uusille akustoille ennen niiden käyttöönottoa. Käyttöönoton jälkeen kapasiteettikokeita tehdään voimassaolevan ennakkohuolto-ohjeen mukaisesti tietyin väliajoin. Kapasiteettikokeilla saadaan erittäin luotettava tieto akustojen todellisesta kapasiteetista.

HelenService suorittaa myös erilaisten akustojen uusimista ja uusien akustojen asentamista. Uusimisen yhteydessä tehdään tarvittaessa tarjouskyselyt eri akkuvalmistajilta sekä suoritetaan niiden perusteella hankinta ja asennus. Vanhat akustot puretaan ja romutetaan asianmukaisia ympäristömääräyksiä noudattaen. [1, s. 2.]



Kuva 1. Torkel 840-vakiovirtakuormituslaite

2.3 Toimenpide-ehdotukset

HelenServicen asiantuntijat tekevät tarvittaessa asiakkailleen eri tilanteisiin sopivia toimenpide-ehdotuksia ja kunnonarviointeja akustoista. Toimenpide-ehdotukset ovat lähinnä hankintaehdotuksia akuista ja niihin liittyvistä tarvikkeista. Ennakkoon tehtyjen toimenpide-ehdotusten avulla asiakas voi varata hyvissä ajoin varat tulevia laite- ja tarvikekustannuksia varten. Toimenpide-ehdotuksia tehdään myös vikatapausten selvittämiseksi.

2.4 Akustojen mittauslaitteisto

Nykyään akustojen mittauksiin käytetään pääasiassa PC-avusteista kunnonvalvontajärjestelmää. Tähän järjestelmään kuuluu keräilylaite, jolla mitataan tieto paikallisesti eri akkukennoista. Keräilylaitteelta mittaustulokset ja muut huomioitavat tiedot siirretään PC:lle, jossa olevan ohjelmiston avulla tietoja voidaan analysoida. PC-ohjelma käsittää myös kattavan tietokannan eri akustojen mittaustuloksista ja tiedoista niiden elinkaaren alusta nykypäivään.

Kunnonvalvontajärjestelmän lisäksi käytössä on myös erilaisia akkustereitä ja purkauslaitteita. Nykyiseen ohjelmaan kuuluu akkutietokanta ja mittaustulosten analysointitoiminnot. Akkutietokannan avulla eri kohteissa mitatuista akustoista voidaan löytää tarvittavat tiedot ja niitä voidaan tutkia ohjelman piirtämien kuvaajien avulla. Kuvaajista voidaan tutkia mm. mitattujen akkukennojen jännitteitä sekä elektrolyytin ominaistheyttä ajan funktiona sekä kapasiteettikokeiden mittaustuloksia. Tietokantaan voidaan myös syöttää käsin erilaisia tietoja mitatuista kohteista. [2, s. 4.]



Kuva 2. DMS-1000-akkutietojen keräilylaite

2.5 Akustojen viat

Akustoissa olevat viat ilmenevät usein kuukausittaisilla tarkastuskierroksilla ja puolivuosihuolloissa, joita HelenService suorittaa asiakkaidensa sähköasemaloihin. Mikäli akuissa huomataan huolto- ja tarkastuskierroksilla jotakin poikkeavaa, voidaan tietyt akkukennot ottaa tarkkailuun, jolloin niiden kuntoa seurataan useammin. Akuissa ilmenevät viat pyritään korjaamaan välittömästi. Jatkuvaa reaaliaikaista akustojen valvontaa ei HelenServicen asiakkailla toistaiseksi ole. Reaaliaikaisella akkukennojen valvonnalla ei kuitenkaan voida käytännössä täysin korvata tarkastuskäyntejä.

3 SÄHKÖASEMILLA KÄYTETTÄVÄT AKKUTYYPIT

Sähköasemien akustot, joita käytetään prosessin suojaus-, ohjaus- ja kaukokäyttötarkoituksiin ovat pääasiassa lyijyakustoja. Lyijyakustojen etuna on niiden suuri kapasiteetti ja käyttöikä. Rakenteeltaan sähköasemilla käytetyt akut ovat pääasiassa avoimia akkuja. Suljettuja lyijyakkuja käytetään myös, mutta niiden osuus on huomattavasti pienempi kuin avoimien akkujen. Suljettuja lyijyakkuja ja Nikkeli-Kadmium-akkuja käytetään yleensä esim. laitekaapeissa sekä turvavalon- ja paloilmoitinkeskuksissa.

3.1 Akun suureet

Akun elektrolyytin kehittämää jännitettä kutsutaan kennojännitteeksi. Yhden avoimen lyijyakkukennon kestovarausjännite on n. 2,23 V ja lepotilassa n. 2,11 V, kun ympäristön lämpötila on 20 °C. [3, s. 32.]

3.1.1 Elektrolyyttiliuoksen rikkihappopitoisuus

Kaikissa akuissa jännitteen synnyttämiseen vaaditaan elektrolyytti, joka sisältää liikkumiskykyisiä ioneja. Elektrolyytinä käytettävä seos riippuu akkutyypistä. Lyijyakkukennon elektrolyytinä toimii rikkihappoliuos (H_2SO_4). Normaalesti lyijyakkukennon elektrolyytin rikkihappopitoisuus eli ominaistiheys latauksen jälkeen on n. 1,24 kg/dm³. Kun akku on täysin purkautunut, sen vastaava pitoisuus on n. 1,10 kg/dm³.

Mikäli elektrolyytin rikkihappopitoisuus nousee liian suureksi, kennossa oleva lyijy alkaa epäjalompana metallina liueta, jolloin kenno menettää toimintakykynsä tai saattaa jopa räjähtää. Räjähdyksvaara aiheutuu vetykaasusta, jota lyijy tuottaa sulaaessaan. Ominais-
tiheyden kasvaminen aiheuttaa myös hetkellistä kapasiteetin ja jännitteen kasvamista, mutta lisää voimakkaasti kennon itsepurkautumista. Ominais-
tiheyden kasvaminen laskee kennojännitettä ja kapasiteettiä. Rikkihappopitoisuuden nouseminen liian suureksi johtuu yleensä akun veden alhaisesta määrästä. [3, s. 28 - 32.]

3.1.2 Akun kapasiteetti

Akun kapasiteetti kuvaa sen kykyä luovuttaa tietyn suuruinen virta määrättyssä ajassa. Kapasiteetin perusteella voidaan päätellä, kuinka kauan akku pystyy syöttämään tietyn suuruista kuormitusta. Akun kapasiteetin suuretunnus on C, ja sen yksikkö on ampeeritunti Ah. Lyijyakun nimelliskapasiteetiksi määritellään se energiamäärä, jonka se pystyy 5 tunnin purkaukokeen aikana tuottamaan, ennen kuin kennojännite laskee alle 1,83 V lämpötilan ollessa 20 °C. Akun kapasiteetti on havainnollistettu kaavalla 1. [1, s. 18.]

$$C = I \cdot t \quad (1)$$

C = kapasiteetti

I = sähkövirta

t = aika

3.1.3 Akun impedanssi ja konduktanssi

Akuissa itsessään on aina impedanssia, jota kutsutaan sisäiseksi impedanssiksi. Akuissa tämä muodostuu metalliosista, elektrolyytistä ja akkulevyistä. Lyijyakulla tämä on pääasiassa resistanssia, mutta koska akuilla on myös kapasitanssia, on sillä myös kapasitiivista reaktanssia. Akkuja mitattaessa esiintyy usein myös konduktanssin käsite. Konduktanssi kuvaa tietyn aineen kykyä johtaa sähkövirtaa. Mitä enemmän aineessa on vapaita varauksenkuljettajia eli elektroneja, sitä suurempi on aineen konduktanssi. Näin ollen konduktanssi on resistanssin käänteisarvo. Konduktanssin suuretunnus on G, ja sen yksikkö on S. Konduktanssia on havainnollistettu yhtälöllä 2. Konduktanssi ja impedanssi antavat suuntaa antavaa tietoa akun kapasiteetista.

$$G = \frac{1}{R} \quad (2)$$

$$[G] = \frac{1}{\Omega} = 1 S$$

G = konduktanssi

R = resistanssi

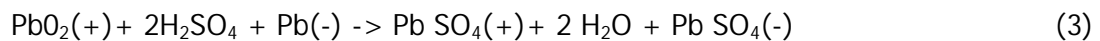
[3, s. 22; 4, s. 1 - 2.]

3.2 Lyijyakku

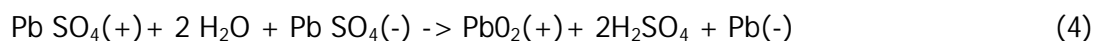
Lyijyakun kennon pää rakenne koostuu akkuastiasta, jonka sisälle on sijoitettu positiivi- ja negatiivilevyt sekä erotinlevy, jotka ovat vedellä laimennetussa rikkihapossa. Lyijyakku muodostuu yhdestä tai useammasta sähköparista eli kennosta, jonka jännite on n. 2,2 V.

Elektrolyytin kemiallinen kaava on $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$. Positiivilevyihin muodostuu lyijysuperoksidia PbO_2 , ja negatiivilevyihin metallista lyijysientä Pb . Akun purkautumisessa kehittyy lyijysulfaattia PbSO_4 molemmissa levyissä kaavojen 3 ja 4 mukaisesti

akun purkauksessa



akun varauksessa



3.2.1 Lyijyakkujen tyypit

Lyijyakut voidaan jakaa kolmeen pääryhmään niiden käyttötarkoituksen perusteella. Pääryhmiin kuuluvat suurpintalevy-, putkilevy- ja käynnistysakku. Toimintaperiaate on kaikissa tyypeissä sama, mutta niiden rakennetta voidaan muuttaa käyttötarkoituksen ja iän mukaan. Rakennetta voidaan muokata akun positiivilevyjen rakennetta muuttamalla.

Sähköasemilla käytetään pääasiassa putkilevyakkuja. Putkilevyakussa on aktiiviaineen sisältävä muoviputki, joka on ympäröity lyijyvalurungolla. Putkilevyakun negatiivilevyt ovat ristikkomaisia. Putkilevyakkujen etuina on niiden pitkä käyttöikä sekä niiden kyky antaa suuria purkausvirtoja lyhyessä ajassa. Suurpintalevyakut ovat ominaisuuksiltaan hyvin samankaltaisia kuin putkilevyakut, mutta jälkimmäisellä on paremmat ominaisuudet käynnistysakkuna. Käynnistysakut ovat ainoastaan käynnistystarkoituksiin, joissa akulta vaaditaan kykyä tuottaa suurta virtaa hyvin lyhyessä ajassa. [3, s. 2.]

3.2.2 Avoin ja suljettu rakenne

Lyijyakun rakenne voidaan jakaa kahteen pääluokkaan: avoimeen ja suljettuun. Sähköasemilla käytetyt akut ovat lähes poikkeuksetta rakenteeltaan avoimia, mutta myös huoltovapaita suljettuja VRLA-akkuja esiintyy tietyissä käytöissä. Avoimella rakenteella on pidempi elinkaari, ja sen avoin rakenne helpottaa akkujen huoltoa ja niiden kunnon tarkkailua. Avoimen akun elektrolyytin ominaistiheys voidaan mitata, toisin kuin suljetun akun. Avoimen akun elektrolyytin pinnankorkeutta voidaan myös tarkkailla, ja siihen voidaan tarvittaessa lisätä tislattua vettä, jonka säännöllinen lisääminen pidentää akun elinkaarta. Suljettuun akkuun ei lisätä vettä sen elinkaaren aikana.

3.3 Nikkeli-Kadmium-akut

Toinen sähköasemilla käytössä oleva akkutyyppe on nikkeli-kadmium-akku eli NiCd-akku. NiCd-akut ovat kapasiteetiltaan huomattavasti pienempiä kuin lyijyakut. Niiden parhaimmat ominaisuudet ovat mm. niiden taloudellisuus, jännitteen stabiilisuus ja niiden käyttölämpötila. NiCd-akkuja voidaan käyttää $-40\text{ °C} \dots +75\text{ °C}$:een lämpötila-alueella. Näiden akkujen heikoin ominaisuus on siihen kuuluvan Kadmiumin myrkyllisyys, jonka vuoksi akkujen hävittäminen on ongelmallisempaa. Toisena NiCd-akkujen huonona ominaisuutena voidaan pitää niiden latausongelmaa. NiCd-akkujen kapasiteetti pienenee huomattavasti latauskertojen määrän kasvaessa. NiCd-akkuja käytetään pääasiassa sähköasemien elektronisten laitteiden energianlähteenä.



Kuva 3. Avoimista lyijyakuista koostuva paikallisakusto

4 SÄHKÖASEMIEN OMAKÄYTTÖJÄRJESTELMÄ

Kaikki sähköasemat käsittävät omakäyttöjärjestelmän, joilla syötetään sille tärkeitä toimintoja, joita ovat mm. prosessin ohjaus- ja suojaus, invertterit, tasasuuntaajat, valaistus, kaukokäyttö, installaatiopääkeskus ja GSM-antennivahvistin. Omakäyttöjärjestelmä syöttää virtaa sähköasemakiinteistön tarpeisiin ja prosessin laitteille. Järjestelmän tärkeimpiä tehtäviä on syöttää energiaa akustojen avulla tilanteessa, jossa omakäyttömuuntajalta sille syötetty virta katkeaa. Omakäyttöjärjestelmän pääosat ovat omakäytön pääkeskus, tasasähkökeskus, omakäyttömuuntaja sekä akustot. Nämä kaikki sijaitsevat kukin eri tiloissa.

4.1 Omakäytön pääkeskus, OKP

Omakäytön pääkeskus eli OKP toimii omakäyttöjärjestelmän vaihtojännitekeskuksena. Tavallisessa käyttötilanteessa jakelumuuntaja syöttää omakäytön pääkeskusta, joka syöttää edelleen tasasuuntaajia, inverttereitä ja installaation pääkeskusta. Omakäytön pääkeskusta voidaan syöttää kahdesta lähteestä. Yhtenä lähteenä voidaan käyttää sähköaseman omakäyttömuuntajaa. Tätä muuntajaa käytetään normaalissa käyttötilanteessa. Omakäyttömuuntajan vikaantuessa toisena lähteenä voidaan käyttää jakeluverkon 20 kV/0,4 kV -jakelumuuntajaa. Normaalisti jakeluverkon muuntajaa käytetään vain huoltotilanteissa, joissa esimerkiksi omakäyttömuuntajaa huolletaan.

Omakäytön pääkeskus sisältää 0,4 kV kiskoston, joka käsittää tietyn määrän erisuuruisia varokelähtöjä, energian mittauksen sekä sähkönsyötön vaihtokytkimen.

4.2 Tasasähkökeskus, OKT

Tasasähkökeskus eli OKT toimii nimensä mukaisesti järjestelmän tasasähkölähteenä. Normaalissa käyttötilanteessa tasasähkökeskusta syöttää OKP:n tasasuuntaajat. Tasasähkökeskuksen päätehtävänä on syöttää mm.

- 110 kV:n ja 20 kV:n johto- ja kaapelilähtöjen ohjaus- ja suojausreleitä
- katkaisijoiden viritysmoottoreita
- erottimien ohjausmoottoreita

- 110 kV:n ja 20 kV:n asennonosoittimia
- kaukokäyttökeskuksia
- GSM-antennivahvistimia
- inverttereitä eli vaihtosuuntaajia
- varavalaistusta.

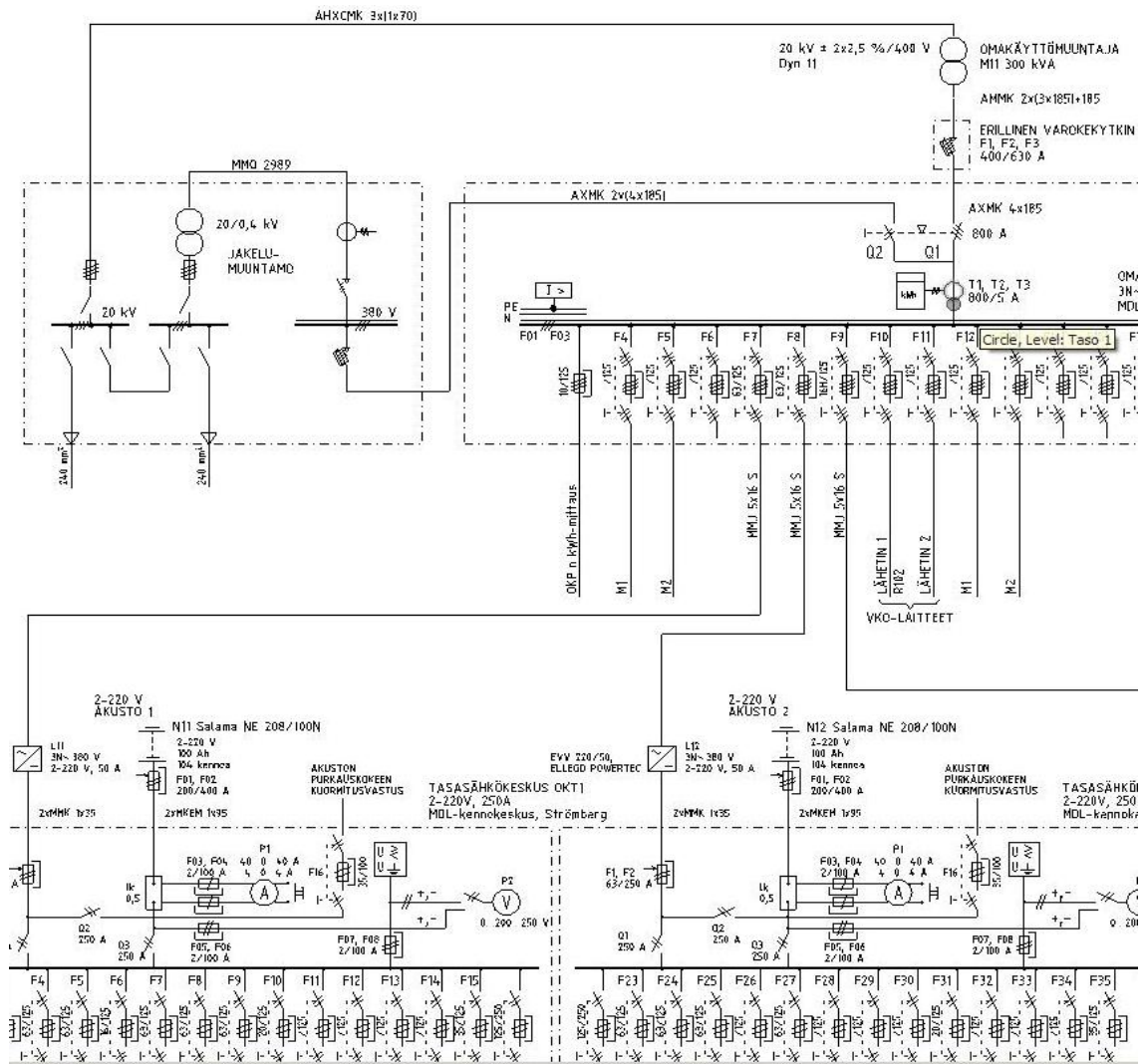
Tasasähkökeskusten syöttölähteenä toimivat tasasuuntaajat lataavat normaalitilanteessa myös akustoja, jotka kykenevät syöttämään yllämainittuja toimintoja kapasiteettinsa mukaan. Vikatilanteessa, jossa tasasuuntaaja vikaantuisi tai niiltä tuleva syöttö katkeaisi, akusto syöttäisi edellä mainittuja toimintoja.

4.3 Akusto

Akuston tehtävänä on syöttää vikatilanteessa tasasähkökeskuksen toimintoja. Mahdollisessa vikatilanteessa tasasuuntaaja on vikaantunut tai OKP:lta tuleva tehonsyöttö katkenut. Vian ilmetessä tasasähkökeskuksen syöttö siirtyy ilman katkoa OKP:n tasasuuntaajilta akustolle, sillä ne ovat normaalikäytössä rinnankytketty. Tavallisesti sähköasemilla on 2 - 3 akustoa. Akusto koostuu 24 - 105 sarjaan kytketystä avoimesta lyijyakkukennosta käyttötarkoituksesta riippuen. Kennojen lukumäärä riippuu tasasähköjärjestelmän käyttämästä jännitteestä, joka on tavallisesti 110 V tai 220 V. Kaukokäyttöjärjestelmien akustojen jännite on 48 V. Akustot on sijoitettu erillisiin akustotiloihin, joista löytyvät myös akuston päävarokkeet. Akustotiloihin kuuluu myös erillinen ilmanvaihto, joka poistaa tilasta akuista kehittyviä kaasuja.

4.4 Omakäyttöjärjestelmän rakenne

Sähköaseman omakäyttöjärjestelmä koostuu neljästä pääosasta, joita ovat omakäytön pääkeskus, tasasähkökeskus, muuntaja sekä akustot. Seuraavassa kuvassa 4 on esitetty omakäytön pääkaavio, josta nähdään OKP, OKT, akusto sekä vaihtoehtoiset muuntaajat (ks. seur. s.).



Kuva 4. Ote sähköaseman omakäyttöjärjestelmän pääkaaviosta

Kuvan 4 kaaviosta voidaan huomata syöttävien muuntajien vaihtoehtoinen kytkentä kytkimillä Q1 ja Q2. Mikäli omakäyttöjärjestelmän syöttöä vaihdetaan muuntajalta toiselle, tapahtuu se aina katkon kautta. Näin menetellään, koska eri muuntajat ovat tahdistamattomia toisiinsa nähden. Kaaviosta näkyy myös kokoojakiskot, joista löytyy varokkeilla sekä johdonsuojakatkaisijoilla varustettuja lähtöjä. Kaaviossa näkyvät myös OKP:n ylivirtareleen virtamuuntajat, jännitevalvontarele sekä energian mittaus.

5 UUEDELTA MITTAUSLAITTEELTA VAADITTAVAT OMINAISUUDET

HelenServicen nykyinen akustojen kunnonhallintajärjestelmä käsittää mittauslaitteen ja ohjelman jolla mittaustuloksia voidaan analysoida. Järjestelmä on ollut käytössä n. 20 vuotta, ja sen elinkaari on päättymässä. Se on ominaisuuksiltaan erittäin sopiva suurien akustomäärien mittaukseen. Koska uuden mittalaitteen hankinta on väistämättä edessä, on uuden järjestelmän ominaisuuksien vastattava vähintään vanhan järjestelmän ominaisuuksia.

5.1 Laitteen mittaamat suureet

Uudella laitteella tulisi pystyä mittaamaan vähintään akkukennon jännitteitä ja akuston napajännitteitä $\pm 0,1$ %:n tarkkuudella. Mittausympäristön lämpötila huomioidaan aina mittaustuloksia analysoitaessa, jolloin myös lämpötilan mittaus tai lämpötilatiedon syöttö laitteelle tulisi olla mahdollista.

Laitteessa tulisi olla akkukennojen elektrolyyttien ominaistiheyden mittaushetkimä. Ominaihtiehyden mittaaminen vaatii omanlaisensa mittaushetkimät, joita harvemmin on integroitu akustojen mittaushetkimäisiin. Tämän seikan vuoksi riittää, että ominaistiheyden voisi mitata lisälaitteella tai syöttämällä ne suoraan mittalaitteeseen.

Mittaustuloksissa laitteeseen tulee voida asettaa ympäristön lämpötila, jonka suuruus vaikuttaa kaikkiin mittaustuloksiin. Lämpötilan muutos vaikuttaa olennaisesti akkujen kapasiteetteihin, sisäiseen impedanssiin ja ominaistiheyksiin. Ympäristön lämpötilan laskiessa akun kemialliset reaktiot hidastuvat, jolloin täyttä kapasiteettia ei saada. Lisäksi lämpötilan laskiessa kennojännitteet ja elektrolyytin ominaistiheys kasvavat. [3, s. 22 - 28.]

5.2 Mittauslaitteen fyysiset ominaisuudet

Laitteen fyysiselle koolle on asetettu suosituksia, koska laitetta käytetään paljon ja sen kanssa liikutaan hyvin paljon mittauskohteissa. Fyysiset ominaisuudet eivät ole suoranaisia valintaperusteita, mutta niiden vaikutus voi olla ratkaiseva laitetta valittaessa. Laitteen tulisi olla mahdollisimman kompakti ja pieni kokonaisuus, jotta sen käyttö olisi helppoa. Lisäksi sen tulisi olla myös sopivan painoinen eli korkeintaan 3 kg. Seuraavaksi esitellään kaksi kuvaa kannettavista mittauslaitteista:



Kuva 5. Megger Bite 3 -mittalaite



Kuva 6. G-Jost TMC-2001e -mittalaite

Laitteen käyttöliittymän tulisi olla mahdollisimman yksinkertainen ja selkeä, jotta sen kanssa työskentely olisi mielekästä. Valikoiden tulisi olla mahdollisimman loogisia, jotta laitetta voisi käyttää vähäisemmänkin mittauskokemuksen omaava mittaja. Laitteen näytön tulisi olla taustavalaistu ja kohtalaisen laaja, jotta mittauksien tulosten lukeminen onnistuisi kaikissa olosuhteissa. Käyttöliittymän kieleksi riittää englanti, mutta suomea pidetään suosituksena. On suositeltavaa, että laitteen käyttöohjeet olisivat suomenkieliset, mutta se ei ole välttämätöntä. Vieraskieliset käyttöohjeet voidaan tarvittaessa käännettä.

5.3 Mittauslaitteen osat

Laitteen osiin kuuluvat erilaiset lisävarusteet ja osat, jotka kuuluvat laitteen toimituspakettiin. Laitteen akun laturit ja sen käyttöohjeet yms. ovat kuitenkin itsestäänselvyyskysymyksiä, joihin ei tässä puututa. Mittauslaitteen osat on jaettu mittauspäihin ja lisävarusteisiin.

5.3.1 Mittauspäät

Mittauspäät ovat jokaisen akkujen mittauslaitteen vakiovaruste. Normaalisti niitä on kaksi, ja niiden avulla muodostetaan yhteys akun napoihin. Mittauspäiden tärkeimpiin ominaisuuksiin kuuluu niiden mittauskärkien koko ja fyysinen koko. Mittauskärjet ovat se osa mittauspäistä, joilla tehdään galvaaninen yhteys akun napoihin. Impedanssia, resistanssia tai konduktanssia mitattaessa käytetään nelijohdinmittausta, jolloin yhdessä mittauspäissä on kaksi mittauskärkeä. Tätä kutsutaan Kelvin-mittaukseksi.

Jännitettä mitattaessa yksi mittauspää käsittää vain yhden mittauskärjen. Mittauspäiden koko ei saisi olla liian suuri, jotta ne mahtuisivat läpi akkunapojen suojiin tehdyistä rei'istä, vaikka toisaalta napasuojat ovat myös poistettavista. [5, s. 3.]

5.3.2 Lisävarusteet

Mittauslaitteen kaikkia toimintoja ei voida integroida laitteeseen, jolloin eri laitevalmistajat ovat parantaneet laitteen ominaisuuksia lisävarusteiden avulla joiden ominaisuuksiin puututaan työn myöhemmissä vaiheissa. Laitteiden tyyppillisiä lisävarusteita ovat mm. virtapihti, ominaistiheysmittari, tulostin, mittauspäälaajennokset, lämpötilamittari ja transponderijärjestelmä.

5.4 Kunnonhallintaohjelma

Olellaisena osana kunnonhallintajärjestelmää mittalaitteen lisäksi toimii kunnonhallintaohjelma, jonka avulla varsinainen mittauksien analysointi tapahtuu. Kunnonhallintaohjelman avulla akustojen ylläpito ja niiden kunnon arviointi helpottuu. Ohjelma pitää sisällään myös tietokannan mitattujen akustojen mittauksista.

5.4.1 Tietokanta

Järjestelmän tietokanta ja sen käytettävyys ovat erittäin tärkeässä asemassa, kun mitattavien akustojen määrä on suuri. Tietokantaan kerätään tietoa eri akustojen tiedoista ja mittaustuloksista niiden elinkaaren aikana, jotta niiden kuntoa voidaan arvioida. Tietokannan tulisi olla selkeä ja eri akustojen tiedot helposti haettavissa akuston nimen tai tunnuksen avulla. Kunkin akuston tiedoista muodostetaan ns. akkukortti, josta selviää seuraavat tiedot: [2, s. 9]

- akustokoodi tai -tunnus
- kennojen lukumäärä
- akuston sijainti (esim. osoite)
- huoltovälit ja -päivämäärät
- akun tyyppi
- valmistus- ja asennuspäivämäärät
- valmistaja
- veden kulutus normaaliolosuhteissa
- nimellisarvot
- veden maksimi täyttömäärä.

The screenshot shows the 'Akkutietokanta' application window. It contains several sections for data entry and viewing:

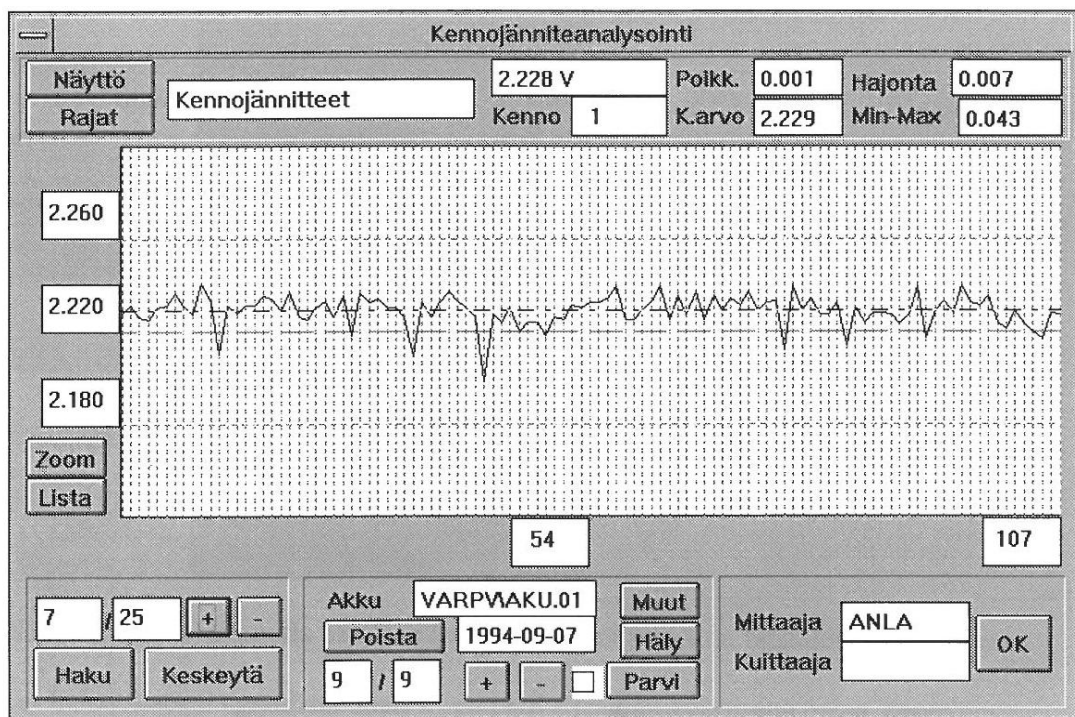
- Navigation:** Buttons for 'Haku' (Search), 'Uudet' (New), 'Tallenna' (Save), 'Tyhjennä' (Clear), 'Poista' (Delete), 'Keskeytä' (Cancel), and 'Yhdistä akkutiedot ...' (Link battery data ...).
- Identification:** 'Akkukoodi' (Battery code) set to '#DEFAULT#', 'Reitti' (Route) set to 'DEF', and 'Sijainti' (Location) set to 'Kylänvanhimmantie 29, 00640 Helsinki'.
- Dates:** 'Päivämäärät' (Dates) section with 'Valmistus' (Manufacture) and 'Asennus' (Installation) both set to '1980-12-31', and an empty 'Poisto' (Disposal) field.
- Capacity and Voltage:** 'Nimelliskapas.' (Nominal capacity) 20.0 Ah, 'Mitoituskapas.' (Design capacity) 47.2 Ah, 'Kennolkm.' (Cell count) 12, and 'Nimellissjännite' (Nominal voltage) 24.00 V.
- Maintenance:** 'Seuraava huolto' (Next maintenance) section with 'Prioriteetti' (Priority) 1.000, 'Max. huoltov.' (Max. maintenance) 2 kk, and 'Huolto' (Maintenance) 29 / 1995 vk.
- Physical Properties:** 'Pinnankorj.' (Surface correction) 6 (0-50), 'Täyttötaso' (Fill level) 1 (0-20), and 'Maksimi täyttömäärä' (Max. fill amount) 0.40 l/kenno.
- Additional Info:** 'Tyyppi' (Type) 'Matala-antimoni', 'Lajimerkki' (Brand) '40PzS200', 'Valmistaja' (Manufacturer) 'VARTA', and 'Kor. Jaatu' (Corrosion) 'Puhelink./analog'.
- Water Consumption:** 'Veden kulutus' (Water consumption) section with 'Varalla' (Reserve) field and 'normaali' (normal) consumption of 4.57 g/Ah/kennoV.
- Actions:** A vertical list of buttons: 'Lisätiedot ...' (More info ...), 'Häilytykset ...' (Alerts ...), 'Häilytysrajat ...' (Alert limits ...), 'Takuukortti ...' (Warranty card ...), 'Kaukomittaus ...' (Remote measurement ...), and 'Tulosta paperille' (Print to paper).

Kuva 7. BMS for Windows -ohjelman akkukortti

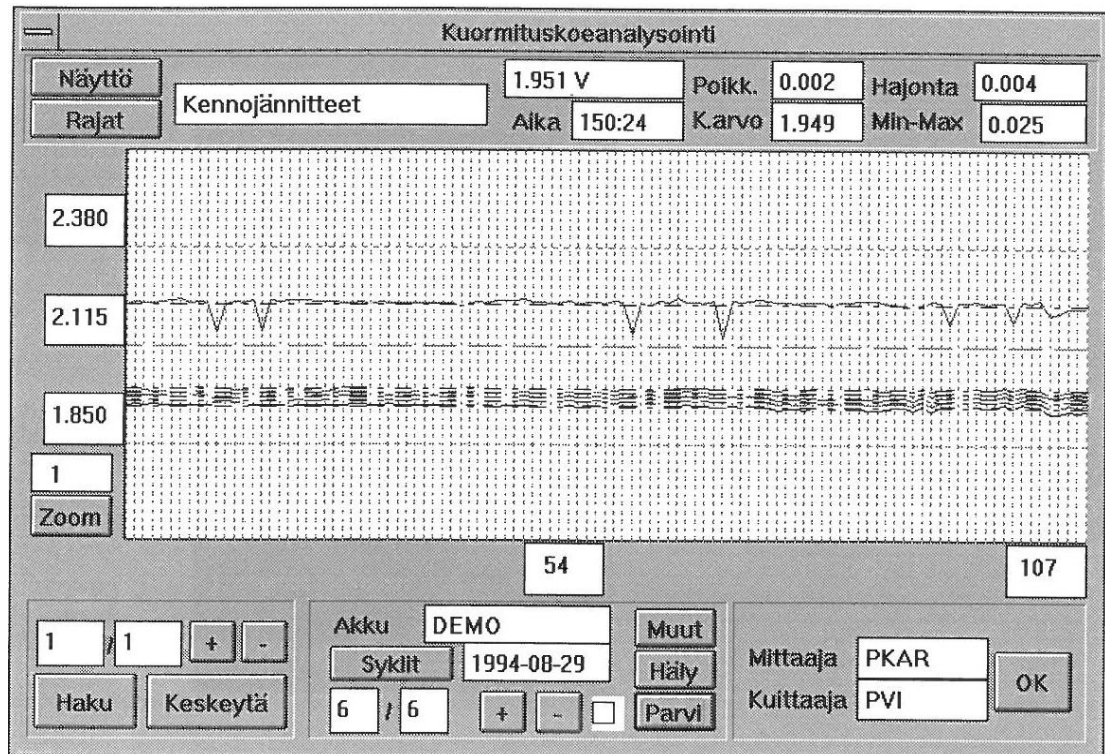
5.4.2 Mittaustulosten käsittely

Akustojen huollettaessa sen kennoista mitataan kennojännitteet, elektrolyytin ominais- tiheys ja toisinaan myös sisäinen vastus. Lisäksi akuston käyttöönotossa ja ennako- huoltosuunnitelman mukaisesti suoritetaan myös kapasiteettikokeet. Näistä mittaustu- loksista piirretään kuvaajat yleensä eri kennojen funktiona. Eri aikoina mitattujen tulos- ten perusteella voidaan tehdä päätelmiä akkukennojen kunnosta.

Uuden laitteen ohjelmistolla tulisi voida analysoida kennojännitteitä, elektrolyytin omi- naistiheyksiä, kapasiteettikoetuloksia ja impedansseja, resistansseja tai konduktansseja ajan funktiona eri kennoista. Lisäksi kuvaajan koordinaatistoon tulisi voida asettaa hä- lytysrajat, joita tulokset eivät saa ylittää. Akuston tietoihin tulisi voida lisätä myös li- säinformaatiota, esim. kennojen veden lisäyksistä tai muista mittauskäynnillä havaituis- ta asioista. [1, s. 1.]



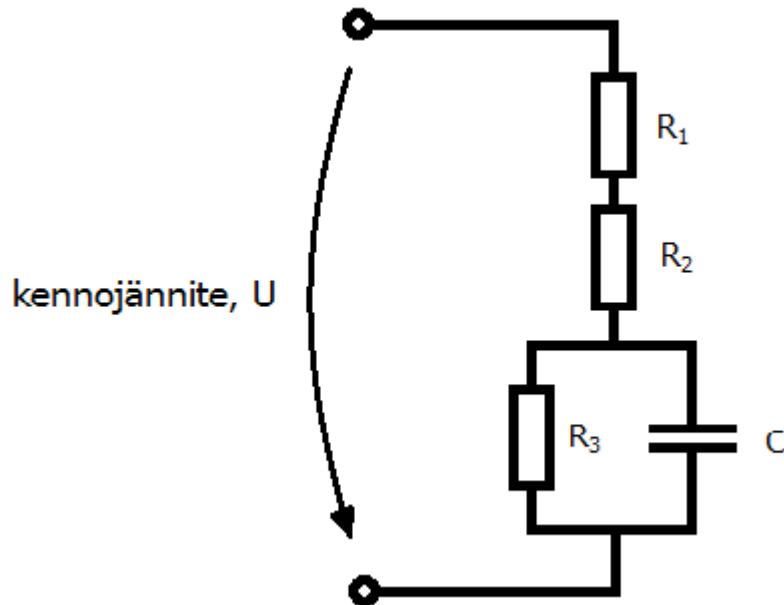
Kuva 8. Kennojännitteiden kuvaaja BMS for Windows -ohjelmalla



Kuva 9. Kapasiteettikoeanalyysi BMS for Windows -ohjelmalla

6 AKUN IMPEDANSSI JA SEN MITTAAMINEN

Akkutyypistä riippumatta, kennoilla on aina sisäistä impedanssia, joka muodostuu resistanssista ja kapasitiivisesta reaktanssista. Akkukennon impedanssi muodostuu elektrolyytistä, aktiiviaineesta, positiivi- ja negatiivilevyistä, liitoksista, navoista, sekä muista metallisista komponenteista kennon napojen välillä. Kapasitanssi muodostuu kennon positiivi- ja negatiivilevyjen- sekä niiden välissä olevan elektrolyyttiaineen välisestä kokonaisuudesta. Akkukennon induktanssi on olematon ja se voidaan jättää huomioimatta. Kuvassa 10 on esitetty akkukennon sijaiskytkentä (ks. seur. s.). [6, s. 9; 2, s. 22 - 23.]



Kuva 10. Akkukennon sijaiskytkentä [6, s. 8 - 9; 4, s. 3]

R_1 = Kennon metalliosien muodostama resistanssi

R_2 = Ristikkolevyjen resistanssi sekä ristikkolevyjen ja aktiiviaineen välinen resistanssi

R_3 = Kennon elektrolyytin ja erotinlevyn resistanssi sekä aktiiviaineen ja elektrolyytin välillä tapahtuvan ionivaihdon resistanssi

C = Kennon kapasitanssi, joka muodostuu positiivi- ja negatiivilevyjen välille

Akkukennosta mitattu sisäinen impedanssi, resistanssi tai konduktanssi antaa suuntaa akun kapasiteetista ja liitosten kunnosta. Nykyiset akustojen mittalaitteet mittaavat yleensä yhtä edellä mainituista suureista, mutta päätarkoitus joka suureen mittaamiseen on sama eli metalliosien kunnan ja kapasiteetin selvittäminen. Vastussuureita mittaamalla voidaan myös ennakoida esim. napojen korrosio, joka paljastuu erittäin todennäköisesti jollakin sisävastus- tai johtavuusmittauksella.

Sisäisen impedanssin, resistanssin tai konduktanssin selvittämiseksi tulee laitteella olla tieto kennossa kulkevasta virrasta ja jännitteestä. Tässä käytetään nelijohdinmittausmenetelmää, jossa laite syöttää kennolle testausvirran ja mittaa samalla kennon yli olevan jännitteen.

Koestusvirta on valmistajasta riippuen joko tasa- tai vaihtovirtaa. Nelijohdinmittausta käytetään yleisesti pienten resistanssien mittaamiseen, koska se kompensoi myös täysin laitteen mittajohtimien resistanssin, joka on tärkeää mittaustarkkuuden kannalta. Kuvan 11- ja kaavan 5 avulla on havainnollistettu akun sisäistä resistanssia, jonka suuruus vaikuttaa sen kuormitettavuuteen. [6, s. 8 - 9.]

$$I = \frac{E}{R_S + R_L} \rightarrow E = I(R_S + R_L) = IR_S + IR_L \quad (5)$$

$$U_S = IR_S$$

$$U_L = IR_L$$

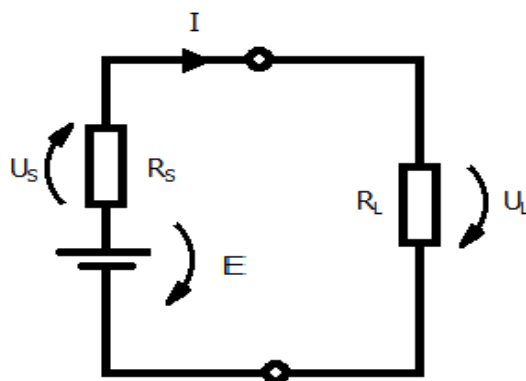
R_S = sisäinen resistanssi

R_L = kuorman resistanssi

E = lähdejännite

U_S = sisäisen resistanssin jännitehäviö

U_L = kuorman jännitehäviö



Kuva 11. Akun kuormitus

Erityisesti suljettujen akkujen kunnon tarkkailu helpottuu impedanssimittausten avulla, koska näiden elektrolyytin ominaispainoa ei voida normaalisti tutkia.

6.1 Mittalaittevalmistajien näkemyksiä vastussuureiden mittaamiseen

6.1.1 Sisäisen resistanssin mittaus

Jotkin akustojen mittauslaitteet mittaavat ainoastaan akun sisäistä resistanssia. Osa laitevalmistajista luottaa ainoastaan sisäisen resistanssin mittaamiseen ja väittävät ettei kennojen impedanssia tulisi mitata, vaan ainoastaan resistanssia. Tämä väite perustuu impedanssin mittaamisessa käytettävän vaihtovirran taajuuteen, jonka suuruus vaikuttaa R_3 -vastuksen kanssa rinnan kytketyn kapasitanssin reaktanssin suuruuteen (Ks.kaavat 6 ja 7).

Reaktanssin kasvaessa R_3 -vastuksen resistanssi jää epähuomioon, jolloin elektrolyytin, erotinlevyn, ionivaihdon ja aktiiviaineen resistanssin suuruudesta ei saada luotettavaa tietoa, jolloin akun kuntoa ei pystytä täysin arvioimaan. Mittausvirtana tulisi näiden laitevalmistajien mukaan käyttää tasavirtaa, joka huomioisi ainoastaan piirin (kuva 9) resistiiviset komponentit. Kuvissa 12 ja 13 on Albécorp-valmistajan tekemiä tutkimuksia sisäisen resistanssin suuruuden suhteesta akun kapasiteettiin (ks. seur. s.). [4, s. 1 - 2.]

Kapasiitiivinen reaktanssi:

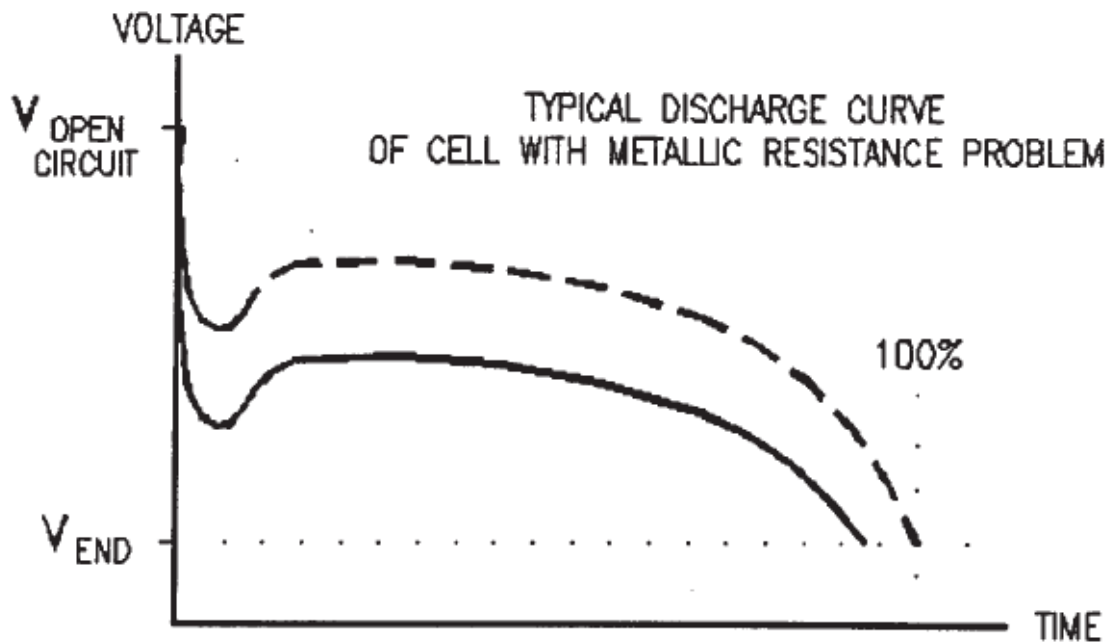
$$X_c = \frac{1}{2\pi f C} \quad (6)$$

f = taajuus

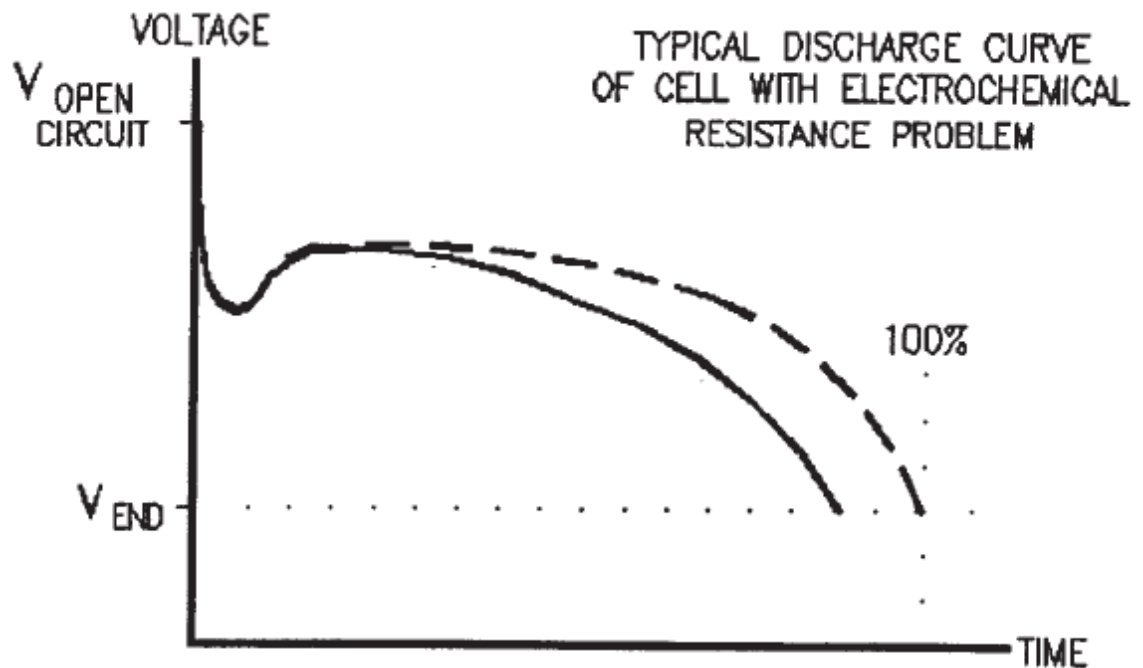
C = kapasitanssi

Sisäinen impedanssi:

$$Z = R_1 + R_2 + \left(\frac{1}{R_3} + \frac{1}{X_c}\right)^{-1} \quad (7)$$



Kuva 12. Purkauskäyrä, kennossa metalliosien resistanssin ongelma [7, s. 5]

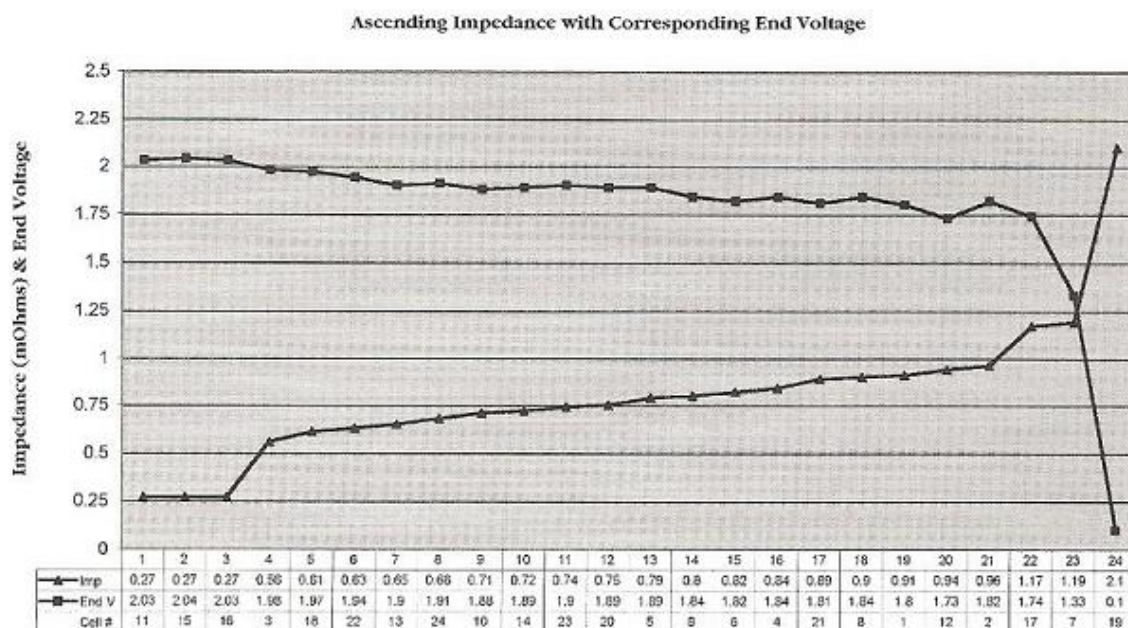


Kuva 13. Purkauskäyrä, kennossa elektrolyytin resistanssin ongelma [7, s. 6]

6.1.2 Sisäisen impedanssin mittaaminen

Eräät valmistajat luottavat akkukennon sisäisen impedanssin ja konduktanssin mittaamiseen. Akkujen konduktanssin mittauksessa käytetään vaihtovirtaa, jolloin se on impedanssin käänteisarvo, joka kuvaa johtavuutta. Virallisesti konduktanssi on kuitenkin

resistanssin käänteisarvo. Impedanssia mittaavien laitteiden valmistajat uskovat impedanssin kykyyn korreloida akun kapasiteettia, koska akku ei ole täysin resistiivinen komponentti, sillä se sisältää myös kapasitanssin. Kapasitanssi syntyy akkukennon positiivi- ja negatiivilevyjen väliin. Kapasitanssin suuruus muuttuu varaustilan muuttuessa, samalla myös rikkihappo laimenee tai voimistuu, jolloin aktiivaine muuttuu. Alla on kuvattu Megger Limited Companyn näkemys akun impedanssin ja kapasiteetin suhteesta. [6, s. 8.]



Kuva 14. Akun sisäisen impedanssin suhde akun kapasiteettiin [6, s. 8.]

6.2 Konduktanssin suhde akun kapasiteettiin

Akun sisäinen impedanssi, resistanssi tai konduktanssi antaa suuntaa akun kunnosta. Niiden perusteella akun kapasiteetista ei kuitenkaan voida tehdä täysin luotettavia päätelmiä. Eräälle 105 kennon paikallisakustolle tehtiin konduktanssimittaukset ja kapasiteettikokeet, joissa tutkittiin tulosten yhtenevyyttä.

6.2.1 Mittausmenetelmät

Akusto oli n. 20 °C lämpötilassa kuivissa olosuhteissa. Konduktanssimittaus suoritettiin 24.11.2010 ja kapasiteettikoe 25.11.2010. Konduktanssimittaus suoritettiin Midtronics Celltron MAX -laitteella akkujen ollessa lepojännitteessä, jolloin vakiojännitevaraaja ei ollut kytkettyä akuston rinnalle. Akusto koostui Varta GLS Plus 12/150 -mallisista 6-kennoisista ryhmäakuista, jotka ovat tyypiltään avoimia putkilevyakkuja.

Konduktanssimittauksen yhteydessä mitattiin myös kennojännite, joka mitattiin samalla laitteella ennen konduktanssia. Konduktanssimittauksen jälkeen tehdyt kapasiteettikokeet suoritettiin Torkel 840-kapasiteettikoelaitteella, johon akusto oli kytkettynä 5 tuntia. Akuston kennojännitteet mitattiin kokeen alussa, minkä jälkeen tunnin välein. 5. tunnin aikana jännitteet mitattiin 2 kertaa.

6.2.2 Kokeen tulokset ja niiden käsittely

Mittaustulokset ovat Excel- muodossa liitteissä 1 ja 2. Konduktanssimittausten tuloksista voidaan huomata, että noin joka 6. ja 7. kennon kohdalla konduktanssi on lähes kaksinkertainen aiempiin tuloksiin verrattuna. Kennot, joissa konduktanssi on huomattavasti suurempi, ovat ryhmäakun ensimmäisiä ja viimeisiä kennoja. Tuloksille ei löydy päteviä perusteluja. 98. kennon normaalia heikompi konduktanssi ei myöskään näy kapasiteettikoetuloksissa. Kapasiteettikokeen perusteella akusto oli erittäin hyvässä kunnossa, ja se läpäisi DIN 43539 -koenormin. Näiden havaintojen perusteella voidaan päätellä, etteivät konduktanssin mittaustulokset ole selvästi yhteneväisiä kapasiteettikokeen avulla saadun purkauskäyrän kanssa, jolloin ainakaan kapasiteetista ei voida tehdä luotettavia johtopäätöksiä konduktanssimittauksen avulla.

6.3 Yhteenveto vastus- ja johtavuussuureiden mittauksesta

Akun sisäisen impedanssin, resistanssin tai konduktanssin mittaaminen on erityisen tärkeää etenkin suljetuilla akuilla, koska niiden kunnan tarkkailu on muutoin ongelmallista. Vastus- ja johtavuusmittaukset antavat suuntaa akun kapasiteetista ja liitosten kunnosta. Vaikka näitä suureita mitataan, silti kaikkein luotettavin keino selvittää akun kapasiteetti on kapasiteettikoe. Avointen lyijyakkujen kapasiteetista kertoo hyvin paljon myös sen elektrolyytin ominaistiheys, jolloin akun sisäisten vastus- ja johtavuussuureiden mittaaminen ei ole välttämätöntä.

Vastus- ja johtavuusmittauksilla voidaan kuitenkin paikantaa mm. napojen korroosio ja akun positiiviristikkolevyn syöpyminen, jotka ovat yleisimpiä syitä akkujen tuhoutumiselle. Tällaisia ilmiöitä on hankalaa paikantaa ominaistiheys- tai jännitemittauksilla. Näin ollen vastus- ja johtavuussuureiden mittaamisesta on hyötyä niin avointen kuin suljettujen akkujen mittaamisessa. Tosin niiden mittaaminen pääsee enemmän oikeuksiinsa mitattaessa suljettuja akkuja. Avointen ja suljettujen akkujen välisten liitosten

kunto voidaan myös selvittää vastus- ja johtavuussuureiden avulla. Osa asiakkaista saattaa jopa vaatia näiden liitosten ylimenovastusten mittaamista. [6, s. 3 - 5.]

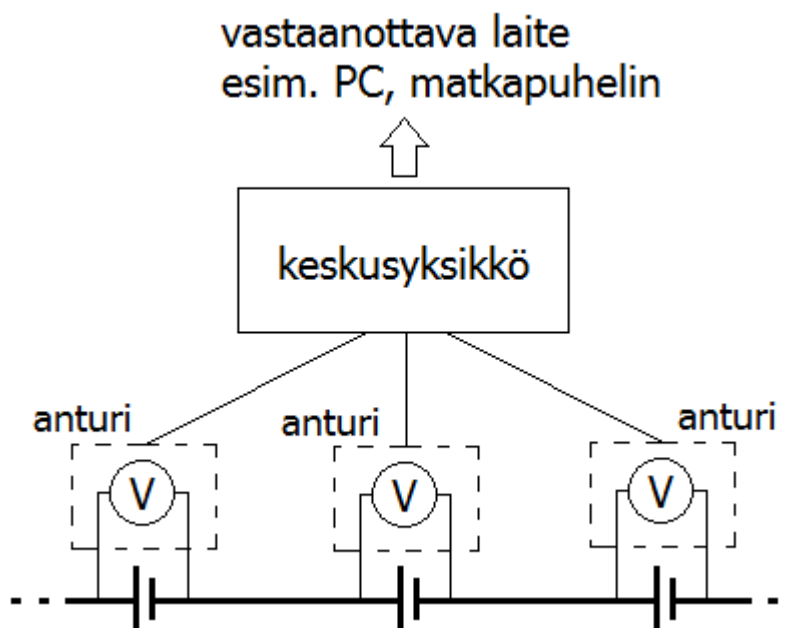
7 AKUSTON KAUKOKÄYTTÖINEN MITTAUS- JA VALVONTAJÄRJESTELMÄ

Akustojen kunnonvalvonta voidaan toteuttaa myös kaukokäyttöisesti. Kaukokäyttöinen järjestelmä mittaa akkukennojen suureita kohteeseen asennetun laitteiston avulla ja lähettää mittaustuloksia tasaisella syklillä niitä vastaanottavaan laitteeseen kuten esimerkiksi tietokoneeseen. Järjestelmän mittaamille suureille voidaan asettaa hälytysrajoja, joiden ylittyessä se hälyttää vastaanottavaan laitteeseen, joka voi olla esim. tietokone tai kännykkä. Joidenkin kaukovalvontajärjestelmien avulla voidaan myös tehdä kuormituskokeita kaukokäyttöisesti. [8, s. 4; 9, s. 3.]

7.1 Kaukovalvontajärjestelmän rakenne

Kaukovalvontajärjestelmä koostuu akkukennoihin asennettavista antureista tai mittausjohdoista, jotka mittaavat esim. akkukennon jännitettä, konduktanssia, nestepinnan tasoa ja kennon tai ympäristön lämpötilaa. Antureiden mittaamat suureet siirretään langallisesti tai langattomasti keskusyksikölle, joka lähettää ne edelleen vastaanottavalle laitteelle tietoliikenneväylän- tai langattomasti esim. TCP/IP-protokollan avulla. Vastaanottavia laitteita voivat olla esim. matkapuhelin, tietokone tms.

Tiedonsiirtotekniikka riippuu pitkälti akuston sijainnista, jolloin esim. pitkän kantaman päässä olevan akuston tiedonsiirto tapahtuu yleensä 3G-tekniikalla. Järjestelmän ominaisuuksista riippuen, siihen voidaan kytkeä myös esim. kuormitusvastus tai jännite- tasauskytkentä. [8, s. 7; 9, s. 3.]



Kuva 15. Kaukomittausjärjestelmän periaatteellinen rakenne

7.1.1 Keskusyksikkö

Keskusyksikölle tuodaan antureiden mittaustieto, ja se lähettää ne edelleen vastaanottaville laitteille. Mittaustiedot voidaan siirtää langallisesti tai langattomasti esim. TCP-IP-protokollaa käyttäen. Keskusyksikkö vaatii erillisen teholähteen. [8, s. 7.]

7.1.2 Anturit

Anturit kytketään suoraan mitattavaan akkuun. Niiden ominaisuuksien perusteella se voi mitata jännitettä, virtaa, konduktanssia, lämpötilaa tai jopa veden pinnan korkeutta avoimissa kennoissa. Anturit mittaavat kennon suureita tasaisella syklillä muutaman sekunnin välein. Ne lähettävät tiedon keskusyksikölle langallisesti tai langattomasti esim. WLAN-yhteydellä.

7.2 Järjestelmään liitettävät ominaisuudet

7.2.1 Kapasiteettikokeet

Joidenkin kaukomittausjärjestelmien avulla myös kapasiteettikokeet voidaan tehdä kaukokäyttöisesti. Se voidaan toteuttaa kytkemällä laturi irti akuston rinnalta,

ja kytkemällä tämän jälkeen keinokuorma eli kuormitusvastus akuston rinnalle. Kun nämä toimenpiteet on tehty, voidaan akkujen jännitteitä alkaa seurata kaukomittauksella kokeen ajan. [9, s. 3.]

7.2.2 Jännitteiden tasauskytkentä

Jotkin järjestelmät sisältävät akuston jännitteiden tasauskytkennän, jonka avulla akkujen jännitteet saadaan pidettyä samalla tasolla. Tasaus voidaan toteuttaa akkujen rinnalle asennettavien kuormitusvastusten avulla. Kuormitusvastusten resistanssien muuttuessa automaattisesti, akkujen jännitteet pysyvät samalla tasolla. Tämän ansiosta akuston käyttöikä kasvaa, ja uuden akun asentaminen vanhaan akustoon on mahdollista. Vanhojen akkujen jännitteiden ollessa samalla tasolla kuin uuden ja lisätyn akun kanssa, sen käyttöikä ei laske vanhojen tasolle. [9, s. 3.]

7.2.3 Eristystilan valvonta

Valvontaan voidaan asettaa myös esim. laturi ja eristystilan valvonta. Järjestelmä valvoo tällöin laturin jännitettä, ja ilmoittaa sen muutoksista. Eristystilan valvonta voidaan toteuttaa maasulkumittauksella. Tässä mittauksessa hälytys annetaan plus- tai miinusnavan ollessa yhteydessä suojamaahan tai vaihtojännitesyöttöön. [9, s. 3.]

7.3 Yhteenveto akustojen jatkuvasta valvonnasta

Akustojen kaukokäyttöisellä mittaamisella saadaan välittömästi tietoa jopa yksittäisten akkukennojen vioista ja niiden kunnan heikkenemisestä. Kun tieto ongelmista saadaan välittömästi, voidaan niihin myös reagoida nopeasti. Tosin joitakin akustoihin liittyviä ongelmia saadaan selvitettyä myös jännitteenvälvontareiden avulla. Järjestelmällä ei kuitenkaan voida täysin korvata säännöllisiä huoltokäyntejä eikä avoimille akustoille tehtäviä kapasiteettikokeita. Järjestelmä on melko kallis, ja taloudellisesta näkökulmasta katsottuna sen tulisi korvata osittain myös säännöllisiä huoltokäyntejä.

Järjestelmä on erittäin hyödyllinen teollisuudessa, ja sellaisissa kohteissa, jotka sijaitsevat pitkän kantaman päässä joissa ei käydä säännöllisesti. Esimerkiksi Helsingin alueella sijaitsevilla sähköasemilla käydään vähintään kerran kuukaudessa riippumatta siitä käytetäänkö akustojen valvontaan kaukomittauksia vai ei.

8 Cellizer TMC-2001E-laite sekä TMC-95-ohjelma

Ensimmäinen arvioitava järjestelmä on Cellizerin valmistamaa TMC-2001E-mittalaite ja siihen kuuluvaa TMC-95-ohjelmisto. Toinen saman valmistajan vaihtoehto olisi ollut sisäistä resistanssia mittaava CRM-2010, mutta valmistaja ilmoitti siinä ilmenneistä vi-oista, jolloin sitä ei otettu tarkasteluun. Mittalaitetta valmistaa saksalainen G. Jost Elec-tronic. Mittalaite saatiin koekäyttöön Pefi Oy:stä. Laitteen huoltoa ja kunnossapitoa suoritetaan Pefi Oy:n kautta Suomessa tai Saksassa.

8.1 Mittausominaisuudet

TMC-2001e:llä voidaan mitata erilaisia tasajännitteitä 0 - 600 V:n jännitealueella. Jän-nitteen mittaustarkkuus riippuu mitattavasta jännitteestä, ja se vaihtelee alueella 0,01 - 100 mV. Laitteeseen voidaan optiona liittää lämpötilaa mittaava infrapuna-sensori sekä Anton Paar -valmistajan elektrolyyttien ominaistiheysmittari DMA-35, eli laite ei mittaa näitä suureita suoraan. [9, s. 1 - 2.]

8.2 Ulkoiset ominaisuudet

Ulkoisilta ominaisuuksiltaan laite oli kevyt ja sopivan kokoinen. Lisäksi siihen kuului myös kantohihna, joka helpottaa mittaamista kohteessa. Laitteen vakiotarvikkeet ovat kom-paktissa salkussa, joka sisältää mittalaitteen lisäksi laturin, vara-akut, mittausjohdot, mittauspäät ja tiedonsiirtokaapelin. Laitteen vakiotarvikkeet on esitetty kuvassa 16. Mikäli laite halutaan yhteensopivaksi DMA-35:n kanssa, vaatii se adapterikaapelin.



Kuva 16. Cellizer TMC-2001e -mittauslaitteet

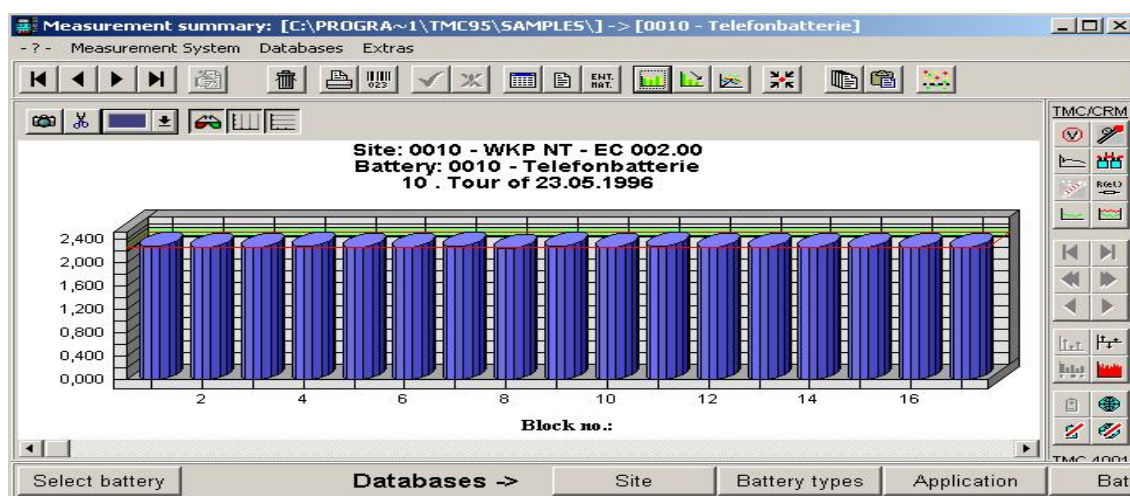
8.3 Lisäominaisuudet

TMC:llä mitattavien akustojen yhteydessä voidaan käyttää transponderijärjestelmää, joka tunnistaa eri akustot niiden transpondereiden perusteella. Tällöin kaikille mitattaville akustoille voidaan antaa oma transponderinsa, jonka perusteella ne voidaan tunnistaa. Tunnistaminen tapahtuu lukemalla akuston transponderi ennen mittausta, jolloin mitattu tieto menee automaattisesti laitteessa oikeaan paikkaan. Transponderi voisi sijaita esim. akustotilan seinällä. [9, s. 1 - 2.]

8.4 TMC-95 Battery Manager -akustojen hallintaohjelma

G. Jost Electronicin valmistamien akustojen koestuslaitteiden toimitukseen sisältyy aina TMC-95-akustojen hallintaohjelma, joka on yhteensopiva näiden laitteiden kanssa. Sitä ei ole suojattu lisenssillä, ja se on vapaasti ladattavissa valmistajan web-sivuilta. Akustojen hallintaohjelman avulla voidaan tutkia mittauslaitteella mitattuja tuloksia. TMC-95 on tietokonekohtainen ohjelma, jolloin mittauksien tulokset tallentuvat tietokoneeseen, johon ohjelma on asennettu.

Ohjelmalla analysoidut tulokset voivat olla laitteen varusteluista riippuen kennojännitteitä, lämpötiloja, elektrolyytin ominaistiheyksiä, sisäisiä resistansseja tai kapasiteetti-koetuloksia. Ohjelman avulla voidaan muodostaa erilaisia kuvaajia näistä suureista. Tosin kapasiteetti-koetuloksia voidaan analysoida vain silloin, mikäli ne on suoritettu Programma Electric Ab:n valmistamalla TMC-4001 -akustojen mittausjärjestelmällä.



Kuva 17. Kennojänniteanalyysi TMC-95-ohjelmalla

TMC-95-ohjelman avulla voidaan myös käyttää mittaustuloksista koostuvaa tietokantaa, joka sisältää yksilölliset tiedot kaikista mitatuista akustoista. Laitteella mitatut tulokset siirretään USB-väylän tai sarjaportin välityksellä tietokoneessa olevaan tietokantaan, josta mittaustiedot löytyvät eri kohteiden kansioista. Mitattujen akustojen tiedot voidaan luokitella tietokantaan seuraavasti:

1. kohde, kohdetieto eli sähköasema, voimalaitos tai vastaava
2. akusto, akuston tunnus esim. "N12 ohjaus ja suojaus" tai "N13 kaukokäyttö"

8.5 Yhteenveto laitteesta ja ohjelmasta

8.5.1 Yhteenveto laitteen mittausominaisuuksista

TMC 2001e:llä voidaan mitata akuista ainoastaan kennojännitteet ja lisälaitteiden avulla myös lämpötilat ja elektrolyytin ominaistiheys. Näiden suureiden mittausominaisuus on uuden laitteen vähimmäisvaatimus. Laite on ainoa testatuista, joka ei mittaa impedanssia, resistanssia tai konduktanssia. Ominaisiheyksien mittaamista varten tulisi hankkia adapterilla varustettu DMA-35-ominaistiheysmittari. DMA-35:n rikkoutuessa ominaistiheysarvoja ei voi mitata muilla laitteilla, silloin kun tulokset halutaan laitteelle tai ohjelmaan. Lisälaitteen hankkiminen lämpötilojen mittaamista varten ei ole välttämätöntä, koska se saadaan mitattua muilla keinoilla.

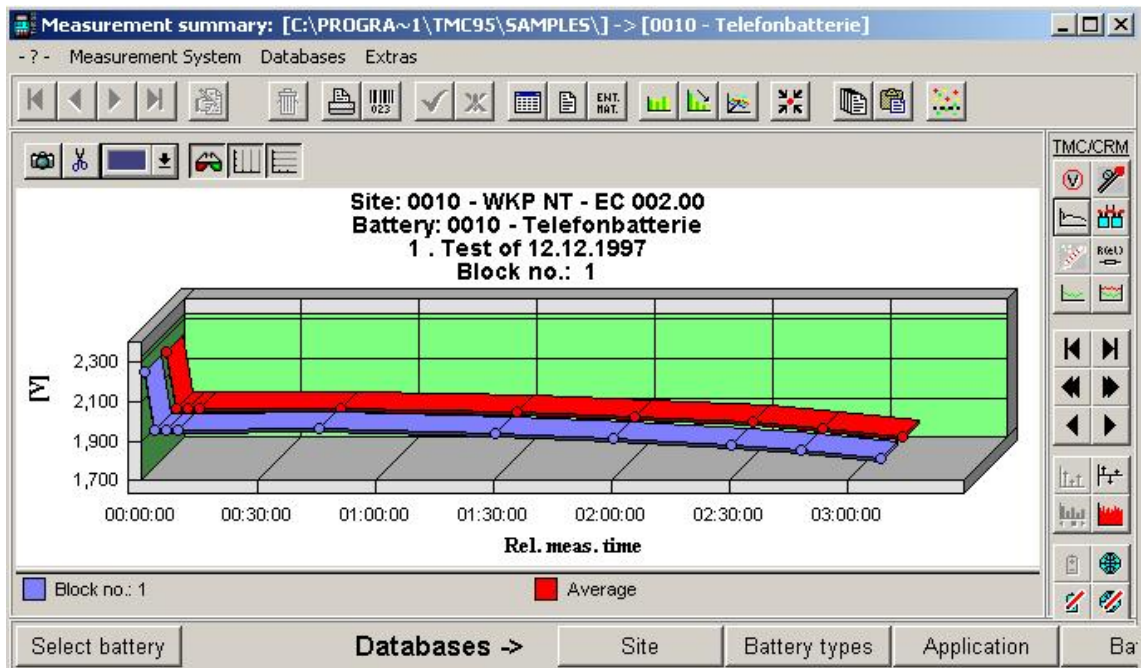
8.5.2 Yhteenveto laitteen käytettävyydestä

TMC-2001e on erittäin helppokäyttöinen ja yksinkertainen laite käyttää. Käyttöliittymä on selkeä ja johdonmukainen, mutta osittain puutteellinen, koska laitteelle ei esimerkiksi voi syöttää uusia mittauskohteita. Uudet mittauskohteet tulee syöttää etukäteen TMC-95-ohjelmaan, josta ne voidaan edelleen siirtää laitteelle. Laite ohjelmineen vaikutti ns. protomaiselta, mutta toimivalta, lukuun ottamatta joitain havaittua virheitä ohjelmassa.

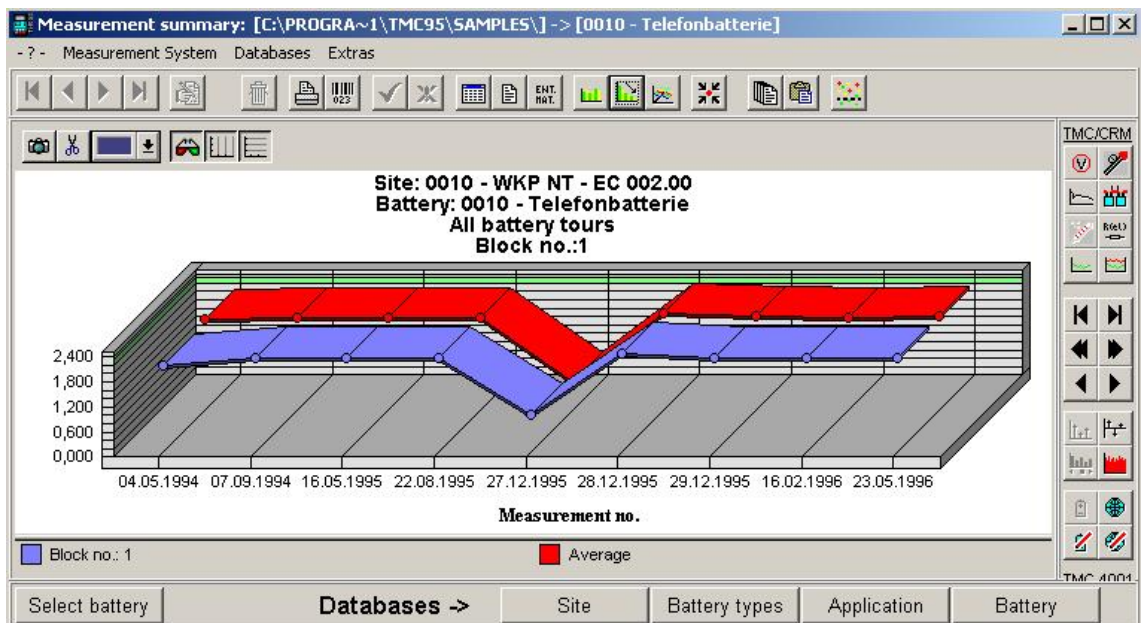
8.5.3 Yhteenveto TMC-95-ohjelmasta

TMC-95-ohjelma oli selkeä ja hyvin toteutettu. Ohjelman erilaiset kuvaajavaihtoehdot olivat toimivia ja monipuolisia. Negatiivinen ominaisuus oli kapasiteettikokeiden analy-

sointi, joka onnistuu vain, mikäli ne on tehty TMC-4001:llä, jonka kustannukset kaapeleineen ovat melko suuret. Ohjelmaa kuitenkin kehitetään.



Kuva 18. Kapasiteettikoeanalyysi TMC 95 -ohjelmalla



Kuva 19. Kennoon kohdistuva jänniteanalyysi TMC 95 -ohjelmalla

9 Midtronics Celltron Max -laite sekä Celltraq-tietokantajärjestelmä

Toinen koekäytössä ollut laite oli Midtronicsin valmistama Celltron MAX, johon kuului Celltraq-ohjelmisto. Celltron MAX valittiin tarkasteluun konduktanssimittauksen vuoksi, jota haluttiin tutkia käytännössä. Mittalaitetta valmistaa yhdysvaltalainen Midtronics. Laite vuokrattiin Elcon Solutions Oy:ltä. Laitteen huoltoa ja kunnossapitoa suoritetaan Elcon Solutions Oy:n kautta Suomessa tai Hollannissa.

9.1 Mittausominaisuudet

Celltron MAX:lla voidaan mitata tasajännitteitä 1,5 - 20 V:n alueella ja konduktanssia 100 - 19 990 S:n alueella. Konduktanssit mitataan yleensä liitoksista ja akkukennoista. Konduktanssin mittaukseen laite käyttää vaihtovirtaa. Jännitteitä voidaan tutkia laitteessa olevalla oskilloskoopilla, jonka avulla tasajännitteen AC-komponentit eli rippelit saadaan mitattua. Mitattuja jännitteitä ja konduktansseja voidaan myös tutkia kuvaajien avulla heti mittauksen jälkeen. Laitteessa on myös lämpötilamittari, joka toimii infrapunatekniikan avulla. Laitteeseen ei voida kytkeä ominaistiheysmittaria, eikä niitä voi analysoida ohjelmistonkaan avulla. Tämä on melko suuri haittatekijä, koska paikalliset lisäkäytöt ovat usein avoimia lyijyakkuja, joiden kunnosta ominaistiheyden avulla voidaan päätellä. [11, s. 2.]

9.2 Ulkoiset ominaisuudet ja käytettävyys

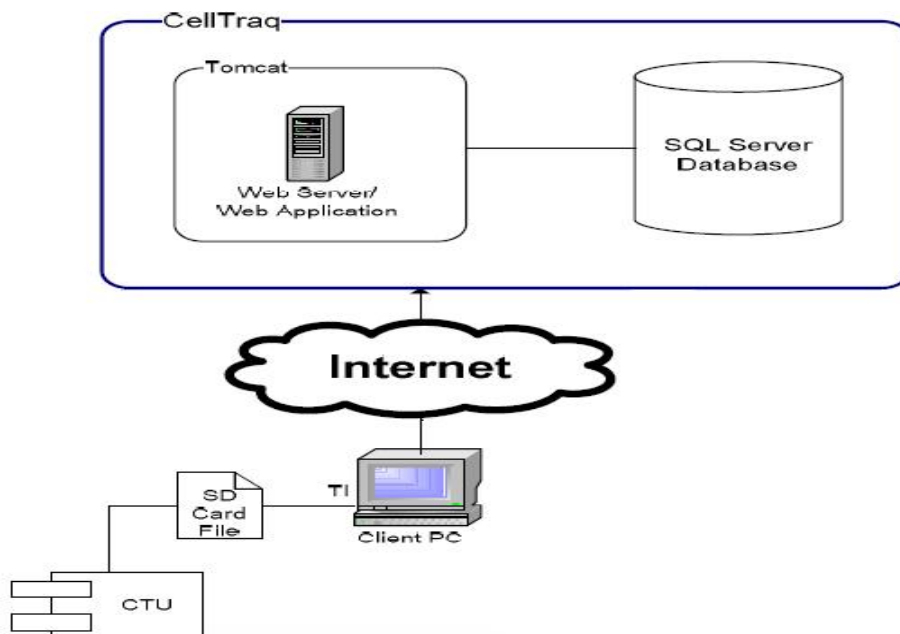
Laite oli kooltaan melko iso ja se painoi 1,18 kg. Laitteen kokoa kasvatti siihen kuuluva oskilloskooppi. Laitteessa oli vyölenkki, mutta mittaaminen oli tästä huolimatta melko vaivalloista. Laitteen käyttöliittymä oli hyvin selkeä ja sen käyttämisen omaksui melko nopeasti, mutta näppäimistöä oli melko työläs käyttää. Suuren ongelman aiheutti laitteen mittauspäät, jotka olivat fyysisesti melko isot, jolloin ne eivät mahdu ahtaisiin paikkoihin tai akuissa oleviin mittausreikiin. Koska konduktanssin mittaus edellyttää nelijohtimista ns. Kelvin-mittausta, käsitti yksi mittauspää kaksi piikkiä, joista toisessa kulki mittausvirta, ja toisessa jännitemittaus. Mittajohtimet olivat myös melko lyhyet. Mittauspäissä olleet LED-valot olivat käytännölliset ja hyödylliset. Laitteistoon kuului laturi, vara-akku, tiedonsiirtokaapelit, IR-tulostin, mittausauvat ja mittauspäät, jotka olivat kaikki siistissä muovisalkussa. [11, s. 2.]



Kuva 20. Celltron MAX

9.3 Celltraq-ohjelmisto

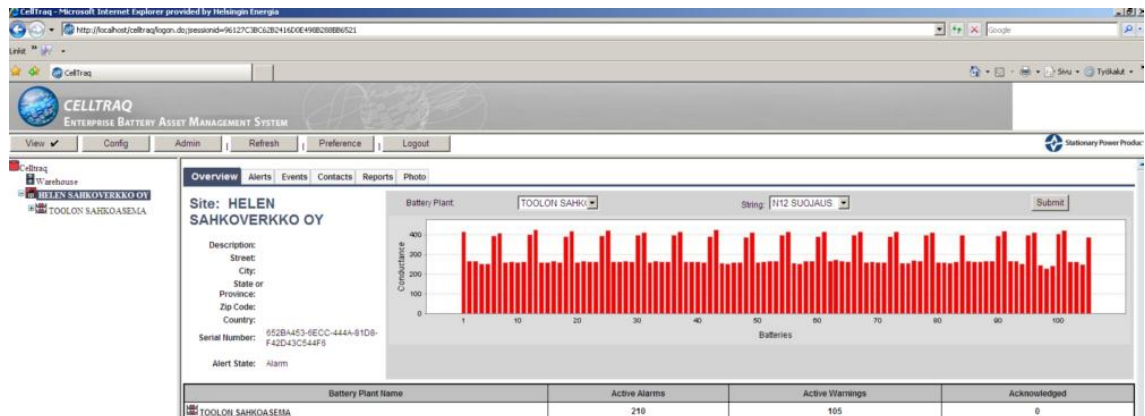
Laitteella mitattua tietoa käsitellään Celltraq -ohjelman ja tietokannan avulla, joilla voidaan tehdä päätelmiä ja ennusteita akustojen kunnosta. Celltraq on serveripohjainen tietokantajärjestelmä joka käsittää yhteen tai useampaan tietokoneeseen asennettavan Celltraq-ohjelman, Tomcat Web -serverin ja SQL-serverin, joka käsittää tietokannan. Itse järjestelmää käytetään Celltraq-ohjelmalla, jonka käyttäjätilien ja samanaikaisten käyttäjien määrä riippuu siihen hankittavien maksullisten lisenssien määrästä. Ohjelmisto voidaan yhteen sovittaa myös Midtronicsin Cellguard- kaukovalvontajärjestelmän kanssa. Kuvassa 21 on kuvattu järjestelmän arkkitehtuuri. [8, s. 6.]



Kuva 21. CellTraq-arkkitehtuuri [8, s. 6.]

9.3.1 Mittaustulosten analysointi

Celltraq-ohjelmalla voidaan analysoida akkujen konduktanssia, kennojännitettä, lämpötilaa ja purkauskäyriä. Näistä suureista ohjelma piirtää tuloksia havainnollistavia kuvia, joista näkyvät kennojen suuret. Suureille asetellut hälytysrajat näkyvät myös kuvaajakoordinaatistossa. Kuvassa 22 on esitetty pylväsdiagrammi konduktanssien mittaustuloksista. [8, s. 5.]



Kuva 22. Konduktanssianalyysi Celltraq-ohjelmiston avulla

Hälytysrajojen perusteella ohjelma ilmoittaa hälyttävien kennojen lukumäärän ja mahdolliset toimenpiteet akustolle, jotka ovat suuntaa antavia.

9.3.2 Tietokanta

Eri kohteiden akustoista mitatut mittaustulokset voidaan ryhmitellä verkossa olevaan SQL-tietokantaan, joka voi pitää sisällään vähintään 4 Gigatavua mittaustuloksia. Mittaustulokset voidaan ryhmitellä seuraavalla jaottelulla: [8, s. 9.]

1. YRITYS, yrityksen nimi, jolle akustot kuuluvat esim. Helen Sähköverkko Oy
2. KOHDE, sähköasema tai vastaava esim. Toolon sähköasema
3. AKUSTO, akuston tunnus esim. N12 Ohjaus ja suojaus

9.4 Yhteenveto laitteesta ja Celltraq-ohjelmistosta

9.4.1 Yhteenveto laitteen mittausominaisuuksista

Celltron MAX-laitteella voidaan mitata akkukennojen ja liitosten konduktanssia, virtoja, lämpötiloja ja AC/DC-jännitteitä. Lisäksi siinä on toiminto, jonka avulla voidaan mitata jännitteitä kapasiteettikokeen aikana. Mittaustoiminnot ovat hyvin kattavat, mutta suurena haittatekijänä voidaan pitää ominaistiheyksien mittaus- ja analysointiominaisuuksien puuttumista. Ominaisiheyksien mittaus on hyvin tärkeä suure mitattaessa avoimia akustoja, joita on hyvin paljon HelenServicen asiakkailla. Toinen negatiivinen ominaisuus oli laitteen oskilloskooppi, joka mittasi ainoastaan alle 25 V tasajännitteitä, jolloin sitä ei voida käyttää esim. tasasuuntaajien jännitteiden tutkimiseen.

9.4.2 Yhteenveto laitteen käytettävyydestä

Celltron MAX on kooltaan melko iso ja hankala vyölenkiltä käytettäessä. Tällaiset ongelmat on kuitenkin mahdollista korjata omin avuin. Mittauspäät olivat melko isot ja ne olisivat voineet olla hieman pienemmät, koska ne eivät mahtuneet kaikkien akkujen mittausreiristä sisään. Niiden koko on suuri Kelvin-mittausmenetelmän vuoksi, joka vaaditaan, jotta voitaisiin mitata konduktanssia, resistanssia tai impedanssia. Mittauspäiden LED-valot olivat kuitenkin hyvä ja mittausta helpottava ominaisuus.

9.4.3 Yhteenveto Celltraq-ohjelmasta

Celltraq-ohjelma on serveripohjainen ohjelma, joka eroaa sen vuoksi esim. TMC-95-ohjelmasta. Tomcat-verkkoserverin ja SQL-tietokannan avulla ohjelman käyttäjäkunta laajenee ja sitä voidaan käyttää usealta eri tietokoneelta. Toisaalta mm. internet-yhteyksien kaatuessa tietokantaa ei voida käyttää ja mittaus tulokset ovat ainoastaan laitteessa. Ohjelmaa voi käyttää normaalisti vain yksi käyttäjä kerrallaan, mutta käyttäjäkuntaa voi laajentaa ostamalla lisää lisenssejä. Ohjelma oli analysointitoiminnoiltaan kohtalainen ja se on yhteensopiva Cellquard-kaukovalvontajärjestelmän kanssa, jolloin se saa mittaus tietoja n. sekunnin välein eri mittauskohteista ja hälyttää tarpeen mukaan käyttäjilleen. [8, s. 6.]

10 Megger Bite 3 -laite sekä ProActiv-kunnonhallintaohjelma

Kolmas testikäytössä ollut laite oli Megger Group Limitedin valmistama Bite 3. Megger on yhdysvaltalais-englantilainen yhtiö, joka valmistaa erilaisia sähkötekniikan mittalaitteita. Bite 3 valittiin koekäyttöön sen impedanssimittausominaisuuden ja ominaispainojen analysointimahdollisuuksien vuoksi. Laite ProActiv-ohjelmistoinen saatiin koekäyttöön Perel Oy:ltä. Laitteen huoltoa ja kunnossapitoa suoritetaan Perel Oy:n kautta Suomessa tai Yhdysvalloissa.



Kuva 23. Megger Bite 3

10.1 Mittausominaisuudet

Bite 3:lla voidaan mitata tasavirtoja ja – jännitteitä, vaihtovirtaa, impedanssia ja yliaaltoja akuista joiden kapasiteetti on korkeintaan 2 000 Ah. Tasajännitettä voidaan mitata 1 - 30 V:n alueella ja impedansseja 0,05 - 1 Ω :n alueella. Virtojen mittausta laitteeseen täytyy kytkeä virranmittauspihti, joka ei kuulu laitteen perusvarusteluun. Virtoja voidaan mitata 0,5 - 99,9 A:n alueella. Pihdillä mitatuista virroista saadaan myös selvitettyä yliaaltojen ja rippelin osuus. Jännitteiden mittaustulosten tarkkuus on mitattavasta jännitteestä riippuen 1 mV - 10 mV. Virtojen mittaustulosten tarkkuus on mitattavasta virrasta riippuen 10 mA - 100 mA. Impedanssin mittaustulosten tarkkuus on mitattavasta impedanssista riippuen 1 $\mu\Omega$ - 100 $\mu\Omega$. Laitteen avulla voidaan mitata myös elektrolyytin ominaistiheyksiä jos siihen on kytkettynä erillinen ominaistiheysmittari, joka ei kuulu laitteen perusvarusteluihin. [12, s. 33.]

10.2 Ulkoiset ominaisuudet ja käytettävyys

Laite oli kooltaan melko iso ja sen paino oli 2,6 kg. Laite on varustettu lenkillä, jolla se voidaan ripustaa kaulaan. Käyttöliittymä sisälsi aakkosellisen numeronäppäimistön lisäksi yhden näytön, josta tuloksia voidaan myös analysoida kentälläkin. Nelijohdinmittaukseen perustuvat mittauspäät oli varustettu kahvoilla ja niihin kuuluivat mittaustilan- teita ilmaisevat LED-valot. Laite on kytkettävissä tietokoneeseen RS-232 liitännällä, mutta liitännän voi tehdä myös USB-liitännällä jos käytetään adapteria. Laitteen perus- varusteluun kuului laturi, vara-akku, kantolaukku, mittausjohtimet, RS-232- tiedonsiirtokaapeli. [12, s. 34.]

10.3 Lisäominaisuudet

Laitteeseen on saatavilla virtapihti, joka mahdollistaa tasa- ja vaihtovirran mittauksen epäsuoralla menetelmällä kun pihti asetetaan johtimen ympärille. Laitteen lisäksi voi- daan hankkia myös ominaistiheysmittari, joka on yhteensopiva Bite 3:n käytettävä Pro- Activ-ohjelman avulla. Ominastiheysmittaria ei kuitenkaan kytketä suoraan laitteeseen. Yhteensopivia ominaistiheysmittareita ovat Megger DHM-246052 ja Anton Paar DMA- 35. Laitteeseen voidaan kytkeä myös printteri ja viivakoodin lukija, jonka avulla mitat- tavat akustot voidaan nopeasti hakea laitteen tietokannasta mittauskohteessa, jossa yksilöidyt viivakoodit ovat esim. tilan seinällä. Laitteessa voidaan käyttää myös ahtai- siin paikkoihin sopivia puikkomaisia mittauspäitä, jotka ovat perusvarusteluun kuuluvia mittauspäitä kapeampia ja pidempiä. [6, s. 16 - 19.]

10.4 ProActiv- ja PowerDB -ohjelmistot

Bite 3:lla mitattuja tuloksia voidaan analysoida ProActiv-ohjelmalla, jonka avulla voi- daan käyttää myös eri akustoista muodostuvaa tietokantaa. Ohjelman rinnalla voidaan käyttää myös PowerDB-ohjelmaa, jonka avulla mittaustuloksista saadaan muodostettua virallinen akuston haltijalle tulostettava raportti. [12, s. 25.]

10.4.1 Mittaustulosten analysointi

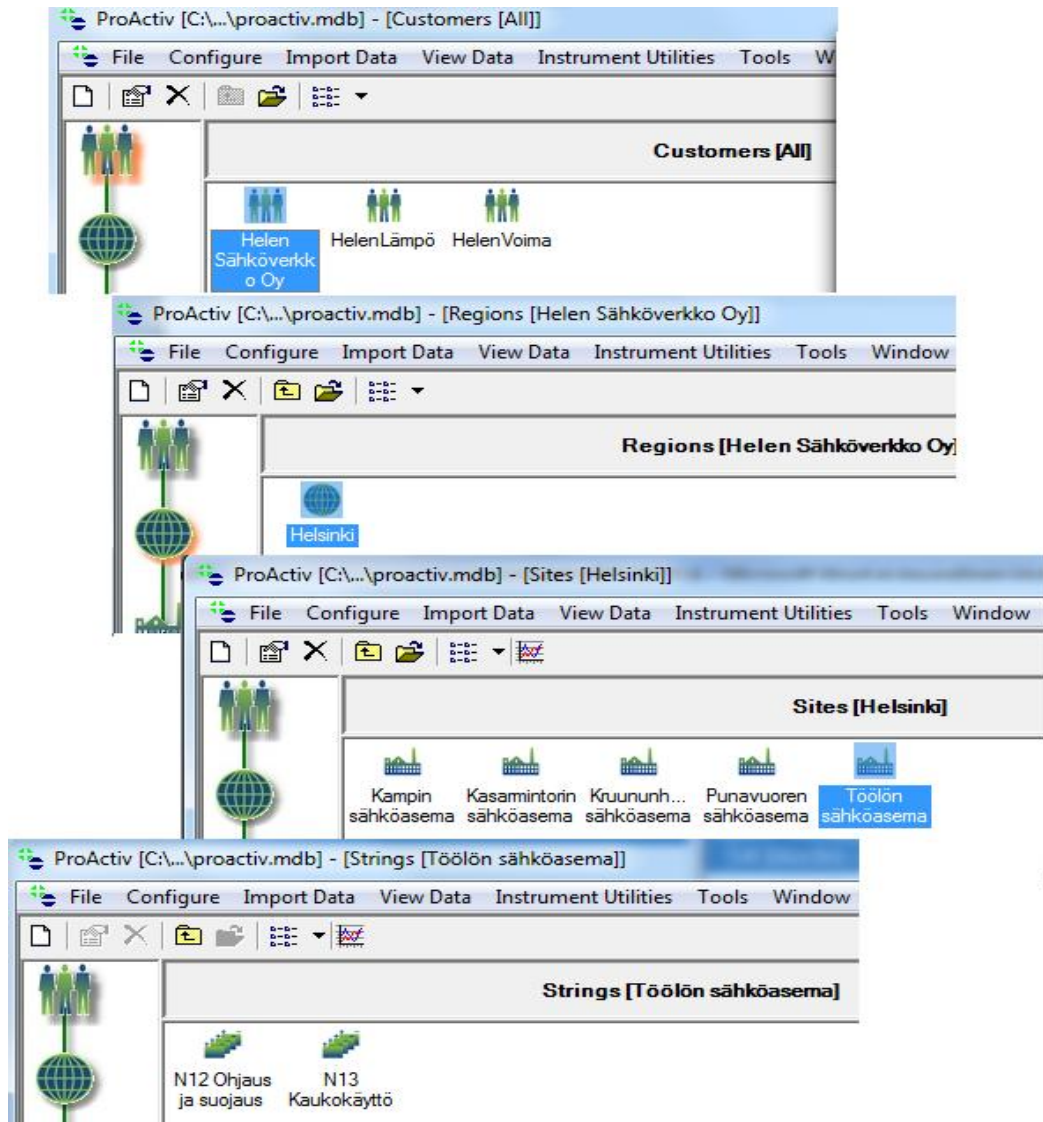
ProActiv-ohjelman avulla voidaan analysoida kaikkia niitä suureita, joita on mahdollista mitata Bite 3-laitteella. Ominaisuuksien analysointi on mahdollista vain jos ne on mitattu yhteensopivilla lisälaitteilla.

Tuloksia voidaan tutkia erilaisten kuvaajien ja pylväsdiagrammien avulla, joita voidaan tutkia samanaikaisesti useampien ja eri ajankohtina mitattujen tulosten kanssa. Kuvaajien yhteydessä voidaan myös näyttää hälytysrajat, jotka löytyvät eri akkutyypin tietokannoista. Ohjelma osaa myös laskea eri kennojen suureiden välisen keskiarvon, johon se vertaa jokaista kennoa, jolloin saadaan poikkeama akkukennojen keskimääräisestä arvosta. [12, s. 25.]

10.4.2 Tietokanta

ProActiv-ohjelmaan voidaan rakentaa laaja tietokanta asiakkaiden akustoista ja niiden mittaustuloksista. Akustot on järjestelty tietokantaan yrityksen, sijainnin, käyttöpaikan ja käyttötarkoituksen perusteella. Lisäksi jokainen mitattu akkukenno on yksilöity, jolloin yksittäisen kennonkin tietoja voidaan muokata. Tietokannasta löytyvät myös kunkin akuston jokaisen liitoksen ylimenovastus, mikäli ne on mitattu.

Akustoille voidaan hälytysrajojen lisäksi määritellä akkukennojen tyypit valmistajan ja kennorakenteen perusteella. Kuva 24 havainnollistaa tietokannan hierarkiaa (ks. seur. s). Tietokanta on erittäin laaja, ja siinä olevia tietoja ja mittaustuloksia voidaan vaihtaa lähiverkon välityksellä. [12, s. 25.]



Kuva 24. Ote ProActiv-ohjelman tietokannasta

10.4.3 PowerDB-raporttisovellus

PowerDB on sovellus, jonka avulla Bite 3-laitteella mitatut tulokset voidaan siirtää suoraan laitteelta sovellukselle, joka järjestee ne viralliselle raporttikaavakkeelle valmiiksi. Tätä käytettäessä saadaan automaattisesti siistit raportit mittauksista, eikä tietoja tarvitse erikseen syöttää valmiille kaavakepohjalle manuaalisesti. Sovellusta voidaan käyttää myös Torkel-vakiovirtakuormituslaitteiden ja digitaalisten ominaistiheysmittareiden kanssa. Toistaiseksi raporttien kielivaihtoehtoina ovat vain englantia, ranska, kiina ja espanja. PowerDB-sovelluksen voi ladata ilmaiseksi internetistä.

10.5 Yhteenveto Bite 3-laitteesta ja sen sovelluksista

10.5.1 Yhteenveto laitteen mittausominaisuuksista

Laitteen mittausominaisuudet ovat melko kattavat. Impedanssimittauksen tulokset antavat valmistajan mukaan suuntaa akun kunnosta, mutta tätä ei päästy mittaamalla todistamaan laitteen rikkoutumisen vuoksi. Jännitteen mittausalue on melko pieni, jolloin koko akuston napajännitettä ei voida mitata, toisaalta napajännite saadaan lasketua melko tarkasti, mikäli kaikkien kennojen jännitteet on mitattu. Ominaisuuksien mittaaminen on mahdollista ainoastaan lisälaitteen avulla, eikä niitä voida syöttää manuaalisesti laitteelle kuten DMS-1000-laitteella. Akkukennoja mitattaessa, ominaisuuksien mittaaminen voidaan kyllä syöttää manuaalisesti kennokohtaisiin tietoihin, mutta tämä on melko työlästä.

10.5.2 Yhteenveto laitteen käytettävyydestä

Mittaaminen onnistui kohtalaisen hyvin Bite 3:lla. Mittalaite oli sopivan kokoinen ja sen käyttö sujui kätevästi, laitteen roikkuessa kaulalla, jolloin näyttö oli koko ajan nähtävissä. Käyttöliittymä oli selkeä ja sen käytettävyys hyvä. Mittausjohtimet olivat melko jäykät, mutta mittauskaivojen käytettävyys oli hyvä. Mittauskärjet olivat melko pienet, mutta niitä varten akustojen napareikiä jouduttaisiin laajentamaan. Valmistajan esitteiden mukaan Bite 3-laitteeseen voidaan asentaa myös mittauspäälaajennus, jolloin ne soveltuvat paremmin ahtaasiin olosuhteisiin. [6, s. 17.]

10.5.3 Yhteenveto ProActiv-ohjelmasta

ProActiv-ohjelma on ominaisuuksiltaan erittäin hyvä. Akustoissa tapahtuvat muutokset ja ilmiöt ovat hyvin havainnollistettavissa kuvaajien avulla, joita voidaan tutkia ajan funktiona. Ohjelma sisältää sovelluksen myös hälytysrajojen arvioimiseen.

Tietokannan rakenne on selkeä ja monipuolinen. Tietokantaan voidaan syöttää yksilöllisiä tietoja jopa kennon tarkkuudella. PowerDB-raporttisovellus osoittautui erittäin käytännölliseksi, vaikka sitä ei ole saatavilla suomenkielisenä. Muutoin sen ominaisuudet olivat yhtä hyvät kuin nyt käytössä olevan DMS-1000-laitteen kunnonhallintaohjelma.

11 Albér Cellcorder CRT-400 -laite ja BAS-kunnonhallintaohjelma

Viimeinen insinööriyössä esiteltävä laite on Albér Corp Companyn valmistama CRT-400. CRT-400 on perusominaisuuksiltaan samankaltainen laite kuin muutkin työssä esitellyt laitteet, mutta se on suunniteltu sisäisen resistanssin mittaamista varten. Laitteella ei ole maahantuojaa Suomessa, eikä sitä saatu esiteltäväksi tai koekäyttöön. Näistä syistä johtuen sen esittely on suppeampi kuin muut työssä esitellyt laitteet. Laitteen toimittaja on iso-britannialainen CellCare Technologies Limited.



Kuva 25: Albér Cellcorder CRT-400

11.1 Laitteen mittausominaisuudet

CRT-400-laitteella voidaan mitata akkukennojen jännitteitä, kennoliitosten resistanssia ja akkukennon sisäistä resistanssia. Kennojännitettä voidaan mitata 0 - 20 V:n alueella 0,001 V:n tarkkuudella. Kennojen ja niiden liitosten resistanssia voidaan mitata 2 - 20 $\mu\Omega$:n tarkkuudella. Resistanssin mittausta tapahtuu n. 5A - 50 A:n suuruisella tasavirralla, joka johdetaan mitattavan kennon tai liitoksen läpi. Laitteessa on ns. automaattinen mittausalueen tunnistus, joka automaattisesti asettaa mittausalueen mitattavan suureen mukaan. Elektrolyytin ominaistiheyksiä ja lämpötiloja voidaan mitata digitaalisella ominaistiheysmittarilla, joka on yhteensopiva laitteen ja ohjelmiston kanssa. Ominaisiheydet ja lämpötilat voidaan myös syöttää manuaalisesti laitteelle.

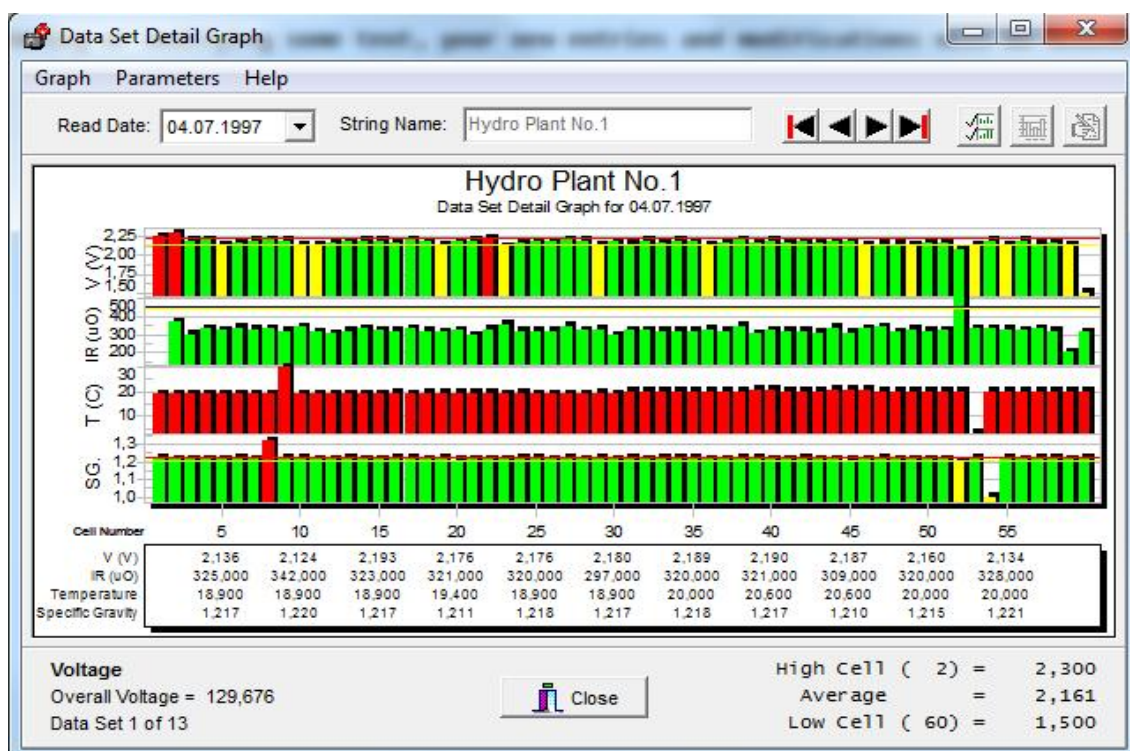
[13, s. 4.]

11.2 BAS-kunnonhallintaohjelma

CRT-400-laitteella mitattuja tuloksia voidaan analysoida Alber Battery Analysis -ohjelman avulla. Ohjelmalla voidaan myös käsitellä tietokantaa, joka on muodostettu mitatuista akuista. Ohjelma on tietokonekohtainen, ja ohjelma on ladattavissa ilmaiseksi internetistä valmistajan sivustolta. [13, s. 4.]

11.2.1 Ohjelman ominaisuudet pääpiirteittäin

BAS -ohjelman päätarkoitus on mittaustulosten analysoinnin mahdollistaminen erilaisilla kuvaajilla ja mittaustuloshistorialla. Mittaustuloksista ja akuista voidaan muodostaa tietokanta, jonka laajuus riippuu käyttäjätietokoneen kiintolevytilasta. Akuista ja niiden sijainnista voidaan kirjata kaikki olennaiset tiedot tietokantaan. Mitatuista tuloksista voidaan muodostaa raportteja asiakkaalle esim. pdf-muodossa, josta näkyvät kaikki mittaukseen liittyvä informaatio kuvaajineen. Mittaustuloksia voidaan siirtää CRT-400-laitteelta ja ominaistiheysmittarilta tietokoneelle analysoitavaksi käyttäen RS-232-sarjaporttia, USB-väylää tai infrapunaa. [13, s. 2.]



Kuva 26. Jännitteen, resistanssin ja ominaistiheyden yhteisanalyysi BAS-ohjelmalla

11.2.2 Mittaustulosten analysointi

Akuista mitattuja tuloksia voidaan analysoida kuvaajien ja pylväsdiagrammien avulla, joihin voidaan asettaa hälytysrajat eri suureille. Eri ajankohtina mitattuja tuloksia voidaan analysoida samanaikaisesti, jolloin muutokset voidaan helposti havaita. Pylväsdiagrammien avulla voidaan tarkastella eri suureita samanaikaisesti, jolloin niiden väliset suhteet selviävät. Valikoista voidaan ne suureet, joita halutaan tarkkailla samanaikaisesti. Kuvaajien perusteella ohjelma osaa laskea myös alimman ja ylimmän mitatun kennojännitteen, sekä näiden keskiarvon. Ohjelman avulla voidaan myös asettaa ns. tarkkailtavia kennoja, joiden arvot ovat olleet mittauksessa lähellä aseteltuja hälytysrajoja.

11.3 Yhteenveto CRT-400-laitteesta ja BAS-kunnonhallintaohjelmasta

CRT-400 ohjelmiseen soveltuisi hyvin akustojen mittaukseen ja kunnon analysointiin, vaikka sitä ei päästy käytännössä testaamaan. Sisäistä resistanssia mittaamalla saadaan suuntaa antavaa tietoa kapasiteetista ja sen avulla voidaan myös paikantaa heikot liitokset ja napojen syöpyminen, tosin nämä olisivat tulleet täysin todistetuksi koemittausten avulla. Erittäin hyvä asia oli mitattujen ominaisuuksien manuaalinen syöttö CRT-400-laitteelle, jolloin ne pystytään mittaamaan millä tahansa menetelmällä ilman kalliita lisälaitteita. Tällä periaatteella toimii myös tällä nykyään käytössä oleva DMS-1000-mittalaite.

BAS-ohjelman analysointiominaisuudet olivat erittäin hyvät. Eri mittaussuureiden samanaikainen tutkiminen on toimiva ratkaisu akkujen analysoinnissa. Laitteistoon liittyvänä huonona puolena voidaan pitää siihen liittyviä kustannuksia, jotka koostuvat koulutuksesta sekä vuosihuolloista ja -kalibroinneista, vaikka laite sinänsä on normaalihintainen. Toiseksi, laitteella ei ole kotimaista maahantuojaa, jonka avulla käyttöön, huoltoon ja kunnossapitoon liittyvät asiat voisivat olla vaivattomampia. Laite on laajassa käytössä mm. Isossa Britanniassa ja Yhdysvalloissa.

12 YHTEENVETO

Esitellyistä laitteista soveltuvimmat olivat Megger Group Limitedin valmistama Bite 3 ja Albécorp Companyn valmistama CRT-400. Bite 3-laitteen etuina ovat sen helppokäyttöisyys, impedanssin mittaushdollisuus, monipuolinen ohjelmisto ja oheislaitteet. Huonoina puolina voidaan pitää ominaistiheyksien mittaushdollisuuksia. Ominaihtiehyksien mittausta varten tulee olla digitaalinen mittalaite, koska niiden manuaalinen syöttö laitteelle on erittäin työlästä.

CRT-400-laitteen etuina voidaan pitää monipuolista ohjelmistoa, sisäisen resistanssin mittaushdollisuutta ja ominaistiheyksien manuaalista syöttöhdollisuutta. Järjestelmän negatiivisena puolena on sen käyttökokemuksista saatu vähäinen tieto, koska CRT-400-laitetta ei tiittävästi ole vielä käytössä Suomessa. Laitteella ei ole Suomessa toimivaa maahantuojaa, jolloin siihen liittyvät käytännön asiat voivat olla toisinaan ongelmallista hoitaa.

Akustojen mittaamiseen ja kunnonhallintaan käytettävät laitteet saatiin kohtalaisen hyvin kartoitettua. Kaikissa mittalaitteissa yhtä lukuun ottamatta oli joko sisäisen resistanssin, konduktanssin tai impedanssin mittaushdollisuus. Näitä suureita mittaamalla ei saavuteta merkittävää etua avoimia akkukennoja mittaamalla, mutta tulevaisuuden tarpeet muuttuvat suljettujen akkujen lisääntyessä.

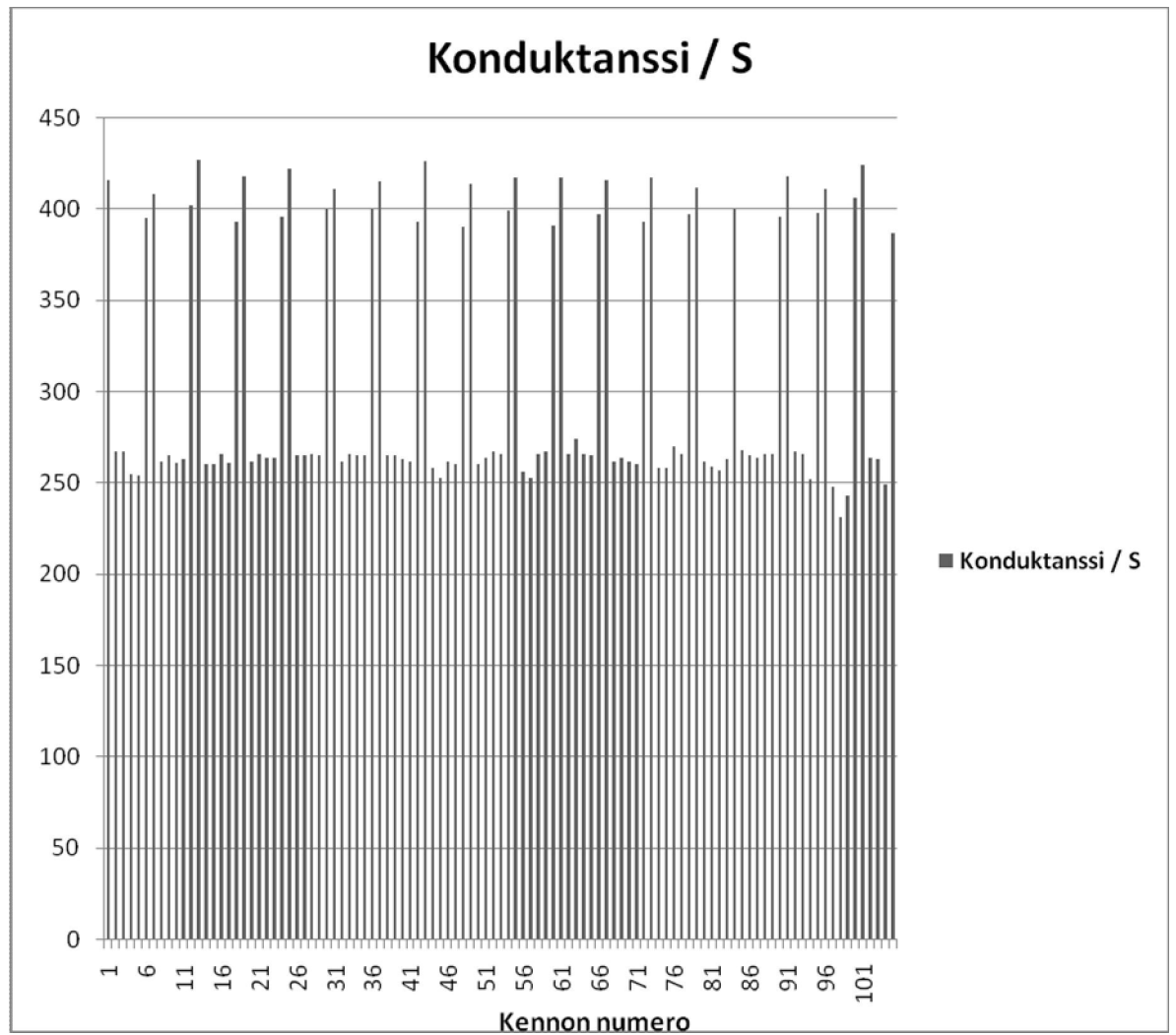
Suljettujen akkujen kunnossapidossa resistanssin tai impedanssin mittauksella saadaan suuntaa-antavaa tietoa sen kapasiteetista, liitoksista ja elektrolyytin kunnosta. Näiden mittaaminen korvaa osittain elektrolyytin ominaistiheyksien antamaa tietoa akun kunnosta, koska sitä ei normaalisti mitata suljetuista akuista. Avoimia akkuja mitattaessa resistanssin, konduktanssin tai impedanssin mittaaminen antaa tosin tärkeää tietoa akun liitosten kunnosta, jolloin esim. napojen korroosio ja positiivilevyjen korroosio voidaan havaita.

Lähteet

- 1 Karhu, Simo. 2010. *Ohjaus- ja kaukokäyttöakustojen ennakkohoolto-ohje*. Ennakkohoolto-ohje. Helsinki: HelenService, Sähkö- ja automaatiojaos.
- 2 Digimaintenance Systems Oy. 1992. *BMS for Windows*. Käyttäjän käsikirja. Helsinki: Digimaintenance systems oy.
- 3 Lindholm, Bernt. 1976. *Akku käyttövoimareservinä*. Vantaa: INSKO.
- 4 Glenn Albèr. 2003. *Ohmic measurements: The history and the facts*. Florida, USA: Albèrcorp Company. Saatavissa: <http://www.alber.com/Docs/AlberPaperFINAL2003.pdf>
- 5 Langan, Peter; Jowett, Jeffrey; Thomson , Graeme; Jones, David. 2004. *A Guide to low resistance testing*. Dallas, USA: Megger Group Limited. Saatavissa: http://www.techrentals.com.au/pdf_files/Megger_A_20Guide_20to_20Low_20Resistance_20Testing.pdf
- 6 Langan, Peter; Jowett, Jeffrey; Thomson , Graeme; Jones, David. 2004. *Battery testing guide*. Dallas, USA: Megger Group Limited. Saatavissa: <http://www.surgetek.co.za/items/btg100.pdf>
- 7 Glenn Albèr. 2003. *Predicting Battery Performance Using Internal Cell Resistance*. Florida, USA: Albèrcorp Company. Saatavissa: <http://www.alber.com/Docs/PredictBatt.pdf>
- 8 Midtronics. 2009. *Celltraq System: Enterprise battery asset management system*. PowerPoint -esitys. Willbrook IL USA: Midtronics.

- 9 Kuumic Oy. 2005. Accu master KU60 – Tekninen käsikirja. Kuumic Oy. Puuttuvat bibliografiset tiedot.
- 10 G. Jost electronic. 2008. *TMC-2001E Battery management system*. Esite. Troisdorf, Germany: G. Jost electronic.
- 11 Midtronics. 2009. *Celltron MAX Versatile Battery Analysis System*. Esite. Willowbrook, IL USA: Midtronics. Saatavissa: http://www.midtronics.com/media/PDF/190-000003aEN_CelltronMAXSISht.pdf
- 12 Megger. 2004. *Bite 3 Battery test equipment*. Instruction manual. Norristown, USA: Megger Group Limited.
- 13 Albér. 2011. *CRT-400 Cell resistance tester*. Brochure. Florida, USA: Albèrcorp Company. Saatavissa: http://www.alber.com/BrochuresPDF/CRT-400%20web_.pdf

Paikallissakuston konduktanssin mittaustulokset



Kuvaaja paikallisakuston purkauskokeesta

