



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

PIENJÄNNITTEISTEN VIRTAMUUNTAJIEN TAAKKA

Tommi Isomäki

Opinnäytetyö
Toukokuu 2017
Talotekniikan koulutusohjelma
Sähköinen talotekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutusohjelma
Sähköinen talotekniikka

ISOMÄKI, TOMMI:

Pienjännitteisten virtamuuntajien taakka

Opinnäytetyö 68 sivua, joista liitteitä 19 sivua
Toukokuu 2017

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia virtamuuntajien taakan merkitystä sähkömittauksissa. Virtamuuntajia käytetään isojen kiinteistöjen sähkömittauksissa, minkä takia on olennaista havainnoida väärin mitoitetujen taakkojen merkitys. Kiinteistöjen sähkölaskun kulutus määräytyy virtamuuntajien antaman tiedon mukaan, jota sähkömittarit lukevat. Opinnäytetyön tilaajana toimi sähköenergiamittauksiin erikoistunut yritys Polarmit Oy.

Työn teoriaosuudessa käsiteltiin virtamuuntajien ominaisuuksia, jotta ymmärrettiin mistä virtamuuntajien kulma- ja muuntosuhdevirheet johtuivat. Virtamuuntaja on tarkasti säädelty sähkömagneettinen laite, jolla on paljon termejä. Virtamuuntajien normit ja standardit kirjattiin IEC 61869-2 (Instrument transformers – Part 2: Additional requirements for current transformers) -standardista.

Opinnäytetyössä on mittalaitteen kalibrointitodistus, jonka mukaan on oletettu mittauksien tarkkuus. Kalibrointitodistus on luottamuksellista tietoa ja se on poistettu julkisesta raportista.

Tutkimustuloksista koottiin kuvaajat havainnoimaan pienen, normaalin ja suuren taakan vaikutusta mittatarkkuuteen. Huomattiin että pieni taakka vaikuttaa suurentavasti mittaustuloksiin, kun taas suuri taakka pienentää tulosta. Virtamuuntajien kyllästymispisteen jälkeen virheiden määrä kasvoi huomattavasti. Mittaustuloksien tarkoitus on auttaa asian parissa työskenteleviä ymmärtämään, kuinka tärkeää on mitoittaa taakka oikein kohteen rakennusvaiheessa sekä muutostöiden yhteydessä. Esimerkiksi mittarinvaihdon jälkeen tulee taakka mitoittaa ja tarkistaa uudelleen. Näin virheet kyetään minimoimaan, ja kiinteistön käyttäjä maksaa vain käyttämänsä sähköenergian hinnan.

Asiasanat: virtamuuntaja, taakka, kulmavirhe, virtavirhe

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Building Service Engineering
Electrical Engineering for Building Services

ISOMÄKI, TOMMI:
Burden of Low Voltage Current Transformers

Bachelor's thesis 68 pages, appendices 19 pages
May 2017

The purpose of this study was to research current transformers and burden values in view of electricity measurement. Current transformers are used in all buildings that require a large electrical capacity. The electricity bill is determined by the information gained from current transformers.

This thesis was commissioned by Polarmit Ltd. The measurements examined phase displacement in current transformers in view of burden values. Standards and norms were based on the IEC 61869-2 (Instrument transformers – Part 2: Additional requirements for current transformers) standard.

The reliability of the measurements was based on the calibration certificate of the measuring device. The certificate is confidential material, and it was therefore removed from the public report.

The purpose of this study was to improve understanding on how significant the correct burden value is. If burden value is not right, the number of erroneous results can grow very rapidly. The ideal situation is when the owner of the property, pays only for the amount of electricity that the customer consumes and measurement inaccuracies are minimized.

Key words: measuring current transformers, burden, phase displacement

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	TEORIA	7
	2.1 Magneettiin vuo.....	8
	2.2 Virtamuuntajan häviöt	9
3	TEKNILLISET MÄÄRITTEET	12
4	VIRTAMUUNTAJAN MITOITTAMINEN	13
	4.1 Muuntosuhdekerroin	14
	4.2 Taakan laskeminen	14
5	VIRHETARKASTELU.....	17
	5.1 Tarkkuusluokat	17
	5.2 Kulmavirhe	18
	5.3 Virtavirhe	19
6	MITTAUSLAITTEET	20
7	MITTAUSTULOKSET.....	23
	7.1 Virtamuuntaja FAGET RM70-E3B.....	23
	7.2 Virtamuuntaja CIRCUTOR TAS-200	29
	7.3 Virtamuuntaja PAN PSA 613	33
	7.4 Virtamuuntaja RISH XMER 104/80.....	38
	7.5 Virtamuuntaja WAGO 855S.....	42
8	POHDINTA.....	48
	LÄHTEET.....	49
	LIITTEET	50
	Liite 1. >20 % taakan mittauspöytäkirja	50
	Liite 2. 25 % standarditaakan mittauspöytäkirja	52
	Liite 3. 100 % standarditaakan mittauspöytäkirja	54
	Liite 4. 250 % taakan mittauspöytäkirja.....	56
	Liite 5. 600 % taakan mittauspöytäkirja.....	58
	Liite 6. Kalibrointitodistus Calport 300	60

LYHENTEET JA TERMIT

<i>A</i>	ampeeri
<i>AC</i>	vaihtovirta
<i>B</i>	magneettivuon tiheys, T
<i>C</i>	kapasitanssi, F
<i>D</i>	sähkövuon tiheys, C/cm ²
<i>E</i>	sähkökentän voimakkuus, V/m
<i>f</i>	taajuus, Hz
<i>H</i>	magneettikentän voimakkuus, A/m
<i>I</i>	virta, A
<i>l</i>	pituus, m
<i>N</i>	käämikierrosmäärä, lkm
<i>P</i>	pätöteho, W
<i>R</i>	resistanssi, Ω
<i>S</i>	nimellistaakka, VA
<i>t</i>	aika, s
<i>U</i>	jännite, V
<i>X</i>	reaktanssi, Ω
<i>Z</i>	impedanssi, Ω
$\cos \varphi$	tehokerroin
φ	vaihe-ero, vaihesiirtymä
Φ	magneettivuo, Vs
ρ	ominaisvastus, $\Omega/\text{mm}^2/\text{m}$

1 JOHDANTO

Kiinteistöjen sähkönkulutusmittareihin astui Suomessa voimaan 1.3.2009 Valtioneuvoston asetus, jonka mukaan 80 %:lla verkkoyhtiöiden asiakkaista tuli olla uudistetut sähkömittarit. Tarkoituksena oli parantaa mittatarkkuutta sekä mahdollistaa etäluettavuus. Vanhoja induktio mittareita vaihdettiin staattisiin sähkömittareihin. Monissa kohteissa vanha mittari korvattiin uudella - tarkastelematta järjestelmän taakkaa, jonka mukaan mittaus tapahtuu. Kyseisiä kohteita on Suomessa lukuisia, joten mittaustuloksien kiinnostavuus oli hyvin suuri. Epäiltiin että taakan merkitys tarkkuuteen ei ollut juurikaan merkittävä, mutta halusimme tutkia asiaa tarkemmin.

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan taakan merkitystä mittatarkkuuteen eri taakan alueilla sekä eri virtamuuntajilla. Työssä tutkittiin useita yleisesti käytössä olevia virtamuuntajia, koska halusimme että tutkimustulokset olisivat mahdollisimman monipuoliset. Virtamuuntajat kytkettiin testipenkkiin, missä mitattiin virheet eri taakan arvoilta. Mittaukset perustuivat ajatukseen, missä kytkennän ainut muuttuja oli taakan arvo. Mittauksia tehtiin useita sarjoja. Mittauksien virheiden raja-arvot otettiin standardista, jonka rajoissa tulee mittaukset kohteissa myös tapahtua. Mittaustuloksista koottiin kuvioita sekä koko mittauspöytäkirja on lisätty opinnäytetyön liitteisiin.

Tämän opinnäytetyön aiheen antoi sähköenergiamittauksiin erikoistunut yritys Polarmit Oy. Tavoitteena on lisätä tietoisuutta virtamuuntajien mittatarkkuudesta sekä käyttäytymisestä. Saatuja tuloksia voidaan käyttää tulevissa hankkeissa sekä mahdollisesti tutkia virtamuuntajia myöhemmin tarkemmin.

2 TEORIA

Virtamuuntajat ovat sähkömagneettisia laitteita, jotka toimivat pääsääntöisesti kahdessa tarkoituksessa: suojauksessa ja mittauksessa. Mittaustarkoitukseen käytettävät virta- ja jännitemuuntajat on nimetty mittamuuntajiksi. Mittamuuntajien tarkoitus on muuttaa mitattava virtamäärä mittarille sopivaksi sekä eristää mittalaite suurjännitepiiristä. Mittamuuntajia käytetään, kun piirin nimellisvirta on yli 63 A (Ahoranta 2015, 244; SFS3381 2014, 3). Seuraavassa kuvassa on esitetty Wago -virtamuuntajia.

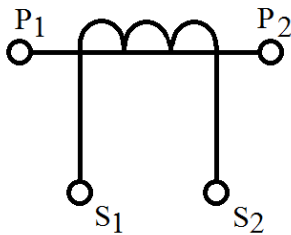


KUVA 1. WAGO-virtamuuntajia (Kuva: Tommi Isomäki 2016)

Virtamuuntajia on erikokoisia riippuen käyttötarkoituksesta. Kuvan 1 virtamuuntajat ovat suhteellisen pieniä ja niiden nimellinen ensiövirta määräytyy myös mitattavan kaapelin koosta. Mitä suurempi mitattava kaapeli on fyysisesti, sitä suurempi on myös kaapelin nimellisvirta. Kuvan virtamuuntajat tulee pujottaa kaapelin sisään, ennen kytkemistä.

Virtamuuntajilla mitataan yleensä suurta ensiövirtaa, pienelle virralle tarkoitettulla mittarilla. Virtamuuntajan ensiöpiiriin indusoituu teho, joka siirtää toisiovirran mittarille. Suuren ensiövirran muunto tapahtuu johdinkierroksilla ja sen takia ensiöpiirissä on vähemmän johdonkierroksia kuin toisiopiirissä. Virtamuuntajan rautasydämen poikkipinta-ala

on suhteellisen pieni ja sen ympärille on kierretty vähän johdinkierroksia, joilla saavutetaan pieni reaktanssi. Reaktanssi on virtamuuntajissa induktiivista, jossa energia varautuu magneettikenttään. Johdinkierroksien lukumäärän mukaan määräytyy virtamuuntajan muuntosuhde. Virtamuuntajan arvot on merkitty muuntajan arvokilpeen. Virtamuuntajan ensiö- ja toisiopiiri ovat galvaanisesti erillään (kuvio 1) (Tonteri & Aura 1996, 84-85; Ahoranta 2015, 229-230; Ahoranta 1997, 291-293).

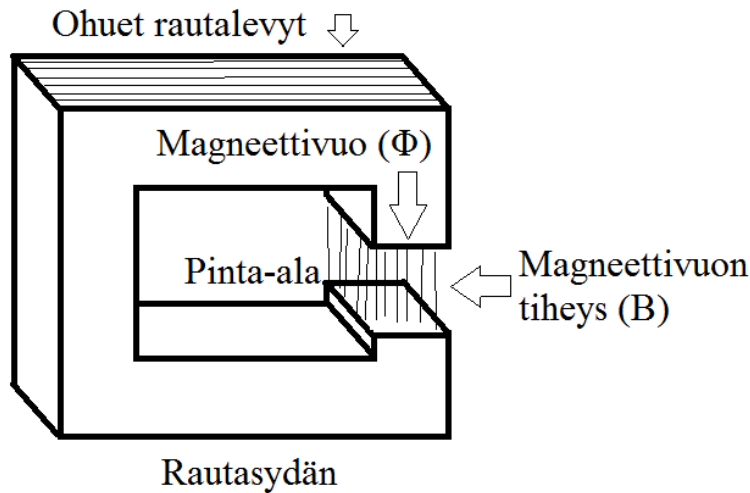


KUVIO 1. Virtamuuntajan kytkentäliittimet (IEC 61869-2 2012, 28, muokattu)

Virtamuuntajan ensiöpuolen liittimet on merkitty P_1 ja P_2 (Primary) ja toisiopiirin S_1 ja S_2 (Secondary). Mitattava kaapeli kulkee kuvan 1 keskireiän läpi ja sitä mitataan toisiopiirin liittimistä (Tonteri & Aura 1996, 84-85).

2.1 Magneettipiirin vuo

Magneettivuo on luotu havainnollistamaan ja laskemaan sähkömagnetismin ilmiöitä ja magneettipiiriä. Magneettipiirin vuo on verrannollinen muuntajan kierroslukumäärään ja virran määrään. Magneettivuo kulkee kokonaisuudessaan rautasydämessä mutta muuntajassa ilmenee myös hajavuota. Seuraavassa kuviossa on esitetty magneettivuon havainnointikuva (Hietalahti 2013, 88; Tonteri & Aura 1986, 111-114; Ahoranta 2015, 203).

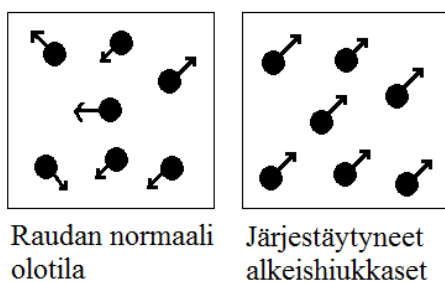


KUVIO 2. Magneettivuon havainnointikuva (Ahoranta 1997, 292, muokattu)

Vaihtosähköpiirissä magneettivuon suuruus ja suunta kulkevat sinimuotoisen vaihtovirran mukaan. Virtamuuntajan rautasydän on tehty ohuista metallilevyistä häviöiden pienentämiseksi. Magneettipiirin vuon tiheys kuvaa magneetikentän voimakkuutta, joka on suoraan verrannollinen rautasydämen pinta-alaan. Magneettipiirin vuo indusoi rautaan pyörrevirtoja, joista syntyy lämpöhäviöitä. Pyörrevirtoja pystytään vähentämään erottamalla ohuet rautalevyt toisista, jolloin pyörrevirtojen kulkureitti estyy ja vuon läpäisemä pinta-ala pienenee. Muuntajaan syntyy myös kuparilankahäviöitä koska käämitys on aina resistiivinen (Hietalahti 2013, 88; Tonteri & Aura 1986, 111-114; Ahoranta 2015, 203).

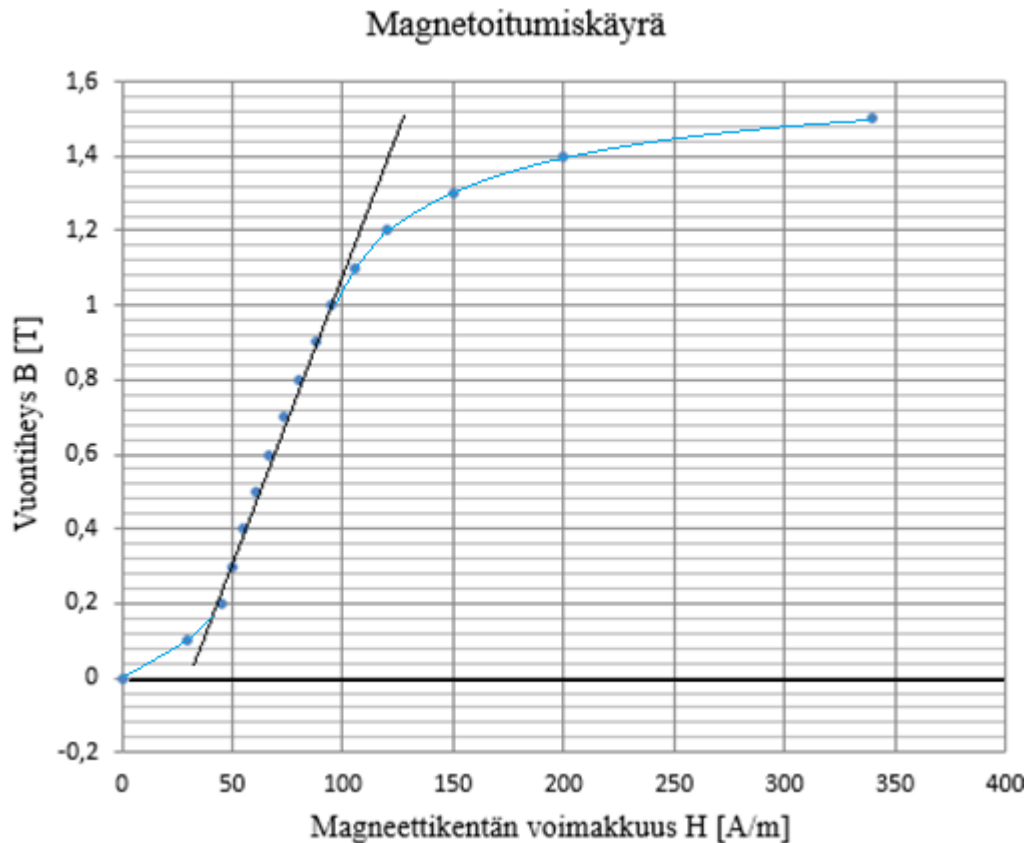
2.2 Virtamuuntajan häviöt

Ennen raudan magnetoitumista niin sanotussa raudan normaalissa olotilassa ovat raudan alkeishiukkaset epäjärjestyksessä mutta magneettivuon kasvaessa alkeishiukkaset järjestäytyvät (kuvio 3). Tämä johtuu aineen permeabiliteetin muuttumisesta (Hietalahti 2013, 88-89).



KUVIO 3. Magneettipartikkeleiden järjestäytyminen (Hietalahti 2013, 88, muokattu)

Ferromagneettisilla aineilla magnetoitumiskäyrä riippuu aineen permeabiliteetista. Virtamuuntajissa käytetään ferromagneettisia aineita, joita ovat mm. valurauta, dynamolevy ja ferriitti. Ilman magnetoitumiskäyrä on vakio mutta sitä ei käytetä huonon johtavuuden takia. Vuontiheys kasvaa nopeasti magneettikentän voimakkuuden mukaan mutta se alkaa hidastua korkeilla tiheyden arvoilla (kuvio 4). Tätä ilmiötä kutsutaan raudan kyllästymiseksi, jota käytetään mm. suojamuuntajissa.



KUVIO 4. Esimerkki magnetoitumiskäyrän muutoksesta

Mittaussydämen poikkipinta-ala tehdään suhteellisen pieneksi, jolloin pienikin ylivirta ensiöpiirissä kyllästää nopeasti rautasydämen. Raudan kyllästyminen on suoraan verrannollinen kytkettyyn taakkaan (Hietalahti 2013, 88-89; Tonteri & Aura 1986, 123-124).

Rautahäviöitä kutsutaan tyhjäkäyntihäviöiksi P_0 koska ne esiintyvät täysin kuormittamattomassa muuntajassa. Tyhjäkäyntivirtaa kutsutaan magnetointivirraksi. Tyhjäkäyntivirta I_0 on suunnilleen 1-3 % muuntajan nimellisvirrasta. Tyhjäkäyntivirta aiheuttaa suurimman virheen virtamuuntajiin, koska mitattu virta ei ole suoraan verrannollinen todelliseen

virtaan. Tyhjäkäyntivirran takia mittaukseen tulee virtavirhettä koska vaihekulmat ja itseisarvot eivät ole saman suuruiset. Tyhjäkäyntivirta näkyy ensiöpiirissä mutta ei tosiopiirissä (Ahoranta 2015, 235-238; Tonteri & Aura 1996, 84-85).

3 TEKNILLISET MÄÄRITTEET

Mitoitusensiövirran standardisoidut arvot ovat 10 – 12,5 – 15 – 20 – 25 – 30 – 40 – 50 – 60 – 75 A. Suositellut nimellisarvot on alleviivattu. Mitoitustoisiovirran standardisoidut arvot ovat 1 – 5 A (IEC 61869-2 2012, 26 – 27).

Dynaaminen mitoitusvirta I_{dyn} kertoo, kuinka suuren ensiövirran sähkömagneettiset voimat - virtamuuntaja kestää vahingoittumattomana, kun toisiokäämit ovat oikosuljettuna. Terminen kestovirta I_{th} kertoo, kuinka suuren ensiövirran virtamuuntaja kestää 1 sekunnin ajan termisesti vahingoittumattomana toisiokäämit oikosuljettuna (IEC 61869-2 2012, 10).

Virtamuuntajia tulee kuormittaa oikein, että niiden mittaustarkkuus pysyy annetussa arvossa. Kuormasta käytetään nimitystä käyttötaakka, joka syntyy mittarin vastuksesta, johdotuksesta, liitoksien vastustuskyvystä ja mahdollisesta lisävastuksesta. Taakan tulee olla pienluokissa (0,1 – 1) 25 – 100 % nimellistaakasta. Luokissa 3 ja 5, taakan tulee olla 50 – 100 % nimellistaakasta. Nimellistaakka S_n on toisiopiirin suurin impedanssi, jonka mukaan virtamuuntajaa voidaan kuormittaa, niin että se pysyy omassa tarkkuusluokassaan. (IEC 61869-2 2012, 21; SFS3381 2014, 4; Halko, Launonen, Malinen & Välimaa 1995, 48-49; Tonteri & Aura 1996, 85).

Mittaussydämen mittarivarmuuskerroin F_S ja nimellisensiövirran tulo $F_S \cdot I_{PL}$ ilmoittaa ensiövirran arvon, joiden kokonaisvirhe saa olla enintään 10 %. Mittarivarmuuskerroin ilmoittaa siis, kuinka moninkertaiseksi toisiovirta saa nousta. Virtamuuntaja suojaa mittalaitteita sitä paremmin, mitä pienempi mittarivarmuuskerroin on. Mittarivarmuuskerroimen tulee olla < 10 käyttötaakalla (IEC 61869-2 2012, 11-12; SFS3381 2014, 4).

Mittausvirtamuuntajan sydän mitoitetaan niin, ettei suurellakaan ensiövirralla toisiovirta nouse vaarallisen korkeaksi. Virtamuuntajissa voi olla yksi tai useampia sydämiä. Jos virtamuuntajassa on useita sydämiä, on niillä yhteinen ensiökäämi mutta jokaisella erillinen toisiokäämi (Halko, Launonen, Malinen & Välimaa 1995, 48; ABB Teknisiä tietoja ja taulukoita 2000, 286).

4 VIRTAMUUNTAJAN MITOITTAMINEN

Virtamuuntaja mitoitetaan magnetoitumiskäyrän lineaarisen osan yläpähän (kuvio 4) niin, että oikosulkuvirta pääsee kasvamaan vain noin 20 % raudan kyllästymisilmiön takia. Virtamuuntaja on mitoitettu kestäämään tämän ylivirran vahingoittumattomana. Virtamuuntajan toisiokäämin teho ilmoitetaan voltiampeereina (VA). Virtamuuntajan virheitä mitattaessa tulee taakan tehokertoimen olla 0,8 ind. ja taakka vähintään 5 VA, muuten tehokerroin tulee olla 1. SFS-standardin 3381 mukaan epäsuorissa mittauksissa alle 1 kV:n pääjännitteellä oleviin kohteisiin tulee asentaa 0.2S-luokan virtamuuntajat.

Mittauslaitedirektiivi ja Valtioneuvoston asetus määrittää mittareille teknilliset erityisvaatimukset. Mittauksessa tulee käyttää IEC-, EN- ja SFS-standardin mukaisia mittareita. Vaatimukset ja luokat on esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Mittarien ja mittamuuntajien tarkkuusluokat (SFS3381 2014, 3.)

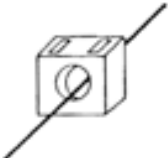
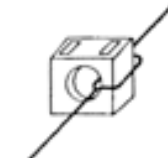
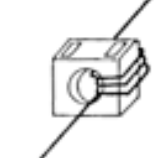
Mittausryhmä	Mittaustapa ja tehorajat ¹⁾	U _N	Pätömittari	Virtamuuntaja	Jännitemuuntaja	Jännitteen alenema	Pulssimäärä ²⁾
1	Suora mittaus	< 1 kV	A, B tai C ³⁾	–	–	≤ 0,2 %	≥ 200
2	Virtamuuntajamittaus	< 1 kV	B tai C ³⁾	0.2 S	–	≤ 0,2 %	≥ 500
3	Tehoraja < 2 MW	≥ 1 kV	B tai C ³⁾	0.2 S	0.2	≤ 0,2 %	≥ 500
4	Tehoraja 2–10 MW	≥ 1 kV	0.5 S	0.2 S	0.2	≤ 0,1 %	≥ 1 000
5	Tehoraja > 10 MW	≥ 1 kV	0.2 S	0.2 S	0.2	≤ 0,05 %	≥ 2 000

¹⁾ Tehoraja on mittauspisteen mitoitusteho, joka voidaan myös laskea mittamuuntajien nimellisarvoista (jännite ja virta) olettaen, että mittamuuntajat on valittu oikein.
²⁾ Pulssimäärä nimelliskuormalla yhden tunnin aikana.
³⁾ Katso edeltä kohta 4.1.

Standardin mukaan tulee asuinympäristön sisätiloissa käyttää A-, B- tai C-luokan mittareita 1-vaihemittauksissa. 3-vaihemittauksessa tulee käyttää B tai C luokan mittareita. Liiketiloiissa tai kevyen teollisuuden sisätiloissa tulee käyttää luokan B tai C mittareita mutta ulkotiloissa vain C luokan mittareita. Kaikissa mittareissa tulee olla kumulatiivinen elinaikalukema. Virtamuuntaja tulee valita siten, että mitattava virta vastaa 5 - 120 % virtamuuntajan ensiöpiirin nimellisvirrasta (SFS3381 2014, 2-5).

4.1 Muuntosuhdekerroin

Virtamuuntajien muuntosuhde kertoo, missä suhteessa ensiövirta toistuu toisiovirtaan. Virtamuuntajiin voidaan tehdä myös tarpeen vaatiessa ensiöpuolen lävistyksiä, joiden mukaan määräytyy muuntosuhdekerroin. Seuraavassa kuviossa on esitetty, miten muuntosuhdekerroin määräytyy.

ARVOKILPEEN MERKITTY MUUNTOSUHDE 300/5A	 1-KERTA	 2-KERTAA	 4-KERTAA
MUUNTOSUHDE JA SAMALLA KERROIN	$\frac{300}{5 \times 1} = 60$	$\frac{300}{5 \times 2} = 30$	$\frac{300}{5 \times 4} = 15$

KUVIO 5. Muuntosuhdekertoimen havainnointikuva (Polarmit 2016)

Virtamuuntajien mittauksissa tehtiin ensiöpuolen lävistyksiä, koska käytössä ollut mittalaite kykeni mittaamaan vain 100 ampeeriin asti. Ensiölävistyksien määrä kirjattiin mittauspöytäkirjaan (liite 1 – 5) ja virtamuuntajan läpimenevää virtaa kuvattiin kuormitusvirtana. Ensiölävistyksillä saimme ensiövirran ja kuormitusvirran välille jopa nelinkertaisen eron. Isolla muuntosuhdekertoimella saimme mitattua enemmän kuormitustilanteita. Lävistyksien lukumäärä riippui virtamuuntajan aukon halkaisijasta, kuinka monta kierrosta syöttökaapeli mahtui siitä läpi. Muuntosuhdekerroin oli mittauksissa merkittävä, koska sitä käytettiin virtavirheen laskennassa.

4.2 Taakan laskeminen

Virtamuuntajat suositellaan asennettaviksi omilla tulo- ja paluujohtimilla. Jos paluujohtimet yhdistetään, tulee tämä huomioida taakan laskennassa epäsymmetrisen kuorman takia. Johtimen taakan laskenta perustuu resistanssin määrittämiseen seuraavalla kaavalla:

$$S = I_{SN}^2 \times \rho \times \frac{l}{A} \quad (1)$$

, jossa

S on johtimen taakka (VA)

I_{SN} on nimellistoisiovirta (A)

ρ on johtimen ominaisvastus ($\Omega/\text{mm}^2/\text{m}$)

l on johtimen pituus (m)

A on johtimen poikkipinta-ala (mm^2)

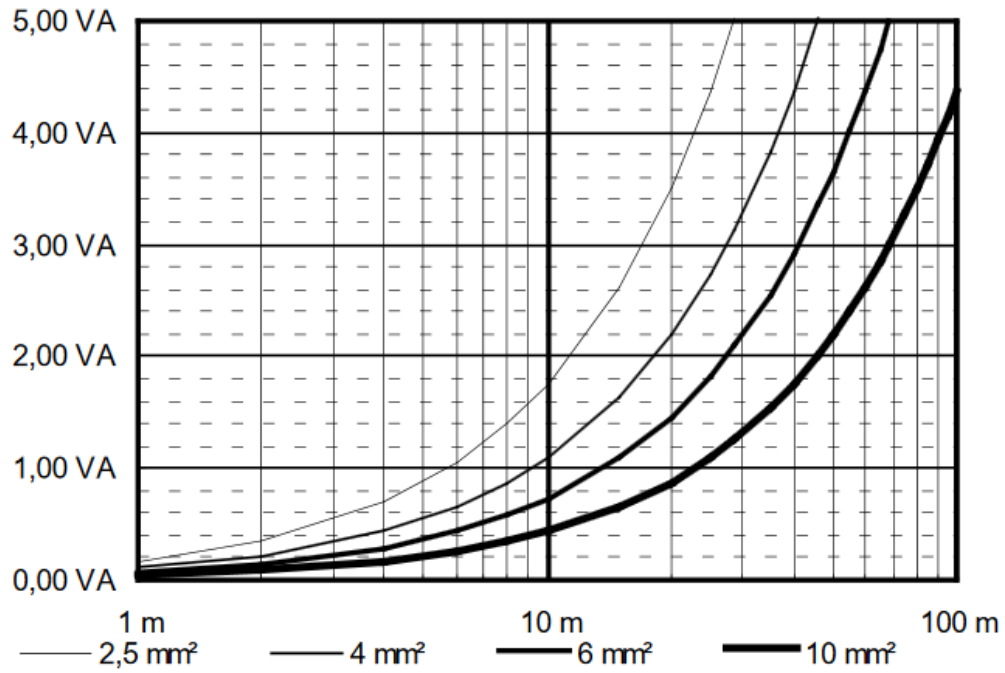
Johdotuksessa käytetään $2,5 \text{ mm}^2$ kuparijohtimia, ellei jännitteen alenema vaadi suurempaa poikkipinta-alaa (taulukko 1). Poikkipinta-alan muutos vaikuttaa suoraan taakan laskemiseen. Käyttötaakka määräytyy mittarin taakasta, liitoksista, johtimista sekä mahdollisesta lisävastuksesta. Taulukossa 2 esitetään, miten suuri merkitys on tarkistaa taakka mittarin vaihdon yhteydessä (SFS3381 2014, 4-5; Polarmit 2016, 43).

TAULUKKO 2. Taakan tarkastaminen standardin mukaiseksi eri mittareilla sekä johdinpituuksilla (Polarmit 2016, 43)

	1. Induktio mittari + johtoa 2 x 2,5 m	2. Staattinen mittari + johtoa 2 x 2,5 m	3. Staattinen mittari + johtoa 2 x 3,4 m
Mittarin taakka	0,500 VA	0,010 VA	0,010 VA
Liitokset	0,075 VA	0,075 VA	0,075 VA
Johdon (erilliset, $2,5 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$) taakka	0,875 VA	0,875 VA	1,190 VA
Taakka yhteensä	1,450 VA	0,960 VA	1,275 VA
Taakka % virtamuuntajan nimellistaakasta	29 %	19 %	25,5 %
Onko sallituissa rajoissa (25 – 100 %)	Kelpaa	Ei kelpaa	Kelpaa

Tilanteesta 1, tilanteeseen 2 on induktiomittari korvattu staattisella mittarilla muuttamatta kytkentää. Staattisen mittarin taakka on huomattavasti pienempi kuin induktiomittarin. Tilanteessa 2 on nimellistaakka alle 25 %, eikä kyseinen kytkentä ole standardin mukainen. Tilanteessa 3 on lisätty johdinpituutta, minkä jälkeen nimellistaakka on standardin vaatimissa rajoissa. Esimerkki koskee vain virtamuuntajaluokkia (0,1 – 1), joiden raja-arvot ovat 25 – 100 % nimellistaakasta.

Taakkaan voidaan vaikuttaa joissain tapauksissa parhaiten muuttamalla johdinpituutta tai poikkipinta-alaa. Seuraavassa kuviossa on esitetty taakan muutos eri johdinpituuksilla sekä poikkipinta-aloilla:



KUVIO 6. Taakan muutos eri johdinpituuksilla ja poikkipinta-aloilla (Polarmit 2016, 44)

Johtimen taakkaa ei ole aina järkevää laskea johtimen ominaisvastuksen kautta. Tällaisissa tapauksissa voidaan käyttää kuvion 6 mukaista tapaa selvittää esim. muutostöissä, kuinka paljon johdinta tulisi olla, että taakka olisi 25 – 100 %. Mittarinvaihdon jälkeen tulee taakka kuitenkin erikseen mitata, että se on standardin mukainen.

5 VIRHETARKASTELU

Virtamuuntajissa tapahtuu kulma- ja virtavirhettä, joita tulee tarkastella. Virheiden standardisoidut raja-arvot on esitetty seuraavassa kappaleessa. Rautahäviöiden takia mitoitussuhteet ja todellinen muuntosuhde poikkeavat toisistaan virtamuuntajissa (Halko, Launonen, Malinen & Välimaa 199, 48-49).

5.1 Tarkkuusluokat

Virtamuuntajia on suunniteltu eri käyttötarkoituksiin koon ja tarkoituksen mukaan esim. isoille tai pienille virroille sekä pää-, valvonta- tai takamittauksiin. Tarkkuusluokat määrittelevät suurimmat sallitut virheet. Seuraavissa taulukoissa on esitetty luokkien 0,1 – 5 standardin mukaiset raja-arvot sekä kuormitustilanteet.

TAULUKKO 3. Virtamuuntajien virta- ja kulmavirherajat luokissa 0,1 – 1 (IEC 61869-2 2012, 21)

Luokka	Virtavirhe ± %				Kulmavirhe ± min			
	5 %	20 %	100 %	120 %	5 %	20 %	100 %	120 %
0,1	0,4	0,2	0,1	0,1	15	8	5	5
0,2	0,75	0,35	0,2	0,2	30	15	10	10
0,5	1,5	0,75	0,5	0,5	90	45	30	30
1	3,0	1,5	1,0	1,0	180	90	60	60

TAULUKKO 4. Virtamuuntajien virta- ja kulmavirherajat luokissa 0,2S ja 0,5S (IEC 61869-2 2012, 22)

Luokka	Virtavirhe ± %					Kulmavirhe ± min				
	1 %	5 %	20 %	100 %	120 %	1 %	5 %	20 %	100 %	120 %
0,2S	0,75	0,35	0,2	0,2	0,2	30	15	10	10	10
0,5S	1,5	0,75	0,5	0,5	0,5	90	45	30	30	30

TAULUKKO 5. Virtamuuntajien virtavirherajat luokissa 3 ja 5 (IEC 61869-2 2012, 22)

Luokka	Virtavirhe ± %	
	50 %	120 %
3	3	3
5	5	5

Tarkkuusluokissa on esitetty IEC-standardin mukaiset virta- sekä kulmavirherajat luokille 0,1 – 1. Luokille 3 ja 5 ei ole määritelty tarkkaa raja-arvoa kulmavirheelle. Sarakkeiden prosenttiluvut kertovat, kuinka suuri kuormitustilanne on kyseessä - suhteessa virtamuuntajan nimellisvirtaan. (IEC 61869-2 2012, 21).

5.2 Kulmavirhe

Kulmavirhe tulee ensiövirran ja toisiovirran vaihekulmaerosta, joka on ajallinen vaihe- siirtokulma. Vaihekulmaero on positiivinen, jos redusoitu toisiovirta on ensiövirtaa edellä. Kulmavirhe ilmoitetaan asteina tai kulmaminuutteina. Luokille 3 ja 5 ei ole määritetty kulmavirheelle raja-arvoa (Tonteri & Aura 1996, 85; IEC 61869-2 2012, 21; ABB Teknisiä tietoja ja taulukoita 2000, 287). Seuraavassa taulukossa on esitetty kulmavirheen vaikutus, eri tehokertoimilla.

TAULUKKO 6. Kulmavirheen vaikutus eri tehokertoimilla

Tehokerroin (cos ϕ)	1° kulmavirhe (%)	Virhe kulmaminuutti (%)						
		5	10	15	30	60	90	180
0,50	-3,01 %	-0,25 %	-0,50 %	-0,75 %	-1,50 %	-3,01 %	-4,51 %	-6,02 %
0,60	-2,30 %	-0,19 %	-0,38 %	-0,58 %	-1,15 %	-2,30 %	-3,45 %	-4,60 %
0,71	-1,73 %	-0,14 %	-0,29 %	-0,43 %	-0,87 %	-1,73 %	-2,60 %	-3,46 %
0,80	-1,30 %	-0,11 %	-0,22 %	-0,32 %	-0,65 %	-1,30 %	-1,95 %	-2,60 %
0,86	-1,03 %	-0,09 %	-0,17 %	-0,26 %	-0,52 %	-1,03 %	-1,55 %	-2,07 %
0,90	-0,84 %	-0,07 %	-0,14 %	-0,21 %	-0,42 %	-0,84 %	-1,25 %	-1,67 %
0,95	-0,55 %	-0,05 %	-0,09 %	-0,14 %	-0,28 %	-0,55 %	-0,83 %	-1,10 %
0,96	-0,49 %	-0,04 %	-0,08 %	-0,12 %	-0,24 %	-0,49 %	-0,73 %	-0,97 %
0,97	-0,42 %	-0,03 %	-0,07 %	-0,10 %	-0,21 %	-0,42 %	-0,63 %	-0,84 %
0,98	-0,32 %	-0,03 %	-0,05 %	-0,08 %	-0,16 %	-0,32 %	-0,49 %	-0,65 %
0,99	-0,23 %	-0,02 %	-0,04 %	-0,06 %	-0,12 %	-0,23 %	-0,35 %	-0,46 %

Taulukosta 6 voidaan tarkastella tehokertoimen mukaan mittauksessa tapahtuvaa kulmavirheen suuruutta. Taulukossa virta pysyy vakiona mutta tehokerroin muuttuu. Kulmavirhe on esitetty prosentuaalisena virheenä kokonaismittaukseen. Esim. tehokertoimen ollessa 0,90 sekä yhden asteen (60 kulmaminuuttia) kulmavirhe tarkoittaa mittauksessa 0,84 % virhettä. Kulmavirheen suunta tulee tarkastella mittaustuloksista, onko se positiivinen vai negatiivinen.

Kulmaminuutti (Minute of angle) on suhdeluku, joka ilmaisee kulmayksikön määrän. Ympyrä jakautuu 360 asteeseen ja yksi aste on 60 kulmaminuuttia. Kulmaminuutit voidaan jakaa vielä kulmasekunteihin, jos halutaan tarkentaa tulosta. Kulmavirhettä tarkastellaan IEC-standardissa kulmaminuuttien mukaan (Turun yliopisto 2017).

5.3 Virtavirhe

Tyhjäkäyntivirran aiheuttama virtavirhe saa aikaan epätarkkuutta virtamuuntajaan. Virtavirhe lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$\varepsilon = \frac{K_r \cdot I_s - I_p}{I_p} \times 100\% \quad (2)$$

, jossa

K_r on muuntosuhdekerroin

I_p on todellinen ensiövirta

I_s on todellinen toisiovirta, kun ensiökäämin virta on I_p

Virtavirhe kuvastaa kuinka paljon on ensiö- ja toisiopiirin välisessä muuntosuhteessa tapahtunut vääristymää. Kaavaa käytettiin mittauksissa virtavirheen määrittämiseen. Kaavaan sijoitetaan mittaustilanteen muuntosuhdekerroin ja todelliset ensiö- ja toisiovirrat (Halko, Launonen, Malinen & Välimaa 1995, 48; Tonteri & Aura 1996, 84-85).

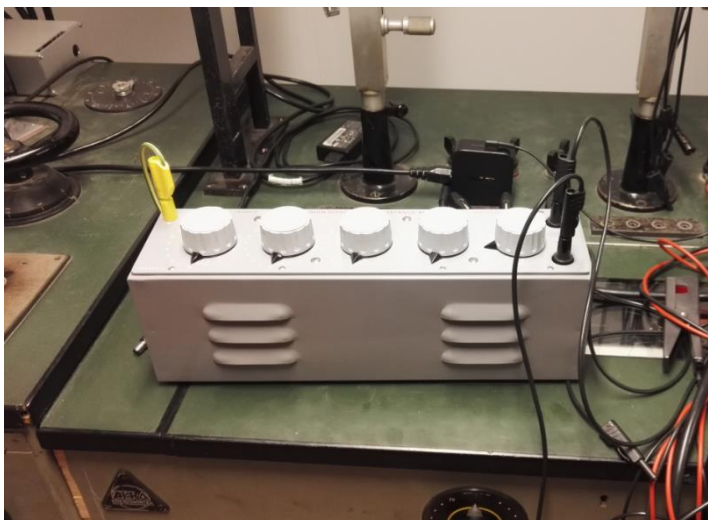
6 MITTAUSLAITTEET

Mittauksissa virransyöttölaitteena käytettiin Zera Königswinter ED 3866 -testipöytää (kuva 2). Virransyöttö oli säädettävissä portaattomasti. Mittauksia tehtiin eri virtamuuntajilla, joita analysoitiin kalibroidulla Calport 300 -mittarintarkistuslaitteella. Seuraavassa kuvassa on testipöytä, jossa on mittaukseen tarvittavat välineet esillä.



KUVA 2. Zera Königswinter ED 3866 -testipöytä (Kuva: Tommi Isomäki 2017)

Virtamuuntajien taakkaa muutettiin vaihtamalla kaapelipituuksia. Suuria taakkoja mitattaessa käytettiin kuvan 3 mukaista Cropico RBC5A säädettävää vastusta (high dissipation resistance box).



KUVA 3. Cropico RBC5A säädettävää vastus (Kuva: Tommi Isomäki 2017)

Mittaussarjoissa tutkittiin, miten virtamuuntaja käyttäytyy pienellä, standardin mukaisella sekä suurella taakalla. Mittaustuloksista tehtiin kuvaajat havainnoimaan, miten taakan muutos vaikuttaa virtamuuntajien mittatarkkuuteen.

Mittauksissa käytettiin Calport 300 -mittarintarkistuslaitetta. Mittalaite on kalibroitu työohjeen MIK-S301 mukaan (MIKES 2016). Seuraavassa kuvassa on mittarintarkistuslaite.



KUVA 4. Kannettava mittarintarkustuslaite Calport 300 (Kuva: Tommi Isomäki 2017)

Calport 300 -mittarintarkustuslaitteen on valmistanut MTE Meter Test Equipment AG. Laitteen mittatarkkuudeksi on ilmoitettu 0,05 %. Mittalaitteen taajuusalue on 45 – 66 Hz, jännitealue 0,04 – 480 V, sekä virta-alue 1 mA - 120 A. Käytössä ollut mittalaite on suhteellisen arvokas, joten mittauksissa pidettiin virran yläarvona 100 A, laitteen suojaamiseksi. Mittalaitteen erityisominaisuuksia on virtamuuntajan muuntosuhde-, ja taakkamittaukset sekä pätö- ja loismittauksien yhtäaikainen tarkastus (Polarmit 2016).

Mittausten luotettavuuden varmistamiseksi on opinnäytetyöhön liitetty mittalaitteen kalibrointitodistus. Todistuksessa on kerrottu, missä oloissa ja miten kalibrointi on tapahtunut. Kalibroinnin olosuhteet sekä mittausolosuhteet olivat lähes samankaltaiset. Calport 300 on vaihekohtaisesti kalibroitu 5 A:n virralle, jolloin kalibroinnin epävarmuus on ollut 0,02 % (MIKES 2016, 1-9).

”Kolmivaiheisen kalibroinnin aikana lämpötila oli $21\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ ja suhteellinen kosteus $38\% \pm 10\%$. Yksivaiheisen kalibroinnin aikana lämpötila oli $23\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ ja suhteellinen kosteus $37\% \pm 10\%$ ” (MIKES 2016, 2).

Vaihekohtainen pätöteho on mitattu eri tehokertoimilla 5 A:n virralla. Kalibroinnin epävarmuus on 0,02 %. Yksivaiheinen pätöteho, vaihejännite 230 V, virallisen pätevyysalueen ulkopuolella. Nämä on mitattu eri tehokertoimilla 35 – 50 – 85 – 100 A:n virroilla. Kalibroinnin epävarmuus oli 0,03 %, josta virhe ja epävarmuus on laskettu näennäistehon suhteen (MIKES 2016, 3,7).

7 MITTAUSTULOKSET

Mittaustuloksiin koottiin mittauksissa olleet viisi virtamuuntajaa. Kaikki virtamuuntajat testattiin samalla periaatteella ja niistä koottiin kuvat 7 – 32. Kuvioissa on esitetty kulma- ja virtavirheiden käyttäytymistä eri taakan arvoilla. Kulmavirhe on esitetty kulmaminuutin itseisarvona. Jos virtavirheen mittaus tulos on positiivisen puolella, mittauksessa tapahtuu ylimittaus, kun taas negatiivinen ilmoittaa mittauksen todellista pienemmäksi. Virtamuuntajien kuvat on pääsääntöisesti esitetty niiltä arvoilta, joissa virheet alkoivat näkyä.

7.1 Virtamuuntaja FAGET RM70-E3B

Seuraavat mittaukset on tehty Faget -virtamuuntajalla. Virtamuuntajan nimellinen ensiövirta on 150 A ja nimellistoisiovirta 5 A. Virtamuuntaja on seuraavassa kuvassa.



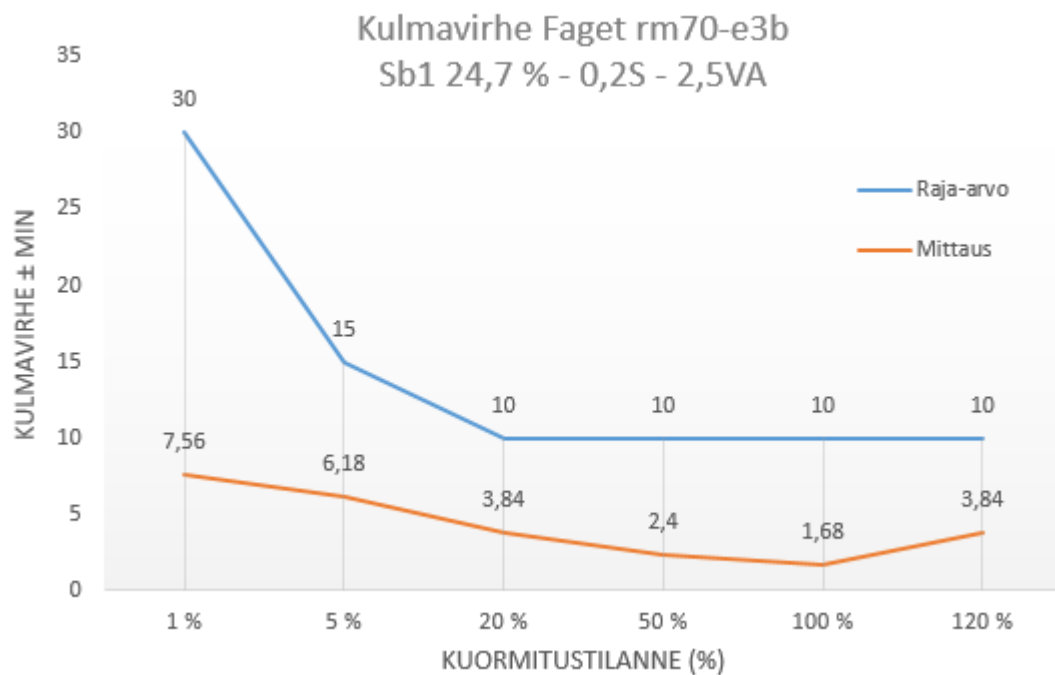
KUVA 5. FAGET RM70-E3B virtamuuntaja (Kuva: Tommi Isomäki 2017)

Seuraavaan taulukkoon koottiin kuvan Faget -virtamuuntajan tekniset tiedot. Tietoja käytettiin raja-arvojen määrittämiseen ja mittaamiseen, sekä kuormitustilanteiden laskemiseen.

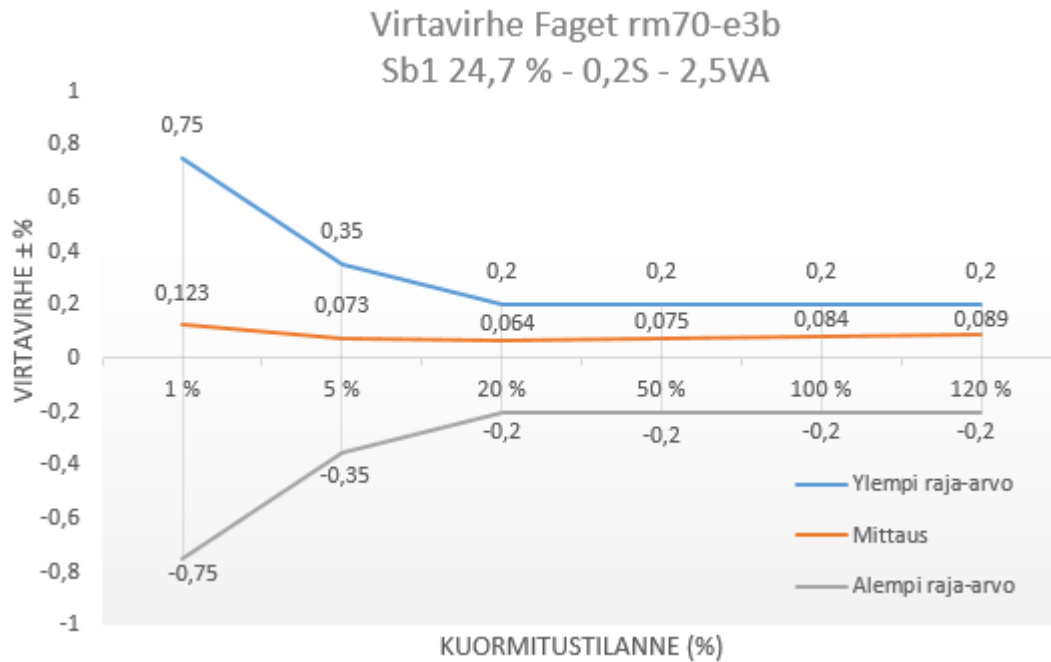
TAULUKKO 7. FAGET RM70-E3B tekniset tiedot

Virtamuuntaja	
Valmistaja	FAGET
Malli	RM70-E3B
Tarkkuusluokka	0,2S
Nimellisensiovirta (A)	150
Nimellistoisiovirta (A)	5
Nimellistaakka (VA)	2,5

Taulukon tietoja hyödynnettiin mittauksissa ja koottiin kuviot 7 – 12. Virtavirheiden kuvioissa on esitetty ylä- sekä alaraja-arvot. Sininen viiva kuvaa 0,2S-luokan standardin raja-arvoa (taulukko 4), sekä oranssi viiva kuvaa mittaustulosta. Taakan ollessa 25 – 100 % ei mittaustulos saa ylittää raja-arvoja. Kuvioissa on esitetty kulma- sekä virtavirheen käyttäytymistä standardin mukaiselta 25 % taakan arvosta.



KUVIO 7. Kulmavirhe Faget RM70-E3B – taakka 24,7 %



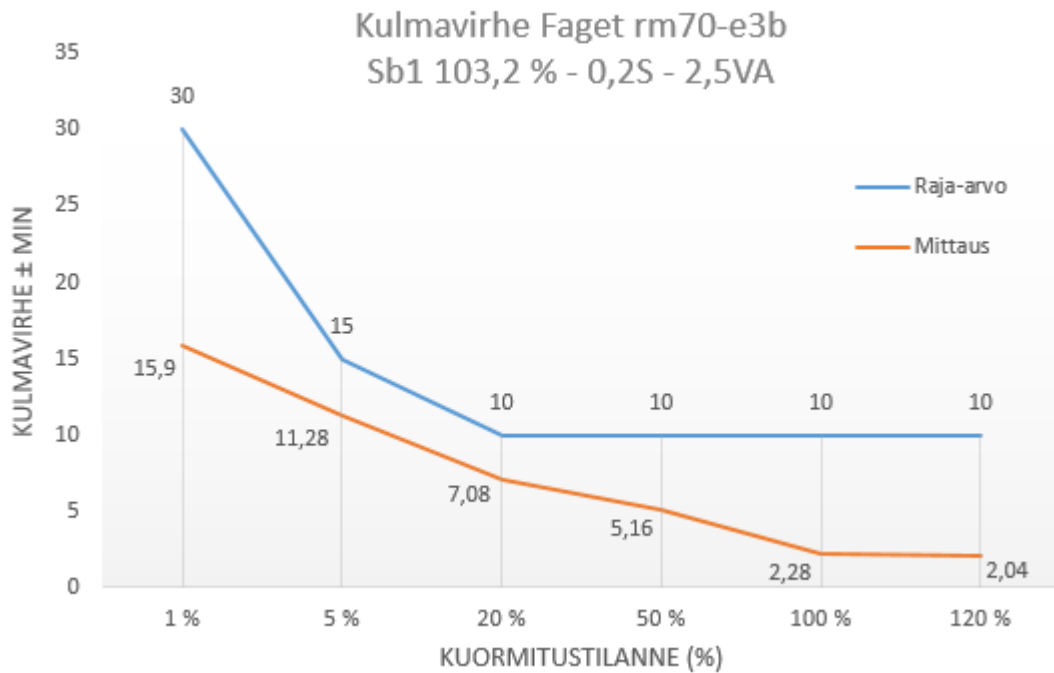
KUVIO 8. Virtavirhe Faget RM70-E3B – taakka 24,7 %

Virtavirhe mittauksessa on esitetty harmaalla viivalla standardin ala-raja. Kuvioista nähdään, että kulmavirhettä on vähän ja virtavirhe on positiivisen puolella. Virranmittaus toisiopiiristä on kyseisessä tapauksessa suurempi mitä todellisuudessa virtaa menee ensiöpiirissä. Seuraavassa taulukossa on kyseisen mittauksen mittauspöytäkirjan tiedot.

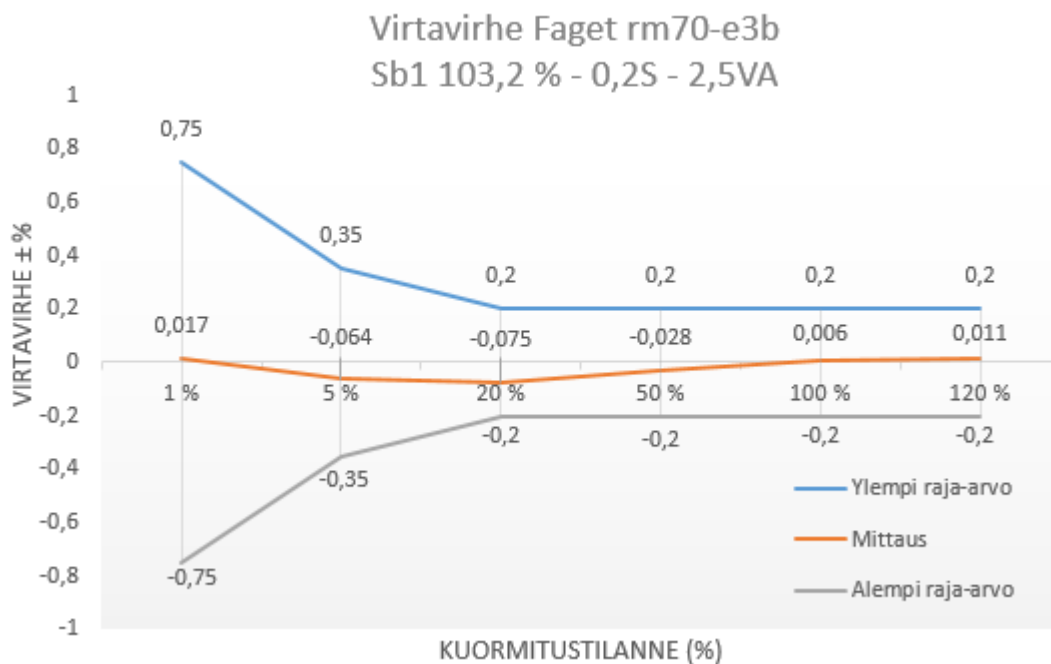
TAULUKKO 8. Faget RM70-E3B Taakka 24,7 % (liite 2)

Kuormitus-tilanne (%)	Ensiövirta I1 (A)	Toisiovirta I2 (A)	Kuormitusvirta (A)	Taakka Sb1 (%)	Lävistyksen (lkm)	Muuntosuhde-kerroin	Kulmavirhe ϕ I12 (°)	Kulma-minuutti	Virtavirhe (%)
1 %	0,74	0,05	1,49	24,7 %	2	15	0,126	7,56	0,123 %
5 %	3,75	0,25	7,50	24,7 %	2	15	0,103	6,18	0,073 %
20 %	15,01	1,00	30,02	24,7 %	2	15	0,064	3,84	0,064 %
50 %	37,48	2,50	74,96	24,7 %	2	15	0,04	2,4	0,075 %
100 %	75,04	5,01	150,08	24,7 %	2	15	0,028	1,68	0,084 %
120 %	90,20	6,02	180,39	24,7 %	2	15	0,064	3,84	0,089 %

Seuraavissa kuvioissa on esitetty Faget -virtamuuntajan mittausvirheen muutokset, kun taakka on nostettu standardin yläarvoon 100 %. Mittauksissa ainut muuttuja on taakka, eikä ensiölävistyksiä saanut muuttua.



KUVIO 9. Kulmavirhe Faget RM70-E3B – taakka 103,2 %



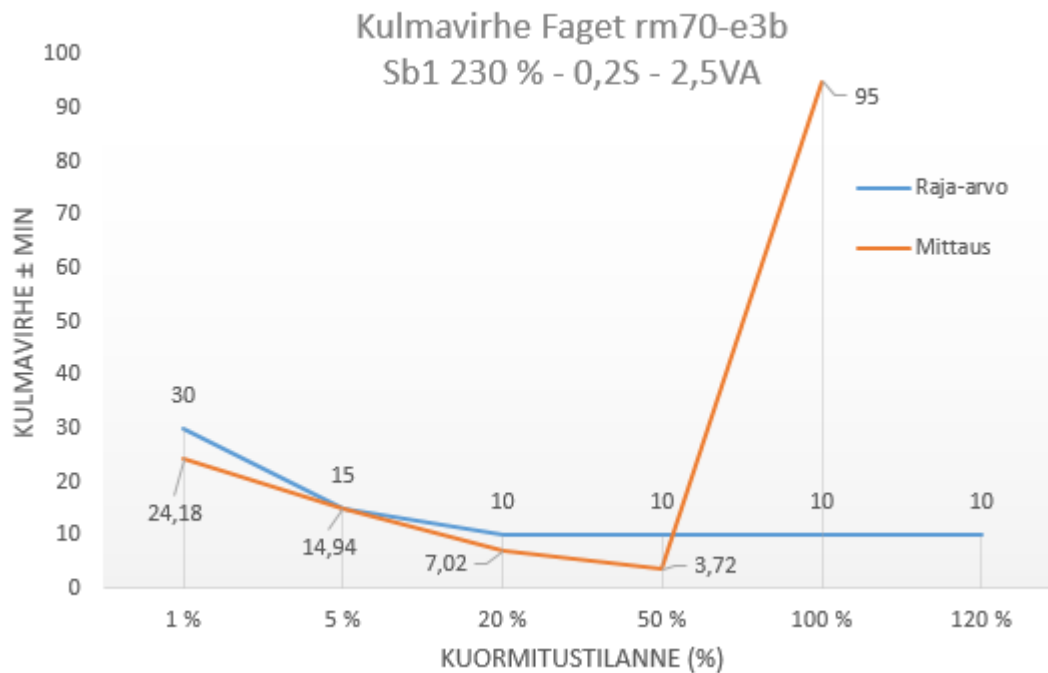
KUVIO 10. Virtavirhe Faget RM70-E3B – taakka 103,2 %

Kuvioista 9 – 10 nähdään, että kulmavirhe on hieman kasvanut ja virtavirhe lähtenyt kääntymään negatiivisen puolelle. Mittausvirheet ovat niin pieniä, että kiinteistön sähkölukituksen mittauksessa ei ole merkittävää virhettä. Seuraavassa taulukossa on mittauksen mittauspöytäkirja.

TAULUKKO 9. Faget RM70-E3B Taakka 103,2 % (liite 3)

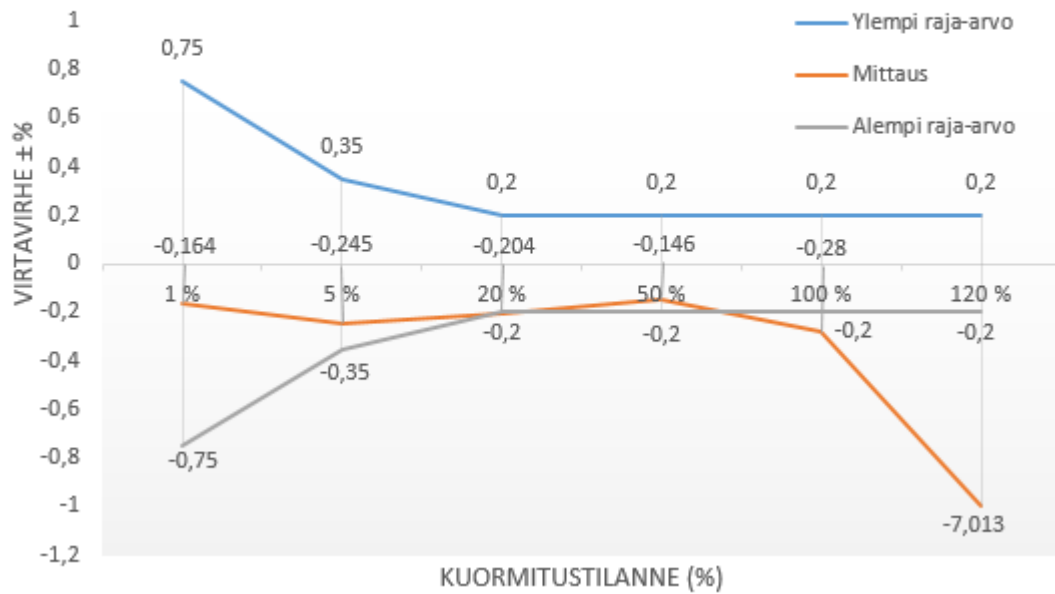
Kuormitus-tilanne (%)	Ensiövirta I1 (A)	Toisiovirta I2 (A)	Kuormitusvirta (A)	Taakka Sb1 (%)	Lävistyset (lkm)	Muuntosuhdekerroin	Kulmavirhe ϕ I12 (°)	Kulma-minuutti	Virtavirhe (%)
1 %	0,76	0,05	1,52	103,2 %	2	15	0,265	15,9	0,017 %
5 %	3,75	0,25	7,49	103,2 %	2	15	0,188	11,28	-0,064 %
20 %	15,00	1,00	30,00	103,2 %	2	15	0,118	7,08	-0,075 %
50 %	37,55	2,50	75,09	103,2 %	2	15	0,086	5,16	-0,028 %
100 %	75,10	5,01	150,20	103,2 %	2	15	0,038	2,28	0,006 %
120 %	90,13	6,01	180,26	103,2 %	2	15	0,034	2,04	0,011 %

Virtamuuntajia tuli kuormittaa myös standardin määrittelemän arvojen ulkopuolta, jotta nähtiin miten virtamuuntaja reagoi. Seuraavissa kuvioissa 11 ja 12 on esitetty miten liian suuri taakka vaikuttaa sähkömittauksen luotettavuuteen. Kuvioista nähdään miten suuren virheen virtamuuntajan kyllästyminen saa aikaan.



KUVIO 11. Kulmavirhe Faget RM70-E3B – taakka 230 %

Virtavirhe Faget rm70-e3b
Sb1 230 % - 0,2S - 2,5VA



KUVIO 12. Virtavirhe Faget RM70-E3B – taakka 230 %

Taakan ollessa kaksinkertainen standardiin nähden, huomattiin että virtamuuntaja on alkanut kyllästyä. Kuvioita on skaalattu, koska virheet olivat niin radikaaleja, että kuvajien havainnointi olisi ollut muuten vaikeaa. Seuraavassa taulukossa on merkitty punaisella standardin ylittävät arvot.

TAULUKKO 10. Faget RM70-E3B Taakka 230 % (liite 4)

Kuormitus-tilanne (%)	Ensiövirta I1 (A)	Toisiovirta I2 (A)	Kuormitus- virta (A)	Taakka Sb1 (%)	Lävistyksen (lkm)	Muuntosuhde- kerroin	Kulmavirhe ϕ I2 (°)	Kulma- minuutti	Virtavirhe (%)
1 %	0,75	0,05	1,51	230 %	2	15	0,403	24,18	-0,164 %
5 %	3,76	0,25	7,52	230 %	2	15	0,249	14,94	-0,245 %
20 %	15,04	1,00	30,08	230 %	2	15	0,117	7,02	-0,204 %
50 %	37,59	2,50	75,18	230 %	2	15	0,062	3,72	-0,146 %
100 %	75,14	5,00	150,27	230 %	2	15	1,589	95,34	-0,280 %
120 %	90,05	5,58	180,10	230 %	2	15	13,526	811,56	-7,013 %

Virtamuuntajan kyllästyminen nähdään parhaiten, kun nostetaan ensiöpiirin virtaa. Virtamuuntajan kyllästyttyä, ei toisiopiiri kykene toistamaan ensiöpiirin mukaista virtaa oikeassa suhteessa. Faget -virtamuuntaja toimi kuitenkin hyvin standardin alueilla.

7.2 Virtamuuntaja CIRCUTOR TAS-200

Seuraavat mittaukset on tehty Circutor -virtamuuntajalla. Virtamuuntajan nimellisensiovirta on 500 A ja nimellistoisiovirta 5 A. Virtamuuntaja on seuraavassa kuvassa.



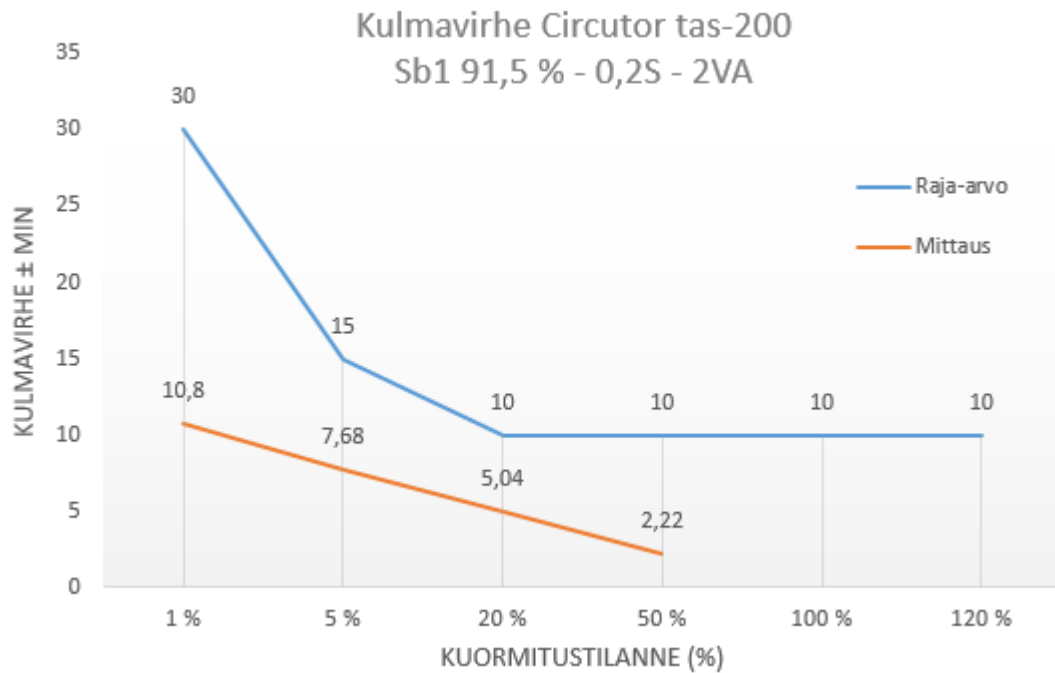
KUVA 6. CIRCUTOR TAS-200 virtamuuntaja (Kuva: Tommi Isomäki 2017)

Virtamuuntajan arvot on merkitty muuntajan arvokilpeen, mistä nähtiin muuntajan ominaisuudet. Virtamuuntajan tekniset tiedot on esitetty seuraavassa taulukossa.

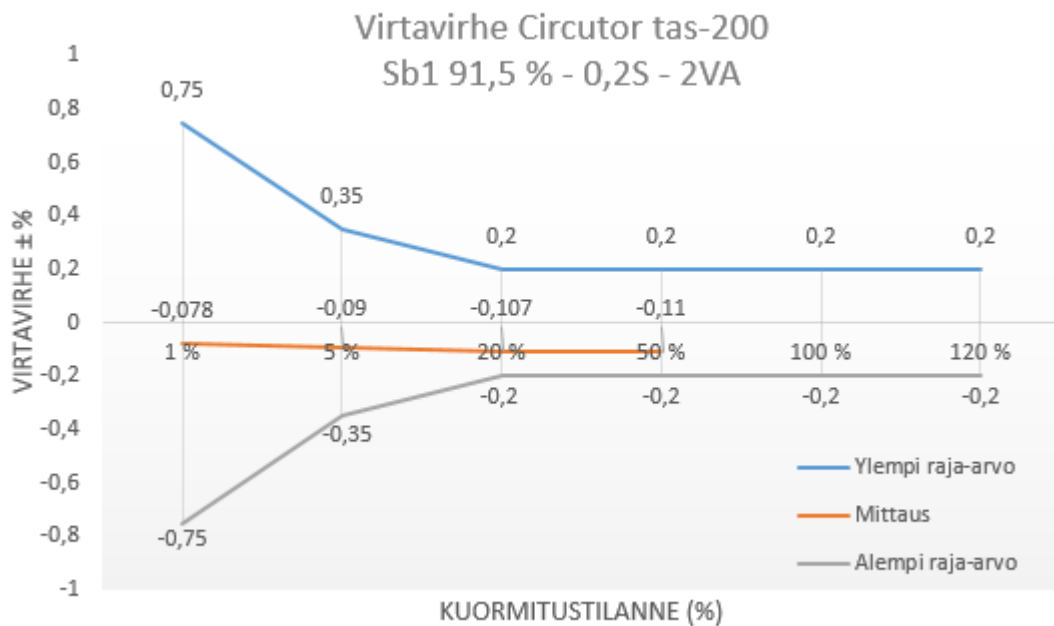
TAULUKKO 11. CIRCUTOR TAS-200 tekniset tiedot

Virtamuuntaja	
Valmistaja	CIRCUTOR
Malli	TAS-200
Tarkkuusluokka	0,2S
Nimellisensiovirta (A)	500
Nimellistoisiovirta (A)	5
Nimellistaakka (VA)	2

Circutor -virtamuuntajan nimellistaakka on pienempi kuin Faget -virtamuuntajan. Nimellistaakka vaikuttaa suoraan mittaustuloksiin. Seuraavissa kuvioissa on esitetty Circutor -virtamuuntajan mittaustulokset taakan ollessa 91,5 %.



KUVIO 13. Kulmavirhe CIRCUTOR TAS-200 – taakka 91,5 %



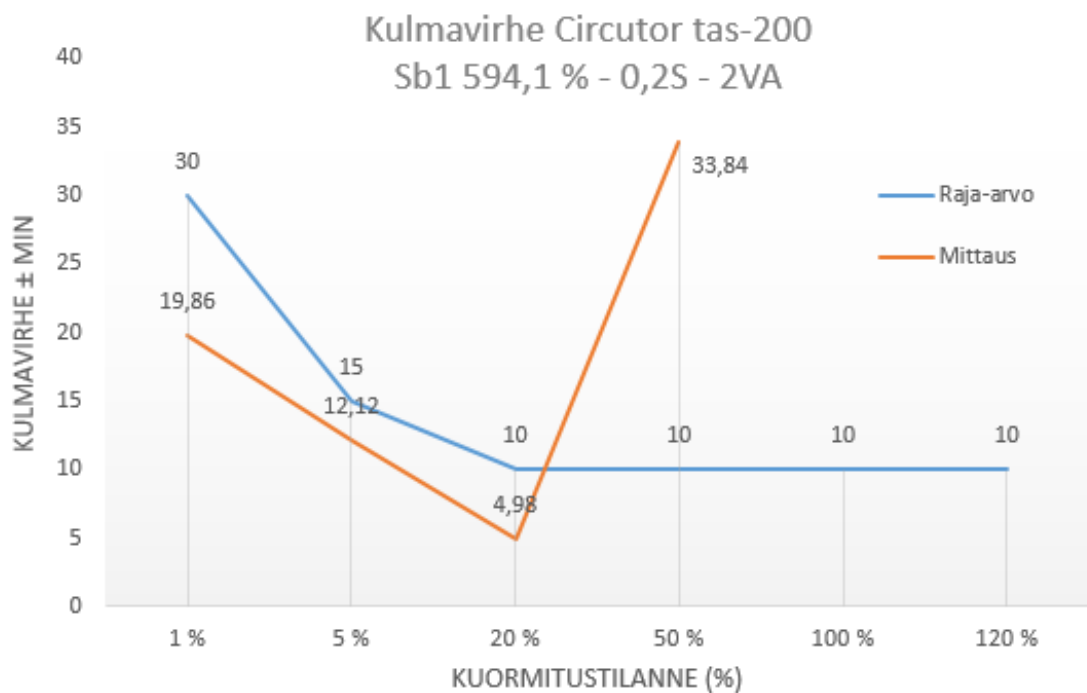
KUVIO 14. Virtavirhe CIRCUTOR TAS-200 – taakka 91,5 %

Jokainen virtamuuntaja tulisi mitata >20 – 25 – 100 – 250 – 600 % taakan alueilta. Calport 300 -mittalaite kesti vain 100 A virran, joten kaikkia kuormitustilanteita ei kyetty mittaamaan. Seuraavassa taulukossa on Circutor -virtamuuntajan mittauspöytäkirja.

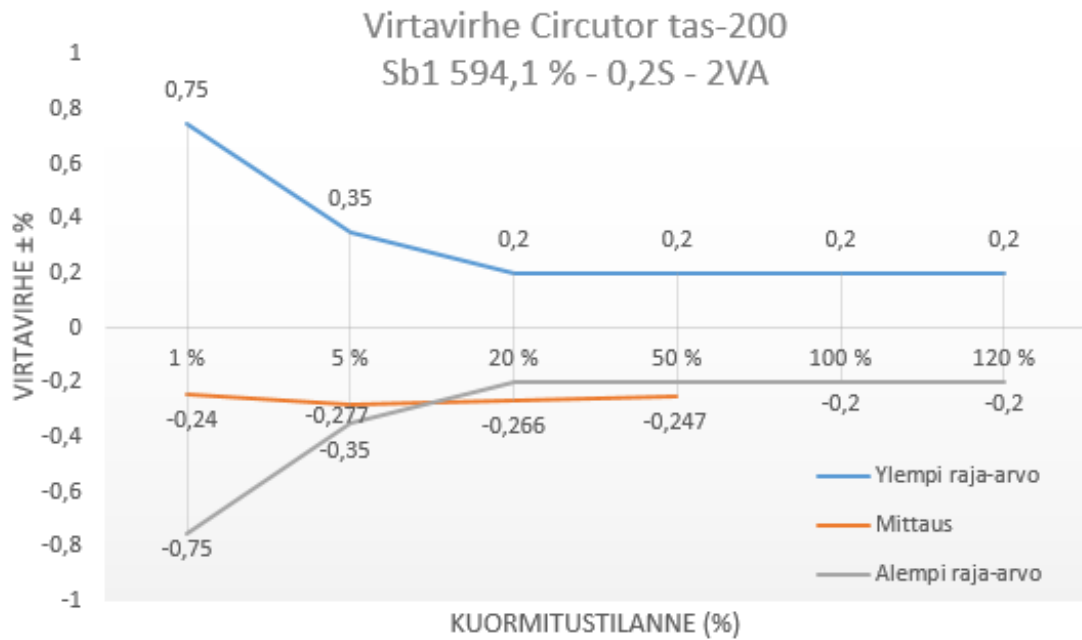
TAULUKKO 12. CIRCUTOR TAS-200 Taakka 91,5 % (liite 3)

Kuormitus-tilanne (%)	Ensiövirta I1 (A)	Toisiovirta I2 (A)	Kuormitus- virta (A)	Taakka Sb1 (%)	Lävistyks ^t (lkm)	Muuntosuhde- kerroin	Kulmavirhe ϕ I12 (°)	Kulma- minuutti	Virtavirhe (%)
1 %	1,66	0,05	4,97	91,5 %	3	33,33	0,180	10,8	-0,078 %
5 %	8,32	0,25	24,96	91,5 %	3	33,33	0,128	7,68	-0,090 %
20 %	33,38	1,00	100,13	91,5 %	3	33,33	0,084	5,04	-0,107 %
50 %	83,25	2,49	249,76	91,5 %	3	33,33	0,037	2,22	-0,110 %
100 %	-	-	-	-	-	-	-	-	-
120 %	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Circutor -virtamuuntajaan tehtiin kolme ensiölävistystä, eikä muuntajalle voitu tehdä useampia. Lävistyksien määrän määrittelee virtamuuntajan aukon halkaisija. 50 %:n kuormitus-tilanteessa on mittalaitteelle menevä ensiövirta 83 A, joten 100 % kuormitus-tilanteessa olisi ylittänyt 100 A, ja vahingoittanut mittalaitetta. Näin ollen yli 50 %:n kuormitus-tilanteita ei kyetty mittaamaan. Seuraavissa kuvioissa on esitetty, milloin virtamuuntaja kyl- lästyy.



KUVIO 15. Kulmavirhe CIRCUTOR TAS-200 – taakka 594,1 %



KUVIO 16. Virtavirhe CIRCUTOR TAS-200 – taakka 594,1 %

Kuvioissa 15 ja 16 nähdään, että Circutor -virtamuuntaja kyllästyy n. 600 % taakan alueella. Vaikka virtavirhe on suhteellisen pieni prosentteina, näkyy tämä suurena kulmavirheenä. Taulukossa 13 on esitetty Circutor -virtamuuntajan mittaustulokset taakan ollessa 594,1 %.

TAULUKKO 13. CIRCUTOR TAS-200 Taakka 594,1 % (liite 5)

Kuormitus-tilanne (%)	Ensiövirta I1 (A)	Toisiovirta I2 (A)	Kuormitusvirta (A)	Taakka Sb1 (%)	Lävistyksen (lkm)	Muuntosuhde-kerroin	Kulmavirhe ϕ I12 (°)	Kulma-minuutti	Virtavirhe (%)
1 %	1,67	0,05	5,00	594,1 %	3	33,33	0,331	19,86	-0,240 %
5 %	8,33	0,25	24,99	594,1 %	3	33,33	0,202	12,12	-0,277 %
20 %	33,32	1,00	99,96	594,1 %	3	33,33	0,083	4,98	-0,266 %
50 %	83,48	2,50	250,45	594,1 %	3	33,33	0,564	33,84	-0,247 %
100 %	-	-	-	-	-	-	-	-	-
120 %	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Virtamuuntajan nimellinen ensiövirta on 500 A, joten pienikin virtavirhe tarkoittaa suurta virhettä ampeereina mitattuna. Circutor -virtamuuntajan kyllästymisalue esiintyy mittaustuloksissa 600 % taakan alueella. Kyllästymisalue olisi todennäköisesti ilmentynyt pienemmilläkin taakan arvoilla, jos oltaisiin pystytty mittaamaan kaikki kuormitus-tilanteet. Taulukosta 13 nähdään, että kulmavirhe on positiivinen, joten redusoitu toisiovirta on ensiövirtaa edellä.

7.3 Virtamuuntaja PAN PSA 613

Seuraavat mittaukset on tehty Pan -virtamuuntajalla. Virtamuuntajan nimellinen ensiövirta on 800 A ja nimellistoisiovirta 5 A. Virtamuuntaja on seuraavassa kuvassa.



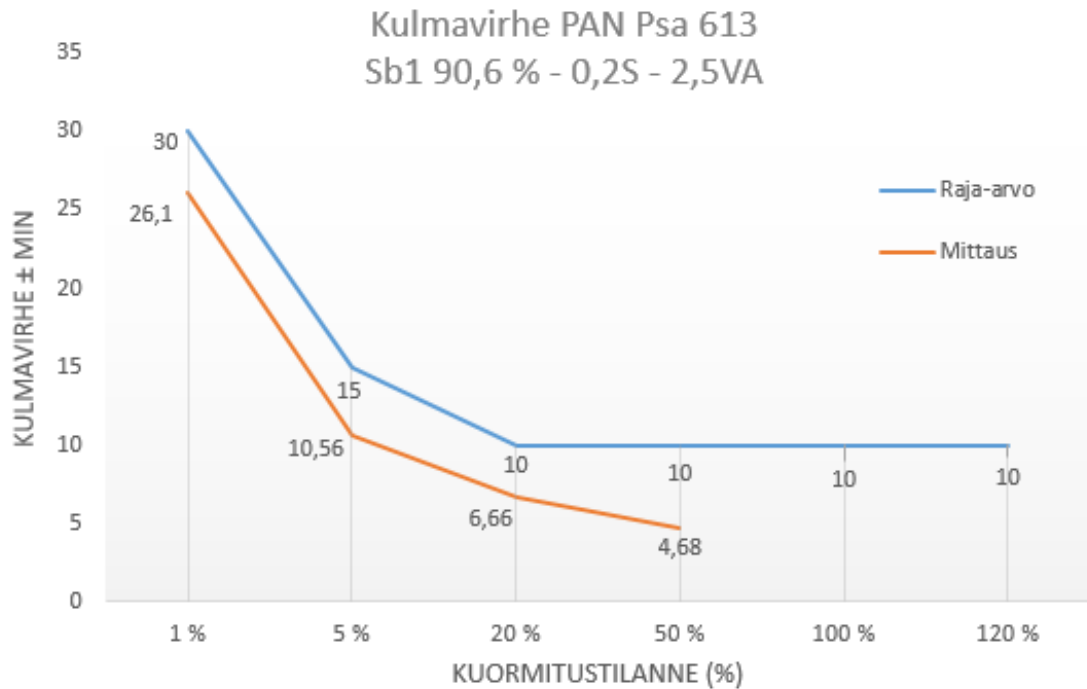
KUVA 7. PAN PSA 613 virtamuuntaja (Kuva: Tommi Isomäki 2017)

Virtamuuntajan arvot on merkitty muuntajan arvokilpeen, mistä nähtiin muuntajan ominaisuudet. Virtamuuntajan tekniset tiedot on esitetty seuraavassa taulukossa.

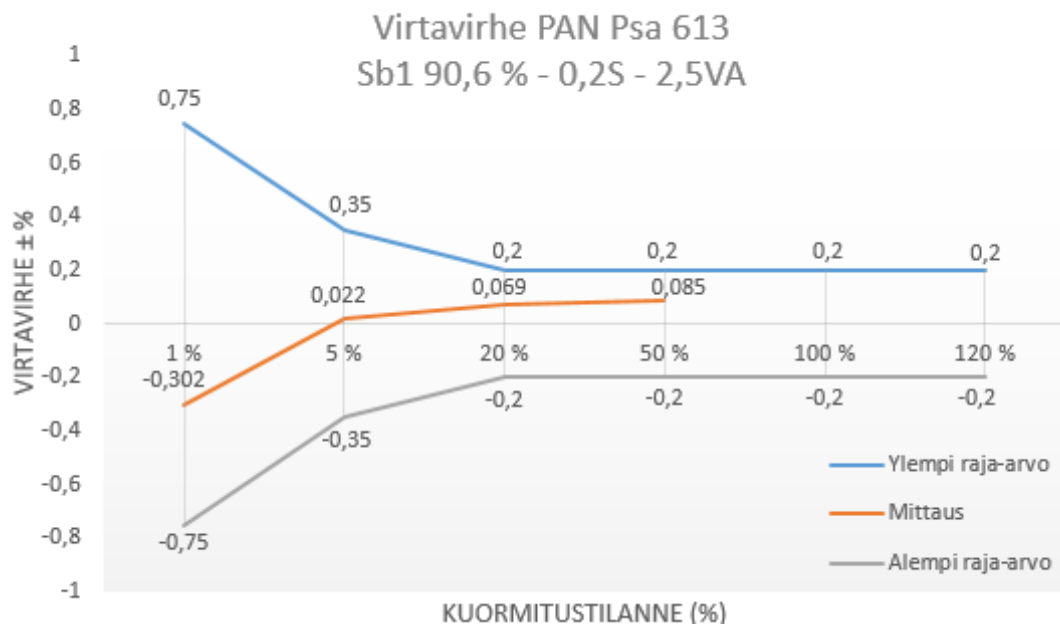
TAULUKKO 14. PAN PSA 613 tekniset tiedot

Virtamuuntaja	
Valmistaja	PAN
Malli	PSA 613
Tarkkuusluokka	0,2S
Nimellisensiövirta (A)	800
Nimellistoisiovirta (A)	5
Nimellistaakka (VA)	2,5
Ylijännitteen rajoitusluokka	FS5

Pan -virtamuuntaja on isolle virrälle tarkoitettu virtamuuntaja. Taulukosta 14 nähdään että tarkkuusluokkavaatimus tulee olla 0,2S. Seuraavissa kuvioissa on esitetty, miten Pan -virtamuuntaja käyttäytyy standardin mukaisessa arvossa.



KUVIO 17. Kulmavirhe PAN PSA 613 – taakka 90,6 %



KUVIO 18. Virtavirhe PAN PSA 613 – taakka 90,6 %

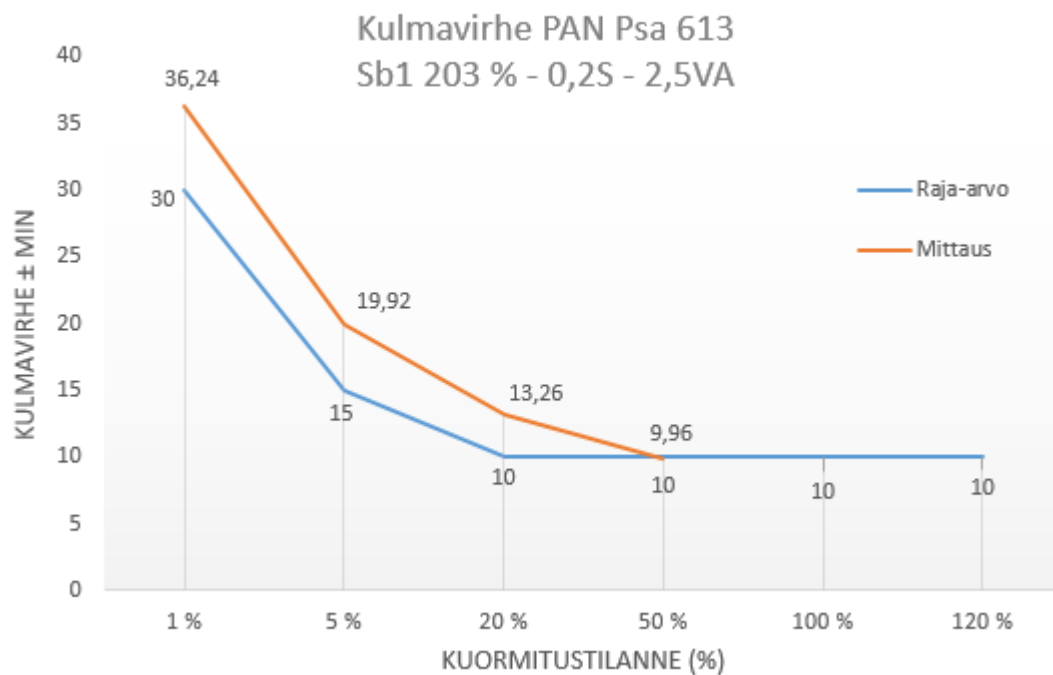
Virtamuuntajat eivät käyttäydy kaikki saman lailla, mikä voidaan todeta Pan -virtamuuntajan kohdalla. Virtamuuntajissa on rakenteellisia eroja, minkä vuoksi jokaista virtamuuntajaa tulee tutkia erikseen. Pan -virtamuuntaja toistaa hyvin ensiövirtaa 5 % kuormitustilanteessa ja pysyy standardin vaatimissa rajoissa. Virheen merkitys 1 % kuormitustilanteessa on häviävän pieni, koska virta ensiöpiirissä on vähäinen. Kulmavirheen vaikutus on merkittävä, jos kiinteistössä on loistehon laskutus. Mitä isompi kulmavirhe on,

sitä enemmän on mittauksessa päteho vääristymää. Seuraavassa taulukossa on Pan -virtamuuntajan mittauspöytäkirja.

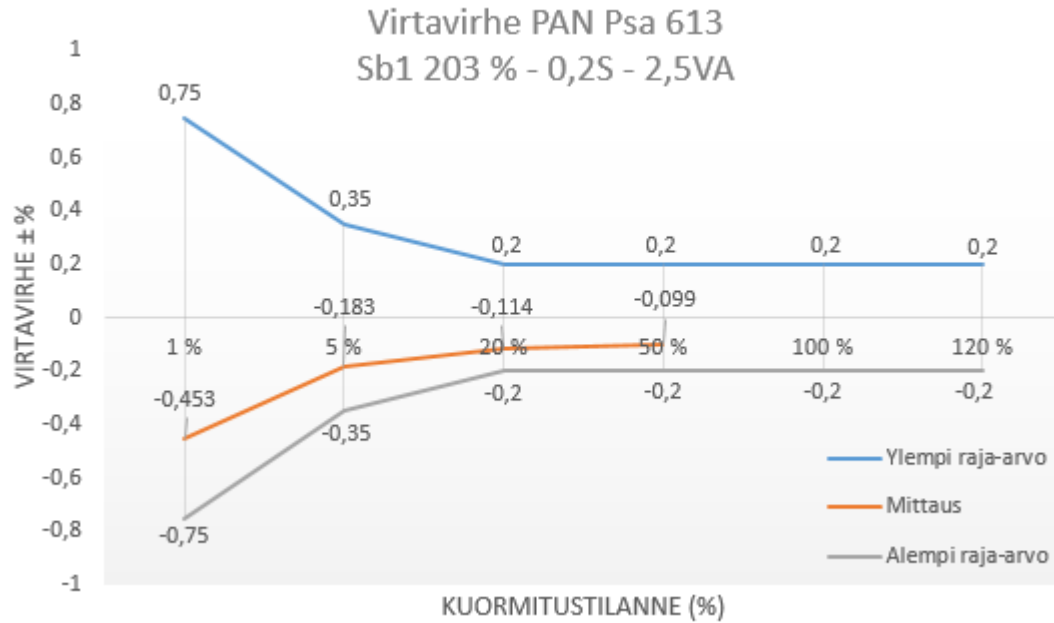
TAULUKKO 15. PAN PSA 613 Taakka 90,6 % (liite 3)

Kuormitus-tilanne (%)	Ensiövirta I1 (A)	Toisiovirta I2 (A)	Kuormitus- virta (A)	Taakka Sb1 (%)	Lävistyset (lkm)	Muuntosuhde- kerroin	Kulmavirhe ϕ I2 (°)	Kulma- minuutti	Virtavirhe (%)
1 %	2,05	0,05	8,21	90,6 %	4	40	0,435	26,1	-0,302 %
5 %	10,03	0,25	40,10	90,6 %	4	40	0,176	10,56	0,022 %
20 %	40,01	1,00	160,03	90,6 %	4	40	0,111	6,66	0,069 %
50 %	100,64	2,52	402,54	90,6 %	4	40	0,078	4,68	0,085 %
100 %	-	-	-	-	-	-	-	-	-
120 %	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Pan -virtamuuntajan nimellinen ensiövirta 800 A. Kyseessä on suuri virtamäärä, joten sille on rakennettu myös suuri aukon halkaisija, isoa kaapelia varten. Virtamuuntajaan tehtiin 4 ensiölävistystä, joiden mukaan mittaus tapahtui kaikilla taakan alueilla. Seuraavissa kuvioissa on esitetty virheet taakan ollessa 203 %.



KUVIO 19. Kulmavirhe PAN PSA 613 – taakka 203 %



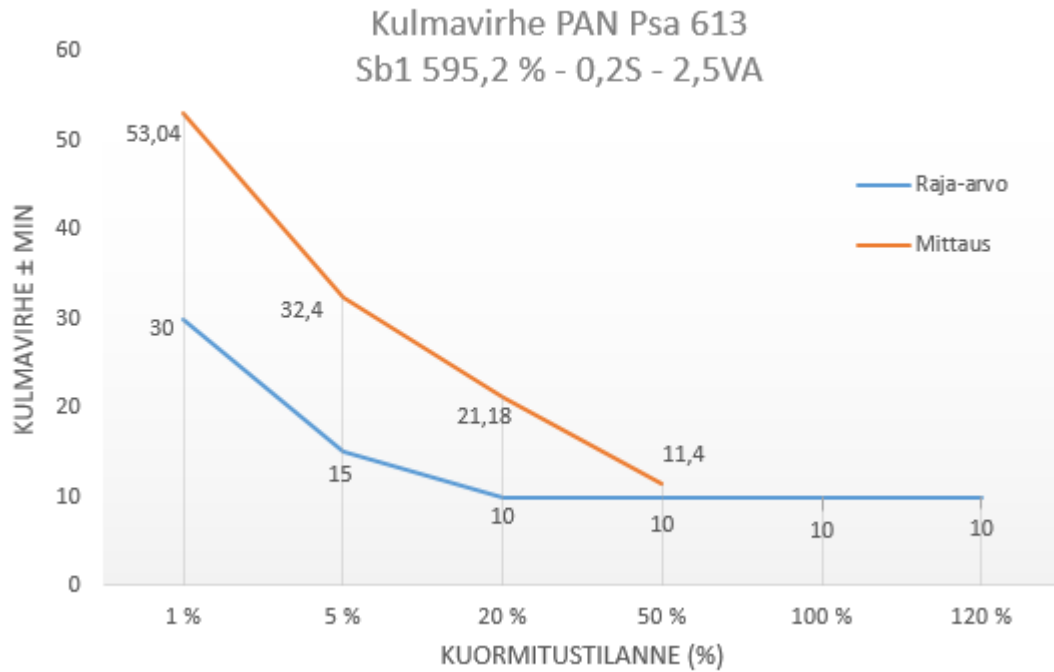
KUVIO 20. Virtavirhe PAN PSA 613 – taakka 203 %

Virta-, ja kulmavirhe eivät kulje samassa suhteessa, mikä voidaan todeta kuvioista 19 ja 20. Taakan alueella 203 %, virtavirhe pysyy vaatimissa rajoissa, mutta kuitenkin kulmavirhe ylittää rajat selkeästi. Tämän vuoksi tulee tutkia virta-, sekä kulmavirhe aina erikseen. Taulukossa 16 on esitetty Pan -virtamuuntajan mittauspöytäkirja.

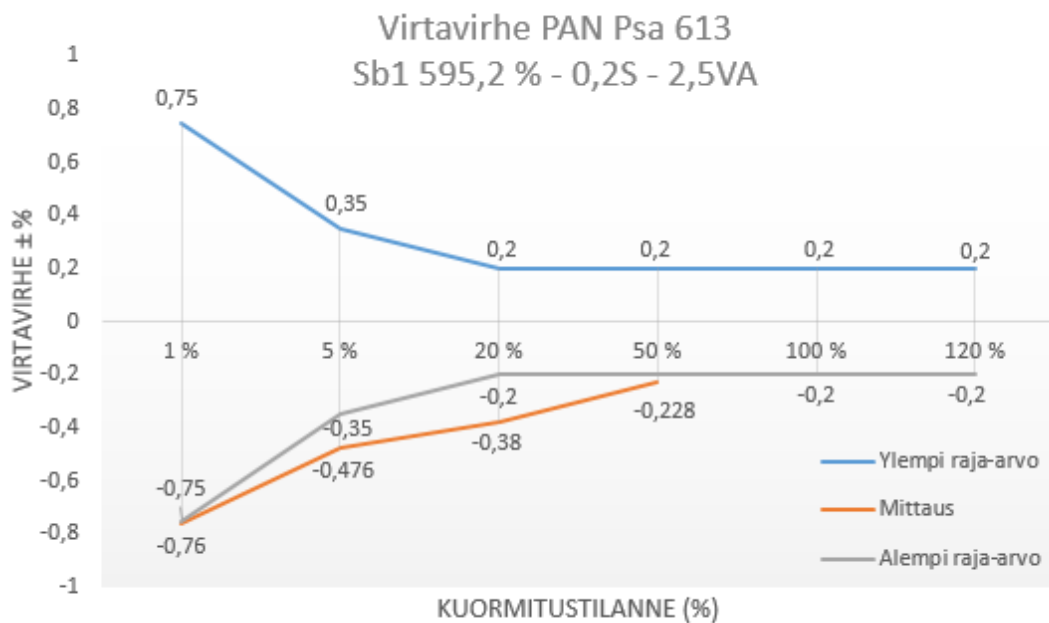
TAULUKKO 16. PAN PSA 613 Taakka 203 % (liite 4)

Kuormitus-tilanne (%)	Ensiövirta I1 (A)	Toisiovirta I2 (A)	Kuormitusvirta (A)	Taakka Sb1 (%)	Lävistyset (lkm)	Muuntosuhdekerroin	Kulmavirhe ϕ I12 (°)	Kulma-minuutti	Virtavirhe (%)
1 %	2,01	0,05	8,03	203,0 %	4	40	0,604	36,24	-0,453 %
5 %	10,02	0,25	40,07	203,0 %	4	40	0,332	19,92	-0,183 %
20 %	40,02	1,00	160,09	203,0 %	4	40	0,221	13,26	-0,114 %
50 %	100,21	2,50	400,82	203,0 %	4	40	0,166	9,96	-0,099 %
100 %	-	-	-	-	-	-	-	-	-
120 %	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Taulukkoon on merkitty standardin ylittävät arvot. Mittaus on tehty taakan standardialueen ulkopuolelta. Seuraavissa kuvioissa on havainnoitu, kuinka Pan -virtamuuntaja käytetään n. 600 % taakan arvolla.



KUVIO 21. Kulmavirhe PAN PSA 613 – taakka 595,2 %



KUVIO 22. Virtavirhe PAN PSA 613 – taakka 595,2 %

Pan -virtamuuntaja on hyvä esimerkki siitä, kuinka tärkeää on mitoittaa virtamuuntajat standardin vaatimalle alueelle. Kuvioissa 21 ja 22, kulmavirhe on kasvanut, sekä virtavirhe mennyt standardialueen ulkopuolelle. On myös oleellista huomata, kuinka mittaus-tulos on menossa isommilla kuormitustilanteilla standardi rajojen sisään. Kyseistä virta-

muuntajaa tulisi tutkia lisää toisenlaisella menetelmällä. Silloin nähtäisiin, miten virtamuuntaja käyttäytyy myös 100 ja 120 % kuormitustilanteissa. Seuraavassa taulukossa on esitetty kuvaajien 21 ja 22 mittauspöytäkirja.

TAULUKKO 17. PAN PSA 613 Taakka 595,2 % (liite 5)

Kuormitus-tilanne (%)	Ensiövirta I1 (A)	Toisiovirta I2 (A)	Kuormitusvirta (A)	Taakka Sb1 (%)	Lävistyks ^t (lkm)	Muuntosuhdekerroin	Kulmavirhe ϕ I12 (°)	Kulma-minuutti	Virtavirhe (%)
1 %	2,04	0,05	8,14	595,2 %	4	40	0,884	53,04	-0,760 %
5 %	10,03	0,25	40,13	595,2 %	4	40	0,540	32,4	-0,476 %
20 %	40,10	1,00	160,38	595,2 %	4	40	0,353	21,18	-0,380 %
50 %	100,26	2,50	401,04	595,2 %	4	40	0,190	11,4	-0,228 %
100 %	-	-	-	-	-	-	-	-	-
120 %	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Pan -virtamuuntajaan tehtiin 4 ensiöpuolen lävistystä, että saatiin mitattua 50 % kuormitustilanne. Mittauksista jäi pois 100 ja 120 % kuormitustilanteet. 50 % kuormitustilannetta ei standardi erikseen vaadi, mutta se on silti tehty kuvaajien informaation lisäämiseksi. Taulukosta 17 nähdään, että 50 % kuormitustilanne on jo hieman kriittinen mittalaitteen kestävyydelle. Virtamuuntajan ensiölävistyksillä on saatu virtamuuntajaan yli 400 A:n kuormitusvirta.

7.4 Virtamuuntaja RISH XMER 104/80

Seuraavat mittaukset tehtiin Rish -virtamuuntajalla. Virtamuuntajan nimellinen ensiövirta on 1600 A ja nimellistoisiovirta 5 A. Virtamuuntaja on seuraavassa kuvassa.



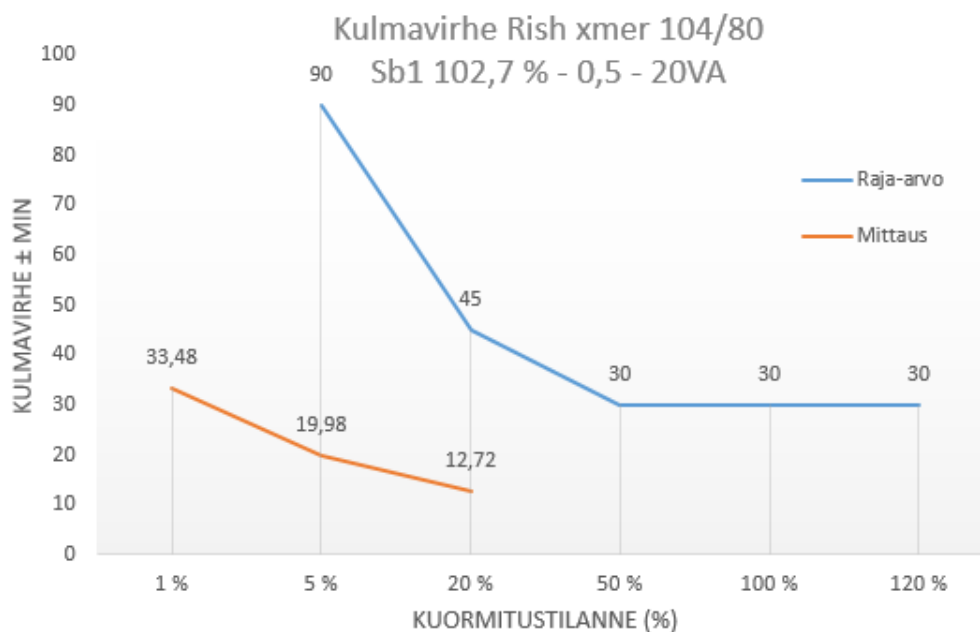
KUVA 8. RISH XMER 104/80 virtamuuntaja (Kuva: Tommi Isomäki 2017)

Virtamuuntajan arvot on merkitty muuntajan arvokilpeen, mistä nähtiin muuntajan ominaisuudet. Virtamuuntajan tekniset tiedot on esitetty seuraavassa taulukossa.

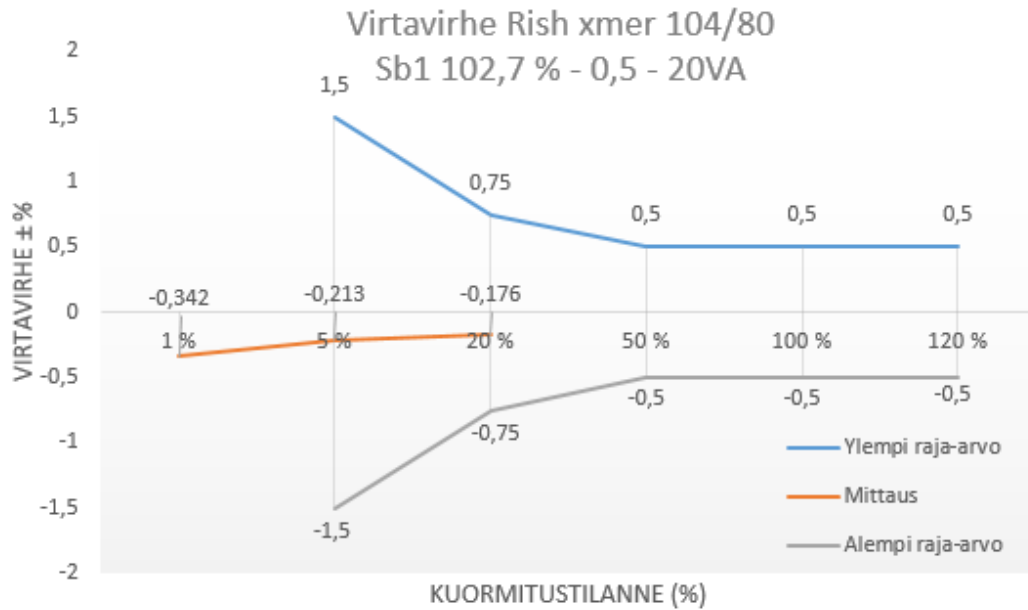
TAULUKKO 18. RISH XMER 104/80 tekniset tiedot

Virtamuuntaja	
Valmistaja	RISH
Malli	XMER 104/80
Tarkkuusluokka	0,5
Nimellisensiovirta (A)	1600
Nimellistoisiovirta (A)	5
Nimellistaakka (VA)	20
Ylijännitteen rajoitusluokka	FS5

Taulukossa 18 on merkitty Rish -virtamuuntajan tarkkuusluokaksi 0,5. Rish -virtamuuntajan raja-arvot ovat sallivammat kuin luokan 0,2S-virtamuuntajien (taulukko 4). 0,5-luokan virtamuuntajia on aikaisemmin asennettu kiinteistöjen päämittaukseen, vaikka nykyään standardi vaatii luokan 0,2S virtamuuntajat. Luokan 0,5 virtamuuntajat ovat vieläkin yleisesti käytössä kiinteistöjen päämittauksessa, koska vanhoja asennuksia ei ole tarvinnut muuttaa. Rish -virtamuuntajan nimellistaakka on poikkeuksellisen suuri (20 VA), verrattuna edellisiin virtamuuntajiin. Virtamuuntaja toimii mittauksissa erittäin hyvin myös pienen taakan alueilla. Virtamuuntajan taakaksi saatiin 1 %, eikä virheet ylittäneet standardin arvoja (liite 1). Seuraavissa kuvioissa on esitetty, miten Rish -virtamuuntaja käyttäytyy 102,7 % taakan alueella.



KUVIO 23. Kulmavirhe RISH XMER 104/80 – taakka 102,7 %



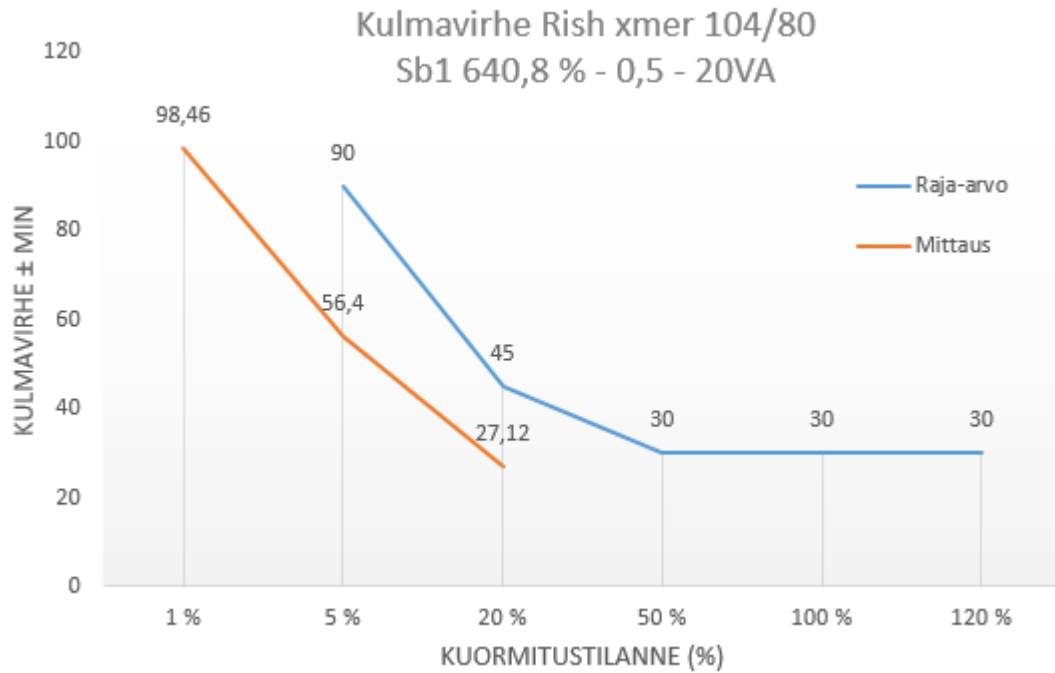
KUVIO 24. Virtavirhe RISH XMER 104/80 – taakka 102,7 %

Luokan 0,5 virtamuuntajille ei ole standardin mukaista 1 % kuormitustilannetta, mutta Rish -virtamuuntajasta se mitattiin. Rish -virtamuuntaja olisi mennyt luokassa 0,2S hie-man yli standardin rajojen, minkä vuoksi se onkin luokan 0,5 virtamuuntaja. Seuraavassa taulukossa on esitetty Rish -virtamuuntajan mittauspöytäkirja.

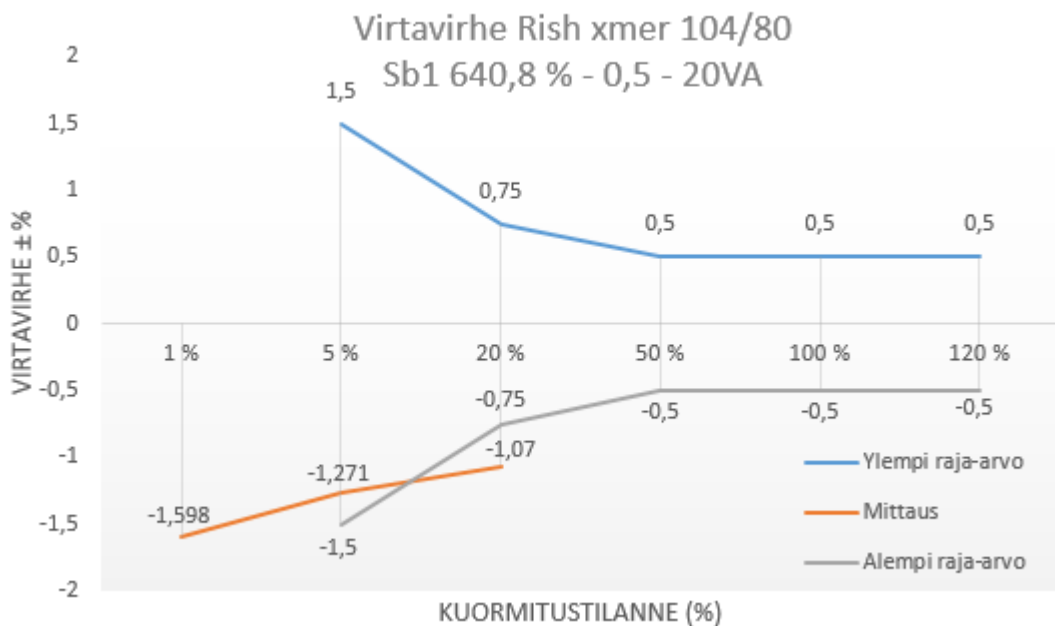
TAULUKKO 19. RISH XMER 104/80 Taakka 102,7 % (liite 2)

Kuormitus-tilanne (%)	Ensiövirta I1 (A)	Toisiovirta I2 (A)	Kuormitus- virta (A)	Taakka Sb1 (%)	Lävistyset (lkm)	Muuntosuhde- kerroin	Kulmavirhe ϕ I2 (°)	Kulma- minuutti	Virtavirhe (%)
1 %	3,20	0,05	15,99	102,7 %	5	64	0,558	33,48	-0,342 %
5 %	16,06	0,25	80,32	102,7 %	5	64	0,333	19,98	-0,213 %
20 %	64,12	1,00	320,62	102,7 %	5	64	0,212	12,72	-0,176 %
50 %	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100 %	-	-	-	-	-	-	-	-	-
120 %	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Mittauksissa jouduttiin jättämään pois yli 20 % kuormitustilanteet. Rish -virtamuuntaja toistaa ensiövirtaa – toisiopiiriin hyvin, 100 % taakan alueella. Seuraavissa kuvioissa 25 ja 26 on esitetty, miten Rish -virtamuuntaja käyttäytyy 640 % taakan alueella.



KUVIO 25. Kulmavirhe RISH XMER 104/80 – taakka 640,8 %



KUVIO 26. Virtavirhe RISH XMER 104/80 – taakka 640,8 %

Rish -virtamuuntajan virheet alkoivat mittauksissa näkyä vasta 600 % taakan alueella. Mittauksia olisi hyvä tarkentaa laitteella, joka kykenee suorittamaan isompia kuormitustilanteita. Taulukossa 20 on esitetty Rish -virtamuuntajan mittauspöytäkirja.

TAULUKKO 20. RISH XMER 104/80 Taakka 640,8 % (liite 5)

Kuormitus-tilanne (%)	Ensiövirta I1 (A)	Toisiovirta I2 (A)	Kuormitusvirta (A)	Taakka Sb1 (%)	Lävistyksen (lkm)	Muuntosuhdekerroin	Kulmavirhe ϕ I12 (°)	Kulma-minuutti	Virtavirhe (%)
1 %	3,20	0,05	16,01	640,8 %	5	64	1,641	98,46	-1,598 %
5 %	16,04	0,25	80,21	640,8 %	5	64	0,940	56,40	-1,271 %
20 %	64,37	1,00	321,85	640,8 %	5	64	0,452	27,12	-1,070 %
50 %	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100 %	-	-	-	-	-	-	-	-	-
120 %	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Taulukosta nähdään, miten nopeasti ensiövirta nousee eri kuormitustilanteissa. Virtamuuntajaan tehtiin viisi ensiöpuolen lävistystä syöttökaapelilla.

7.5 Virtamuuntaja WAGO 855S

Mittauksien viimeinen virtamuuntaja oli Wago 855S -virtamuuntaja. Virtamuuntajan nimellinen ensiövirta oli 100 A, ja nimellistoisiovirta 5 A. Seuraavassa kuvassa on Wago -virtamuuntaja.



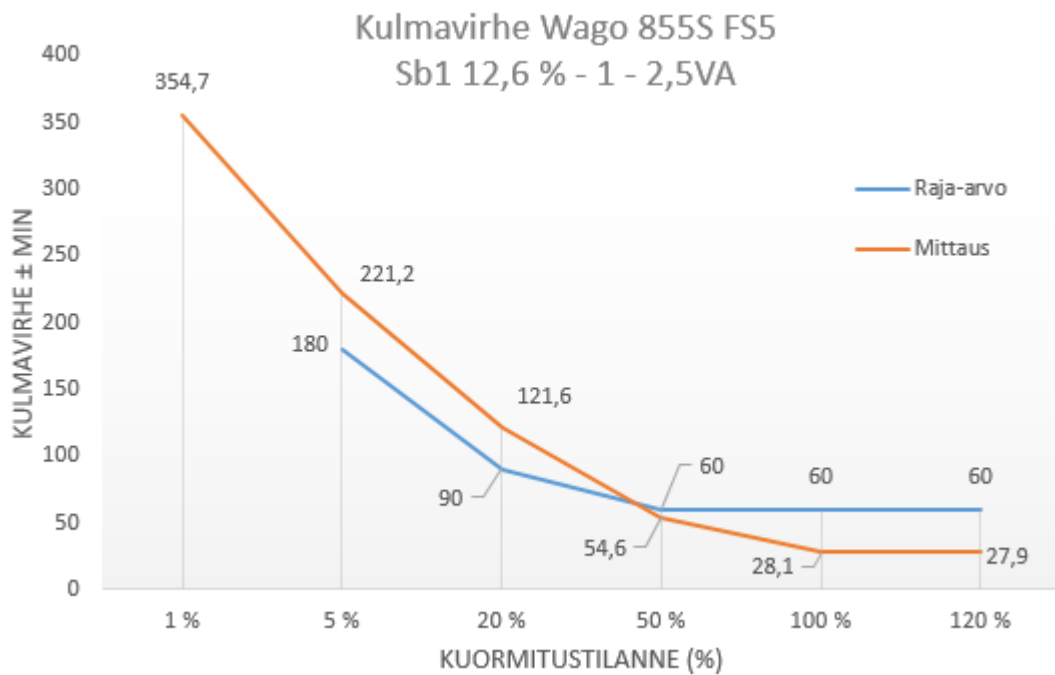
KUVA 9. WAGO 855S virtamuuntaja (Kuva: Tommi Isomäki 2017)

Virtamuuntaja on fyysisesti sekä nimellisvirraltaan pieni. Virtamuuntajan tarkkuusluokka on mittaussarjan epätarkin. Seuraavasta taulukosta selviää Wago -virtamuuntajan tekniset tiedot.

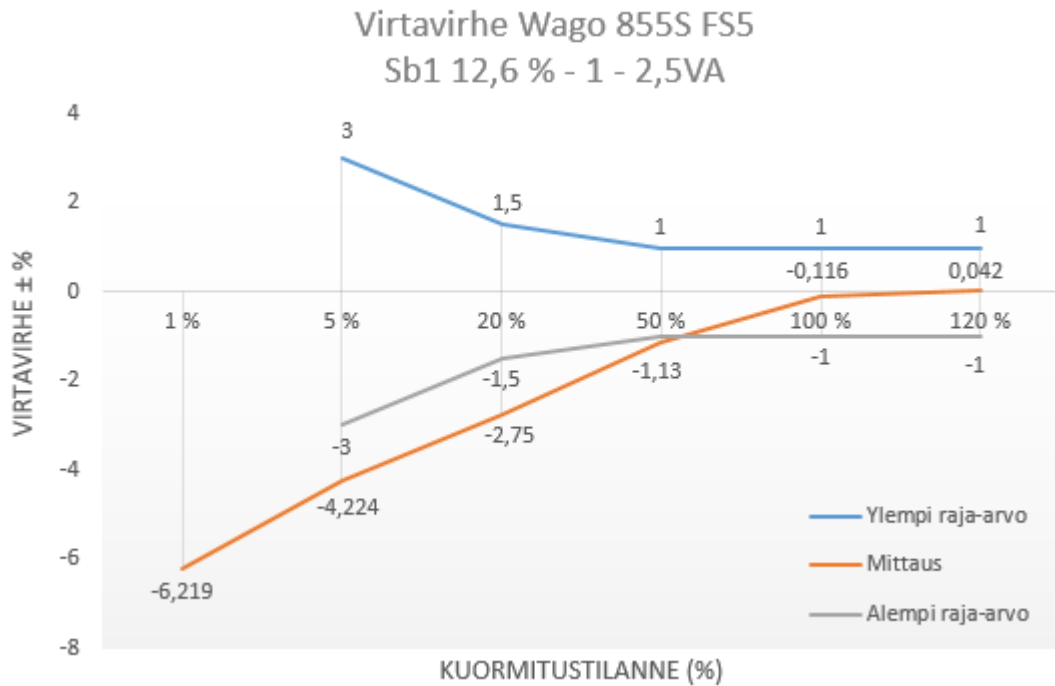
TAULUKKO 21. WAGO 855S tekniset tiedot

Virtamuuntaja	
Valmistaja	WAGO
Malli	855S
Tarkkuusluokka	1
Nimellisensiovirta (A)	100
Nimellistoisiovirta (A)	5
Nimellistaakka (VA)	2,5
Ylijännitteen rajoitusluokka	FS5

Tarkkuusluokan 1 raja-arvot on määritetty IEC-standardissa (taulukko 4). Luokan 1 virtamuuntajia käytetään mm. takamittauksissa. Seuraavissa kuvaajissa on esitetty, miten Wago -virtamuuntaja käyttäytyy alle standardin määrittämällä taakalla.



KUVIO 27. Kulmavirhe WAGO 855S – taakka 12,6 %



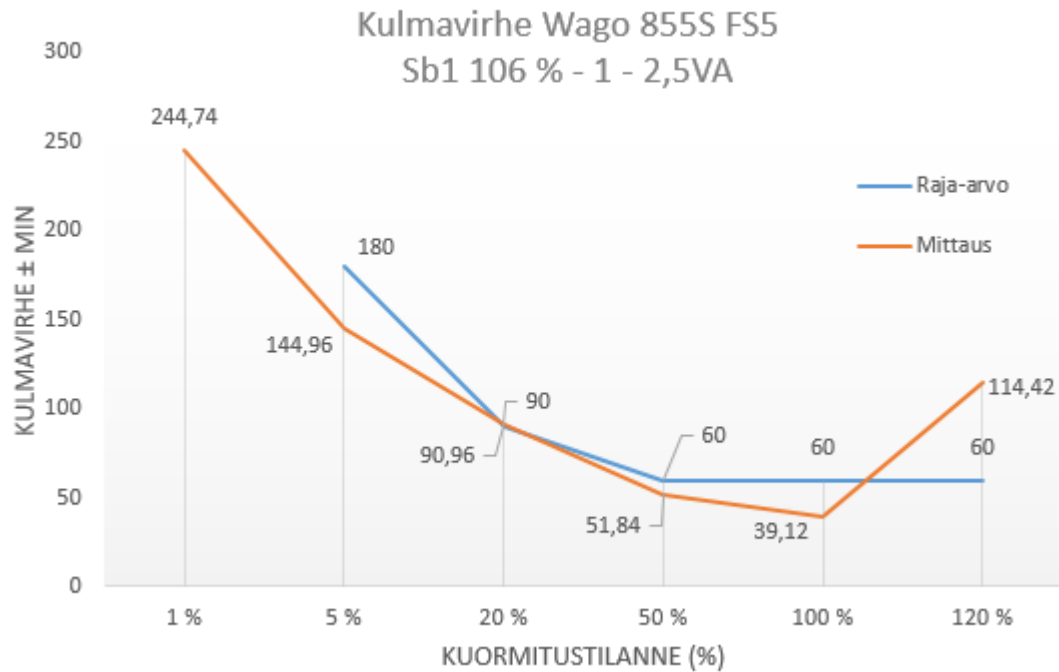
KUVIO 28. Virtavirhe WAGO 855S – taakka 12,6 %

Wago -virtamuuntaja on 1-luokan virtamuuntaja, minkä takia raja-arvot ovat kaikkia edellisiä huomattavasti suurempia. 1- luokan virtamuuntajille ei ole määritetty standardissa 1 % kuormitustilannetta mutta se on kuitenkin mitattu. Seuraavassa taulukossa on virtamuuntajan mittauspöytäkirja.

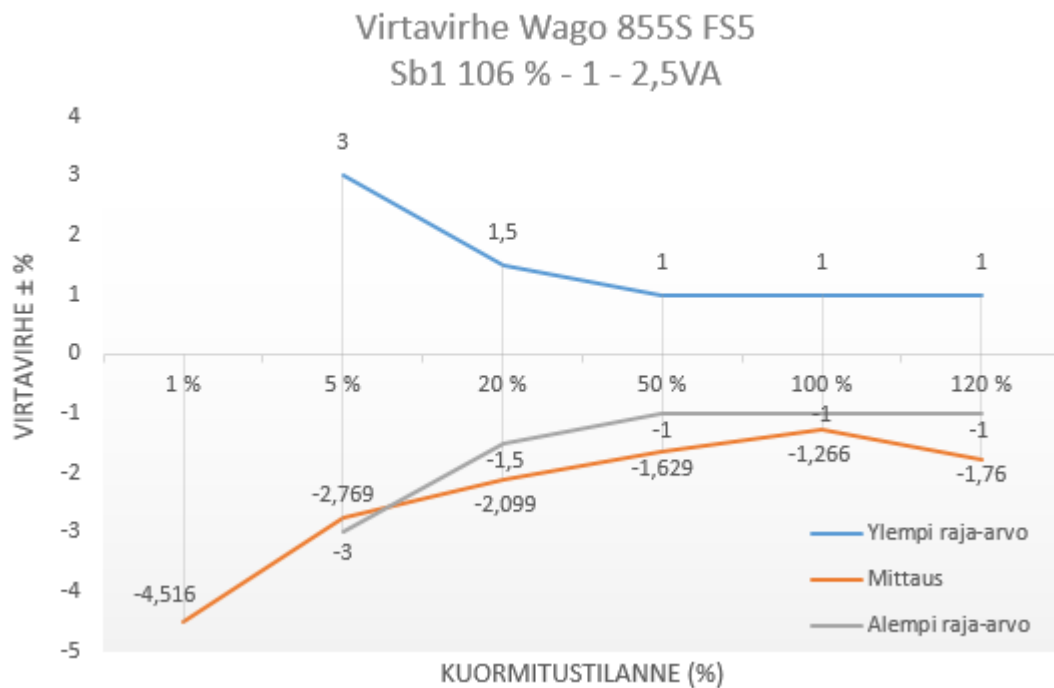
TAULUKKO 22. WAGO 855S Taakka 12,6 % (liite 1)

Kuormitus-tilanne (%)	Ensiövirta I1 (A)	Toisiovirta I2 (A)	Kuormitus- virta (A)	Taakka Sb1 (%)	Lävistyksen (lkm)	Muuntosuhde- kerroin	Kulmavirhe ϕ I2 (°)	Kulma- minuutti	Virtavirhe (%)
1 %	0,49	0,05	0,98	12,6 %	2	10	5,913	354,78	-6,219 %
5 %	2,51	0,24	5,02	12,6 %	2	10	3,687	221,22	-4,224 %
20 %	10,01	0,97	20,02	12,6 %	2	10	2,028	121,68	-2,750 %
50 %	25,08	2,48	50,16	12,6 %	2	10	0,91	54,6	-1,130 %
100 %	49,82	4,98	99,64	12,6 %	2	10	0,469	28,14	-0,116 %
120 %	59,97	6,00	119,95	12,6 %	2	10	0,465	27,9	0,042 %

Wago -virtamuuntajan tehtiin mittauksiin kaksi ensiöpuolen lävistystä. Virtamuuntaja toistaa huonosti pieniä kuormitustilanteita. Seuraavissa kuvioissa on esitetty, miten Wago -virtamuuntaja käyttäytyy 106 % taakan arvossa.



KUVIO 29. Kulmavirhe WAGO 855S – taakka 106 %



KUVIO 30. Virtavirhe WAGO 855S – taakka 106 %

Wago -virtamuuntaja on varsin poikkeuksellinen edellisiin mittauksiin nähden. Edellisissä mittauksissa virtamuuntajat toistivat omassa luokassaan - standardin alueilla, ensiövirtaa toisiopiiriin hyvin. Taulukoissa 23 ja 24 on esitetty Wago -virtamuuntajien virheet, joissa on standardin ylittävät arvot merkitty punaisella.

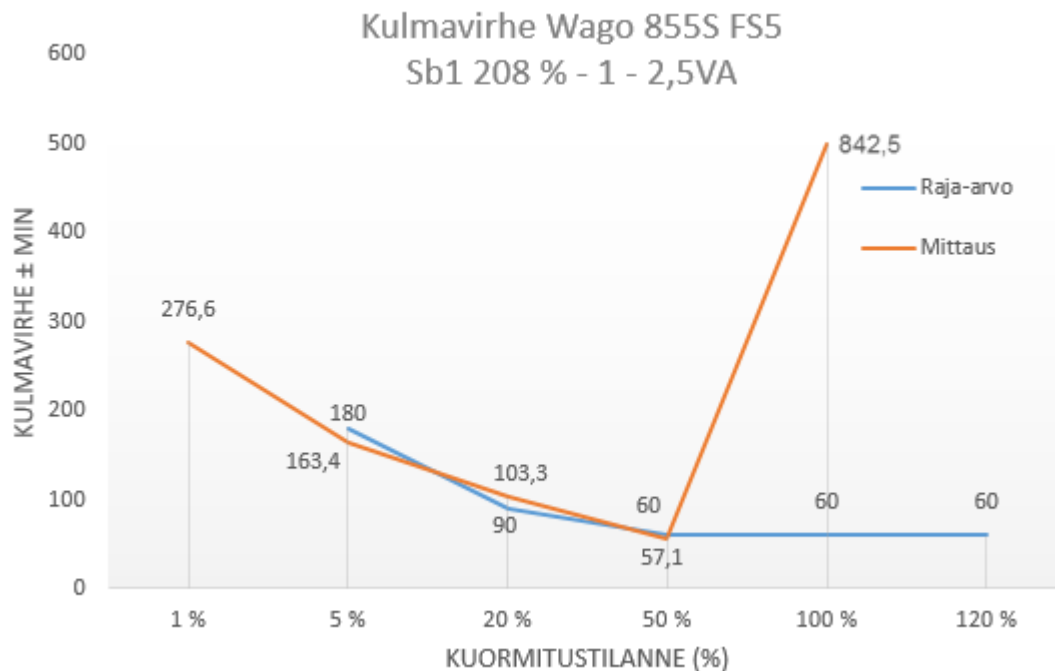
TAULUKKO 23. WAGO 855S Taakka 27,6 % (liite 2)

Kuormitus-tilanne (%)	Ensiövirta I1 (A)	Toisiovirta I2 (A)	Kuormitusvirta (A)	Taakka Sb1 (%)	Lävistyksen (lkm)	Muuntosuhde-kerroin	Kulmavirhe ϕ I12 (°)	Kulma-minuutti	Virtavirhe (%)
1 %	0,51	0,05	1,02	27,6 %	2	10	6,314	378,84	-9,491 %
5 %	2,53	0,23	5,06	27,6 %	2	10	4,011	240,66	-7,354 %
20 %	10,07	0,97	20,13	27,6 %	2	10	1,799	107,94	-3,413 %
50 %	25,02	2,47	50,03	27,6 %	2	10	0,909	54,54	-1,446 %
100 %	50,06	4,98	100,12	27,6 %	2	10	0,672	40,32	-0,523 %
120 %	60,00	5,98	119,99	27,6 %	2	10	0,593	35,58	-0,267 %

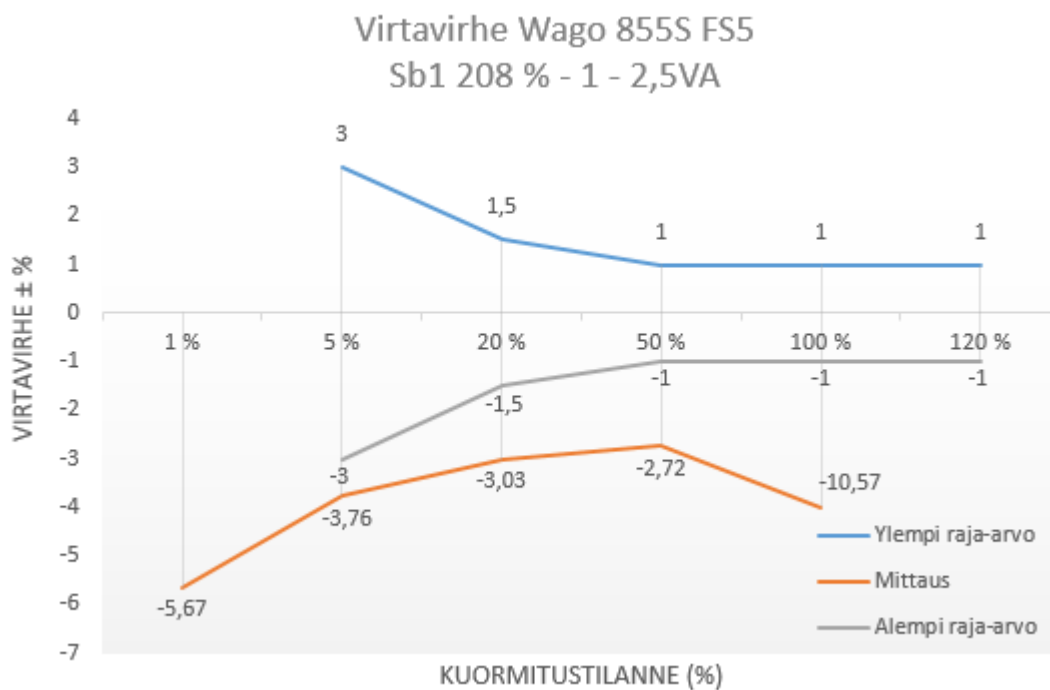
TAULUKKO 24. WAGO 855S Taakka 106 % (liite 3)

Kuormitus-tilanne (%)	Ensiövirta I1 (A)	Toisiovirta I2 (A)	Kuormitusvirta (A)	Taakka Sb1 (%)	Lävistyksen (lkm)	Muuntosuhde-kerroin	Kulmavirhe ϕ I12 (°)	Kulma-minuutti	Virtavirhe (%)
1 %	0,50	0,05	1,00	106,0 %	2	10	4,079	244,74	-4,516 %
5 %	2,50	0,24	5,00	106,0 %	2	10	2,416	144,96	-2,769 %
20 %	10,04	0,98	20,08	106,0 %	2	10	1,516	90,96	-2,099 %
50 %	25,09	2,47	50,18	106,0 %	2	10	0,864	51,84	-1,629 %
100 %	49,97	4,93	99,94	106,0 %	2	10	0,652	39,12	-1,266 %
120 %	60,03	5,90	120,05	106,0 %	2	10	1,907	114,42	-1,760 %

Wago -virtamuuntaja ei pysynyt oman luokkansa rajoissa 27,6 eikä 106 % taakan alueilla (taulukot 23 ja 24). Seuraavissa kuvaajissa esitetty, miten Wago -virtamuuntaja käyttäytyy 208 % taakan alueella.



KUVIO 31. Kulmavirhe WAGO 855S – taakka 208 %



KUVIO 32. Virtavirhe WAGO 855S – taakka 208 %

Kuvioita jouduttiin skaalaamaan virheiden havainnoinnin helpottamiseksi. Seuraavassa taulukossa on esitetty Wago -virtamuuntajan mittauspöytäkirja 208 % taakalla.

TAULUKKO 25. WAGO 855S Taakka 208 % (liite 4)

Kuormitus-tilanne (%)	Ensiövirta I1 (A)	Toisiovirta I2 (A)	Kuormitus-virta (A)	Taakka Sb1 (%)	Lävistyksen (lkm)	Muuntosuhde-kerroin	Kulmavirhe ϕ I12 (°)	Kulma-minuutti	Virtavirhe (%)
1 %	0,51	0,05	1,01	208,0 %	2	10	4,61	276,6	-5,67 %
5 %	2,49	0,24	4,97	208,0 %	2	10	2,72	163,4	-3,76 %
20 %	10,07	0,98	20,15	208,0 %	2	10	1,72	103,3	-3,03 %
50 %	25,01	2,43	50,02	208,0 %	2	10	0,95	57,1	-2,72 %
100 %	50,09	4,48	100,17	208,0 %	2	10	14,04	842,5	-10,57 %
120 %	59,96	4,95	119,91	208,0 %	2	10	21,70	1301,8	-17,51 %

Wago -virtamuuntaja kyllästyy suhteellisen nopeasti, mikä ilmenee virtamuuntajien kuvioista 27 – 32. Virtamuuntajan kyllästyttyä, virheet kasvavat hyvin nopeasti.

8 POHDINTA

Työn tarkoitus ja toteutustapa olivat aluksi hankalia ymmärtää, koska aihe oli hieman vieras. Vastaavia mittauksia on valmistajat todennäköisesti tehneet mutta eivät ole niitä yleisesti julkaisseet. Siksi oli hankala tietää, mitä virheitä mittauksista kävisi ilmi sekä miten mittaukset tulisi luotettavasti tehdä. Muutoksia ja haasteita ilmeni prosessin aikana useitakin, mutta lopulta ratkaisut löytyivät.

Mittaustuloksista kävi hyvin ilmi, miten virtamuuntajat käyttäytyvät eri taakan alueilla. Liian pienet taakat mittaavat liikaa, mutta niiden virherajat pysyvät kuitenkin standardin vaatimissa alueissa. Olisi hyvä, jos saisi mitattua virtamuuntajia vieläkin pienemmillä taakan alueilla. Liian suuren taakan aiheuttamat mittausrvirheet ilmenivät raudan kylläystymisalueella, joissa virheet kasvoivat nopeasti hyvinkin suuriksi. Liian suurilla taakoilla sähkömittari lukee sähkönkulutusta todellista pienemmäksi. Virtamuuntajien tarkastelujen haasteina oli Calport 300 -mittalaitteen ominaisuudet. Suuria virtamuuntajia ei voitu mitata isoilla virroilla, koska mittalaite kesti vain 100 A virran. Näin ollen mittauksista jouduttiin jättämään pois kaikki yli 100 A vaativat mittarin alueet.

Kiinteistöjen sähkönkulutus mitataan kolmella virtamuuntajalla, jokainen vaihe omaan. Näin ollen virheet voidaan mieltää kolminkertaisiksi, jos kuormitus on tasainen. Jos kiinteistöltä veloitetaan erikseen loistehomaksua, tulee huomioida laskut isommiksi silloin, jos poiketaan resistiivisestä kuormasta. Sähkönkulutusmittarit mittaavat nimenomaan virtamuuntajien tiedon mukaan, joten mielestäni on erittäin tärkeää mitoittaa taakka standardin vaatimalle alueelle.

Työssä tutkittiin suhteellisen pientä otantaa virtamuuntajista. Tarkempia tarkasteluja varten olisi hyvä ottaa Suomessa yleisesti käytössä olevat virtamuuntajat ja tutkia mitkä toimivat parhaiten. Nykypäivän vaatimukset uusille asennuksille on luokan 0,2S virtamuuntajat, mutta vieläkin on monessa kohteessa vanhoja 0,5-luokan virtamuuntajia. Työssä tutkittiin myös 1-luokan virtamuuntajia, joita käytetään mm. takamittauksissa.

LÄHTEET

- Hietalahti L. 2013. Sähkövoimatekniikan perusteet. 1. painos. Amk-kustannus Oy Tammermekniikka. Luettu 21.11.2016
- Ahoranta J. 2015. Sähkötekniikka. 14. painos. Sanoma Pro Oy. Luettu 21.11.2016
- Ahoranta J. 1997. Sähkötekniikka. 1.-2. painos. WSOY – kirjapainoyksikkö. Luettu 21.11.2016
- Tonteri A. & Aura L. 2009. Teoreettinen sähkötekniikka ja sähkökoneiden perusteet. 6. painos. WSOY Pro Oy. Luettu 21.11.2016
- Tonteri A. & Aura L. 1996. Sähkökoneet ja tehoelektronikan perusteet. 1. painos. WSOY Pro Oy. Luettu 8.2.2017
- Tonteri A. & Aura L. 1986. Sähkämiehen käsikirja 1. WSOY Pro Oy. Luettu 9.2.2017
- Halko P. Launonen H. Malinen R. & Välimaa T. 1995. Sähkämittaustekniikka. 3. korjattu painos. Painatuskeskus Oy. Luettu 8.2.2017
- IEC 61869-2. Standardi. 2012. Instrument transformers – Part 2: Additional requirements for current transformers. Edition 1.0. International Electrotechnical Commission. Luettu 4.3.2017
- ABB Teknisiä tietoja ja taulukoita. 2000. 10. painos. Ykkös-Offset Oy. Luettu 22.11.2016
- SFS 3381. 2014. Vaihtosähköenergianmittaus. Mittauslaitteistot. 4. painos. Sesko Ry. Luettu 11.12.2016
- MIKES. 2016. Mittatekniikan keskus. Kalibrointitodistus. Luettu 17.3.2017
- Polarmit Oy. 2016. Tuntimittauksen periaatteita. Luettu 18.3.2017
[http://www.polarmit.fi/assets/site/files/apua_sahkomittauksiin/tuntimittaussuositus -
_paivitetty_20160531.pdf](http://www.polarmit.fi/assets/site/files/apua_sahkomittauksiin/tuntimittaussuositus_-_paivitetty_20160531.pdf)
- Turun yliopisto. 2017. Kulmayksiköt. Luettu 19.3.2017
<http://www.astro.utu.fi/zubi/math/angle.htm>
- Peltonen J. Sähkämittausten asiantuntija. 2017. Haastattelu 16.3.2017. Haastattelija Isomäki T.
- Heinonen T. Sähkämittausten asiantuntija. 2017. Haastattelu 6.4.2017. Haastattelija Isomäki T.

Liite 6. Kalibrointitodistus Calport 300