



Epäsuoran mittauksen valmistusohje sähkökeskukseen

Verner Aaltonen

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2022

Talotekniikan tutkinto-ohjelma
Sähköinen talotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan tutkinto-ohjelma
Sähköinen talotekniikka

AALTONEN, VERNERI:

Epäsuoran mittauksen valmistusohje sähkökeskukseen

Opinnäytetyö 26 sivua, joista liitteitä 1 sivu
Huhtikuu 2022

Opinnäytetyössä tutustutaan sähkönmittaukseen ja sen osien tehtäviin, rakenteeseen ja toimintaan. Opinnäytetyö tehtiin insinööritoimisto TamPlan Oy:n toimeksiannosta. Työssä selvitetään, mitä suunnittelijan tarvitsee tietää epäsuoraa sähkönmittausta suunniteltaessa. Sähkön mittausta ja sen laitteita ovat tarkkaan säänneltyjä, jos sähköä mitataan väärin, se aiheuttaa kustannuksia loppukäyttäjälle. Opinnäytetyössä käsitellään standardia SFS 3381. Standardi määrittelee, miten sähkönmittaus toteutetaan käytännössä sekä koko mittauslaitteiston vaatimukset.

Opinnäytetyössä luotiin kerättyjen tietojen avulla Excel-laskentatyökalu epäsuoran sähkönmittauksen toisiopuolen taakan laskemiseen. Laskentatyökalu luo dokumentin, jolla epäsuora sähkönmittaus voidaan toteuttaa.

Lopputuloksena on kattava selvitys sähkönmittauksesta sekä sen komponenteista. Työn tavoitteeksi asetettu Excel-laskentatyökalu toteutettiin, ja se on osana TamPlan Oy:n malliasiakirjoja. Excel-laskentatyökalu säästää sähkösuunnittelijoiden aikaa, sillä heidän ei tarvitse selvittää kuin vaadittavat lähtötiedot.

Opinnäytetyössä luotu Excel-laskentataulukko on poistettu julkisesta raportista.

ABSTRACT

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

AALTONEN, VERNERI:
Manufacturing Guide for the Indirect Measurement in Switchboards

Bachelor's thesis 26 pages, appendices 1 page
April 2022

The thesis introduces the measurement of electricity and the functions, structures and operations of its components. The thesis was commissioned by the design firm TamPlan Oy. The work examines what a designer needs to know when designing indirect electricity measurement. Electricity metering and its equipment are strictly regulated. If electricity is measured incorrectly, it will incur expenses for the end user. The thesis reviews the standard SFS 3381. The standard defines how electricity metering is carried out in practice and the requirements of the entire metering equipment.

In the thesis, an Excel calculation tool for calculating the burden value on the secondary side of indirect electricity metering was created using the collected data. The calculation tool creates a document with which the indirect electricity measurement can be implemented.

The result of this thesis is a comprehensive study of electricity metering and its components. The Excel calculation tool set as the goal of the work was implemented, and it is now a part of model documents in TamPlan Oy. The Excel calculation tool saves electrical designers time, as they only need to find out the required input data.

The Excel spreadsheet created in the thesis has been removed from the public report.

Key words: current transformer, electricity measurement

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	TamPlan Oy	7
3	VIRTAMUUNTAJAT.....	8
3.1	Virtamuuntajien ominaisuudet.....	9
3.2	Virtamuuntajan tehtävät, rakenne ja toiminta	12
4	SÄHKÖENERGIAN MITTAUS.....	16
4.1	Suora mittaus.....	17
4.2	Epäsuora mittaus	18
5	EPÄSUORAN MITTAUKSEN TOTEUTUS	19
6	VALMISTUSOHJE	21
7	POHDINTA	24
	LÄHTEET.....	25
	LIITTEET	26
	Liite 1. Valmistusohje sähkökeskuksen epäsuoralle energiamittaukselle. (Luottamuksellinen).....	26

LYHENTEET JA TERMIT

A	ampeeri
f	taajuus, Hz
I	virta, A
l	pituus, m
U	jännite, V
Z	impedanssi, Ω
Φ	magneettivuo, Vs
ρ	ominaisvastus, $\Omega/\text{mm}^2/\text{m}$

1 JOHDANTO

Sähköenergian mittauksen tarkoituksena on selvittää mittauspisteen ja sitä kautta käyttöpaikan sähköenergian kulutus. Sähköenergian kulutuksen mittaus on tapa selvittää energiantoimittajan laskutustarve. Lisäksi mittareilla käyttäjä pystyy tarkastelemaan omaa sähkön kulutustaan.

Opinnäytetyössä tutustutaan sähkön mittaukseen koskeviin määräyksiin, standardeihin ja ohjeisiin. Lisäksi opinnäytetyössä selvitetään sähkön mittauksen rakennetta ja toimintaa.

Työhön tuli ajatus TamPlan Oy:n toimitusjohtajalta ja tavoitteena on luoda valmistusohje TamPlan Oy:n käyttöön. Työn tuloksena on valmis Excel-laskentatyökalu, jolla voidaan luoda valmistusohje, jotta epäsuora sähkönmittaus voidaan toteuttaa sähkökeskukseen. Valmistusohjeelle tuli tarve, kun sähköverkkoyhtiöt eivät enää toimittaneet virtamuuntajia, vaan keskusvalmistajien oli itse hankittavana.

2 TamPlan Oy

TamPlan Oy on vuonna 2007 perustettu insinööritoimisto, joka tarjoaa asiakkailleen kiinteistöjen sähkösuunnittelu ja konsultointipalveluja. Insinööritoimisto TamPlan Oy sijaitsee Ylöjärven Soppeenmäessä osoitteessa Mastontie 6.

TamPlan Oy:n sähkösuunnittelupalvelut kattavat kiinteistösähköistyksen kaikki osa-alueet. TamPlan Oy:llä on referenssejä hyvin erilaisista kohteista, kuten kerrostaloista, rivitaloista, hoivakodeista, kouluista, päiväkodeista, pienen ja keski-suuren teollisuuden tiloista, toimistoista, lääkintätiloista sekä myös liikerakentamisesta.

3 VIRTAMUUNTAJAT

Tavallisen yksivaiheisen muuntajan perusrakenne on ensiökäämi, rautasydän ja toisiokäämi. Muuntajan ensiökäämiin syötetään sähkötehoa ja muuntajan toisiokäämi antaa sähkötehon kuormalle. Ensiökäämi ja toisiokäämi määräytyy siis tehon virtaussuunnan mukaan. Teho siirtyy ensiökäämistä toisiokäämiin vaihtomagneettivuon välityksellä. (Aura & Tonteri, 1986)

Virtamuuntajissa ensiökääminä toimii johdin tai kisko, joka kulkee renkaanmuotoisen rautasydämen läpi. Rautasydämen tehtävä on johtaa magneettivuo käämien läpi. Ensiövirta synnyttää rautasydämeen magneettivuon, joka puolestaan luo toisiopiiriin ensiövirtaan verrannollisen toisiovirran. (Ahoranta, 2015)

Virtamuuntajat jaetaan kahteen luokkaan käyttötarkoitusten perusteella, jotka ovat mittausvirtamuuntaja ja suojausvirtamuuntaja. Tässä opinnäytetyössä keskitytään pääasiallisesti mittausvirtamuuntajiin. Mittausvirtamuuntajilla mitataan virran määrää esimerkiksi energiamittauksissa. Suojausvirtamuuntajia käytetään kytkennöissä, joissa tarvitsee suojata herkkiä kojeita ja laitteita suurilta virroilta. Suojaukseen käytettävät virtamuuntajat kytketään yleensä ohjaamaan relettä, jolla virtapiiri saadaan virrattomaksi. (Lindeman & Sahinoja, 2000)

Koska virtamuuntajia käytetään pääasiassa muuntamaan suuria virtoja pienemmäksi, on virtamuuntajien ensiö- ja toisiokäämissä vähän johdinkierroksia ja siksi virtamuuntajan reaktanssi on hyvin pieni. (Lindeman & Sahinoja, 2000)

Kuvassa 1 on virtamuuntaja, jota käytetään sähkön mittauksessa.



Kuva 1. Virtamuuntaja. (SLO, n.d.)

3.1 Virtamuuntajien ominaisuudet

Virtamuuntajille on määritelty ominaisuuksia, jotka esitellään tässä osiossa.

Mitoitusensiövirta I_{pn} ja mitoitustoisiovirta I_{sn}

Mitoitusensiövirralla ja mitoitustoisiovirralla tarkoitetaan virtamuuntajan arvokilpeen leimatut virrat. Nämä määrittelevät virtamuuntajan **mitoitusmuuntosuhteen** k_n . (Halko ym. 1998)

Virtamuuntajien standardoidut mitoitusensiövirran arvot ovat:

10, 12.5, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60 ja 75 ampeeria sekä näiden kymmenpotenssikerrannaiset ja -osat. Suositusarvot on alleviivattu. (Halko ym. 1998)

Virtamuuntajaa valittaessa mitoitusensiövirta kannattaa valita ensiön kuormitusvirran kannalta riittävä, muttei kuitenkaan liian suuri arvo, jotta mittaustarkkuus ei kärsi. (Mörsky, 1992)

Virtamuuntajien standardoidut mitoitusensiövirran arvot ovat:
1 ja 5 ampeeria. Suositusarvo on 5 ampeeria. (Halko ym. 1998)

Terminen kestovirta I_{th}

Termisellä kestoirralla tarkoitetaan suurinta ensiövirtaa, jonka virtamuuntaja kestää yhden sekunnin ajan, kun toisiokäämi on oikosuljettu. (Halko ym. 1998)

Dynaaminen kestovirta I_{dyn}

Dynaamisella kestoirralla tarkoitetaan ensiövirtaa, jonka virtamuuntaja vielä kestää vahingoittumatta toisiokäämi oikosuljettuna. Dynaaminen kestovirta on 2,5 kertaa terminen kestovirta, ellei toisin mainita. (Halko ym. 1998; Mörsky, 1992)

Virta-alueen laajennuskerroin

Virta-alueen laajennuskertoimella tarkoitetaan ensiövirtaan, jolla lämpenemät eivät ylitä annettuja arvoja. Virta-alueen laajennuskerroin ilmoitetaan prosentteina mitoitusensiövirrasta. (ABB, 2000)

Mittarivarmuuskerroin F_s

Virtamuuntajan toisiopuolelle kytketyt mittarit valitaan mittaamaan mitta-alueensa mukaisia virtoja. Verkon vikaantuessa mittareille tulevat virrat voivat kasvaa suureksi ja mahdollisesti rikkoisivat mittauslaitteet, mikäli virtamuuntaja ei kyllästyisi ja pitäisi toision virrat kohtuullisina. (Mörsky, 1992)

Mittarivarmuuskerroin, eli ensiön todellisen virran ja mitoitusensiövirran suhde kertoo, että miten suurella suhteellisella ensiövirran arvolla mittausvirtamuuntajan yhdistetty virhe on nimellistaakalla vähintään 10 %. Tämä on merkki siitä, että virtamuuntajan rautasydän on jo kyllästymisalueella ja vaikka ensiön virtaa vielä kasvatetaan, toisiovirta ei juurikaan kasva. Virtamuuntaja suojaa siihen kytkettyjä mittareita paremmin mitä pienempi mittarivarmuuskerroin on.

Mittarivarmuuskertoimelle ei ole määritelty standardiarvoja, mutta käytännössä tavallisia arvoja on 5 ja 10. (ABB, 2000; Mörsky, 1992)

Mitoitustaakka S_n

Mitoitustaakalla tarkoitetaan toisioliittimien väliin kytkettyä kokonaisimpedanssia, jolla virtamuuntajaa täyttää leimatun tarkkuusluokan mukaiset normien asettamat tarkkuusvaatimukset. Impedanssi muodostuu toisiopuolen kaapeloinnista, liitoksista ja mittarista. Taakka ilmoitetaan tavallisesti näennäistehona. Virtamuuntajan taakka lasketaan kaavalla:

$$S_n = I_{sn}^2 \cdot Z_{2n}, \quad (1)$$

jossa Z_{2n} on toision nimelliskuormitusimpedanssi.

Virtamuuntajien standardoidut mitoitustaakan arvot ovat:

2.5, 5, 10, 15 ja 30 voltiampeeria. Suuremmilla tehoilla mitoitustaakka valitaan tarpeen mukaan. (ABB, 2000)

Tarkkuusluokka

Virtamuuntajille on olemassa useita eri tarkkuusluokkia, joista valitaan sopiva sijoituspaikkaan ja tehtävään nähden. Tarkkuusluokka määräytyy suurimpien sallittujen virta- ja kulmavirheiden avulla. Virtavirhe lasketaan kaavalla:

$$\text{Virtavirhe} = \frac{k_n I_s - I_p}{I_p} \cdot 100 \%, \quad (2)$$

Kulmavirhe on ensiövirran ja toisiovirran välinen vaihesiirto. Kulmavirhe ilmoitetaan yleensä kulmaminuutteina. Kulma on positiivinen, jos toisiovirta on ensiövirran edellä. (ABB, 2000)

Mittaussydämelle sallitut virheiden maksimiarvot on esitetty taulukossa 1.

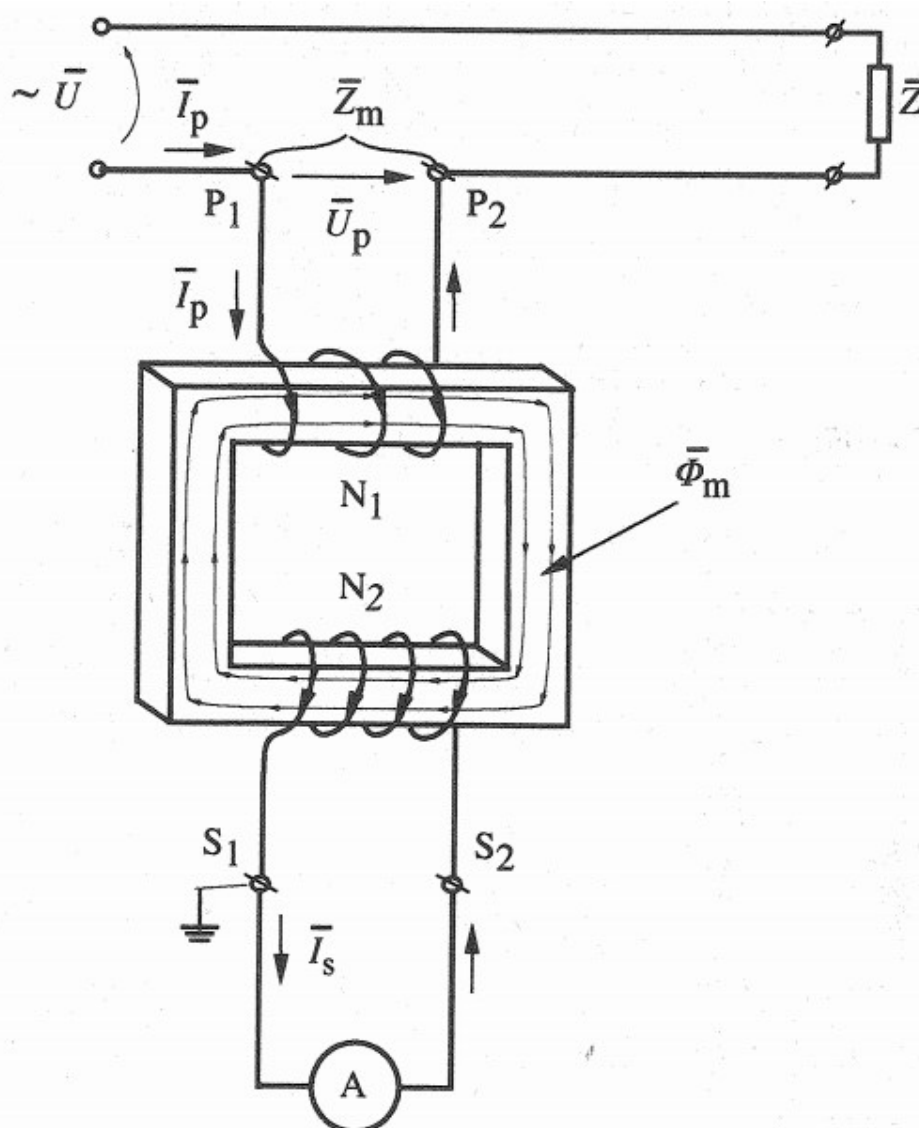
Taulukko 1. Mittaussydämelle sallitut virheiden maksimiarvot (IEC 61869-2, 2012. ABB, 2000)

Luokka	Virtavirhe ± %						Kulmavirhe ± min				
	$I_p = I_{pn}^*$						$I_p = I_{pn}^*$				
	0,01	0,05	0,2	0,5	1,0	1,2	0,01	0,05	0,2	1,0	1,2
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
0,2S	0,75	0,35	0,2		0,2	0,2	30	15	10	10	10
0,5		1,5	0,75		0,5	0,5		90	45	30	30
0,5S	1,5	0,75	0,5		0,5	0,5	90	45	30	30	30
1		3	1,5		1	1		180	90	60	60
3				3		3					
5				5		5					

3.2 Virtamuuntajan tehtävät, rakenne ja toiminta

Virtamuuntajien tehtävä on muuntaa ensiön virta mittalaitteelle tai releelle sopivaan arvoon. Lisäksi virtamuuntajan tarkoitus on myös eristää ja tehdä mahdolliseksi sijoittaa toisiopiiri ja sen mittarit ja releet kauaksi ensiöpiirin jännitteestä. (Aura & Tonteri, 1996)

Kuvassa 2 on esitetty virtamuuntajan kytkentä virtapiiriin. Lisäksi kuvasta käy ilmi muuntajan rakenneperiaate.



Kuva 2. Virtamuuntajan kytkentä- ja rakenneperiaate. (Aura & Tonteri, 1996)

Virtamuuntajan ensiökäämin tunnuksina käytetään P1 ja P2 (tai K ja L) ja toisiokäämin liittimien tunnuksina S1 ja S2 (tai k ja l). Mitattava kaapeli eli ensiökäämi N_1 kulkee kuvan 2 reiän läpi ja sitä mitataan toisiokäämin N_2 liittimistä.

Mittareiden ja releiden virtakäämit kytketään toisioliittimien välille sarjaan, jolloin ensiövirtaan verrannollinen toisiovirta kulkee niiden läpi. Virtamittari on merkitty kirjaimella A.

Toisiopiirin toinen liitin tulee maadoittaa, jotta toisiopiirin kojeet ja mittaajat eivät joudu alttiiksi ensiöpiirin jännitteelle tilanteessa, jossa ensiö ja toisiopiirin välissä oleva eriste pettää. Kuvassa 2 maadoitus on tehty pisteestä S1.

Ensiöpiirissä kulkee jännite U , joka yhdessä ensiöpiirin impedanssin Z ja Z_m kanssa määrää ensiön todellisen virran I_p . Tämä virta lasketaan kaavalla:

$$I_p = \frac{U}{Z + Z_m}, \quad (3)$$

jossa Z_m on virran mittauskojeiden impedanssi.

Virran mittauskojeiden impedanssi on kuitenkin oltava lähes nolla, jotta se ei muuttaisi olosuhteita mitattavassa virtapiirissä. Joten:

$$I_p \approx \frac{U}{Z}. \quad (4)$$

Virtamuuntajan rautasydän ja siten päävuo Φ_m lävistää toisiokäämin ja indusoi siihen pienen jännitteen, joka aiheuttaa todellisen toisiovirran I_s .

Virtamuuntajan häviöt ovat verrattain pienet, joten hyvin suurella tarkkuudella eli:

$$I_p N_1 \approx I_s N_2, \quad (5)$$

joten myös

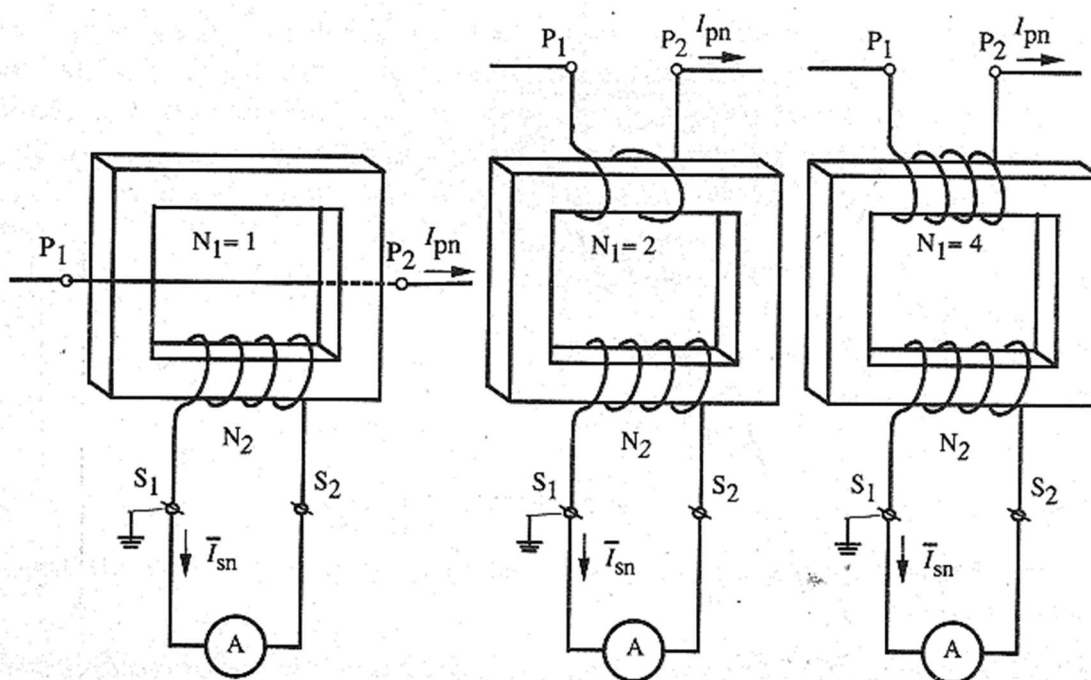
$$I_p \approx \frac{N_2}{N_1} I_s \approx k_n I_s, \quad (6)$$

Virtamuuntajien käyttö perustuukin siihen, että ensiövirran ja toisiovirran suhde on likimäärin vakio kaikilla virran arvoilla.

$$k_n = \frac{I_{pn}}{I_{sn}} \approx \frac{I_p}{I_s} \approx \frac{N_2}{N_1}, \quad (7)$$

Virtamuuntajina käytetään usein reikävirtamuuntajia. Ensiökäämi käämitään siis asennuksen yhteydessä. Toisiokäämi on muuntajan tekovaiheessa jo asennettu, joten N_2 on vakio.

Nimellismuuntosuhdetta pystyy muuttamaan siis ensiöjohtimen kierrosten määrällä virtamuuntajan läpi. Näitä kutsutaan ensiön lävistyksiksi. Tämä on esitetty kuvassa 3. (Aura & Tonteri, 1996)



Kuva 3. Reikävirtamuuntajan nimellismuuntosuhteen muuttaminen ensiöjohtimen kierrosmäärällä. (Aura & Tonteri, 1996)

Käytössä olevan virtamuuntajan toisiopiiriä ei pidä avata, koska silloin koko ensiövirta magnetoi sydäntä, joka kyllästyy nopeasti. Tilanteen jatkuessa virtamuuntaja saattaisi rikkoutua. Lisäksi virtamuuntajan toisiopuolen jännite kasvaisi merkittävästi ja rikkoi mittauslaitteet sekä asettaisi lähetyillä olevat ihmiset vaaraan. Tästä syystä virtamuuntajan toisiopiiriin ei myöskään asenneta sulakkeita, koska ne toimiessaan katkaisevat virtapiirin. (Mörsky, 1992; Aura & Tonteri, 2009; Halko ym. 1998)

Eli jos mittaustilanteessa jotain odottamatonta tapahtuu toisiopuolella, on virta aina katkaistava ensiöpuolelta. Mikäli mittari poistetaan virrallisesta toisiopiiristä, tulee toisiopiiri oikosulkea ensin. (Halko ym. 1998)

4 SÄHKÖENERGIAN MITTAUS

Sähköenergian mittauksen tarkoituksena on selvittää mittauspisteen ja sitä kautta käyttöpaikan sähköenergian kulutus. Sähköenergian kulutuksen mittaus on tapa selvittää energiantoimittajan laskutustarve. Lisäksi mittareilla käyttäjä pystyy tarkastelemaan sähkön kulutusta. (ST kortisto, 2015 ja 2021; Energiateollisuus, 2022)

Sähköenergian kulutusta pyritään mittaamaan energian toimituspisteessä. Joissakin erikoistapauksissa mittauspiste ja toimituspiste eroavat toisistaan. Kerros- ja rivitaloissa sähkömittarit sijaitsevat yleensä mittarikomeroissa tai sähköpääkeskuksessa. Omakotitaloissa sähkömittarit sijaitsevat yleensä sähköpääkeskuksessa, kuten tonttikeskuksessa. Keskijännitekäyttöpaikoissa sähkömittarit sijaitsevat yleensä muuntamossa tai sen lähetyvillä. Verkonhaltijan mittalaitteiden tulee sopia standardien mukaisiin keskusrakenteisiin ja asiakkaan sähkökeskuksen tulee olla mitoiltaan ja rakenteeltaan standardin mukainen. (Energiateollisuus, 2022; Kukkonen, 2015)

Sähköenergian mittauslaite täytyy asentaa pääsulakkeiden ja pääkytkimen väliin aina kun se on mahdollista. Uusissa keskuksissa tämä ei tuota ongelmaa, mutta vanhoihin keskuksiin muutos saattaa olla työläs. Kun mittauslaite asennetaan pääsulakkeiden ja pääkytkimen välille, siitä ei katkea jännite pääkytkimestä. Tässä tapauksessa mittauslaite tulee varustaa varoituskilvin, josta asia käy ilmi. (Energiateollisuus, 2022)

Sähköenergiaa voidaan mitata suorasti tai epäsuorasti. Suoralla mittaustavalla sähköenergia kulkee suoraan sähkömittarin läpi. Epäsuoralla mittaustavalla virta tai virta ja jännite muutetaan mittalaitteille sopiviin arvoihin. Taulukossa 2 esitetään mittarien ja mittamuuntajien tarkkuusluokat. (SFS 3381, 2014)

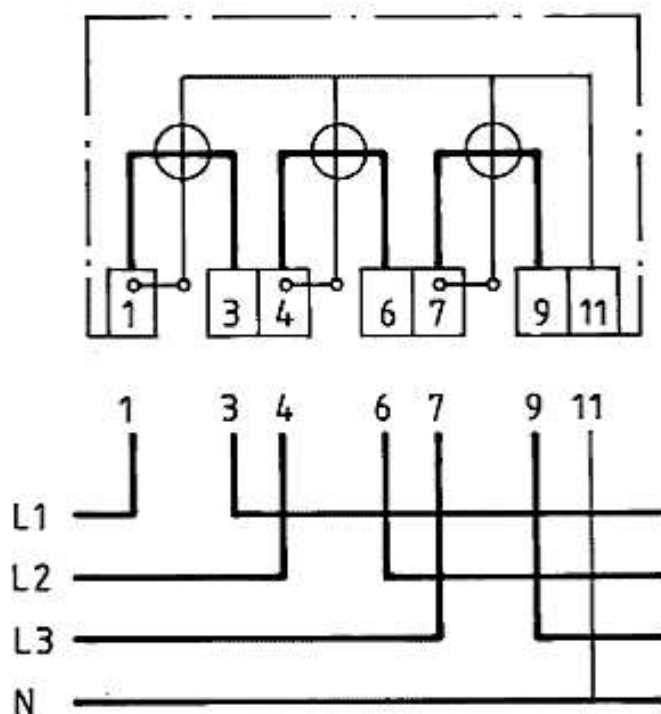
Taulukko 2. Mittarien ja mittamuuntajien tarkkuusluokat sekä jännitejohtimien sallitut jännitteen alenemat (SFS 3381, 2014)

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.

4.1 Suora mittaus

Suoraa mittausa käytetään uusissa pienjänniteliitymissä, joiden käyttöpaikan nimellisvirta on enintään 63 ampeeria ja vanhoissa asennuksissa kuormituksen kasvaessa enintään 80 ampeerin mitoitusvirtaan asti. Sähkölaitteet kytketään suoraan mittaukseen kuvan 4 mukaisesti. (SFS 3381, 2014)

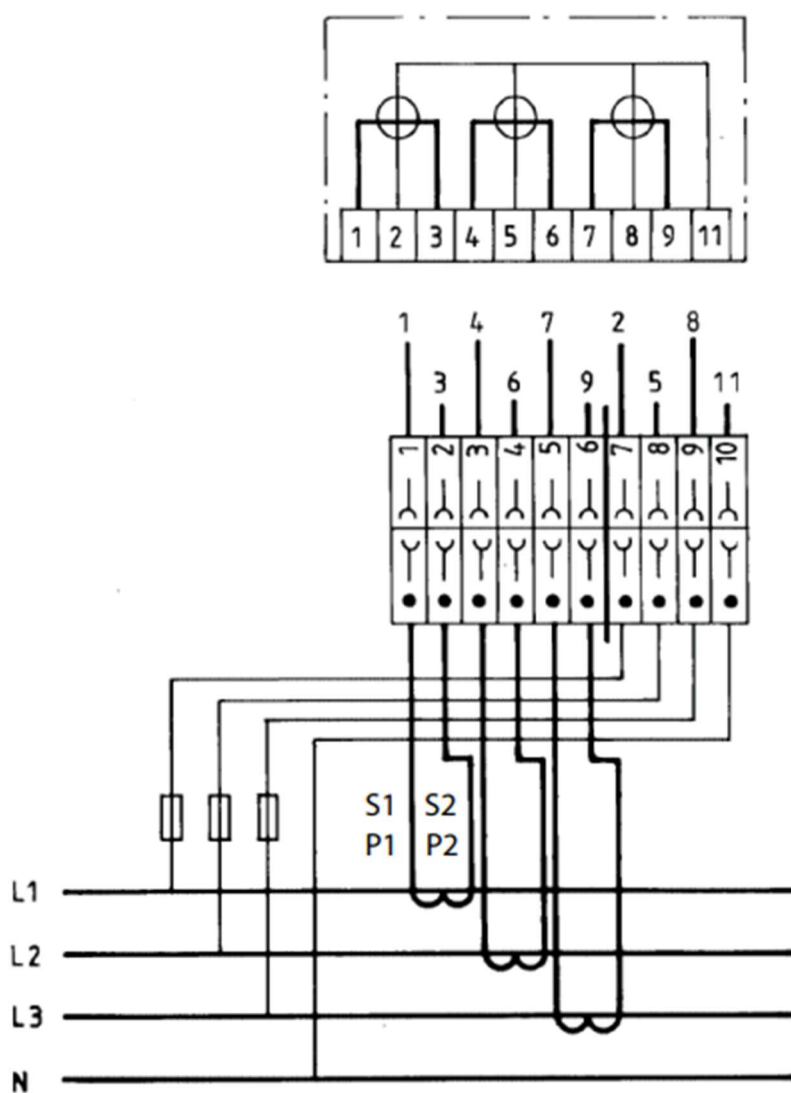


Kuva 4. Suora mittaus. (SFS 3381, 2014)

4.2 Epäsuora mittaus

Epäsuoraa mittausta käytetään virran mittaukseen tilanteissa, joissa käyttöpaikan nimellisvirta on 80 ampeeria tai enemmän. Suurjänniteliittymissä käytetään aina epäsuoraa mittaustapaa. (SFS 3381, 2014)

Epäsuorissa pienjännitemittauksissa virta muunnetaan helpommin mitattavaan muotoon käyttämällä kolmea virtamuuntajaa, eli jokaiselle vaiheelle omansa. Mitattavat johtimet tuodaan virtamuuntajien läpi siten, että teho kulkee virtamuuntajien merkintöjen P1 → P2 suuntaisesti. Toisiopiirissä vastaava tehonsuunta on S1 → S2. (Kukkonen, 2015) Mittari kytketään virtapiiriin kuvan 5 mukaisesti.



Kuva 5. Epäsuora mittaus. (SFS 3381)

5 EPÄSUORAN MITTAUKSEN TOTEUTUS

Mittausvirtamuuntajien ominaisuuksia määritellään standardissa SFS 3381 Vaihtosähköenergian mittaus, Mittauslaitteistot. Standardi käsittelee vaihtosähköenergian mittauslaitteistoja, joihin kuuluvat mittarit ja mittamuuntajat sekä mittauspiireihin liittyvät johdot, riviliittimet, merkinnät ja suojalaitteet.

Standardin SFS 3381 mukaan mittamuuntajina tulee käyttää standardien SFS-EN 61869-1, -2, -3 ja -5 mukaisia mittamuuntajia. Virtamuuntajien tarkkuusluokavaatimus on 0,2S. Lisäksi mittamuuntajien arvokilpien tulee olla luettavissa myös laitteistojen ollessa jännitteinen.

Mittamuuntajat on valittava siten, että mitattava virta vastaa 5–120 % ensiön nimellisvirrasta, kuitenkin niin, että virtamuuntaja vastaa mahdollisimman hyvin todellista käyttöaluetta. Virtamuuntajat asennetaan kaikkiin vaiheisiin ja kaikilla vaiheilla tulee olla omat paluuvirtajohtimet.

Mittamuuntajien pysyminen tarkkuusluokassaan edellyttää, että toisiopiirissä olevat laitteet valitaan siten, että ne muodostavat taakan, joka on 25–100 % mittamuuntajien toision nimellistaakasta. Taakka koostuu sähkömittarista, liitoksista, mittausjohtimista sekä mahdollisesta lisätaakasta.

Sähkömittarista vastaa sähköverkkoyhtiö, joka sen toimittaa. Sähkömittarin taakka tulee ottaa erityisesti huomioon käytettäessä staattisia mittareita tai kun induktiomittari vaihdetaan staattiseen.

Epäsuorassa mittauksessa tulee käyttää riviliittimiä, jotka voi katkaista. Katkaisukohdassa on oltava molemmilla puolilla pistokehylsyillä varustetut riviliittimet, joiden halkaisija on 4 mm. Katkaisukohdan on sijaittava mahdollisimman lähellä mittamuuntajia ja mittareita. Lisäksi liittimien tulee olla rinnan kytkettävissä muuntajien puolelta. Riviliittimien tai niiden asennustilan tulee olla sinetöitävissä.

Mittausjohtimien tulee olla poikkipinnaltaan 2,5 neliömillimetriä, ellei johtimien aiheuttama taakan lisäys tai niiden oikosulkukestoisuus edellytä suurempaa poikkipinta-alaa. Mittausjohdot valitaan asennustilaa koskevien vaatimuksen mukaisesti ja ne johdot, jotka asennetaan keskuksen ulkopuolelle, on asennettava selkeästi muista kaapeleista erilleen. (Energiateollisuus, 2022; SFS 3381, 2014)

6 VALMISTUSOHJE

Suunnittelijan on tarkoitus luoda keskusvalmistajalle dokumentti, jolla epäsuora sähkömittaus on selkeä toteuttaa. Valmistusohjeeseen on sisällytetty tiedot, joita keskusvalmistaja tarvitsee, jotka ovat:

- Virtamuuntajien sijoitus
- Virtamuuntajien tyyppi
- Virtamuuntajien toisiopuolen taakka

Näiden tietojen avulla sähkökeskuksen valmistajan on mahdollista toteuttaa sähkömittaus toimivaksi. Virtamuuntajat valitaan 230 voltin jännitteelle ja 50 Hertzin taajuudelle sopiviksi.

Opinnäytetyön osana oli Excel-laskentatyökalun luominen epäsuoran sähkömittauksen toisiopuolen taakan laskemiseen. Laskentatyökalun tarkoitus on olla helppokäyttöinen ja säästää näin suunnittelijan aikaa. Laskentatyökalu luo dokumentin, joka sisältää tarvittavat tiedot.

Excel-laskentatyökalun käyttöä varten oletetaan, että kohteeseen on tehty sähköliittymän mitoitus. Liittymän koko määrittää virtamuuntajan ensiön nimellisvirran. Virtamuuntajien toision nimellisvirran halutaan sähkömittauksessa usein olevan 5 ampeeria.

Epäsuoran mittauksen suunnittelua varten tulee tunnistaa kohde ja sen vaatimukset. Eri verkkoyhtiöillä on urakoitsijaohjeisiin merkitty suositukset virtamuuntajien muuntosuhteille. Taulukossa 3 on Energiategollisuuden ohjeellinen virtamuuntajien mitoitus pienjännitteellä.

Taulukko 3. Virtamuuntajien ohjeellinen mitoitus pienjännitteellä. (Sähkön mittauksen periaatteita.)

Mittauksen etusulake A	Muuntosuhde vaihtoehdot A/A	Ensiö lävistyksen kertoimet	Kytetty muuntosuhde A/A	Kerroin
3 x 50	50/5	1	50/5	10
3 x 63	75/5	1	75/5	15
tai	150/5	2	75/5	15
3 x 80	300/5	4	75/5	15
3 x 100	100/5	1	100/5	20
	200/5	2	100/5	20
	300/5	3	100/5	20
3 x 125	125/5	1	125/5	25
	250/5	2	125/5	25
3 x 160	150/5	1	150/5	30
	300/5	2	150/5	30
3 x 200	200/5	1	200/5	40
	400/5	2	200/5	40
3 x 250	250/5	1	250/5	50
3 x 315	300/5	1	300/5	60
3 x 400	400/5	1	400/5	80
3 x 500	500/5	1	500/5	100
3 x 630	600/5	1	600/5	120
3 x 750	800/5	1	800/5	160
3 x 800	800/5	1	800/5	160
3 x 945	1000/5	1	1000/5	200
3 x 1000	1000/5	1	1000/5	200
3 x 1250	1200/5	1	1200/5	240

Kun virtamuuntajan ensiön nimellisvirta on valittu, tarkistetaan, että kuinka monta ensiölävistystä tulee tehdä, jotta virta muuntuu 5 ampeeriin toisiopuolelle.

Virtamuuntaja valitaan valmistajan katalogista, josta tulee löytyä virtamuuntajan nimellistaakka, jolla virtamuuntaja toimii tarkkuusluokassaan. Virtamuuntajan toisiopuolen johdotuksen taakka lasketaan kaavalla:

$$S_n = I_{sn}^2 \cdot \rho \cdot \frac{l}{A}, \quad (8)$$

jossa:

- ρ on johtimen ominaisvastus ($\Omega/\text{mm}^2/\text{m}$), joka kuparilla on 0,0175 $\Omega/\text{mm}^2/\text{m}$.
- l on johtimen pituus (m)

- A on johtimen poikkipinta-ala (mm^2)

Yksiköt ovat sulkeissa. (Energiateollisuus, 2022)

Kuitenkin valmistusohjeessa on tarkoitus laskea johtimien pituus, jotta saadaan tarvittava taakka aikaiseksi. Johtimien pienin ja suurin mitta on laskettava erikseen. Nämä lasketaan kaavoilla:

$$l = \frac{A \cdot ((S \cdot 0,25) - S_m - S_l)}{I_{SN}^2 \cdot \rho} \quad (9)$$

ja

$$l = \frac{A \cdot ((S \cdot 1) - S_m - S_l)}{I_{SN}^2 \cdot \rho}, \quad (10)$$

joissa S_m on sähkömittarin aiheuttama taakka ja S_l on toisiopuolen liitoksien aiheuttama taakka.

Tämä dokumentti lähetetään verkkoyhtiölle, joka varmistaa tietojen oikeellisuuden ja antaa luvan virtamuuntajamittauksen toteuttamiseksi sähkökeskukseen. Virtamuuntajat asentaa sähkökeskuksen valmistaja tai sähköurakoitsija.

7 POHDINTA

Opinnäytetyössä perehdyttiin sähkön mittauksen tarkoitukseen ja sen vaatimuksiin. Lisäksi tutustuttiin sähkön mittauksen toimintaan, rakenteeseen ja komponentteihin.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda Excel-laskentatyökalu, joka luo valmistusohjeen epäsuoran sähkönmittauksen toteuttamiseen. Laskentatyökalun tavoitteena on säästää sähkösuunnittelijoiden aikaa ja luoda aina dokumentti samalla ulkoasulla lähetettäväksi eteenpäin.

Opinnäytetyötä tehdessä ymmärtäminen aiheeseen liittyen kasvoi huomattavasti, vaikka joillain kursseilla virtamuuntajien toimintaa ja sähkönmittausta onkin selvitetty. Lisäksi opinnäytetyön projektiosuuden tekeminen opetti minua käyttämään Exceliä paremmin.

Vaikka sähkön mittaus kehittyy, niin se tarkoittaa lähinnä sitä, että sähkömittarit muuttuvat etäluettavammiksi ja tietoa sähkön kulutuksesta rekisteröidään tiheämmin ja raportoidaan asiakkaan luettavaksi paremmin. Virtamuuntajat ja niiden mitoittaminen todennäköisesti pysyvät samanlaisina vielä pitkään.

LÄHTEET

ABB. 2000. ABB:n TTT- Käsikirja. Helsinki: ABB Oy.

Ahoranta, J. 2015. Sähkötekniikka. 14. painos. Helsinki: Sanoma pro Oy.

Aura, L. & Tonteri, Antti J. 1986. Sähkämiehen käsikirja 2. Sähkökoneet. Porvoo: WSOY.

Aura, L. & Tonteri, Antti J. 1996. Sähkökoneet ja tehoelektronikan perusteet. 1. painos. Porvoo: WSOY.

Aura, L. & Tonteri, Antti J. 2009. Teoreettinen sähkötekniikka. 3.–6. painos. Helsinki: WSOYpro Oy

Energiateollisuus. 2022. Sähkön mittauksen periaatteita.

Halko, P., Launonen, H., Malinen, R. & Välimaa, T. 1998. Sähkönmittaustekniikka. 3.–5. painos. Helsinki: Oy Adita Ab.

IEC 61869-2. 2012. Mittamuuntajat – Osa 2: Lisävaatimukset virtamuuntajille. Luettu 23.3.2022

Koivuniemi, M. Ilmajoen sähkökoje: Suunnittelija. 2021. Haastattelu 16.11.2021. Haastattelija Aaltonen, V. Tampere.

Kukkonen, T. 2015. Energiamittauksen laadun kehittäminen. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Insinööriyö.

Lindeman, K. & Sahinoja, T. 2000. Sähkämittaustekniikan perusteet. 1. painos. Helsinki: WSOY.

Mörsky, J. 1992. Relesuojaustekniikka. 2. painos. Hämeenlinna: Karisto Oy

SFS 3381. 2014. Vaihtosähköenergian mittaus. Mittauslaitteistot. 4. Painos. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS. Luettu 23.3.2022. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/fi/index.html.stx>

SLO. n.d. Virtamuuntajat. <https://verkkokauppa.slo.fi/fi/virtamuuntaja-o-28mm-hf4b-250-5-a-2-va-lk-0-2s-6710782>

ST kortisto. 2015. ST 21.34, Ohjeita energiamittausten ja energianhallintajärjestelmien toteutukseen. Espoo: Sähköinfo Oy.

ST kortisto. 2021. ST 11.24, Verkkopalveluehdot. Espoo: Sähköinfo Oy.

LIITTEET

Liite 1. Valmistusohje sähkökeskuksen epäsuoralle energiamittaukselle. (Luottamuksellinen)

