

Hannu Solmari

PIENKIINTEISTÖN SÄHKÖVERKKO  
NOLLAVIAN AIKANA JA  
PERUSTILASSA

Opinnäytetyö  
Sähkötekniikka


Huhtikuu 2016



MAMK

University of Applied Sciences

## KUVAILULEHTI


	<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b>  Huhtikuu 2016	
<b>Tekijä(t)</b> Hannu Solmari	<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b> <b>Sähkövoimatekniikka</b>	
<b>Nimeke</b>  Pienkiinteistön sähköverkko nollavian aikana ja perustilassa		
<b>Tiivistelmä</b> Opinnäytetyössä vuorokausi jaettiin viiteen sähköenergian käytön suhteen erilaiseen 3 tunnin aikajaksoon (aamu, päivä, iltapäivä, ilta ja yö). Verkon normaalin tilan selvittämistä varten tehtiin verkkoanalyysaattorilla (Metrel 2070) 5 vuorokauden ja 7 tunnin mittaus. Mittauksen antamista tiedoista selvitettiin aikajaksojen keskimääräiset jännitteet, impedanssit ja virrat eri vaiheissa. Mittausten ja laskentojen perusteella havaittiin, että impedanssit ja sähkövirrat olivat erilaiset aikajaksoissa. Pientalon sähköverkko oli myös selvästi epäsymmetrinen  Virrat, jännitteet ja tehot selvitettiin nollajohtimen irrottua. Verkolla ei ollut yhteyttä maadoituselektrodiin. Tällaisessa vikatilanteessa virrat, jännitteet ja tehot laskivat normaalitilaan verrattuna vaiheissa, joissa impedanssi oli pieni. Vaiheissa, joissa oli suuri impedanssi, virrat, jännitteet ja teho suurenivat verkon normaalitilaan verrattuna. Jännitteet ja teho nousevat niin paljon, että laitevauriot ja oikosulut mahdollistuvat. Seurauksena voi syntyä laitepaloja.  Kyselytutkimuksessa kävi ilmi, että nollavika sähköverkossa on vähän tunnettu ja vain pieni osa tutkimukseen osallistuvista tiesi mitä nollavika tarkoittaa ja miten pitää toimia vian aikana. Suurin osa tutkimukseen osallistuneista tiesi kuitenkin mistä sähköt saa kotona pois päältä. Ihmisten tietoa nollaviasta tulisi lisätä, koska nollavika ei kuitenkaan ole kovin harvinainen ilmiö ja siihen liittyy niin paljon vaaroja.  Nollavian tuomilta vaurioilta voi suojautua pienentämällä verkon epäsymmetrisyyttä, koska silloin jännitteet, virrat ja tehot eivät nouse niin suuriksi. Henkilövahinkojen estämiseksi kiinteistö tulisi liittää viidellä johdolla siirtoverkkoon. Suojamaaverkon kunto pitää olla hyvä ja maadoituselektrodin yhteydestä maapotentiaaliin pitäisi varmistua mittaamalla jatkuvuus arvot. Kuntotarkistuksien yhteydessä pitäisi keskuksen liittimet tarkistaa ja kiristää. Nollavian aikana syntyneiden verkkovikojen löytämisen varmistamiseksi pitäisi kiinteistössä suorittaa käyttöönottotarkastus, koska johtimissa on saattanut syntyä vaurioita jotka eivät ole muuten havaittavissa. Laitteet tulee myös tarkastaa aistinvaraisesti ja mittaamalla. Laitteiden kuntoa ja toimivuutta tulisi seurata pitemmän aikaa (1-2kk).		
<b>Asiasanat (avainsanat)</b> pienjänniteverkko perustilassa, nollajohdin irti, jännite, impedanssi, sähkövirta, epäsymmetrisyys, virta nollajohtimessa, maadoitus elektrodi		
<b>Sivumäärä</b> 83	<b>Kieli</b> suomi	<b>URN</b>
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b> Liitteissä on 5 vuorokauden ja 7 tunnin kestäneen pientalon verkkomittauksien tulokset 15 minuutin mittausjaksoista jännitteet, virrat, tehot eri vaiheissa		

**Ohjaavan opettajan nimi**

Hannu Honkanen

**Opinnäytetyön toimeksiantaja**

## DESCRIPTION

		<b>Date of the bachelor's thesis</b>  April 2016
<b>Author(s)</b>  Hannu Solmari	<b>Degree programme and option</b> Electrical engineering	
<b>Name of the bachelor's thesis</b> The electrical grid of the small house during disconnected neutral and normal situation		
<b>Abstract</b> The purpose of the thesis was to investigate the variations of certain electrical quantities in a small house grid within the space of twenty-four hours. The five 3-hour periods of time included (morning 06-09 am, noon 10 am -01 pm, afternoon 03 - 06 pm, evening 07-10 pm and night 01- 04 am) were different in the use of electrical energy. To find out the normal state of the grid measurements were taken altogether for 5 days and 7 hours using a grid tester (Metrel 2070). The data provided the basis for calculating the average phase values for voltage, impedance and current during the respective 3-hour periods. The result of the measurements and calculations was that impedance and current varied during the periods. A small house grid was also clearly asymmetric.  The current, voltage and power for each period were determined when the neutral conductor was disconnected and there was no connection to the earth electrode. In a fault situation like this current, voltage and power fell compared to phases with low impedance. In phases with high impedance, the opposite was true, current, voltage and power increased compared to the normal state of the grid. Voltage and power rise to the extent that they can cause damage to electrical devices and lead to short circuits. Even fires are possible.  The poll indicated that the situation when the neutral conductor is disconnected is little known and only a few of those polled knew what it means and how to act. However, most people knew the location for the mains switch in the house. People's knowledge in this respect should be increased because the kind of fault situation described above is not a very rare phenomenon at all and involves a lot of danger. It is possible to protect oneself from the damage related to disconnect neutral by reducing the asymmetry of the grid. As a result, voltage, current and power doesn't exceed safe values. The protective earthing system has to be in good condition and the connection between the earth electrode and the ground potential has to be checked by measuring the continuity values. Tightening and checking on the condition of the couplers of the consumer unit ought to be part of maintenance inspections. A commissioning verification should determine whether the grid is in a satisfactory condition for service. Damage to wiring during disconnected neutral may otherwise remain unnoticed. The equipment should also be subjected to sensory assessment and testing and its condition and functioning ought to be observed for a longer period of time (1 - 2 months).		
<b>Subject headings, (keywords)</b> a low voltage grid, a disconnected neutral, voltage, impedance, electrical current, asymmetry, the current of the neutral, an earth electrode		
<b>Pages</b> 83	<b>Language</b> finish	<b>URN</b>
<b>Remarks, notes on appendices</b> The currents of the phases		
<b>Tutor</b>  Hannu Honkanen	<b>Bachelor's thesis assigned by</b>	

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	1
2	AINEISTOT JA MENETELMÄT SEKÄ TYÖN TEKEMISESSÄ KÄYTETTYJÄ SÄHKÖFYSIKAALISIA ILMIÖITÄ JA LASKUKAAVOJA.....	2
2.1	Kolmivaihejännite.....	3
2.2	Vaihevirrat .....	5
2.3	Impedanssit .....	10
2.4	Sähköturvakysely.....	11
2.5	Nollavian aiheuttamat laitevauriot.....	12
3	ERILAISIA PIENTALOJEN SÄHKÖVERKKOJÄRJESTELMIÄ JA NOLLAVIAN AIHEUTTAMAT VAARAT NIISSÄ.....	13
3.1	TN-järjestelmät .....	13
3.2	TN-C .....	13
3.3	TN-S-järjestelmä.....	15
3.4	TN-C-S-järjestelmä.....	17
3.5	Yhteen veto erilaisten pienjänniteverkkojen tuottamista vaaroista nollavian aikana .....	18
4	MITTAUKSIA, JÄNNITTEITÄ, VIRTOJA ERILAISSA KUORMITUKSISSA JA NOLLAVIAN AIKANA PIENTALOSSA.....	18
4.1	Jännitteitä pientalon sähköverkossa perustilassa .....	19
4.2	Impedansseja pientalossa eri kuormituksissa .....	25
4.2.1	Impedanssit aamulla.....	29
4.2.2	Impedanssit päivällä.....	31
4.2.3	Impedanssit iltopäivällä .....	32
4.2.4	Impedanssit illalla .....	33
4.2.5	Impedanssit yöllä .....	33
4.3	Eri vaiheiden sähkövirrat pientalossa aika jaksoissa perustilassa ja nolla vian aikana .....	36
4.3.1	Virrat aamulla perustilassa ja nollavian aikana .....	40
4.3.2	Virrat päivällä perustilassa ja nollavian aikana .....	44
4.3.3	Virrat iltopäivällä perustilassa ja nollavian aikana .....	46
4.3.4	Virrat illalla perustilassa ja nollavian aikana .....	49
4.3.5	Virrat yöllä perustilassa ja nollavian aikana .....	52

4.4	Sähköturvakyselyn tuloksia.....	55
4.5	Rikkoontuneissa laitteissa havaitut viat.....	59
5	TULOSTEN TARKASTELUA.....	62
5.1	Aikajaksojen vaikutus tuloksiin.....	62
5.2	Mittauksien tuottama kuva verkon normaalitilasta.....	64
5.2.1	Jännitteet .....	64
5.2.2	Impedanssit .....	66
5.2.3	Virrat .....	69
5.3	Verkon ominaisuuksia nollajohtimen irrottua .....	71
5.3.1	Impedanssit nolla vian aikana.....	72
5.3.2	Virrat nolla vian aikana.....	73
5.3.3	Jännitteitä ja tehoja nollajohtimen irrottua .....	77
5.4	Kyselytutkimuksen tuottama tieto .....	81
6	YHTEENVETOA JA KEHITTÄMISEHDOTUKSIA.....	82
	LÄHTEET .....	84

## LIITE

1. Eri vaiheiden virrat mittausaikana 15.11.2015 – 20.11.2015

## 1 JOHDANTO

Päättötyöni tarkoituksena on tutkia pientalon sähköverkon nollavian seurauksena tapahtuvia fysikaalisia muutoksia ja mitä sähköjärjestelmässä tapahtuu vian aikana. Nollavika on tilanne, jossa kiinteistön nollaverkon yhteys liittymän nolla verkkoon on katkennut tai yhteys on huonontunut. Pienempi alainen nollavika syntyy, kun osassa kiinteistön sähköverkossa on nollajohtimen jatkuvuudessa vikaa tai sitä ole ollenkaan ei ole. Nollajohdin on yhdistetty nollakiskoon, ja siinä esiintyy sähkövirtaa.

Opinnäytetyön tavoitteena on myös selvittää nollavian vaikutuksia erilaisissa sähköverkoissa, koska Suomessa on olemassa monenlaisia järjestelmiä eri-ikäisissä rakennuksissa ja vahinkoalttius ja nollavian vaarallisuus riippuu järjestelmästä. Nollavian aikaista verkon tilaa ei voi kunnolla selvittää, jos ei tunneta tutkittavan verkon käyttäytymistä normaalitilanteessa. Tästä johtuen pienikiinteistön sähköverkon toimintaa tutkittiin perusteellisesti. Vuorokausi jaettiin viiteen aikajaksoon. Aikajaksoista selvitettiin jännitteet, impedanssit ja virrat eri vaiheissa. Nämä tulokset olivat pohjana nolla vian aikaiselle verkon tilan kuvaukselle.

Työn tavoitteena on myös selvittää sähkön kulkua nollavian aikana, koska jännite ja virtojen kulku poikkeaa paljon normaalitilanteesta. Jännitteet vaihtelevat koko ajan eri vaiheissa ja ryhmissä. Valot palavat kirkkaasti ylijännitteen aikana ja himmeästi alijännitteen aikana. Verkot ovat yleensä epäsymmetrisiä, ja vaihevirtojen summavirta pääsee nollajohdinta myöden pois kiinteistön verkosta. Vian aikana virrat joutuvat hakemaan uusia reittejä. Nollavikaa ei yleisesti tunneta ja sen tuottamat vaarat ovat vain harvojen tiedossa. Toiminta nollavian aikana on myös huonosti tunnettu. Työn yhdeksi merkittäväksi aihealueeksi tuli nollavikojen estämisen ja vahinkojen vähentämisen mahdollisuudet.

Erilaiset mittaukset ja havainnot sähköverkon toiminnasta tehtiin hyvinkäläisestä omakotitalosta, joka sijaitsee Mustanmännistön pientaloalueella noin 2 km päässä kaupungin keskustasta. Mustanmännistön alueella alkoi rakentaminen toisen maailmansodan jälkeen. Alueelle asettui siirtokarjalaisia ja Valtion Rautateiden konepajan työntekijöitä. Pääasiallinen rakennus tyyppit olivat rintamamiestalot. Alue oli valmiiksi rakennettu 1950 luvun aikana.

Alueen sähköverkko muodostui ilmajohdoista ja muuntajarakennuksista, jotka sijaitsevat muutaman sadan metrin päässä toisistaan. Alueelle tehtiin osittainen sähköverkon uusiminen 2000-luvun alussa vesi- ja viemäriverkoston saneerauksen yhteydessä. Ilmajohdot poistettiin ja siirryttiin maakaapelointiin. Lisäksi alueelle rakennettiin katujakokeskukset. Talon harjan alapuolella oleviin ilmajohtoliittimiin laitettiin maakaapeli. Liittimiä ei todennäköisesti uusittu.

Rakennuksessa on kaksi eri-ikäistä osaa. Vanhempi rakennus valmistui vuonna 1954. Asumispinta-alaa kahdessa kerroksessa on 87 m<sup>2</sup>. Vanhan osan sähköverkko on ollut TN-C tyyppinen. Sähköverkkoa on kuitenkin uudistettu vähän kerrallaan. Suurempi uudistus tehtiin 80-luvun alussa, jolloin taloon asennettiin suora sähkölämmitys puulämmityksen lisäksi. Sähkölämmitys on nyt pääasiallinen lämmitysmuoto ja puulämmityksen osuus on 20 - 30 % lämmitysenergiasta. Suoran sähkölämmityksen tullessa asennettiin rakennukseen perusmaadoituselektrodi ja vaihdettiin pääkeskus. Aikaisemmin maadoituselektrodina olivat toimineet putkistot, joihin maadoituksia oli kiinnitetty. Nykyään kaikki ryhmäjohdot ovat omalla suojamaajohtimella varustettuja. Ainoastaan keskuksessa on yhteisiä PEN-kiskoja.

Uudempi rakennus rakennettiin 2000-luvun alussa. Pinta-alaa on 60 m<sup>2</sup>, ja rakennus on yksikerroksinen. Sähköverkkojärjestelmä on TN-S-tyyppinen. Uudemmassa rakennuksella on oma ryhmäkeskus. Uudemmassa rakennuksessa sijaitsee paljon sähköenergiaa vaativia toimintoja, kuten keittiö, suihkuhuone ja kulkuväylät rakennukseen lattialämmityksineen. Piharakennuksessa on sauna ja autotalli, jossa sähköverkon rakenne on TN-S-tyyppinen. Rakennuksella ei ole omaa perusmaadoituselektrodia. Sähköenergian kulutus vuodessa on 20000 - 24000 kWh. Sähkön vuosienenergian määrä on ollut laskussa asujien määrän vähentyessä ja lämpimien talvien johdosta.

## **2 AINEISTOT JA MENETELMÄT SEKÄ TYÖN TEKEMISESSÄ KÄYTETTYJÄ SÄHKÖFYSIKAALISIA ILMIÖITÄ JA LASKUKAAVOJA**

Työn havaintoaineistoksi muodostui yli viisi vuorokautta kestänyt verkon tilan mittaus. Mittauksessa kertyi 510 kappaletta 15 minuutin mittausjaksoa, joista saatiin hyvä pohja verkon tilaa kuvaavien suureiden laskentaan. Laskennalla haluttiin



selvittää verkon normaalitilaa eri vuorokauden hetkinä ja samoilta aikajaksoilta verkon tilaa nollajohtimen ollessa irti.

## 2.1 Kolmivaihejännite

Vaihtovirtageneraattoriin muodostuu lähdejännite, joka mahdollistaa myös sähkövirran muodostumisen. Generaattorin käämien johdinsilmukoihin indusoituu lähdejännite, koska magneettivuo muuttuu johdinsilmukoiden sisällä. Lähdejännitteen (e) suuruus riippuu:

- kelan johdinkierrosluvusta (N)
- magneettivuon tiheydestä (B)
- silmukoiden pinta-alasta magneettikentässä (A), joka on riippuvainen silmukan asennosta kierto liikkeen aikana.  $A = A \cos \omega t$
- kulmanopeudesta ( $\omega$ )
- ajasta (t).

Saadaan seuraava yhtälö:

$$e = -NBA \frac{d}{dt} \cos \omega t \quad (1)$$

Tästä yhtälöstä saa hetkellisarvon lausekkeen derivoinnin jälkeen

$$e = NBA \omega \sin \omega t \quad (2)$$

Huippuarvo ( $e_0$ )

$$e_0 = NBA \omega \quad (3)$$

Ja aikaisemmista yhtälöistä voi muodostaa hetkellisarvon yhtälön, jos huippuarvo tiedetään.

$$e = e_0 \sin \omega t \quad (4)$$

/2, s. 42./

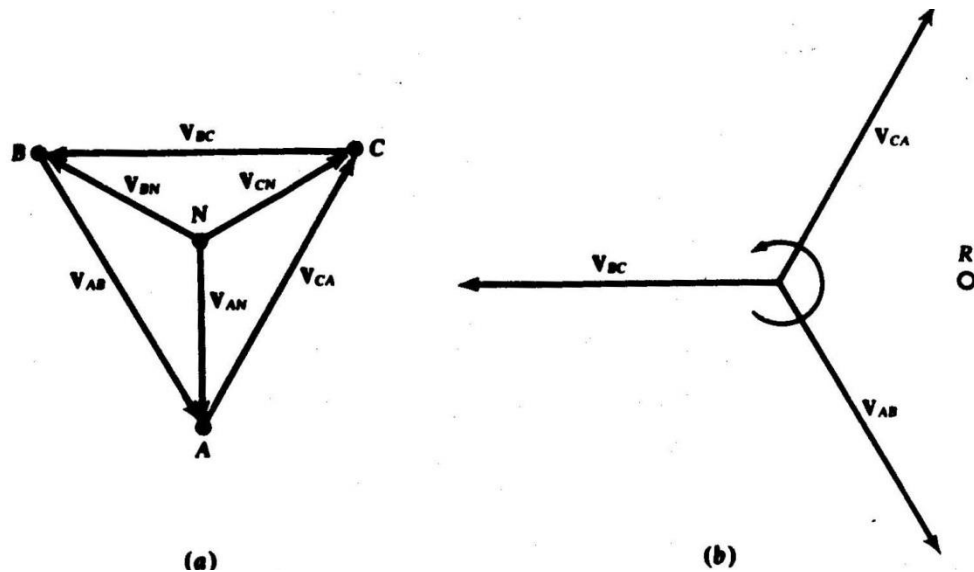
Yleensä pientalojen jännitteenä käytetään tehollisarvoa, joka saadaan kaavasta

$$U_{\text{eff}} = \frac{e_0}{\sqrt{2}} \quad (5)$$

Vaihtovirran jännitteen tehollisarvo siirtää energiaa vastuksessa lämpöenergiaksi yhtä paljon kuin jännitteeltään samansuuruinen tasavirta.

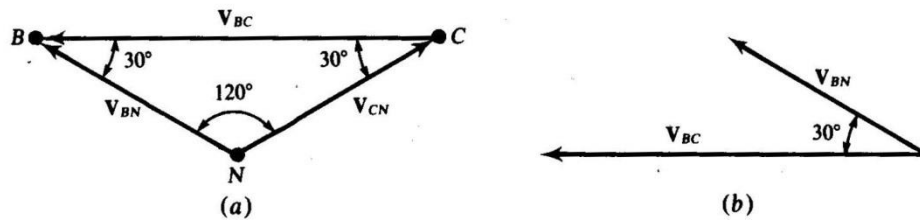
Tavallisesti pientaloihin tulee kolmivaiheista sinimuotoista vaihtojännitettä, jonka tekee kolmivaiheinen vaihtovirta generaattori. Generaattorin pyörintänopeus on sellainen (3000 rpm), että sen tuottaman sinimuotoisen jännitteen jakson aika on 20 ms ja taajuus 50 Hz. Vaihejännitteet pienenevät lähimmällä muuntajalla 1kV

tehollisarvoltaan noin 230 V ja huippuarvoltaan noin 325 V. Vaiheiden välillä on  $120^\circ$  kulma, joka on eri vaiheiden välinen vaihe siirtymä (kuva 1). Vaihejärjestys on ABC, joka on todettu mittaamalla. Vaiheiden väliseksi eli pääjännitteeksi muodostuu tehollisarvoltaan noin 400 V ja huippuarvoltaan noin 563 V. Pääjännitteiden ja vaihejännitteiden vektorit ja kulmat näkyvät kuvassa 1. /3, s. 387./



**KUVA 1. Vaihe- ja pääjännitteet sähköverkossa**

$V_{AN}$ ,  $V_{BN}$ ,  $V_{CN}$  ovat vaihejännitteitä ja  $V_{AB}$ ,  $V_{CA}$ ,  $V_{BC}$  ovat pääjännitteitä /3, s. 387/. Kuvasta 1 voi huomata, että pääjännitteiden väliset kulmat ovat myös  $120^\circ$ . Vaihejännitteen ja pääjännitteen välinen kulma on  $30^\circ$ . Kulma perustuu kolmion kulmien summa lauseeseen. Kolmion kulmien summa on  $180^\circ$  (kuva 2). Vaihejännitteiden välinen kulma on  $120^\circ$  ja niitä yhdistää pääjännitevektori. Vaihejännitevektorit ovat samansuuruiset, tästä seuraa se, että vaihe- ja pääjännitteen väliset kulmat ovat yhtä suuret ja suuruudeltaan  $30^\circ$ .



**KUVA 2. Pää- ja vaihejännitteiden väliset kulmat ja osoitinvektorit**

$V_{BN}$ ,  $V_{CN}$  ovat vaihejännitteitä ja  $V_{BC}$  on pääjännite /3, s. 388./

Tähän kolmioon perustuu vaihejännitteen ja pääjännitteen vektorien suhde, joka on muodostettu sinilauseen perusteella.

$$\frac{V_{BC}}{V_{BN}} = \frac{\sin 120^\circ}{\sin 30^\circ} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2}}{\frac{1}{2}} = \sqrt{3} \quad /3, s. 389./ \quad (6)$$

Lauseesta (3) ilmenee, että pääjännitteen suuruus saadaan kertomalla vaihejännite  $\sqrt{3}$ :lla, koska pääjännitteen ja vaihejännitteen suhde on  $\sqrt{3}$ .

Työssä esiintyvät jännitearvot ovat tehollisarvoja. Huippuarvot nousevat tehollisarvoja suuremmiksi, koska ne saadaan kertomalla tehollisarvot  $\sqrt{2}$ . Vaihejännite nousee huippuarvossa 325V ja pääjännite 563V. Jos jännitteiden tehollisarvot vaihtelevat voimakkaasti suurempiin arvoihin, voi huippuarvot olla hyvin suuria.

Nollavian aikaisia virtoja laskettiin silmukka menetelmään perustuvilla laskumenetelmillä. Menetelmää esitellään myöhemmin kohdassa (2.3). Nollavian aikainen jännite on verkon alussa pääjännite.

## 2.2 Vaihevirratt

Kolmivaihegeneraattorien muodostamat sähkökentät mahdollistavat sähkövirran kulun johtimissa. Positiivisesti varatut hiukkaset liikkuvat sähkökentän suuntaan ja negatiiviset hiukkaset sähkökenttää vasten. Sähkövirta kulkee johtimen pinnassa, koska negatiivisesti varatut vapaat elektronit ovat liikkuneet johtimen pintaosiin. Elektronit liikkuvat johteen pintaosiin, koska niiden välillä olevat poistovoimat ajavat ne mahdollisimman kauas toisistaan. /4, s. 257./ Näin ollen johteen sisällä ei ole sähkökenttää. Johtimen pinnalla elektronit liikkuvat positiivisen navan suuntaan. Sähkövirran suunta on korkeammasta potentiaalista alempaan.

Vaihtovirrassa sähkövirran suunta vaihtelee, koska samassa vaiheessa on positiivinen puolijakso ja amplitudiltaan samansuuruinen negatiivinen puolijakso. Vaihtovirtageneraattorissa napaisuus vaihtelee, koska käämiin indusoituneen lähdejännitteen suunta vaihtuu jakson puolivälissä. Jakson alussa magneettivuo suurenee ja käämi vastustaa sitä ja indusoitunut virta ja jännite ovat vastasuuntaisia. Puolijakson jälkeen magneettivuo pienenee käämin silmukoiden sisällä ja käämi vastustaa pienenemistä ja muodostaa lähdejännitteen myötäsuntaan. Molemmissa puolijaksoissa varattuun hiukkaseen kohdistuu yhtä suuret sähkökentän voimat. Suunta vain vaihtuu, mutta kulkeutuva sähköenergian määrä on yhtä suuri puolijaksoissa.

Vaihevirit voidaan laskennallisesti määrittää Ohmin lakiin perustuvilla laskukaavoilla.

$$\text{Ohmin laki: } U = IR \quad (7)$$

$U$  = jännite,  $I$  = sähkövirta,  $R$  = vastus, resistanssi

$$I = \frac{U}{R} \quad (8)$$

Kun on kysymys vaihtovirrasta, vaihdetaan vastus ( $R$ ) yleensä impedanssiksi ( $Z$ ). Vaiheiden virtoja laskettaessa pitää tietää jännite- ja impedanssivektorit.

$$\bar{I} = \frac{\bar{U}}{\bar{Z}} \quad (9)$$

Jännitevektorit yleensä tunnetaan, koska jännitevaihtelut eivät ole kovin suuria sähköverkossa ja niiden kulmat ovat tiedossa (kuva 1). Impedanssit sitä vastoin vaihtelevat runsaasti, koska kotitalouksissa laitteiden käyttö on epäsäännöllistä ja kuormat toimivat toisistaan riippumattomasti. Yleensä kotitalouksien sähköverkko on epäsymmetrinen.

Vaihevirtojen selvittyä, voidaan laskea nolla johtimen virta (kaava 10). Epäsymmetrian suurentuessa kasvaa myös nollajohtimen virta. Nollajohdin on yhdistetty järjestelmän nollapisteeseen ja on kykenevä siirtämään sähköenergiaa /1, s. 55./ . Yleensä nollajohtimen virta on pienempi kuin eniten kuormitetun vaiheen virta.

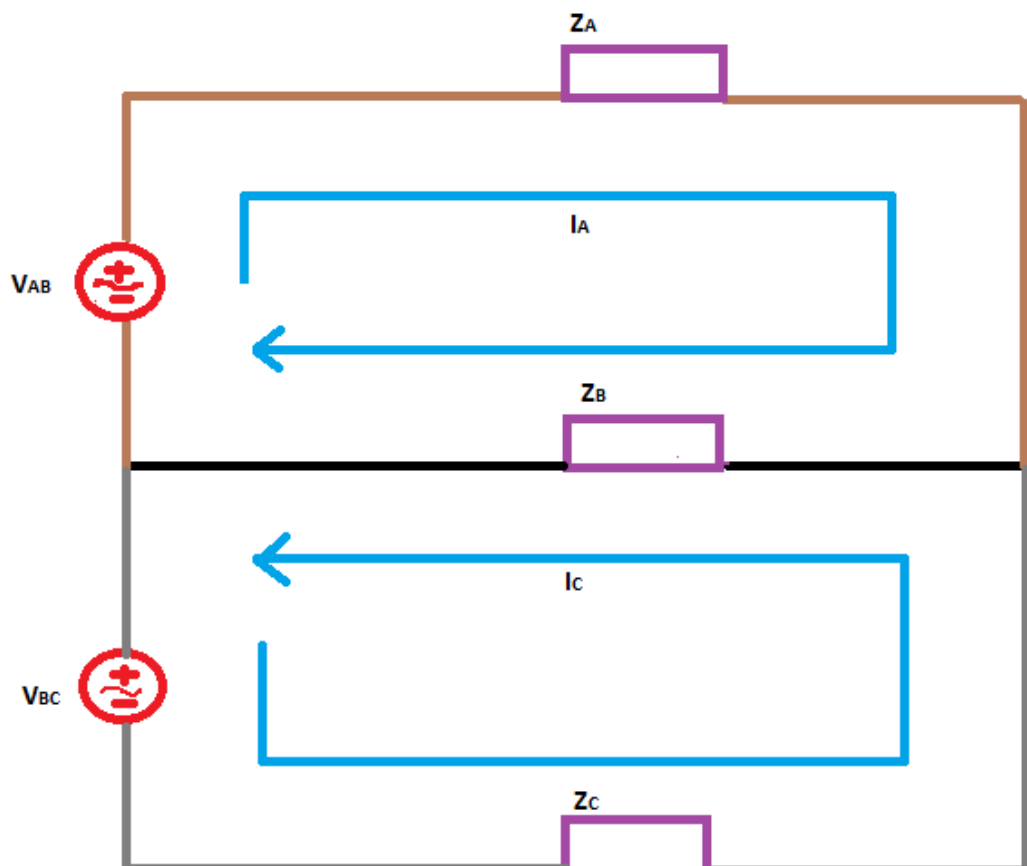
$$\bar{N}_0 = \bar{I}_1 + \bar{I}_2 + \bar{I}_3 \quad (10)$$

$\bar{I}_1, \bar{I}_2, \bar{I}_3$  ovat vaihevirtavektoreita

Vaihe- ja nollajohtimen virtojen laskemista varten Excel-ohjelmaan laadittiin yhtälöt ja taulukot. Taulukoista valittiin yhtälöihin jännite- ja impedanssiarvot.

Metrel-verkkoanalyysattorilla mitattiin yli 5 vuorokauden ajan vaihevirtoja, ja niistä tuloksista määritettiin myös epäsymmetrisyyttä ja nolla johtimen virtoja. Virtapihdit olivat asetetut pääkytkimelle tuleviin vaihejohtimiin. Ihan pieniä virtoja mittari ei havainnut, niissä kohdissa mittaustulos oli 0 ampeeria. Mittari teki havainnot 15 minuutin jaksoina. Mittaustuloksissa on minimi-, maksimi- ja keskiarvovirrat vaiheittain.

Nollavian aikaisia virtoja laskettiin silmukkamenetelmällä. Menetelmässä vaiheiden välille piirretään kaksi silmukkavirtanuolta  $/3$ , s. 407/. Näille nuolille tehdään jänniteyhtälöt. Jänniteyhtälöistä ratkaistaan silmukkavirrat  $\bar{I}_A$  ja  $\bar{I}_C$  käyttäen esimerkiksi matriisimenetelmää. Kirchhoffin ensimmäisen lain mukaan samaan pisteeseen tulevien ja lähtevien virtojen tulee olla yhtä suuret. Tämän säännön avulla voidaan ratkaista kolmas vaihevirta  $\bar{I}_B$ .



### KUVA 3. Kolmivaihe verkko ilman nollajohtoa

Kuvassa 3 olevat jännitteet:  $V_{AB} = 400V$  ja kulma  $60^\circ$

$$V_{BC} = 400V \text{ ja kulma } -60^\circ$$

Nollajohdottomassa verkossa on pääjännite ja jännitteiden kulmat eroavat  $120^\circ$  toisistaan (kuva 1).

Silmukkavirrat määritetään jänniteyhtälöistä:

$$1. \text{ Yhtälö (I}_A\text{): } (\bar{Z}_A + \bar{Z}_B) \bar{I}_A + (\bar{Z}_B) \bar{I}_C = 400 \angle 60^\circ \quad (11)$$

$$2. \text{ Yhtälö (I}_C\text{): } (\bar{Z}_B) \bar{I}_A + (\bar{Z}_C + \bar{Z}_B) \bar{I}_C = 400 \angle -60^\circ \quad (12)$$

Yhtälöistä lasketaan impedanssisummat, jolloin yhtälöt sievenevät.

Tämän jälkeen sijoitetaan arvot Cramerin säännön mukaan yhtälöön, josta ratkaistaan  $\bar{I}_A / 3$ , s. 407./.

CHAP. 17]

THREE-PHASE CIRCUITS

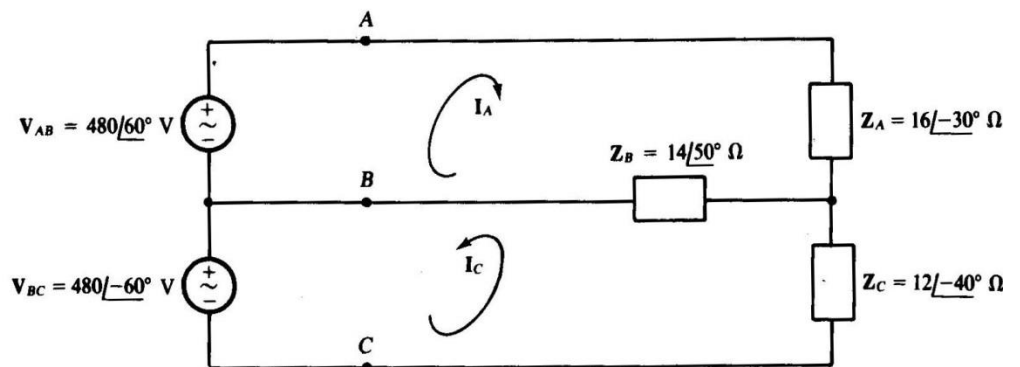


Fig. 17-16

By Cramer's rule,

$$I_A = \frac{\begin{vmatrix} 480/60^\circ & 14/50^\circ \\ -480/-60^\circ & 18.4/9.4^\circ \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 23/6.8^\circ & 14/50^\circ \\ 14/50^\circ & 18.4/9.4^\circ \end{vmatrix}} = \frac{12.1 \times 10^3 / 36.2^\circ}{448 / -9.6^\circ} = 26.9 / 45.8^\circ \text{ A}$$

$$I_C = \frac{\begin{vmatrix} 23/6.8^\circ & 480/60^\circ \\ 14/50^\circ & -480/-60^\circ \end{vmatrix}}{448 / -9.6^\circ} = \frac{5.01 \times 10^3 / 149.6^\circ}{448 / -9.6^\circ} = 11.2 / 159.2^\circ \text{ A}$$

Of course, by KCL,

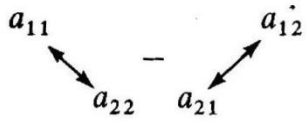
$$I_B = -I_A - I_C = -26.9 / 45.8^\circ - 11.2 / 159.2^\circ = 24.7 / -110^\circ \text{ A}$$

**KUVA 4. Esimerkki silmukkavirtojen ratkaisemisesta ilman nollajohdinta olevassa kolmivaiheverkossa /4, s. 407/**

Kuvassa 4.  $I_A$  virran osoittajaan on determinanteiksi otettu jännitteet (determinantit  $a_{11}$ ,  $a_{21}$ ) ja  $I_C$ :n impedanssit (determinantit  $a_{12}$ ,  $a_{22}$ ). Nimittäjä muodostuu impedansseista. Järjestys on yhtenevä silmukayhtälöiden kanssa.  $I_A$  yhtälöstä impedanssit (determinantit  $a_{11}$  ja  $a_{12}$ ),  $I_C$  silmukasta impedansseista tulee determinantit  $a_{21}$  ja  $a_{22}$ .

$I_C$  silmukavirta ratkaistaan samanlaisella yhtälöllä. Osoittajassa jännitteet ovat determinantteina  $a_{12}$  ja  $a_{22}$ . Osoittajan impedanssit tulevat  $I_A$  silmukasta ja ovat determinantit  $a_{11}$  ja  $a_{21}$ . Näin järjestetyt osoittajat ja nimittäjät ratkaistaan erikseen kuvassa 5 näkyvän esimerkin mukaan

$$\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix}$$

$$a_{11}a_{22} - a_{21}a_{12},$$


$$\begin{vmatrix} 8 & -2 \\ 6 & -4 \end{vmatrix}$$

$$8(-4) - 6(-2) = -32 + 12 = -20.$$

**KUVA 5. Determinanttien järjestäminen ja laskeminen Cramerin sääntöjen mukaan /3, s. 54/**

Vaihevirta  $\bar{I}_B$  ratkaistaan vaihevirtojen  $\bar{I}_A$  ja  $\bar{I}_C$  avulla seuraavalla yhtälöllä:

$$\bar{I}_B = -\bar{I}_A - \bar{I}_C \quad (12)$$

Virrat  $\bar{I}_A$  ja  $\bar{I}_C$  saavat miinusmerkit, koska tulevat vastaan  $\bar{I}_B$ :tä. Virtojen laskemista varten laadittiin Excel-ohjelmaan sopivat laskentayhtälöt, joista saatiin virta-arvot.

Impedanssit  $Z_A$ ,  $Z_B$ ,  $Z_C$  ovat riippuvaiset vaihekuormituksesta. Pientaloissa ne muuttuvat kokoajan ja mitään varsinaista perustilaa ei voida määrittää. Voidaan kuitenkin jakaa vuorokausi sähköenergian käyttöön perustuen aikajaksoihin, joissa

sähköenergian käyttö on aikajaksolle ominaista ja aikajaksojen sähkön käytöt eroavat toisistaan.

### 2.3 Impedanssit

Pientalon sähköverkossa vaiheet jaetaan useaan ryhmään. Kohdekiinteistön vaiheet jakautuivat 10 ryhmään. Ryhmiä oli yhteensä 30 kappaletta. Ryhmien kuormituksissa on suuria eroja. Ohjaukselle on oma ryhmä, jolloin ryhmän ottama virta jää hyvin pieneksi. Yksivaiheisen lämminvesivaraajan ryhmässä on pieni resistanssi, jolloin ryhmän ottama virta on suuri. Loistevalaisimia sisältävissä ryhmissä esiintyy myös loisvirtaa, joka vaikuttaa impedanssiin. Nykyään monet loistevalaisimet ovat yhteydessä sähköverkkoon elektronisella liitäntälaitteella ja niiden tehokerroin on lähellä yhtä.

Yksittäisessä ryhmässä voivat laitteet olla kytketyt rinnan jakorasialta kojeille, jolloin impedanssi tässä tapauksessa on pieni. Yleensä kiinteistöjen verkoissa laitteet ovat pääsääntöisesti kytketyt rinnan. Ketjutetut pistorasiaryhmätkin ovat rinnankytketyt. Joskus valaisimissa saattaa olla sarjaan kytkettyjä lamppeja, kuten esimerkiksi jouluvalaisimena suositussa teholtaan 21W ja 7 lampulla varustettu kynttelikkö, jonka jokaisessa lampussa tapahtuu 33V jännitteen alenema.

Ryhmän impedanssit lasketaan yhteen kaavalla (13). Samalla kaavalla voidaan laskea yhteen kaikki saman vaiheen ryhmien impedanssit ja saadaan selvitettyä vaiheimpedanssit. Vaiheimpedansseja tarvitaan koko verkon tilan selvityksissä.

$$\frac{1}{\bar{Z}_T} = \frac{1}{\bar{Z}_1} + \frac{1}{\bar{Z}_2} + \frac{1}{\bar{Z}_n} \quad (13)$$

$\bar{Z}_T$  = vaiheen tai ryhmän kokonaisimpedanssi,  $\bar{Z}_{1,2,\dots,n}$  = vaiheen tai ryhmän impedanssi  
 Jos verkossa on vähän keloja, joilla on induktiivista reaktanssia, voi olla laskemisen kannalta eduksi muuttaa impedanssit admittansseiksi, koska silloin voidaan impedansseja laskea kokonaisluvuilla.

$$\frac{1}{\bar{Z}_T} = \bar{Y}_T \quad (14)$$

$\bar{Z}_T$  = kokonaisimpedanssi      $\bar{Y}_T$  = kokonaisadmittanssi



Suuri osa pientaloverkoissa olevista suuri tehoisista laitteista on sellaisia, että niillä ei ole juuri ollenkaan reaktanssia ja niillä esiintyy vain resistanssia. Tehokerroin on lähes yksi. Tällaiset laitteet eivät sisällä keloja ja kondensaattoreita esimerkiksi lämmitysvastukset. On kuitenkin huomattava, että kotitalouskoneissa on keloja ja kondensaattoreita. Osa loistevalaisimista toimii kuristimien avulla, ja ne ottavat aika paljon loisvirtaa. Lisäksi astianpesukoneessa ja pyykin pesukoneessa on moottorit, jotka tarvitsevat loistehoa.

Verkon tilaa erilaisissa kuormitustilanteissa olevia impedansseja laskettaessa on loistevalaisimien ottamat virrat laskettu yhteen vaiheittain. Virrat on voitu suoraan laskea yhteen, koska ne on arvioitu olevan tehokertoimeltaan samanlaisia (vaihesiirtokulma  $60^\circ$  ja tehokerroin 0,5). Virrat ovat samansuuntaisia. Vaiheiden impedanssit ( $\bar{Z}_V$ ) voidaan laskea kaavasta:

$$\bar{Z}_V = \frac{\bar{U}_V}{\bar{I}_V} \quad (15)$$

$\bar{U}_V$  = vaihejännite       $\bar{I}_V$  = vaihevirta

## 2.4 Sähköturvakysely

Työssä selvitettiin jonkin verran yleistä sähköverkon tuntemista ja sähköturvallisuutta. Yhdeksi havaintoaineistoksi muodostui sähköturvakysely, joka tehtiin Hyvinkään yhteiskoulun lukiossa nuorisoasteella ja aikuislinjalla. Kysely suoritettiin lukuvuoden 2. jakson aikana (5.10. – 2.12.2015). Ryhmien lukumäärä jaksossa oli 30 (perusjoukko). Kyselyyn osallistui viisi ryhmää, neljä nuorisoasteelta ja yksi ryhmä aikuislinjalta. Kyselyn tavoitteena oli saada suuntaa antava aineisto tavallisen ihmisen sähköasioiden tiedoista sähköturvallisuus asioissa. Tästä syystä kyselyyn ei laadittu kuin neljä erillistä kysymystä (kuva 6). On luultavaa, jos kysymyksiä on enemmän kuin yhden sivun verran, ihmisten vastausasenne laskee voimakkaasti ja vastausten laatutaso alenee. Kysely ei tästä syystä anna luotettavia tietoja aiheesta.

Sähköturvakyselyyn vastasivat kaikki kyselyn saaneet (yksi vastaus hävisi). Vastauksia oli 103 kappaletta. Eri ryhmien vastauksien vertailua varten laskettiin tilastollisiksi tunnusluvuiksi keskiarvot kysymyskohtaisesti. Otoksen edustavuutta perusjoukosta arvioitiin laskemalla hajontaluvuksi keskihajonta ja keskiarvon 95 %

luottamusväli. /5, s.87,97,103./ Ryhmien vastauksista tehtiin diagrammeja, joiden perusteella tehtiin päätelmiä vastaajien sähköturvallisuus tiedoista.

Sähköturvallisuuskysely. (HYK/HYRIA/MAMK)

Vastaa laittamalla rasti en tai kyllä ruutuun (neljä kysymystä)

	en	kyllä
<i>1. Tiedän mistä saan kotona sähköt pois päältä (koko asunto)</i>		
<i>2. Oletko kuullut joskus jotain nollaviasta sähköverkossa</i>		
<i>3. Tiedätkö mitä nollavika sähköverkossa tarkoittaa</i>		
<i>4. Tiedätkö miten toimit nollavian tapahtuessa</i>		

**KUVA 6. Vastaustaulukko sähköturva kyselyssä**

Ensimmäisen kysymyksen tarkoituksena oli selvittää perustietoa sähkövian tai tapaturman sattuessa. Toisessa kysymyksessä haluttiin tietoa nollavika-sanantunnettavuudesta. Kolmas kysymys antaa tietoa sähköverkkojärjestelmän tuntemisesta. Vastaaja ymmärtää verkon rakennetta ja miten nollajohdin osallistuu verkon toimintaan. Tämä kysymys olisi voinut olla neljäntenä kysymyksenä, koska se vaatii opintoja verkon rakenteesta. Neljäs kysymys tuo selyyttä siihen, ymmärtääkö vastaaja sen, että aina kannattaa vian sattuessa katkaista sähkön tulo.

## 2.5 Nollavian aiheuttamat laitevauriot

Nollavian aikana rikkoontuu erilaisia sähkölaitteita. Esimerkkikiinteistössä rikkoontui kaikki verkkoon kytketyt keloja sisältävät laitteet ja kotitalouskoneista ohjausmoduulit. Rikkoontuneet laitteet avattiin ja mittaamalla sekä aistinvaraisesti tehtiin havaintoja rikkoontumisien syistä. Vikaantuneet laitteet olivat helppo havaita jo aistinvaraisesti päältäpäin. Laitteissa oli nokea, ja niissä oli palaneen hajua.

### **3 ERILAISIA PIENTALOJEN SÄHKÖVERKKOJÄRJESTELMIÄ JA NOLLAVIAN AIHEUTTAMAT VAARAT NIISSÄ**

Suomessa on rakennuksia usealta vuosisadalta ja niissä olevat sähköverkot vaihtelevat paljon, koska verkot ovat rakennettu aikansa määräysten mukaisesti. 1900-luvulla rakennettiin runsaasti, ja määräykset verkkojen rakenteista muuttuivat melko nopeasti ja tämän ajan verkoissa on useanlaisia rakenteita. Korjausrakentamisessa osa verkosta saatetaan muuttaa nykyisten määräysten mukaisiksi ja osa jää vanhaan rakenteeseen. Tällaiset yhdistelmäverkot eli sekaverkot ovat yleisiä, ja niiden käyttäytyminen nollavian aikana voi olla arvaamatonta.

#### **3.1 TN-järjestelmät**

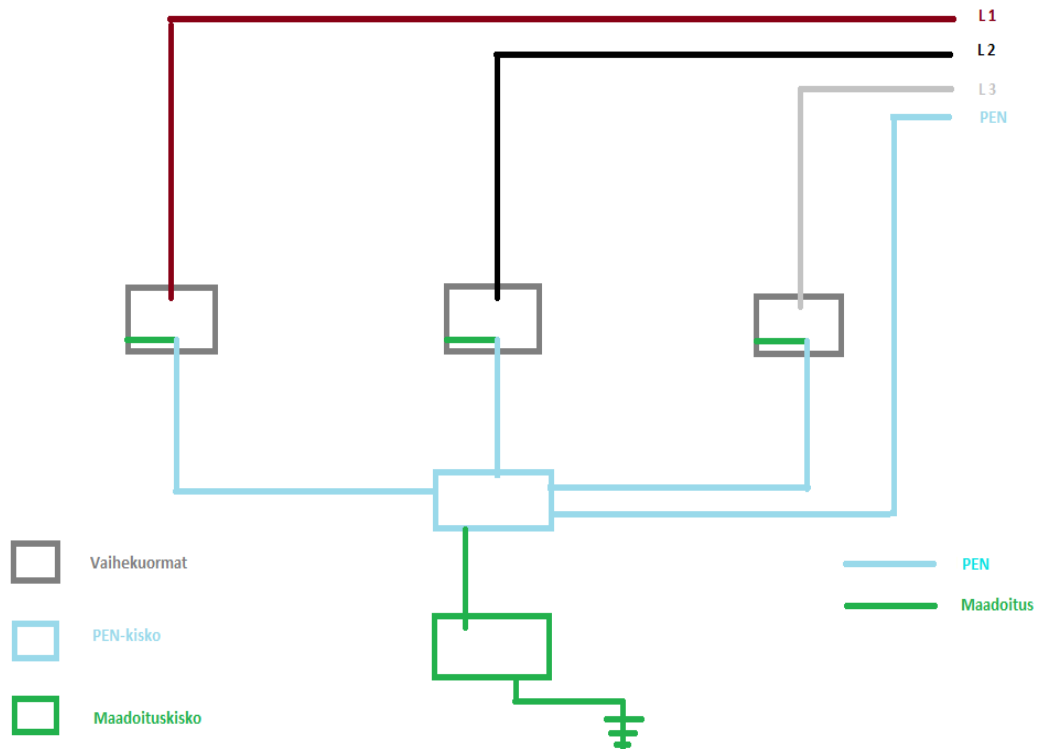
TN-järjestelmässä verkon yksi piste on maadoitettu. Kiinteistön maadoitus yhdistetään kolmivaihejärjestelmässä nollakiskoon, joka toimii kolmivaihejärjestelmän tähtipisteenä. Kiinteistöön tuleva PEN-johdin on myös maadoitettu verkon haltijan puolelta muuntajissa, johtohaarojen läheisyydessä ja liittymässä. /6, s. 67./ Yleensä pienikiinteistöjen sähköverkot ovat yhteydessä verkonhaltijan sähköverkkoon, joka on rakenteeltaan TN-C-tyyppiä.

#### **3.2 TN-C**

Vanhemmissa kiinteistöissä ja jakeluverkoissa on käytössä yhdistetty nolla- ja maajohdin eli PEN-johdin. Jakeluverkoissa on PEN-johdin yhdistetty maadoitus elektrodiin sopivin välimatkoin esimerkiksi jakokaapeissa ja muuntajissa.

Vanhoissa rakennuksissa, jotka on rakennettu 1900-vuosisadalla 80-luvun loppupuolelle, on yleisesti edelleen käytössä ryhmissä kaksijohtojärjestelmä. Saneerausten yhteydessä, niihin on ryhmien loppupäihin laitettu erillinen suojamaajohdin. Tällaista järjestelmää ei enää saa tehdä uudisrakennuksissa /1, s. 161/, koska PEN-johdinten vikaantuminen esimerkiksi kiinteistön ulkopuolelta voi

aiheuttaa sähkölaitteiden tulemisen pinnaltaan jännitteiseksi ja lisäksi järjestelmä voi tuottaa sähkömagneettisia häiriöitä, jotka voivat häiritä varsinkin tietoteknisiä laitteita.



**KUVA 7. TN-C-järjestelmä**

Kuvasta 7 voi havaita, että laitekuoret tulevat jännitteisiksi nollajohtimen katkeamisen seurauksena. Hyvä maadoitus voi pienentää sähköiskun riskiä. Vanhemmissa rakennuksissa eivät maadoitukset ole aina kunnossa. Erillistä maaperään laitettua maadoituselektrodia ei ole, vaan maadoitukseen on käytetty vesijohtoja ja muita rakenteita. Korrosio on voinut viedä pois suuren osan jatkuvuudesta.

Kaikkein vaarallisin tilanne syntyy silloin, kun yhteys PEN-kiskosta ympäristöön on kokonaan poikki. Tämän kaltaisessa tilanteessa laitekuoressa voi olla pääjännitteen suuruinen jännite. Jos laitekuoreen koskeva henkilö on yhteydessä johtavaan materiaaliin, voi henkilö saada hyvin voimakkaan sähköiskun.

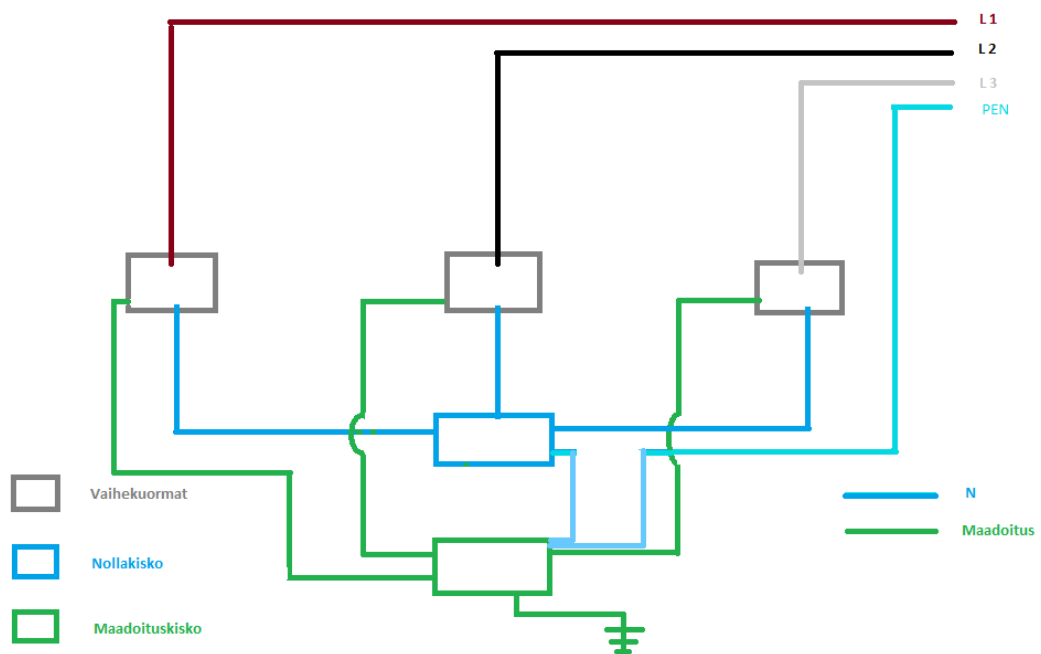
Vanhoissa kerrostaloissa asunnoissa on yksivaiheinen verkko. Tällaisissa asunnoissa voi nollaviasta tulla myös henkilöriskejä. Nollajohtimen yhteyden katkeaminen talon verkkoon tarkoittaa virran kulun estymistä, mutta jännite pysyy asunnon verkossa vaihejännitteen suuruisena. Asukas voi ihmetellessään sähköttömyyttä saada

sähköiskun koskettaessaan jännitteistä laitekuorta esimerkiksi sulakekoteloa. Tämä mahdollistuu, jos henkilö on kosketuksissa johonkin johtavaan materiaaliin, josta on yhteys maapotentiaaliin.

### 3.3 TN-S-järjestelmä

TN-S-järjestelmässä on suojamaaverkko erillisenä verkon osana, ja sillä on yhteys kiinteistön maadoitusjärjestelmään. Rakennuksen TN-S-verkolla on oma maadoituselektrodi, joka on yleensä kaivettu riittävän syvälle routarajan alapuolelle rakennuksen ympärille, perustusten alle tai betonin sisälle perustuksiin. Tämä maadoituselektrodi on hyvässä yhteydessä maapotentiaaliin ja vähentää vikatapauksissa sähköiskun vaaraa.

TN-S-järjestelmä saa verkonhaltijalta syötön neljällä (kuva 8) tai viidellä johdolla (kuva 9).

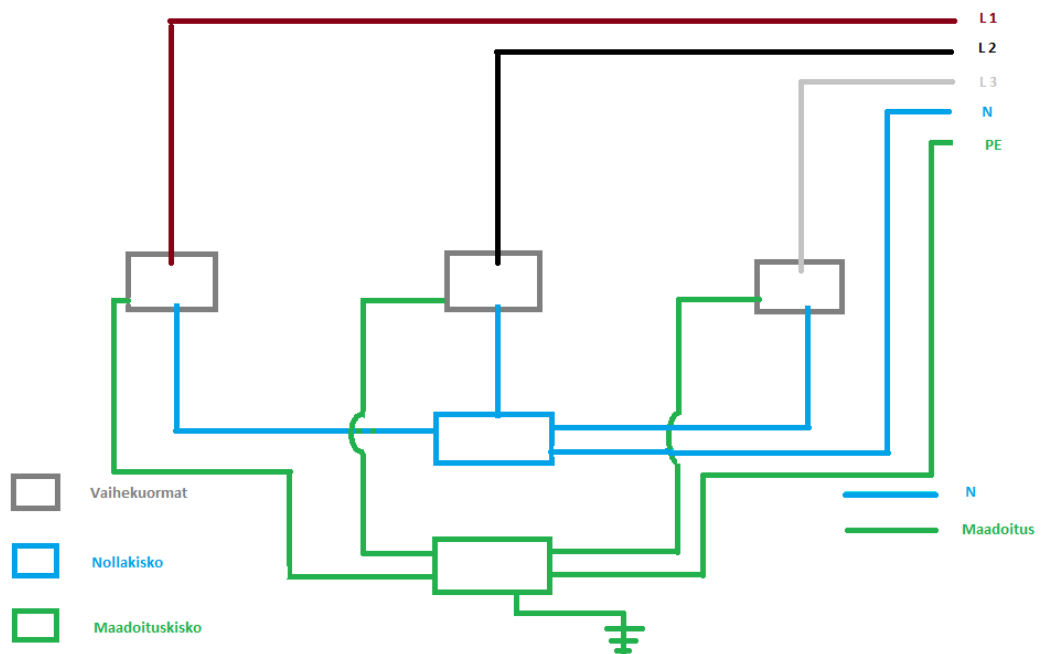


**KUVA 8. TN-S-järjestelmä, PEN-johdin**

Jos yhteys on neljään johtimeen perustuva, sisältää se kolme vaihejohtinta ja PEN-johtimen. Tuleva PEN-johdin liitetään keskuksessa maadoituskiskoon ja sieltä tehdään yhdistys nollakiskoon. /6, s. 305./

PEN-johtimella jakeluverkkoon yhteydessä oleva TN-S-järjestelmä on nollavian sattuessa vaarallinen henkilöille, koska nolla-johtimista on yhteys suojamaajohtimiin. Tästä seuraa laitteiden koteloiden tuleminen jännitteisiksi. Jos perusmaadoituselektrodilla on hyvä yhteys maahan, vähenee henkilövahinkojen vaara. Laitteiden rikkoontuminen ja palovaara on huonossa maayhteydessä todennäköistä, koska vaihejännite alkaa kohota pääjännitteeksi. Tällainen järjestelmä mahdollistaa sekä henkilö- ja laitevahingot, jotka ovat riippuvaiset maadoituksen toimivuudesta.

Jos yhteys on viisijohtoinen, niin suojamaajohdin sekä nollajohdin tulevat erillisinä ja ne liitetään keskuksessa myös erillisinä vastaaviin kiskoihin. Keskuksessa ei yhdistetä nollajohdinta ja suojamaajohdinta toisiinsa. Viisijohtoisessa järjestelmässä on etuna se, että suojajohtimet eivät yhdisty nollajohtimiin, mutta siirtoverkko ei saa tällaisesta järjestelmästä maadoitusta.



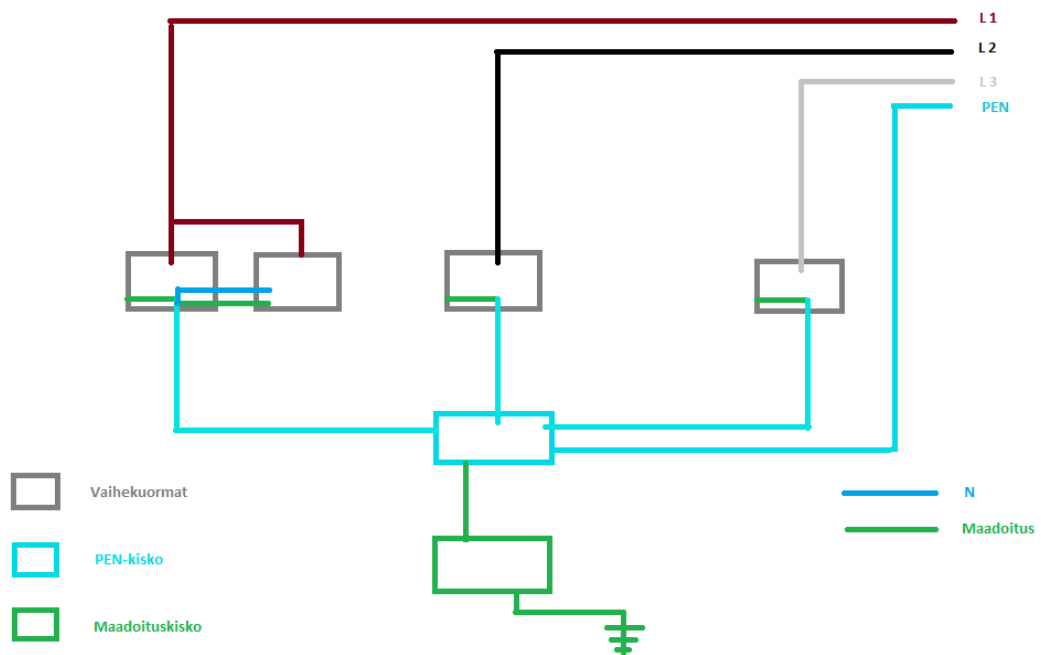
**KUVA 9. TN-S-järjestelmä, ei PEN-johtoa**

Nykyään rakennetaan yhteys jakeluverkkoon erillisillä nolla- ja suojamaajohdoilla. Tässä vaihtoehdossa henkilövahingot nollaviassa ovat aika epätodennäköisiä, koska laitekuoret ovat suojamaaverkossa, joka on erotettu kokonaan nolla-johtimista (kuva

9). Sen sijaan laitevahingot ovat hyvin todennäköisiä, koska nolla-verkolla ei ole yhteyttä. Tällaisessa tilanteessa myös palovaaran riski kohoaa, koska ylijännite aiheuttaa läpilyöntejä eristyksissä ja synnyttää oikosulkuja.

### 3.4 TN-C-S-järjestelmä

TN-C-S-järjestelmiä kutsutaan sekajärjestelmiksi tai yhdistelmäjärjestelmiksi. Näitä järjestelmiä syntyi 1900-luvun loppupuolella, kun vanhaa TN-C-järjestelmään lisättiin sähkökojeita tai rikki menneitä kojeita uusittiin. Pikkuhiljaa saattoi koko ryhmä ja melkein koko verkko muuttua TN-S- suuntaan. Varsinkin sähkölämmityksen asennuksen seurauksena uudistettiin sähköverkkoa myös muilta osin. On kuitenkin huolehdittava siitä, että verkon uudistusta ei aloiteta ryhmän keskivaiheilta, koska silloin voiesimerkiksi suojakoskettimet tulla jännitteisiksi (kuva 15). Uudistus tulee tehdä latvoista keskukseen päin.



**KUVA 10. TN-C-S-järjestelmä**

Sekajärjestelmässä nollavian sattuessa laitekuoret voivat olla jännitteiset. Jännite voi olla pääjännitteen tasoista. Henkilövahingot ovat mahdollisia. Myös laitevahingot ja tulipalon vaara on olemassa. Vahingot riippuvat suuresti maadoitusverkon ja perusmaadoituselektrodin kunnosta ja ominaisuuksista.

### **3.5 Yhteenveto erilaisten pienjänniteverkkojen tuottamista vaaroista nollavian aikana**

Henkilövahingot ovat mahdollisia kaikissa verkkojärjestelmissä pois lukien PEN-johdottoman TN-S-järjestelmän nollavian aikana. Henkilövahinkojen estämiseen vaikuttavat merkittävästi se, että nollakiskon ja maadoitusverkon yhteys on hyvä. Toisena merkittävänä tekijänä voidaan pitää maadoitusverkkoa ja kolmantena perusmaadoituselektrodia. Jos nämä kolme tekijää ovat kunnossa, henkilövahinkojen riski pienenee olennaisesti.

Liitosten kireys ja korroosion esiintyminen pitäisi ajoittain tarkistaa, koska johdoissa tapahtuva lämpöliike ajan kuluessa pienentää liittimen ja johdon välistä kosketuspinta-alaa. Kosteissa ympäristöissä korroosio vaikuttaa myös kosketuspintojen laatuun. Hyvä on myös käyttää poikkipinnoiltaan riittävän suuria johtimia, jolloin saadaan jatkuvuuteen riittävän pienet resistanssiarvot.

Perusmaadoituselektrodin maapotentiaaliyhteys tulisi tarkistaa. Joskus voi perusmaadoituselektrodi olla niin huonossa maayhteydessä maaperästä ja rakennuseristeistä johtuen, että sen suojavaikutus on olematon. Standardi SFS 6000 ei anna resistanssille arvoa. /6, s. 301./

Laitevahingot ja palovahingot ovat kaikissa kolmivaiheisissa pienjänniteverkoissa mahdollisia. Ratkaisevassa osassa vahinkojen syntymisen estossa ovat samat tekijät jotka olivat esitelty henkilövahinkojen yhteydessä. Tavallisesti pientalojen sähkölaitteistoa tarkistetaan vain vian sattuessa tai uusien laitteistojen asennuksissa. Verkon kunnan seuranta on varsin puutteellista.

## **4 MITTAUKSIA, JÄNNITTEITÄ, VIRTOJA ERILAISSA KUORMITUKSISSA JA NOLLAVIAN AIKANA PIENTALOSSA**

Verkon tilan selvittämiseksi tehtiin verkkoanalysointia marraskuussa 2015 jännite- ja virtamittaukset eri vaiheista. Mittaustiedot purettiin ja siirrettiin Excel-ohjelmaan. Ohjelmaan tallennettuja tietoja käytettiin pohjana erilaisten verkon tilaa kuvaavien suureiden laskennassa.



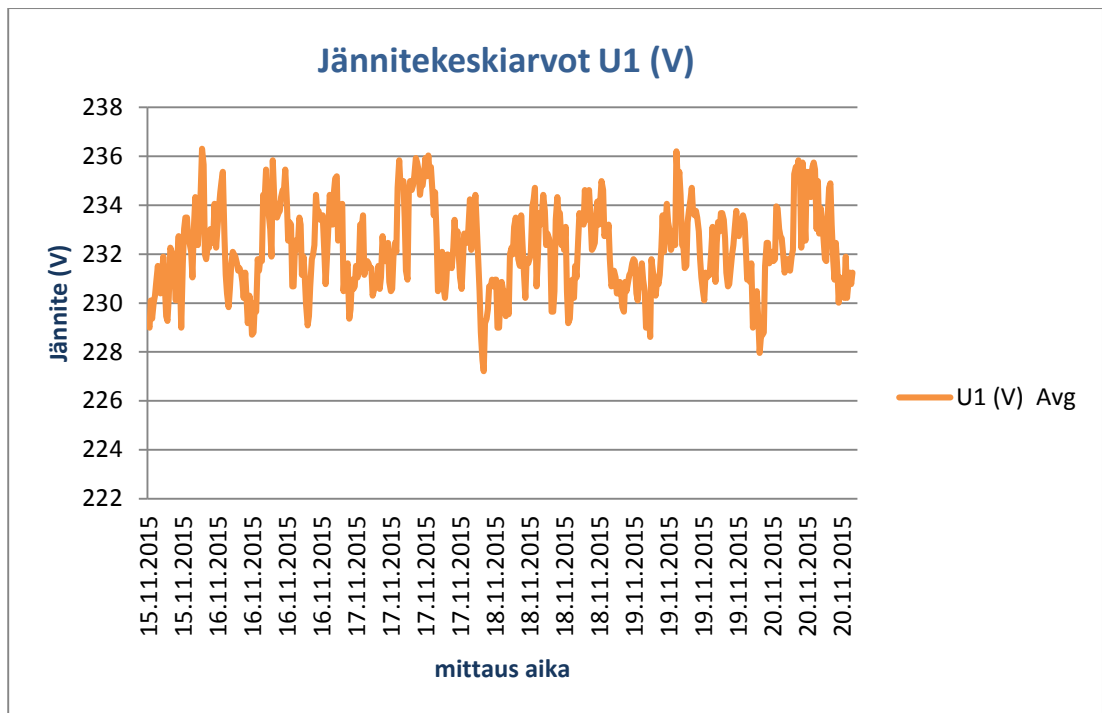
#### **4.1 Jännitteitä pientalon sähköverkossa perustilassa**

Jännitteiden selvittämiseksi verkon perustilassa suoritettiin Metrel-2170 -analysointilaitteella jännite mittauksia 5 vrk ja 7 tunnin ajan. Laite tallensi 15 minuutin mittausjaksolta jokaiselta vaiheelta erikseen minimijännitteen, maksimijännitteen sekä jännitteen keskiarvon mittausjaksolta. Havaintojaksoja oli kaikkiaan 510.



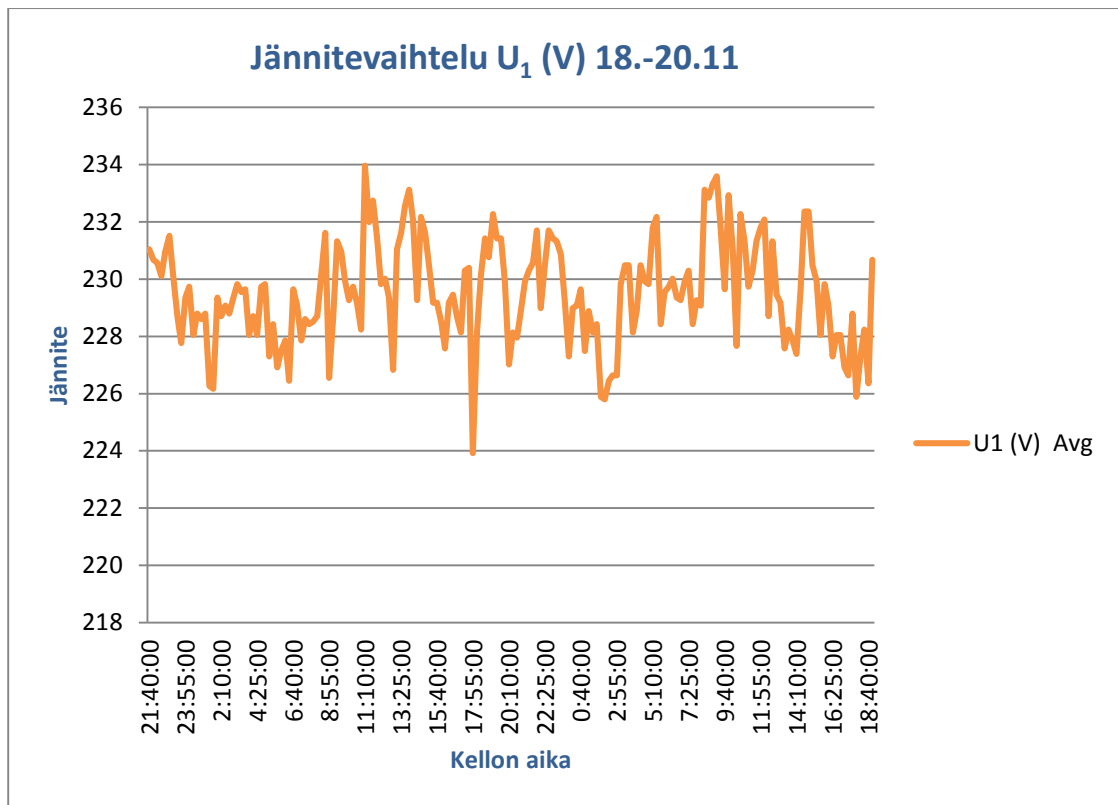
**KUVA 11. Metrel-verkkoanalysointilaite mittauksessa**

Ylimmät punaiset johtimet mittaavat jännitteitä vaiheissa ja alimmat virtapihdilliset johtimet mittaavat vaihevirtoja (kuva 11). Mittari on varustettu akulla, mutta pitkäkestoisissa mittauksissa se kannattaa kytkeä sähköverkkoon. Analysointilaite tallentaa mittauksien tiedot muistiinsa, josta ne voidaan sopivalla ohjelmalla siirtää tietokoneen muistiin.



**KUVA 12. Mittausjaksojen (15min) jännitekeskiarvojen kehitys mittausaikana 1. vaiheessa**

Mittausjakson aikana 1. vaiheen jännitteessä oli jonkin verran vaihtelua. Vaihtelu oli jonkin verran aaltoluonteista (kuva 12). Jännite kohosi yleensä jonkin verran päivätuntien ajaksi ja yöllä jännite oli yleensä alemmalla tasolla (kuva 13). Mistä tällainen jännitevaihtelu voi johtua? Eräs mahdollisuus on kuormitusvaihtelut verkossa. Voi olla, että yöaikaan teollisuus, jota on alueen lähistöllä, käyttävät paljon sähköenergiaa. On myös mahdollista, että sähkön tuotannossa otetaan huomioon asuntoalueiden sähköenergian käytön väheneminen, ja pienennetään sähkövoimantuotantoa. /7, s. 111. / Jos asuntoalueella on paljon yössä toimivia järjestelmiä, voivat ne myös olla jännitelaskun takana yöaikaan. Päiväajan jännitenousun voisi selittää energiatuotannon lisäämisellä. Jonkin verran matalampi jännite pienentää virran kulkua ja laitetehoa.



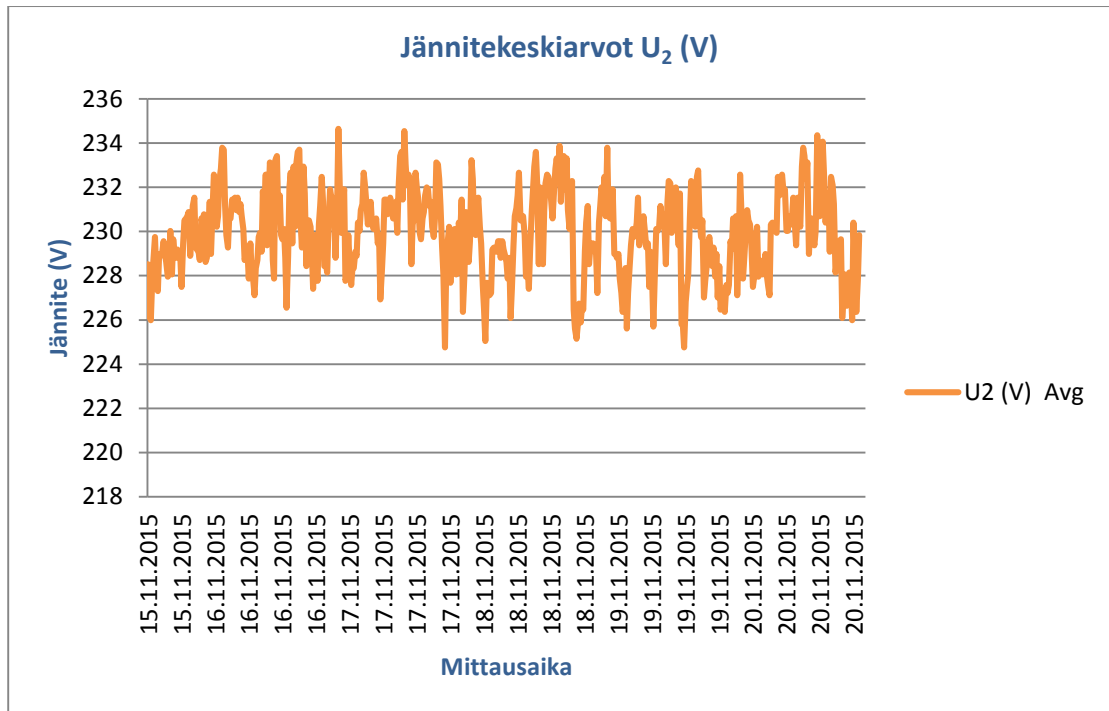
**KUVA 13. Keskiarvojännitteiden vaihtelut vuorokauden eri ajankohtina ( $U_1$ )**

Jännitevaihtelu ei kuitenkaan ollut kovin suurta. Suurimmillaan jännitevaihtelu oli vähän yli 10V ja yleensä alle sen. Jännitevaihtelu 1. vaiheessa oli pienempi, kuin 2. ja 3.vaiheessa. Kohdassa (4.1.3) ilmenee myös se, että ensimmäisen vaiheen jännite eroaa myös korkeudeltaan 2. ja 3. vaiheen jännitteistä.

**TAULUKKO 1. Jännitevaihtelujen keskiarvot ( $\bar{X}$ ) ja keskihajonnat ( $\sigma$ ) eri vaiheissa**

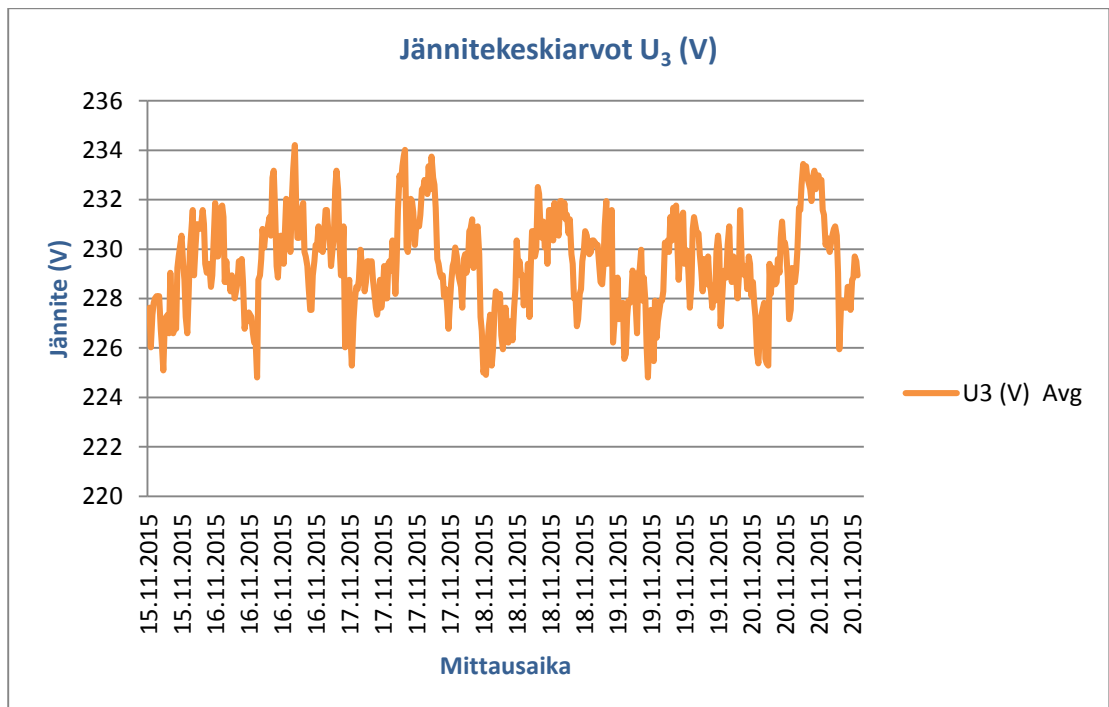
	$U_1$	$U_2$	$U_3$
$\bar{X}$	4,74	5,86	5,87
$\sigma$	1,45	1,65	1,11

Jännitevaihtelujen keskiarvot laskettiin mittausjaksojen maksimi- ja minimijännitteiden erotusten keskiarvona. Mittausjaksot olivat 15 minuutin kestoisia, ja niitä oli yhteensä 510 kappaletta. Jännitevaihtelujen keskihajonnoista voi havaita, että suurin osa jännitevaihteluista oli alle 9 voltia. Tämän perusteella voidaan pitää jännitettä melko tasaisena.



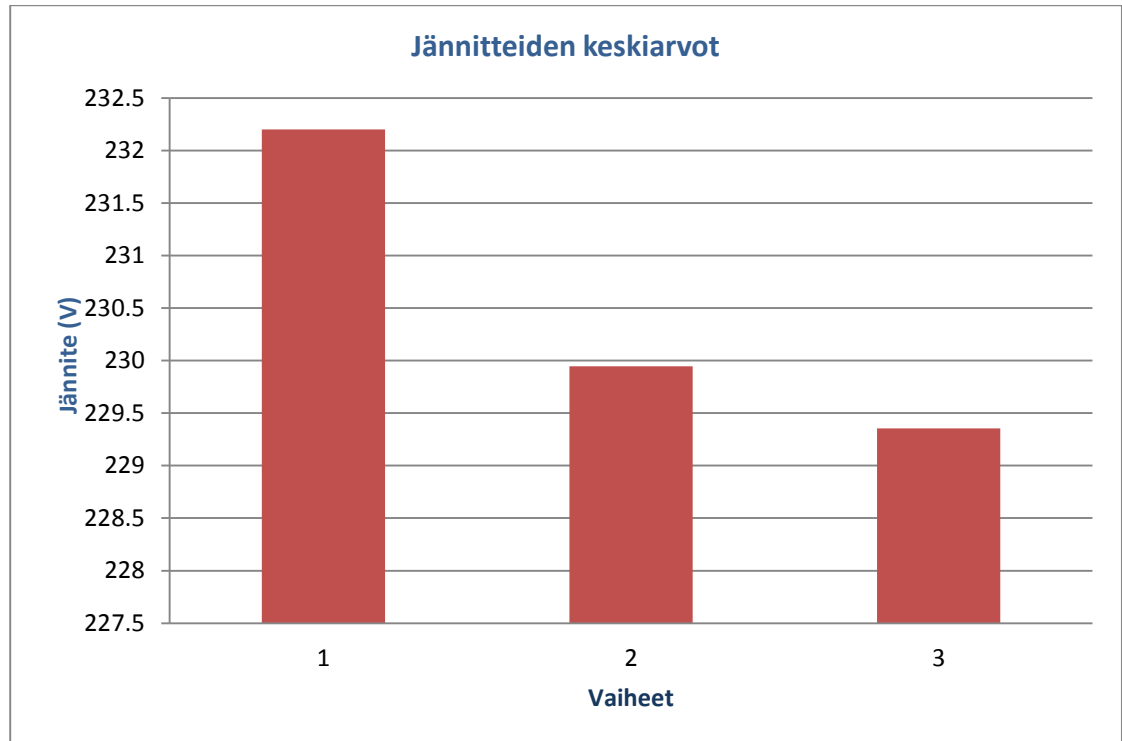
**KUVA 14. Mittausjaksojen (15min) jännitekeskiarvojen kehitys mittausaikana 2. vaiheessa**

Verrattaessa 2. vaiheen mittauskeskiarvojen kehitystä 1. vaiheeseen, voidaan havaita jännitteen samanaikainen vaihtelu (kuva 14). Yötunneilla jännite on vähän alempi kuin päivällä. Mahdollisesti suurempi kolmivaiheinen kuormitus laskee yöaikaan vähän jännitettä tai sähkön tuotannossa lasketaan jännitettä.



**KUVA 15. Mittausjaksojen (15min) jännitekeskiarvojen kehitys mittausaikana 3. vaiheessa**

Kolmannen vaiheen jännitekeskiarvojen kehityksessä näkyi aaltomainen vaihtelu, joka oli samanlainen 1.- ja 2.-vaiheen kanssa (kuva 15).



**KUVA 16. Eri vaiheiden jännitekeskiarvot mittausaikana**

Mittausajan jännitekeskiarvot laskettiin jaksohavaintojen keskiarvoista. Ensimmäisen vaiheen korkeampi jännite on havaittavissa (kuva 16). Vaiheiden jännite-erot voivat johtua siirtoverkoissa olevista häviöistä. Johtimissa voi olla eroa johtavuudessa. Liitoksissa voi tapahtua pienoista jännitehäviötä. On mahdollista, että alemmat jännitteet 2. ja 3. vaiheessa johtuvat kiinteistön verkosta. Liitoksissa voi olla vikaa, ja keskukselle tulevassa kaapelissa voi olla suuremmat impedanssit 2. ja 3. vaiheessa.

Virtojen ja impedanssien laskemisessa käytettiin tulevissa kohdissa vaihejännitteenä pääjännitteenä 400V ja vaihejännitteenä taulukossa 2 olevia vaiheiden jännitekeskiarvoja.

**TAULUKKO 2. Eri vaiheiden jännitekeskiarvot ( $\bar{X}$ ) ja jännitteiden keskihajonnat ( $\sigma$ )**

Jännitteet ja keskihajonnat vaiheissa			
	U <sub>1</sub>	U <sub>2</sub>	U <sub>3</sub>
$\bar{X}$	232,2	229,9	229,4
$\sigma$	1,7	1,9	1,9

Yhden keskihajonnan päässä keskiarvosta oleva jännitevaihtelu oli mittausjaksojen keskiarvoista laskien pienempi kuin havaintojaksojen minimeistä ja maksimeista laskettu keskihajonta. Keskiarvoista laskettu keskihajonta voi tässä tapauksessa antaa oikeamman kuvan jännitevaihtelujen suuruudesta, koska keskiarvojen perusjoukon arvot muodostuvat laajemmasta tietoaaineistosta. Maksimi ja minimi havainnot tulevat mittausjaksolta vain yhden, sitä vastoin havainto alueen keskiarvoon tulee mittausajalta suuri joukko havainnot.

Pienikin jännitevaihtelu voi olla haitallista sellaisissa ryhmissä, joissa on keloja, koska kelat reagoivat aina jännitteiden ja virran vaihteluihin ja niiden jännitehäviöt voivat nousta.

#### **4.2 Impedansseja pientalossa eri kuormituksissa**

Impedanssit ovat keskeinen merkitys virran kulussa eri vaiheissa. Impedansseja voi yleistäen verrata portteihin. Mitä enemmän portit ovat auki, sitä enemmän virtaa pääsee kulkemaan. Porttien sulkeutuessa eli impedanssien kasvaessa sähkövirran suuruus pienenee. Tavallisesti vaiheessa on useita portteja ja ne yhdessä vaikuttavat virta määrään. Nämä portit eli impedanssit ovat kaikki samalla aidalla eli ne ovat rinnatusten. Saman vaiheen impedanssit pitää laskea rinnakkain yhteen. Rinnakkain olevien kuormien yhteenlaskettu impedanssi on pienempi, kuin pienimmän yhteen laskettavan impedanssi, koska jokainen uusi virrankulun mahdollisuus laskee kokonaisimpedanssia. Jos tässä yhteydessä käyttäisi porttivertaus, voisi sanoa, että uusi portti entisten lisäksi voi vain lisätä kulkumahdollisuuksia ei pienentää.

Vaiheissa olevat kuormat omaavat kukin oman impedanssin. Mitä pienempi teho kuormalla on, sitä suurempi on sen impedanssin arvo. Kuormilla on kyky muuttaa

sähköenergiaa erilaiseen energiamuotoon kuten esimerkiksi valoksi, lämmöksi ja liikkeeksi.

Pientaloissa vaiheissa päällä olevat kuormat vaihtelevat koko ajan ja vaiheiden kokonaisimpedanssit eivät ole yhtä suuret. Lisäksi asennusvaiheessa on voitu tehdä tasapainoton kuormien jako. Nämä johtavat verkon epäsymmetriaan, joka on normaali tila pientaloissa.

### TAULUKKO 3. Ryhmät 1.vaiheessa

Vaihe	Ryhmä	Varoke (A)	Toiminto, sijainti
1.	1.	10	Ohjaus
1.	2.	10	Lämmitys, kellari
1.	3.	16	Pistorasia, pesukone, kellari
1.	4.	10	Lattialämmitys, keittiö
1.	5.	10	Pistorasia, jääkaappi
1.	6.	10	Valaistus, makuuhuone, suihkuhuone, sauna
1.	7.	16	Liesi
1.	8.	16	Pistorasia, astianpesukone
1.	9.	16	Pistorasia, pesuhuone
1.	10.	10	Valaistus yläkerta

### TAULUKKO 4. Ryhmät 2. vaiheessa

Vaihe	Ryhmä	Varoke (A)	Toiminto, sijainti
2.	1.	16	Lämminvesivaraaja
2.	2.	10	Lämmitys, yläkerta
2.	3.	10	Lämmitys, kellari
2.	4.	10	Valaistus, olohuone
2.	5.	10	Lattialämmitys, tuulikaapit
2.	6.	10	Lämmitys, makuuhuone
2.	7.	10	Valaistus, keittiö, tupa
2.	8.	16	Liesi
2.	9.	16	Pistorasia, ulkona



**TAULUKKO 5. Ryhmät 3. vaiheessa**

Vaihe	Ryhmä	Varoke (A)	Toiminto, sijainti
3.	1.	10	Lämmitys, olohuone
3.	2.	10	Lämmitys, eteinen
3.	3.	10	Valaistus, ulkorakennus
3.	4.	10	Valaistus, eteinen, kellari
3.	5.	10	Talotuuletin
3.	6.	10	Lämmitys, tupa
3.	7.	16	Pistorasiat, keittiö
3.	8.	16	Liesi
3.	9.	16	Lattialämmitys, pesuhuone

Koska pientalojen sähköverkoissa ei ole sähkön kulun kannalta minkäänlaista pysyvää tilaa (taulukot 3,4,5), päädyttiin työssä valitsemaan vuorokaudesta erilaisia kolmen tunnin jaksoja. Jaksojen ajoitus oli sellainen, että niissä kotitaloustoiminnot vaihtelivat ja olivat erilaiset. Työssä päädyttiin valitsemaan seuraavat jaksot:

1. Aamu, kello 06-09
2. Päivä, kello 10–13
3. Iltapäivä, kello 15–18
4. Ilta, kello 19–22
5. Yö, kello 01-04

Aikajaksoille määritettiin impedanssit eri vaiheille, joita myöhemmin käytettiin virtalaskuissa verkon normaalitilassa ja nollavian aikana. Impedanssien määrittämiseksi laskettiin aika-alueen keskivirta ja virtaan ja sen kulmaan huomioitiin myös loisvirran aiheuttama virran kulman muutokset. Loisvirtaa syntyi loistevalaisimissa, joita oli eri vaiheissa erilaisia määriä. Valaistuksen päällä olo määrä arvioitiin seuraavan taulukon 6 mukaan.

**TAULUKKO 6. Valaistuksen päällä olo % aikajaksoissa**

Jakso	Päällä olo %
1.	30
2.	10

3.	50
4.	70
5.	0

Kuristimilla varustetut loistevalaisimet vaikuttavat ryhmän ja vaiheen impedanssin, koska niillä on vastuksen lisäksi induktiivista reaktanssia. Loistevalaisimien määrä eri vaiheissa inventointiin ja niiden tehot ja virrat selvitettiin. Impedanssin kulmaksi määritettiin kaikille loistevalaisimille  $60^\circ$  ja tehokertoimeksi 0,5.

#### TAULUKKO 7. Loistevalaisimien virrat ja impedanssit eri vaiheissa

Vaihe	Virta (A)	Impedanssi
1.	1,4	$165,7 \angle 60^\circ$
2.	1,1	$209,1 \angle 60^\circ$
3.	0,9	$254,4 \angle 60^\circ$

Loistevalaisimien virrat laskettiin kaavalla:

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos \varphi} \quad (16)$$

ja impedanssi laskettiin kaavalla:

$$\bar{Z} = \frac{\bar{U}_n}{\bar{I}}, \quad \bar{U}_n = \text{vaihejännite} \quad \bar{I} = \text{vaiheen loistevalaisimien virta, virran kulma tuli vaihejännitteen kulmasta vähennettynä } 60^\circ.$$

Impedanssit laskettiin aika-alueiden keskivirran avulla. Aika-alueiden keskivirran määrittämisessä laskettiin viiden eri päivän aika-alueen keskiarvot vaihevirroissa ja niistä laskettiin yhteinen keskiarvo aika-alueelle eri vaiheille. Valaistuksen osuus aika-alueen virrasta otettiin huomioon jakamalla virrat komponentteihin (i, j) ja laskemalla valaistuksen ja muun kuormituksen komponentit yhteen vektoreiden yhteenlaskusäännön mukaan. Lopuksi virrat palautettiin kulmamuotoisiksi. Kuristimilla varustettujen loistevalaisimien osuus koko vaihevirrasta jäi yleensä niin pieneksi, että impedanssin kulma ei suurentunut kovin suureksi ja tehokerroin pysyi vaiheissa aika lähellä yhtä. Yleistäen voi sanoa, että mitä suurempi oli loistevalojen käyttämä osuus vaiheen virrasta, sitä enemmän vaihesiirtokulmaa esiintyi.

Aika-alueen impedanssi saatiin jakamalla vaihejännite aika-alueen keskivirralla.

Esimerkki:

- aika-alue: aamu
- keskivirta 1.vaihe:  $1,01A \angle -21,13$ ,  $0,74i + (0,5 * 0,42i)$ ,  $0,87 * 0,42j$ ,  $\angle$  atan  $0,37/1,01$  ( $21,13^\circ$ ), virta saa negatiivisen arvon koska se on jännitettä jäljessä ja jännitteen kulma on  $0^\circ$ .
- loistevalaisimien virta:  $0,42A \angle -60^\circ$ ,  $0,5 * 0,42$  i (x-akselin suuntainen komponentti),  $0,87 * 0,42j$  (y-akselin suuntainen komponentti)
- Muu virta  $0,736A \angle 0^\circ$ ,  $0,736i$
- Jännite  $232,2V \angle 0^\circ$
- impedanssi  $229,06\Omega \angle 21,13^\circ$

$$\text{Muu virta arvot laskettiin kaavalla: } \sqrt{I_v^2 - (0,87I_l)^2} - 0,5I_l \quad (17)$$

jossa:  $I_v$  = vaiheen keskivirta aika-alueella

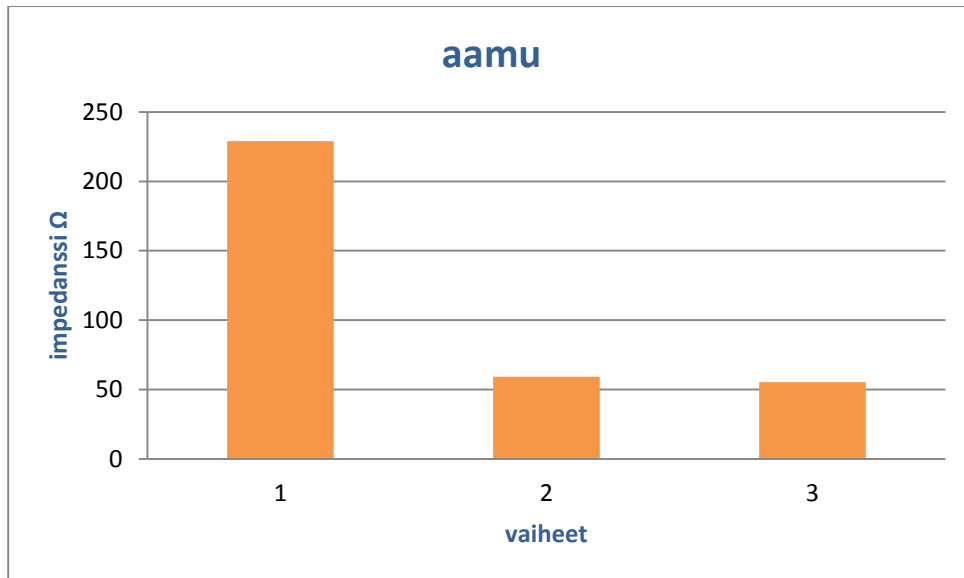
$I_l$  = vaiheen loistevalaisimien virta aika-alueella

$$\cos 60^\circ = 0,5 \text{ ja } \sin 60^\circ = 0,87$$

Laskutoimitukset tehtiin Excel-ohjelman avulla. Tiedot olivat taulukoitu laskentaohjelmaan ja muodostettujen yhtälöiden avulla laskettiin uusia taulukoita, jotka olivat verkostoituneet aikaisempiin laskuihin. Mahdollinen virhe korjaantui samalla kertaa kaikkiin tuloksiin.

#### 4.2.1 Impedanssit aamulla

Aamulla ei koko valaistus ole heti päällä ja kotitaloustoiminnot ovat vielä aika pienet. Pesukoneita ei ole vielä yleensä ehditty käynnistellä. Kuvassa 17 voi havaita 1. vaiheen suuri impedanssi ja toisen sekä kolmannen 3 vaiheen selvästi alempi impedanssi ja niissä kulkee virtaa selvästi enemmän kuin 1. vaiheessa. Aamulla on kotitalouden sähköverkko selvästi epäsymmetrinen. Ensimmäisen vaiheen kuormitus on vähäistä. Toisen ja kolmannen vaiheen impedanssit olivat lähes yhtä suuret, vaikka myöhemmin niiden välille alkaa syntyä myös epäsymmetrisyyttä.



**KUVA 17. Eri vaiheiden impedanssit aamulla**

**TAULUKKO 8. Impedanssit ja niiden kulmat aamulla eri vaiheissa (1,2,3)**

aika	1. $\Omega$	1. $\angle$	2. $\Omega$	2. $\angle$	3. $\Omega$	3. $\angle$
aamu	229,06	21,13	59,22	4,24	55,29	3,25

Taulukon 8 antamien tietojen perusteella voi arvioida, että ainoastaan 1. vaiheessa loistevalojen osuus virrasta oli niin suuri, että vaihesiirtokulma oli kasvanut kohtalaiseksi suureksi. Valaistusta oli kyllä 2. ja 3. vaiheessa päällä, mutta jonkin verran vähemmän ja näissä vaiheissa muun virran määrä oli selvästi suurempi, kuten kuvan 17 impedansseista voi päätellä.

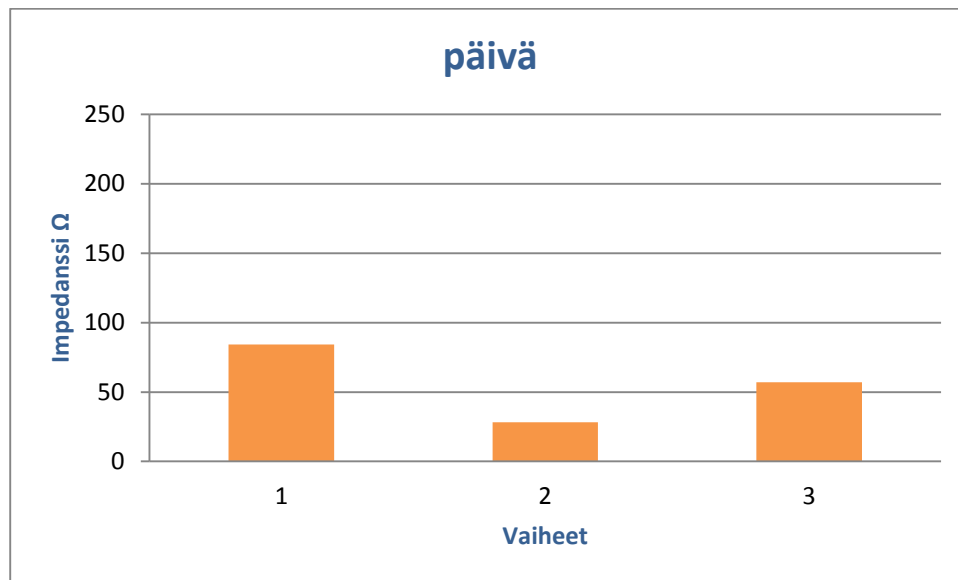
**TAULUKKO 9. Loistevalaisimien virrat (A) vaiheissa (1,2,3) eri aika-alueilla**

aika	1	2	3
aamu	0,42	0,33	0,27
päivä	0,14	0,11	0,09
iltapäivä	0,7	0,55	0,45
ilta	0,98	0,77	0,882
yö	0	0	0

Kuristimilla varustettujen loistevalaisimien osuus ja vaikutus oli suurin 1. vaiheessa. Suurempi vaikutus vaihesiirtokulmaan johtuu vaiheen yleensä vähäisestä virran kulusta ja 1. vaiheessa loistevalaisimien virta oli suurempi kuin muissa vaiheissa kaikissa aika-alueissa (taulukko 9).

#### 4.2.2 Impedanssit päivällä

Päivän impedanssien pienuudesta voi päätellä, että virtaa kulkee vaiheissa runsaasti ja erilaisia kuormia on runsaasti päällä (kuva 18). Impedanssien erot ovat vähentyneet, eikä verkko ole enää niin epäsymmetrinen kuin oli aamulla.



**KUVA 18. Impedanssit eri vaiheissa päivällä**

**TAULUKKO 10. Impedanssit ja niiden kulmat päivällä eri vaiheissa (1,2,3)**

aika	1. $\Omega$	1. $\angle$	2. $\Omega$	2. $\angle$	3. $\Omega$	3. $\angle$
päivä	84,21	2,53	28,18	0,68	57,00	1,11

Impedanssien kulmat sijoittuvat jo aika lähelle  $0^\circ$ . Vaiheiden tehokertoimet lähestyvät 1:tä ja induktiivisen reaktanssin osuus impedanssista on pieni (taulukko 10). Epäsymmetrisyyttä pienentää myös se, että kuristimilla varustettujen valaisimien osuus päivällä ei ole kovin suuri koko kuormituksesta (taulukko 9). Tästä johtuen vaihesiirtokulmien kasvua ei ole ja vaihe-erot jäävät pieniksi.

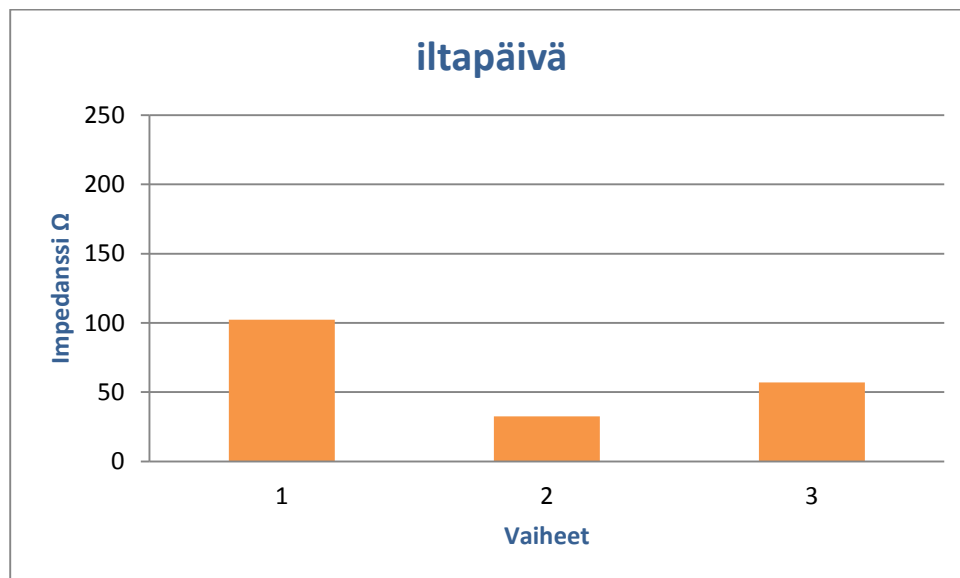
### 4.2.3 Impedanssit iltapäivällä

Iltapäivä muistuttaa kuormitukseltaan päivän kuormitusta, mutta 1. vaiheen käyttö on vähentynyt verrattuna päivä tilanteeseen (kuva 19). Ehkä sähkölieden ja pesukoneiden käyttö on vähentynyt. Nämä kuormitukset sijaitsevat ensimmäisessä vaiheessa (taulukko 3.).

**TAULUKKO 11. Impedanssit ja niiden kulmat iltapäivällä eri vaiheissa (1,2,3)**

aika	1. $\Omega$	1. $\angle$	2. $\Omega$	2. $\angle$	3. $\Omega$	3. $\angle$
iltapäivä	102,27	15,56	32,43	3,87	57,0	5,59

Loistevalaisimien kuorman osuus vaiheen koko kuormasta on taas 1. vaiheessa suurentunut, koska vaihe-ero jännitteeseen on suurentunut (taulukko 11 ja taulukko 9).

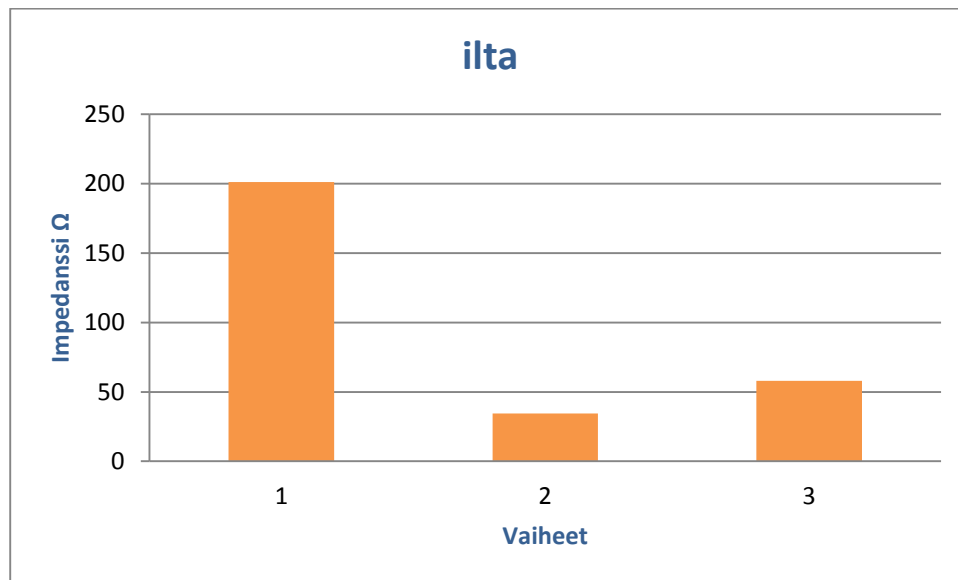


**KUVA 19. Impedanssit eri vaiheissa iltapäivällä**

Myös 2. ja 3. vaiheessa loistevalaisimien käyttö on suurempaa päivätilanteeseen verrattuna. Tämä on havaittavissa vaihesiirtokulmien kasvusta ja valaistuksen virran kasvusta (taulukko 9). Verkon epäsymmetrisyys on kasvussa, koska impedanssien erotus on kasvanut ja jännitteen ja virtojen kulmien ero on suurentunut (taulukko 11).

#### 4.2.4 Impedanssit illalla

Ensimmäisen vaiheen kuormitus vähenee lisää verrattuna iltapäivään, koska kotitalouskoneiden käyttö ja lämmitys on vähentynyt (kuva 20). Valaistuksen osuus verkon kuormituksesta on suurimmillaan. Tästä johtuen vaihe-ero jännitteiden ja virtojen välillä on suurimmillaan. Kaikkien aika-alueiden impedansseista eri vaiheissa on 1. vaiheen impedanssi (47,61 $\Omega$ ) illalla, jolloin valaistuksen osuus vaiheen kuormituksesta oli noin 85 %. Myös 2. ja 3. vaiheessa vaihe-erot saavuttivat suurimmat arvonsa (taulukko 12). Vaihe-eron noususta huolimatta 2. ja 3. vaiheen tehokertoimet olivat kuitenkin yli 0,98 ja loistehoa oli varsin vähän.



**KUVA 20. Impedanssit eri vaiheissa illalla**

**TAULUKKO 12. Impedanssit ja niiden kulmat illalla eri vaiheissa (1,2,3)**

Aika	1. $\Omega$	1. $\angle$	2. $\Omega$	2. $\angle$	3. $\Omega$	3. $\angle$
ilta	201,13	47,61	34,55	5,78	57,97	11,18

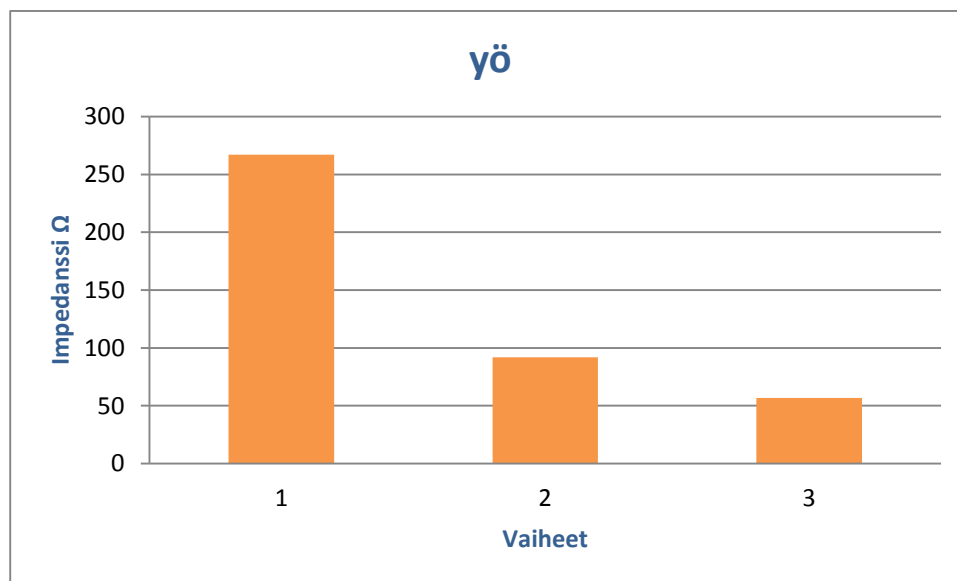
#### 4.2.5 Impedanssit yöllä

Yötilanteessa kuormat ovat kaikkein vähäisimmät ja impedanssit suurimmillaan, koska tutkitussa kiinteissä ei hyödynnetä kaksihinta järjestelmän etuja, vaikka tekniset valmiudet siihen on olemassa. Yksivaiheinen lämminvesivaraaja vesitilavuudeltaan 120 litraa ei kykene säilyttämään riittävää veden lämpöä ilman jatkuvaa päällä oloa.

**TAULUKKO 13. Impedanssit ja niiden kulmat yöllä eri vaiheissa (1,2,3)**

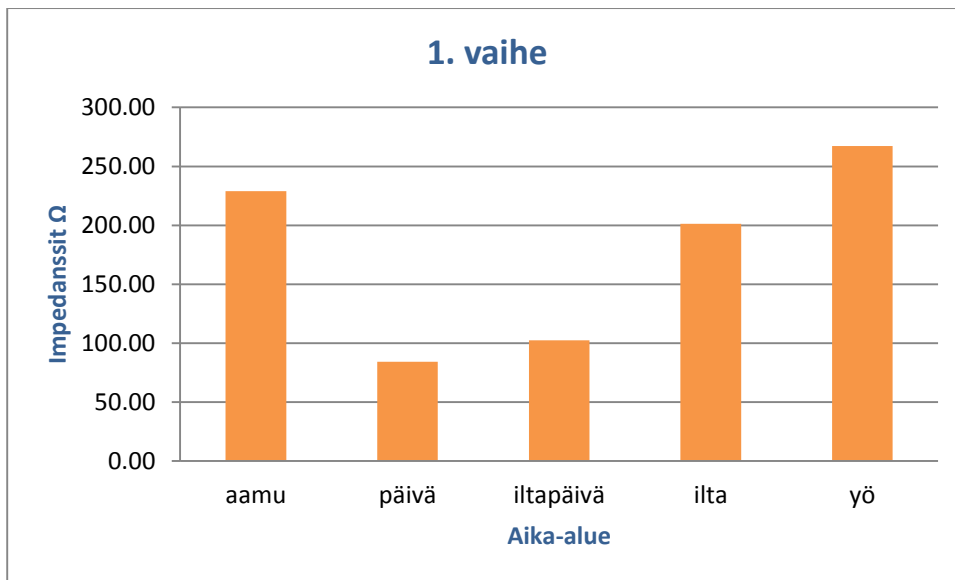
aika	1.	1.	2.	2.	3.	3.
yö	267,16	0	91,99	0	56,87	0

Huomattava on se seikka, että 3. vaiheen impedanssit pysyvät kokoajan melko tasaisena pysytellen kaikissa aika jaksoissa  $50\Omega$  tuntumassa (kuva 25. ja 28.). Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että vaiheen kuormana on paljon lämmitystä (taulukko 9) ja mittausaikana ulkoilman vuorokauden lämpötilavaihtelu oli pieni. Ensimmäisen vaiheen impedanssi nousee taas korkealle (kuva 21), koska 1. vaiheessa on paljon pistorasioita ja valaistusta joita käytetään varsinkin päivisin. Yötilanteessa ei ole eri vaiheissa vaihe-eroa jännitteen ja virran välillä, koska valaistusta ei ole päällä ja kuormitukset ovat pelkästään resistiivisiä.

**KUVA 21. Impedanssit eri vaiheissa yöllä**

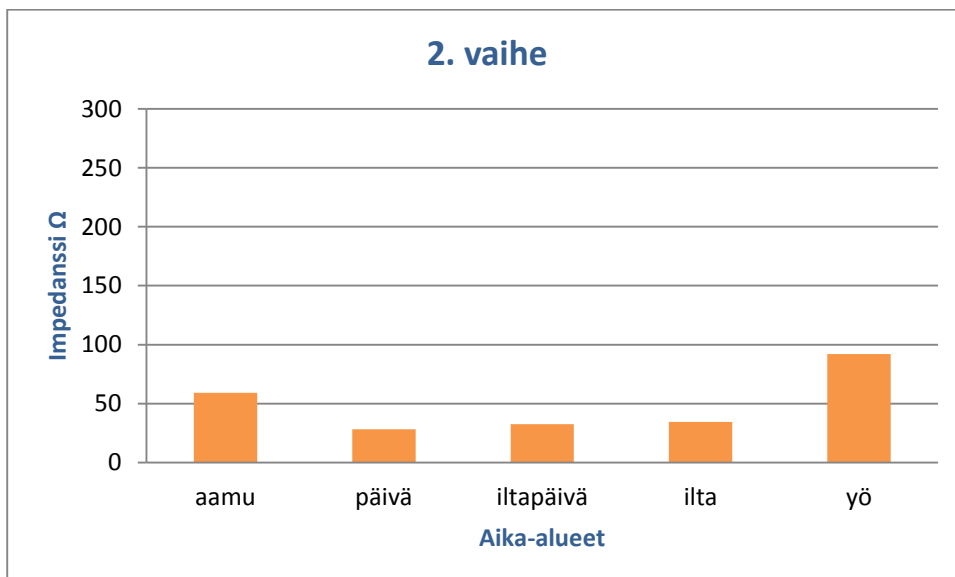
Jos tarkastellaan eri aikajaksoissa tapahtuvaa vaiheimpedanssien kehitystä, niin voidaan huomata 1. vaiheen suuri impedanssin vaihtelu aika jaksojen välillä (kuva 22.). Tämä voi johtua siitä, että 1. vaiheessa on paljon pistorasioita ja valoja, joita käytetään päiväaikaan kotitalous töissä esimerkiksi pesukoneita ja valaistusta. Vaiheen kuormituksessa ei ole myöskään paljoa lämmitystä.





**KUVA 22. Vaiheimpedanssit 1.vaiheessa eri aika-alueilla**

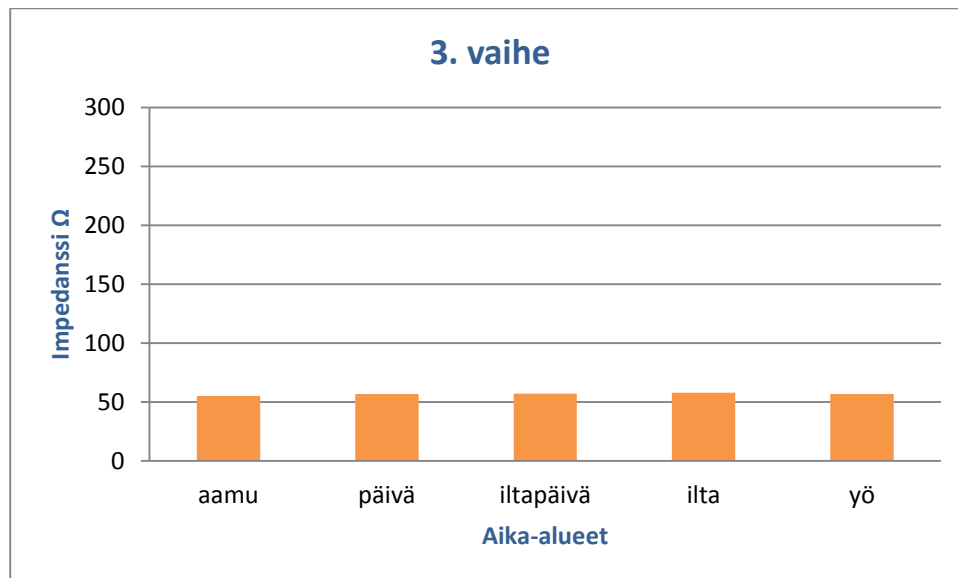
Verrattaessa 2. vaiheen impedansseja (kuva 23) 1. vaiheeseen, voidaan havaita 2. vaiheen impedanssien selvästi matalampi taso ja pienempi vuorokausivaihtelu. Toinen vaihe onkin eniten kuormitettu vaihe, koska siinä on esimerkiksi yksi-vaiheinen lämminvesivaraaja. Pienempi alenema ensimmäisen vaiheen impedansseissa on vuorokauden kotitöiden aktiivisimmilla aika-alueilla.



**KUVA 23. Vaiheimpedanssit 2. vaiheessa eri aika-alueilla**

Toisessa vaiheessa impedanssien matalien arvojen vallitessa päivästä iltaan asti virtaa kulkee aika suuria määriä (lähes 10A).

Kolmannessa vaiheessa impedanssi pysyy koko vuorokauden melko tasaisena (kuva 24). Näin tasaiseen vaihekuormitukseen ei yleensä päästä. Esimerkki kiinteistössä 3. vaiheen tasainen kuormitus tuottaa epätasaisuutta 1. ja 2. vaiheisiin, joissa ei esimerkiksi ole niin paljon tasoittavaa lämmitystä.

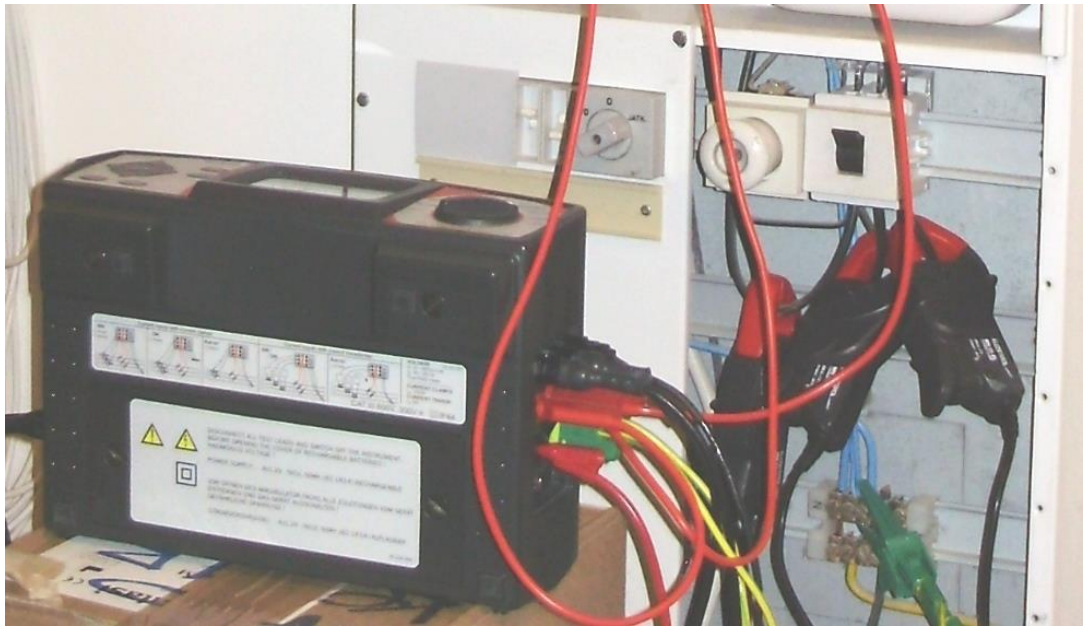


**KUVA 24. Vaiheimpedanssit 3. vaiheessa eri aika-alueilla**

Virrankulku on myös tasainen tässä vaiheessa. Virtaa kulkee kohtalaisesti ympäri vuorokauden. Kesällä vaihe käyttäytyy todennäköisesti epätasaisemmin.

#### **4.3 Eri vaiheiden sähkövirrat pientalossa aika jaksoissa perustilassa ja nolla vian aikana**

Vaihevirratt mitattiin Metrel-verkkoanalysointilaitteen avulla. Mittalaitteen avulla saatiin hyvät tiedot verkon eri sähkösuureiden käyttäytymisestä verkon erilaisissa kuormitustilanteissa. Mittaus oli riittävän pitkä kestoltaan 5 vrk ja 7 t. Mittaushavaintoja tuli 510, joista oli hyvä laskea eri aika-alueiden keskimääräisiä suureita: vaihejännitteitä, vaiheimpedansseja ja vaihevirroja. Ilman mittalaitteen antamaa tietoa ei tämän tyyppisen työn tekeminen olisi ollut mahdollista.



**KUVA 25. Verkkoanalysointilaite mittamassa vaihevirtoja**

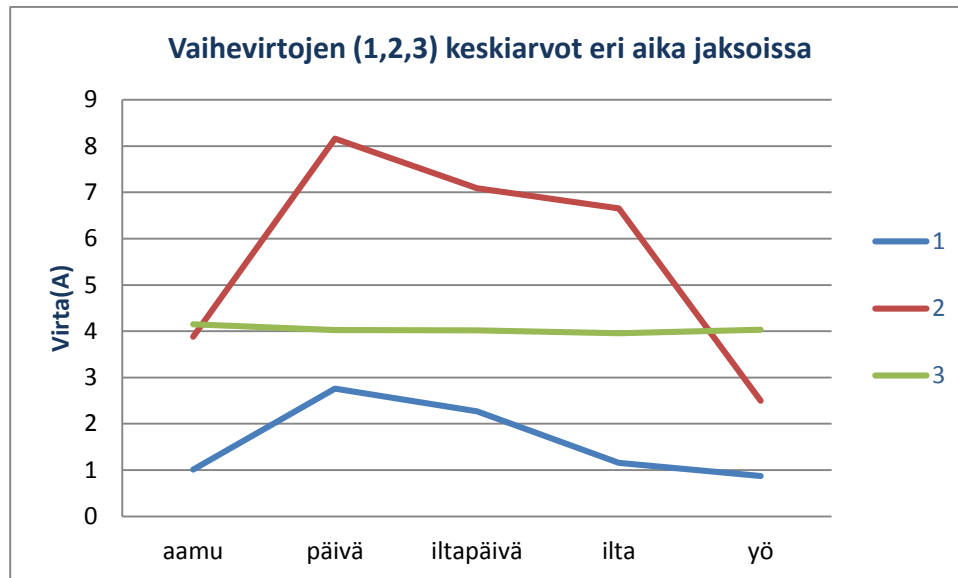
Virtapihdit pitää asettaa oikein päin. Pihdeissä oleva nuoli pitää olla kohdistettu syöttöön päin (kuva 25). Mittayksikön yhteinen nollajohdin on asennettu PEN-kiskoon. Virtapihdit ovat virtamuuntajia, joihin virtajohtimen virran muodostama vaihteleva magneettivuo muodostaa toisiovirran, joka on pienempi tietyllä suhteella kuin alkuperäinen mitattava virta.

Keskimääräisten vaihevirtojen laskennassa laskettiin kaikilta mittausvuorokausilta aika-alueen vaihevirtojen keskiarvot, ja näistä viidestä keskiarvosta muodostettiin keskimääräisen vaihevirran arvo laskemalla viiden vuorokausikeskiarvon keskiarvo (taulukko 14). Voidaan arvioida, että saadut arvot kuvaavat hyvin aika-alueiden sähkön käyttöä.

**TAULUKKO 14. Vaihevirrat eri aika jaksoissa**

	1	2	3
aamu	1,01	3,88	4,15
päivä	2,76	8,16	4,02
iltapäivä	2,27	7,09	4,02
ilta	1,15	6,65	3,96
yö	0,87	2,50	4,03

Vaihevirtojen kulmat määräytyivät vaiheimpedanssien avulla. Vaiheimpedansseihin vaikuttivat resistanssit kuormituksista ja resistanssit sekä induktiiviset reaktanssit loistevalaisimista.



**KUVA 26. Eri vaiheiden virrat aikajaksoissa**

Vaihevirrät olivat epätasaisen kokoiset. Toisessa vaiheessa kuormitus oli selvästi muita vaiheita suurempaa. Toisen vaiheen virrassa oli lisäksi suurimmat vaihtelut eri vuorokauden aikoina. Ensimmäisen vaiheen virta sitä vastoin pysytteli muita vaiheita pienempänä kaikissa aika-alueissa. Huomattavaa on myös kolmannen vaiheen tasainen kuormitus koko vuorokauden ajan. Kuvasta 26 voidaan havaita, että toiminnallista kotitalouskuormitusta sisältävä 2. vaihe saa korkeimman arvonsa päivä jaksossa (klo 10 -13), jolloin kotitalous työt ovat suurimmillaan. Yön ja aamun vaihevirtojen määrät ovat lähellä toisiaan, joskin yöllä 2. vaiheen virta laskee alle 3. vaiheen virta-arvon.

Verkon epäsymmetrisyyden syinä voivat olla vaihevirtojen erot, jännite-erot vaiheissa tai impedanssien erot. Impedanssien erot johtuvat siitä, että kuinka paljon kuormituksia on vaiheissa päällä tai kuormitusten erilaisista reaktansseista. Induktiiviset reaktanssit ja kapasitiiviset reaktanssit muuttavat virran kulmaa ja sijaintia jännitteeseen nähden. Tutkitussa kiinteistössä kuristimilla varustettujen loistevalaisimien päällä olo lisäsi vielä jonkin verran verkon epäsymmetrisyyttä (taulukko 15).

**TAULUKKO 15. Vaihevirtojen (1,2,3) kulmat eri aikajaksoissa**

	1	2	3
aamu	-21,1	115,8	236,8
päivä	-2,5	119,3	238,9
iltapäivä	-15,6	116,1	234,4
ilta	-47,6	114,2	228,8
yö	0	120	240

Yötilanteesta voi havaita mitkä ovat jännitteiden kulmat, koska silloin ei loistevalaisimia ollut päällä (taulukko 15). Suurimmat erot vaihejännitteen kulmaan oli ensimmäisessä vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa vaihevirtojen ero jännitteeseen oli suurimmillaan silloin, kun valaistusta on paljon päällä aamulla ja illalla.

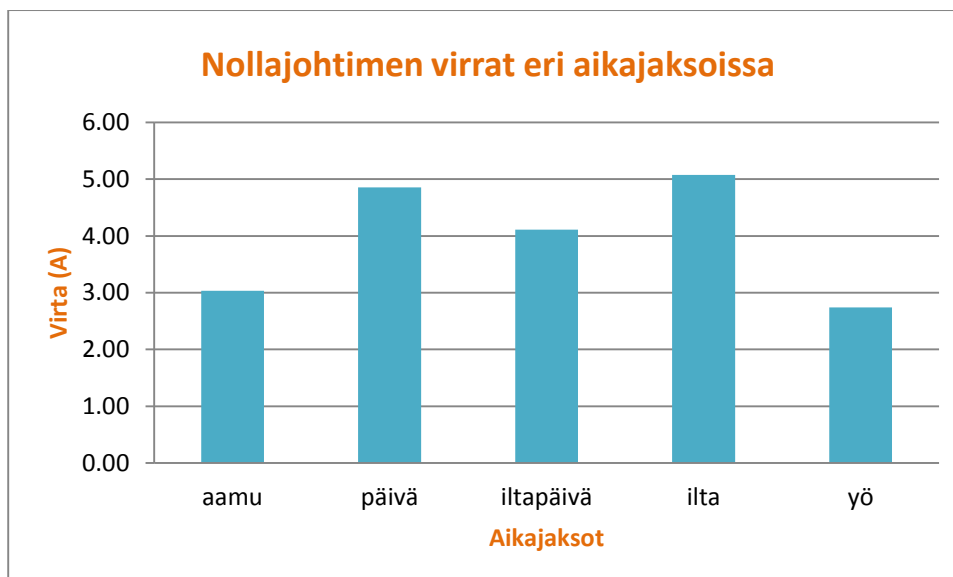
Epäsymmetrisyydestä seuraa virran kulkua nolla-johtimeen. Jos jännitteet ja virrat eri vaiheissa olisivat samansuuruiset ja ne olisivat  $120^\circ$  päässä toisistaan, nollajohtimessa ei kulkisi virtaa, koska vaihevirtojen summa olisi 0.

$$\bar{I}_n = \bar{I}_1 + \bar{I}_2 + \bar{I}_3 \quad (18)$$

$\bar{I}_n$  = nollajohtimen virta

$\bar{I}_1, \bar{I}_2, \bar{I}_3$  = vaihevirit

Tilannetta, jossa nollajohtimessa menisi hyvin vähäinen virta, on vaikea saavuttaa kiinteistöjen verkoissa, koska kuormitus ja laitteistojen ominaisuudet vaihtelevat suuresti. Verkon rakentamissuunnittelussa voidaan kuormitus ja laitteiston jako eri vaiheille, että päästään mahdollisimman lähelle pientä epäsymmetriaa. Myöhemmin asennettavat laitteistot voivat kuitenkin suurentaa epätasapainotilaa. Kaavan 18 mukaan lasketut eri aika-alueiden nollajohtimessa kulkevat virrat olivat melko suuret.



**KUVA 27. Virrat nollajohtimessa eri aikajaksossa**

Jos tarkastellaan kuvaa 26 ja 27, huomataan, että kuormituksen kasvu ei selitä pelkästään nollavirran kasvua, vaan käytettävien laitteistojen merkitys nollavirran suuruudessa on suuri. Tämä seikka selviää ilta aikajakson avulla. Illalla on loistevalaisimia runsaasti päällä ja nollavirta on suurimmillaan, vaikka käytettävä virran määrä on jo laskenut paljon alle päivän ja iltapäivän (kuva 26).

Kuormitusvaihtelut eri vaiheissa selittävät myös jonkin verran nollavirran kasvua, varsinkin jos kuormitukset menevät epätasaisesti päälle eri vaiheissa. Tämä asia ilmenee päivä ja iltapäivä tilanteesta, jolloin 2. vaiheella lämminvesivaraajan aiheuttama kuormitus on suurta ja kuvan 27 mukaan nollavirta on suurta.

#### 4.3.1 Virrat aamulla perustilassa ja nollavirran aikana

Aamulla, jolloin valaistusta on jonkin verran päällä ja muu kojeiden käyttö on vielä vähäisempää, vaihevirtojen ero toisiinsa ei ole kasvanut kovin suureksi. Ensimmäisen vaiheen vaihesiirtokulma on kuitenkin melko suuri. Tämä johtuu vaiheen suurehkosta loistevalaisimien määrästä. Nollavirran taso verrattuna vaihevirtaan on kuitenkin melko suurta. Nollavirtaa siirtyy nollajohtimessa jo yli kolmasosa (33,6 %) vaihevirrasta (taulukko 17). Suhteessa siirtyneeseen virtaan nollavirran osuus oli toiseksi suurinta (taulukko 17).

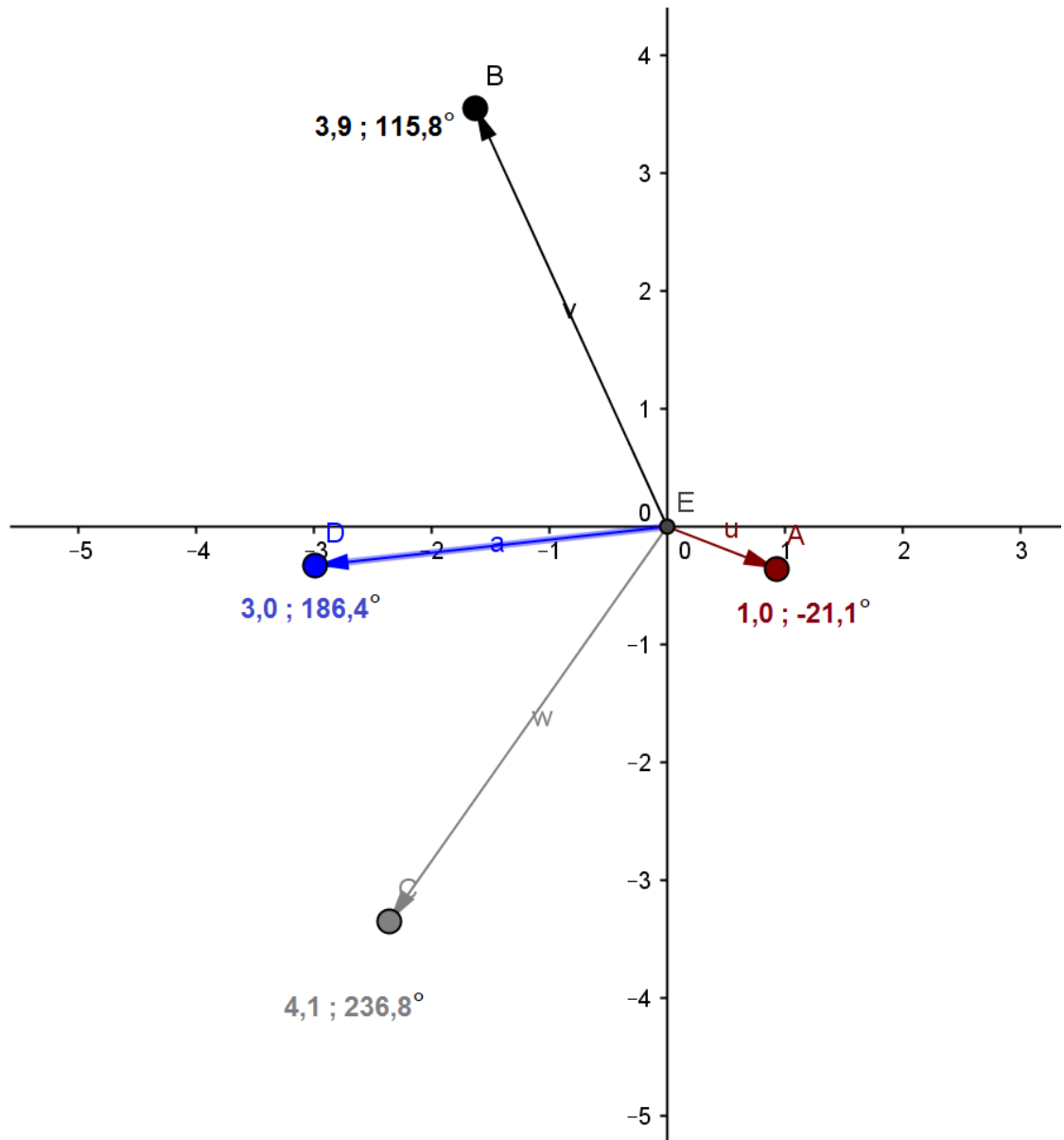
**TAULUKKO 16. Virrat (A) eri johtimissa aamulla**

Vaihe	1	2	3	0
Virta	1,0	3,9	4,1	3,0
Kulma	-21,1°	115,8°	236,8°	186,4°

Taulukosta 16 voi havaita, että vaihe-erot 2. ja 3. vaiheessa jännitteisiin (120° ja 240°) eivät olleet kovin suuret. Mutta 1. vaiheen suuri vaihe-ero osaltaan vaikutti suurehkoon nollavirran tasoon. Aamulla siirtyi vaiheissa kuitenkin toiseksi vähiten virtaa. Ainoastaan yöllä oli virran kulku vähäisempää. Vaihe-ero virran ja jännitteeseen välillä 3.vaiheessa oli aika pieni siitäkin huolimatta, vaikka vaiheessa siirtyi eniten virtaa (taulukko 16).

**TAULUKKO 17. Nollajohtimessa siirtyneen virran osuus (%) vaihejohtimissa siirtyneistä virroista eri aikajaksoissa**

Aikajakso	Nollavirta (A)	Vaihevirrät yhteensä (A)	Nollavirta % vaihevirrasta
aamu	3,0	9,0	33,6
päivä	4,9	14,9	32,5
iltapäivä	4,1	13,4	30,7
ilta	5,1	11,8	43,1
yö	2,7	7,4	37,0



**KUVA 28. Osoitindiagrammi vaihe- ja nollavirroista (A) aamulla**

Kuvassa 28 ja kaikissa myöhemmissä osoitindiagrammeissa (kuvat 29–37) vaiheet 1, 2 ja 3 on merkitty kuvassa tunnuksilla A, B, C ja nollavirta on D. Kuvasta 28 voi huomata, että vaihejärjestys normaalitilassa on ABC.

**TAULUKKO 18. Vaihevirrat (A) aamulla nollajohtimen ollessa irti**

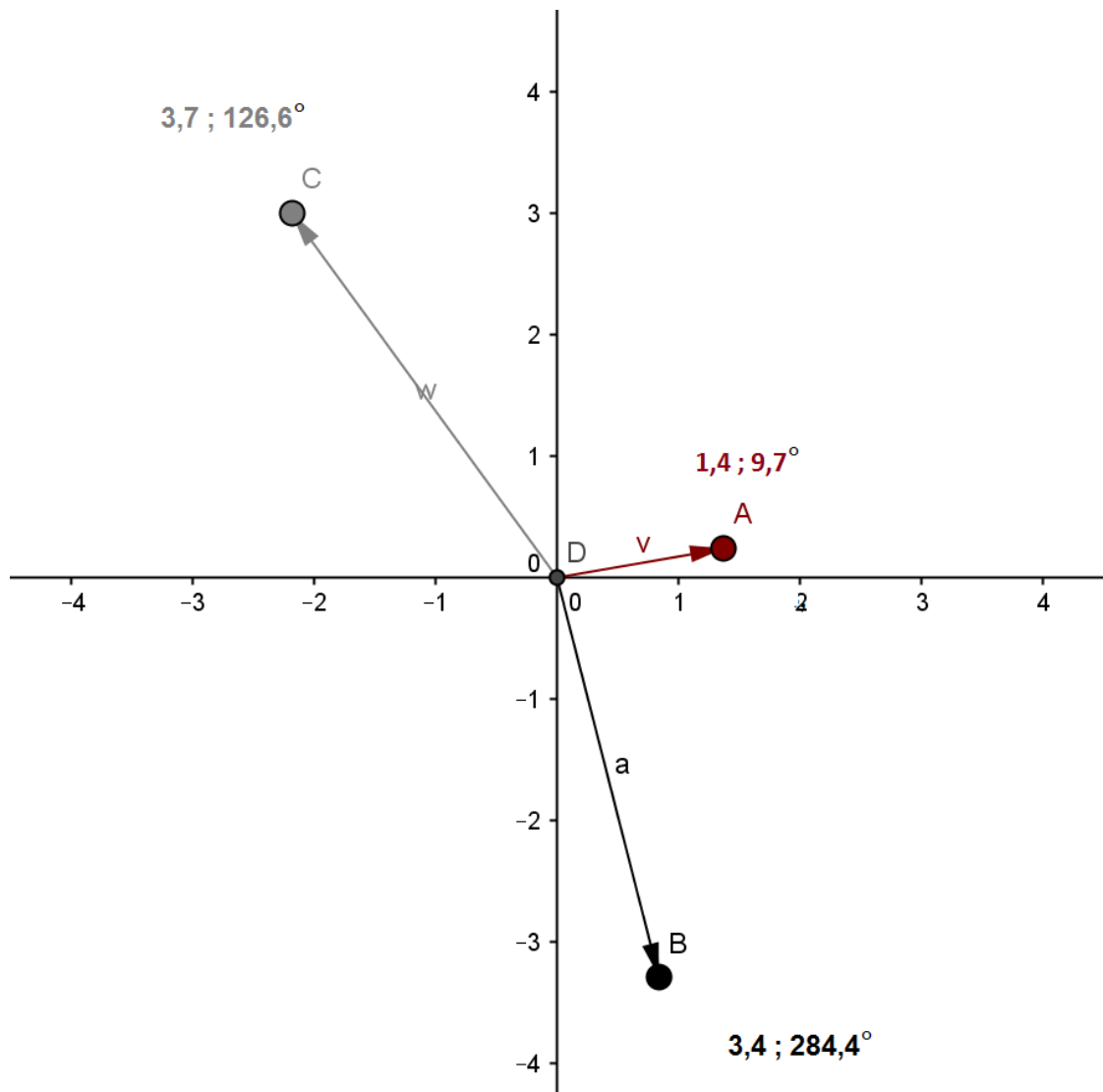
Aamu	1.virta	2.virta	3.virta
virta	1,4	3,4	3,7
kulma	9,7°	284,4°	126,6°

Vertailtaessa nollajohdollista verkkoa nollajohdottomaan verkkoon aamulla voidaan havaita, että virtaa kulkee vähemmän nollajohdon ollessa irti (taulukko 16 ja taulukko



18). Vähentyminen ei ole kuitenkaan kovin suurta. Toisessa vaiheessa vähenee virrankulku (0,5A) ja 3. vaiheessa (0,4A). Todennäköisesti suuremmat impedanssit nollan ollessa irti vähentävät virrankulkua, vaikka jännite on suurempi kuin nollan ollessa verkon osana. Ensimmäisen vaiheen virta nousee nollan ollessa irti hieman (0,4A). Tähän vaikutti suurempi jännite ja impedanssissa ei tapahdu suuria muutoksia.

Vaihekulmissa tapahtuu huomattavia muutoksia. Ensimmäisen vaiheen kulma siirtyy  $30,8^\circ$  eteenpäin (vastapäivään) asteluvuksi tulee  $9,7^\circ$ . Toisen vaiheen kulma suurenee  $168,6^\circ$ :lla asteluvuksi tulee  $284,4^\circ$  ja 3. vaihe aikaistuu ja sen asteluvuksi tulee  $126,6^\circ$ . Asteluvuista voi havaita, että vaihejärjestyksessä on tapahtunut muutos. Vaihejärjestys on ACB-tyyppinen (kuva 29).



**KUVA 29. Osoitindiagrammi vaihevirroista (A) nollavian aikana aamulla**

### 4.3.2 Virrat päivällä perustilassa ja nollavian aikana

Päivätilanteessa virtaa liikkuu vaiheissa eniten (kuva 26 ja taulukko 17). Varsinkin toisen vaiheen virta saavuttaa korkean tason. Nollajohtimen virta (4,9A) ei kuitenkaan ole aika jaksojen suurin, vaikka on lähellä huippuarvoa (5,1A) (kuva 30). Vaihe-erot virtojen ja jännitteiden välillä ovat pienentyneet, koska loistevalaistusta on vähän päällä (kuva 30). Tämä asia pienentää verkon epäsymmetrisyyttä, vaikka 2. vaiheessa onkin suuri virtamäärä siirtymässä verrattuna 1. ja 3. vaiheeseen. Päivällä nollajohtimessa liikkuvan sähkövirran osuus vaiheissa liikkuneista virtamääristä oli 32,5 % (taulukko 17). Tämä oli mittausjaksoista toiseksi pienin arvo. Huomioitavaa on se, että aikajaksossa liikkunut virtamäärä oli suurin kaikista aika-alueista. Virta nollajohtimessa oli kuitenkin noussut melkein 2A:a verrattuna aamuun. Vaihe siirtymät jäivät kuitenkin pieniksi ollen vain 0,7°- 2,5° (taulukko 19).

**TAULUKKO 19. Virrat (A) eri johtimissa päivällä**

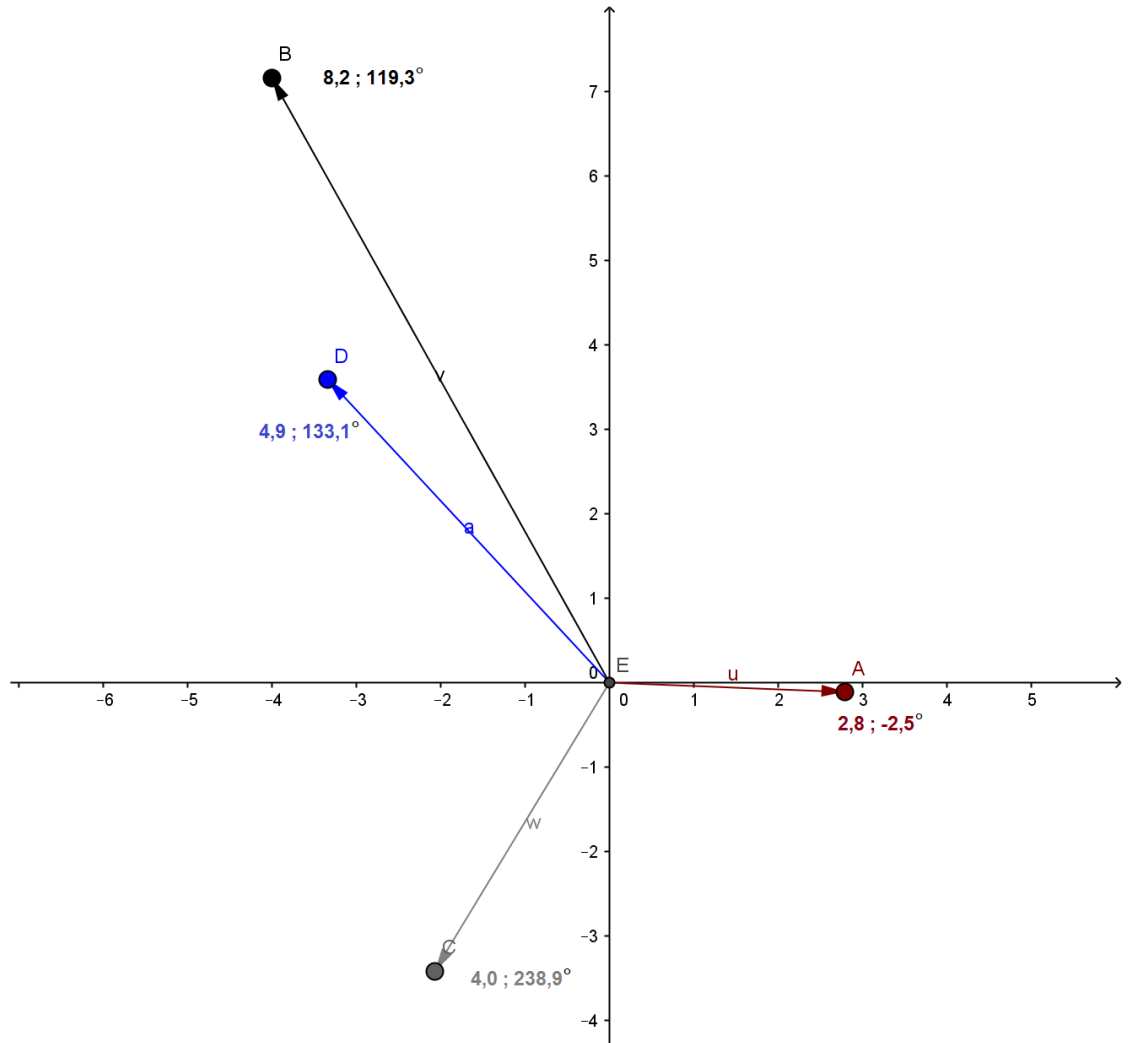
Päivä	1.vaihe	2.vaihe	3.vaihe	0-johdin
virta	2,8	8,2	4,0	4,9
kulma	-2,5°	119,3°	238,9°	133,1°

**TAULUKKO 20. Vaihevirrat (A) päivällä nollajohtimen ollessa irti**

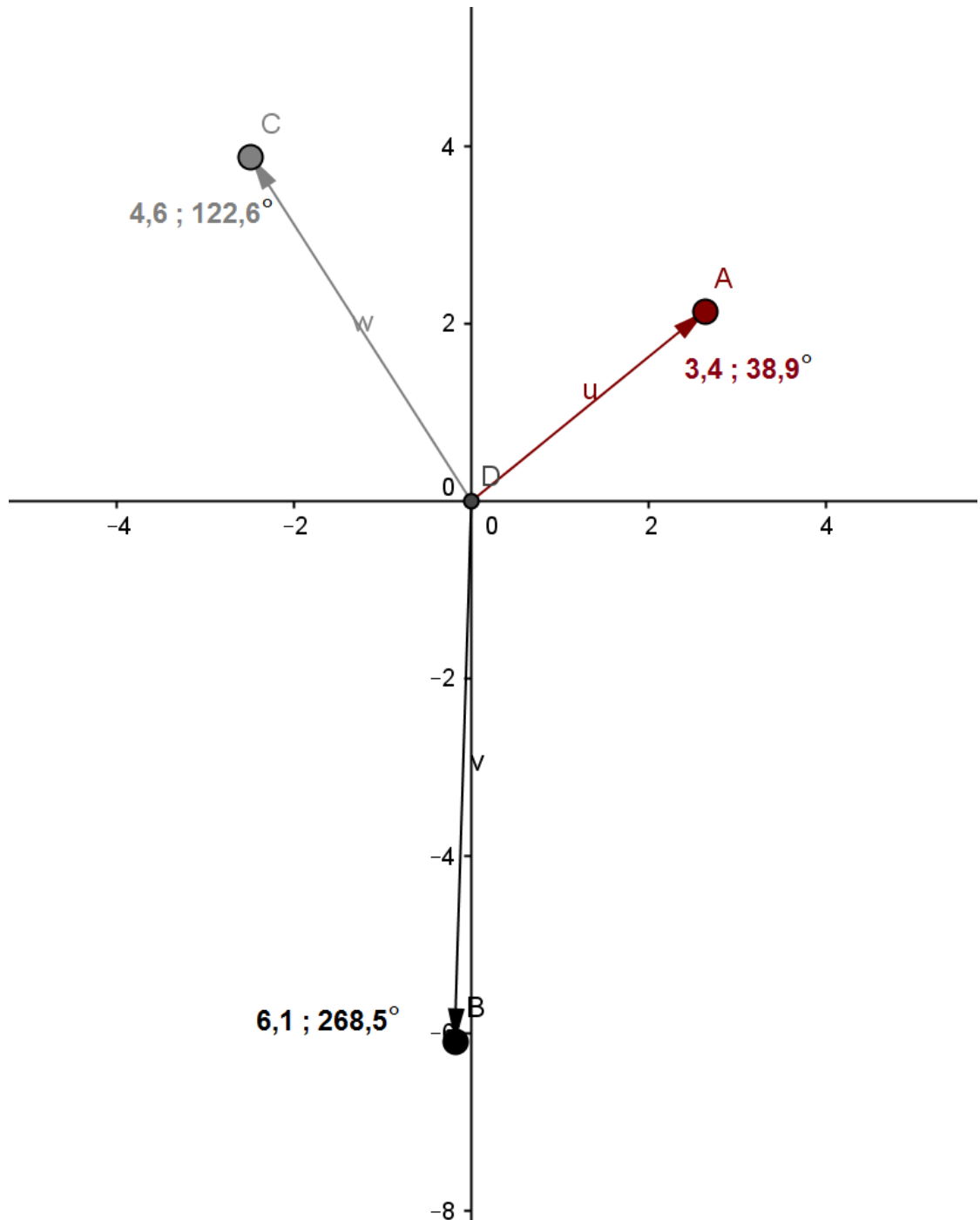
Päivä	1.virta	2.virta	3.virta
virta	3,4	6,1	4,6
kulma	38,9°	268,5°	122,6°

Nollajohtimen irtoamisen jälkeen tapahtui vaihevirroissa jonkin verran muutoksia. Ensimmäisen vaiheen virta kasvoi jonkin verran (0,6A) ja kulma suureni 36,4°:tta. Toisen vaiheen virta laski 2,1A:a ja kulma siirtyi 268,5°:een eli 149,2°:tta myöhäisemmäksi. Tämä siirtymä oli samanlainen kuin oli aamu tilanteessa. Kolmannen vaiheen virta nousi myös jonkin verran (0,6A). Kulma pieneni 116,3°:lla siirtyen asteluvulle 122,6°:tta. Yleisesti voi huomata, että virrankulussa eri vaiheiden välillä, ei suuruusjärjestys muuttunut nollajohtimen irtoamisen seurauksena. Impedanssit määräävät myös nolla irti -tilanteessa virrankulusta. Virtaa kulkee sieltä

eniten, missä on pienimmät impedanssit. Mutta vaihevirtojen sijoittuminen ajan funktiona muuttui voimakkaasti. Muutos oli aamun aikajakson kanssa samanlainen. Kolmas vaihe siirtyi ajassa ennen toista vaihetta (kuva 31)



**KUVA 30. Osoitindiagrammi vaihe- ja nollavirroista (A) päivällä**



**KUVA 31. Osoitindiagrammi vaihevirroista (A) nollavian aikana päivällä**

### 4.3.3 Virrat iltapäivällä perustilassa ja nollavian aikana

Iltapäivällä virtojen määrät eri vaiheissa olivat melko suuria, vaikka eivät olleet ihan päivän tasoa (taulukko 21). Kolmannen vaiheen virta oli pysynyt samansuuruisena, mutta ensimmäisessä ja toisessa vaiheessa virran määrä oli laskenut päivätilanteeseen

verrattuna. Vaihe-erot jännitteeseen olivat kasvaneet päivätilanteeseen verrattuna, koska valaistuksen määrä oli suurentunut ja valaistuksesta osa oli kuristimilla varustettuja loistevalaisimia joiden induktiivinen reaktanssi tuotti vaihe-eroa jännitteeseen. Nollavirta oli vähentynyt 0,8A:sta siitäkin huolimatta, vaikka induktiivinen reaktanssi oli kasvanut (kuva 32). Toisen vaiheen kuormituksen lasku (1,1A) oli syynä tähän. Epäsymmetrisyyttä on vähemmän toisen vaiheen virran vähentyessä.

**TAULUKKO 21. Virrat (A) eri johtimissa iltapäivällä**

Iltapäivä	1.vaihe	2.vaihe	3.vaihe	0-johdin
virta	2,3	7,1	4,0	4,1
kulma	-15,6°	116,1°	234,4°	142,8°

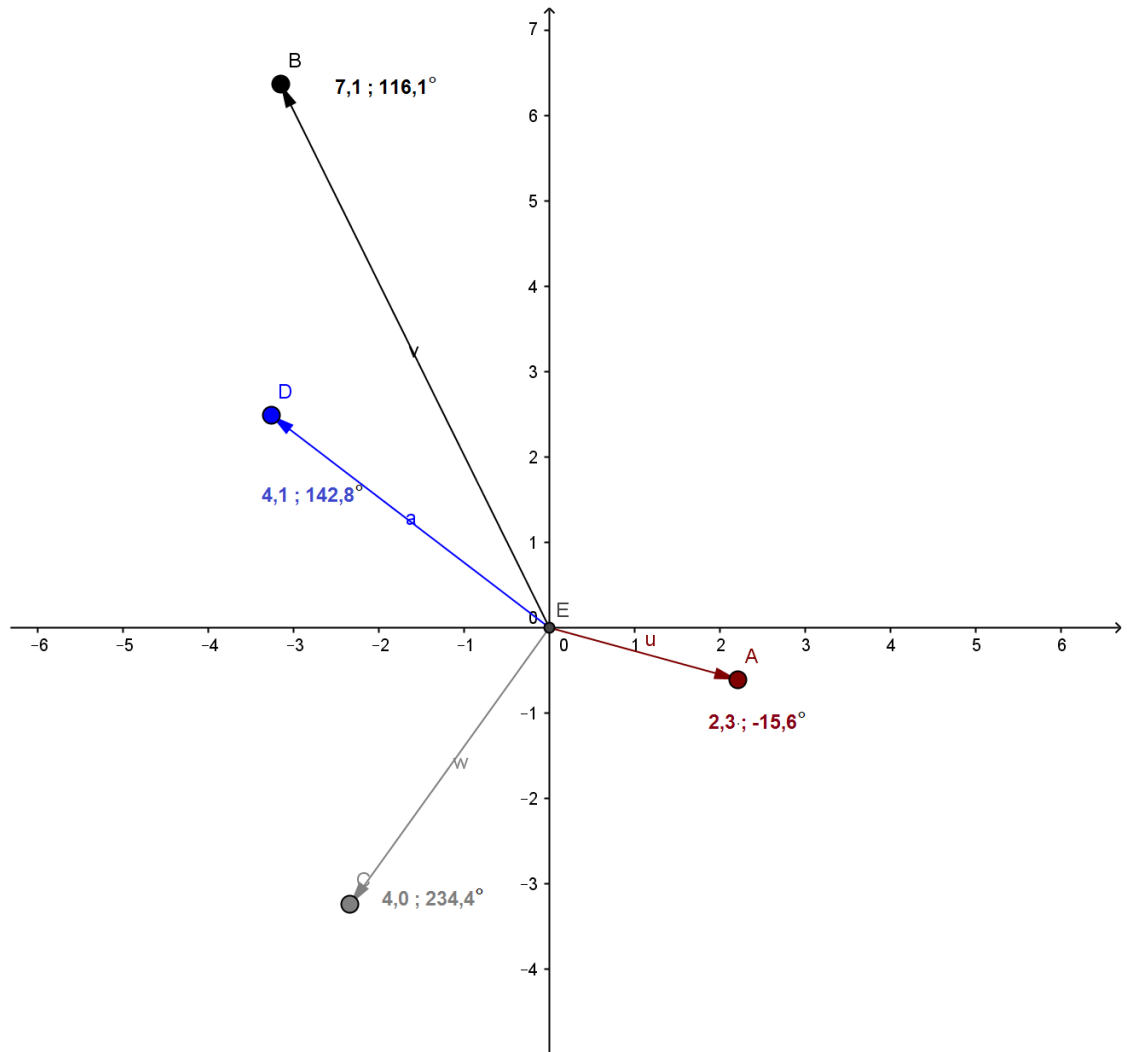
**TAULUKKO 22. Vaihevirit (A) iltapäivällä nollajohtimen ollessa irti**

Iltapäivä	1.vaihe	2.vaihe	3.vaihe
virta	2,9	4,0	4,8
kulma	24,2°	272,6°	128,0°

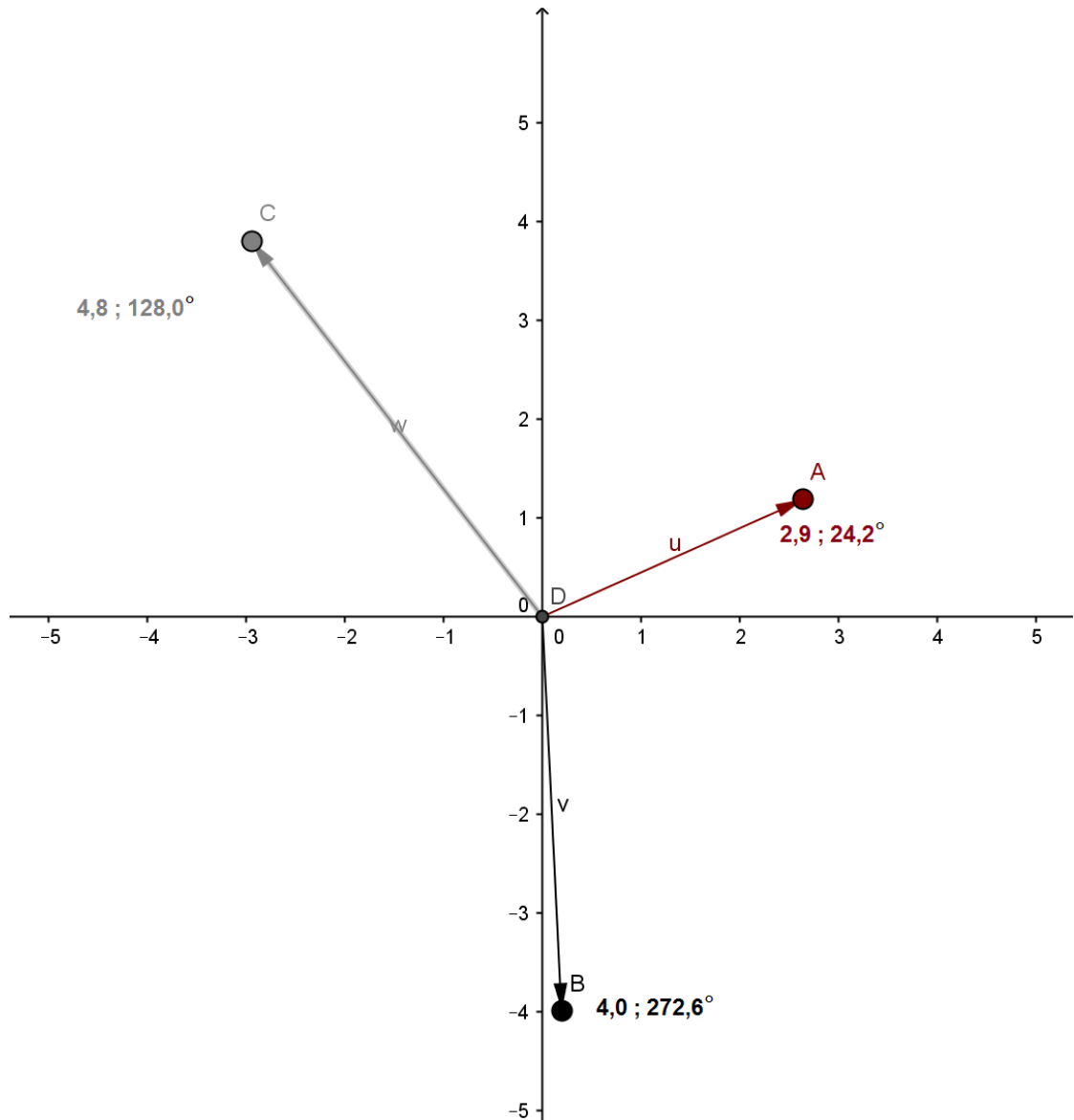
Jos nollajohtin irtoaisi iltapäivällä, ensimmäisessä ja kolmannessa virran kulku lisääntyisi jonkin verran. Ensimmäisessä vaiheessa lisäys olisi 0,6A, joka on suhteellisesti suuri nousu, koska vaiheessa meni perustilassa vain 2,3A sähkövirtaa (kuva 33). Nousu voi selittyä kohonneella jännitteellä. Kolmannen vaiheen virta nousi 0,7A. Nousu ei ollut suhteellisesti niin suuri kuin 1. vaiheessa. Suurin muutos tapahtui kuitenkin toisessa vaiheessa. Virran määrä laski 43,7 % 7,1A:sta 4,0A:iin. Toisen vaiheen suuri virtamäärä perustui pieneen impedanssiin, mutta nolla irti -tilanteessa impedanssi suurenee, koska muiden vaiheiden impedansseja tulee mukaan sarjassa, vaikka vaiheiden sisäiset impedanssit ovat rinnan. Suuremmasta jännitteestä huolimatta virran kulku laskee.

Virtojen kulmat muuttuvat suuresti. Pienin muutos tapahtui 1. vaiheessa, jossa vaihekulma siirtyy -15,6°:sta 24,2°:een. Toisen vaiheen kulma siirtyi 156,5° myöhäisemmäksi eli 272,6°:een. Kolmas vaihe aikaistui 234,4°:sta 128°:een (taulukot 21 ja 22). Iltapäivänä nollavirran suhde yhteenlaskettuihin vaiheviritoihin oli

pienimmillään. Nollavirta oli 30,7 % vaihevirtojen yhteismäärästä. Iltapäivänä verkko oli vähiten epäsymmetrinen, koska kaikissa vaiheissa oli impedanssit alhaalla.



**KUVA 32. Osoitindiagrammi vaihe- ja nollavirroista (A) iltapäivällä**



**KUVA 33. Osoitindiagrammi vaihevirroista (A) nollavian aikana iltapäivällä**

#### 4.3.4 Virrat illalla perustilassa ja nollavian aikana

Illalla nollajohtimessa meni melkoisesti sähkövirtaa. Nollajohtimen virtamäärän suhde vaiheissa liikkuneisiin virtoihin nousi 43,1 %:iin. Nollajohtimen virtamäärä oli 5,1A (taulukko 23). Suuri virtamäärä selittyy osittain illan loistevalaistuksen suurella määrällä, joka aiheutti verkkoon lisää epäsymmetrisyyttä ja lisäksi vaihevirtaerot kasvoivat suureksi (kuva 34). Ensimmäisessä vaiheessa liikkui vähän sähkövirtaa, mutta vaihe-ero jännitteeseen oli suurimmillaan. Ensimmäisen vaiheen virta oli laskenut jo melkein yö tilanteen tasolle (taulukko 23). Eroa yö aikajaksoon oli enää vain 0,3A. Pieni vaihe-ero jännitteeseen ilmaisee valaistuksen vähentyneen. Vaiheessa

on pistorasioita, joilla käytetään kotitalouskoneita. Näiden pistorasioiden käyttö on myös vähentynyt. Toisessa vaiheessa virran määrä oli 6,7A ja vaihesiirtokulma 114,2°. Virta oli alempi kuin päiväjaksossa, mutta edelleen korkeampi kuin muissa vaiheissa. Veden lämmitykseen menee vielä energiaa. Valaistusta vaiheessa on kohtalaisesti päällä (vaihe-ero 5,8°). Valaistus sijaitsee oleskelutiloissa ja työtiloissa.

Kolmannen vaiheen virta pysyi samalla noin 4A:n tasolla. Kohtalaisen suuri vaihe-ero jännitteeseen (11.2°) ilmaisee valaistusta olevan myös tässä vaiheessa runsaasti päällä. Valaistusta näyttäisi olevan 2. vaiheeseen verrattuna enemmän, koska vaihesiirtokulma oli suurempi. Ilta on aikaa, jossa kodeissa vietetään vapaa-aikaa ja mahdollisia kotitöitä tietoteknisillä laitteilla. Valaistus voimakkuudelle haetaan tällaisissa tilanteissa mahdollisimman suuria arvoja. Valaistusvoimakkuuden tulisi olla ainakin 400 lux /2, s. 222./.

### TAULUKKO 23. Virrat (A) eri johtimissa illalla

Ilta	1.vaihe	2.vaihe	3.vaihe	0-johdin
virta	1,2	6,7	4,0	5,1
kulma	-47,6°	114,2°	228,8°	153,9°

### TAULUKKO 24. Vaihevirrät (A) illalla nollajohtimen ollessa irti

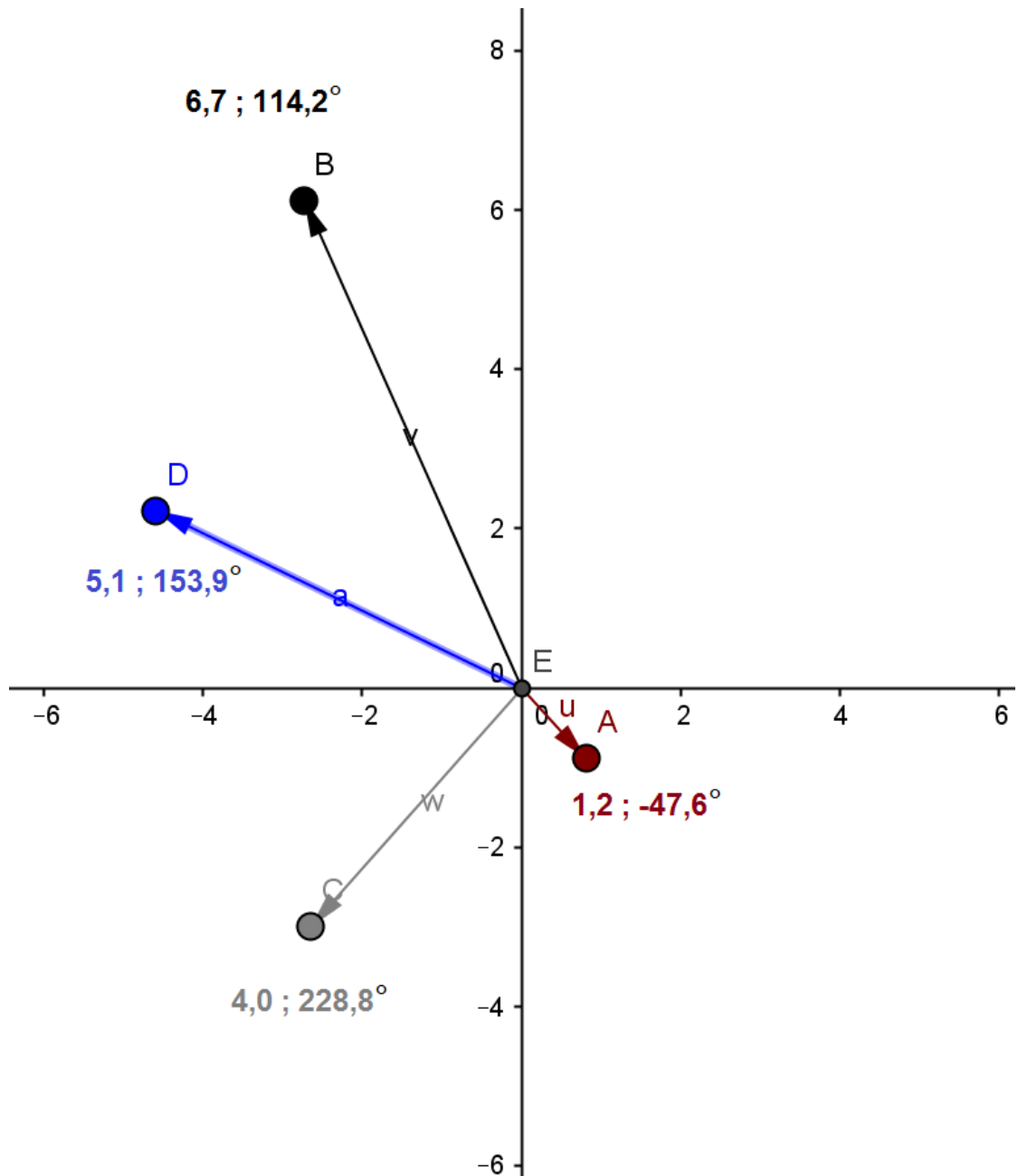
Ilta	1.vaihe	2.vaihe	3.vaihe
virta	1,6	4,8	4,6
kulma	354,6°	278,0°	117,1°

Vertailtaessa iltajaksossa verkon normaalitilaa nollajohtimen irtoamisen jälkeisen tilaan havaitaan eri vaiheiden virtämäärissä samankaltaisuutta aikaisempiin aikajaksoihin. Ensimmäisen ja kolmannen vaiheen virrat kasvavat ja toisen vaiheen virta laskee (taulukko 23 ja 24). Ensimmäisen vaiheen virta kasvaa nollajohtimen irtoamisen seurauksena 0,4A ja kolmannen vaiheen virta kasvaa 0,6A. Suhteellisesti kasvu oli 1. vaiheessa suurempaa (kuva 35). Nousu johtuu suuremmasta jännitteestä. Toisen vaiheen virta laskee 1,9A, koska impedanssien lisäyksen virrankulkua estävä

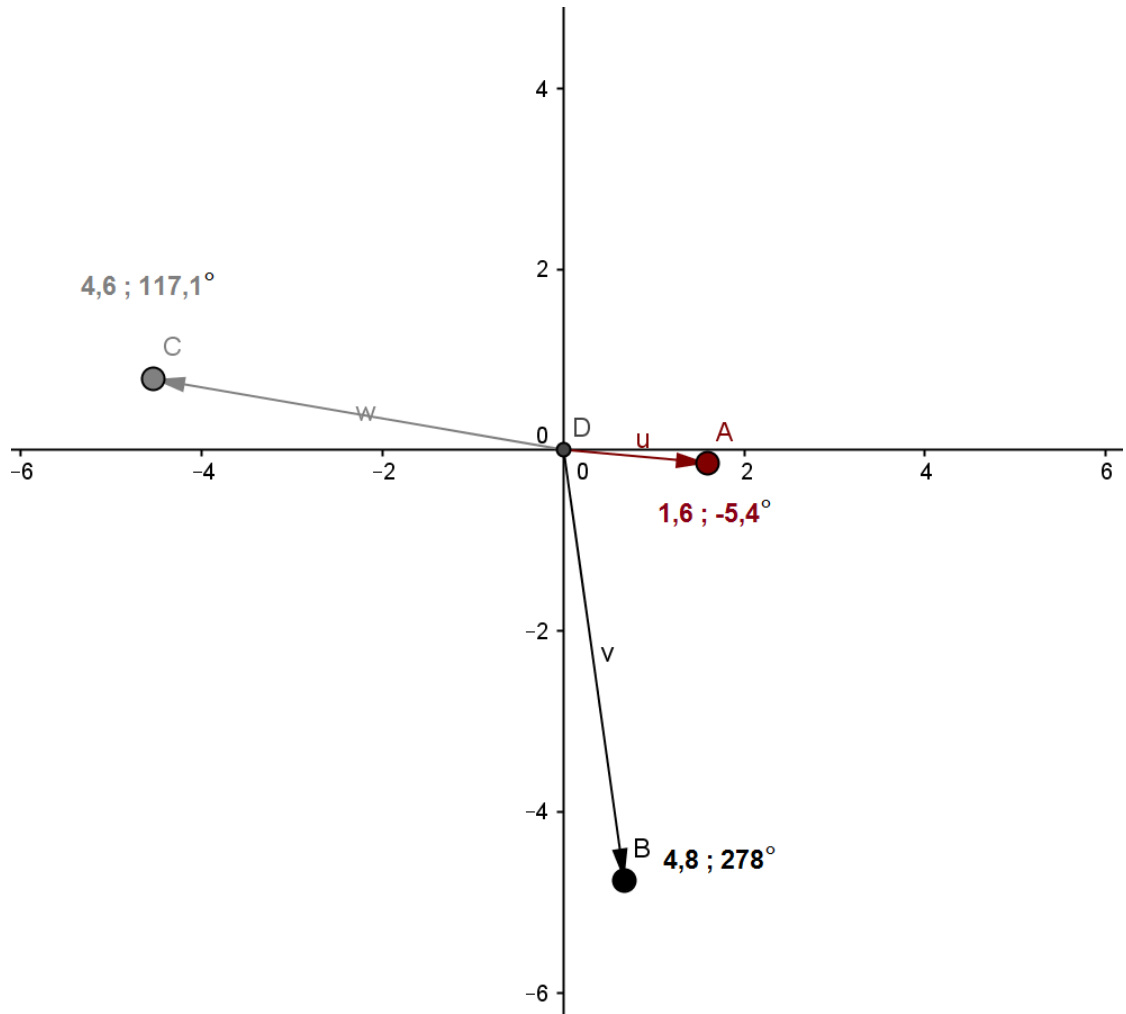


vaikutus ylittää suurentuneen jännitteen virrankulkua suurentavan vaikutuksen. Ensimmäisessä ja kolmannessa vaiheessa tapahtuu toisinpäin, niissä virta suurenee.

Vaihekulma siirtyy ensimmäisessä vaiheessa  $42,2^\circ$  vastapäivään (kuvat 37 ja 38). Toisen vaiheen kulma suureni  $114,2^\circ$ :sta  $278^\circ$ :een. Muutos oli samansuuntainen kuin aikaisemmissa aikajaksoissa. Kolmannen vaiheen kulma aikaistui  $228,8^\circ$ :sta  $117,1^\circ$ :seen (kuvat 34 ja 35). Vaiheen kulmamuutos oli myös aikaisempien aikajaksojen kanssa samankaltainen.



**KUVA 34. Osoitindiagrammi vaihe- ja nollavirroista (A) illalla**



**KUVA 35. Osoitindiagrammi vaihevirroista (A) nollavian aikana illalla**

#### 4.3.5 Virrat yöllä perustilassa ja nollavian aikana

Yöllä sähkövirtojen suuruus eri vaiheissa oli vähäisimmillään (taulukko 17). Yöllä on sähkölaitteista päällä lämmitykseen ja jäähdytykseen liittyviä laitteistoja. Termostaattiohjatut pakastimet, jääkaapit ja lämmittimet toimivat tarpeen tullen. Satunnaisesti voi valoja olla päällä lyhyen aikaa. Lämmin vesivaraajan vastus voi muuttaa sähköenergiaa lämpöenergiaksi yölläkin, jos lämpimän veden kulutusta on ollut myöhään illalla tai se on yö sähkölle ohjattu. Ensimmäisessä siirtyi keskimäärin vain 0,9A sähkövirtaa ja toisessa vaiheessa vain 2,5A, joka on vähemmän kuin kolmannessa vaiheessa (kuva 36). Muissa aikajaksoissa toisen vaiheen virta ylitti selvästi muiden vaiheiden virrat. Kolmannessa vaiheessa ei sähkövirran kulussa

tapahtunut muutoksia, vaan sähkövirtaa kulki edelleen samantasoisesti aikaisempien aikajaksojen kanssa 4,0A.

Nollavirtaakin kulki nollajohtimessa kaikista aika-alueista vähiten 2,7A (taulukko 25). Vaihevirtoihin verrattuna nollavirtaa kulki kuitenkin toiseksi eniten 37 % yhteenlasketuista vaihevirtojen määrästä (taulukko 17). Suureen osuuteen voi olla syynä virtojen erot, jotka olivat suhteellisen suuret, kun otetaan huomioon se, että virrat olivat tasoltaan pieniä.

Vaihe-eroja jännitteisiin ei muodostunut, kun kuristimelliset loistevalaisimet olivat pois päältä. Verkon epäsymmetrisyyttä synnyttivät varsinkin 1. ja 2. vaiheen pienet virtamäärät

#### **TAULUKKO 25. Virrat (A) eri johtimissa yöllä**

Yö	1.vaihe	2.vaihe	3.vaihe	0-johdin
virta	0,9	2,5	4,0	2,7
kulma	0°	120°	240°	209,0°

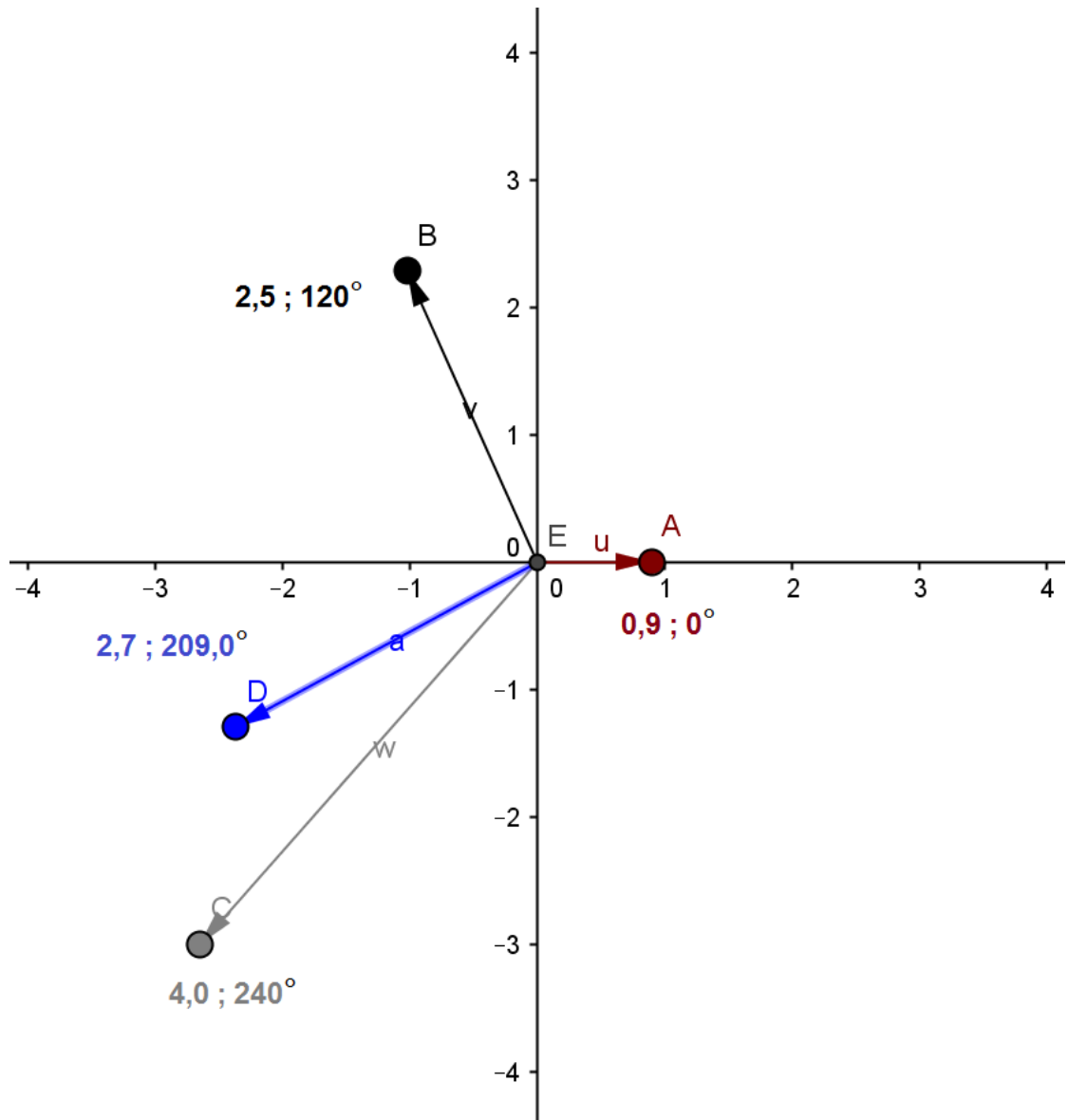
#### **TAULUKKO 26. Vaihevirrat (A) yöllä nollajohtimen ollessa irti**

Yö	1.vaihe	2.vaihe	3.vaihe
virta	1,2	2,7	2,9
kulma	22,2°	290,5°	134,3°

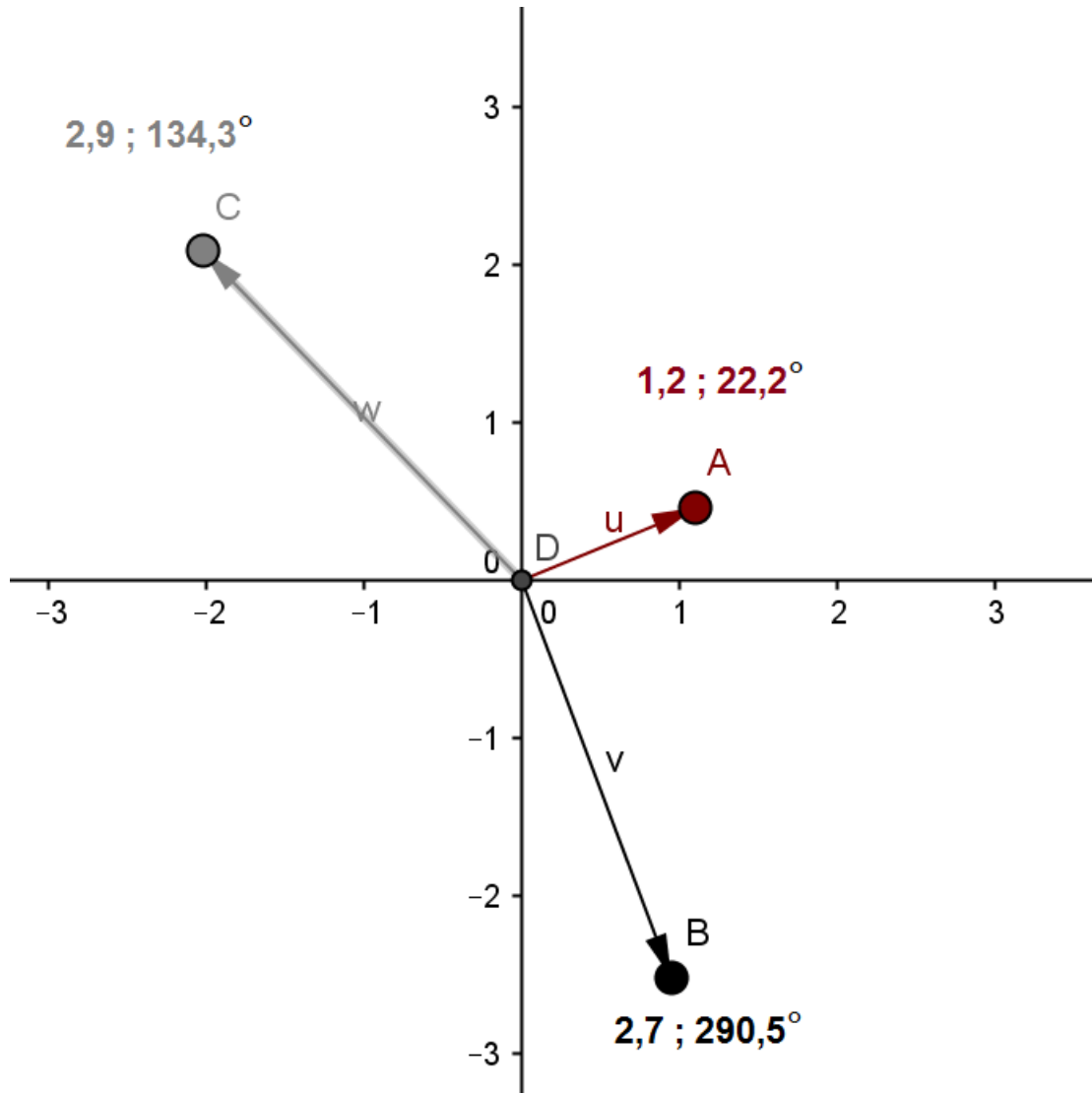
Nollajohtimen irrottua yö tilanteessa kasvaa 1. vaiheen virta 0,3A ja 2. vaiheen virta 0,2A:ia. Kolmannen vaiheen virta pienenee 1,1A. Aikaisempiin tilanteisiin verrattuna nollan ollessa irti sähkövirtaa liikkuu suhteessa paljon (kuva 37). Virtaa kulkee lähes yhtä paljon kuin nollan ollessa kytkettynä. Sähkövirran ollessa vähäistä voi nollan irrotessa virtaus olla lähes yhtä isoa.

Vaihekulmat muuttuivat samaan tapaan aikaisempien aikajaksojen kanssa. Ensimmäinen vaihe siirtyi vastapäivään 0°:sta 22,2°:een. Toisen vaiheen kulma siirtyi 120°:sta 290,5°:een. Ja kolmannen vaiheen virta aikaistui 240°:sta 134,5°:een (kuvat 36 ja 37). Vaihevirtojen kulmien muutokset olivat selvästi suuremmat kuin virtojen

muutokset. Tämä johtuu impedanssien ja jännitteiden muuttumisista. Impedansseissa ja jännitteissä tapahtuu suurenemista ja siirtymistä aika-akselilla.



**KUVA 36. Osoitindiagrammi vaihe- ja nollavirroista (A) yöllä**



**KUVA 37. Osoitindiagrammi vaihevirroista (A) nollavien aikana yöllä**

#### 4.4 Sähköturvakyselyn tuloksia

Viidelle eri opetusryhmälle Hyvinkään yhteiskoulun lukiossa järjestettiin sähköturvakysely kurssikokeiden yhteydessä. Kyselyyn osallistui neljä nuorisosteen ryhmää ja yksi aikuisasteen ryhmä. Kysely oli lyhyt sisältäen vain neljä kysymystä, ja se järjestettiin kurssikokeiden yhteydessä. Tavoitteena oli mahdollisimman suuri osallistumisosuus kyselyyn osallistuneista. Tavoitteeseen päästiin hyvin, sillä ainoastaan yhtä vastausta pienemmäksi jäi kyselyyn vastanneiden määrä maksimi määrästä. Kyselyllä selvitettiin tavallisen ihmisen tietoja ja taitoja joistakin sähköturvallisuuden vaikuttavista asioista.

## Sähköturvallisuuskysely (HYK/HYRIA/MAMK)

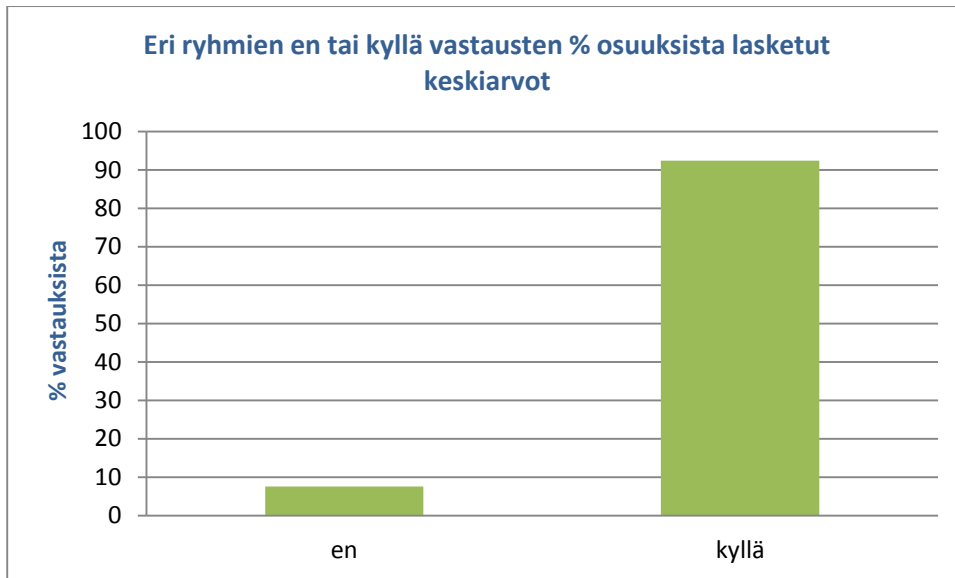
Vastaa laittamalla rasti en tai kyllä ruutuun (neljä kysymystä)

	en	kyllä
1. Tiedän mistä saan kotona sähköt pois päältä (koko asunto).		
2. Oletko kuullut joskus jotain nollaviasta sähköverkossa		
3. Tiedätkö mitä nollavika sähköverkossa tarkoittaa		
4. Tiedätkö miten toimit nollavian tapahtuessa		

**KUVA 38. Kyselykaavake**

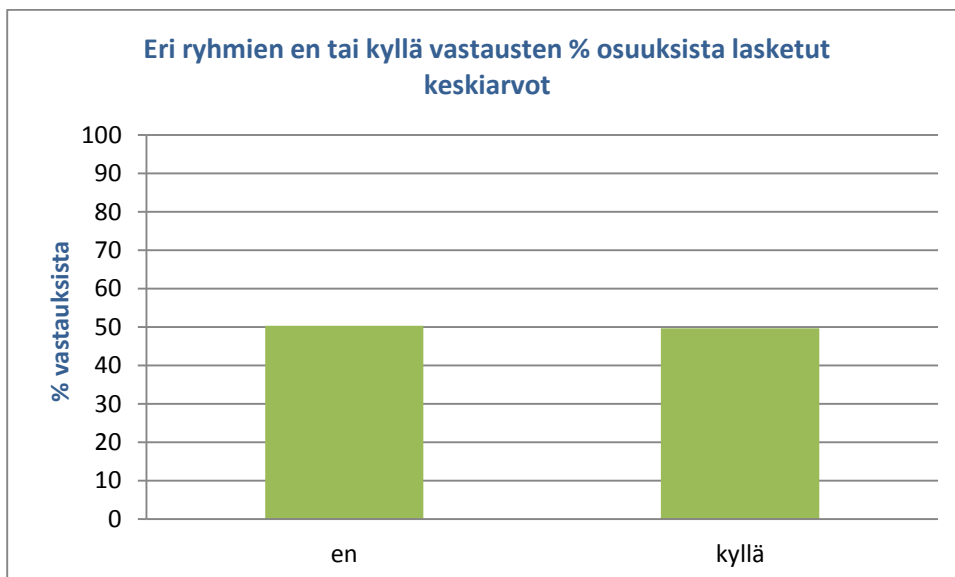
Vastaaja laitto kyselykaavakkeeseen yhden rastin jokaiselle neljälle vaakariville (kuva 38)

Ensimmäinen kysymys: Tiedätkö, mistä sähköt saa koko asunnosta pois päältä. Tämä on perustietoa sähköturvallisuuden alueelta. Eri ryhmien vastauksista laskettiin osuudet prosentteina, ja lopuksi laskettiin eri ryhmien tuloksista keskiarvot ja keskihajonta. Suurin osa vastaajista (92,4 %) tiesi, mistä sähköt menee pois päältä, ja ainoastaan 7,6 % vastaajista ei sitä tiennyt (kuva 39). Ryhmätuloksista laskettu keskihajonta oli 4,7. On kuitenkin huomattava, että 7,6 % kokoinen ei tietäjien ryhmä, on kuitenkin suuri näin merkittävässä sähköturvallisuusasiassa. Kodin turvallisuusasioista vastuu on suurelta osin asujilla itsellään, mutta koululaitoksellakin voisi olla hyvät mahdollisuudet nostaa kodin turvallisuutta.



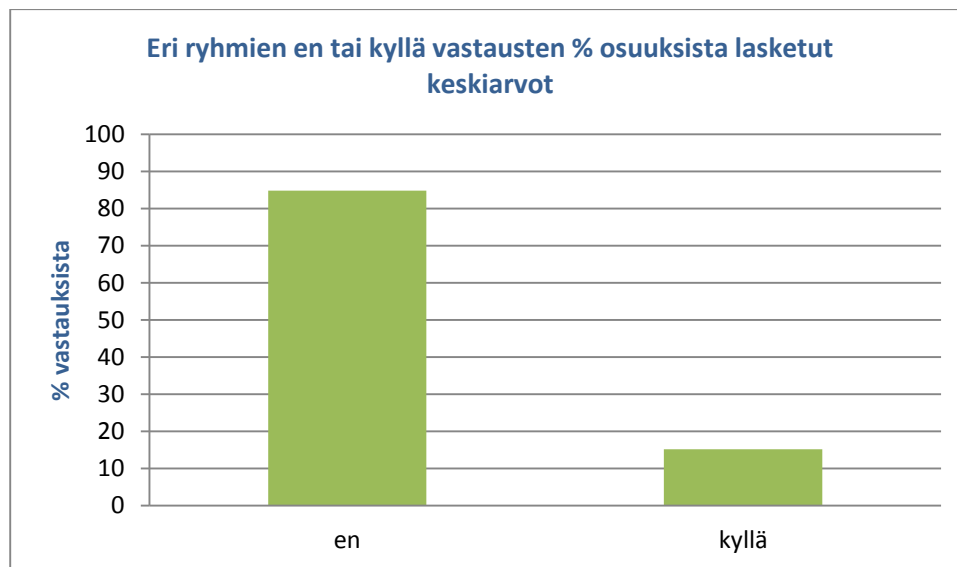
**KUVA 39. En- ja kyllä-vastauksista lasketut ryhmätulosten keskiarvot (kysymys: Saatko asunnosta sähköt pois päältä)**

Toisessa kysymyksessä tiedusteltiin, onko henkilö aikaisemmin kuullut jotain nollaviasta. Monille ihmisille sana nollavika on täysin tuntematon, ja siitä ei ole mitään tietoa. Tulokset kuitenkin kertovat, että noin puolet (50,4 %) ihmisistä tunnistaa nollavian sanana ja 49,6 % ei ole sitä ennen kuullut tai se ei ole jäänyt muistiin (kuva 40). Ryhmien välillä oli vähän enemmän eroavaisuutta (keskihajonta 12,6) kuin ensimmäisessä kysymyksessä.



**KUVA 40. En- ja kyllä-vastauksista lasketut ryhmätulosten keskiarvot (kysymys: Tunnistaako nollavika sanan)**

Kolmas kysymys olisi voinut olla myös neljäs kysymys, jos kysymykset olisivat järjestetty sähkötekniikan tietämyksen vaativuuden mukaiseen järjestykseen. Jos henkilö tietää, mitä nollavika tarkoittaa sähköverkossa, tietää hän myös sähköverkon perustoiminnan pääpiirteet. Tästä johtuen ei ollut mikään ihme, että vain 15,1 % vastasi tietävänsä nollavian sähköteknisen merkityksen. Täysin varmana ei voi pitää sitä, että kyllä vastanneiden henkilöiden tiedot olisivat olleet oikeita. En vastauksia oli 84,9 % (kuva 41). Ryhmävastausten keskihajonta oli 7,9. Hajonta ryhmätuloksissa ei ollut kovin suuri.



**KUVA 41. En ja kyllä vastauksista lasketut ryhmätulosten keskiarvot (kysymys: Tiedätkö mitä nollavika sähköverkossa tarkoittaa)**

Neljännessä kysymyksessä tiedusteltiin sitä, arvioiko henkilö tietävänsä oikeat toimintatavat nollavian tapahtuessa. Kysymyksellä ei kuitenkaan selvinnyt se, olivatko henkilöiden tiedot oikeat nollavianaikaisesta toiminnasta. Samanlainen tilanne oli kolmannessa tehtävässä, joka ei antanut tietoa siitä, ovatko henkilön tiedot oikeat nollavian merkityksestä sähköverkossa. Mielestään oikeat toimintatiedot nollavian sattuessa oli 17,1 % vastaajista (kuva 42) ja ei tiedä oikeasta toiminnasta osuus oli 82,9 %. Jos kahdessa viimeisessä kysymyksessä vastaajien olisi pitänyt laittaa lyhyt selvitys tiedoistaan nollaviassa, olisi kyllä ryhmän osuus saattanut supistua vielä pienemmäksi.

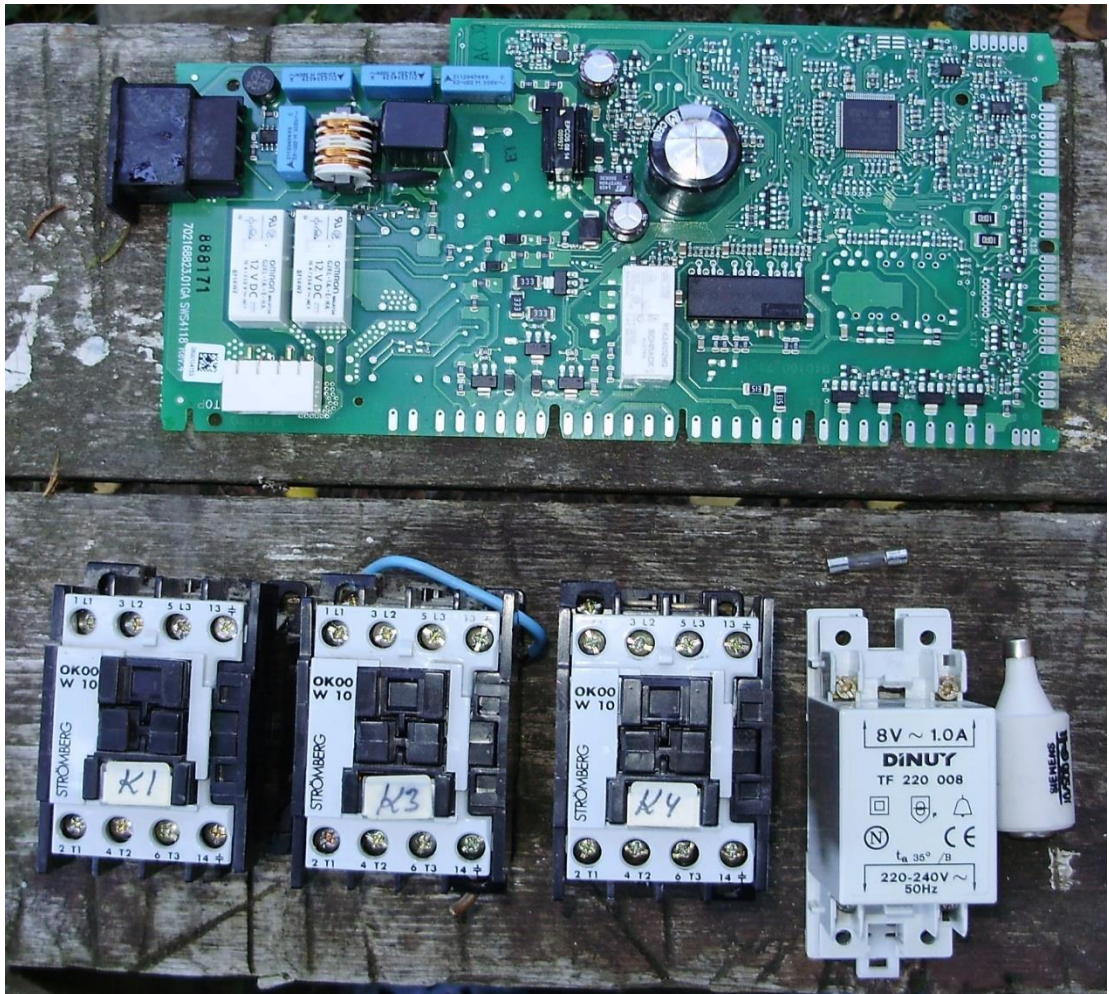




**KUVA 42. En ja kyllä vastauksista lasketut ryhmätulosten keskiarvot (kysymys: Osaako toimia oikein nollavian sattuessa)**

#### 4.5 Rikkoontuneissa laitteissa havaitut viat

Kontaktorit, muuntajat ja kuristimet tutkittiin aistinvaraisesti ja mittaamalla yleismittarilla. Kontaktoreissa näytti olevan sisäpuolella nokeentumista kelan ympäristössä (kuva 43). Yleismittarilla mitattu vastusarvot  $A_1$  ja  $A_2$  välillä olivat äärettömät. Ehjässä kontaktorissa vastaava mittaus tuotti  $490 \Omega$  arvon. Nollavian aikana hetkellinen suuri jännite ja virta ovat rikkoneet kelan.



**KUVA 43. Nollavian vaurioittamia kontaktoreita, ovikellomuuntaja, 10A varoke, astianpesukoneen ohjausmoduli**

Ovikellomuuntaja osoittautui mittauksessa keloiltaan ehjäksi, koska kelojen vastusarvot ( $N_1$  118  $\Omega$  ja  $N_2$  2,7  $\Omega$ ) osoittautuivat olevan lähellä toimivaa muuntajaa ( $N_1$  47,5  $\Omega$  ja  $N_2$  3,5  $\Omega$ ). Jonkin verran laitekuoressa oli pullistumaa (kuva 43), joka viittaisi lämpenemisen tuottamaksi vaurioksi. Muuntaja ei kannata enää asentaa käytettäväksi.

Pienmuuntajat, jotka vaurioituivat nollavian aikana, mitattiin  $N_1$  ja  $N_2$  kelojen vastusarvot. Huawei puhelimen muuntajassa  $N_1$  kelan vastusarvo oli ääretön. Kelassa on jatkuvuus vaurio (kuva 44). Langattoman sisäverkon modeemin muuntajan vastusarvot olivat vähän erilaiset kunnossa olevaan verrattuna. Muuntajan ensiökäämin puolella on kuitenkin vaurio, koska se polttaa 10A sulakkeen melko nopeasti, jos se kytetään sähköverkkoon.



**KUVA 44. Rikkoontuneita pienmuuntajia**

Loistevalaisimen kuristin oli tuhoutunut ylikuumentumisen takia. Kuristimesta tuli voimakashajuista savua nollavian aikana. Todennäköisesti kuristimesta suli ja paloi osa eristeistä (kuva 45). Vastusarvon mittaus (12,4  $\Omega$ ) ei kuitenkaan antanut oikosulkuarvoa, vaikka vastus oli pienehkö. Mahdollinen vaurio ei ollut kelan alkupäässä. Pieni vastusarvo mahdollistaa aika suuren virta-arvon kuristimessa. Vastaavan kunnossa olevan kuristimen vastusarvo oli 29,4  $\Omega$ .





**KUVA 45. Nollavian vaurioittama loistevalaisin**

Astianpesukoneen ohjelmalevystä ei löydetty vikaa aistinvaraisella tarkistuksella. Ylijännite voi rikkoa ohjelmalevyssä erilaisia diodeja, transistorereita ja prosessoreita.

## 5 TULOSTEN TARKASTELUA

### 5.1 Aikajaksojen vaikutus tuloksiin

Tutkimukseen valittiin viisi aikajaksoa, joiden ajateltiin muodostavan riittävän hyvän yleiskuvan verkon toiminnasta vuorokauden eri hetkinä. Nämä aika-alueet valikoituivat kotitalouksien vuorokauden eri hetkien muuttuvien toimintojen mukaan. Nämä erilaiset kuormitustilanteet tulevat esiin myös erilaisina sähköenergian kulutuksina aikajaksoissa.

On hyvä huomata, että aika-alueiden muodostaminen ja esimerkiksi sähkövirtojen kuvaaminen lasketulla keskiarvolla yleistää virran kulun ja suuret lyhytaikaiset poikkeamat häviävät esitetystä tuloksista. Käytännössä tällainen yleistys täytyy tehdä, että saadaan esiin yleensä oleva tilanne, joka on tutkimuksen tavoite.

Aikajaksojen pituus vaikuttaa myös tuloksiin jonkin verran. Jos aikajaksot olisivat olleet yhtä tuntia lyhempiä (puolen tunnin vähennys alku ja loppupäästä), olisivat ne

vaikuttaneet keskimääräisiin virtoihin kuitenkin melko vähän (taulukko 27). Oletettavasti kahden tunnin aikajakso ei myöskään anna niin hyvää yleiskuvaa kotitalouden eri vuorokauden osien tyypillisestä sähkön käytöstä.

**TAULUKKO 27. Vaihevirrat aikajaksoissa 3 tunnin ja 2 tunnin perusteella**

Aika	1.vaihe	2.vaihe	3.vaihe
aamu 3h	1,01	3,88	4,15
aamu 2h	1,13	3,96	4,07
Z-arvo	0,85	0,14	0,19
päivä 3h	2,76	8,16	3,61
päivä 2h	2,08	8,34	3,80
Z-arvo	0,77	0,12	0,32
iltapäivä 3h	2,27	7,09	4,02
iltapäivä 2h	2,30	6,44	4,13
Z-arvo	0,04	0,40	0,30
ilta 3h	1,15	6,65	3,96
ilta 2h	1,52	7,03	3,89
Z-arvo	1,07	0,35	0,17
yö 3h	0,87	2,50	4,03
yö 2h	0,84	2,39	4,01
Z-arvo	0,22	0,72	0,11

Z-testillä voidaan selvittää, että poikkeavatko aineistosta lasketut eri keskiarvot merkittävästi toisistaan /5, s. 234; 8/. Jos Z-testillä saatu arvo kohoaa yli 1,96 voidaan sanoa, että keskiarvot eroavat melkein merkitsevästi toisistaan. Tämän testin perusteella 2 tunnin ja 3 tunnin keskiarvot virtojen aikajaksoissa eivät eronneet

toisistaan. Z-arvot jäivät paljon alle 1,96 (taulukko 27). Tämä tulos viittaa siihen, että aikajaksot olisivat melko hyvät. Siihen viittaa myös se, että aikajaksot poikkeavat paljon toisistaan virran kulun suhteen. Nämä eroavaisuudet eri aikajaksojen virroissa vaikuttivat sitten kaikkiin työn tuottamiin tuloksiin. Jos aikajaksot olisivat olleet vielä puolta tuntia lyhyemmät, olisivat Z-testin arvot poikenneet taulukon 28 esittämistä arvoista. Keskiarvojen muuttuminen olisi vaikuttanut myös Z-arvoihin. Aikajaksojen lyhentäminen voisi vaikuttaa Z-arvoja suurentavasti.

**TAULUKKO 28. Z-testin tuottamat arvot 2 tunnin ja 3 tunnin aikajaksojen vertailussa eri aikajaksojen vaihevirroissa**

Aika	1	2	3
aamu	0,85	0,14	0,19
päivä	0,77	0,12	0,32
iltapäivä	0,04	0,40	0,30
iltapäivä	1,07	0,35	0,17
yö	0,23	0,72	0,11

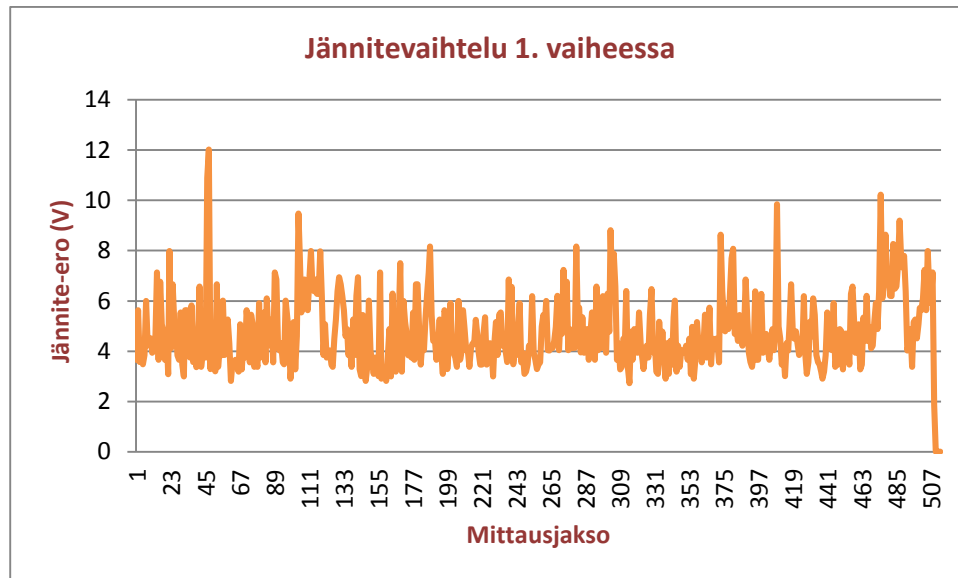
## 5.2 Mittauksien tuottama kuva verkon normaalitilasta

### 5.2.1 Jännitteet

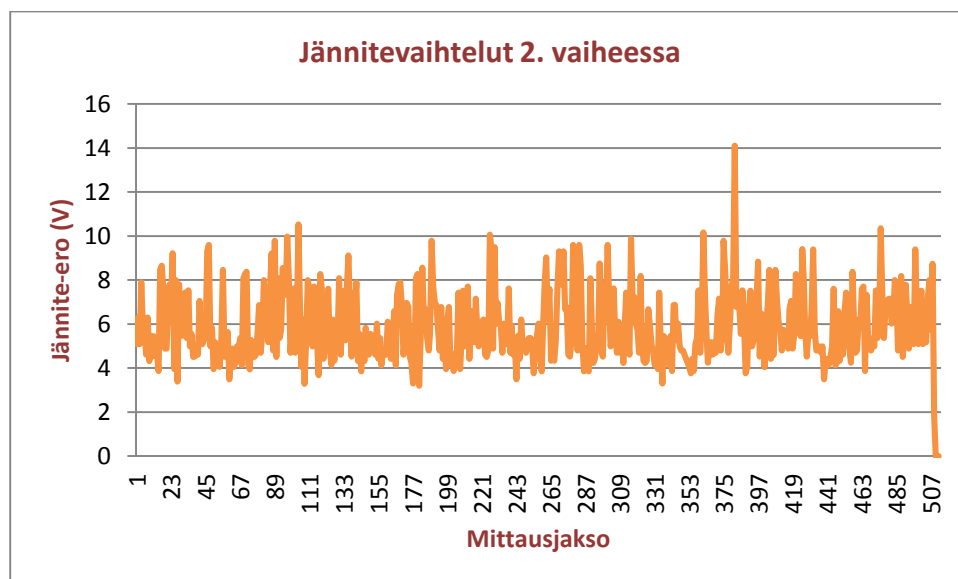
Ilman Metrel-2170 verkontilan mittalaitetta ei työn tekeminen käyttäen havaittuja mittaustuloksia olisi ollut mahdollista. Mittaukset antavat kiinteän pohjan joihin perustuen voi tuottaa laskemalla tarpeen mukaan kaikkea mahdollista tietoa. Jos pitää saada esiin arvoja tutkittavassa kohteessa joistakin suureista jonkin muuttujan funktiona, on oltava mittauksia, joihin laskeminen perustuu. Tutkimukseen tulee mukaan yhteys ympäristöön. Toisaalta ilman perustutkimuksen tuottamia tapahtumia kuvaavia kaavoja ja lakeja ei mittaustuloksista päästäisi etenemään ja saamaan esiin muita suurearvoja.

Mittausaikana jännitteissä oli havaittavissa vaihtelevuutta, joka oli epäsäännöllistä ja myös säännöllisempää päiväaikaan vähän nousevaa jännitettä ja yöaikaan hieman laskevaa jännitettä. Jännitteeseen voi vaikuttaa kuormitusten muuttuminen ja generaattoreiden säätö. Yhteiskäyttöverkossa olevien voimalaitosten tehoja voidaan

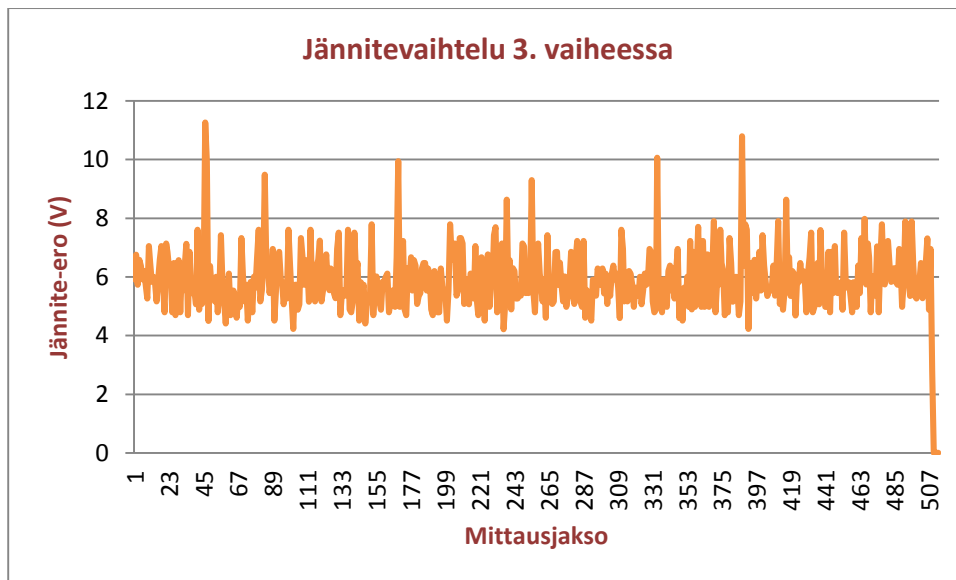
säätää rytmisen vuorokausivaihtelun huomioon ottamiseksi /7. s. 111/ niin, että ne huomioivat päivän aikaan tapahtuvan kuormituksen nousun. Satunnaisvaihtelun huomioon ottaminen onkin vaikeaa.



**KUVA 46.** 15 minuutin mittausjakson maksimi- ja minimijännitteen erotus 1.vaihe



**KUVA 47.** 15 minuutin mittausjakson maksimi- ja minimijännitteen erotus 2.vaihe



**KUVA 48.** 15 minuutin mittausjakson maksimi- ja minimijännitteen erotus 3. vaihe

**TAULUKKO 29.** Mittausjaksojen maksimi- ja minimijännitteiden erotusten keskiarvot ja keskihajonnat eri vaiheissa

	$\bar{X}$	$\sigma$
1.vaihe	4,74	1,45
2.vaihe	5,86	1,65
3.vaihe	5,87	1,11

Kuvista 46, 47, ja 48 tulee esiin se, että jännitevaihtelut 510 mittausjakson aikana tavallisesti pysyttelivät 5 ja 6 V lähetyvillä. Mutta kaikissa vaiheissa esiintyi ajoittain yli 10 V jännitevaihteluja mittausjaksoissa. Keskihajonta-arvoista voi kuitenkin havaita, että suurin osa jännitevaihteluista pysytteli noin 1,5 V päässä keskiarvojen molemmiin puolin. Kokonaisuutena jännitevaihtelu jäi selvästi alle 5 % tason ja jännitettä voi pitää melko tasaisena.

Mittauksilla ei saatu esiin yliaaltojen vaikutuksia jännitteen laatuun, koska jatkuvasta jännitemittauksista ei ollut tuloksia käytettävissä.

### 5.2.2 Impedanssit

Impedansseja ei suoranaisesti mitattu, vaan impedanssiarvot eri vaiheissa ja aikajaksoissa perustuivat laitteistoista saatuihin tietoihin ja inventointeihin.

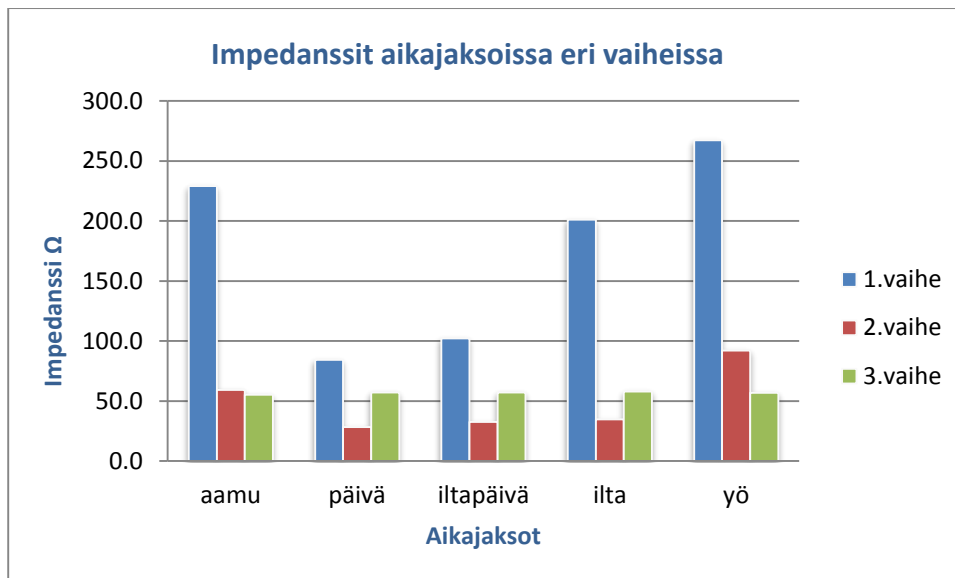


Mittaustuloksien jännite- ja virtamittauksia käytettiin impedanssien laskemisessa. Tällä tavalla voidaan sanoa, että impedanssitkin perustuivat mitattuun ja havaittuun tietoon. Impedansseissa ja kaikissa muissakin sähköverkkosuureissa tapahtuu lyhytaikaisia poikkeamia keskimääräisistä arvoista. Nämä jäivät tässä työssä vähemmälle huomiolle, koska tarkoitus oli kuvata yleistilaa verkon normaalitilassa ja nollan irtoamisen jälkeen eri aikajaksoissa.

Impedanssien kulmien laskemisessa valittiin menetelmäksi määrittää kuristimellisten loistevalaisimien tehot ja virrat vaihetta kohti. Näitä tietoja käytettiin, kun laskettiin kuinka paljon loistevalaisimet vaikuttavat vaihesiirtokulmaan. Valaisimien päällä olo vaihtelee eri aikajaksoissa. Aikajaksoihin valittiin yleiseen havainnointiin pohjautuen sopivat päällä olo osuudet. Tällaisella valinnalla saatiin muodostettua yleiskuvaa valaistuksen merkityksestä epäsymmetrisyyteen ja vaihe siirtymään. Vaihevirran kulman eron vaihejännitteeseen olisi saanut selville myös mitattujen tehojen kautta, mutta silloin valaistuksen osuudesta epäsymmetrisyyteen ja vaihesiirtokulmaan ei olisi saatu niin selvää kuvaa.

Kulman laskemisessa muodostettiin sijaiskytkentä jossa loistevalaisimien muiden kuormien pätövirrat laskettiin yhteen ja loistevalaisimien loisvirtojen avulla laskettiin vaihesiirtokulma. Ilman muita kuormia vaiheessa nousisi vaihesiirtokulma valaisimien takia suureksi ( $60^\circ$ ), mutta muut kuormat olivat niin suuria, että vaihe-ero jännitteeseen jäi yleensä alle  $10^\circ$ . Ainoastaan 1.vaiheessa päästiin suurempiin lukemiin, koska muun kuormituksen osuus oli vaiheessa pienehkö.

Suurimmat vaihesiirtokulmat olivat illalla, koska silloin oli 70 % kaikista valaisimista päällä. Tällöin 1. vaiheessa vaihesiirtymä oli  $47,6^\circ$  ja kolmannessakin vaiheessa se nousi  $11,2^\circ$ . Toiseen vaiheeseen loistevalaisimien runsas päällä olo ei tehnyt suurta vaikutusta vaihesiirtokulmaan ( $5,8^\circ$ ), koska vaiheessa oli niin suuri resistiivinen kuorma. Led valaisimien yleistyminen vähentää loisvirtaa ja tehokertoimen arvo suurenee. Suuret vaihesiirtymät poistuvat vähitellen pientaloista.



**KUVA 49. Impedanssien vaihtelu aikajaksoissa eri vaiheissa**

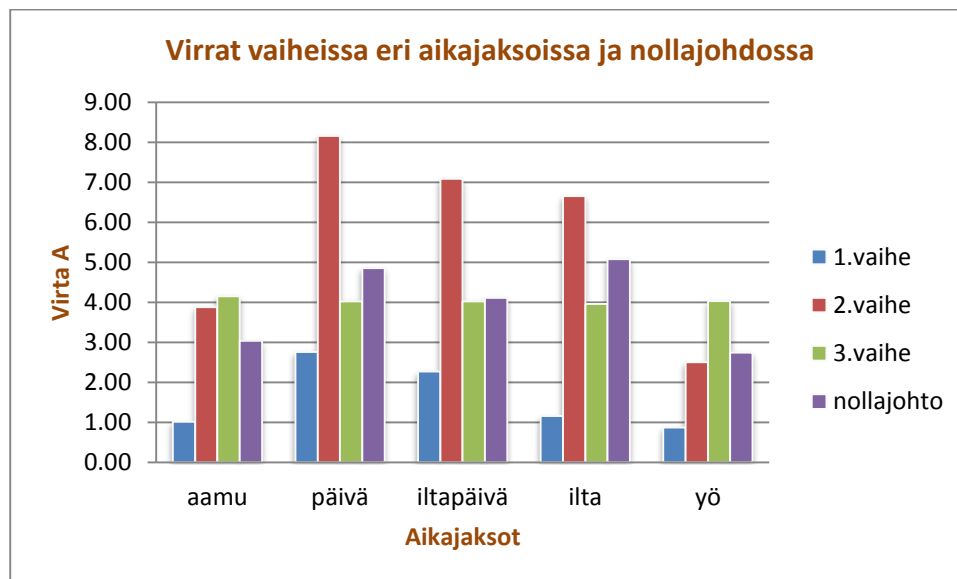
Ensimmäinen vaiheen impedanssi (kuva 49 siniset pylväät) on koko vuorokauden muita suurempi, joka ilmaisee vaiheen olevan kuormitukseltaan liian vähällä käytöllä. Toisen vaiheen impedanssi (kuva 49 ruskeat pylväät) on yleensä pienin. Siitä voisi siirtää joitakin kuormia 1. vaiheen puolelle. Varsinkin sellaisia kuormia, jotka olisivat toiminnassa aamulla, illalla ja yöllä. Kolmannen vaiheen (kuva 49 vihreät pylväät) kuormat toimivat suurin piirtein samalla teholla koko vuorokauden. Kolmanteen vaiheeseen ei ole tarvetta tehdä muutoksia. Hetkittäin impedanssit olivat keskimääräisiä pienempiä ja virtamäärät kohosivat suurehkoiksi lyhyeksi ajaksi. Jos virralla olisi kulkuväyliä vaiheessa eli kuormia päällä niin paljon, että impedanssi laskisi alle pitemmäksi aikaa tunniksi alle  $6 \Omega$ , niin vaiheen päävaroke toimisi ja katkaisisi virran kulun ylikuormitustilanteessa. /6. s. 133 ja 255. /

Tutkimusjakson aikana ei kuitenkaan esiintynyt tällaisia suuremman kuormituksen tilanteita. Talvella, kun lämmitysenergiaa kuluu enemmän, voi olla mahdollista ainakin lähestyä virrankulussa 1 tunnin katkaisualuetta (31,3 – 40A). Aikaisemmin lämminvesivaraaja oli kytketty 1. vaiheeseen. Lisärakennuksen valmistumisen jälkeen 1. vaiheen päävaroke on toiminut kolme kertaa merkinä liian suuresta kuormituksesta. Lämminvesivaraaja kytkettiin 2. vaiheeseen nolla vian jälkeen.

### 5.2.3 Virrat

Impedanssien suurien erojen seurausta oli suuret erot virtamäärissä jotka kulkivat vaiheissa eri aikajaksojen aikana. Tästä seurasi myös melko suuri nollajohdossa kulkeva sähkövirta. Nollajohtimen sähkövirran suuruuteen vaikutti myös vaihe-ero jännitteen ja vaihevirran välillä.

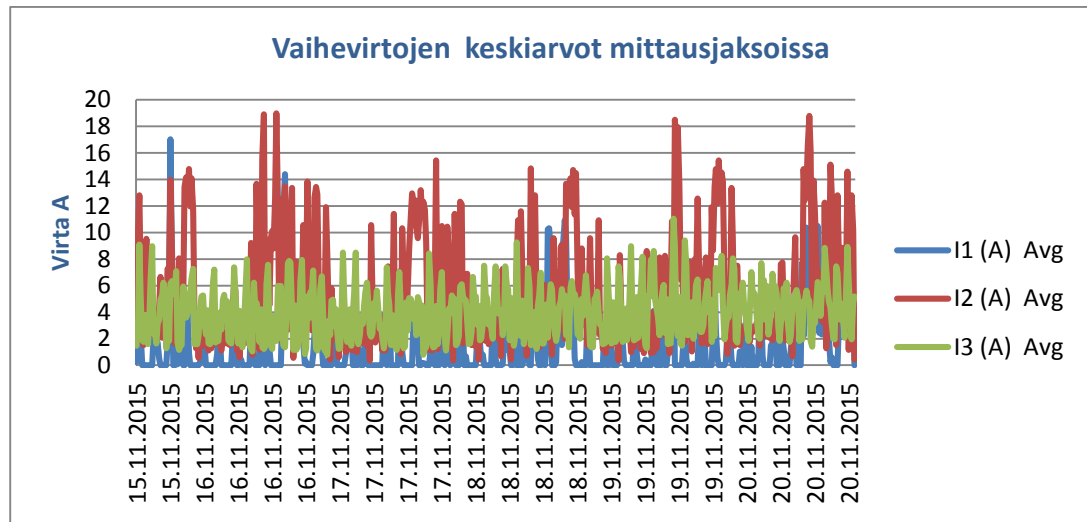
Ensimmäisen ja toisen vaiheen sähkövirrat kohoavat huippuunsa päivällä (klo 10–13), jolloin peseminen koneilla ja ruuanvalmistus sekä lämpimän veden käyttö enimmältään yleensä ajoittuu. Isommalla lämminvesivaraajalla osan energiakulutuksesta voisi siirtää yö aikaan tapahtuvaksi. Samalla varaaja tulisi vaihtaa toimimaan kolmivaiheisena. Kolmannen vaiheen virrassa ei tapahdu aikajaksoissa suuria vaihteluja (kuva 50). Kolmannessa vaiheessa on paljon sähkölämmittimiä. Jos vuorokauden lämpötilavaihtelut ulkoilmassa eivät ole kovin suuria, sähköenergian siirtymisessä lämpö energiaksi ei ole suuria vaihteluja.



**KUVA 50. Virtojen vaihtelu vaiheissa ja nollajohdossa eri aikajaksoissa**

Nollajohtimen virta oli eri aikajaksoissa kohtalaisensuurta verrattuna vaiheissa siirtyneisiin virtamääriin. Pientalossa ei yleensä voida päästä tasaisiin kuormituksiin eri vaiheiden välillä, koska laitteiden käyttöajat ja määrät vaihtelevat suuresti. Lämmitys- ja kotitalouslaitteiden käyttöä voisi automaatio-ohjelmilla saada kuormitusta tasapainottavaksi, mutta tällaisten vaihtoehtojen käyttö vaatisi pitempi aikaista totuttelua.

Erä mahdollisuus kuormituksen tasapainottamiseksi voisi olla järjestelmä, joka jakaisi ryhmiin virtaa vaiheissa liikkuvien virtojen perusteella. Jos jossakin vaiheessa on pieni virta, siihen siirtyisi lisää kuormitusta.



**KUVA 51. Mittausjaksojen vaihevirtojen keskiarvojen vaihtelu mittausaikana**

Keskimääräiset virta-arvot aikajaksoissa tasoittavat virran lyhytaikaiset vaihtelut pois. Verkon epäsymmetrisyys on hetkittäin paljon suurempaa kuten kuvasta 51 voi huomata. Kuvassa 51 olevassa kohdassa, jossa 2. vaihe ensimmäisen kerran ylittää 18A:n arvon, 1. vaiheessa kulkee vain 0,43A virtaa ja 3. vaiheessa 1,22A.

Yleensä ei nollajohdossa kuitenkaan kulje enempää sähkövirtaa, kun eniten kuormitetussa vaiheessa virtaa (kuva 50). Tästä syystä voi nollajohtimella olla sama poikkipinta kuin vaihejohtimella.

Epäsymmetrisyyden kasvaessa sähköverkossa kasvaa nollajohtimen virta suhteessa vaiheissa kulkeneisiin virtoihin. Selvästi epäsymmetrisin verkko oli illalla. Epäsymmetrisyyttä lisäsi illalla runsas loistevalaisimien käyttö (taulukko 30). Tilanteessa, jossa jokin vaihe olisi kokonaan poissa kuormituksesta, voisi nollavirta lähestyä eniten kuormitetun vaiheen virtaa. Taulukon 31 mukaan illalla, kun on loistevalaistusta paljon päällä ja 1.vaihe on irti, nousee nollavirta (6,16A) lähelle eniten kuormitettua 2 vaihetta (6,65A). Päivätilanteessa, jossa 1. ja 2. vaiheilla on suuri virtaero, kolmannen vaiheen irtoaminen ei saa nollavirtaa ylittämään eniten kuormitetun vaiheen virtaa (taulukko 31). Jos toisessa päällä olevassa kuormituksessa

olisi paljon loistevalaisimia, saattaisi virta nollajohdossa olla vaihevirtojakin suurempi. Harvoin tällaisessakaan tilanteessa ylitettäisiin johdon kuormitettavuutta.

**TAULUKKO 30. Nollavirran osuus vaihevirrasta**

Aikajakso	Vaihevirratt yhteensä (A)	Nollavirta (A)	Nollavirta % vaihevirrasta
aamu	9	3	33,6
päivä	14,9	4,9	32,5
iltapäivä	13,4	4,1	30,7
ilta	11,8	5,1	43,1
yö	7,4	2,7	37

**TAULUKKO 31. Virrat perustilassa ja kaksivaiheisen verkon nollavirta**

aika	1.vaihe	2.vaihe	3.vaihe	0-johto	0-johto (1+2)	0-johto (2+3)	kulma rad	kulma astetta
ilta	1,15	6,65	3,96	5,08		6,16	2,62	149,9°
päivä	2,76	8,16	4,02	4,86	7,10		1,75	100,1°

Iltatilanteessa oli mukana 2. ja 3.vaihe ja päivällä arvot laskettiin 1. ja 2. vaiheen mukaan. Iltatilanteessa on 1. vaihe pois päältä. Tässä tilanteessa nollajohtimen virta kasvaa jonkin verran, mutta jää eniten kuormitetun 2. vaiheen virran alapuolelle. Päivätalanteessa kolmas vaihe jää pois. Tässä tilanteessa nollajohtimen virta kasvaa selvästi, mutta tässäkin tapauksessa se ei ylitä eniten kuormitettua 2. vaiheen virtaa (taulukko 31). Tässä erikoistapauksessa riittäisi nollajohtimelle sama poikkipinta vaihejohtimen kanssa ja liikaa lämpenemistä ei pitäisi tapahtua.

### 5.3 Verkon ominaisuuksia nollajohtimen irrottua

Nollajohtimen irtoamisen vaikutukset verkon eri suureisiin riippuvat kiinteistön verkkojärjestelmästä. Viidellä johtimella syötetty TN-S-järjestelmä, jossa on erillinen nollajohdin ja suojajohdin eikä niitä yhdistetä keskuksessa, on verkko nollajohtimen irtoamisen seurauksena irti maapotentiaalista, koska nollajohtimella ei ole yhteyttä

maadoituksiin. Jännitteet kohoavat pääjännitteiksi, ja laitevauriot ja tulipalot ovat mahdollisia.

Henkilövahingoilta voidaan välttyä, koska jännite ei pääse maadoituksen kautta laitekuoriin. Tällainen järjestelmä suojaa vikatapauksissa henkilövahingoilta. Työssä esitelty verkko on suureiden laskennassa oletettu olevan irti maadoituksista ja maadoituselektrodeista.

TN-C-järjestelmässä voi olla maadoitus ja maadoituselektrodit toimivassa kunnossa. Jos kunnollista yhteyttä ei ole maapotentiaaliin, niin tällainen järjestelmä on erittäin vaarallinen nollan irtoamisen seurauksena, koska pääjännitettä pääsee myös laitekuoriin. Tällaisessa verkossa tulee laitevaurioita ja on tulipalon vaara sekä tuottaa henkilövahinkojen vaaran. Jos maadoituselektrodilla on maahan nähden vähäinen resistanssi, se voi suojata vahingoilta.

TN-S-järjestelmä, jolle tulee nelijohtoinen syöttö, tuleva PEN-johdin on kytkettävä keskuksen suojamaakiskoon. Suojamaakisko on yhdistetty nolla-kiskoon. Tästä seuraa se, että laitekuoret voivat myös tulla jännitteisiksi. Tässäkin tapauksessa kunnollinen maadoituselektrodi suojaa vahingoilta, koska maadoitus voi ottaa osittain samoja tehtäviä kun on nollajohtimella. Suomessa ei käyttöönottomittauksissa vaadita maadoituselektrodin jatkuvuuden mittausta. Riittävän maadoituselektrodin laskeminen on mahdollista, jos tiedetään elektrodinhalkaisija, elektrodin muoto ja maan ominaisvastus. /7, s. 416 - 418. / Jos määritetään elektrodille yläraja vastukselle, voidaan kaavasta laskea elektrodin pituus. Usein tapahtuu kuitenkin niin, että selvityksiä ei tehdä. Maadoitus elektrodina saa toimia 16 mm<sup>2</sup> kuparijohdin pituudeltaan 30 metriä. Jos laskeminen ja mittaus tulisivat pakolliseksi, se pitäisi suorittaa, ennen kuin maanalaiset rakennusten osat on kokonaan peitetty. Nollavian ilmaisimeksi voisi myös pohtia, voisiko maadoitukseen liittää jonkinlaisen virran ilmaisimen joka hälyttäisi jos virtamäärä kasvaa tietyn rajan yli.

### **5.3.1 Impedanssit nolla vian aikana**

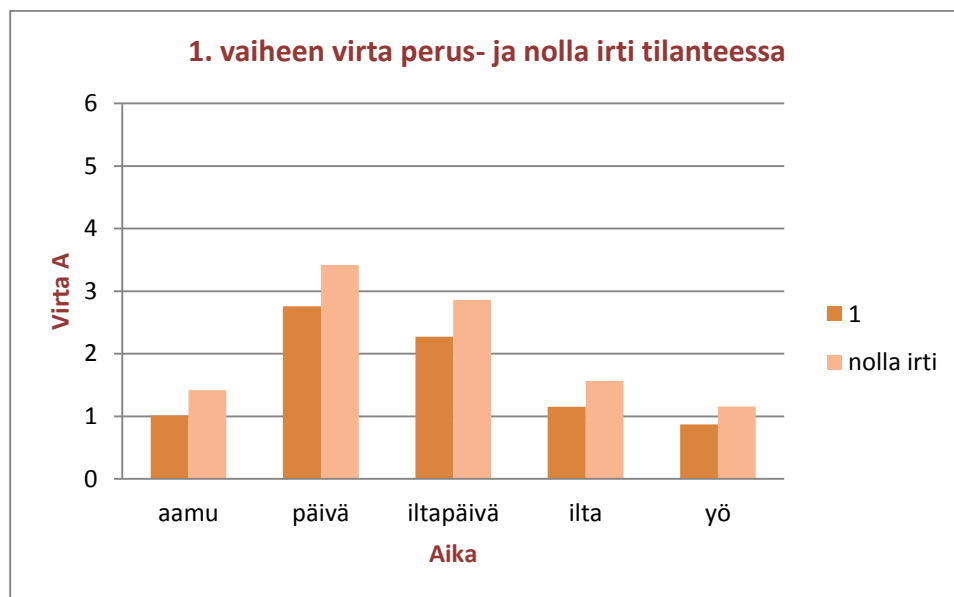
Nollavika ei muuta vaiheimpedansseja. Virta joutuu kuitenkin kulkemaan suuremman impedanssin kautta, koska virran kulkureitille tulee mukaan myös muiden vaiheiden impedansseja. Jännitehäviötä muodostuu oman vaiheen impedanssista ja siihen

lisätään muiden vaiheiden impedanssit, jotka ovat rinnan kytketyt. Tällainen suurentunut impedanssi vähentää virran kulkua vaikka jännite on pääjännite. Suurentuneiden impedanssiarvojen vaikutuksen näkee hyvin esimerkiksi osoitinpiirroksista. Virran kulkuun vaikuttaa myös jännitetilanne eri vaiheissa.

### 5.3.2 Virrat nolla vian aikana

Vaiheissa menevät virrat laskivat nollan ollessa irti jonkin verran. Virroilla ei ollut mahdollisuutta edetä nollajohdinta tai maajohdinta myöten. Tästä syystä virtoja vastaan olivat suuremmat impedanssit. Virtojen kulkuun vaikuttivat myös eri vaiheissa kulkevat vastasuuntaiset virrat.

Yleensä nollan irrotessa eniten kuormitetun vaiheen virta laski muutamia ampeereja (kuva 53) ja vähiten kuormitetuissa vaiheissa virta-arvot nousivat jonkin verran (kuva 52). Ensimmäisen vaiheen virta nousi jonkin verran kaikkina aikajaksoina nollajohtimen irtoamisen seurauksena.



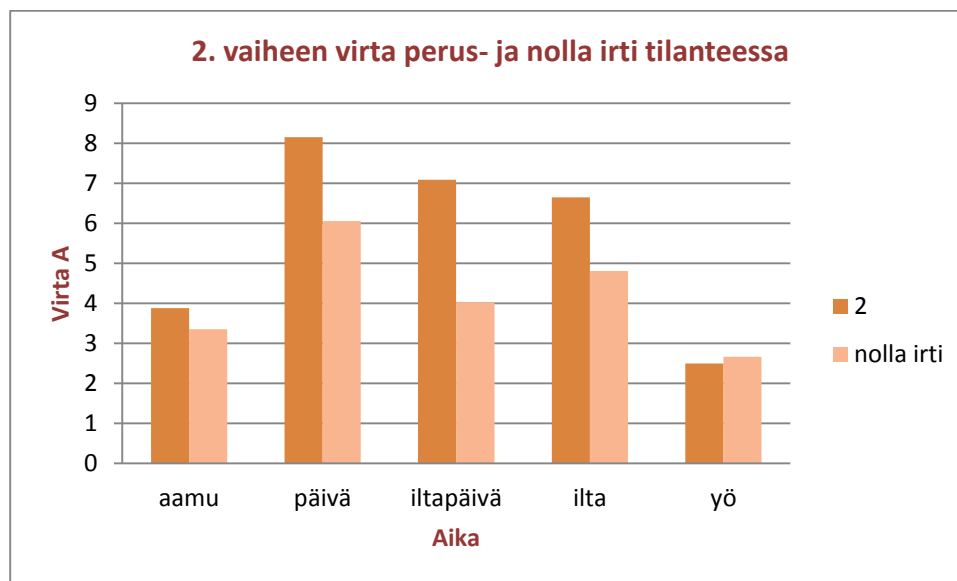
**KUVA 52. Virran kulku 1. vaiheessa perustilassa ja nollan ollessa irti**

Suurinta nousu oli aamulla, illalla ja yöllä normaalitilan virtaan verrattuna (kuva 52 ja taulukko 32). Syynä nousuun voidaan pitää suurentunutta jännitettä, jonka vaikutuksesta virtamäärä kohoaa vaikka impedanssissakin tapahtuu pientä nousua. Jännite nousee koska jännitehäviöt jakaantuvat impedanssien mukaan. Jos vaiheessa on suuri impedanssi, siinä on myös suuri jännitehäviö.

**TAULUKKO 32. Vaihevirran nousu nolla irti -tilanteessa 1. vaiheessa**

<b>aamu</b>	40,1 %
<b>päivä</b>	24,0 %
<b>iltapäivä</b>	26,0 %
<b>ilta</b>	35,5 %
<b>yö</b>	33,1 %

Toisessa vaiheessa nollajohtimen irtoaminen saa aikaan selvän virran laskun. Toisessa vaiheessa on muihin vaiheisiin nähden matalat impedanssit. Nollan irtoamisen seurauksena virtapiirin impedanssi kasvaa, koska mukaan tulee impedanssit muista vaiheista. Kohoava jännite ei voi peittää impedanssin nousun vaikutusta. Jännitejaossakin pienien impedanssien vaiheet saavat tulla toimeen pienillä jännitehäviöillä.

**KUVA 53 Virran kulku 2. vaiheessa perustilassa ja nollan ollessa irti**

Eniten virran kulku laskee iltapäivätalanteessa (43,2 %). Syynä tähän voi mahdollisesti olla 1. vaiheessa tapahtunut impedanssin kasvu. Impedanssit eivät muutu 2. ja 3. vaiheessa olennaisesti päivätalanteeseen verrattuna, ja niissä on edelleen pienet impedanssit. Yöllä toisessa vaiheessa nollan ollessa irti kulkee vaiheessa enemmän virtaa (6,6 %) kuin perustilassa. Toisen vaiheen impedanssi on noussut jonkin verran. Nousu saattaa selittää (kohoava jännite) virtamäärän tasoittumista normaalitilan ja nolla irti tilanteen välillä. Samalla on hyvä huomata, että kohoava impedanssi on

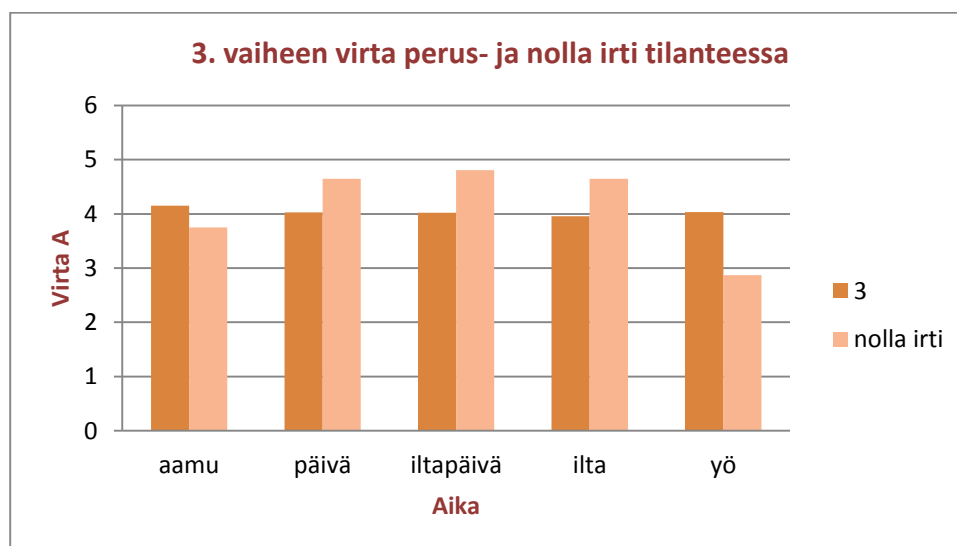


vähentänyt yöllä kulkevia virtamääriä verrattuna päivätilanteisiin, jolloin impedanssit ovat pienempiä (kuva 53).

**TAULUKKO 33, Vaihevirran nousu ja lasku 2.vaiheessa nollan ollessa irti**

<b>aamu</b>	-13,6 %
<b>päivä</b>	-25,7 %
<b>iltapäivä</b>	-43,2 %
<b>ilta</b>	-27,8 %
<b>yö</b>	+6,6 %

Nollan irtoamisen seurauksena kolmannen vaiheen virrassa tapahtuu pientä kasvua (15,4 – 19,5 %) taulukon 34 mukaan. Päivällä impedanssit ovat pienet myös 1. ja 2.vaiheessa. Tämä mahdollistaa myös kolmannen vaiheen virran etenemisen ja jännitteen jakautuma on edullinen kolmannen vaiheen suhteen. Aamulla ja yöllä nollan irrottua virran määrä on vähäisempi perustilaan verrattuna (kuva 54). Aamulla ja yöllä impedanssit ovat suurimmillaan 1. ja 2.vaiheessa ja 3. vaiheen impedanssi pysyy koko ajan melko samansuuruisena. Virran kulku ja jännitteet eivät anna mahdollisuuksia suurten virtamäärien kulkeutua 3.vaiheen kautta.



**KUVA 54. Virran kulku 3.vaiheessa perustilassa ja nollan ollessa irti**

Nollajohtimen irrottua virtavaihtelut ovat selvästi suurempia eri aikajaksojen välillä 3.vaiheessa verrattuna normaaliin tilanteeseen. Kolmannen vaiheen impedanssi ei vaihtelee eri vuorokauden aikoina paljoa. Nolla tilanteessa kokonaisimpedanssissa ovat

mukana myös suurta vuorokausivaihtelua edustavat 1. ja 2.vaiheen impedanssit. Lisääntyvä impedanssivaihtelu näkyy myös suurentuneena virtavaihteluna nollan ollessa irti (kuva 54).

**TAULUKKO 34. Vaihevirran nousu ja lasku 3.vaiheessa nollan ollessa irti**

<b>aamu</b>	<b>-9,6 %</b>
<b>päivä</b>	<b>15,4 %</b>
<b>iltapäivä</b>	<b>19,5 %</b>
<b>ilta</b>	<b>17,4 %</b>
<b>yö</b>	<b>-28,8 %</b>

Nollan irrotessa virtaa eteni verkon vaiheissa yhteen lasketusti vähemmän kuin verkon normaalitilanteessa (taulukko 33). Verkon jännitteen nouseminen pääjännitteeksi ei pysty nostamaan virran kulkua normaalitilaa suuremmaksi, koska suurentunut impedanssi pystyy alentamaan virran kulun kasvua (taulukko 33).

**TAULUKKO 35 Vaihevirtojen summat verkon perustilassa ja nollan ollessa irti**

<b>Aikajakso</b>	<b>Vaihevirrat yhteensä (A) perustila</b>	<b>Vaihevirrat yhteensä (A) nolla irti</b>	<b>Virran lasku prosenttia %</b>
<b>aamu</b>	9,0	8,5	5,6
<b>päivä</b>	14,9	14,1	5,4
<b>iltapäivä</b>	13,4	11,7	12,7
<b>ilta</b>	11,8	11,0	6,8
<b>yö</b>	7,4	6,8	8,1

Yleensä virran aleneminen nollajohtimen irrottua jäi alle 10 %, mutta iltapäivätilanteessa aleneminen oli jonkin verran suurempaa.

Jos pääjännitteeksi kohoava jännite aiheuttaisi laitteissa läpilyöntejä, oikosulkuja ja vaiheimpedanssien ollessa matalalla, voisi virta hetkellisesti nousta korkeaksi. Tästä seuraisi laitevaurioita ja sulakkeen palaminen. Jos laitevaurioiden ja sulakkeiden palamisen seurauksena yksi vaihe jäisi pois verkosta, toimisi verkko sen jälkeen

kahdella vaiheella. /9, s. 314./ Tällaisessa tilanteessa voidaan jäljelle jääneiden vaiheimpedanssit laskea yhteen sarjassa ja pääjännite jakautuisi impedanssien mukaan /10, s 321/. Tällaisessa kahden vaiheen verkossa ei virta nousisi suureksi, koska kokonaisimpedanssi voisi siinä tilanteessa suurentua.

Vaarallisin tilanne voisi tulla siinä tilanteessa, jos oikosulku tilanne yhdessä vaiheessa syntyisi kohoavan jännitteen seurauksena toisessa vaiheessa myös oikosulkuja ja impedanssin romahtamisen. Tässä tilanteessa voisi virtaa siirtyä suuria määriä (satoja ampeereja). Tosin sulakkeiden palaminen voisi estää suurempien tuhojen syntyä.

### 5.3.3 Jännitteitä ja tehoja nollajohtimen irrottua

Ensimmäisen vaiheen jännitteet ovat nollajohtimen irrottua selvästi vaihejännitteitä suurempia (taulukko 34). Jännite nousee, koska ensimmäisen vaiheen impedanssit ovat yleensä selvästi suuremmat kuin muiden vaiheiden impedanssit. Näin suurilla jännitetasoilla voivat laitevauriot olla mahdollisia.

#### TAULUKKO 36. Jännitteet eri aikajaksoissa 1.vaiheessa nollajohtimen irrottua

Aika	1.vaihe (V)	kulma
aamu	325,3	30,8°
päivä	287,9	41,4°
iltapäivä	292,5	39,8°
ilta	314,6	42,2°
yö	309,0	22,2°

Tehot nousevat myös ensimmäisen vaiheen laitteissa, koska jännite nousee paljon ja lisäksi virran kulku nolla tilanteessa nousee (taulukko 32). Tehon kohoamisen voisi havaita esimerkiksi valojen kirkastumisena. Aamulla 1.vaiheen keskimääräinen teho nollan ollessa kytketty oli 219,4W ja nollan ollessa irti 430,9W. Teho oli melkein kaksinkertaistunut. Tästä johtuen vaiheessa olevat laitteet muuttivat sähköenergiaa valoksi, lämmöksi tai liikkeeksi lähes kaksinkertaisella teholla. Tehon nousu voi rikkoa laitteita, jotka ovat suunniteltu pienemmille tehoille. Tehon nousu on varmaan yksi merkittävimmistä laitevaurioita aiheuttavista syistä nolla vian sattuessa. Tästä

seuraa myös terveys vaaroja ja taloudellisia menetyksiä (taulukko 37). Vaiheteho kasvoi myös suhteellisesti paljon illalla aamun lisäksi.

**TAULUKKO 37. Vaiheteho 1.vaiheessa perustilassa ja nollajohtimen irrottua eri aikajaksoissa**

Aika	1.vaihe (W)	nolla irti (W)
aamu	219,4	430,9
päivä	639,1	983,0
iltapäivä	507,4	806,1
ilta	180,6	331,8
yö	201,6	357,3

Toisessa vaiheessa impedanssit eri aikajaksoissa olivat yleensä selvästi muita vaiheita pienemmät lukuun ottamatta yötä. Tällainen tilanne johti vaihejännitteen selvään laskuun nollajohtimen irtoamisen seurauksena (taulukko 38).

**TAULUKKO 38. Jännitteet eri aikajaksoissa 2.vaiheessa nollajohtimen irrottua**

Aika	2.vaihe (V)	kulma
aamu	198,6	288,7°
päivä	170,8	269,2°
iltapäivä	130,5	276,5°
ilta	166,1	283,8°
yö	245,0	290,5°

Jännitteen lasku oli suurinta 2. vaiheessa iltapäivällä. Toisen vaiheen impedanssi oli iltapäivällä pieni (kuva 49) ja lisäksi ensimmäisen vaiheen impedanssi oli noussut selvästi. Tällainen tilanne näkyisi valojen himmenemisenä toisen vaiheen valaisimissa. Yöllä jännite kuitenkin olisi 2. vaiheessa tavallista vaihejännitteitä korkeampi (taulukko 38). Tämä johtuu vaiheimpedanssin noususta 2. vaiheessa.

Vaihetehot nollajohtimen irtoamisen seurauksena laskivat voimakkaasti. Laskua oli eniten iltapäivänä ja illalla. Iltapäivätilanteessa nollajohtimen irrottua teho laski noin

kolmanteen osaan normaalitilanteen tehosta (taulukko 39). Tehon laskuun on syynä alentunut jännite ja virta. Jännite oli laskenut 43,3 % normaalitilasta ja virta oli alentunut 43,2 % normaalitilanteesta (taulukko 33).

**TAULUKKO 39. Vaiheteho 2. vaiheessa perustilassa ja nollan irrottua eri aikajaksoissa**

Aika	2.vaihe (W)	nolla irti (W)
aamu	890,5	664,3
päivä	1876,0	1034,7
iltapäivä	1626,9	524,3
ilta	1522,5	794,3
yö	574,8	652,7

Yöaikajaksolla teho nollan irrottua oli vähän perustilan tehoa suurempi. Yöllä virta ja jännite nollan irrottua olivat vähän perustilaa suurempia.

Kolmannessa vaiheessa impedanssi pysyi kaikissa aikajaksoissa lähes samansuuruisena (kuva 49). Jännitevaihtelut eri aikajaksoissa riippuivat virta- ja impedanssimuutoksista 1. ja 2. vaiheessa.

**TAULUKKO 40. Jännitteet 3. vaiheessa eri aikajaksoissa nollajohtimen irrottua**

Aika	3.vaihe	kulma
aamu	207,3	129,8°
päivä	264,7	123,7°
iltapäivä	274,2	133,5°
ilta	269,3	128,3°
yö	163,3	134,3°

Alimmillaan jännite oli kolmannessa vaiheessa yöllä nollan irtoamisen seurauksena. Yöllä 1. ja 2. vaiheessa impedanssit nousevat korkeiksi ja kolmannessa vaiheessa impedanssi pysyy suhteellisen pienenä (kuva 49). Nämä seikat vaikuttavat yhdessä vaihejännitteen laskuun kolmannessa vaiheessa yöllä. Korkeimmillaan jännite oli kolmannessa vaiheessa päivällä, iltapäivällä ja illalla nolla johtimen irrottua (taulukko 40). Näinä aikoina jännite kohosi välille 264 – 274V. Eräs syy jännitteen kohoamiseen oli 2. vaiheen pienet impedanssiarvot näissä aikajaksoissa.

Vertailtaessa vaihetehoja nollajohtimen irrottua verkon normaalitilaan kolmannessa vaiheessa voidaan huomata vaihetehon lasku nollajohtimen irtoamisen seurauksena aamulla ja yöllä (taulukko 41). Yöllä vaiheteho laskee jopa 49,4 %. Tämä johtuu 1. ja 2. vaiheen suurista impedanssiarvoista, koska näistä seuraa jännitteen lasku kolmannessa vaiheessa.

**TAULUKKO 41. Vaiheteho 3. vaiheessa perustilassa ja nollajohtimen irrottua**

Aika	3.vaihe (W)	nolla irti (W)
aamu	952,8	776,0
päivä	925,4	1229,2
iltapäivä	920,6	1311,6
ilta	892,9	1226,9
yö	927,8	469,2

Päivällä, iltapäivällä ja illalla vaiheteho kasvaa, jos nollajohtimen irtoaa. Kasvua on noin 40 %. Kasvun tekijöinä voidaan mainita alentuneet impedanssit 1. ja 2. vaiheessa.

#### 5.4 Kyselytutkimuksen tuottama tieto

Pienimuotoinen kyselytutkimus sähköturvallisuuden liittyvistä asioista antoi yleiskuvaa tavallisen ihmisen tiedoista niistä neljästä kysymyksestä, jotka olivat kyselypaperilla. Kyselyyn osallistuneista yhtä lukuun ottamatta kaikki vastasivat neljään annettuun kysymykseen. Osallistujien määrä oli riittävän suuri antamaan kohtalaisen hyvän kuvan perusjoukon eli Hyvinkään yhteiskoulun oppilaiden tiedoista kysytyistä asioista. Varovaisesti voi myös aavistella, että tulos voisi vastata suuremmankin perusjoukon tietoja tutkituista asioista.

Ensimmäinen kysymys: **Tiedätkö mistä saat sähköt kokonaan pois päältä kotona?** Suurin osa 92,4 % vastanneista tiesi (kuva 42) ja ainoastaan 7,6 % ei. Kysymyksen aiheena oli niin merkittävä sähköturvallisuustekijä, olisi toivonut, että ei vastausten osuus olisi voinut olla vielä pienempi.

Toinen kysymys: **Oletko kuullut joskus jotain nollaviasta sähköverkossa?**

Puolet vastaajista (50,4 %) oli kuullut aikaisemmin nollavika sanan. Tunnistajien osuus oli yllättävän suuri. Tämä voi johtua nollavikojen yleisyydestä. On myös mahdollista, että nollaviasta on nähty kirjoitusta tai siitä on keskusteltu. Ei, vastausten osuus oli 49,6 % (kuva 43). Kysymys tekstissä olisi voinut olla lisäyksenä (tai nähnyt), vaikka kuullut tässä yhteydessä tarkoitti käsitesanan tunnistamista.

Kolmas kysymys: **Tiedätkö mitä nollavika sähköverkossa tarkoittaa?**

Nollavian syntyminen ja vaikutusten tunteminen vaatii jo hyviä tietoja sähköverkon rakenteesta. Tästä johtuen ei ollut ihme, että vastaajista ainoastaan 15,1 % antoi kyllä vastauksen (kuva 44). Voi olla mahdollista, että osa kyllä vastanneista ei kovin hyvin tiedä nollan irtoamisen merkitystä sähköverkolle. Sähköverkon rakennetta sisältyy jonkin verran yleissivistävään koulutukseen, mutta kolmivaiheista vaihtovirtaa sivutaan lukion syventävässä kurssissa sähkömagnetismi vain vähän /11. s. 139. / .

Neljäs kysymys: **Tiedätkö miten toimit nollavian tapahtuessa?**

Tähän kysymykseen tuli kyllä vastauksia vähän enemmän (17,1 %) kuin edelliseen kysymykseen. Kysymyksessä selvitettiin vastaajien arvioita omista tiedoista kuinka pitäisi toimia nollavian tapahtuessa. Voi olla, jos vastaukseen olisi pitänyt liittää

luettelo oikeista toimintatavoista nollavian sattuessa, hyväksyttäviä kyllä vastauksia olisi tullut selvästi vähemmän. Vastaaajista 82,9 % ilmoitti, että eivät tiedä (kuva 45). Voidaan arvioida, että suurin osa ihmisistä (mahdollisesti yli 90 %) ei tiedä oikeita toimintatapoja. Tätä voi pitää hyvin huolestuttavana seikkana, koska nollavian aikana on suuret riski saada sähköiskuja sekä voi syntyä tulipaloja. Laitevauriot tuottavat yleensä suuria taloudellisia menetyksiä.

## **6 YHTEENVETO JA KEHITTÄMISEHDOTUKSIA**

Yleisölle tietoa nollaviasta jakavat verkkoyhtiöt, joiden sivuilta löytyy nollavian tunnistamistietoja sekä toimintaohjeita nollavian sattuessa /12/. Valojen käyttäytyminen, laitteiden outo käyttäytyminen ja mahdolliset sähköiskut laitekuorista ovat nollavian tunnusmerkkejä. Lisäksi voidaan haistaa palaneen käryä ja kuulua pauketta ja särinää sähkökeskuksessa /13/. Verkkoyhtiöiden www-sivut eivät ole kuitenkaan yleensä kovin hyviä tiedon lähteitä nollavian tunnistamisessa ja suojautumisessa vaaroilta, koska nollavian tunnistamisen ohjeet eivät ole yleensä ensimmäisillä sivuilla. Verkkoyhtiöitä pitäisi velvoittaa laittamaan nollavian tunnusmerkit ja toimintaohjeet vikatapauksissa kirjallisesti ja www-sivuilleen helposti löydettäväksi.

Nollavian ilmaisimien kehittäminen edistäisi myös sähköturvallisuutta. Ilmaisimet voisivat reagoida kasvaneeseen jännitteeseen tai PEN-johtimen ja maadoitus johtimen virran muutoksiin.

Yleensäkin olisi hyvä pienentää pientalon sähköverkon epäsymmetrisyyttä. Kuormat jakautuvat eri vuorokauden aikoina niin vaihtelevasti, että epäsymmetrisyyttä ei voida poistaa hyvälläkään suunnittelulla. Pienentäminen on mahdollista. Aktiivisesti kuormia jakava järjestelmä voisi olla mahdollisuus pienentää epäsymmetrisyys pieneksi ja lyhytaikaiseksi.

Maadoitus elektrodin maadoitusvastus tulisi olla pieni, ja sille olisi hyvä määrittää pienkiinteistössä jokin yläraja. Maadoitusvastus voitaisiin määrittää mittaamalla ja laskennallisesti. Maadoituselektrodin toiminta käyttömaadoituksen osana ja suojamaadoituksessa jäi tässä työssä vähälle huomiolle. Maadoitus elektrodin toiminta



olisi hyvä sisällyttää nolla vikoja käsitteleviin tutkimuksiin, koska kiinteistössä sellainen on.

Nollavika on kodin sähköverkkovioista varmaan yksi vaarallisimmista, koska sen aikana jännitteet ja laitetehtävät voivat kasvaa suuriksi ja varokkeet eivät aina suojaa, jos ryhmässä ei ole muita kuormia toiminnassa. Suojamaadoitetut laitekuoret tulevat jännitteisiksi ja muuttuvat terveydelle vaaralliseksi. Nollavian olemassa oloa verkossa ei aina edes huomaa varsinkin vian alkuvaiheessa.

Ilman verkon normaalitilan selvittämistä verkkoanalysointilla, ei nollatilanteen selvittäminen kiinteistössä olisi ollut mahdollista. Mittaukset antoivat työlle kiinteän pohjan joihin nollatilanteen selvittämiset voivat kiinteästi perustua. Mittauksien tekemisessä lehtori Arto Kohvakka antoi hyviä neuvoja ja opasti mittalaitteen käytössä. Verkon tilan laskemisessa nollajohtimen irtoamisen seurauksena sain yliopettaja Juha Korpijärveltä hyviä ohjeita ja tietolähdeopastusta. Ilman näitä ohjeita ei nollatilanteen arvojen laskeminen olisi ollut mahdollista.

Lehtori Hannu Honkanen on työn ohjaajana opastanut löytämään pienjänniteverkon yleisiä ominaisuuksia ja opastanut diagrammien teossa. Hannu on auttanut myös oikeiden tietolähteiden hankinnassa. Lisäksi haluan kiittää ystävääni FM Pekka Peltomäkeä lyhennelmän englannin kielellä tarkastamisesta ja oikeiden sanontojen löytämisestä.

Työn aihealue oli minusta hyvä, koska se vaati pienjänniteverkon kokonaisuuden hallintaa. Kokonaisuutta ei kuitenkaan voi ymmärtää, ellei siihen liittyvien osatekijöiden toiminta ja vaikutukset toinen toisiinsa ole selvillä.

Kiinnostavina uusina tutkimuskohteina tältä aihealueelta voisivat olla maadoituselektrodin vaikutus nollavian aikaiseen sähkön käyttäytymiseen ja erilaiset mahdollisuudet pienentää verkon epäsymmetriaa. Eräänä hyödyllisenä aiheena voisi olla myös nollavian ilmaisimien kehittäminen.

## LÄHTEET

1. Suomen Standardisoimisliitto SFS Ry teos SFS-käsikirja 600-2 Sähköasennukset. Osa 2: Säädökset, sähkötyöturvallisuus, erityisasennukset ja liittyvät standardit. Syyskuu 2012.
2. Peltonen, H., Perkkiö, J., Vierinen, K. 2012. Insinöörin (AMK) Fysiikka osa 2. Lahden Teho-Opetus Oy. ISBN 978-952-5191-23-3. Saarijärven OFFSET OY. Saarijärvi 2012.
3. O`Malley, John. Schaum`s outline of theory and problems of basic circuit analysis. McGraw-Hill. Second Edition. ISBN 0-07-04-7824-4.
4. Hautala, M., Peltonen, H. 2011. Insinöörin Fysiikka osa 1. Lahden Teho-opetus Oy. ISBN 978-952-5191-22-6. Saarijärven OFFSET Oy. Saarijärvi 2011.
5. Karjalainen, Leila. 2010. Tilastotieteen perusteet. Pii-kirjat. Ensimmäinen painos. ISBN 978-952-9776-33-7. Otavan kirjapaino Oy Keuruu 2010.
6. Tiainen, Esa. 2014. D1-2012 Käsikirja Rakennusten Sähköasennuksista. Sähköinfo. 22. painos. ISBN 978-952-231-079-8. Painokurki Oy Espoo 2014.
7. Elovaara, J., Laiho, Y. Sähkölaitostekniikan perusteet. Otatieto. 5. painos. ISBN 951-672-285-7. Yliopistokustannus. Valopaino Helsinki 2005.
8. Turunen, Jaakko. 2014. Laskennalliset ja tilastolliset menetelmät (MAMK). Kurssimuistiinpanot T622SA.
9. Aura, L., Tonteri, A. 1996. Sähkökoneet ja tehoelektroniikka. WSOY.
10. Ahoranta, Jukka. 2006. Sähkötekniikka. WSOY. 8. painos. ISBN 951-0-22291-7.
11. Hatakka, J., Saari, H., Sirviö, J., Viiri, J., Yrjänäinen, S. 2006. Physica 7 Sähkömagnetismi. WSOY. Oppimateriaalit Oy Helsinki. ISBN 978-951-0-28740-8.
12. Tampereen sähkölaitos. Nollavian tunnusmerkit. Www-dokumentti. <https://WWW.tampereensahkolaitos.fi/sahkoverkkopalvelut/>. Päivitetty 31.3.2016. Luettu 31.3.2016.
13. Oulun Energia Oy. Tunnista nollavika. Www-dokumentti. <https://WWW.ouluenergia.fi/asiointi/hairiot>. Päivitetty 31.3.2016. Luettu 31.3.2016.

**LIITE 1(1).**

**Eri vaiheiden virrat mittausaikana**

e		I1 (A)			I2 (A)			I3 (A)		
		Min	Avg	Max	Min	Avg	Max	Min	Avg	Max
15.11.2015	11:50:00	0	0,24	2,56	0	2,5	6,28	0	1,46	5,92
15.11.2015	12:05:00	0	1,28	3,66	2,99	10,13	15,8	0	3,36	12,87
15.11.2015	12:20:00	3,23	3,23	3,42	9,88	12,81	22,09	3,6	9,09	13,73
15.11.2015	12:35:00	0	2,38	3,29	0	6,59	16,11	3,6	5,25	9,46
15.11.2015	12:50:00	0	0	0	0	4,21	9,58	0	1,89	9,4
15.11.2015	13:05:00	0	0	0	0	1,53	7,02	0	1,77	5,8
15.11.2015	13:20:00	0	0	11,41	0	6,89	12,2	0	3,78	9,95
15.11.2015	13:35:00	0	0	0	3,84	9,52	16,54	0	3,6	10,07
15.11.2015	13:50:00	0	0	0	0	3,17	12,14	0	1,59	5,92
15.11.2015	14:05:00	0	0	0	0	2,44	8,97	0	3,36	13,61
15.11.2015	14:20:00	0	0	0	0	2,62	8,48	3,6	6,47	16,05
15.11.2015	14:35:00	0	0	0	0	3,29	10,43	3,78	8,97	16,84
15.11.2015	14:50:00	0	2,01	3,29	0	2,26	9,95	0	2,38	13,48
15.11.2015	15:05:00	3,23	3,42	14,28	0	3,48	6,59	0	2,38	9,27
15.11.2015	15:20:00	0	1,89	3,97	0	2,32	5,55	0	1,65	5,8
15.11.2015	15:35:00	1,71	1,71	1,77	0	3,17	6,16	0	3,11	9,88
15.11.2015	15:50:00	0	0,49	1,77	0	4,45	18,67	0	3,48	10,01
15.11.2015	16:05:00	0	0	0	0	6,65	18,91	0	4,94	12,69
15.11.2015	16:20:00	0	0	0	0	2,07	7,32	3,6	5,25	9,4
15.11.2015	16:35:00	0	0	0	0	3,72	9,52	3,6	6,22	12,08
15.11.2015	16:50:00	0	0	0	0	2,56	9,88	0	5,49	13,97
15.11.2015	17:05:00	0	0	11,84	0	3,23	12,02	0	1,28	6,16
15.11.2015	17:20:00	0	1,59	4,21	0	7,26	16,35	0	2,2	9,58
15.11.2015	17:35:00	4,09	5,98	14,77	0	7,38	20,26	0	1,83	6,59
15.11.2015	17:50:00	10,07	17,02	23,92	10,98	13,97	17,02	3,84	6,16	13,79
15.11.2015	18:05:00	0	6,65	10,86	0	8,54	17,15	3,84	6,35	13,18
15.11.2015	18:20:00	0	0	0	0	3,91	7,08	3,84	5,37	9,64
15.11.2015	18:35:00	0	0	2,14	0	1,65	14,89	3,84	5,37	9,64
15.11.2015	18:50:00	0	0,06	12,14	0	5,13	11,35	3,84	7,08	13,67
15.11.2015	19:05:00	0	0,06	2,14	0	1,89	5,25	0	1,71	10,07
15.11.2015	19:20:00	0	1,34	3,11	1,95	8,05	14,95	0	1,16	6,1
15.11.2015	19:35:00	0	1,77	11,04	2,01	6,28	14,83	0	1,46	6,1
15.11.2015	19:50:00	0	7,93	11,9	1,95	4,39	9,09	0	1,53	6,1
15.11.2015	20:05:00	0	0	0	2,2	4,82	15,01	0	5,92	13,73
15.11.2015	20:20:00	0	0	0	11,29	13,42	17,57	3,84	5,43	9,82
15.11.2015	20:35:00	0	1,71	14,7	11,1	14,16	20,01	0	3,6	9,7
15.11.2015	20:50:00	4,09	4,09	5,06	11,04	12,63	18,55	0	3,91	6,16
15.11.2015	21:05:00	0	0,92	4,15	11,35	14,77	22,82	0	4,15	9,7
15.11.2015	21:20:00	0	0	0	10,68	11,96	17,82	3,91	5,49	9,88
15.11.2015	21:35:00	0	0	0	10,01	14,09	19,77	3,91	6,53	14,03
15.11.2015	21:50:00	0	0	0	9,82	11,72	17,69	3,66	7,26	13,97
15.11.2015	22:05:00	0	0	0	0	3,78	10,19	0	1,59	5,86
16.11.2015	22:20:00	0	0	0	0	1,28	5,86	0	1,59	5,86
16.11.2015	22:35:00	0	0	11,41	0	2,87	9,03	0	1,59	5,86
16.11.2015	22:50:00	0	0	0	0	0,55	10,25	0	2,26	10,01
16.11.2015	23:05:00	0	0,24	1,89	0	3,6	7,87	0	4,33	9,95
16.11.2015	23:20:00	0	1,22	4,33	0	2,01	5,74	3,54	5,19	9,46

**LIITE 1(2).**

**Eri vaiheiden virrat mittausaikana**

16.11.2015	23:35:00	4,27	4,27	4,33	0	1,46	5,74	3,66	5,25	9,58
16.11.2015	23:50:00	0	1,71	4,33	0	2,62	12,51	0	3,29	9,52
16.11.2015	0:05:00	0	0	0	0	1,65	6,59	0	2,32	10,01
16.11.2015	0:20:00	0	0	0	0	2,87	6,16	0	4,15	10,01
16.11.2015	0:35:00	0	0	11,59	0	1,1	5,92	0	1,65	5,86
16.11.2015	0:50:00	0	0	0	0	2,38	5,8	0	1,59	6,16
16.11.2015	1:05:00	0	0	0	0	1,28	8,05	0	3,42	9,58
16.11.2015	1:20:00	0	0	0	0	3,17	7,26	3,66	6,22	13,73
16.11.2015	1:35:00	0	0	0	0	1,77	6,16	3,6	7,2	13,67
16.11.2015	1:50:00	0	0	0	0	1,65	5,67	0	1,71	9,27
16.11.2015	2:05:00	0	0,85	3,29	0	2,99	6,22	0	1,83	5,8
16.11.2015	2:20:00	3,23	3,42	14,34	0	1,65	10,43	0	1,83	5,8
16.11.2015	2:35:00	0	2,01	3,97	0	2,81	6,04	0	3,97	9,95
16.11.2015	2:50:00	0	0	0	0	1,1	5,92	0	2,68	9,95
16.11.2015	3:05:00	0	0	0	0	2,56	5,74	0	4,94	9,46
16.11.2015	3:20:00	0	0	0	0	1,65	7,14	3,6	5,31	9,4
16.11.2015	3:35:00	0	0	0	0	2,93	7,14	0	4,15	9,4
16.11.2015	3:50:00	0	0	0	0	1,65	5,98	0	4,82	10,01
16.11.2015	4:05:00	0	0	0	0	3,11	6,28	0	1,89	5,8
16.11.2015	4:20:00	0	0	11,59	0	1,53	5,74	0	1,71	5,8
16.11.2015	4:35:00	0	0	0	0	2,5	5,86	0	1,65	5,86
16.11.2015	4:50:00	0	1,77	3,97	0	4,45	19,4	0	3,05	13,48
16.11.2015	5:05:00	3,23	3,29	4,27	0	6,04	16,47	3,6	7,38	13,36
16.11.2015	5:20:00	0	1,1	3,91	0	5,61	15,5	3,6	5,55	9,4
16.11.2015	5:35:00	0	0	0	0	1,1	5,74	0	3,17	9,34
16.11.2015	5:50:00	0	0	0	0	3,97	10,31	0	1,65	5,8
16.11.2015	6:05:00	0	0,43	12,57	0	0,61	7,87	0	4,09	9,95
16.11.2015	6:20:00	0	0,43	2,2	0	2,99	7,38	0	2,2	9,95
16.11.2015	6:35:00	0	0	0	0	2,07	7,08	0	1,34	5,8
16.11.2015	6:50:00	0	0	0	0	1,65	7,02	0	3,23	9,34
16.11.2015	7:05:00	0	0	0	0	2,99	9,7	3,6	5,25	9,34
16.11.2015	7:20:00	0	0	0	0	1,71	7,5	3,6	7,99	13,36
16.11.2015	7:35:00	0	0	0	0	2,56	6,28	0	2,56	16,72
16.11.2015	7:50:00	0	0	0	0	2,68	14,28	0	1,59	5,8
16.11.2015	8:05:00	0	3,11	12,57	0	9,21	16,54	0	1,22	5,98
16.11.2015	8:20:00	3,84	4,15	4,94	0	0,79	14,28	0	1,04	5,86
16.11.2015	8:35:00	0	0,67	4,03	0	8,48	13,97	0	6,22	25,63
16.11.2015	8:50:00	0	0	0	0	3,17	12,94	0	4,39	9,64
16.11.2015	9:05:00	0	0	0	4,03	13,67	20,32	3,66	4,7	9,52
16.11.2015	9:20:00	0	0	0	0	6,41	22,15	0	3,66	9,52
16.11.2015	9:35:00	0	0	0	0	1,16	3,84	0	1,77	10,07
16.11.2015	9:50:00	0	2,38	12,51	0	4,21	19,1	0	4,21	10,43
16.11.2015	10:05:00	1,77	10,01	10,62	11,17	15,62	19,16	0	1,34	6,04
16.11.2015	10:20:00	0	0,43	2,14	10,37	18,91	28,37	0	1,22	6,1
16.11.2015	10:35:00	0	0	0	0	2,75	10,43	0	1,4	5,98
16.11.2015	10:50:00	0	1,04	4,09	0	3,6	7,38	0	6,1	13,67
16.11.2015	11:05:00	3,29	3,48	4,58	0	9,46	17,02	3,66	7,57	13,61
16.11.2015	11:20:00	0	1,28	3,36	0	4,52	16,11	0	2,99	9,52
16.11.2015	11:35:00	0	0	11,53	0	9,58	16,66	0	1,46	5,86

**LIITE 1(3).**

**Eri vaiheiden virrat mittausaikana**

16.11.2015	11:50:00	0	0	0	0	10,13	21,97	0	1,22	5,86
16.11.2015	12:05:00	0	0	0	2,14	8,79	18,37	0	3,72	10,13
16.11.2015	12:20:00	0	0	0	10,98	12,57	17,76	0	2,87	10,07
16.11.2015	12:35:00	0	0	0	10,31	18,98	27,82	0	1,83	10,62
16.11.2015	12:50:00	0	0	0	0	11,96	22,58	3,72	5,98	10,74
16.11.2015	13:05:00	0	0	0	0	3,11	7,2	3,72	5,19	9,7
16.11.2015	13:20:00	0	0	0	0	1,89	10,62	3,66	5,98	13,61
16.11.2015	13:35:00	0	3,91	15,62	0	12,51	22,21	0	2,38	10,07
16.11.2015	13:50:00	5	11,78	15,86	0	3,97	13,73	0	1,46	6,47
16.11.2015	14:05:00	9,95	14,4	22,15	10,92	13,48	19,22	0	1,34	6,1
16.11.2015	14:20:00	0	4,58	10,37	0	4,09	12,87	0	3,66	8,85
16.11.2015	14:35:00	0	4,52	9,58	0	2,68	6,47	2,75	7,69	12,75
16.11.2015	14:50:00	0	4,15	9,21	0	2,75	11,17	6,41	7,87	12,26
16.11.2015	15:05:00	0	3,91	9,82	0	11,35	17,02	6,41	7,75	12,33
16.11.2015	15:20:00	0	4,7	8,85	10,01	13,36	18,55	0	4,09	12,39
16.11.2015	15:35:00	0	4,21	19,59	0	0,55	10,07	0	1,16	5,98
16.11.2015	15:50:00	0	1,77	9,21	0	4,09	7,44	0	4,52	10,13
16.11.2015	16:05:00	0	1,65	9,21	0	7,81	19,34	0	1,16	6,04
16.11.2015	16:20:00	0	3,17	11,78	0	4,45	10,92	0	1,46	9,34
16.11.2015	16:35:00	3,36	6,28	12,69	0	1,71	6,59	0	2,62	9,46
16.11.2015	16:50:00	0	6,59	13,24	0	3,11	9,4	3,66	6,35	13,73
16.11.2015	17:05:00	0	5,37	10,74	0	5,98	16,11	3,91	7,93	13,67
16.11.2015	17:20:00	0	1,59	12,08	0	10,56	16,47	0	3,29	10,25
16.11.2015	17:35:00	0	0,12	2,32	0	2,99	11,04	0	0,85	6,16
16.11.2015	17:50:00	0	0,24	1,71	0	6,83	14,4	0	1,28	6,04
16.11.2015	18:05:00	0	0	0	10,86	13,85	19,4	0	5,19	10,25
16.11.2015	18:20:00	0	0	0	0	6,1	13,97	0	3,54	9,7
16.11.2015	18:35:00	0	0	1,83	2,07	5,06	12,2	3,84	5,49	9,76
16.11.2015	18:50:00	0	0	0	0	2,62	7,08	3,91	5,67	9,7
16.11.2015	19:05:00	0	0,79	2,62	0	4,58	10,86	3,91	7,14	13,91
16.11.2015	19:20:00	1,89	2,32	13,24	10,31	12,63	16,35	0	3,54	13,91
16.11.2015	19:35:00	2,38	5	11,1	10,31	13,42	16,66	0	1,22	6,1
16.11.2015	19:50:00	4,7	8,36	13,12	11,17	12,87	20,5	0	1,1	6,1
16.11.2015	20:05:00	0	4,88	9,34	2,01	5,19	19,77	0	1,46	6,1
16.11.2015	20:20:00	0	3,72	9,4	1,77	2,99	7,44	0	5,74	13,91
16.11.2015	20:35:00	0	1,53	9,4	0	3,84	10,43	3,84	6,71	13,85
16.11.2015	20:50:00	0	0	0	2,26	3,78	13,79	0	3,91	9,76
16.11.2015	21:05:00	0	0	12,33	0	2,38	5,06	0	1,16	6,1
16.11.2015	21:20:00	0	0	3,11	0	11,9	20,44	0	0,98	6,16
16.11.2015	21:35:00	0	0	0	0	8,42	16,84	0	0,79	6,16
16.11.2015	21:50:00	0	0,43	2,01	0	3,23	10,68	0	3,36	10,37
16.11.2015	22:05:00	0	0	0	0	0,43	3,48	0	2,26	10,25
17.11.2015	22:20:00	0	0	0	0	5,8	13	3,6	4,88	9,58
17.11.2015	22:35:00	0	0,49	3,36	0	3,42	12,2	3,66	4,94	9,64
17.11.2015	22:50:00	3,23	3,29	3,36	0	2,56	7,08	0	2,93	9,52
17.11.2015	23:05:00	0	2,14	14,46	0	1,95	7,93	0	4,21	13,24
17.11.2015	23:20:00	0	0	0	0	3,29	9,7	0	2,5	13,18
17.11.2015	23:35:00	0	0	0	0	0,61	3,48	0	1,22	5,8
17.11.2015	23:50:00	0	0	0	0	3,84	9,03	0	1,28	5,8

**LIITE 1(4).**

**Eri vaiheiden virrat mittausaikana**

17.11.2015	0:05:00	0	0	0	0	1,34	6,04	0	3,17	12,75
17.11.2015	0:20:00	0	0	0	0	2,56	6,28	3,6	8,48	13,36
17.11.2015	0:35:00	0	0	0	0	2,56	5,86	3,6	5,06	9,4
17.11.2015	0:50:00	0	0,85	12,51	0	0,98	3,36	0	2,75	9,4
17.11.2015	1:05:00	1,71	1,71	1,77	0	2,99	10,19	0	1,77	9,27
17.11.2015	1:20:00	1,71	1,71	1,77	0	1,59	5,98	0	2,44	10,01
17.11.2015	1:35:00	0	2,68	4,33	0	2,99	5,98	0	4,21	13,3
17.11.2015	1:50:00	0	3,17	3,29	0	1,16	4,39	0	1,46	5,8
17.11.2015	2:05:00	0	0	0	0	2,99	7,02	0	3,97	12,94
17.11.2015	2:20:00	0	0	0	0	1,1	7,26	3,66	5,43	12,75
17.11.2015	2:35:00	0	0	11,53	0	3,66	6,47	0	8,48	13,61
17.11.2015	2:50:00	0	0	0	0	0,98	5,8	0	2,32	9,34
17.11.2015	3:05:00	0	1,28	1,95	0	2,99	9,46	0	1,59	5,86
17.11.2015	3:20:00	0	0,79	1,77	0	2,26	6,22	0	2,26	9,34
17.11.2015	3:35:00	0	0	0	0	1,65	7,14	0	3,72	10,01
17.11.2015	3:50:00	0	0	0	0	3,42	9,46	0	3,11	9,95
17.11.2015	4:05:00	0	0,31	3,29	0	2,44	6,77	0	4,52	9,4
17.11.2015	4:20:00	3,23	3,23	3,29	0	2,68	5,67	3,6	5,49	9,52
17.11.2015	4:35:00	0	2,5	14,34	0	1,46	5,86	3,6	6,22	12,81
17.11.2015	4:50:00	0	0	0	0	3,78	8,97	0	4,7	9,88
17.11.2015	5:05:00	0	0	0	0	0,37	2,81	0	2,38	9,27
17.11.2015	5:20:00	0	0	0	0	10,56	23,74	0	2,14	5,86
17.11.2015	5:35:00	0	0	0	0	5,49	20,14	0	2,38	9,21
17.11.2015	5:50:00	0	0	0	0	3,72	6,83	0	4,7	10,07
17.11.2015	6:05:00	0	0	0	0	1,71	13,18	0	4,15	9,95
17.11.2015	6:20:00	0	0	11,9	0	2,62	7,69	3,6	5,61	12,81
17.11.2015	6:35:00	0	0	0	0	2,56	7,93	0	4,33	12,75
17.11.2015	6:50:00	0	0	0	0	2,87	10,19	0	2,75	10,01
17.11.2015	7:05:00	0	0	0	0	2,38	7,2	0	3,05	10,01
17.11.2015	7:20:00	0	0,18	3,48	0	1,1	7,75	0	2,07	9,27
17.11.2015	7:35:00	3,42	3,78	4,58	0	3,66	6,89	0	1,28	5,86
17.11.2015	7:50:00	0	2,99	4,52	0	1,1	4,03	0	2,26	9,34
17.11.2015	8:05:00	0	0	3,23	0	2,87	6,77	3,66	7,38	13,48
17.11.2015	8:20:00	0	0,73	11,72	0	7,44	18,43	3,66	5,37	9,88
17.11.2015	8:35:00	0	5	10,92	0	5,13	16,17	0	4,52	9,88
17.11.2015	8:50:00	0	0	0	2,07	3,36	6,35	0	1,53	5,92
17.11.2015	9:05:00	0	0	0	1,71	3,97	11,04	0	3,78	10,19
17.11.2015	9:20:00	0	0	0	1,71	11,41	20,56	0	2,38	10,13
17.11.2015	9:35:00	0	0	0	0	1,53	7,38	0	1,46	5,92
17.11.2015	9:50:00	0	0	0	0	5,98	15,13	0	1,16	5,92
17.11.2015	10:05:00	0	0	11,59	0	3,11	8,66	0	5,31	9,58
17.11.2015	10:20:00	0	7,02	13,12	0	3,17	9,64	3,66	7,02	13,73
17.11.2015	10:35:00	3,91	7,14	12,75	0	0,85	4,15	0	4,21	13,79
17.11.2015	10:50:00	0	1,04	4,15	0	10,31	20,01	0	1,53	6,35
17.11.2015	11:05:00	0	0	0	0	6,53	16,84	0	1,28	5,98
17.11.2015	11:20:00	0	0	0	0	6,22	13,73	0	1,4	5,86
17.11.2015	11:35:00	0	0	0	0	3,23	9,58	0	4,76	10,13
17.11.2015	11:50:00	0	0	0	0	6,1	10,37	0	2,62	10,13
17.11.2015	12:05:00	0	0	11,84	0	8,85	12,63	3,66	5,06	9,7

**LIITE 1(5).**

**Eri vaiheiden virrat mittausaikana**

17.11.2015	12:20:00	0	0	0	3,72	11,23	19,77	3,72	5	9,64
17.11.2015	12:35:00	0	0	0	10,49	12,94	16,6	0	4,64	9,64
17.11.2015	12:50:00	0	4,09	9,7	10,07	12,26	16,54	0	3,48	6,35
17.11.2015	13:05:00	0	3,72	9,58	10,01	12,45	15,93	0	3,97	10,13
17.11.2015	13:20:00	3,36	3,72	4,21	0	10,43	15,8	0	2,26	9,58
17.11.2015	13:35:00	0	1,77	4,15	0	9,58	20,07	3,66	5,13	9,64
17.11.2015	13:50:00	0	0	12,2	10,37	10,92	13,18	3,66	4,76	9,7
17.11.2015	14:05:00	0	0	1,83	10,31	13,18	17,33	0	2,38	9,58
17.11.2015	14:20:00	0	0,18	2,32	10,31	11,47	13,79	0	4,52	10,25
17.11.2015	14:35:00	0	0,18	2,2	10,25	12,33	15,74	0	0,79	5,92
17.11.2015	14:50:00	0	0,12	2,2	10,01	11,72	17,02	0	1,28	5,92
17.11.2015	15:05:00	0	0	0	0	9,27	19,59	0	1,34	5,92
17.11.2015	15:20:00	0	0	0	0	1,16	3,91	0	2,81	9,7
17.11.2015	15:35:00	0	0	0	0	2,56	10,37	3,84	8,42	13,79
17.11.2015	15:50:00	0	1,22	11,53	0	2,5	9,34	3,78	6,04	9,64
17.11.2015	16:05:00	3,84	4,21	4,88	0	1,1	7,5	0	1,77	5,8
17.11.2015	16:20:00	0	2,01	4,58	0	3,84	9,76	0	1,34	5,8
17.11.2015	16:35:00	0	0	0	0	6,41	17,82	0	1,4	6,1
17.11.2015	16:50:00	0	0	0	12,87	15,44	20,01	0	4,45	10,25
17.11.2015	17:05:00	0	0	0	0	1,22	12,94	0	1,59	6,04
17.11.2015	17:20:00	0	0	0	0	2,81	6,41	0	3,29	9,58
17.11.2015	17:35:00	0	1,53	12,94	0	2,32	10,62	3,78	5,74	14,89
17.11.2015	17:50:00	0	2,07	2,68	2,14	10,49	16,6	3,84	7,02	13,79
17.11.2015	18:05:00	0	0,18	2,38	0	2,99	7,81	0	2,93	13,61
17.11.2015	18:20:00	0	0	1,71	0	3,29	7,69	0	1,95	6,04
17.11.2015	18:35:00	0	1,53	3,6	0	2,32	15,56	0	1,1	6,16
17.11.2015	18:50:00	3,48	3,48	3,6	1,77	10,43	17,02	0	2,26	10,19
17.11.2015	19:05:00	0	0,98	3,6	1,77	8,24	16,96	0	4,27	10,25
17.11.2015	19:20:00	0	0	11,72	0	1,34	4,94	0	3,91	9,7
17.11.2015	19:35:00	0	0,18	2,07	0	4,76	9,46	3,84	5,25	9,64
17.11.2015	19:50:00	1,83	1,89	1,95	0	0,37	8,36	0	5,06	9,64
17.11.2015	20:05:00	0	1,1	2,07	0	11,41	20,56	0	5	10,68
17.11.2015	20:20:00	0	0	0	0	6,16	17,39	0	1,53	6,04
17.11.2015	20:35:00	0	0	0	0	2,32	6,22	0	1,65	6,47
17.11.2015	20:50:00	0	0	1,77	0	6,28	25,57	0	2,2	6,83
17.11.2015	21:05:00	0	0,49	12,51	10,74	12,33	16,72	0	5,92	13,79
17.11.2015	21:20:00	4,09	4,15	4,64	4,09	12,14	17,45	3,91	6,1	13,79
17.11.2015	21:35:00	0	2,68	4,15	0	1,65	4,45	3,91	5,19	9,76
17.11.2015	21:50:00	0	0	0	0	2,81	8,05	3,91	5	9,76
17.11.2015	22:05:00	0	0,67	2,62	0	2,32	6,89	0	4,88	10,19
18.11.2015	22:20:20	0	0	0	0	6,89	13,36	0	3,36	10,25
18.11.2015	22:35:00	0	0	0	0	4,7	12,94	0	1,59	5,86
18.11.2015	22:50:00	0	0	0	0	3,05	9,52	0	1,65	5,86
18.11.2015	23:05:00	0	0	11,84	0	1,53	5,98	0	2,5	13,24
18.11.2015	23:20:00	0	0	0	0	2,44	5,98	3,6	6,65	13,42
18.11.2015	23:35:00	0	0	0	0	2,93	5,98	3,6	5,19	9,46
18.11.2015	23:50:00	0	0	0	0	1,4	6,96	3,54	5,19	9,34
18.11.2015	0:05:00	0	1,83	4,27	0	4,39	9,52	0	3,05	9,82
18.11.2015	0:20:00	4,15	4,15	4,27	0	0,43	3,6	0	4,45	9,76

**LIITE 1(6).**

**Eri vaiheiden virrat mittausaikana**

18.11.2015	0:35:00	0	1,71	4,27	0	3,36	9,34	0	1,89	5,74
18.11.2015	0:50:00	0	0,43	12,26	0	1,83	6,96	0	2,01	5,74
18.11.2015	1:05:00	0	0,79	1,83	0	2,68	10,31	0	3,11	9,88
18.11.2015	1:20:00	0	0	0	0	2,68	7,14	3,6	7,5	13,3
18.11.2015	1:35:00	0	0	0	0	1,83	5,92	3,6	5,25	9,4
18.11.2015	1:50:00	0	0	0	0	2,93	9,03	0	5,06	12,81
18.11.2015	2:05:00	0	0	0	0	1,59	8,97	0	3,05	9,95
18.11.2015	2:20:00	0	0	0	0	2,5	10,19	0	4,09	9,95
18.11.2015	2:35:00	0	0	0	0	2,2	8,85	0	2,81	9,4
18.11.2015	2:50:00	0	3,36	15,19	0	3,17	6,71	0	2,01	5,8
18.11.2015	3:05:00	3,84	4,64	4,94	0	2,14	5,86	0	5,37	16,66
18.11.2015	3:20:00	0	0,49	3,91	0	2,38	6,77	3,6	7,44	13,36
18.11.2015	3:35:00	0	0	0	0	2,32	10,25	3,6	5,49	9,4
18.11.2015	3:50:00	0	0	0	0	2,01	9,7	0	3,91	12,69
18.11.2015	4:05:00	0	0	0	0	3,72	9,27	0	3,97	10,01
18.11.2015	4:20:00	0	0	0	0	0,67	2,87	0	4,15	9,82
18.11.2015	4:35:00	0	0,06	12,33	0	7,26	14,4	0	2,26	5,86
18.11.2015	4:50:00	1,71	1,77	1,89	0	4,21	14,46	0	3,11	11,04
18.11.2015	5:05:00	0	1,16	2,56	0	3,48	8,85	0	7,44	13,42
18.11.2015	5:20:00	0	1,4	3,84	0	3,23	16,66	3,6	5,98	9,4
18.11.2015	5:35:00	3,23	3,29	3,54	0	3,23	13,48	0	5,74	12,81
18.11.2015	5:50:00	0	1,1	3,36	0	3,78	9,64	0	1,89	5,86
18.11.2015	6:05:00	0	0	0	0	0,43	7,99	0	5,06	10,01
18.11.2015	6:20:00	0	0	2,56	0	4,15	9,95	0	2,81	9,34
18.11.2015	6:35:00	0	0,92	12,51	0	1,53	9,4	0	1,46	5,8
18.11.2015	6:50:00	0	1,65	1,83	0	2,5	7,14	0	2,14	17,02
18.11.2015	7:05:00	0	0	2,44	0	7,87	18,43	3,66	9,27	16,96
18.11.2015	7:20:00	0	0	0	0	10,92	19,83	3,6	4,76	9,52
18.11.2015	7:35:00	0	0	0	0	6,28	19,22	0	3,05	9,4
18.11.2015	7:50:00	0	5,61	11,35	0	11,59	19,22	0	2,2	9,34
18.11.2015	8:05:00	0	0	0	0	7,5	15,74	0	4,88	10,07
18.11.2015	8:20:00	0	0,67	12,26	0	3,48	13,48	0	1,59	5,86
18.11.2015	8:35:00	1,77	3,48	5,19	0	3,54	7,69	0	2,26	9,64
18.11.2015	8:50:00	3,91	4,52	5,06	0	0,73	4,21	0	3,36	9,76
18.11.2015	9:05:00	0	0,67	4,15	0	3,6	7,44	3,66	7,32	13,73
18.11.2015	9:20:00	0	0	1,71	0	5,31	21,11	3,66	5,86	13,61
18.11.2015	9:35:00	0	0	0	10,31	14,83	23,86	0	1,53	9,52
18.11.2015	9:50:00	0	7,75	11,17	0	4,45	16,05	0	1,59	5,92
18.11.2015	10:05:00	0	1,53	11,53	0	1,95	6,83	0	2,68	10,07
18.11.2015	10:20:00	1,77	1,77	1,89	0	12,81	19,04	0	4,03	13,61
18.11.2015	10:35:00	1,71	1,71	1,89	0	4,39	18,98	0	1,22	5,86
18.11.2015	10:50:00	0	0,49	1,77	0	2,87	9,64	0	4,52	9,58
18.11.2015	11:05:00	0	0	0	0	1,34	8,3	3,66	5,25	9,76
18.11.2015	11:20:00	0	0	0	0	3,6	7,08	0	6,96	13,55
18.11.2015	11:35:00	0	2,5	3,36	0	1,59	5,67	0	1,65	5,92
18.11.2015	11:50:00	0	3,05	3,36	0	3,54	7,02	0	1,65	5,86
18.11.2015	12:05:00	0	0	0	0	6,04	12,63	0	2,5	9,34
18.11.2015	12:20:00	0	1,46	12,39	0	3,54	10,8	0	4,58	10,43
18.11.2015	12:35:00	1,71	10,25	10,92	0	2,01	6,65	0	2,07	10,07



**LIITE 1(7).**

**Eri vaiheiden virrat mittausaikana**

18.11.2015	12:50:00	9,58	10,31	10,86	0	1,95	6,83	0	4,52	9,52
18.11.2015	13:05:00	0	8,79	10,43	0	3,6	7,87	3,66	6,1	13
18.11.2015	13:20:00	0	0	0	0	0,79	4,64	0	5,74	10,07
18.11.2015	13:35:00	0	0	0	0	9,58	19,89	0	3,42	10,19
18.11.2015	13:50:00	0	0	1,83	0	2,14	9,82	0	2,38	9,4
18.11.2015	14:05:00	0	0,24	15,56	0	2,32	8,91	0	1,83	9,4
18.11.2015	14:20:00	3,91	4,45	7,44	0	7,02	15,99	0	2,62	10,19
18.11.2015	14:35:00	0	2,62	4,03	0	2,93	15,56	0	4,39	10,07
18.11.2015	14:50:00	0	5,43	9,34	0	8,85	23,06	0	4,82	9,58
18.11.2015	15:05:00	0	1,53	8,85	0	9,09	17,08	3,66	5,74	10,01
18.11.2015	15:20:00	0	9,27	17,69	0	3,97	7,14	0	4,82	10,07
18.11.2015	15:35:00	8,97	10,92	18,18	0	2,01	6,1	0	5,25	10,8
18.11.2015	15:50:00	0	9,76	19,95	4,15	13,67	16,35	0	2,26	6,41
18.11.2015	16:05:00	0	3,29	10,43	10,19	13,55	16,84	0	3,78	9,34
18.11.2015	16:20:00	0	1,53	3,17	10,8	12,81	16,66	0	1,34	6,35
18.11.2015	16:35:00	0	1,46	3,29	10,86	14,09	19,77	0	5,86	13,85
18.11.2015	16:50:00	0	3,17	4,64	10,56	11,9	16,35	0	6,35	11,1
18.11.2015	17:05:00	4,09	4,45	4,82	10,56	14,7	19,65	4,15	5,31	9,95
18.11.2015	17:20:00	0	0,49	4,58	10,49	11,35	13,79	0	5,37	13,3
18.11.2015	17:35:00	0	0	0	10,49	14,46	20,75	0	4,88	11,1
18.11.2015	17:50:00	0	0	12,2	0	7,14	17,33	0	2,32	10,8
18.11.2015	18:05:00	0	0	0	0	3,97	9,95	0	2,32	10,25
18.11.2015	18:20:00	0	0	1,71	0	2,07	6,47	0	2,01	6,83
18.11.2015	18:35:00	0	0,24	2,26	0	8,79	16,35	0	5	10,86
18.11.2015	18:50:00	0	0	0	0	5,19	17,88	0	3,72	10,8
18.11.2015	19:05:00	0	0	0	0	3,05	7,99	0	5,55	10,37
18.11.2015	19:20:00	0	0	0	0	4,88	10,31	4,21	6,77	10,8
18.11.2015	19:35:00	0	3,78	4,09	0	1,46	7,38	0	5	10,56
18.11.2015	19:50:00	0	3,17	15,19	0	5,31	11,17	0	3,91	10,49
18.11.2015	20:05:00	0	0	2,32	1,83	9,58	16,9	0	1,46	6,35
18.11.2015	20:20:00	0	0	2,44	0	3,91	7,81	0	1,34	6,41
18.11.2015	20:35:00	0	0	0	0	2,14	6,77	0	1,34	6,04
18.11.2015	20:50:00	0	0	1,71	0	2,5	8,18	0	5	10,92
18.11.2015	21:05:00	0	0	0	0	2,99	7,99	0	5,13	9,64
18.11.2015	21:20:00	0	0	0	0	2,93	10,68	3,84	5,55	9,82
18.11.2015	21:35:00	0	0	12,2	3,84	10,92	16,05	0	3,91	9,82
18.11.2015	21:50:00	0	0	1,95	0	2,26	7,44	0	3,05	10,49
18.11.2015	22:05:00	0	0	0	0	2,87	6,77	0	3,05	10,07
19.11.2015	22:20:00	0	0	0	0	1,22	4,39	0	1,59	5,86
19.11.2015	22:35:00	0	3,11	3,36	0	2,81	6,04	0	1,65	5,86
19.11.2015	22:50:00	0	2,44	3,36	0	0,92	7,2	0	1,71	5,86
19.11.2015	23:05:00	0	0	0	0	2,87	5,98	0	8,05	13,48
19.11.2015	23:20:00	0	0	0	0	1,65	6,16	3,6	5,37	9,4
19.11.2015	23:35:00	0	1,77	12,45	0	2,81	5,67	0	3,84	9,34
19.11.2015	23:50:00	0	1,46	1,77	0	1,46	10,25	0	1,65	5,8
19.11.2015	0:05:00	0	0	2,26	0	2,93	6,1	0	4,76	9,88
19.11.2015	0:20:00	0	0	0	0	1,77	5,98	0	1,83	5,86
19.11.2015	0:35:00	0	0	0	0	2,2	7,5	0	1,77	5,8
19.11.2015	0:50:00	0	0	0	0	3,29	8,91	0	2,07	9,34

**LIITE 1(8).**

**Eri vaiheiden virrat mittausaikana**

19.11.2015	1:05:00	0	0,61	3,29	0	0,37	7,08	3,6	7,44	13,42
19.11.2015	1:20:00	3,23	3,54	14,4	0	8,3	15,68	3,6	6,65	13,3
19.11.2015	1:35:00	1,71	3,66	5,43	0	3,78	13,24	0	3,54	9,4
19.11.2015	1:50:00	1,71	1,71	1,77	0	2,44	5,86	0	1,77	5,74
19.11.2015	2:05:00	0	0,31	1,77	0	2,01	5,8	0	2,93	9,95
19.11.2015	2:20:00	0	0	0	0	2,14	10,43	0	4,27	9,95
19.11.2015	2:35:00	0	0	0	0	2,38	6,77	0	1,89	5,8
19.11.2015	2:50:00	0	0	0	0	2,14	6,77	0	2,87	9,4
19.11.2015	3:05:00	0	0	0	0	2,62	5,67	3,6	5,67	9,4
19.11.2015	3:20:00	0	0	11,65	0	0,98	5,92	3,6	8,97	13,48
19.11.2015	3:35:00	0	0	0	0	3,29	9,4	0	2,93	9,4
19.11.2015	3:50:00	0	3,48	4,88	0	1,34	5,98	0	1,89	5,8
19.11.2015	4:05:00	4,21	4,21	4,33	0	2,93	5,98	0	1,95	5,86
19.11.2015	4:20:00	0	0,85	4,27	0	1,83	5,67	0	5,13	9,95
19.11.2015	4:35:00	0	0	0	0	2,14	5,61	0	2,07	9,82
19.11.2015	4:50:00	0	0	0	0	3,17	11,04	0	4,7	12,81
19.11.2015	5:05:00	0	0	11,65	0	1,22	7,02	3,6	5,86	11,23
19.11.2015	5:20:00	0	0	2,32	0	5,98	17,45	3,6	8,18	13,42
19.11.2015	5:35:00	0	0	2,07	0	0,92	5,74	0	2,62	13,24
19.11.2015	5:50:00	0	0,43	1,89	0	3,11	9,52	0	1,46	5,8
19.11.2015	6:05:00	0	0	1,83	0	8,6	22,88	0	1,28	5,8
19.11.2015	6:20:00	0	0	2,44	0	1,83	13,61	0	5,25	12,51
19.11.2015	6:35:00	0	0	0	0	2,62	7,2	2,62	5,13	12,51
19.11.2015	6:50:00	0	0	0	0	0,92	3,72	2,62	7,93	15,38
19.11.2015	7:05:00	0	1,65	11,53	0	3,97	6,83	6,22	7,99	15,38
19.11.2015	7:20:00	4,09	4,09	4,21	0	0,98	7,75	6,28	8,6	16,11
19.11.2015	7:35:00	0	1,4	4,15	0	2,99	6,83	2,62	5	12,51
19.11.2015	7:50:00	0	0	0	0	1,28	6,1	2,62	4,21	11,9
19.11.2015	8:05:00	0	0	0	0	2,62	6,1	0	3,66	11,84
19.11.2015	8:20:00	0	0	0	0	8,12	15,8	0	2,26	10,07
19.11.2015	8:35:00	0	0	0	0	4,39	13,61	0	4,64	10,01
19.11.2015	8:50:00	0	5,06	20,68	0	2,38	6,71	3,66	5,55	9,82
19.11.2015	9:05:00	0	0,79	11,41	0	2,75	6,96	3,66	6,04	12,94
19.11.2015	9:20:00	0	0	1,89	0	8,24	16,6	0	2,44	9,46
19.11.2015	9:35:00	0	0	0	0	2,07	12,39	0	5	10,25
19.11.2015	9:50:00	0	1,1	4,7	0	3,66	12,81	0	1,59	6,1
19.11.2015	10:05:00	4,27	4,45	4,64	0	0,92	7,44	0	1,71	5,86
19.11.2015	10:20:00	0	5,55	10,01	0	6,28	14,64	0	1,65	5,98
19.11.2015	10:35:00	0	3,91	11,1	0	10,86	22,64	0	5,8	16,84
19.11.2015	10:50:00	0	8,36	20,01	0	5,74	17,82	3,72	11,04	16,84
19.11.2015	11:05:00	0	0	0	0	18,49	29,71	3,72	8,85	11,47
19.11.2015	11:20:00	0	0	0	11,59	15,56	20,81	0	3,05	11,41
19.11.2015	11:35:00	0	0	0	14,22	17,94	23,12	0	2,2	9,64
19.11.2015	11:50:00	0	0	0	11,1	13,55	18,79	0	5,13	10,25
19.11.2015	12:05:00	0	0	1,71	0	6,47	13,42	0	1,65	6,04
19.11.2015	12:20:00	0	0	1,83	0	8,36	13,48	0	1,46	6,04
19.11.2015	12:35:00	0	2,01	3,36	0	3,36	7,57	0	4,33	27,58
19.11.2015	12:50:00	3,23	3,78	14,58	0	1,77	9,58	5,43	9,4	21,36
19.11.2015	13:05:00	0	0,49	4,03	0	2,87	7,26	3,66	7,44	22,39

**LIITE 1(9).**

**Eri vaiheiden virrat mittausaikana**

19.11.2015	13:20:00	0	0	1,77	0	4,21	13,36	0	2,26	18,12
19.11.2015	13:35:00	0	0	0	0	7,81	15,99	0	2,32	6,04
19.11.2015	13:50:00	0	0	0	0	3,6	7,08	0	2,44	10,07
19.11.2015	14:05:00	0	0	0	0	1,04	4,7	0	4,76	10,01
19.11.2015	14:20:00	0	0,12	12,33	0	4,39	10,43	0	2,01	5,92
19.11.2015	14:35:00	0	0	0	0	7,99	12,87	0	4,39	9,52
19.11.2015	14:50:00	0	0	0	0	5,92	16,05	3,66	6,04	13
19.11.2015	15:05:00	0	0	0	10,19	12,57	16,84	3,6	6,47	13,48
19.11.2015	15:20:00	0	2,87	3,42	0	7,99	17,08	0	2,75	9,95
19.11.2015	15:35:00	0	2,99	3,36	0	3,97	9,15	0	2,5	5,8
19.11.2015	15:50:00	0	0	0	0	1,65	6,77	0	2,5	9,4
19.11.2015	16:05:00	0	0,06	12,33	0	4,33	11,41	0	2,99	10,19
19.11.2015	16:20:00	0	1,95	3,36	0	6,71	15,74	0	4,7	10,19
19.11.2015	16:35:00	0	0	0	0	8,12	17,45	3,84	5,49	9,64
19.11.2015	16:50:00	0	0	0	0	1,59	7,26	3,84	6,35	13,06
19.11.2015	17:05:00	0	0	0	1,77	4,39	7,69	0	3,97	9,64
19.11.2015	17:20:00	0	0	0	0	3,66	9,03	0	4,94	10,25
19.11.2015	17:35:00	0	0	0	3,97	11,9	25,69	0	1,77	6,16
19.11.2015	17:50:00	0	2,62	29,96	0	8,66	19,71	0	2,68	9,58
19.11.2015	18:05:00	4,58	6,35	15,74	10,92	13,42	19,28	0	2,2	6,53
19.11.2015	18:20:00	1,89	2,62	5,67	11,04	14,77	19,77	0	7,32	11,96
19.11.2015	18:35:00	0	0,55	2,87	10,98	12,2	17,82	0	6,53	13,06
19.11.2015	18:50:00	0	0	0	11,35	15,44	22,7	3,84	5,67	9,7
19.11.2015	19:05:00	0	0	0	11,04	12,63	19,16	3,84	5,86	9,7
19.11.2015	19:20:00	0	0	0	11,84	14,52	17,88	3,84	8,24	13,79
19.11.2015	19:35:00	0	0	0	11,1	13,85	17,08	0	4,58	13,73
19.11.2015	19:50:00	0	0	0	0	6,1	16,47	0	1,95	6,1
19.11.2015	20:05:00	0	0,24	12,2	0	4,39	12,63	0	2,87	9,52
19.11.2015	20:20:00	0	2,44	4,76	0	0,85	4,21	0	3,78	10,19
19.11.2015	20:35:00	4,7	5,49	5,86	0	3,6	7,32	0	3,6	10,19
19.11.2015	20:50:00	0	2,44	5,74	0	2,99	16,35	0	5,31	9,82
19.11.2015	21:05:00	0	0,43	2,32	10,62	13,36	16,29	3,84	6,04	9,76
19.11.2015	21:20:00	0	0	0	2,07	9,46	15,07	3,84	8,05	13,91
19.11.2015	21:35:00	0	0	0	0	1,46	7,32	0	7,2	13,73
19.11.2015	21:50:00	0	0	0	0	7,2	23,19	0	1,89	6,22
19.11.2015	22:05:00	0	0,06	12,26	0	7,5	16,35	0	1,71	5,8
20.11.2015	22:20:00	0	0	0	0	3,54	6,77	0	3,91	13,36
20.11.2015	22:35:00	0	1,04	1,89	0	1,53	5,86	0	5,43	10,01
20.11.2015	22:50:00	0	0,49	1,77	0	2,5	7,32	3,66	5,43	9,52
20.11.2015	23:05:00	0	0	0	0	2,87	9,76	3,6	6,22	12,87
20.11.2015	23:20:00	0	2,5	3,36	0	2,56	9,64	0	4,09	10,01
20.11.2015	23:35:00	0	3,17	3,36	0	2,81	9,34	0	3,66	10,01
20.11.2015	23:50:00	0	0	11,53	0	2,44	8,91	0	2,75	9,27
20.11.2015	0:05:00	0	0	0	0	3,11	8,6	0	1,83	5,8
20.11.2015	0:20:00	0	0	1,89	0	1,77	6,89	0	4,15	9,95
20.11.2015	0:35:00	0	1,4	1,83	0	2,93	9,09	3,6	7,02	16,78
20.11.2015	0:50:00	0	0	0	0	2,5	6,77	3,6	5,49	9,34
20.11.2015	1:05:00	0	0	0	0	2,75	8,3	0	5,43	12,69
20.11.2015	1:20:00	0	0	0	0	2,81	6,35	0	5,06	9,88

**LIITE 1(10).****Eri vaiheiden virrat mittausaikana**

20.11.2015	1:35:00	0	0	0	0	3,29	9,64	0	3,54	9,82
20.11.2015	1:50:00	0	0,92	11,35	0	3,11	6,04	0	2,14	9,15
20.11.2015	2:05:00	3,84	4,15	4,88	0	1,46	6,22	0	2,01	5,8
20.11.2015	2:20:00	0	3,66	4,88	0	3,97	11,53	0	7,69	13,36
20.11.2015	2:35:00	0	0,67	1,71	0	2,14	9,27	3,6	5,67	9,4
20.11.2015	2:50:00	0	0	0	0	3,66	9,21	3,6	6,41	12,69
20.11.2015	3:05:00	0	0	0	0	2,2	6,1	0	3,42	9,95
20.11.2015	3:20:00	0	0	0	0	2,68	6,04	0	5,98	13,3
20.11.2015	3:35:00	0	0	0	0	3,48	13,61	0	2,32	5,8
20.11.2015	3:50:00	0	0	11,78	0	2,07	6,53	0	3,05	9,27
20.11.2015	4:05:00	0	1,46	1,89	0	3,42	8,6	0	3,91	10,01
20.11.2015	4:20:00	1,71	1,71	1,77	0	1,89	6,22	3,66	6,89	13,48
20.11.2015	4:35:00	0	3,23	4,33	0	3,29	9,52	3,66	5,8	9,52
20.11.2015	4:50:00	0	3,23	3,36	0	2,87	15,68	0	5,92	12,87
20.11.2015	5:05:00	0	0	0	0	3,72	11,84	0	5,37	10,13
20.11.2015	5:20:00	0	0	0	0	4,58	9,64	0	2,87	9,4
20.11.2015	5:35:00	0	0	11,53	0	1,95	9,46	0	1,83	5,86
20.11.2015	5:50:00	0	1,65	2,56	0	7,63	19,1	0	3,17	10,25
20.11.2015	6:05:00	1,71	2,01	3,05	0	7,75	13,42	0	3,78	10,01
20.11.2015	6:20:00	0	1,22	2,44	0	4,21	7,5	3,6	5,8	12,87
20.11.2015	6:35:00	0	0	0	0	1,89	6,47	3,6	5	9,4
20.11.2015	6:50:00	0	0	0	0	3,29	7,08	0	6,22	13,36
20.11.2015	7:05:00	0	0	0	0	2,75	8,79	0	3,17	13,36
20.11.2015	7:20:00	0	0	0	0	2,32	13,48	0	1,77	5,86
20.11.2015	7:35:00	0	1,16	11,65	0	3,97	9,09	0	2,2	9,21
20.11.2015	7:50:00	1,71	2,38	6,35	0	0,67	5,67	0	4,21	10,07
20.11.2015	8:05:00	4,82	5	5,43	0	6,16	10,98	0	5,25	12,94
20.11.2015	8:20:00	0	2,14	4,94	3,54	9,64	13,3	3,66	5,37	9,58
20.11.2015	8:35:00	0	0	0	0	2,99	7,81	0	5,67	13,12
20.11.2015	8:50:00	0	0	0	0	3,11	6,96	0	5,19	10,25
20.11.2015	9:05:00	0	0	0	0	2,68	6,71	0	1,83	5,92
20.11.2015	9:20:00	0	0	11,65	0	4,03	9,88	0	2,68	9,46
20.11.2015	9:35:00	0	7,75	10,37	0	3,97	15,86	0	1,95	10,31
20.11.2015	9:50:00	1,71	2,2	10,25	10,56	14,77	19,95	0	4,82	10,25
20.11.2015	10:05:00	0	7,57	10,49	11,17	12,45	16,54	0	4,88	13,12
20.11.2015	10:20:00	0	10,37	17,94	0	13,36	27,34	3,72	5,61	10,19
20.11.2015	10:35:00	0	4,76	8,97	10,49	16,47	25,57	0	5,06	10,19
20.11.2015	10:50:00	3,48	7,32	12,2	11,47	18,79	24,96	0	4,82	13,67
20.11.2015	11:05:00	0	3,66	22,7	10,56	16,17	24,89	0	1,83	6,04
20.11.2015	11:20:00	0	3,42	9,46	0	2,26	13,91	0	1,4	5,98
20.11.2015	11:35:00	1,89	5,37	10,56	10,19	13,91	21,84	0	3,91	10,8
20.11.2015	11:50:00	1,83	4,21	10,43	4,64	11,84	20,32	0	3,17	10,19
20.11.2015	12:05:00	0	4,21	11,35	0	8,24	13,55	0	4,76	9,82
20.11.2015	12:20:00	0	10,49	18,3	0	5,19	12,69	3,84	6,28	13,24
20.11.2015	12:35:00	0	2,44	13,73	0	6,35	19,04	3,84	6,04	13,79
20.11.2015	12:50:00	0	3,42	8,73	0	6,96	18,55	0	3,72	10,19
20.11.2015	13:05:00	0	2,32	8,73	0	3,36	8,85	0	5,49	11,35
20.11.2015	13:20:00	0	3,23	12,81	0	3,23	6,28	0	5,55	9,46
20.11.2015	13:35:00	4,39	7,2	17,82	0	12,26	19,89	3,78	8,85	13,91

**LIITE 1(11).****Eri vaiheiden virrat mittausaikana**

20.11.2015	13:50:00	0	6,22	17,57	0	1,28	7,38	3,78	7,14	13,73
20.11.2015	14:05:00	0	5,98	18,06	0	4,21	10,49	0	5,74	10,07
20.11.2015	14:20:00	0	2,07	10,19	0	5,55	18,12	0	4,82	9,46
20.11.2015	14:35:00	0	0,24	6,22	10,25	15,13	23,67	0	4,33	10,25
20.11.2015	14:50:00	0	0,61	5,98	10,25	12,94	20,32	0	3,11	10,07
20.11.2015	15:05:00	0	0	0	0	9,09	16,66	0	2,01	5,86
20.11.2015	15:20:00	0	0	0	0	4,33	9,52	0	1,95	5,8
20.11.2015	15:35:00	0	0	1,71	0	1,53	6,59	0	7,44	13,48
20.11.2015	15:50:00	0	0	1,77	0	12,81	19,46	3,6	6,96	13,61
20.11.2015	16:05:00	0	3,05	3,6	0	8,48	16,96	0	5	9,64
20.11.2015	16:20:00	0	4,03	14,77	0	5,61	8,73	0	3,42	13,3
20.11.2015	16:35:00	0	2,14	2,56	0	8,85	15,13	0	4,64	10,68
20.11.2015	16:50:00	2,26	2,26	2,38	0	6,71	18,3	0	3,29	10,62
20.11.2015	17:05:00	0	3,23	10,13	0	4,03	7,87	0	2,07	6,89
20.11.2015	17:20:00	0	5,8	10,37	0	5	15,5	0	4,94	11,29
20.11.2015	17:35:00	0	3,23	9,7	10,49	14,58	20,26	3,91	8,91	14,83
20.11.2015	17:50:00	0	6,22	13,97	0	1,16	17,33	3,91	6,35	13,79
20.11.2015	18:05:00	0	4,09	11,72	0	8,24	16,17	0	3,72	9,7
20.11.2015	18:20:00	0	3,42	10,68	10,62	12,81	16,9	0	1,95	6,1
20.11.2015	18:35:00	0	3,97	10,43	0	10,19	16,54	0	4,7	10,25
20.11.2015	18:50:00	0	0	0	0	0,43	1,71	4,45	5,19	10,25

**LIITE 1(12).**

**Eri vaiheiden virrat mittausaikana**

**LIITE 1(13).**

**Eri vaiheiden virrat mittausaikana**