



SAVONIA

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

HUIPPUTEHON ARVIOINTI

TEKIJÄ: Lasse Lopenen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Lasse Loponen	
Työn nimi Huipputehon arviointi	
Päiväys 19.9.2017	Sivumäärä/Liitteet 30/1
Ohjaaja(t) yliopettaja Juhani Rouvali, lehtori Ari Tuomenlehto	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Savon Voima Verkko Oy	
Tiivistelmä <p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tarkentaa kuluttajan huipputehon arviointia. Työssä tutkittiin huipputehon jakaumassa esiintyvää vinoutta ja sen vaikutuksia huipputehon arviointiin. Työ tehtiin yhteistyönä Savonia-ammattikorkeakoulun ja Savon Voima Verkko Oy:n kanssa.</p> <p>Työssä käydään läpi kuluttajan huipputehon laskentaperiaatteet sekä kuluttajaryhmittäisten indeksisarjojen luonti. Työtä varten Savon Voima Verkko Oy luovutti 2799 käyttöpaikan tuntikulutustiedot neljän vuoden ajalta. Tämän aineiston pohjalta tutkittiin kuluttajien huipputehon jakaumaa ja jakauman mahdollista vinoutta normaalijakaumaan verrattuna. Työssä keskityttiin pääasiassa yksittäisen kuluttajan huipputehon tarkasteluun, mutta mukaan otettiin myös kaksi muuntopiiriä.</p> <p>Työn lopputuloksena saatiin, että huipputeho on selvästi vinoutunutta yksittäisten kuluttajien sekä muuntopiirien kohdalla. Tämän seurauksena normaalijakaumaan perustuva huipputehon arviointi antaa liian pieniä huipputehoja, jolloin verkostolaskennan epävarmuustekijät kasvavat entisestään.</p>	
Avainsanat huipputeho, vinous	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author(s) Lasse Loponen			
Title of Thesis Evaluation of Peak Power			
Date	19 September 2017	Pages/Appendices	30/1
Supervisor(s) Mr. Juhani Rouvali, Principal Lecturer, Mr. Ari Tuomenlehto, Lecturer			
Client Organisation /Partners Savon Voima Verkko Oy			
Abstract <p>The purpose of this bachelor's thesis was to define consumers' evaluation of peak power. The skewness of the distribution of peak power was studied and how it affects the evaluation of peak power. The thesis was done in cooperation with Savonia University of Applied Sciences and Savon Voima Verkko Oy.</p> <p>In this thesis, the methods of calculating peak power and the making of index series were studied. Savon Voima Verkko Oy handed over 2799 consumers' information of hourly power consumption for four years. From this data the skewness of the distribution of peak power was studied and how it affects the calculations of peak power. The focus of this study was on individual consumers but two transformation circuits were also included in the study.</p> <p>As a result of this thesis, it was concluded that the distribution of peak power is skewed and the current calculation methods give too small peak power to consumers. Because of this, the uncertainty in network calculation increases.</p>			
Keywords peak power, skewness			

ESIPUHE

Haluan kiittää Savon Voima Verkko Oy:tä ja erityisesti Jussi Antikaista sekä Sami Viiliäistä opinnäytetyön mahdollistamisesta. Haluan kiittää myös Savonia ammattikorkeakoulua työn aiheesta ja järjestämisestä. Kiitos myös työn ohjaajille yliopettaja Juhani Rouvalille sekä lehtori Ari Tuomenlehdolle.

Kuopiossa 19.9.2017

Lasse Loponen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	6
2	SAVON VOIMA VERKKO OY	7
3	SÄHKÖNJAKELUVERKON HUIPPUKATEHON ARVIOINTI SUOMESSA.....	8
3.1	Velanderin kaava	8
3.2	Kuormitusmallit.....	8
3.3	Tehojen laskenta kuormitusmallien avulla	10
4	TUTKIMUSMATERIAALI.....	12
4.1	Aineiston käsittely	12
4.1.1	Lämpötilakorjaus.....	12
4.1.2	Kulutuksen tasaus	14
5	INDEKSISARJOJEN LUONTI	15
6	VERTAILU NORMAALIJAKAUMAAN	17
6.1	χ^2 -testi.....	17
6.1.1	Testin tulokset	17
6.2	Jakauman vinous	19
6.2.1	Tuntikulutusjakaumien vinouden tarkastelu	19
7	VINOUDEN VAIKUTUS HUIPPUKATEHON LASKENNASSA.....	22
8	MUUNTOPIIRIEN VERTAILUA.....	24
9	VERKOSTO- JA SUUNNITTELUKATEHON HAASTEITA.....	28
9.1	Virheelliset käyttäjät käyttäjäryhmässä	28
9.2	Vuosienergian käyttö huippukatehon arvioinnissa	28
10	YHTEENVETO.....	29
	LÄHTEET JA TUOTETUT MATERIAALIT.....	30
	LIITE 1: MATERIAALIN KULUTTAJARYHMÄT JA KULUTTAJIEN MÄÄRÄ	31

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia, käyttäytykö kuluttajien huipputeho normaalijakauman mukaisesti ja kuinka jakauman mahdollinen vinous vaikuttaa sähkönjakelun suunnittelulaskentaan. Kuluttajan huipputehon oikea arviointi on tärkeää suunniteltaessa uutta verkkoa, koska se on yksi mitoitusta ohjaava tekijä.

Opinnäytetyötä varten saatiin Savoin Voima Verkko Oy:ltä 2799 käyttöpaikan tuntikulutustiedot neljän vuoden ajalta. Tietojen pohjalta huipputehon jakauman muotoa lähdettiin selvittämään. Työssä käytiin myös läpi nykyisin käytössä olevat huipputehon laskentaperiaatteet ja pohditaan mahdollisia tulevaisuuden näkymiä. Aineiston käsittelyyn käytettiin Microsoft Excel-taulukkolaskentaohjelmaa.

2 SAVON VOIMA VERKKO OY

Savon Voima Verkko Oy on perustettu vuonna 2006, jolloin tapahtui verkkoyhtiön yhtiöittäminen omaksi liiketoiminnaksi. Yhtiö on osa Savon Voima -konsernia. Savon Voima -konsernin muodostavat emoyhtiö Savon Voima Oyj, Savon Voima Verkko Oy sekä Savon Voima Salkunhallinta Oy. Savon Voima on perustettu vuonna 1947 ja sähkönjakelua on sen toimesta tehty yrityksen perustamisesta saakka. Savon Voima Verkolla on yli 117000 asiakasta ja sähköverkkoa lähes 27000 kilometriä Pohjois- ja Etelä-Savon sekä Keski-Suomen alueilla. Kuvassa 1 on esitettyä Savon Voima Verkon nykyinen jakelualuekartta.



Kuva 1. Savon Voima Verkko Oy:n jakelualuekartta. (Savon Voima Verkko Oy)

Savon Voima Verkko vastaa sähkön siirrosta sekä muista verkkopalveluista omalla jakelualueellaan. Sen keskeisimpänä tehtävänä on taata luotettava sähkön toimitusvarmuus, sekä hyvä sähkön laatu asiakkailleen. (Savon Voima Verkko Oy)

3 SÄHKÖNJAKELUVERKON HUIPPUTEHON ARVIOINTI SUOMESSA

Suomessa on perinteisesti käytetty huipputehon arviointiin sähkökäyttäjien vuosienergioita. Tämä johtuu siitä, että tarkempaa mittaustietoa ei ole ollut saatavilla laajasti kuin vasta viime vuosina. Valtioneuvosto määräsi vuonna 2009, että vuoden 2013 loppuun mennessä kaikilla sähkön käyttäjillä on oltava etäluettava tuntimittaukseen perustuva sähkön kulutuksen mittari. Vuosienergiat eivät kuitenkaan suoraan kerro, kuinka teho käyttäytyy sähköverkossa. Huipputehon arviointiin vuosienergian perusteella onkin olemassa useita erilaisia menetelmiä, joille kaikille on ominaista tilastomatemattinen perusta ja mittauksiin perustuva kokemus kuormituksen käyttäytymisestä. Suomessa on ennen käytetty huipputehon arviointiin Velanderin kaavaa, joka on syrjäytynyt nykyisin käytössä olevan kuormitusmalleihin perustuvan menetelmän tieltä. Kuormitusmalleja alettiin käyttää 80- ja 90-luvuilla. (Lakervi ja Partanen 2008, 52-53; Valtioneuvoston asetus 2009.)

3.1 Velanderin kaava

Velanderin kaava on huipputehojen arvioimiseen käytettävä menetelmä, joka on yhtälön 1 mukainen. Velanderin kaava oli käytössä huipputehon arviointiin ennen kuormitusmallien käyttöönottoa.

$$P_{max} = k_1 * W + k_2 * \sqrt{W} \quad (1)$$

Yhtälössä 1 P_{max} on huipputeho kilowatteina, k_1 ja k_2 ovat Velanderin kertoimet ja W on vuosienergia megawattitunteina. Kertoimet k_1 ja k_2 ovat käytännön kokemuksen ja mittausten perusteella valittuja. Alla olevassa taulukossa Taulukko 1 on tyypillisesti käytettyjä Velanderin kaavan kertoimia.

Taulukko 1. Tyypillisiä Velanderin kaavan kertoimia (Lakervi ja Partanen 2008, 53.)

Sähkön käyttäjäryhmä	k_1	k_2
Kotitalous	0,29	2,5
Sähkölämmitys	0,22	0,9
Palvelu	0,25	1,9

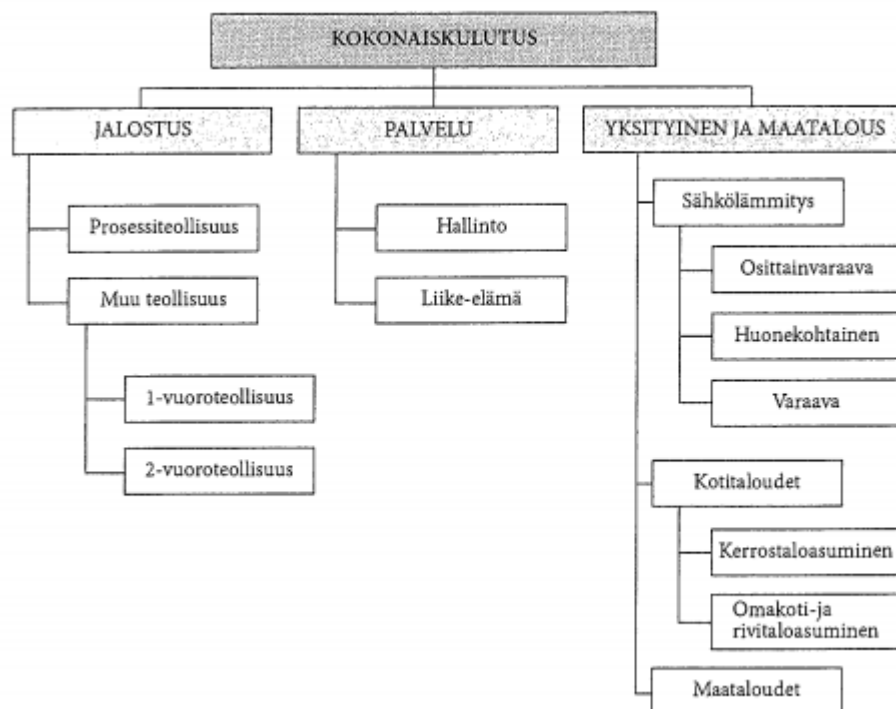
Sähkökäyttäjien tehot eivät kuitenkaan noudata tarkasti Velanderin kaavaa. Mittauksilla on kuitenkin osoitettu, että kaava antaa likimain oikeita huipputehoja. Velanderin kaavaa ei voida soveltaa pieniin käyttäjäjoukkoihin. (Lakervi ja Partanen 2008, 53.)

3.2 Kuormitusmallit

Kuormitusmalleihin perustuva huipputehon arviointi tarjoaa tarkemman keinon arvioida käyttäjän huipputehoa vuosienergian pohjalta. Tämä on nykyisin käytössä oleva tapa arvioida käyttäjien huipputehoa.

Kuormitusmallit on luotu profiloimalla erilaisten käyttäjien sähkökäytön ajallista ja määrällistä vaihtelua. Tällä tavoin tehtyjen mallien pohjalta voidaan arvioida yksittäisen sähkökäyttäjän jokaisen

tunnin tehon tarve. Profilointia varten samanlaiset sähkökäyttäjät on luokiteltu omiksi kuluttajaryhmikseen. Kunkin ryhmän tyyppikäyttäjille tehtyjen laajojen mittausten pohjalta on saatu määritettyä tuntikohtainen tehon vaihtelu, tuntikeskitehojen hajonta ja lämpötilariippuvuus. Nykyisin käytössä olevat kuormitustiedot perustuvat vuonna 1992 Sähkölaitosyhdistyksen julkaisemaan sähkön käytön kuormitustutkimukseen. Kuvassa 2 on esiteltyä eri sähkökäyttäjärühmien pääpiirteinen jaottelu. (Lakervi ja Partanen 2008, 54.)



Kuva 2. Sähkökäyttäjärühmien pääpiirteinen jaottelu (Lakervi ja Partanen 2008, 55.)

Kuormitusmallien lähtökohdaksi onkin käyttäjien luokittelu sellaisiin ryhmiin, joissa sähkön käyttö voidaan olettaa olevan riittävällä tarkkuudella yhtenäistä. Kerätystä mittausaineistosta jokaiselle käyttäjärühmälle on laskettu vuoden jokaiselle 2-viikkojaksolle keskiteho ja niihin suhteutettu 2-viikkoindeksi. Viikonpäiville on lisäksi laskettu tunti-indeksit jotka kuvaavat kunkin tunnin suhteellista kulutusta verrattuna kuluvan 2-viikkojakson tunnin keskitehoon. Tunti-indeksit ovat jaoteltuna eri vuodenaajoille ja viikonpäivät ovat jaettuna kolmeen eri luokkaan, jotka ovat arki, aatto ja pyhä. (Lakervi ja Partanen 2008, 55.)

Kuormitusmalleja tehtäessä sähkönkäytön lämpötilariippuvuutta on kuvattu lineaarisella laskentamallilla yhtälön 2 mukaisesti.

$$q_{tod}(t) = q_0(t) + \beta * \Delta T(t) \quad (2)$$

Yhtälössä 2 $q_{tod}(t)$ on mitattu sähkön käyttö ajan hetkellä t , $q_0(t)$ on sähkön käyttö normaalissa ulkolämpötilassa ajan hetkellä t , β on sähkönkäytön lämpötilariippuvuutta kuvaava kerroin ja $\Delta T(t)$ on mitatun ja normaalin lämpötilan erotus ajan hetkellä t . Normaalilla lämpötilalla tarkoitetaan laskennallista referenssilämpötilaa. Jollei käytettävissä ole lämpötilariippuvuuden laskentaan tarvittavia tie-

toja, voidaan paljon sähkölämmitystä sisältävään kuormaan soveltaa lämpötilariippuvuutena 4 %/°C. (Lakervi ja Partanen 2008, 56.)

3.3 Tehojen laskenta kuormitusmallien avulla

Indeksisarjojen avulla voidaan minkä tahansa tunnin keskiteho laskea yhtälön 3 avulla.

$$P_{ri} = \frac{E_r}{8760} * \frac{Q_{ri}}{100} * \frac{q_{ri}}{100} \quad (3)$$

Yhtälössä P_{ri} on käyttäjäryhmän r ajankohdan i tuntikeskiteho, E_r on käyttäjäryhmän r vuosienergia, Q_{ri} on käyttäjäryhmän r ajankohtaa i vastaava 2-viikkoindeksi, ja q_{ri} on käyttäjäryhmän r ajankohtaa i vastaava tunti-indeksi. Saatu keskiteho kuvaa suuren käyttäjämäärän mukaista keskitehoa. Yksittäisen käyttäjän kohdalla kulutuksessa esiintyy suurta satunnaisvaihtelua, jolloin keskiteho ei ole hyvä suure arvioitaessa käyttäjän huipputehoa. Huipputehoa tarvitaan etenkin verkoston mitoittamista suunniteltaessa. Huipputehoa arvioitaessa oletetaan, että käyttäjien tehonvaihtelu on normaalijakauman mukaista, jolloin todennäköisyyttä α vastaava huipputeho voidaan arvioida, jos hajonta tunnetaan. Tällöin yhden yksittäisen käyttäjän huipputeho jää yhtälöllä (4) lasketun arvon P_{max} alle todennäköisyydellä α . Yhden käyttäjän huipputeho voidaan arvioida yhtälöllä 4.

$$P_{max} = \bar{P} + z_{\alpha} * \sigma \quad (4)$$

Yhtälössä 4 P_{max} on käyttäjän arvioitu huipputeho, \bar{P} on kuluttajan keskiteho, z_{α} on kerroin, joka vastaa todennäköisyyttä α ja σ on hajonta. Kerroin z_{α} voidaan määrittää normaalijakauman kertymäfunktioista. Usean saman tyyppisen käyttäjän huipputehon arvioimiseen voidaan käyttää yhtälöä 5.

$$P_{max} = n * \bar{P} + z_{\alpha} * \sqrt{n} * \sigma \quad (5)$$

Yhtälön tekijät ovat muuten samat kuin yhtälöllä 4, mutta n on kuluttajien lukumäärä. Hajonta vaikuttaa voimakkaasti pienen käyttäjämäärän huipputehoon, jolloin se on otettava huomioon pienjänniteverkkoa suunniteltaessa. Käyttäjämäärän kasvaessa satunnaisvaihtelusta johtuva hajonnan merkitys pienenee taulukon 2 mukaisesti.

Taulukko 2. Huipputehojen tasoittuminen kuluttajien määrän kasvaessa (Lakervi ja Partanen 2008, 60.)

Kuluttajien lukumäärä	Huipputeho
-----------------------	------------

1	$2,2 * \bar{P}$
2	$3,6 * \bar{P}$
10	$13,6 * \bar{P}$
100	$111,5 * \bar{P}$

Taulukosta 2 nähdään, että yhdellä kuluttajalla huipputeho on yli kaksi kertaa suurempi kuin keskiteho, kun taas 100 käyttäjän yhteinen huipputeho on vain 11,5 % suurempi kuin keskiteho. (Lakervi ja Partanen 2008, 58-60.)

Erityyppisillä sähkökäyttäjillä suurimmat tehontarpeet eivät usein esiinny samoihin aikoihin, jolloin eri kohteiden kokonaiskuormitukset eivät ole yhtä suuret kuin kohteiden huipputehojen summa. Tätä ilmiötä kutsutaan tehojen risteilyksi. Eri ryhmiin kuuluvien kuluttajien huipputeho voidaan laskea kaavalla 5.

$$P_{max} = n_1 * \bar{P}_1 + n_2 * \bar{P}_2 + z_a * \sqrt{n_1 * \sigma_1^2 + n_2 * \sigma_2^2} \quad (5)$$

Huipputehojen tasoittumista tapahtuu käyttäjäryhmien sähkön käytön ajallisista eroavaisuuksista sekä käyttäjämäärän kasvamisesta johtuvasta satunnaisvaihtelun vähenemisestä. Tämä johtaa siihen, että verkossa huipunkäyttöaika kasvaa. (Lakervi ja Partanen 2008, 57-61.)

4 TUTKIMUSAINEISTO

Savon Voima luovutti tutkimuskäyttöön 2799 käyttöpalkan mitatut tuntienenergiat neljän vuoden ajalta väliltä 2013–2016. Aineistossa oli 23 eri kuluttajatyypin luokiteltua käyttäjää. Suurin ryhmä oli omakotitaloasiakkaat, joilla oli suora sähkölämmitys. Tämä käsitti noin yhden kolmasosan kaikista kuluttajista. Liitteessä 1 on lueteltu aineistossa esiintyvät kuluttajatyypit ja kuhunkin ryhmään kuuluvien kuluttajien lukumäärä. Lisäksi ennen opinnäytetyön tekoa Savon Voima Verkolta oli saatu 20 maalämpöpumppukäyttäjän kulutustiedot kahden vuoden ajalta. Näitä kulutustietoja käytettiin opinnäytetyössä.

4.1 Aineiston käsittely

Savon Voimalta saatua aineistoa ei voitu sellaisenaan käyttää, vaan kulutustiedoille täytyi tehdä erilaisia toimenpiteitä ennen kuin niitä pystyttiin hyödyntämään. Ensimmäisenä saaduille kulutustiedoille tehtiin lämpötilakorjaus, jotta eri vuosien tiedot olisivat vertailukelpoisia ja lämpötilasta johtuvat kulutusvaihtelut kaksiviikkojakson sisällä eivät aiheuttaisi virheitä.

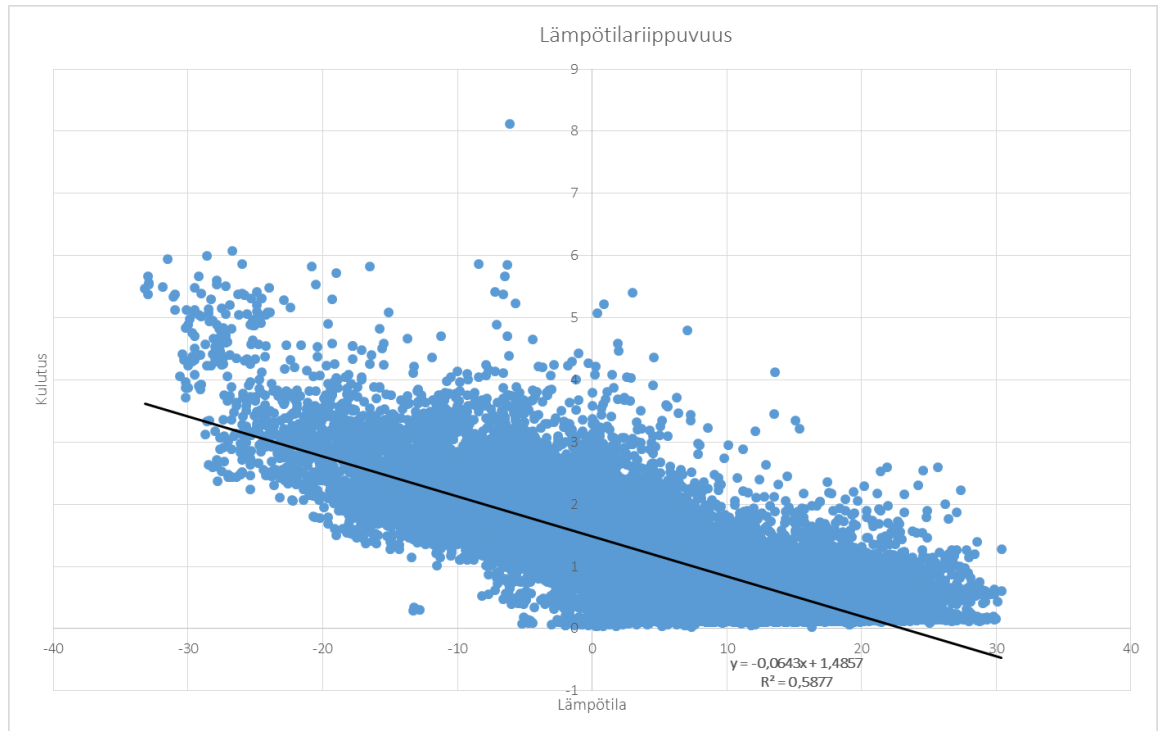
Seuraavaksi samaan kuluttajaryhmään kuuluvien kuluttajien kulutus skaalattiin, siten että kaikkien ryhmän kuluttajien kokonaiskulutus vastaa kuluttajaryhmän keskiarvokulutusta. Kaikki kuluttajat eivät olleet aktiivisia koko mittausjakson aikana, jolloin kuluttajien kulutusta täytyi vielä skaalata sen mukaan, kuinka useana tuntina niillä oli kulutusta mittausjakson aikana. Ilman tätä vain muutamana tuntina sähköä käyttäneet kuluttajat muodostaisivat suuria piikkejä sille kohdalle, missä kulutusta esiintyi.

4.1.1 Lämpötilakorjaus

Suurin osa aineistosta koostui sähkölämmityskuluttajista, joiden kulutus riippuu voimakkaasti ulkolämpötilasta. Ulkolämpötilat voivat vaihdella voimakkaasti, jopa yhden kaksiviikkojakson aikana sekä eri vuosien välillä. Tästä syystä aineistolle täytyy tehdä lämpötilakorjaus, jotta saadut kulutustiedot olisivat käyttökelpoisia.

Kuluttajien lämpötilariippuvuutta selvitettiin regressioanalyysin avulla, missä kulutusta tarkasteltiin lämpötilan funktiona. Näin saatuaan pistejoukkoon asetettiin suora, joka sitä parhaiten kuvaa. Tämän suoran kulmakerroin määrittää sen, kuinka paljon yhden asteen muutos vaikuttaa kulutukseen. Tuloksista tuli kuvan 3 mukaisia kuvaajia, joissa siniset pisteet esittävät kulutusta tietyssä lämpötilassa ja mustalla näkyy pistejoukkoa kuvaava suora. Kuvaajan alalaidassa näkyy suoran yhtälö sekä R^2 termi, joka kuvaa kuinka hyvin suora kuvaa pistejoukkoa. R^2 voi saada arvoja väliltä 0-1. Arvolla 1 muuttujien välillä on täydellinen riippuvuus. Kun termi R^2 on nolla, ei riippuvuutta ole lainkaan.

Tällä menetelmällä käytiin läpi kaikki aineiston kuluttajat ja saatujen tulosten pohjalta arvioitiin, onko kuluttajatyypillä merkittävää lämpötilariippuvuutta kulutuksessa. Kuluttajatyypien aineisto, joilla ei ollut havaittavaa lämpötilariippuvuutta, käytettiin sellaisenaan. Kuluttajat, joilla oli lämpötilariippuvuutta, skaalattiin vastaamaan kuluvan kuukauden keskilämpötilaa. Keskilämpötilana käytettiin Kuopion pitkän ajan keskilämpötilaa.



Kuva 3. Regressioanalyysin avulla saatu kuvaaja erään kuluttajan kulutuksen lämpötilariippuvuudesta.

Kuva 3 nähdään että kulutus kasvaa lähes lineaarisesti lämpötilan laskiessa. Kyseisellä kuluttajalla R^2 termi on 0,58 eli 58 % arvoista voidaan selittää lämpötilan muutoksen avulla, jolloin riippuvuus on selvä. Lämpötilakorjaus tehtiin kaavalla 6.

$$P_0 = P_{tod} - k(T_{tod} - T_0) \quad (6)$$

Kaavassa 6 P_0 on teho kuukauden keskilämpötilassa, P_{tod} on mitattu teho, k on käyttäjäröhmän regressiosuoran kulmakerroin, T_{tod} on mitattu lämpötila, ja T_0 on kuukauden keskilämpötila. Kulmakerroin k on kaikkien siihen kuluttajaryhmään kuuluvien kuluttajien kulmakertoimien keskiarvo. Ne kuluttajat, joilla kulmakerroin poikkesi selvästi muista tai suoran vastaavuus oli jäänyt hyvin pieneksi, jätettiin huomioimatta kulmakertoimen laskennassa. Lämpötilakorjausta laskettaessa mahdolliset negatiiviset tehot poistettiin tuloksista ja niiden tilalla käytettiin mitattua tehoa. Taulukko 3 on esitetty eri kuluttajaryhmien keskimääräisiä kulmakertoimia.

Taulukko 3. Kuluttajaryhmien regressiosuorien kulmakertoimia.

Kuluttajaryhmä	Regressiosuoran kulmakerroin
ok-talot suora sl.	-0,083
ok talot ei sl.	-0,041
ok talot ei sl. ei kiuas	-0,033
ok-talot sl yöaika 21	-0,082
maatalous isot tilat	-0,145
maatalous viljav sl.	-0,064
lämpöpumppukäyttäjät	-0,055

Taulukko 3 havaitaan, että kuluttajilla, joilla ei ole sähkölämmitystä, vaikuttaisi olevan lämpötilariippuvuutta sähkön kulutuksessa. Se on kuitenkin selvästi pienempi kuin sähkölämmitteisillä kuluttajaryhmillä. Tämä voi johtua lisääntyneestä valaistustarpeesta sekä mahdollisista sähköllä toimivista apulämmityksistä talven aikana.

4.1.2 Kulutuksen tasaus

Samaan kuluttajaryhmään kuuluvien käyttäjien kokonaiskulutus voi vaihdella hyvinkin paljon riippuen muun muassa kiinteistön koosta, asukkaiden lukumäärästä ja elintavoista. Jotta eri käyttäjien sähkökulutusta voitaisiin vertailla, skaalattiin sähkön kokonaiskulutus samansuuruisiksi. Jos skaalausta ei tehtäisi, nousisivat suuremmat kuluttajat merkitsevämpään asemaan tehtäessä indeksisarjoja. Samalla tuntien keskihajonnat suurenisivat.

Skaalaus on toteutettu kaavan 7 mukaisesti.

$$E_n = E_{tod} * k_n * t_n \quad (7)$$

Kaavassa 7 E_n on tasattu kuluttajan tuntienenergia, E_{tod} on kuluttajan todellinen lämpötilakorjattu tuntienenergia, k_n on kuluttajan n kokonaisenergian ja kuluttajaryhmän kokonaisenergioiden keskiarvon suhde, t_n on kuluttajan n tuntien lukumäärä, jolloin kulutusta on ollut ja koko mittausjakson kaikkien tuntien lukumäärän suhde. Tällä tavalla laskiessa kuluttajan kulutusprofiili ei muuttua ja kaikista kuluttajista saadaan samanarvoisia. Näin saatuja kulutustietoja voidaan hyödyntää käyttäjäryhmän indeksisarjojen luontiin.

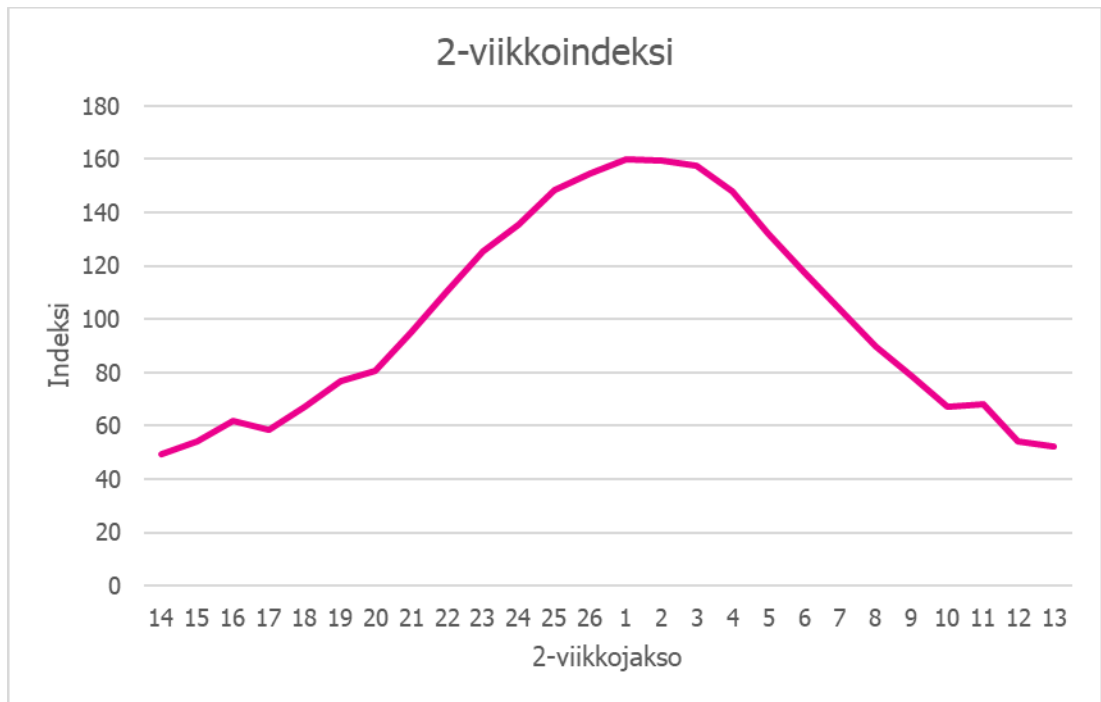
Jokaiselle aineistossa esiintyvälle kuluttajaryhmälle luotiin sen sähkön kulutusta kuvaavat indeksisarjat. Indeksisarjat luotiin Savon Voiman luovuttaman tutkimusaineiston pohjalta. Aineistolle tehtiin lämpötilakorjaus ja kulutuksen tasaus. Tuloksena saatiin indeksisarjat vuoden jokaiselle kaksiviikkokaksolle sekä tunti-indeksit vuoden jokaiselle tunnille. Tunti-indekseistä luotiin erilliset indeksit arki-, aatto- ja pyhäpäiville. Tunti-indeksit eroteltiin erikseen talvi-, kevät-, kesä- ja syyskaksiviikkokaksolle. Talviviikkokaksot ovat 25-4, keväiviikkokaksot ovat 5-10, kesäviikkokaksot ovat 11-18 ja syyskaksiviikkokaksot ovat 19-24. Samalla saatiin myös vuoden jokaista tuntia vastaava keskihajonta.

2-viikkoindeksit laskettiin siten, että mittausjakso jaettiin 2-viikkokaksoihin ja jokaiselle 2-viikkokaksotunnille laskettiin käyttäjien kulutuksen keskiarvo. Nämä keskiarvot laskettiin yhteen koko 2-viikkokaksotunnin ajalta ja sama toistettiin mittausjakson jokaiselle 2-viikkokaksolle. Eri vuosien vastaavista 2-viikkokaksotunnista laskettiin keskiarvot. Nyt saadut 2-viikkoenergiat kerrottiin 2-viikkokaksotunnien lukumäärällä ja jaettiin kaikkien 2-viikkokaksotunnien summaenergialla, jolloin saatiin suhteellinen osuus kuinka paljon kyseisenä 2-viikkokaksotunnina on kulutettu energiaa suhteessa koko vuoden energian kulutukseen eli 2-viikkoindeksi.

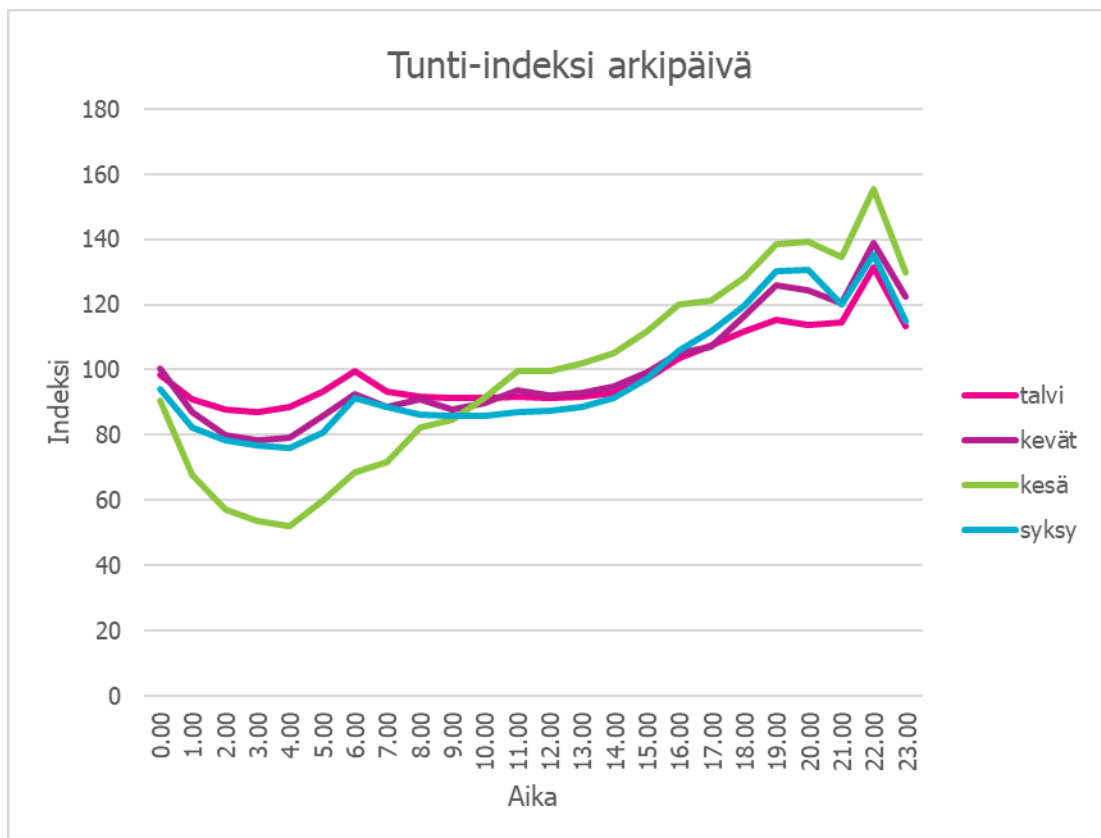
Tunti-indeksi laskettiin siten, että kaikille mittausjakson tunneille laskettiin keskiarvokulutus. Nämä tunnintunnit jaettiin arki, aatto sekä pyhäpäiviin, jotka sitten vielä luokiteltiin 2-viikkokaksotunnittain ja niiden mukaisille vuodenaajoille. Yhden 2-viikkokaksotunnin aikana kaikki arkipäivät, aatot ja pyhäpäivät oletetaan samanlaisiksi. Arkipäiviä ovat maanantai, tiistai, keskiviikko, torstai ja perjantai. Aattopäiviä ovat lauantait ja pyhäpäiviä sunnuntait. Muita yleisiä juhla ja aattopäiviä ei erikseen huomioitu laskuissa. Näistä ryhmistä laskettiin kullekin tunnille keskiarvo, joka jaettiin kyseisen kaksiviikkokaksotunnin energialla, joka jaettiin vielä luvulla 336, mikä on kahden viikon tuntien lukumäärä.

Indeksisarjojen ohella laskettiin vuoden jokaiselle 2-viikkokaksotunnille oma keskihajonta saatujen mittaustietojen pohjalta.

Indekseistä tuli kuvien 4 ja 5 kaltaisia. 2-viikkoindeksistä näkyy selvästi miten talvena kulutus on selvästi suurempaa kuin kesällä. Tuntindeksistä näkyy kulutuksen vaihtelu eri tuntien välillä ja vuodenaikojen vaikutus kulutukseen. Tunti-indeksistä on tulkittavissa asukkaiden päivärytmi ja kulutuskäyttäytyminen. Tuntindeksiä tulkittaessa on huomiotava, että indeksi kuvaa suhteellista kulutusta kunkin vuodenaajan aikana eikä indeksien suuruutta voida vertailla eri vuodenaikojen välillä.



Kuva 4. Kuluttajaryhmän "omakotitalot suora sähkölämmitys" 2-viikkoindeksit.



Kuva 5. Kuluttajaryhmän "omakotitalot suora sähkölämmitys" tunti-indeksit eri vuodenajoille.

6 VERTAILU NORMAALIJAKAUMAAN

Huipputehoa arvioitaessa käytetään oletuksena, että teho jakautuu normaalijakauman mukaisesti, mutta etenkin pienillä käyttäjämäärillä todellinen tehon jakauma voi poiketa huomattavastikin oletetusta normaalijakaumasta. Tämän seurauksena laskennalliset arvot huipputeholle voivat antaa joko liian pieniä tai suuria arvoja riippuen jakauman muodosta. Jos todellinen teho jää liian pieneksi, ei sillä sähköverkon kannalta ole varsinaista haittaa. Tällöin verkosta tehdään vahvempi kuin olisi tarvinnut, mikä aiheuttaa taloudellista tappiota kalliimpien komponenttien takia. Tämä tappio jää kuitenkin useimmiten verrattain pieneksi, jos sitä ei systemaattisesti tehdä kaikissa kohteissa eikä ylimeritys ole suurta. Jos taas teho arvioidaan liian pieneksi voi syntyä tilanne jolloin sähköverkon komponentit eivät kestä huippukuormituksen aikaista kuormitusta, jolloin ne joudutaan vaihtamaan vahvempiin komponentteihin. Komponentin vaihtaminen uuteen on puolestaan taloudellisesti paljon suurempi haitta, joten komponenttien alimitoitusta tulisi etenkin välttää. Näistä syistä huipputehon oikea arviointi on tärkeää suunniteltaessa uutta verkkoa.

6.1 χ^2 -testi

Verratessa todellisen jakauman muotoa normaalijakaumaan käytettiin χ^2 -testiä. Testiä varten käsiteltävistä tehoista lasketaan keskiarvo ja hajonta, joiden avulla voidaan määrittää normaalijakauman mukaiset frekvenssit. Tämän jälkeen valitaan asteikko, jonka mukaan jakaumien frekvenssit lasketaan. Tämän jälkeen normaalijakauman ja todellisen jakauman frekvenssejä verrataan keskenään kaavan 7 mukaisesti.

$$\chi_c^2 = \sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (7)$$

Kaavassa c on vapausaste, O_i on havaittujen arvojen lukumäärä, E_i on odotettujen arvojen lukumäärä. Tästä saatua arvoa voidaan verrata taulukoituihin arvoihin, josta voidaan lukea p -arvo mikä kuvaa millä todennäköisyydellä havaitut arvot ovat odotusarvon mukaisia. Vapausaste c voidaan laskea kaavalla 8. (Heikkilä 2014, 200.)

$$c = n - r - 1 \quad (8)$$

Kaavassa n on luokkien lukumäärä ja r on estimoitujen parametrien lukumäärä.

6.1.1 Testin tulokset

Testin aineistona käytettiin kuluttajaryhmään "omakotitalot suora sähkölämmitys" kuuluvia kuluttajia. Aineistosta poimittiin se tunti, jolloin keskimäärin kaikkien kuluttajien teho oli suurimmillaan. Testi tehtiin aineistolla, jossa kulutustiedot olivat lämpötilakorjattuja. Testi tehtiin erikseen samaan keskiarvoon tasatuilla kuluttajilla ja ilman tasausta. Testissä kulutustiedot ryhmiteltiin yhden kilowatin välein, jolloin saatiin 23 ryhmää ilman tasausta käytetyille kulutustiedoille ja 16 ryhmää tasatuille kulutustiedoille. Testiä varten poimittiin vain ne frekvenssit, joissa oli enemmän kuin yksi arvo ja si-

ten että korkeintaan 20 % odotetuista frekvensseistä sisälsi alle 5 arvoa. Saadut frekvenssit ovat esitettynä taulukossa 4. Näin saatujen ryhmien määräksi tuli ei tasatuille kulutustiedoille 13 ja tasatuille kulutustiedoille 11. Näin ollen testin vapausasteiksi tuli vastaavasti 12 ja 10. Testin tulokseksi saadut p-arvot olivat ei tasatuille kulutustiedoille $1,59 \cdot 10^{-33}$ ja tasatuille kulutustiedoille $9,80 \cdot 10^{-14}$. Yleisesti tämän kaltaisissa testeissä käytetään p-arvona 0,05 tai 0,01 eli 5 % tai 1 % riskitasoa. Jos testitulos alittaa tämän arvon voidaan nollahypoteesi hylätä. Saadut testin tulokset alittavat selvästi halutun riskitason, joten testin perusteella voidaan sanoa, että huipputunnin aikainen teho ei ole normaalijakautunut. (Heikkilä 2014, 200.)

Taulukko 4. χ^2 -testin havaitut ja odotetut frekvenssit tasatuille ja tasaamattomille kulutustiedoille

Väli	Havaitut, tasattu	Odotetut, tasattu	Havaitut, ei tasausta	Odotetut, ei tasausta
0	0	52	0	103
1	120	83	149	82
2	185	152	203	117
3	254	218	186	149
4	230	246	170	169
5	199	219	165	170
6	140	153	128	152
7	65	84	72	121
8	36	36	62	86
9	15	12	35	54
10	7	3	35	30
11	6	1	26	15
12	1	0	9	7
13	1	0	9	3
14	0	0	2	1
15	1	0	1	0
16	0	0	5	0
17			1	0
18			0	0
19			0	0
20			0	0
21			1	0
22			1	0
23			0	0
24			0	0

6.2 Jakauman vinous

Jakauman vinous on toinen tapa, jonka avulla jakauman muotoa voidaan verrata normaalijakaumaan. Jakauman voidaan sanoa olevan vino, jos suuri osa arvoista on pienempiä tai suurempia kuin keskiarvo. Jos arvot ovat keskiarvoa pienempiä, jakauman voidaan sanoa olevan vino oikealle ja vastaavasti, jos arvot ovat suurempia kuin keskiarvo, on jakauma vino vasemmalle. Jakauman häntä pitenee siltä puolelta mille se on vinoutunut. Jakauman vinous voidaan laskea kaavan 9 avulla.

$$g_1 = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum \left(\frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^3 \quad (9)$$

Kaavassa x_i on otos mittausjoukosta, \bar{x} on joukon keskiarvo, s on keskihajonta ja n on otoskoko. Jos vinouden arvoksi tulee suurempi kuin nolla, niin jakauma on oikealle vino. Jos arvosta tulee negatiivinen, on jakauma vasemmalle vino. Normaalijakaumalla vinous on 0. Mitä suurempi vinouden itseisarvo on, sen vinompi jakauma on.

6.2.1 Tuntikulutusjakaumien vinouden tarkastelu

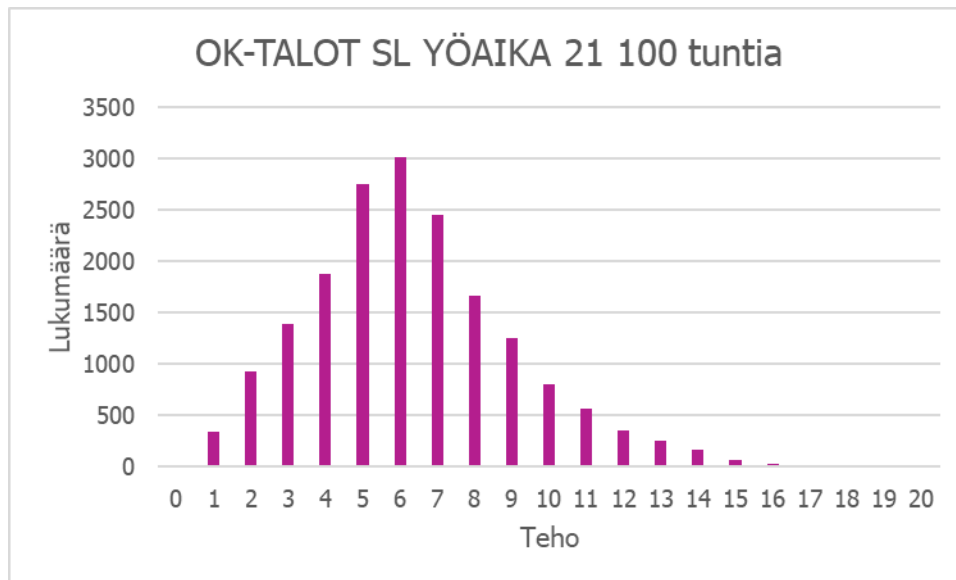
Tuntikulutusaineiston vinoutta tarkasteltaessa aineistoiksi valittiin kuluttajatyypit, joilla käyttäjämäärä oli kyllin suuri, jotta aineistoa olisi riittävän paljon. Kulutuksen vinoutta tarkasteltiin sekä yksittäisistä tunneista että useista eri tunneista kootuista ryhmistä. Näin saatiin varioitua aineiston kokoa, sekä havaittiin mahdolliset muutokset vinoudessa, kun aineistoa on enemmän. Kaikki aineistossa käsiteltävät tunnukset ovat keskiarvoiltaan suuria. Käsiteltävä aineisto oli lämpötilakorjattua ja kulutuksen suhteen tasattua.

Vinoutta tarkasteltiin yhteensä 8 eri ryhmästä, jotka ovat lueteltuna taulukossa 5. Mukaan on otettu Savon Voimalta erillisenä materiaalina saatujen 20 maalämpöpumppukäyttäjien kulutustiedot noin kahden vuoden ajalta. Kaikista aineistoista on havaittavissa, että tehojen jakauma on selvästi vino oikealle. Samalla voidaan havaita, että kun 100 suurinta tuntia käsitellään yhtenä aineistona kasvaa aineiston vinous verrattuna siihen mitä yksittäisen tunnin vinous on keskimäärin ollut. Tulosten perusteella käyttäjillä, joilla ei ole sähkölämmitystä vinous olisi suurempi kuin sähkölämmitteisillä käyttäjillä. Sähkölämmityksettömien käyttäjien ryhmässä oli kuitenkin muutamia sellaisia kuluttajia, jotka selvästi poikkesivat suurimmasta osasta kuluttajista. Nämä kuluttajat tuottivat selvästi suurempia tehoja kuin muut käyttäjät näin vääristäen jakauman vinoutta. Tämän havainnon pohjalta voidaan olettaa, että kyseiset käyttäjäryhmät sisältävät kyseiseen ryhmään kuulumattomia käyttäjiä vääristäen tuloksia. Esimerkiksi kun ok talot sl. os.var. ryhmästä poistettiin häiriöitä aiheuttava kuluttaja, muuttui jakauman vinous negatiiviseksi, jolloin 100 suurimman yksittäisen tunnin keskiarvoksi tuli -0,40 ja yhteiseksi vinoudeksi saatiin -0,26. Tämä kyseinen ryhmä on käyttäjämäärältään melko pieni, jolloin yksittäinen käyttäjä näkyy voimakkaasti, mutta havaintojen pohjalta voidaan sanoa, että väärän käyttäjän kuuluminen ryhmään voi vaikuttaa merkittävästi saatuihin vinouden arvoihin. Vinouden suhteen kuluttajaryhmä ok-talot sl yöaika 21 poikkeaa muista vinouden pienuudellaan. Ky-

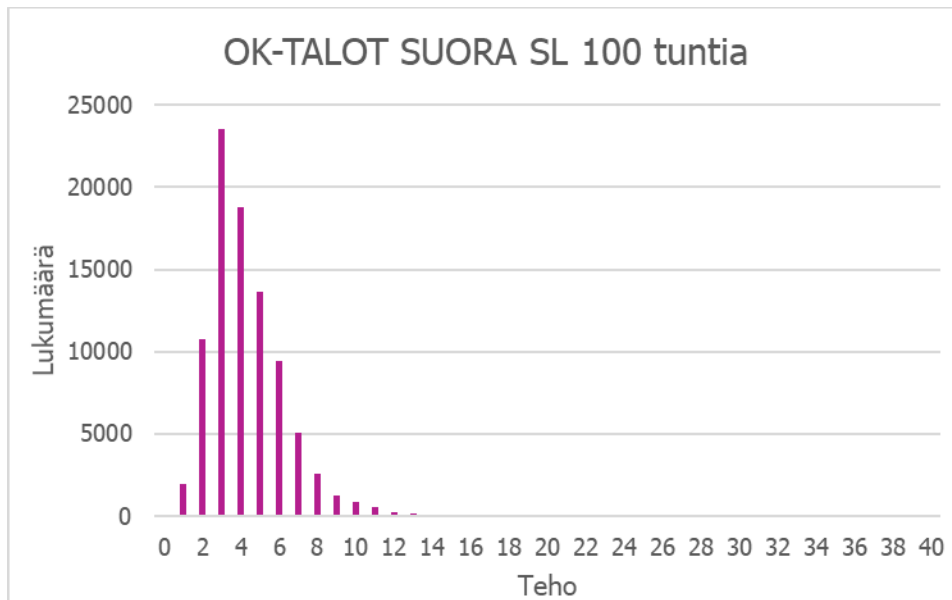
seisellä käyttäjäryhmällä vinous on selvästi pienempi kuin muilla ja tehojen histogrammikin on muoltaan huomattavasti normaalijakauman muotoinen. Kuvissa 6-8 on eri kuluttajien tehojen histogrammeja vinouden vaikutuksen havainnollistamiseksi. Kuvassa 6 vinouden arvo 0,65, kuvassa 7 vinouden arvo on 1,45 ja kuvassa 8 se on 3,29.

Taulukko 5 Käyttäjäryhmien vinouden tunnuslukuja

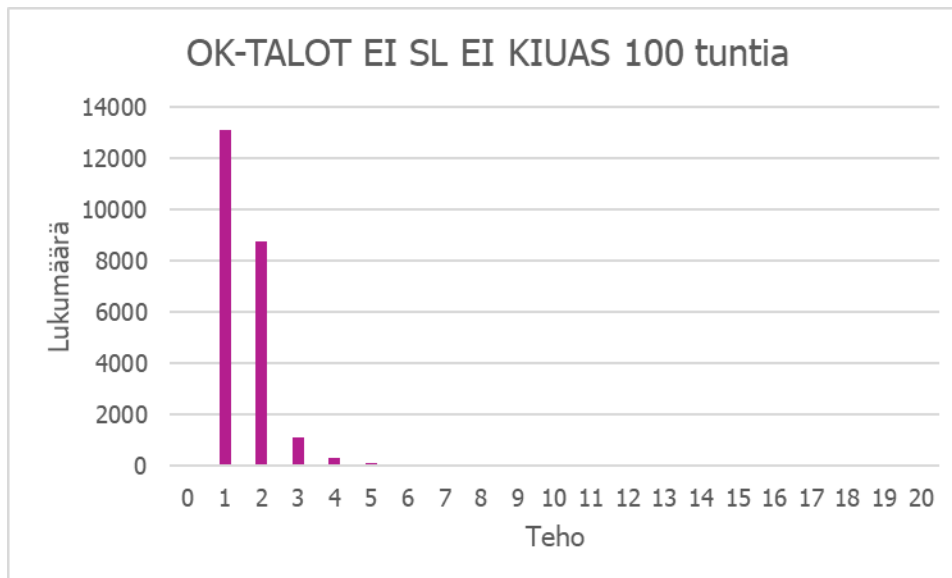
Käyttäjäryhmä	Sadan suurimman yksittäisen tunnin vinouden vaihteluväli	Sadan suurimman tunnin vinous	Sadan suurimman yksittäisen tunnin vinouden keskiarvo	Käyttäjien lukumäärä
ok-talot suora sl.	0,67-2,32	1,45	1,44	1273
ok-talot ei sl.	0,93-5,26	2,35	2,13	180
ok-talot ei sl. ei kiuas	0,60-7,66	3,29	2,74	303
ok-talot sl. os.var.	-0,71-4,22	2,34	1,46	25
ok-talot sl yöaika 21	0,21-1,58	0,65	0,64	182
maatalous isot tilat	0,25-2,76	1,84	1,70	63
maatalous viljav sl.	0,41-3,18	1,79	1,64	96
lämpöpumppukäyttäjät	-0,08-3,58	1,74	1,59	20



Kuva 6. Kuluttajaryhmän ok-talot sl yöaika 21 sadan kulutukseltaan suurimman tunnin histogrammi.



Kuva 7. Kuluttajaryhmän ok-talot sl yöaika 21 sadan kulutukseltaan suurimman tunnin histogrammi.



Kuva 8. Kuluttajaryhmän ok-talot sl yöaika 21 sadan kulutukseltaan suurimman tunnin histogrammi.

7 VINOUDEN VAIKUTUS HUIPPUTEHON LASKENNASSA

Nykyisin käytössä olevat laskentatavat olettavat huipputehon normaalijakautuneeksi, mutta tämän opinnäytetyön tulosten perusteella vaikuttaa, siltä että huipputehon jakauma on selvästi vino oikealle saadussa aineistossa. Kun tällaisilla jakaumilla tehdään laskentaa normaalijakauman olettamuksella, tulokseksi saadaan pienempiä huipputehoja, kuin todelliset huipputehot. Vinouden suuruudesta ei voida kuitenkaan pelkästään sanoa, kuinka paljon virhettä huipputehon laskennassa muodostuu käytettäessä normaalijakauman olettamusta. Havaintojen perusteella vinouden suuruuden ja ylitysten lukumäärän välillä ei ollut selvästi nähtävää korrelaatiota. Yksittäisten tuntien tarkastelu antoi hyvin samankaltaisia tuloksia kuin 100 suurimman tunnin tulokset.

Taulukossa 6 on laskettuna sadan kulutukseltaan suurimman tunnin huipputehot 97 % varmuudella käyttäen normaalijakauma oletusta ja aineistosta etsittyä 97 % fraktiilia. Näitä tuloksia on vertailtu keskenään ja niiden pohjalta on laskettu korjattu varmuuskerroin millä arvolla saataisiin laskettua todellinen 97 % fraktiili käyttäen normaalijakaumaan perustuvaa laskentatapaa. Normaalijakaumaan perustuva huipputehon laskentaan on käytetty kaavaa 4 ja varmuuskertoimenä on ollut 1,9.

Taulukko 6. Käyttäjryhmien vinouden vaikutus huipputehon arviointiin

Käyttäjryhmä	Vinous	Todellinen 97% huipputeho [kW]	Laskennallinen 97% huipputeho [kW]	Ylitysten määrä [%]	Korjattu varmuuskerroin
ok-talot suora sl.	1,45	9,29	7,59	4,5	2,75
ok-talot ei sl.	2,35	4,67	3,93	5,2	2,52
ok-talot ei sl. ei kiuas	3,29	2,75	2,50	3,9	2,22
ok-talot sl. os.var.	2,34	19,6	22,4	2,4	1,47
ok-talot sl yöaika 21	0,65	12,0	11,1	4,8	2,23
maatalous isot tilat	1,84	18,4	15,6	5,1	2,61
maatalous viljav sl.	1,79	7,69	6,51	5,2	2,56
lämpöpumppukäyttäjät	1,74	8,65	7,27	6,7	2,58

Tuloksista nähdään, että kaikilla muilla käyttäjryhmillä saadaan liian pieni huipputeho käytettäessä normaalijakauma oletusta paitsi ok-talot os.var. Tämä johtuu siitä, että vinouden positiivinen arvo johtuu yhden käyttäjän aiheuttamista huipputehoista. Ilman kyseistä käyttäjää saa vinous negatiivisen arvon, jonka perusteella huipputeho tulisikin arvioida liian suureksi.

Tulosten perusteella kyseisellä aineistolla verkostolaskentaa tehtäessä 3 % ylitystodennäköisyydellä nykyistä laskentatapaa käyttäen, saadaan todellisuudessa noin 5 % ylitystodennäköisyyden huipputehon arvo. Tuloksista havaitaan myös, että eri käyttäjryhmien vinouden suuruus ei kuvaa sitä

kuinka paljon todellisuudessa ylityksiä on tapahtunut, vaan eri käyttäjäryhmien ylitysten määrä on melko lähellä toisiaan.

Taulukossa 7 on vielä esiteltynä aineiston pohjalta lasketut todelliset varmuuskertoimet kuluttajaryhmittäin 5 %, 3 % ja 1 % ylitystodennäköisyyksille. Normaalijakauman mukaiset ylityskertoimet vastaaville todennäköisyyksille ovat 1,65, 1,9 ja 2,32. Taulukosta nähdään, että useimmilla kuluttajaryhmillä todellinen varmuuskerroin on selvästi suurempi kuin normaalijakaumaan perustuva kerroin. Tuloksista käy myös ilmi, miten laskettaessa normaalijakauman 3 % varmuuskertoimella päästään useimman ryhmän kohdalla noin 5 % varmuuteen ja laskettaessa normaalijakauman 1 % varmuuskertoimella saavutetaan noin 3 % varmuus.

Taulukko 7. Todelliset varmuuskertoimet kuluttajaryhmittäin eri ylitystodennäköisyyksille.

kuluttajaryhmä	5 %	3 %	1 %
ok-talot suora sl.	2,06	2,75	3,86
ok-talot ei sl.	1,95	2,52	3,85
ok-talot ei sl. ei kiuas	1,6	2,22	3,79
ok-talot sl. os.var.	1,54	1,69	2,11
ok-talot sl yöaika 21	1,86	2,23	2,77
maatalous isot tilat	1,92	2,61	3,91
maatalous viljav sl.	1,95	2,56	3,83
lämpöpumppukäyttäjät	2,17	2,58	3,41

8 MUUNTOPIIRIEN VERTAILUA

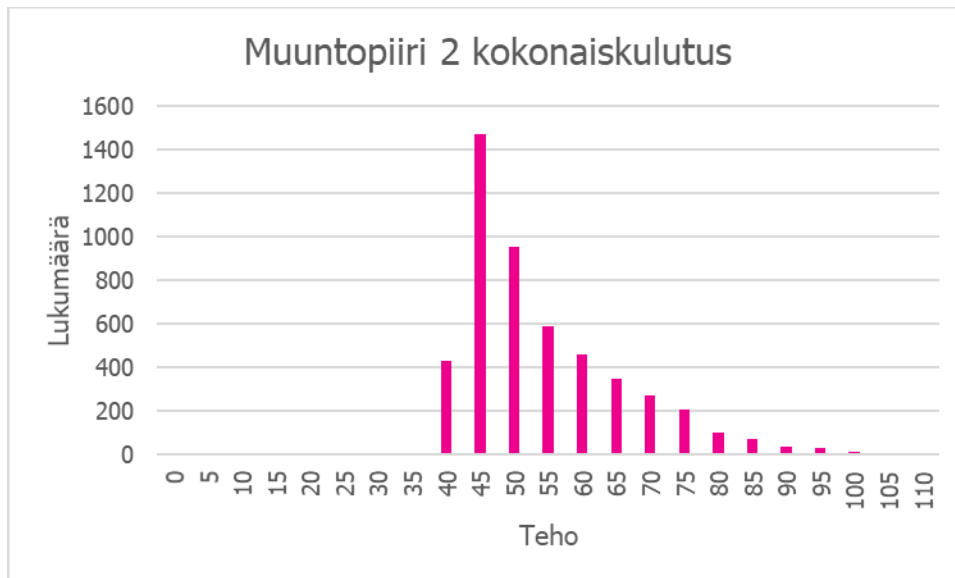
Tässä työssä tarkasteltiin huipputehon käyttäytymistä muuntopiiritasolla kahdella eri muuntopiirillä. Muuntopiirit valittiin sattumanvaraisesti siten, että pyrittiin löytämään muuntopiirit, joissa kuluttajat olisivat pääasiassa samaa kuluttajaryhmää. Muuntopiirissä 1 oli neljään eri käyttäjäryhmään kuuluvaa kuluttajaa, joita oli yhteensä 11. Kuluttajista kolme kuului ryhmään "ok-talot sl. yöaika 21", kuusi kuului ryhmään "ok-talot suora sl.", yksi kuului ryhmään "ok-talot ei sl. ei kiuas" ja yksi kuului ryhmään "opetus ja koulutus". Muuntopiirissa 2 on kolmeen eri käyttäjäryhmään kuuluvaa kuluttajaa, joita oli yhteensä 13. Kuluttajista kolme kuuluu ryhmään "ok-talot sl. yöaika 21", yhdeksän kuuluu ryhmään "ok-talot suora sl." ja yksi kuuluu ryhmään "ok-talot sl. os.var.". Muuntopiireistä tarkasteltiin kaikkien kuluttajien kokonaiskulutuksen, sekä yksittäisten käyttäjien kulutuksen vinoutta.

Muuntopiirien kokonaiskulutuksen vinoutta tarkasteltaessa näiden kahden muuntopiirin osalta on havaittavissa, että kokonaiskulutuksen jakauma on vino oikealle. Käsiteltäväksi aineiston kooksi valittiin kulutukseltaan 5000 suurinta tuntia koko muuntopiirin kulutustiedoista. Aineistolle ei tehty mitään skaalauksia vaan kulutustiedot käytettiin sellaisenaan. Muuntopiirin 1 vinous oli 1,22 ja muuntopiirin 2 vinous oli 1,29. Muuntopiirien kokonaiskulutuksille tehtiin samanlainen analyysi, kun yksittäisten kuluttajien kohdalla kuluttajaryhmittäin. Tulokset ovat esiteltynä taulukossa 8.

Taulukko 8. Muuntopiirien kokonaiskulutuksen vinouden vaikutus huipputehon arviointiin.

Käyttäjryhmä	Vinous	Todellinen 97% huippu- teho [kW]	Laskennallinen 97% huippu- teho [kW]	Ylitysten määrä [%]	Todellinen varmuuskerroin
Muuntopiiri 1	1,22	84,9	81,1	5,4	2,48
Muuntopiiri 2	1,29	81,1	74,7	5,6	2,43

Saadut tulokset ovat hyvin samankaltaisia, kuin yksittäisten käyttäjien kohdalla aikaisemmin. Näiden kahden muuntopiirin kohdalla näyttäisi, että kaikkien kuluttajien kokonaisteho olisi myös vinoutunut oikealle ja laskettaessa 3 % ylitystodennäköisyydellä todellisuudessa ylitystodennäköisyys olisi reilu 5 %.



Kuva 9. Muuntopiirin 2 kokonaiskulutuksen histogrammi 5000 kulutukseltaan suurimman tunnin tiedoista.

Tutkittavista muuntopiireistä Savon Voima Verkko suoritti myös laskennan käytössään olevalla verkostolaskentaohjelmalla käyttäen pelkkiä kuormituskäyriä laskennassa sekä laskennan, joka käyttää tuntimittaustietoja. Laskennasta saatuja huipputehoja verrattiin keskenään ja sitä kuinka hyvän arvioidon laskenta antoi verrattuna toteutuneeseen huipputehoon. Saadut tulokset ovat esitettynä taulukoissa 9 ja 10.

Taulukko 9. Muuntopiirin 1 verkostolaskennan tulokset.

Kuluttaja (käyttäjäryhmä)	Käyrillä laskettu huipputeho	Ylitysten määrä käyrillä		Tuntitiedoilla laskettu huipputeho	Ylitysten määrä tuntitiedoilla	Todellinen huipputeho [kW]
Kuluttaja 1 (oktalot ei sl ei kiuas)	4	11		4	11	5,35
Kuluttaja 2 (oktalot sl yöaika 21)	9	20		9	20	10,47
Kuluttaja 3 (oktalot suora sl)	9	3		8	12	9,59
Kuluttaja 4 (oktalot suora sl)	7	226		10	13	11,87
Kuluttaja 5 (oktalot sl yöaika 21)	7	2		5	131	7,29
Kuluttaja 6 (oktalot suora sl)	24	0		17	2	17,47
Kuluttaja 7 (oktalot suora sl)	11	0		9	0	8,65
Kuluttaja 8 (oktalot suora sl)	12	4		12	4	12,47
Kuluttaja 9 (opetus ja koulutus)	102	0		94	0	61,74
Kuluttaja 10 (oktalot sl yöaika 21)	8	29		8	29	10,06
Kuluttaja 11 (oktalot suora sl)	11	0		11	0	10,64

Taulukko 10. Muuntopiirin 2 verkostolaskennan tulokset

Kuluttaja (käyttäjäryhmä)	Käyrillä laskettu huipputeho	Ylitysten määrä käyrillä	Tuntitiedoilla laskettu huipputeho	Ylitysten määrä tuntitiedoilla	Todellinen huipputeho [kW]
Kuluttaja 1 (ok-talot suora sl)	8	773	14	0	13,69
Kuluttaja 2 (ok-talot suora sl)	10	134	13	1	13,04
Kuluttaja 3 (ok-talot suora sl)	11	51	14	6	15,48
Kuluttaja 4 (ok-talot sl os.var)	15	160	17	9	17,39
Kuluttaja 5 (ok-talot suora sl)	13	22	16	0	15,52
Kuluttaja 6 (ok-talot suora sl)	11	0	12	0	10,57
Kuluttaja 7 (ok-talot suora sl)	14	0	12	1	12,09
Kuluttaja 8 (ok-talot suora sl)	13	0	13	0	12,28
Kuluttaja 9 (ok-talot sl yöaika 21)	7	40	8	9	10,63
Kuluttaja 10 (ok-talot suora sl)	9	6	10	1	10,22
Kuluttaja 11 (ok-talot sl yöaika 21)	12	0	11	2	11,61
Kuluttaja 12 (ok-talot sl yöaika 21)	6	122	8	23	10,63
Kuluttaja 13 (ok-talot suora sl)	8	239	15	2	17,11

Muuntopiirin 1 laskentatuloksissa eri laskentatavoilla ei ole merkittävää eroa. Muutamalla kuluttajalla laskenta tuntitiedoilla antoi tarkemman huipputehon arvion kuin käyrillä laskettaessa ja vastaavasti muutaman kuluttajan kohdalla arvio huononi. Muuntopiiri 2 kohdalla on toisaalta selvä ero eri laskentatapojen välillä. Tuntitiedoilla laskettaessa tulos parani kaikkien kuluttajien kohdalla. Käyrillä laskettaessa viidellä kuluttajalla oli 100 ylitystä, kun taas tuntitiedoilla suurin ylitysten määrä oli 23. Kaksi muuntopiiriä on määrällisesti vielä hyvin vähän ja muuntopiirien tuloksissa on selvä ero. Näyttäisi kuitenkin, että tuntitiedoilla laskenta antaisi tarkempia tuloksia kuin käyrillä laskettaessa.

Uutta sähköverkkoa suunniteltaessa eteen tulee useita haasteita, jotka pitäisi osata ottaa huomioon verkon suunnittelussa. Uuden sähköverkon toiminta-aika tulisi olla vähintään 40 vuotta, jonka ajan sen pitäisi pystyä toimittamaan kuluttajille luotettavasti sähköä. Tänä aikana voi kuluttajien kulutuskäyttäytymisessä tapahtua suuriakin muutoksia joihin sähköverkon pitäisi kyetä vastaamaan. Tällainen muutos on esimerkiksi uuden kuluttajatyypin syntyminen, jonka kuormituskäyttäytyminen poikkeaa aikaisemmista kuluttajista. Esimerkkinä tämän kaltaisesta tilanteesta on viimevuosien aikana yleistyneet erilaiset lämpöpumppukuluttajat, joiden kulutusikäyttäytyminen poikkeaa aikaisemmista kuluttajaryhmistä. Myös sähköhinnoittelun muutokset, kuten tehotariffin yleistyminen pienkuluttajien sähkön hinnoittelun osaksi, voivat ohjata kuluttajia pyrkimään pienentämään omaa huipputehoa. Myös kotitalouksien varustelutason nousu ja suuritehoisten sähkölaitteiden yleistyminen kotitalouksissa luo haasteita sähköverkon suunnitteluun ja keston. Erityisesti sähköautojen yleistymisen myötä syntyy uudenlaista painetta sähköverkon suuntaan.

9.1 Virheelliset käyttäjät käyttäjäryhmässä

Verkostolaskennassa nykyisin suurena ongelmana on käyttäjän oikeaan kuluttajaryhmään luokittelu. Kaikille nykyisille käyttäjille ei ole olemassa ajantasaisia indeksisarjoja. Kuluttajat voivat myös erilaisilla lämmitysteknisillä muutoksilla muuttaa omaa ryhmäänsä toiseksi. Tällaisista muutoksista verkkoyhtiöille ei tule mitään tietoa, jolloin käyttäjä jää väärään ryhmään. Verkkoyhtiö ei myöskään aina tiedä uutta verkkoa rakentaessa minkälaisia käyttäjiä verkon alueelle tulee, jolloin verkon suunnittelukin on hyvin hankalaa. Olisikin verkkoyhtiöiden kannalta hyvä, jos kuluttajan tekemistä muutoksista, jotka vaikuttavat kuluttajan ryhmittelyyn, tulisi tieto verkkoyhtiölle, sekä verkon rakennusvaiheessa tiedettäisiin mahdollisimman tarkasti, mitä alueelle rakennetaan. Kuluttajien velvoittaminen tällaisten muutostöiden teosta verkkoyhtiölle, voisi olla yksi keino. Kuluttajan ryhmän muutosta voitaisiin myös seurata vertaamalla kuluttajan kulutuskäyrää käyttäjäryhmän referenssikäyrään, jonka perusteella mahdolliset muutokset voisi olla havaittavissa. Kulutuksessa tapahtuu kuitenkin suurta satunnaisvaihtelua ja eri vuodet voivat olla hyvinkin erilaisia. Tämän kaltainen tapa olisikin verrattain hidas keino havaita ryhmän muutos, kun kulutustietoja tarvittaisiin pitkältä ajalta, että muutos saataisiin varmistettua. Tämä vaatisi myös ylimääräistä työtä verkkoyhtiön puolelta.

9.2 Vuosienergian käyttö huipputehon arvioinnissa

Nykyisin käytössä olevat huipputehon laskentatavat perustuvat kuluttajan vuosienergian tuntemiseen tai arviointiin, minkä pohjalta huipputehon laskenta suoritetaan. Nykyiset energiatehokkaat lämmitysratkaisut ja sähkön pientuotanto kotitalouksissa pienentävät vuosienergiaa, mutta eivät välttämättä laske ollenkaan kuluttajan huipputehoa. Tällaisia esimerkkejä ovat ilmalämpöpumppu, joka ei talvipakkasilla juurikaan pysty tuottamaan lämpöä ja aurinkopaneelit, jotka eivät talvella tuota sähköä Suomessa. Näin ollen vuosienergian ja huipputehon välinen korrelaatio voi pienetä merkittävästikin tulevaisuudessa, jolloin siihen perustuva huipputehon arviointi saattaa hankaloitua.

10 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, ovatko kuluttajien huipputehon jakauma vinoutunut ja kuinka mahdollinen vinous vaikuttaa sähkönjakelun suunnittelulaskentaan. Työssä esitellään nykyisin käytössä olevat sähköverkon laskentaperiaatteet ja menetelmät.

Savon Voima Verkko Oy:ltä saadun laajan aineiston pohjalta luotiin käyttäjäryhmittäin indeksisarjat. Työtä varten kuluttajien kulutustiedot skaalattiin käyttäjäryhmittäin samaan vuosienergiaan. Eri vuosien kulutustiedoille tehtiin vielä lämpötilakorjaus, jotta eri vuodet olisivat vertailukelpoisia.

Työssä pääpainona oli yksittäisten kuluttajien huipputehon tarkastelu, mutta tarkasteluun otettiin lisäksi myös kaksi muuntopiiriä. Huipputehon poikkeavuutta normaalijakaumasta tutkittiin χ^2 -testin avulla. Huipputehon vinoutta tarkasteltiin myös sitä kuvaavan vinouden tunnusluvun avulla ja aineistosta etsittiin haluttuja fraktiileja, joita verrattiin normaalijakauman mukaisiin fraktiileihin.

Työn aikana saatujen tulosten pohjalta vaikuttaisi siltä, että kuluttajien huipputeho on selvästi vinoutunut oikealle yksittäisen kuluttajan tapauksessa, sekä muuntopiiritasolla. Vinouden vaikutuksesta arvioitu huipputeho ylitetään selvästi useammin kuin on arvioitu, mikä lisää verkostolaskennan epävarmuustekijöitä. Tällä kyseisellä aineistolla verkostolaskentaa tehtäessä 3 % ylitystodennäköisyydellä käyttäen normaalijakaumaan pohjautuvaa laskentamallia saadaan tulokseksi noin 5 % ylitystodennäköisyyttä vastaava huipputeho.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

HEIKKILÄ, Tarja 2014. Tilastollinen tutkimus. Porvoo: Edita.

LAKERVI, Erkki ja PARTANEN, Jarmo 2008. Sähkönjakelutekniikka. Helsinki: Gaudeamus.

SAVON VOIMA VERKKO OY. Sähkön Siirto. [Viitattu 2017-06-12]. Saatavissa:
<https://www.savonvoima.fi/sahkon-siirto/>

VALTIONEUVOSTON ASETUS SÄHKÖNTOIMITUSTEN SELVITYKSESTÄ JA MITTAUKSESTA.
L2009/66. Finlex. Lainsäädäntö. [Viitattu 2017-05-15]. Saatavissa:
<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20090066>

LIITE 1: AINEISTON KULUTTAJARYHMÄT JA KULUTTAJIEN MÄÄRÄ

kulutustyyppi	lukumäärä
1 OK-TALOT SL YÖAIKA 21	182
2 OK-TALOT SUORA SL	1272
3 OK-TALOT SL YÖSÄHKÖ 22	4
4 OK-TALOT SL OS.VAR	25
5 OK-TALOT EI SL EI KIUAS	303
6 OK-TALOT EI SL	180
8 KT ASUNNOT MUKANA	2
9 RT KIINT. HUONEK. SL	1
10 VAPAA-AJAN ASUNNOT	527
12 RT/KT AS. EI SL EI KIUAS	4
15 MAATALOUS VILJAV. SL	96
21 MAATALOUS KASVIHUONEET	1
24 YHDYSKUNTAHUOLTO VESIHUOLTO	40
32 1-VUOROTEOLL. (METALLI)	10
35 TAVARATALOT JA MARKETIT	4
37 AUTOKAUPPA JA HUOLTO	4
38 HOTELLI JA MAJOITUS	1
40 PANKKI JA VAKUUTUS	9
41 VIRKISTYS JA KULTTUURI	4
42 YLEIS JA MUU HALLINTO	44
43 OPETUS JA KOULUTUS	3
47 TIEVALAISTUS	19
50 PALVELU JULKINEN	1
71 MAATALOUS. ISOT TILAT	63