



Teollisuusverkon kuormitustason selvitys

Eetu Leppänen

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2021

Sähkö- ja automaatiotekniikka
Sähkövoimatekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Sähkövoimatekniikka

LEPPÄNEN, EETU:
Teollisuusverkon kuormitustason selvitys

Opinnäytetyö 67 sivua, joista liitteitä 25 sivua
Toukokuu 2021

Opinnäytetyössä tehtiin selvitys teollisuusverkon tilasta. Työn toimeksiantajalla oli tarve saada mahdollisimman laajasti tietoa prosessiteollisuuslaitoksen sähköverkon tilasta. Työn ensisijaisena tarkoituksena oli selvittää ajankohtainen kuormitustaso ja laskea tuloksista mahdollinen kuormitusvara. Toissijaisena tehtävänä oli selvittää loistehon kompensoinnin riittävyys sekä tarkastella yliaaltojen määrää.

Kuormitustasoa tutkittiin huippupätötehon arvioinnin kaavoja käyttämällä sekä suorittamalla kohteessa mittauksia verkkoanalysointilaitteilla. Huippupätötehon sekä loistehon kompensoinnin tarkastelussa hyödynnettiin myös Tampereen sähköverkolta saatuja mittaustietoja. Yliaaltoja tarkasteltiin mitatuista tuloksista ja niitä verrattiin SFS-EN 50160:ssa asetettuihin vaatimuksiin.

Teollisuusverkolle saatiin laskettua kuormitusvarat, joiden perusteella on mahdollista tehdä suunnitelmia tulevaisuuden varalle. Laskennallisissa sekä mitatuissa tuloksissa ei ollut merkittäviä eroja. Loistehon kompensoinnin huomattiin olevan riittämätön. Yliaaltojen määrä oli vielä vaadituissa rajoissa.

Jatkotoimenpiteinä suositellaan muutamien ryhmäkeskuksien mahdollista uusimista sekä kapasiteetin nostoa. Loistehon kompensointilaitteisto tulisi korvata uudella laitteistolla, jonka yhteydessä tulisi harkita myös yliaaltojen suodatusta.

ABSTRACT

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

LEPPÄNEN, EETU

Investigation of the load level of an industrial network

Bachelor's thesis 67 pages, appendices 25 pages
May 2021

This thesis is a report on the condition of an industrial network. The client of this work needed extensive information about the condition of the electrical power network of a process industrial facility. The main focus of the work was on finding the current load level and on estimating the maximum load capacity based on the results. A secondary goal was to investigate the sufficiency of the compensation of the reactive power as well as to examine the amount of harmonics.

The load level was examined by using schemas of peak active power and by running measurements on the spot using a networks analyser. For the examination of the peak active power as well as the compensation of the reactive power, measurement data received by the electrical power network of the city of Tampere were used. The harmonics were observed with the help of the results from the measurements, which were compared to the requirements imposed by the SFS-EN 50160.

The load capacity of the industrial network was also calculated. Based on these results it is possible to make plans for the future. No significant differences were found between the calculated and measured results. The compensation of the reactive power was found to be insufficient and the amount of the harmonics was within the required limits.

A possible renewal of some of the distribution boards as well as raising of the capacity are suggested as follow-up. The compensation equipment of the reactive power should be replaced with a new hardware and filtration of the harmonics should also be considered.

Key words: loading level, compensation of the reactive power, harmonics

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	SÄHKÖNJAKELU JA KUORMITUKSET	8
	2.1 Muuntamon rakenne	8
	2.2 Pienjännitejakelun rakenne	9
	2.3 Kuormat	10
3	KUORMITUKSIEN SELVITYS	11
	3.1 Pätötehon laskenta	11
	3.2 Loistehon ja yliaaltojen laskenta.....	12
	3.3 Mittaukset ja keskusten kuormitukset.....	14
	3.4 Tuloksien käsittely.....	25
	3.5 Tuloksien yhteenveto	25
4	LOISTEHO.....	27
	4.1 Vaatimukset	27
	4.2 Loistehon määrä	28
	4.3 Tehokerroin.....	29
5	YLIAALLOT.....	30
	5.1 Vaatimukset	30
	5.2 Yliaaltojen määrä	30
6	PARANNUSEHDOTUKSET	32
	6.1 Uusi tuotantolinja ja keskuksen A1 uusinta	32
	6.2 Kaapelin mitoitus.....	33
	6.3 Syötön automaattinen poiskytkentä	34
	6.4 Keskuksen oikosulkukestoisuus.....	37
	6.5 Kompensoinnin uusinta	39
7	POHDINTA	40
	LÄHTEET.....	41
	LIITTEET	42
	Liite 1. Nousujohtokaavio.....	42
	Liite 2. Moottorinvalintataulukko.....	43
	Liite 3. RK5 kuormat	44
	Liite 4. RK7 ja B1 kuormat	45
	Liite 5. RK15 kuormat	46
	Liite 6. RK22 ja RK97 kuormat.....	47
	Liite 7. RK94 kuormat	48
	Liite 8. A1 ja 1-A1 kuormat.....	49
	Liite 9. C1 kuormat.....	51

Liite 10. Yliaallot..... 53

LYHENTEET JA TERMIT

c	Jännitteen kerroin
I	Päävirta, A
I_{dyn}	Dynaaminen oikosulkuvirta, A
I_p	Prospektiivinen oikosulkuvirta, A
I_{th}	Terminen oikosulkuvirta, A
I_v	Vaihevirta, A
I_z	Johtimen pienin sallittu kuormitettavuus, A
I_{zk}	Johtimen korjattu kuormitettavuus, A
k	tasauskerroin
k_r	ryhmäkohtainen tasauskerroin
P	Pätöteho, W
P_h	Huippupätöteho, W
Q	Loisteho, VAr
Q_{verkko}	Verkosta otettu loisteho, VAr
R_j	Johtimen oikosulkuresistanssi, Ω
S	Näennäisteho, VA
THD_i	Virran särökerroin
THD_u	Jännitteen särökerroin
U	Pääjännite, V
U_v	Vaihejännite, V
X_d	Verkon oikosulkureaktanssi, Ω
X_j	Johtimen oikosulkureaktanssi, Ω
X_m	Muuntajan oikosulkureaktanssi, Ω
Z	Impedanssi, Ω
z_k	Suhteellinen oikosulkuimpedanssi
HTP	Määrittelemätön tuotantolinja
PK	Pääkeskus
RK	Ryhmäkeskus
TKS	Tampereen kaupungin sähkölaitos
TSV	Tampereen sähköverkko

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tuottaa selvitys käytössä olevan sähkötehon tasosta prosessiteollisuuslaitoksessa ja tehdä parannusehdotuksia sähkölaitteistoon toimeksiantajan tarpeiden mukaan. Työssä otetaan kantaa myös käytössä olevan loistehon kompensoinnin riittävyteen sekä selvitetään yliaaltojen määrä teollisuusverkossa.

Työn toimeksiantajalla on ollut suunnitelmissa lisätä tuotantoa, mutta tehtaan kuormituksen tasosta ei ole ajantasaista tietoa. Yksittäisten sähkönsyöttöjen käyttöönotossa on ollut ongelmia vapaiden sulakelähtöjen vähyyden vuoksi, joten tarkoituksena on tuottaa mahdollisimman laaja-alainen selvitys, jonka perusteella on mahdollista tehdä yksityiskohtaisempia kehityssuunnitelmia. Työn toimeksiantajan on tarkoitus käyttää selvitystä mahdollisien investointipäätösten tekemiseen.

Käytössä olevaa kuormitusta tutkitaan kuormituslaskelmilla sekä suorittamalla mittauksia tehtaalla. Kuormituslaskelmia varten perehdytään sähkötekniisiin dokumentteihin ja tehdään niiden perusteella laskelmat kuormituksen tämänhetkisestä tasosta. Tehtaalla suoritetaan sähkönlaatumittauksia verkkoanalysointilla, mikä antaa ajantasaisen tiedon kuormituksen tehoista sekä mahdollistaa kompensoinnintarpeen arvioinnin loistehon ja yliaaltojen osalta.

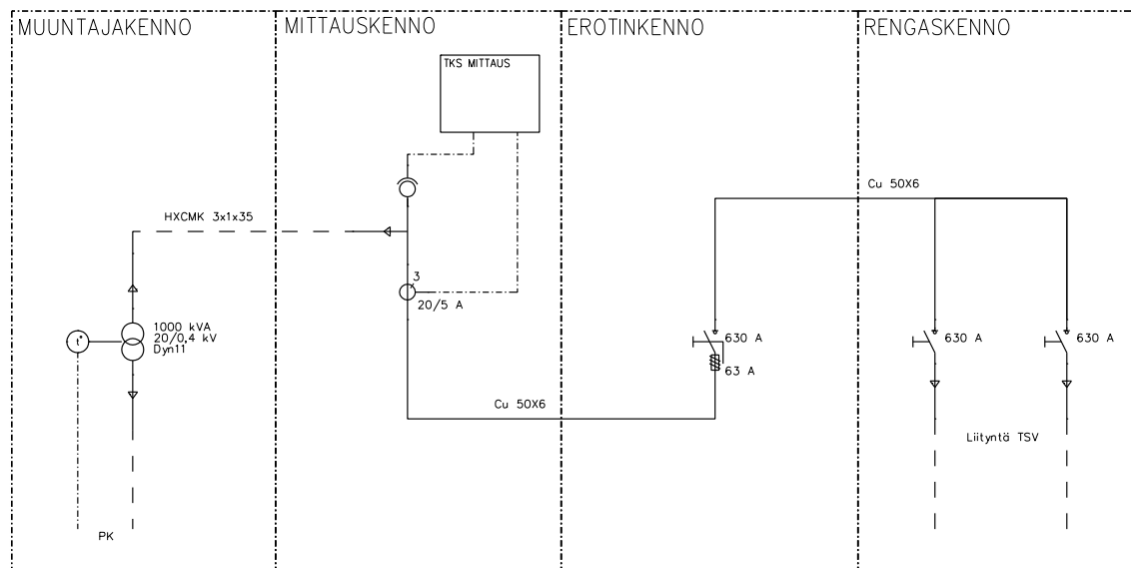
Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Solenis Finland Oy, joka on Tampereella sijaitseva kemikaalialanyritys ja se on osa monikansallista Solenis-yhtiötä.

2 SÄHKÖNJAKELU JA KUORMITUKSET

2.1 Muuntamon rakenne

Tehtaalla on 20 kV-liittymä Tampereen sähköverkko Oy:n jakeluverkkoon. Sähkönjakelussa on käytössä yksi muuntaja, joka syöttää tehtaan pääkeskusta. Muuntaja, 20 kV-kojeisto sekä pääkeskus ovat muuntamorakennuksessa, joka sijaitsee tehdasalueella. 20 kV-kojeisto sisältää rengassyötön sähköverkkoon, erotinkennon, mittauskennon ja muuntajakennon.

Rengassyöttö on toteutettu kahdella kuormaerottimella, jotka on sijoitettu kuviossa 1 esitettyyn Rengaskenno-lähtöön. Erotinkennossa on yksi varokekuormerotin, jolla on mahdollista erottaa muuntamo sähköverkosta. Erotinkennon varokkeina toimii nimellisvirraltaan 63 A:n keskijännitesulakkeet ja ne suojaavat 20 kV-kojeistoa.



KUVIO 1. 20 kV-kojeiston periaatekuva.

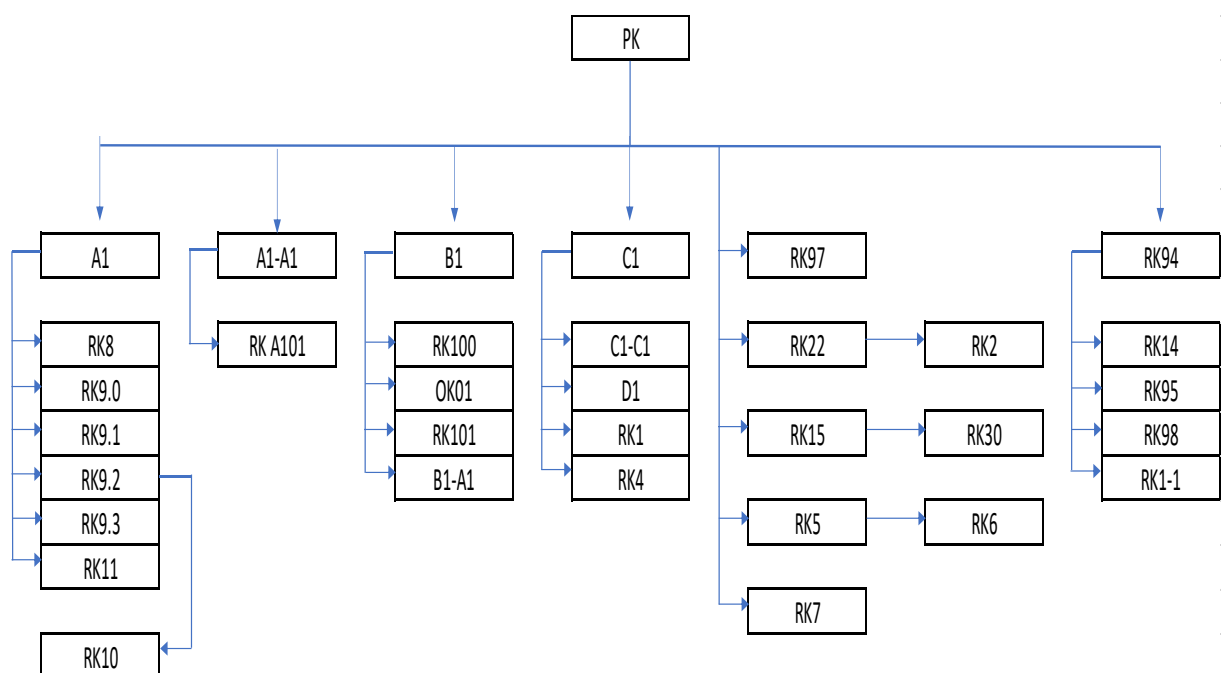
Mittauskennossa on kolme virtamuuntajaa sekä jännitemuuntaja, jotka mittaavat kulutetun tehon sähkön laskutusta varten. Muuntajakennossa on yksi 1000 kVA:n muuntaja. Muuntajan lämpötilamittaustietoa käytetään pääkeskuksen pääkatkaisijan ohjaukseen.

2.2 Pienjännitejakelun rakenne

Pääkeskusta syöttävän muuntajan muuntosuhde on 20/0,4 kV, joten koko pienjännitejakelu on toteutettu 400 V:n jännitteellä. Pääkeskuksen suojauksesta vastaa nimellisvirraltaan 1600 A:n pääkatkaisija. Pääkatkaisijalle tuodaan kaksi eri laukaisutietoa, joista virtamittaukseen perustuva laukaisutieto mitataan virtakiskoista käyttämällä virtamuuntajia ja muuntajan ylikuumentietoa saadaan lämpötilamittauksesta. Pääkeskuksen rinnalle on kytketty 100 kVAR:n kondensaattori sekä yhdessä pääkeskuksen lähdössä on kaksi 30 kVAR:n kondensaattoria ja ne ovat automaattisesti ohjattuja kompensointitarpeen mukaan.

Pääkeskuksella on gG-tyyppin tulppasulakelähtöjä muuntamon omiin toimintoihin, joita ovat katkaisijan ohjaus, kompensoinnin ohjaus, muuntamon valaistus, jännitemittaus sekä pistorasiat. Ryhmäkeskuslähdöt on toteutettu Strömberg OESA 2-tyyppin kytkinvarokkeilla pois lukien ryhmäkeskukset RK97 ja RK22, jotka ovat toteutettu nimellisvirroiltaan 25 A:n sekä 63 A:n gG-tyyppisillä tulppasulakkeilla.

Ryhmäkeskuksilla on omat alakeskuksensa ja osa pääkeskuksen lähdöistä on haaroitettu useammalle ryhmäkeskukselle (KUVIO 2). Haaroitukset on tehty joko ensimmäisen ryhmäkeskuksen kytkentätilassa tai hyödyntäen jakokaappeja (Liite 1. Nousujohtokaavio).



KUVIO 2. Teollisuuslaitoksen sähköjakelun lohkokaavio.

Sähkönjakelu on toteutettu hyvin säteittäisesti, eli pääkeskuksella on sähkönsyöttö ryhmäkeskuksille, jotka jakavat sen alakeskuksilleen. Suurimmat kuormat ovat pääkeskuksen syöttämällä ryhmäkeskuksilla, koska alakeskuksien kuormitus kulkee niiden kautta kuormalaitteille.

2.3 Kuormat

Tuotannon kuormitukset koostuvat pääasiassa erilaisista sekoittimista ja pumpuista, joiden voimanlähteinä toimivat oikosulkumootorit. Sähkökäytöt ovat joko suoraan verkkoon kytkeytyviä tai taajuusmuuttajalla ohjattuja. Suurin sähkökäyttö on mekaaniselta teholtaan 55 kW ja se on suoraan verkkoon kytkeytyvä.

Tuotantoprosessit ovat hyvin porrastettuja, eli sähkökäytöt eivät ole verkkoon kytkeytyneenä samanaikaisesti. Eriaikaisuuden takia voidaan olettaa, että ryhmäkeskuksien mitoituksessa on käytetty tasauskertoimia, jolloin keskukseseen kytkettyjen sähköisten kuormitusten summattu nimellispätöteho ylittää keskuksen nimellisen pätötehon.

Yrityksellä on oma höyrykattila ja vesikiertoinen lämmitysjärjestelmä, joten suurta sähkölämmityskuormaa kiinteistössä ei ole. Kiinteistökuorma koostuu pääasiassa valaistus-, pistorasia-, sulanapito- sekä ilmanvaihtokuormituksesta.

3 KUORMITUKSIEN SELVITYS

3.1 Pätötehon laskenta

Teoreettisen kuormituksen selvityksessä tavoitteena on laskea kolmivaiheinen huippupätöteho, jonka edellytyksenä on symmetrinen kuormitus. Selvityksessä summataan kuormitusten sähköiset pätötehot. Laskennassa on sovellettu ST-kortin 13.31 tehontarpeen arvioinnin ohjetta. Huippupätöteho on laskettu kaavalla 1. Laskennassa käytetään tasauskertoimia kuormituksen portaittaisen käytön vuoksi. Pätötehot summataan ryhmäkeskustasolla ja jokaiselle ryhmäkeskuskelle määritetään oma ryhmäkohtainen tasauskerroin, joka määräytyy kuormituksen tyypin mukaan. Tasatut ryhmäkeskuskohdaiset pätötehot summataan, määritetään tasauskerroin ryhmäkeskusten vuorovaikutussuhteiden vuoksi ja laskeaan pääkeskuksen tasattu huippupätöteho. (Sähkötieto ry 2020, 7-8.)

$$P_h = k \cdot \sum P \cdot k_r \quad (1)$$

, jossa P_h on huippupätöteho, k on tasauskerroin, P on pätöteho ja k_r on ryhmäkohtainen tasauskerroin.

Ryhmäkeskuskohdaisina tasauskertoimina on käytetty pääasiassa tuotantotyyppisille kuormituksille $k_r = 0,4$ ja kiinteistötyypisille kuormituksille $k_r = 0,5$. Kuormituksen tasauskerroimet on valittu tarkastelemalla ST-kortissa 13.31 esitettyjä kertoimia. Tuotannon kuormituksille on valittu pienempi kerroin, koska prosessi on hyvin porrastettu. (Sähkötieto ry 2020, 17-18.)

Kolmivaiheinen pätöteho lasketaan kaavalla 2 ja yksivaiheinen pätöteho laskeaan kaavalla 3. Kuormitusten sähköverkosta ottamat pätötehot on mahdollista laskea, kun tiedetään sähkökäyttöjen kilpiarvot. (Mäkelä, Soininen, Tuomola & Öistämö 2017, 126, 128.)

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\phi \quad (2)$$

, jossa P on pätöteho, U on pääjännite, I on päävirta ja $\cos\phi$ on tehokerroin.

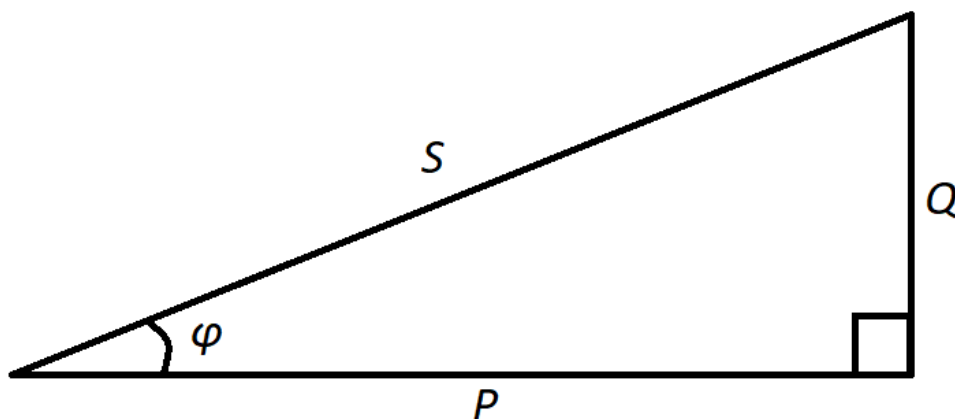
$$P = U_v \cdot I_v \cdot \cos\varphi \quad (3)$$

, jossa P on pätöteho, U_v on vaihejännite, I_v on vaihevirta ja $\cos\varphi$ on tehokerroin.

Sähkökäyttöjen mekaaniset tehot on selvitetty toimeksiantajayrityksen sähkötek-
nisistä dokumenteista. Sähkökäyttöjen pätötehojen laskennassa on hyödynnetty
Siemensin 4-napaisten oikosulkumoottorien valintataulukkoa (Liite 2. Moottorin-
valintataulukko). Säädettyjen sähkökäyttöjen pätötehot on laskettu käyttämällä
taajuusmuuttajien nimellisvirtoja ja käyttämällä tehokerrointa 1. Pistorasia-, valai-
sin- ja muu kuormitus on arvioitu tapauskohtaisesti.

3.2 Loistehon ja yliaaltojen laskenta

Sähkötehon eri komponenttien laskennassa on hyödynnetty tehokolmiota, joka
on esitetty kuviossa 3. Suorakulmaisen kolmion hypotenuusa muodostuu näen-
näistehosta S , kanta muodostuu pätötehosta P ja korkeus muodostuu loistehosta
 Q . Hypotenuusan ja kannan välissä olevaa kulmaa kutsutaan vaihesiirtokul-
maksi. Pätö- ja loistehon vaihesiirtokulma on 90 astetta, joten näennäisteho voi-
daan laskea käyttämällä kaavaa 4. Loistehon kompensoinnin tarkastelussa tarvi-
taan tehokerrointa. Kun tiedetään pätö- sekä näennäisteho, niin on mahdollista
laskea tehojen suhteesta tehokerroin käyttämällä kaavaa 5. (Mäkelä ym. 2017,
126.)



KUVIO 3. Tehokolmio.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (4)$$

, jossa S on näennäisteho, P on pätöteho ja Q on loisteho.

$$\cos\phi = \frac{P}{S} \quad (5)$$

, jossa $\cos\phi$ on tehokerroin, P on pätöteho ja S on näennäisteho.

Yliaaltoja aiheuttaa epälineaarinen kuormitus eli laitteet, jotka ottavat epäsinimäistä virtaa ja täten aiheuttavat virran säröytymistä, joka puolestaan aiheuttaa jännitteen säröytymisen. Tyypillisiä epälineaarisia laitteita teollisuudessa ovat taajuusmuuttajat, joiden kolmivaiheiset tasasuuntaussillat sisältävät puolijohdekomponentteja, jotka aiheuttavat virran säröytymisen. (Hietalahti 2011, 55.)

Harmoniset yliaallot ovat normaalin perustaajuuden 50 Hz:n sinikomponentin kokonaislukujen kerrannaisia. Esimerkiksi kolmannen yliaallon taajuus on 150 Hz. Yliaaltojen suuruutta tarkastellaan harmonisien yliaaltojen komponenttien suhteella perustaajuuden komponenttiin, tällöin saadaan tulokseksi THD-arvo, joka kertoo verkon säröytymisen asteen. THD lasketaan rms-arvoilla ottamalla yliaaltokomponenttien neliöllisestä summasta neliöjuuri ja jaetaan perustaajuuden komponentilla (kaavat 6 & 7). (Hietalahti 2011, 56.)

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} i_{n,rms}^2}}{I_{1,rms}} \quad (6)$$

, jossa THD_i on virran säröytymiskerroin, $i_{n,rms}$ on yliaaltokomponentin rms-arvo ja $I_{1,rms}$ on perustaajuuden rms-arvo.

$$THD_u = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} u_{n,rms}^2}}{U_{1,rms}} \quad (7)$$

, jossa THD_u on jännitteen säröytymiskerroin, $u_{n,rms}$ on yliaaltokomponentin rms-arvo ja $U_{1,rms}$ on perustaajuuden rms-arvo.

3.3 Mittaukset ja keskusten kuormitukset

Kuormituksen selvittämisessä hyödynnetään mittauksia. Mittaukset tehdään Fluke 1738 Power Logger mittalaitteella. Mitattuja tuloksia tarkastellaan Fluke Energy Analyze ohjelmistolla. Mittaukset suoritetaan pääkeskuksen ryhmäkeskuslähdöille. Mittausajaksi on valittu viikon mittausjakso ja mittalaite tekee mittauksen yhden sekunnin välein. Mittaustuloksista käytetään kolmivaiheista keskiarvopäätöteen arvoa kuormituksen tason selvityksessä. Tuloksia verrataan teoreettisiin tuloksiin, minkä perusteella voidaan päätellä laskennallisten tuloksien luotettavuus. Liittymän vuoden 2020 päätöteen kulutus on pyydetty Tampereen Sähköverkko Oy:ltä (TSV) ja sitä käytetään vertailuarvona teoreettisen tasatun huippupäätöteen tarkasteluun.

Mittaustuloksista tarkastellaan myös loistehon suuruutta sekä harmonisia yliaaltoja. Tuloksista arvioidaan nykyisen loistehonkompensoinnin riittävyttä ja yliaaltojen suodatustarvetta mahdollisien parannusehdotuksien yhteyteen.

Ryhmäkeskus RK5

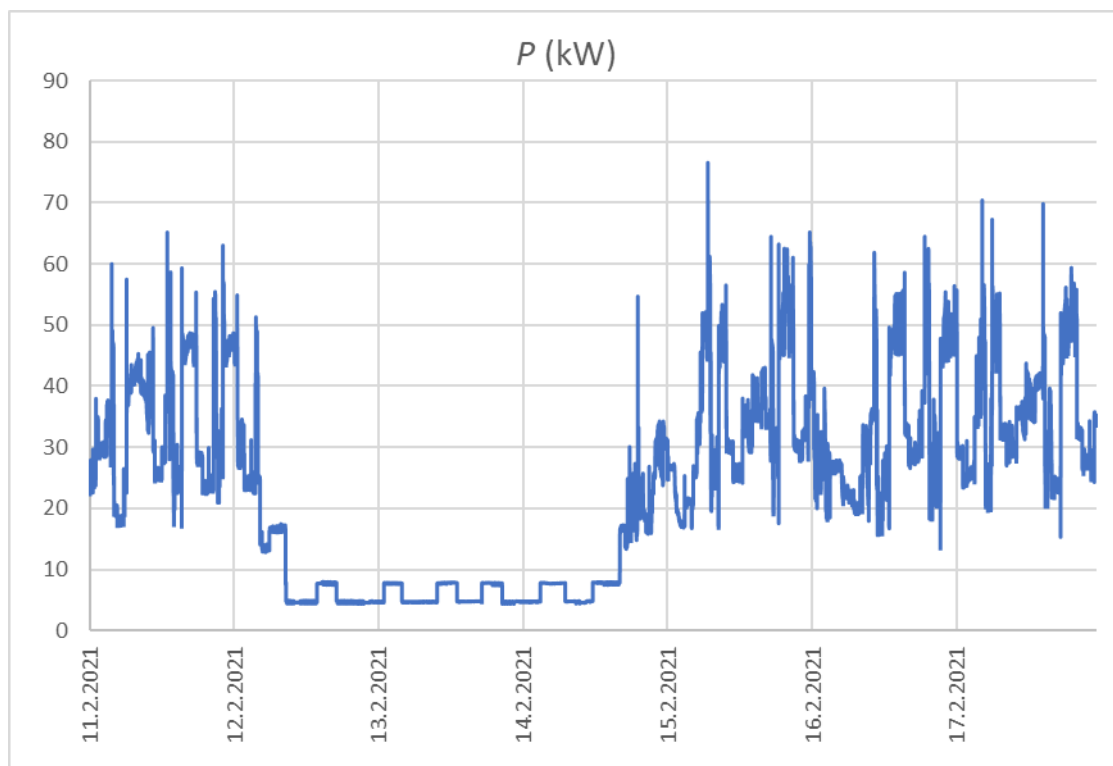
Tämä keskus syöttää tuotantoprosessilinjaa Kymene. Keskuksen kuormat ovat pääasiassa moottorilähtöjä ja lämmittimiä. Ryhmäkeskuksella on alakeskus RK6, jolla on ainoastaan kiinteistöön liittyvää lämmityskuormaa. (Liite 3. RK5 kuormat.)

Tuotantotyyppiselle kuormitukselle on käytetty kerrointa $k_r = 0,4$ ja kiinteistön lämmityskuormitukselle kerrointa $k_r = 0,5$. Ryhmäkeskuksille on määritetty tehokerroin kokonaispäätöteen laskennan yhteydessä ja se on määritetty myös muille työssä esiintyville ryhmäkeskuksille. Ryhmäkeskuslähdön teoreettinen kokonaiskuormitus on esitetty taulukossa 1. Lähdön tasatuksi huippupäätötehoksi saadaan tällöin noin 77 kW.

TAULUKKO 1. RK5 kokonaiskuormitus

Keskus	$P_{\text{kok.}}(\text{kW})$	k_r	$P_{\text{kok.tas.}}(\text{kW})$	$\cos\phi$
RK5	155	0,4	62	0,86
RK6	30	0,5	15	1
Yht.	185		77	0,87

Laskennallinen tulos sekä suurin mittausjakson kolmivaiheinen pätötehon arvo ovat yhtä suuria, joten voidaan olettaa kuormituksen tason selvityksen onnistuneen RK5 osalta. Suurin piikki tehonkulutuksessa on noin 77 kW (kuvio 4).



KUVIO 4. RK5:n mitattu kokonaispätöteho.

Kuvaajasta huomataan kuormituksen olevan melko jaksottaista. Mittausjakso sisältää viikonlopun, jolloin kuormitus laski alle 10 kW:iin ja viikonlopun aikainen kuormitus oli pääasiassa lämmitystyyppistä.

Ryhmäkeskukset RK7 ja B1

Nämä keskukset tarkastellaan yhdessä, koska ryhmäkeskukset jakavat saman lähdon pääkeskuksella ja ne ovat haaroitettu jakokeskuksella JK1. RK7 syöttää kahta kompressoria ja ryhmäkeskuksella on vähäistä kiinteistökuormaa (Liite 4. RK7 ja B1 kuormat). RK7:n kertoimena on käytetty $k_r = 0,4$ sen jaksottaisen käytön vuoksi.

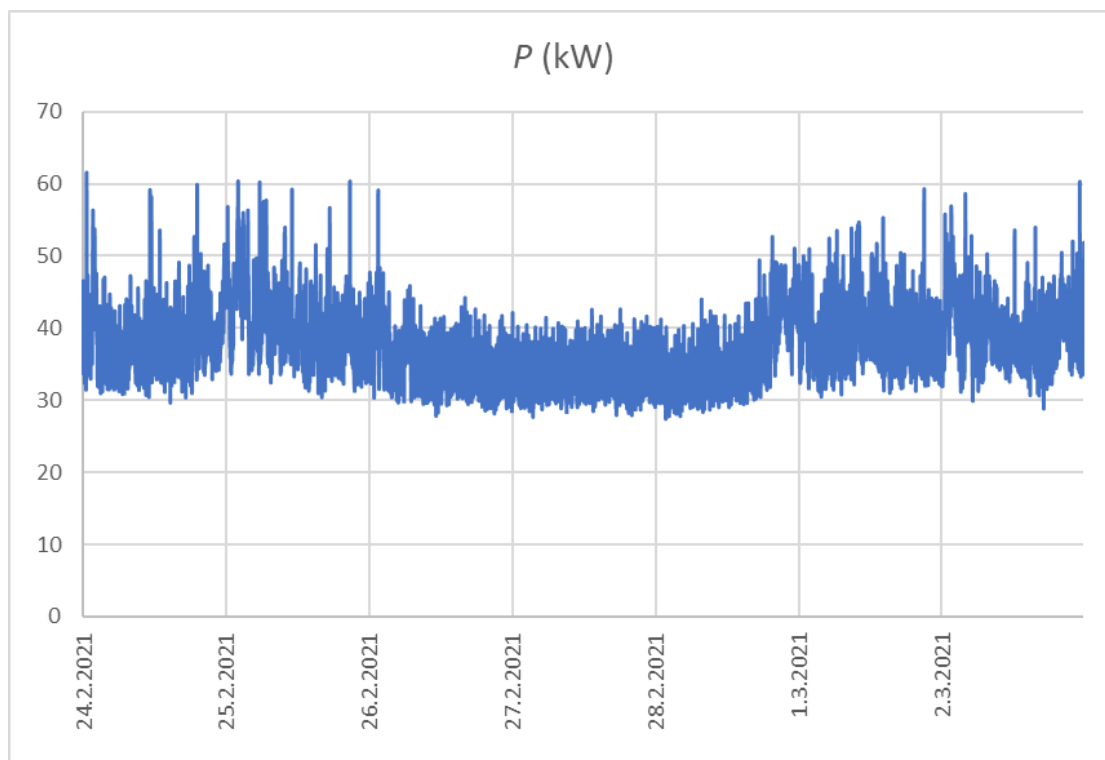
B1 syöttää kattilahuonetta sekä verstasta. Ryhmäkeskuksella on useita alakeskuksia, sekä useita erilaisia kuormitustyyppisiä (Liite 4. RK7 ja B1 kuormat). Tuotantoon liittyvälle kuormitukselle on käytetty kerrointa $k_r = 0,4$ ja kiinteistön kuormitukselle kerrointa $k_r = 0,5$.

RK7:n, B1:n ja B1:n alakeskuksien teoreettinen kokonaiskuormitus on esitetty taulukossa 2, koska halutaan verrata laskennallisia tuloksia mitattuihin arvoihin. RK7:n tasatuksi huippupätötehoksi saadaan noin 31 kW, kun muiden ryhmäkeskuksien yhteiseksi tasatuksi huippupätötehoksi saadaan noin 121 kW.

TAULUKKO 2. RK7 ja B1 kokonaiskuormitus

Keskus	$P_{\text{kok.}}$ (kW)	k_r	$P_{\text{kok.tas.}}$ (kW)	$\cos\phi$
RK7	78	0,4	31	0,91
B1	40	0,4	16	0,90
B1A1	104	0,4	41	0,91
OK01	62	0,4	25	1,00
RK100	19	0,4	8	0,90
RKUV1	15	0,5	8	0,95
OK500	13	0,4	5	0,81
RK101	4	0,4	2	0,95
OK100	20	0,4	8	0,95
RK18	21	0,4	8	0,95
Yht.	376		152	0,92

Laskennalliseksi tulokseksi ryhmäkeskuslähdölle saadaan noin 152 kW ja mitausjakson suurin mitattu kolmivaiheinen pätötehon arvo on noin 60 kW (kuvio 5). Teoreettisessa tarkastelussa on otettu huomioon myös ryhmäkeskuksien välinen tasauskerroin k , koska molempien keskuksien kuormitus ei yleensä ole huipussaan samanaikaisesti, kertoimet ovat teollisuudessa yleensä väliltä 0,4 – 0,6 (Sähkötieto ry 2020, 17). Esimerkiksi 0,5 tasauskertoimella saadaan teoreettiseksi tasatuksi huipputehoksi noin 76 kW. Tuloksissa on noin 16 kW ero, joten tulokset ovat vertailukelpoisia.



KUVIO 5. RK7:n ja B1:n mitattu kokonaispätöteho.

Kuvaajasta huomataan kuormituksen olevan melko tasaista. Mittausjakso sisältää viikonlopun, jolloin kuormitus laskee hieman. Kuormitus on pääasiassa 30 – 50 kW:n välillä.

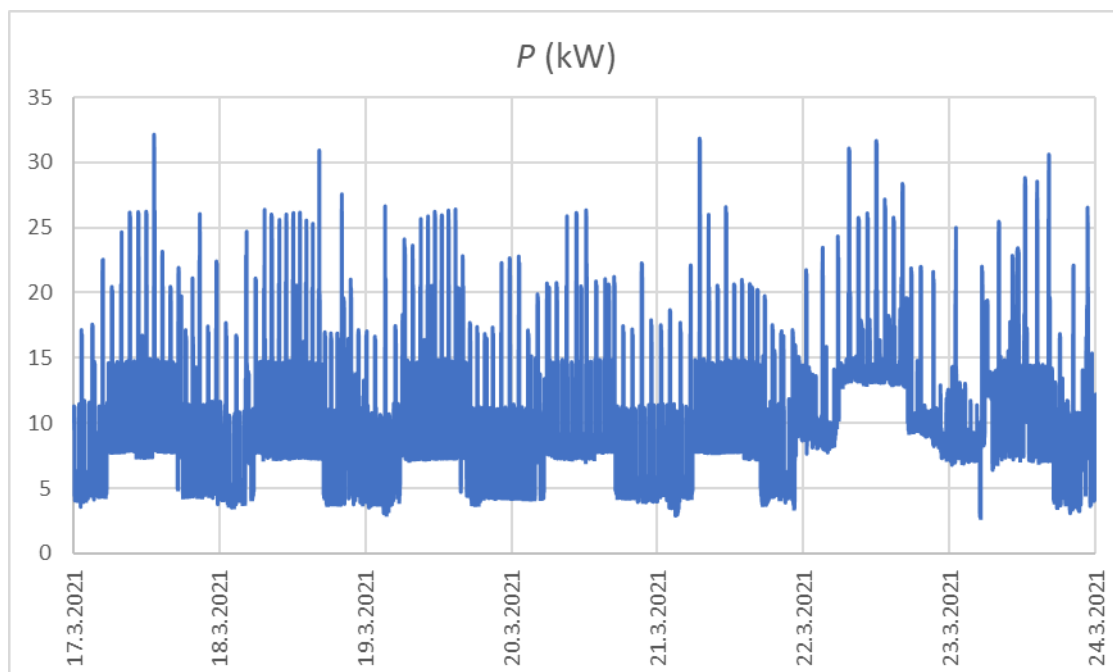
Ryhmäkeskus RK15

RK15 syöttää lietealtaan sähkökäyttöjä, pistorasioita sekä valaistuskuormaa. RK15:lla on alakeskus RK30, jossa on pääasiassa ulkovalaistus- sekä pistorasiakeskuskuormitusta (Liite 5. RK15 kuormat). RK15 on käytetty kertoimena $k_r = 0,4$ ja RK30 kiinteistökuormituksen vuoksi on käytetty kerrointa $k_r = 0,5$. Lähdön teoreettinen kokonaiskuormitus on esitetty taulukossa 3.

TAULUKKO 3. RK15 kokonaiskuormitus

Keskus	$P_{\text{kok.}}$ (kW)	k_r	$P_{\text{kok.tas.}}$ (kW)	$\cos\phi$
RK15	87	0,4	35	0,92
RK30	114	0,5	57	0,92
Yht.	201		92	0,92

Laskennalliseksi tulokseksi saatiin 92 kW sekä mittausjakson suurin mitattu kolmivaiheinen pätötehon arvo on noin 32 kW (kuvio 6). Tuloksien suuren eron on oletettu johtuvan suuresta määrästä pistorasiakuormaa, joka ei ollut käytössä mittausjakson aikana.



KUVIO 6. RK15:n mitattu kokonaispätöteho.

Kuvaajasta huomataan kuormituksen olevan melko jaksottaista. Mittausjakso sisältää viikonlopun, jolloin kuormitus pysyi samansuuruisena. Kuvaajassa nähdään hetkittäisiä piikkejä, tarkemmassa tarkastelussa on selvitetty piikin ajankestoksi noin kolme minuuttia, joten kyse ei ole esimerkiksi oikosulkumoottorin käynnistymisestä vaan kuormitustilanteesta.

Ryhmäkeskukset RK22 ja RK97

Ryhmäkeskusten mittaukset suoritetaan pääkeskuksella tulppasulakelähtöjen kiskostoista, joten tarkastellaan RK22 ja RK97 yhdessä. RK22 on varastojen kiinteistökeskus ja sillä on alakeskus RK2. Molempien keskusten kuormitus koostuu pääasiassa lämmitys-, valaistus- sekä pistorasiakuormituksesta (Liite 6. RK22 ja RK97 kuormat).

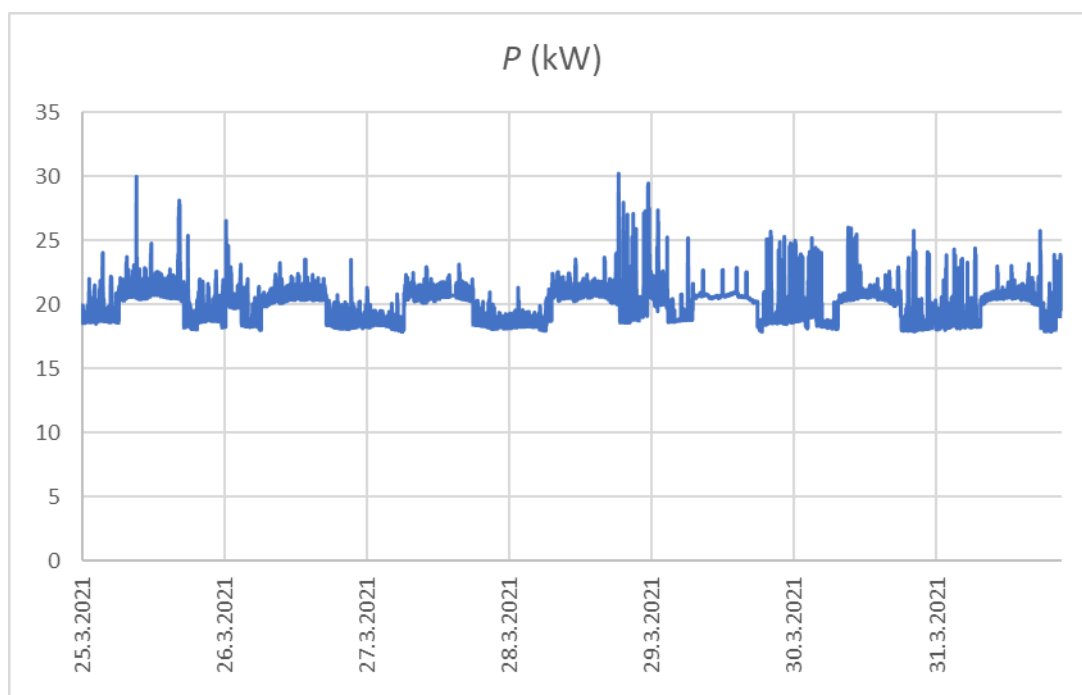
Varaston valaistuksen ja pistorasioiden käytön arvioidaan olevan vähäistä, joten käytetään poikkeavaa kerrointa $k_r = 0,4$. Lähdön teoreettinen kokonaiskuormitus on esitetty taulukossa 4. Ryhmäkeskuksen RK22 ja sen alakeskuksen tasatuksi huipputehoksi saatiin noin 57 kW.

RK97 vastaa lastaussiltojen sulanapidosta. Kuormat ovat lämmittimiä sekä yksi pistorasiakeskus (Liite 6. RK22 ja RK97 kuormat). Käytetään kiinteistökuormalla kerrointa $k_r = 0,5$. Lähdön teoreettinen kokonaiskuormitus on esitetty taulukossa 4. Ryhmäkeskuksen RK97 tasatuksi huipputehoksi saatiin noin 22 kW.

TAULUKKO 4. RK22 ja RK97 kokonaiskuormitus

Keskus	$P_{\text{kok.}}$ (kW)	k_r	$P_{\text{kok.tas.}}$ (kW)	$\cos\phi$
RK22	103	0,4	41	0,91
RK2	39	0,4	16	0,91
RK97	44	0,5	22	0,98
Yht.	186		79	0,93

Laskennalliseksi tulokseksi saatiin noin 79 kW sekä mittausjakson suurin mitattu kolmivaiheinen pätötehon arvo on noin 30 kW kuvion 7 mukaisesti. Teoreettisessa tarkastelussa on otettu huomioon myös ryhmäkeskusten k tasauserroin, koska molempien keskuksien kuormitus ei yleensä ole huipussaan samanaikaisesti. Esimerkiksi 0,5 tasauskertoimella saataisiin teoreettiseksi tasatuksi huipputehoksi noin 39 kW. Mitattujen arvojen huipputehoksi on saatu hieman yli 30 kW (kuvio 7). Tuloksissa on noin 9 kW ero, joten tulokset ovat vertailukelpoisia.



KUVIO 7. RK22:n ja RK97:n mitattu kokonaispätöteho.

Kuvaajasta huomataan kuormituksen olevan melko tasaista. Mittausjakso sisältää viikonlopun, jolloin kuormitus pysyi lähes vakiona. Kuormituksen taso vaihtelee 18 – 30 kW:n välillä.

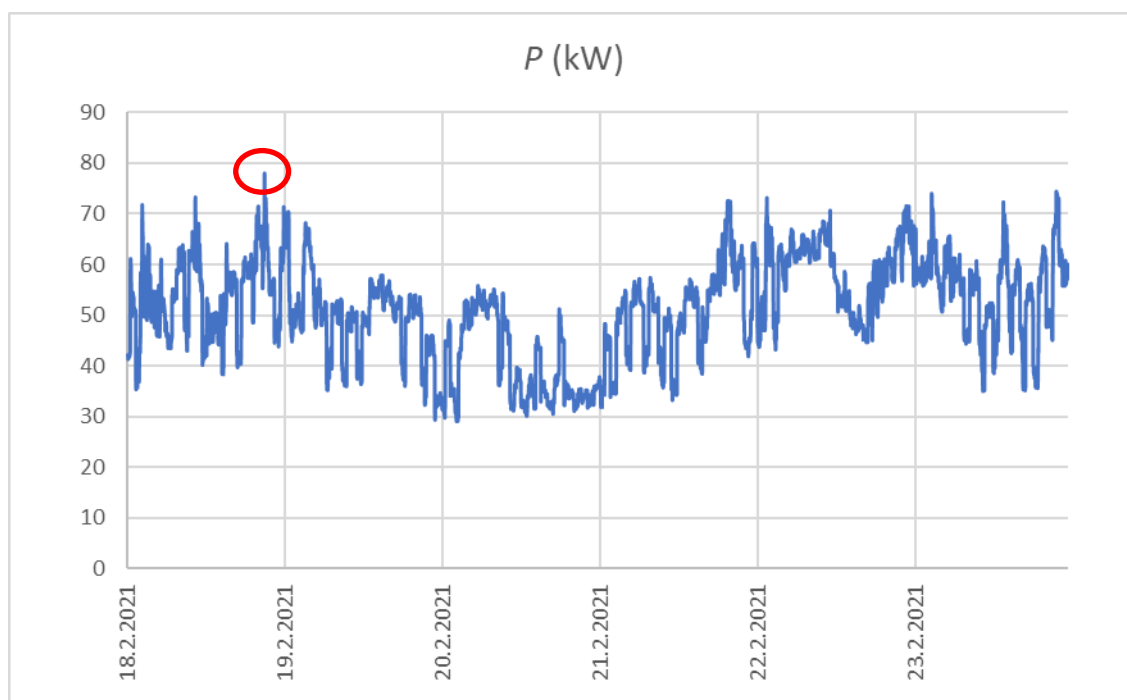
Ryhmäkeskus RK94

Ryhmäkeskus syöttää säiliötilan sähkökäyttöjä ja sillä on alakeskuksia, joissa on kiinteistökuormaa. Alakeskuksien kuormitukset koostuvat pääasiassa autonlämmityspistorasioista, lämmitys- ja valaistuskuormasta (Liite 7. RK94 kuormat). Käytetään tuotantotyyppisellä kuormalla kertoimena $k_r = 0,4$ ja kiinteistötyypisellä kuormalla kerrointa $k_r = 0,5$. Lähdön teoreettinen kokonaiskuormitus on esitetty taulukossa 5.

TAULUKKO 5. RK94 kokonaiskuormitus

Keskus	$P_{\text{kok.}}$ (kW)	k_r	$P_{\text{kok.tas.}}$ (kW)	$\cos\phi$
RK94	17	0,4	7	0,82
RK95	62	0,5	31	0,95
RK98	56	0,5	28	0,97
RK14	2	0,5	1	0,82
RK99	13	0,5	7	1
Yht.	149		73	0,83

Laskennalliseksi tulokseksi saatiin noin 73 kW sekä mittausjakson suurin mitattu kolmivaiheinen pätötehon arvo on noin 78 kW. Mittausjakson aikana on tapahtunut yksi kuormitustilanne, jossa teoreettinen arvo ylittyy (kuvio 8). Tuloksissa on noin 5 kW ero, joten tulokset ovat hyviä.



KUVIO 8. RK94:n mitattu kokonaispätöteho.

Kuvaajasta huomataan kuormituksen olevan melko vaihtelevaa. Mittausjakso sisältää viikonlopun, joka ei vaikuttanut kuormitustasoon merkittävästi. Kuormituksen taso vaihtelee 30 – 75 kW:n välillä.

Ryhmäkeskukset A1 ja A1-A1

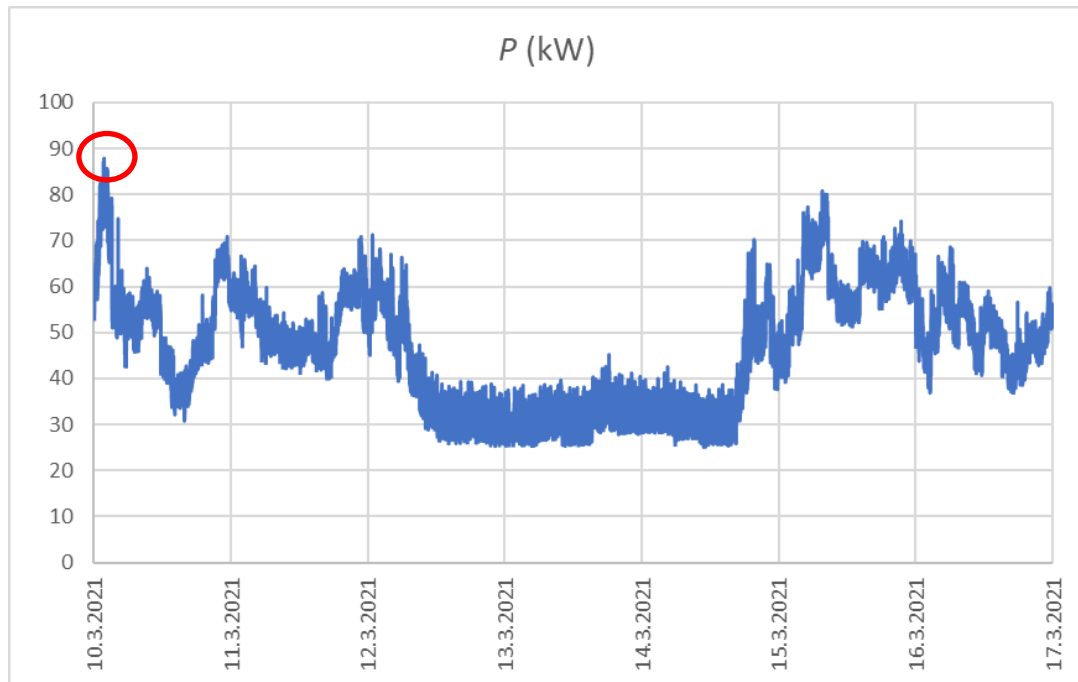
Ryhmäkeskukset tarkastellaan yhdessä, koska ryhmäkeskukset jakavat saman lähdön pääkeskuksella ja ne ovat haaroitettu A1 keskuksen kytkentätilassa. Molemmilla ryhmäkeskuksilla on alakeskuksia ja niillä on tuotantoon liittyvää sähkökäyttö- sekä kiinteistökuormitusta (Liite 8. A1 ja A1-A1 kuormat). Tuotantoon liittyvälle kuormitukselle on käytetty kerrointa $k_r = 0,4$ ja kiinteistön kuormitukselle kerrointa $k_r = 0,5$.

Lähdön teoreettinen kokonaiskuormitus on esitetty taulukossa 7. Ryhmäkeskuksen A1 lähdoissä on useita alakeskuksia ja ryhmäkeskuksen A1 tasatuksi huippupätötehoksi saatiin noin 262 kW. A1-A1:lla on alakeskus RKA101 ja ryhmäkeskuksen tasatuksi huippupätötehoksi noin 66 kW.

TAULUKKO 7. A1 ja A1-A1 kokonaiskuormitus

Keskus	$P_{\text{kok.}}$ (kW)	k_r	$P_{\text{kok.tas.}}$ (kW)	$\cos\phi$
A1	60	0,4	24	0,85
RK8	71	0,5	35	0,92
RK11	46	0,5	23	0,94
RK9	120	0,4	48	0,89
RK9.1	128	0,4	51	0,89
RK9.2	93	0,4	37	0,88
RK9.3	59	0,4	24	0,83
RK10	35	0,5	18	0,87
RK96	5	0,5	2	1,00
A1A1	41	0,5	20	0,93
RKA101	114	0,4	46	0,91
Yht.	771		328	0,90

Laskennalliseksi tulokseksi saatiin noin 328 kW sekä mittausjakson suurin mitattu kolmivaiheinen pätötehon arvo on noin 88 kW (kuvio 9). Teoreettisessa tarkastelussa on otettu huomioon myös ryhmäkeskusten välinen k tasauserroin, koska molempien keskuksien kuormitus ei yleensä ole huipussaan samanaikaisesti. Esimerkiksi 0,5 tasauskertoimella saataisiin teoreettiseksi tasatuksi huipputehoksi noin 164 kW. Saadut tulokset poikkeavat huomattavasti toisistaan, joten ei voida olla varmoja tulosten luotettavuudesta.



KUVIO 9. A1:n ja A1-A1:n mitattu kokonaispätöteho.

Kuvaajasta huomataan kuormituksen olevan vaihtelevaa. Mittausjakso sisältää viikonlopun, jolloin kuormitus laski noin 30 kW:iin. Kuormituksen taso vaihtelee 30 – 85 kW:n välillä.

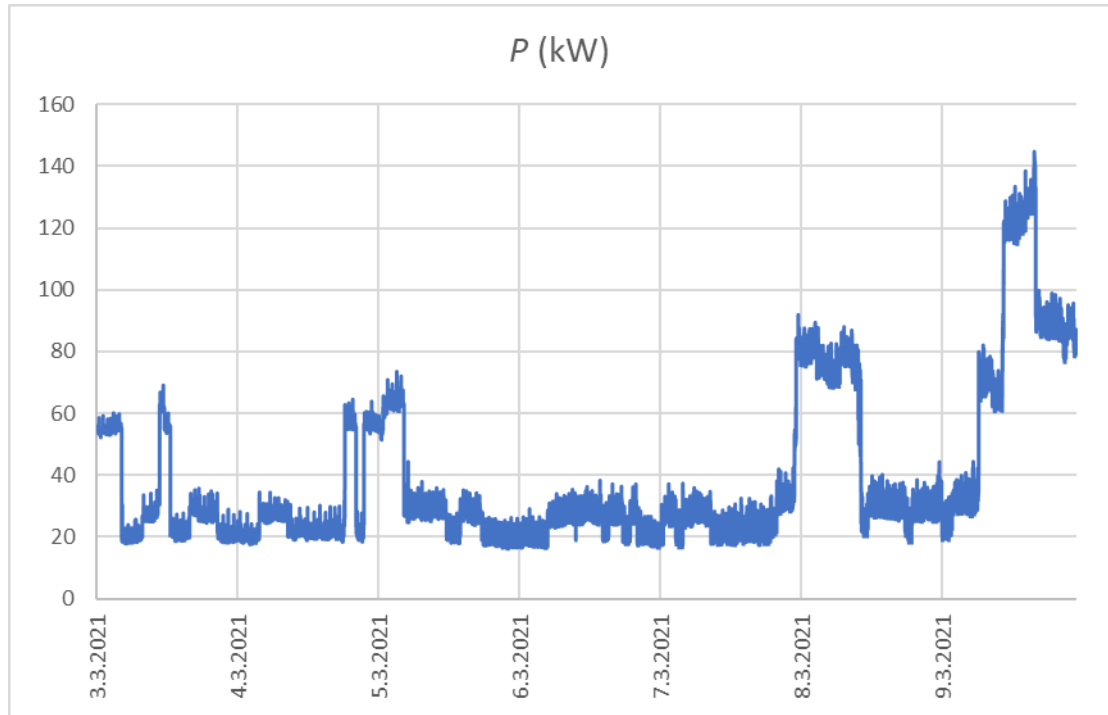
Ryhmäkeskus C1

Ryhmäkeskus on tuotannon moottorilähtökeskus ja sillä on useita alakeskuksia. Alakeskuksien kuormitukset ovat kiinteistö- sekä tuotantotyyppisiä kuormituksia. Muun muassa HTP-tuotantoprosessilinja on sähköistetty alakeskuksista ja se pitää sisällään tehtaan suurimman sähkökäytön, jonka nimellinen mekaaninen teho on 55 kW (Liite 9. C1 kuormat). Tuotantoon liittyvälle kuormitukselle on käytetty kerrointa $k_r = 0,4$ ja kiinteistön kuormitukselle kerrointa $k_r = 0,5$. Lähdön teoreettinen kokonaiskuormitus on esitetty taulukossa 8.

TAULUKKO 8. C1 kokonaiskuormitus

Keskus	$P_{\text{kok.}}$ (kW)	k_r	$P_{\text{kok.tas.}}$ (kW)	$\cos\phi$
C1	37	0,4	15	0,90
RK1	47	0,5	23	0,90
RK1-1	27	0,5	14	0,97
D1	53	0,4	21	0,90
RK16	8	0,5	4	1,00
RK17	31	0,5	15	0,91
C1C1	31	0,5	15	0,91
RK4.1	164	0,4	66	0,85
Yht.	398		174	0,91

Laskennalliseksi tulokseksi saatiin noin 174 kW sekä mittausjakson suurin mitattu kolmivaiheinen pätötehon arvo on noin 145 kW (kuvio 10). Kuvaajan muodosta voidaan päätellä kuormituksen olevan hyvin jaksottaista, joten tässä tapauksessa k_r kertoimet olisivat voineet olla pienemmät. Tuloksissa on noin 29 kW ero, joten tulokset ovat vertailukelpoisia.



KUVIO 10. C1:n mitattu kokonaispätöteho.

Kuvaajasta huomataan kuormituksen olevan melko jaksottaista. Mittausjakso sisältää viikonlopun, jolloin kuormitus pysyi samana. Kuvaajasta nähdään kiinteistötyyppisen kuormituksen olevan noin 20 - 30 kW:ia ja suurimman kuormituksen olevan hieman yli 140 kW:ia.

Pääkeskus

Kaikkien selvityksien perusteella voidaan nyt laskea koko kohteen tasattu huippupätöteho. Ryhmäkeskuksien summatut pätötehot on esitetty taulukossa 9. Laskennassa käytetään huippupätötehon kaavaa 1, jossa kerrotaan ryhmäkeskuksien summatut pätötehot kertoimella k . Erilaisten kuormitusten jakautuessa sekalaisesti eri ryhmäkeskuslähdoille päädytään käyttämään kerrointa $k = 0,45$.

TAULUKKO 9. Ryhmäkeskusten tasatut huippupätötehot

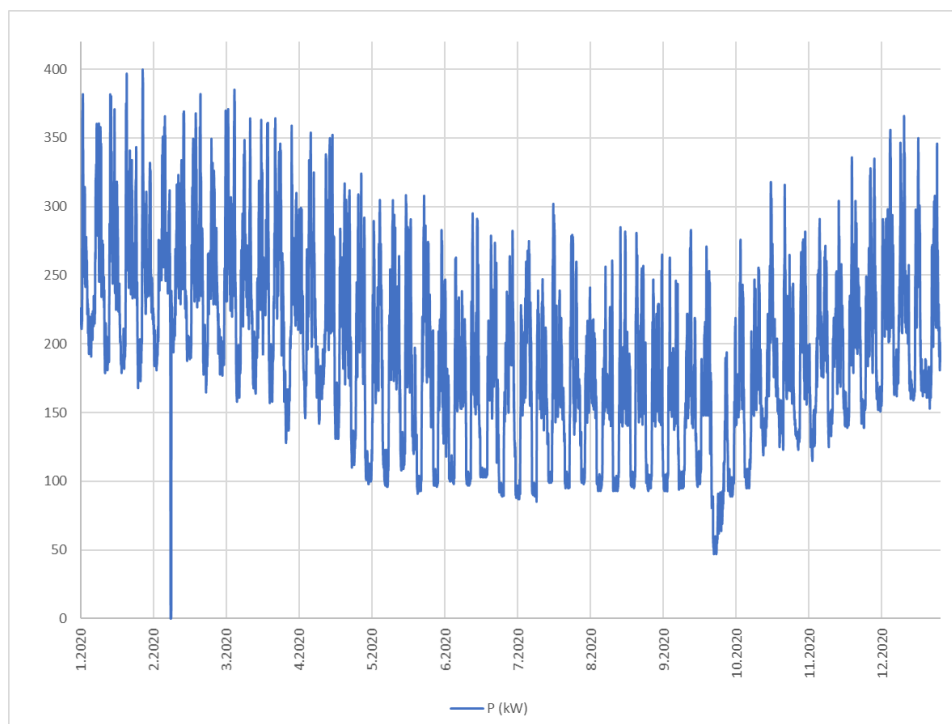
Keskus	$P_{\text{kok.}}$ (kW)	$P_{\text{kok.tas.}}$ (kW)	$\cos\phi$
RK5	186	77	0,87
RK7	78	31	0,91
B1	298	121	0,92
RK15	201	92	0,92
RK22	142	57	0,91
RK94	149	73	0,83
RK97	44	22	0,98
A1	616	262	0,89
A1A1	155	66	0,92
C1	398	174	0,91
Yht.	2268	975	0,91

Tuloksista huomataan asennetun pätötehon olevan noin 2,3 MW ja tasattujen pätötehojen summan olevan noin 975 kW. Laskettu kokonaishuippupätöteho on noin 440 kW.

$$P_h = 0,45 \cdot 975 \text{ kW} = 438,75 \text{ kW}$$

$$P_h \approx 440 \text{ kW}$$

Saatua tulosta verrataan TSV:lta saatuihin mittaustuloksiin, joissa huomataan vuonna 2020 kuormituksen olleen suurimmillaan tammi- ja helmikuun vaihteessa. Suurin mitattu tunnikohtainen huippupätöteho oli noin 400 kW (kuvio 11).



KUVIO 11. Vuoden 2020 pätötehon kulutus (TSV 2021).

Kuvaajasta nähdään kuormituksen olevan melko vaihtelevaa. Talvikuukausina suurimmat kuormitukset ovat noin 100 kW:ia suurempia kuin kesällä. Yhden kuukauden aikana kuormitus voi vaihdella jopa 200 kW:ia.

3.4 Tuloksien käsittely

Tässä osiossa selvitetään lähdön teoreettisesti määritetty suurin kuormitettavuus, joka oletetaan olevan lähtöä suojaavan sulakkeen nimellisvirralla oleva pätöteho (kaava 2). Suurimman pätötehon laskennassa on käytetty $\cos\varphi$:n arvona 0,85. Tämän jälkeen lasketaan lähdöillä olevat kuormitusvarat vähentämällä käytössä oleva pätöteho suurimmasta kuormitettavuudesta. Teoreettisien ja mitattujen arvojen ollessa eri suuruiset, tällöin lasketaan pessimistinen sekä optimistinen käytettävissä oleva pätöteho ryhmäkeskuslähdöille.

Esimerkiksi lähdön RK15 teoreettiseksi kokonaispätötehoksi saatiin noin 92 kW sekä mitatuksi kokonaispätötehoksi saatiin noin 32 kW. Lähdön suojalaitteen nimellisvirta on 250 A. Lasketaan suurin mahdollinen kuormitus ryhmäkeskukselle. Tuloksesta vähennetään selvitetty kokonaiskuormitus, jolloin saadaan selville käytettävissä oleva pätöteho.

$$P_{\max} = 400 \text{ V} \cdot 250 \text{ A} \cdot \sqrt{3} \cdot 0,85 \approx 147 \text{ kW}$$

$$P_{\text{varat.pessimistinen}} = 147 \text{ kW} - 92 \text{ kW} = 55 \text{ kW}$$

$$P_{\text{varat.optimistinen}} = 147 \text{ kW} - 32 \text{ kW} = 115 \text{ kW}$$

3.5 Tuloksien yhteenveto

Saaduista tuloksista nähdään, että osalla keskuksia on vielä varaa nostaa kuormituksia. Saadut tulokset on esitetty taulukossa 10. Huomataan pääkeskuksen kuormituksen olevan alle puolet sen nimellisestä kuormituksesta. Tämän takia voidaan todeta nykyisen muuntajan kapasiteetista olevan käytössä alle puolet sen nimellinäennäistehosta, kun otetaan huomioon loistehonkompensointi.

TAULUKKO 10. Tuloksien yhteenveto

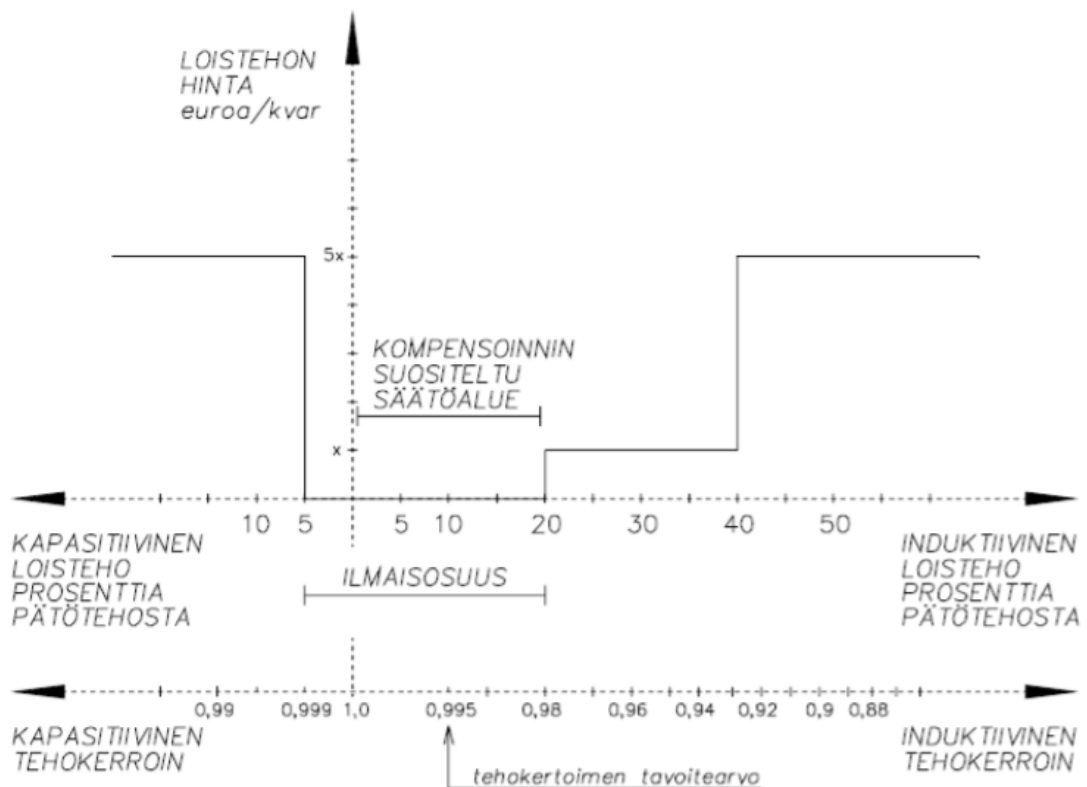
Keskus	$P_{\text{teo.}}$ (kW)	$P_{\text{mit.}}$ (kW)	I_n (A)	P_{max} (kW)	$P_{\text{varat.pes}}$ (kW)	$P_{\text{varat.opt}}$ (kW)
RK5	77	77	400	236	159	159
RK7 ja B1	76	62	315	186	110	124
RK15	92	32	250	147	55	115
RK22 ja RK97	79	31	63 & 25	52	-27	21
RK94	73	78	315	186	108	113
A1 ja A1-A1	164	88	250	147	-17	59
C1	174	145	400	236	62	91
PK	440	400	1600	942	502	542

4 LOISTEHO

4.1 Vaatimukset

Fingrid Oyj on velvoittanut paikallisen verkkoyhtiön huolehtimaan alueensa loistehotasapainosta. Ideaalitulanteessa sähköverkoissa siirretään ainoastaan pätötehoa, jolloin loistehontuotto jää asiakkaille. Loistehomaksuilla ohjataan verkkoon liittyneitä asiakkaita huolehtimaan loistehonkompensoinnista. (TSV 2021, 1-4.)

Teollisuuslaitoksissa kompensoinnin tarve muodostuu yleensä oikosulkumoottoreiden induktiivisesta loistehontarpeesta. Oikosulkumoottoreiden aiheuttama loisteho on merkittävä osuus teollisuuslaitoksen kokonaisloistehosta, koska oikosulkumoottorien osuus kokonaiskuormituksesta on suuri. Yleensä kompensointi tapahtuu keskitetysti käyttämällä kompensointiin tarkoitettuja kondensaattoreita. TSV ohjeistaa säätämään kompensoinnin tietylle tehokertoimen alueelle, jolloin loistehomaksuista vältytään (kuvio 12). (TSV 2021, 1-3.)



KUVIO 12. Loistehon hinnoitteluperiaate 1.1.2019 alkaen (x= hinnaston mukainen loistehomaksu) (TSV 2021, 2).

Kuviosta nähdään, että hinnoitteluun vaikuttaa loistehon määrä sekä tehokertoimen arvo. Loistehomaksuilta vältytään, jos verkosta otettu induktiivinen loisteho on korkeintaan 20%:ia verkosta otetusta pätötehon arvosta tai induktiivisen tehokertoimen ollessa väliltä 0,999 kap. – 0,98 ind.

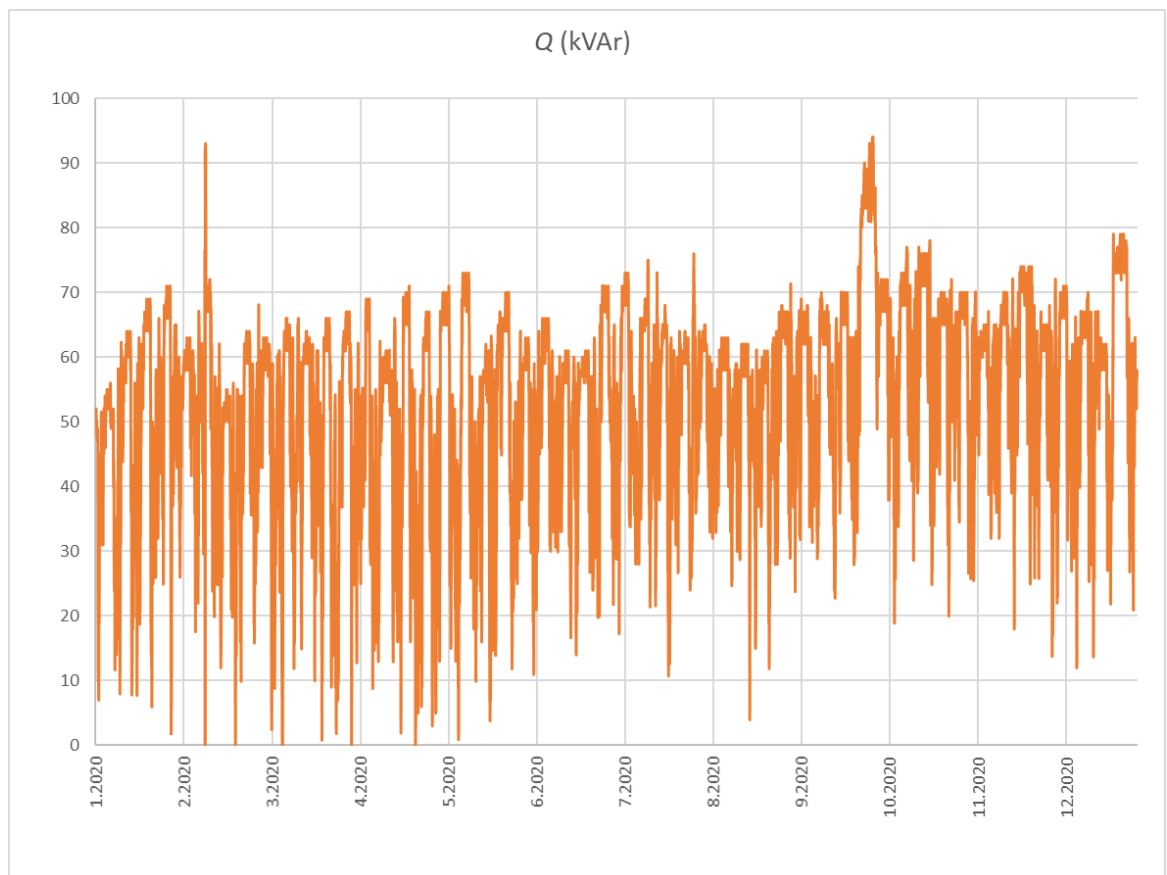
4.2 Loistehon määrä

Lasketaan teoreettinen loistehontarve käyttämällä vuoden 2020 suurinta sähköverkosta otettua pätötehoa ja vähennetään siitä kompensoinnin osuus, niin saadaan suurin verkosta otettava induktiivinen loisteho. Vuoden 2020 verkosta otetun induktiivisen loistehon kulutus on esitetty kuviossa 13.

$$S = \frac{400 \text{ kW}}{0,85} \approx 471 \text{ kVA}$$

$$Q = \sqrt{471 \text{ kVA}^2 - 400 \text{ kW}^2} \approx 248 \text{ kVAr}$$

$$Q_{\text{verkko}} = 248 \text{ kVAr} - 160 \text{ kVAr} = 88 \text{ kVAr}$$

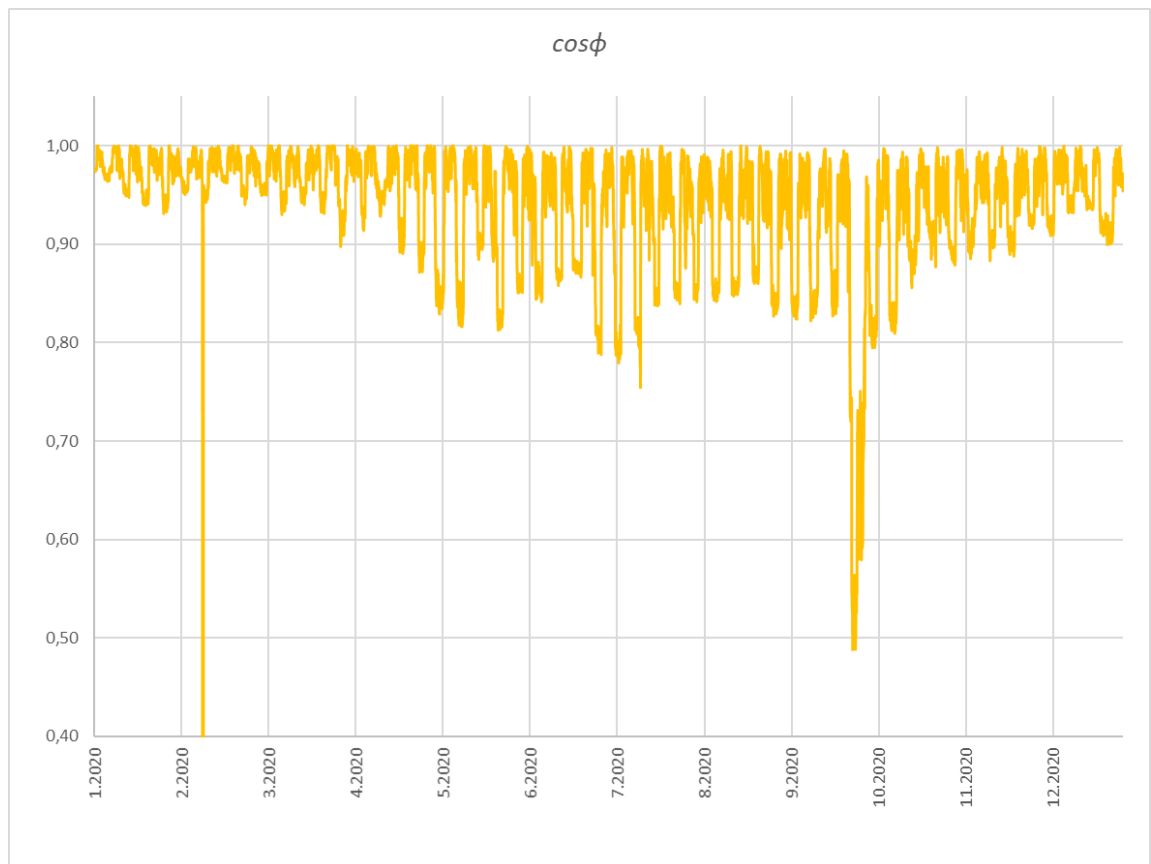


KUVIO 13. Vuoden 2020 sähköverkosta otettu induktiivinen loisteho (TSV 2021).

Huomataan mitattujen tuloksien käyvän yli 90 kVAr:n helmikuun alussa, vertaillessa samaa ajankohtaa pätötehon tuloksiin, niin huomataan pätötehon kulutuksen olleen nolla muutaman tunnin ajan, eli kyseessä on ilmeisesti ollut muuntamohuolto ja suuri induktiivinen loistehonotto sähköverkosta on voinut tapahtua esimerkiksi verkkoon kytkeytymisen seurauksena. Syksyllä on ollut myös toinen 90 kVAr:n ylittävä noin 10 päivää kestävä ajanjakso, jolloin kokonaiskuormituksen tehokerroin on ollut todella matala.

4.3 Tehokerroin

Käytetään tehokertoimen hetkellisen arvon laskentaan TSV:lta saatuja vuoden 2020 mittaustuloksia (kuvio 11 ja 13). Jos verrataan hetkittäisiä tehokertoimen arvoja (kuvio 14) TSV:n suositukseen (kuvio 12) niin huomataan raja-arvojen ylittävän. Mikäli verkosta otettu loistehon määrä on riittävän suuri suhteessa pätötehon määrään, niin ei välttämättä loistehomaksuilla.



KUVIO 14. Vuoden 2020 kulutetun tehon tehokerroin induktiivisen loistehon suhteen (TSV 2021).

5 YLIAALLOT

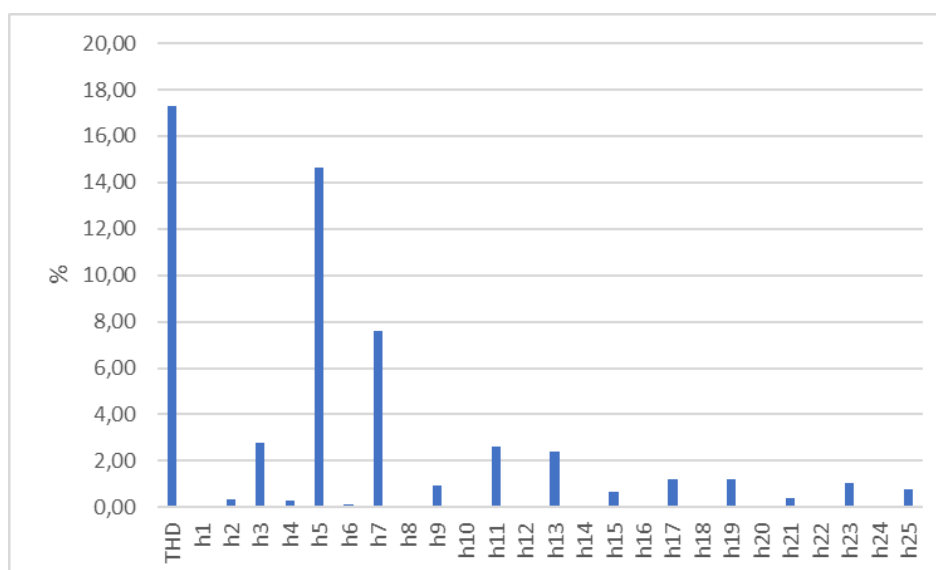
5.1 Vaatimukset

Epälineaariset kuormalaitteet aiheuttavat verkkoon epäsinimuotoisia virtoja, joita kutsutaan yliaalloiksi ja ne kuormittavat muuntajia, kaapeleita sekä keskuksia. Yliaaltopitoiset virrat aiheuttavat jännitteeseen säröä ja täten heikentävät sähkön laatua. (TSV 2021, 1-4.)

Sähkön laadulle on jakeluverkon liityntäpisteissä asetettu vaatimuksia, jotka selviävät standardista SFS-EN 50160. Laatuvaatimuksissa on asetettu raja-arvot jännitteen kokonaissärökertoimelle ja harmonisille yliaalloille aina 40:een järjestyslukuun saakka. (Lakervi & Partanen 2008, 248-256.)

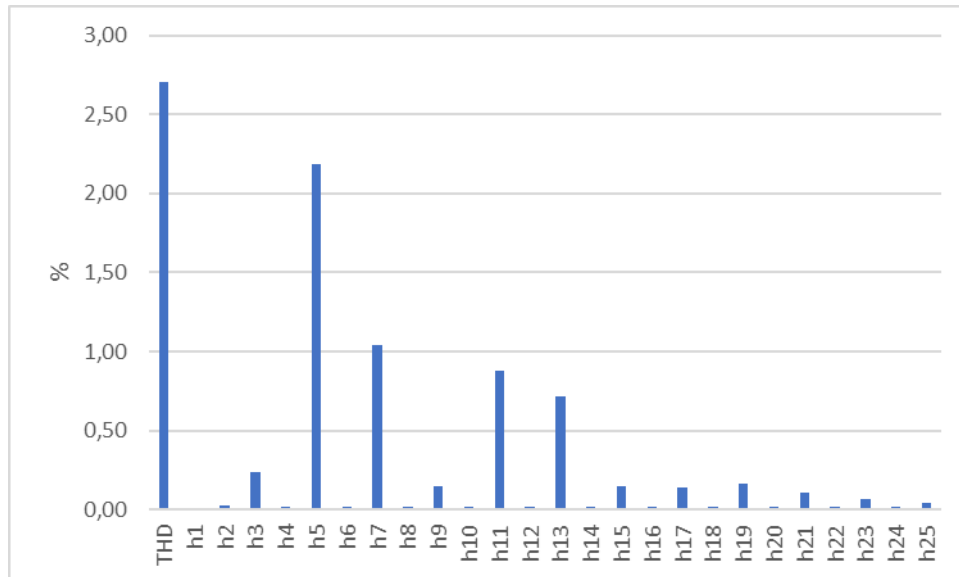
5.2 Yliaaltojen määrä

Virran säröytymiskertoimen laskennassa on virran eri komponenttien rms-arvot summattu laskentaa varten, jonka jälkeen on mahdollista laskea THD_i (KUVIO 14). Virran säröytymiskertoimeksi saadaan noin 17% ja sen suurimmat yliaalto-komponentit ovat viides sekä seitsemäs yliaalto.



KUVIO 14. Virran särökerroin.

Jännitteen säröytymiskertoimen laskennassa on jännitteen eri komponenttien rms-arvoille laskettu keskiarvo, jonka jälkeen on mahdollista laskea THD_u . (KUVIO 15). Jännitteen säröytymiskertoimeksi saadaan noin 2,7% ja sen suurin yliaalto on viides yliaalto.



KUVIO 15. Jännitteen särökerroin.

Mittaustuloksista saatiin tulokset vain järjestyslukuun 25 asti. Tarkastelussa on otettu huomioon vain jännitteen särökertoimen tulokset, koska standardissa SFS-EN 50160 ei ole esitetty vaatimuksia virran särökertoimelle. Merkittävimmät tulokset ja raja-arvot on esitetty taulukossa 11. Kaikki tulokset on esitetty liitteessä 10 (Liite 10. Yliaallot). (Lakervi & Partanen 2008, 248-256.)

TAULUKKO 11. Jännitteen harmoniset yliaallot (Lakervi & Partanen 2008, 255)

Yliaalto	Sallittu (<= %)	Mitattu (%)
THD	8	2,71
h3	5	0,24
h5	6	2,19
h7	5	1,04
h9	1,5	0,15
h11	3,5	0,88
h13	3	0,72

Tuloksista nähdään jännitteen kokonaissärökertoimen sekä kaikkien harmonisten yliaaltojen olevan raja-arvojen sisällä, joten voidaan todeta sähkön laadun olevan hyvä ainakin harmonisien yliaaltojen osalta.

6 PARANNUSEHDOTUKSET

6.1 Uusi tuotantolinja ja keskuksen A1 uusinta

Uusi suunnitteilla oleva tuotantolinja vastaa toiminnaltaan nykyistä Kymene-tuotantolinjaa ja se tulisi sijaitsemaan nykyisen tuotantolinjan läheisyydessä. Nykyinen tuotantolinja Kymene:n saa sähkönsä RK5:lta, minkä kuormitus koostuu pääasiassa olemassa olevan tuotantolinjan kuormalaitteista. Kuormituksen osalta ei ole tarkkaa tietoa uuden tuotantolinjan osalta, mutta voidaan olettaa uuden tuotantolinjan kuormituksen olevan maksimissaan yhtä suuri kuin Kymene:n. Tämä johtaa RK5:n kuormituksen kaksinkertaistumiseen. Lasketaan RK5:n uusi kuormitustaso.

$$P = 2 \cdot 77 \text{ kW} = 154 \text{ kW}$$

$$P_{\text{varat}} = 236 \text{ kW} - 154 \text{ kW} = 82 \text{ kW}$$

Tuloksista nähdään, että ryhmäkeskuksessa olisi kuormitusvaraa uudelle tuotantolinjalle. Suunnitelmia tehdessä on otettava huomioon ryhmäkeskuksessa olevien vapaiden sulakelähtöjen riittävyys. Laajennuksen yhteydessä voi olla tarpeen uusia RK5 tai lisätä uusi alakeskus tuotantolinjaa varten.

Selvitystyössä ei saatu luotettavia tuloksia A1:n kuormituksesta ja lisäksi kyseinen ryhmäkeskus on jo uusinnan tarpeessa. Tarkkojen tulosten saamiseksi pitäisi tehdä enemmän kenttäselvitystä sekä mittauksia. Ryhmäkeskuksen sijainti on lähellä tuotantolinjoja, joiden läheisyydessä olevien keskuksien vapaat lähdöt ovat vähissä.

A1:n ollessa teollisuuslaitoksen alkuperäisiä keskuksia on syytä harkita keskuksen uusimista sekä kapasiteetin kasvattamista. A1:n uusimisen yhteydessä kapasiteetin kasvattaminen tapahtuisi kasvattamalla lähtöä suojaavien sulakkeiden nimellisvirta 400 A:iin, uusimalla syöttökaapelit sekä uusi keskus.

6.2 Kaapelin mitoitus

Keskuksen uusi syöttökaapeli mitoitetaan SFS 6000:n mukaan. Kaapelin korjattu kuormitettavuus tarkastellaan käyttämällä ulkoisten olosuhteiden korjauskertoimia. Suojalaitteen nimellisvirran ollessa 400 A sekä käytettäessä alumiinijohtimilla varustettua kaapelia, niin voidaan olettaa kaapeleita tulevan kaksi kappaletta. Kaapeleiden oletettu reitti kulkee pääkeskukselta ryhmäkeskukselle tikashyllyillä, eli käytetään referenssiasennustapaa E (Sesko ry 2017. 27, 36).

Aluksi selvitetään johdon pienin vaadittu kuormitettavuus 400 A:n gG sulakkeella, mikä löytyy taulukosta Y.52.1 ja se on 441 A (Sesko ry 2017. 76). Tämän jälkeen on selvittävä olosuhteet ja niiden korjauskertoimet, jotta voidaan laskea kaapelin korjattu kuormitettavuus. Kaapeli kulkee koko matkan tikashyllyillä, joten valitaan ympäristön lämpötilaksi 25 °C (Sesko ry 2017. 31). Vapaasti ilmassa olevien johtimien korjauskertoimet löytyvät taulukosta B.52.14 ja PVC päällysteiselle kaapelille se on 25 °C:ssa 1,06 (Sesko ry 2017. 50). Oletetaan rakennettavan uusi tikashylly, jolloin kahden olemassa olevan tikashyllyn lisäksi samassa paikassa olisi korkeintaan kolme tikashyllyä, uudella tikashyllyllä olisi kaksi kaapelia, jolloin ryhmäkohtaiseksi korjauskertoimeksi saadaan 0,85 taulukkoa B.52.20 tarkastelemalla (Sesko ry 2017. 57).

Johtimen korjattu kuormitettavuus saadaan laskettua, kun jaetaan johdon kuormitettavuuden minimiarvo korjauskertoimien tulolla (kaava 8). Johtimen korjatuksi kuormitettavuudeksi saadaan 489 A. (Sesko ry 2017. 76).

$$I_{zk} = \frac{I_z}{k} \quad (8)$$

jossa I_{zk} on johtimen korjattu kuormitettavuus, I_z on johtimen kuormitettavuuden minimiarvo ja k on korjauskertoimien tulo.

$$I_{zk} = \frac{441 \text{ A}}{0,85 \cdot 1,06} \approx 489 \text{ A}$$

Valitaan johtimen poikkipinta-ala taulukosta B.52.11 (Sesko ry 2017. 47). Taulukossa ei ole riittävän suurta johdinta, joten on käytettävä kahta kaapelia. 150 mm²

alumiinijohtimen kuormitettavuus on 245 A:ia, kun käytetään kahta kaapelia, niin kuormitettavuus on 490 A. Käytettävät kaapelit voisivat olla esimerkiksi AMCMK 4x150/41-tyyppisiä voimakaapeleita.

6.3 Syötön automaattinen poiskytkentä

Oletetaan A1:n ryhmäjohtojen täyttävän vaaditut poiskytkentäajat, koska uudessa syötössä on pienempi impedanssi, joten tarkastellaan vain poiskytkennän toteutuminen uuden asennuksen osalta. Standardissa vaaditaan nousukaapeleille korkeintaan 5 sekunnin poiskytkentäaika (Sesko ry 2017. 75). Jotta päästään vaadittuun poiskytkentäaikaan on pienimmän yksivaiheisen oikosulkuvirran oltava riittävän suuri, jotta suojalaitteena toimiva gG-sulake toimii vaaditussa ajassa. 400 A:n gG-sulakkeen pienin vaadittu oikosulkuvirta nähdään SFS 6000 taulukosta 41.5. (STUL ry 2017. 94) ja oikosulkuvirran pitää olla vähintään 2840 A.

Ennen oikosulkuvirran laskentaa on selvitettävä tarkasteltavan piirin impedanssi. Yksivaiheinen oikosulkuvirta kulkee vikatilanteessa viallisesta vaihejohtimesta suojajohtimen kautta muuntajan tähtipisteeseen. Eli impedanssia laskettaessa on otettava huomioon syöttävän verkon impedanssi, jakelumuuntajan impedanssi sekä johtimien impedanssit. TSV ilmoittaa liityntäpisteen suurimmaksi kolmivaiheiseksi oikosulkuvirraksi 24 kA. Lasketaan verkon impedanssi käyttämällä oikosulkuvirran laskentaa tarkoitettua kaavaa 9, johon on yhdistetty redusointi kerroin, koska tarkastelu tehdään 400 V:n tasossa. Laskennassa on oletettu verkon impedanssin koostuvan pääasiassa reaktiivisesta komponentista, joten tulokseksi saadaan verkon oikosulkureaktanssi X_d' (STUL ry 2017. 95).

$$I_{k3} = \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z} \cdot \left(\frac{U_2}{U_1} \right)^2 \quad (9)$$

, jossa I_{k3} on suurin kolmivaiheinen oikosulkuvirta, c on jännitteen aleneman huomioon otettava kerroin, U on pääjännite, U_1 on ensiöpuolen pääjännite, U_2 on toisiöpuolen pääjännite ja Z on koko tarkasteltavan piirin impedanssi.

$$X'_d = \frac{1,1 \cdot 20 \text{ kV}}{\sqrt{3} \cdot 24 \text{ kA}} \cdot \left(\frac{0,4}{20}\right)^2 \approx 0,2 \text{ m}\Omega$$

Verkon oikosulkureaktanssiksi saatiin 0,2 mΩ. Seuraavaksi ratkaistaan jakelumuuntajan impedanssi, joka koostuu pääasiassa reaktiivisesta komponentista, joten tulokseksi saadaan muuntajan oikosulkureaktanssi X_m . Muuntajan impedanssit on laskettu kaavalla 10, jossa on käytetty muuntajan nimellisjännitettä, -tehoa ja suhteellista impedanssia. Teollisuusverkon jakelumuuntajan suhteellisen oikosulkuimpedanssin prosentuaalinen arvo on 6,08 %.

$$X_m = z_k \frac{U_n^2}{S_n} \quad (10)$$

, jossa X_m on muuntajan oikosulkureaktanssi, z_k on muuntajan suhteellinen oikosulkuimpedanssi, U_n on muuntajan nimellisjännite ja S_n on muuntajan nimellisenäennäisteho.

$$X_m = 0,0608 \cdot \frac{400 \text{ V}^2}{1000 \text{ kVA}} \approx 9,7 \text{ m}\Omega$$

Muuntajan oikosulkureaktanssiksi saatiin 9,7 mΩ. Seuraavaksi lasketaan johtimien impedanssit. Olemassa olevan kaapelin pituudeksi on ilmoitettu 45 m, mutta nykyisen kaapelin kulkureitistä ei olla varmoja, joten uuden kaapelin pituus ei välttämättä ole sama. Käytetään laskennassa pessimistisempää pituutta 50 m. Käytetään laskennassa taulukossa 41.6 esitettyjä likiarvoja (STUL ry 2017. 96). 150 mm² alumiinijohtimelle on esitetty ominaisresistanssiksi 0,258 Ω/km sekä ominaisreaktanssiksi 0,08 Ω/km. Käytetään suojajohtimen laskennassa johdinko-koa 35 mm², jonka ominaisresistanssi on 0,652 Ω/km sekä ominaisreaktanssi 0,083 Ω/km. Lasketaan syöttökaapelin oikosulkuresistanssi R_j kaavalla 11 sekä oikosulkureaktanssi X_j kaavalla 12.

$$R_j = l \cdot r \quad (11)$$

, jossa R_j on kaapelin oikosulkuresistanssi, l on kaapelin pituus ja r on kaapelin ominaisresistanssi.

$$R_j = \frac{0,05 \text{ km} \cdot 0,258 \frac{\Omega}{\text{km}} + 0,05 \text{ km} \cdot 0,652 \frac{\Omega}{\text{km}}}{2} \approx 22,8 \text{ m}\Omega$$

$$X_j = l \cdot x \quad (12)$$

, jossa X_j on kaapelin oikosulkureaktanssi, l on kaapelin pituus ja x on kaapelin ominaisreaktanssi.

$$X_j = \frac{0,05 \text{ km} \cdot 0,08 \frac{\Omega}{\text{km}} + 0,05 \text{ km} \cdot 0,083 \frac{\Omega}{\text{km}}}{2} \approx 4,1 \text{ m}\Omega$$

Kaapelin oikosulkuresistanssi sekä -reaktanssi on jaettu kahdella, koska käytössä on kaksi kaapelia. Kaapelien oikosulkuresistanssiksi saatiin 22,8 mΩ ja oikosulkureaktanssiksi saatiin 4,1 mΩ. Tarkasteltavan piirin impedanssien komponentit on selvitetty, joten lasketaan piirin impedanssi käyttämällä kaavaa 13.

$$Z = \sqrt{R_j^2 + (X_d' + X_m + X_j)^2} \quad (13)$$

, jossa Z on piirin impedanssi, R_j on kaapelin oikosulkuresistanssi, X_d' on verkon oikosulkureaktanssi 400 V:n jännitetasossa, X_m on muuntajan oikosulkureaktanssi ja X_j on kaapelin oikosulkureaktanssi.

$$Z = \sqrt{22,8 \text{ m}\Omega^2 + (0,2 + 9,7 + 4,1) \text{ m}\Omega^2} \approx 26,8 \text{ m}\Omega$$

Tarkasteltavan piirin impedanssiksi saatiin 26,8 mΩ. Lasketaan keskukselle A1 pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta käyttämällä kaavaa 14, jossa on käytetty jännitteen aleneman kertoimena 0,95.

$$I_k = \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z} \quad (14)$$

, jossa I_k on yksivaiheinen oikosulkuvirta, c on jännitteen aleneman huomioon otettava kerroin, U on pääjännite ja Z on tarkasteltavan piirin impedanssi.

$$I_k = \frac{0,95 \cdot 400 \text{ V}}{\sqrt{3} \cdot 0,0268 \Omega} \approx 8186 \text{ A}$$

Tarkasteltavan piirin yksivaiheiseksi oikosulkuvirraksi saatiin noin 8 kA. Syötön automaattisen poiskytkennän todetaan onnistuvan ajallaan, koska keskukselle A1 laskettu pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta ylittää reilusti aikaisemmin lasketun vaaditun arvon 2840 A.

6.4 Keskuksen oikosulkukestoisuus

Uudelle keskukselle on määritettävä dynaaminen- sekä terminen oikosulkukestoisuus, jotta voidaan olla varmoja laitteiston oikosulunkestävyydestä sekä oikosulkuvirran katkaisukyvyistä. Dynaamisella oikosulkukestoisuudella tarkoitetaan oikosulun alkuhetkellä tapahtuvaa oikosulkuvirran huippuarvoa. Termisellä oikosulunkestoisuudella tarkoitetaan lyhytaikaista oikosulkuvirtaa tietyllä oikosulkuvirran rms-arvolla. Oikosulkukestoisuuden laskennassa käytetään prospektiivista oikosulkuvirtaa, jolla tarkoitetaan tarkasteltavan kohteen suurinta oikosulkuvirtaa, joka saadaan, kun tarkasteltava kohde oikosuljetaan. (Sesko ry 2016. 12-13.)

Käytetään laskennassa prospektiivisena oikosulkuvirtana keskuksen yksivaiheisen oikosulkuvirran arvoa. Laskennassa tarvitaan myös oikosulunkestoajaa, joka saadaan laskettua varokkeiden I^2t -arvosta, nämä arvot ovat saatavilla valmistajilta. Käytetään ABB:n OFAF2H400-tyypin kahvasulakkeita, joiden I^2t -arvo on noin 1300000 A²s (ABB 2019. 45). Prospektiiviseksi oikosulkuvirraksi saadaan 8,6 kA sekä oikosulunkestoajaksi saadaan 0,018 s.

$$I_p = \frac{1 \cdot 400 \text{ V}}{\sqrt{3} \cdot 0,0268 \Omega} \approx 8,6 \text{ kA}$$

$$t = \frac{1300000 \text{ A}^2\text{s}}{8,6 \text{ kA}^2} \approx 0,018 \text{ s}$$

Dynaamisen oikosulkuvirran laskennassa käytetään kerrointa k , joka määräytyy verkon resistanssin sekä reaktanssin suhteesta. Tarkastelun helpottamiseksi käytetään pienjänniteverkon pessimistisintä kerrointa 1,8. Dynaaminen oikosulkuvirta saadaan laskettua käyttämällä kaavaa 15. (ABB 2000, 7.)

$$I_{\text{dyn}} = k\sqrt{2}I_p \quad (15)$$

, jossa I_{dyn} on dynaaminen oikosulkuvirta, k on R/X -suhteesta riippuva kerroin ja I_p on prospektiivinen oikosulkuvirta.

$$I_{\text{dyn}} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 8,6 \text{ kA} \approx 22 \text{ kA}$$

Termisen oikosulkuvirran laskennassa käytetään kertoimia m ja n . Kertoimet kuvaavat tasa- ja vaihtovirta komponenttien vaimenemista oikosulunaikana. Tasavirtakomponentin kertoimella on riippuvuus oikosulunkestoajaan. Vaihtovirtakomponentin kertoimella on riippuvuus dynaamisen sekä prospektiivisen oikosulkuvirran suhteeseen. Kertoimet on määritetty TTT-käsikirjan kuvaajista. Termisen oikosulkuvirta voidaan laskea käyttämällä kaavaa 16. (ABB 2000, 7.)

$$I_{\text{th}} = I_p \sqrt{m + n} \quad (16)$$

, jossa I_{th} on terminen oikosulkuvirta, I_p on prospektiivinen oikosulkuvirta, m on tasavirtakomponentin kerroin ja n on vaihtovirtakomponentin kerroin.

$$I_{\text{th}} = 8,6 \text{ kA} \cdot \sqrt{1,3 + 1} \approx 13 \text{ kA}$$

Uuden keskuksen dynaamisen oikosulunkestävyyden pitää olla vähintään 22 kA ja termisen oikosulunkestävyyden pitää olla vähintään 13 kA. Yleensä valmistajat ilmoittavat termiselle oikosulunkestoisuudelle arvon yhden sekunnin aikana, jolloin pitää laskea yhden sekunnin oikosulunkestoisuus käyttämällä kaavaa 17. (ABB 2000, 7.)

$$I_{\text{cw1s}} = I_{\text{th}} \sqrt{\frac{t_N}{t}} \quad (17)$$

jossa I_{cw1s} on oikosulunkestoisuus yhden sekunnin aikana, I_{th} on terminen oikosulkuvirta, t_N on nimellinen ilmoitettu aika ja t on oikosulunkestoaja.

$$I_{\text{cw1s}} = 13 \text{ kA} \cdot \sqrt{\frac{1 \text{ s}}{0,018 \text{ s}}} \approx 97 \text{ kA}$$

6.5 Kompensoinnin uusinta

Nykyinen kompensointilaitteisto ei kykene kompensoimaan riittävästi teollisuusverkon loistehoa. Kompensointilaitteiston tarkoituksena on kompensoida käytössä olevan tehon tehokerrointa kohti arvoa yksi, mutta kompensointia ei saisi ylittää, jolloin syötetään loistehoa jakeluverkkoon. Vanha laitteisto tulisi korvata uudella laitteistolla, jotta vältetään virheellisesti suunnitellulla laitteistolla aiheutuvat sähkölaatu ongelmat. Uuden laitteiston suunnittelussa tulisi ottaa huomioon kohteessa olevat yliaallot. Erilaiset käytettävissä olevat ratkaisut ovat estokelapari, suodatinpari sekä aktiivisuodatin. (TSV 2021, 3-4.)

Otetaan uuden laitteiston mitoituksessa huomioon mahdolliset kuormitusta kasvattavat tekijät, eli uudesta tuotantolinjasta sekä A1 uusinnasta lisääntyvä loistehontarve. Selvitetään lisääntyvä loistehontarve kasvavan pätötehon avulla. Uudelle tuotantolinjalle voidaan arvioida pätötehoksi noin 77 kW. A1:lle on laskettava uusi kokonaispätöteho, jolloin käytetään laskennassa nykyisenä kuormituksena teoreettisen sekä mitatun tuloksen keskiarvoa 126 kW. A1:lle saadaan kapasiteetin kasvattamisella 110 kW:a lisää kuormitettavuutta.

$$P_{\max} = 400 \text{ V} \cdot 400 \text{ A} \cdot \sqrt{3} \cdot 0,85 \approx 236 \text{ kW}$$

$$P_{\text{varat}} = 236 \text{ kW} - 126 \text{ kW} \approx 110 \text{ kW}$$

Lisätään kasvava pätöteho mitattuun liittymän kokonaispätötehoon käyttämällä tasauskerrointa ja ratkaistaan näennäisteho, jotta voidaan laskea loistehontarve kuormituksen ollessa huipussaan.

$$P_h = 400 \text{ kW} + 0,45 \cdot (77 \text{ kW} + 110 \text{ kW}) \approx 484 \text{ kW}$$

$$S = \frac{484 \text{ kW}}{0,85} \approx 570 \text{ kVA}$$

$$Q = \sqrt{570 \text{ kVA}^2 - 484 \text{ kW}^2} \approx 300 \text{ kVAr}$$

Uuden kompensointi laitteiston tulisi kyetä kompensoimaan ainakin 300 kVAr:n induktiivinen loisteho. Laitteiston hankinnassa tulisi myös ottaa huomioon sopiva porrastus kuormituksen mukaan.

7 POHDINTA

Työn tarkoituksena oli tuottaa työn toimeksiantajalle mahdollisimman laaja-alainen selvitys teollisuusverkon tilasta. Kuormituksia selvitettiin soveltamalla ST-kortin 13.31 huippupätötehon arvioinnin laskentakaavaa sekä kertoimia. Tehtaalla suoritettiin sähkönlaatumittauksia verkkoanalysointilla, minkä tuloksia verrattiin kuormitusten osalta laskennallisiin tuloksiin sekä mittaukset mahdollistivat yliaaltojen tarkastelun. TSV:ltä hankittiin vuoden 2020 kulutustiedot, joista oli mahdollista tarkastella kokonaispätötehon kulutusta, sekä loistehonkompensoinnin riittävyttä.

Kuormitustason selvityksessä huomattiin ryhmäkeskuksilla sekä pääkeskuksella olevan vielä kuormitusvaraa, vaikka kaikki vapaat lähdöt olisivatkin käytössä. Laskennalliset ja mitatut tulokset olivat melko lähellä toisiaan. Osassa tuloksia laskennalliset arvot olivat reilusti suurempi kuin mitatut, oletetaan tämän johtuneen suuresta määrästä pistorasiakuormaa, joka mahdollisesti ei ollut käytössä mittauksien aikana. Teollisuusverkon yliaallot olivat vielä sallituissa rajoissa, tulosta voidaan pitää luotettavana, koska käytettiin mitattuja arvoja. Loistehonkompensoinnin huomattiin olevan riittämätön. Opinnäytetyössä saatiin muodostettua kuva toimeksiantaja yrityksen teollisuusverkon tilasta.

Työstä saatujen tulosten perusteella esitettiin parannusehdotuksia. Uuden tuotantolinjan on mahdollista saada kuormitettavuuden osalta sähkönsyöttö RK5:lta, jatkotoimenpiteenä olisi selvittää kyseisen ryhmäkeskuksen soveltuminen tähän. Toisena ehdotuksena oli A1:n uusiminen ja samalla kapasiteetin kasvattaminen, tämä toisi uusia sulakelähtöjä tuotannon läheisyyteen, jatkotoimenpiteenä olisi selvittää uuden keskuksen rakenne, eli mitä olemassa olevia lähtöjä siihen halutaan siirtää vanhasta keskukselta ja minkälaisia varauksia tehdään tulevaisuuden varalle. Nykyinen loistehonkompensointi tulisi korvata uudella, jatkotoimenpiteenä olisi selvittää uuden laitteiston tyyppi ja miettiä mahdollista yliaaltojen suodatusta, joka on tällä hetkellä sallituissa rajoissa.

LÄHTEET

ABB 2019. Fusegear. DIN-type HRC-fuse links, 2...1250 A gG- and aM-types. Luettu 13.4.2021.
<https://library.e.abb.com/>

Hietalahti, L. 2011. Tehoelektroniikan perusteet. 1. painos. Tampere: Tammer-tekniikka / AMK-Kustannus Oy.

Lakervi, E. & Partanen, J. 2008. Sähkönjakelutekniikka. 3. painos. Helsinki: Gaudeamus / Otatieto.

Mäkelä, M., Soininen, L., Tuomola, S. & Öistämö, J. 2017. Tekniikan kaavasto. 17. painos. Tampere: Tammertekniikka / AMK-Kustannus Oy.

Sesko ry. 2017. SFS-käsikirja 600-1-1. Pienjännitesähköasennukset. 1. painos. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS ry.

Sesko ry. 2016. SFS-käsikirja 640 Sähkökeskukset. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS ry.

STUL ry. 2017. D1-2017. Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. 27. painos. Espoo: Sähköinfo Oy.

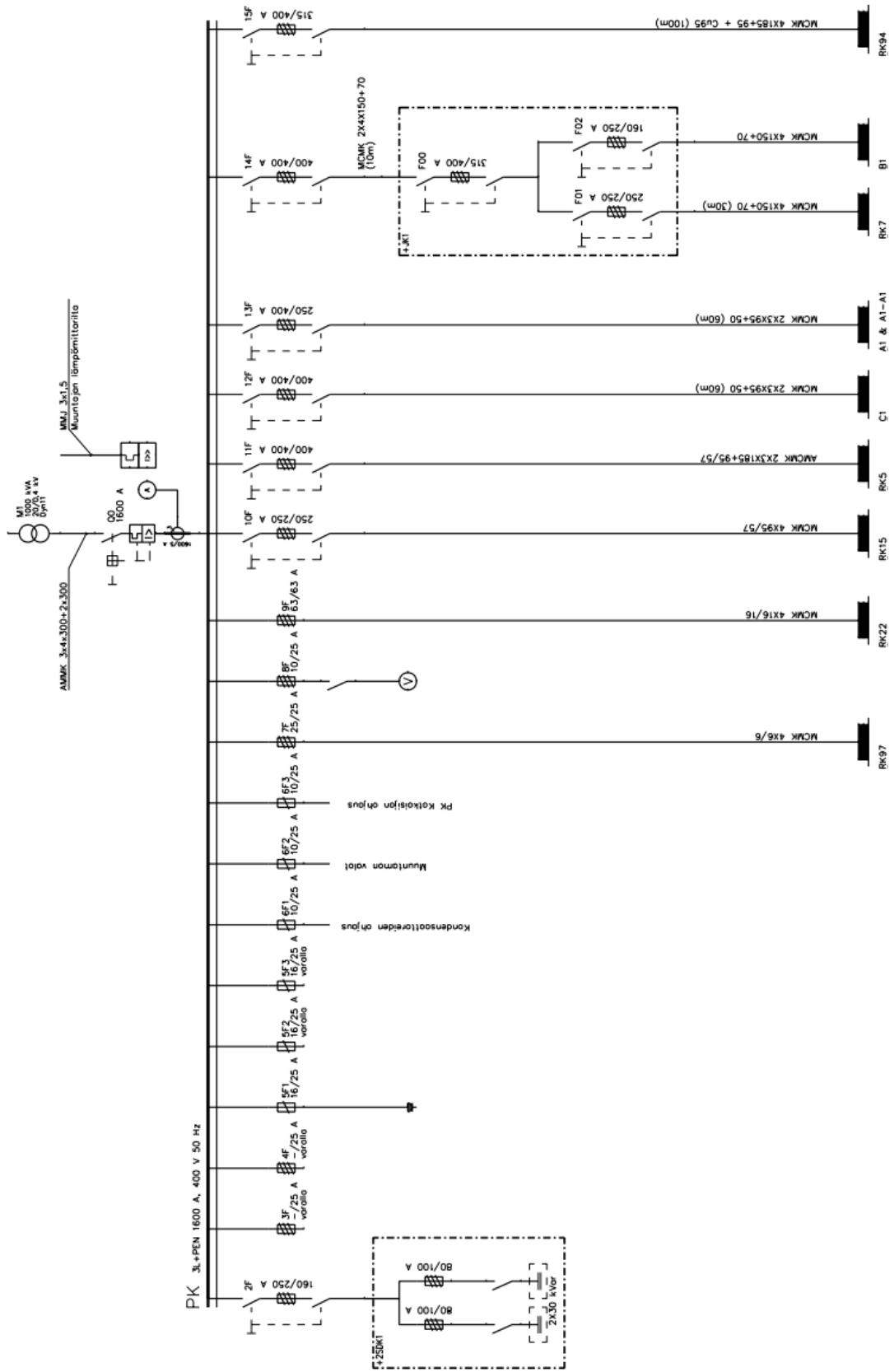
Suomalaiset ABB-yhtiöt. 2000. Teknisiä tietoja ja taulukoita. 10. painos. Vaasa: Ykkös-Offset Oy.

Sähkötieto ry. 2020. ST-kortisto. ST 13.31: Rakennuksen sähköverkon ja pienjänniteliittymän mitoittaminen. Espoo: Sähköinfo Oy.

Tampereen sähköverkko. n.d. Loistehon hinnoittelu ja kompensointi. Luettu 8.4.2021.
<https://www.sahkolaitos.fi/globalassets/tiedostot/ohjeet-ja-opasteet/sahko-verkko/tsv-ohjepankki/2.sahkonsuunnittelijalle-ja-urakoitsijalle/5.-loisteho-ja-kompensointi/1.-loistehon-kompensointi.pdf>

LIITTEET

Liite 1. Nousujohtokaavio



Liite 2. Moottorivalintataulukko

Oikosulkumoottorit 1LA

Normimoottori

Tekniset arvot / Valintataulukko

Nimellisteho kW	IEC runko- koko	Moottorityyppi Täydennettävä jännite ja asennusasento- koodilla, ks. taulukko alapuolella	Käyttöarvot nimellisteholla			Nimellisvirta 400 V:lla		Käynnistys- momentti	Käynnistys- virta	Kippi- momentti	Hitaus- momentti	Paino Asennus- asento IM B3
			Nimellis- nopeus	Hyötysuhte- suhde	Teho- kerroin	Nimellis- virta	Nimelle- väntö- momentti					
1500 min ⁻¹ , 4-napainen, 50 Hz												
0,06	56	1LA7 050-4AB ..	1305	56	0,78	0,20	0,43	1,9	2,8	2,0	0,00027	3,0
0,09		1LA7 053-4AB ..	1300	58	0,77	0,29	0,64	2,1	3,3	2,1	0,00027	3,0
0,12	53	1LA7 060-4AB ..	1350	58	0,70	0,44	0,85	1,9	2,7	1,9	0,0003	3,5
0,18		1LA7 063-4AB ..	1350	59	0,76	0,58	1,3	1,9	2,9	1,9	0,0004	4,0
0,25	71	1LA7 070-4AB ..	1350	60	0,79	0,76	1,8	1,9	3,0	1,9	0,0006	4,8
0,37		1LA7 073-4AB ..	1370	65	0,80	1,03	2,6	1,9	3,3	2,1	0,0008	6,0
0,55	80	1LA7 080-4AA ..	1395	67	0,81	1,45	3,7	2,2	3,9	2,2	0,0015	8,0
0,75		1LA7 083-4AA ..	1395	72	0,81	1,86	5,1	2,3	4,2	2,3	0,0018	9,4
1,1	90 S	1LA7 090-4AA ..	1410	73	0,83	2,65	7,5	2,0	4,3	2,3	0,0028	12,3
1,5	90 L	1LA7 096-4AA ..	1420	77	0,82	3,45	10	2,4	5,0	2,8	0,0035	15,6
2,2	100 L	1LA7 106-4AA ..	1420	80	0,82	4,9	15	2,5	5,2	2,6	0,0048	24
3		1LA7 107-4AA ..	1420	81,5	0,83	6,4	20	2,6	5,5	2,8	0,0058	26
4	112 M	1LA7 113-4AA ..	1440	84,0	0,83	8,3	27	2,7	6,5	3,0	0,01	31
5,5	132 S	1LA7 130-4AA ..	1455	86,0	0,81	11,4	36	2,4	6,3	3,1	0,018	45
7,5	132 M	1LA7 133-4AA ..	1455	87,5	0,82	15,1	49	2,7	6,7	3,2	0,024	56
11	160 M	1LA7 163-4AA ..	1460	88,5	0,84	21,4	72	2,4	6,3	2,9	0,040	76
15	160 L	1LA7 166-4AA ..	1460	90,0	0,84	28,5	98	2,8	6,5	3,2	0,062	93
18,5	180 M	1LA5 183-4AA ..	1460	90,5	0,83	35 ¹⁾	121	2,3	7,5	3,0	0,13	112
22	180 L	1LA5 186-4AA ..	1460	91,2	0,84	41 ¹⁾	144	2,3	7,5	3,0	0,15	126
30	200 L	1LA5 207-4AA ..	1465	91,8	0,86	55	196	2,6	7,0	3,2	0,24	170
37	225 S	1LA5 220-4AA ..	1470	92,9	0,87	66 ¹⁾	241	2,8	7,0	3,2	0,32	215
45	225 M	1LA5 223-4AA ..	1470	93,4	0,87	80 ¹⁾	293	2,8	7,7	3,3	0,36	235
55	250 M	1LA6 253-4AA ..	1475	94,0	0,87	97	356	2,4	6,7	2,5	0,79	435
75	280 S	1LA6 280-4AA ..	1480	94,7	0,86	132	484	2,5	6,7	2,7	1,4	610
90	280 M	1LA6 283-4AA ..	1480	94,9	0,86	160 ¹⁾	581	2,5	6,8	2,7	1,6	660
110	315 S	1LA6 310-4AA ..	1485	94,8	0,86	194	707	2,5	6,7	2,7	2,2	830
132	315 M	1LA6 313-4AA ..	1485	95,5	0,87	230 ¹⁾	849	2,5	6,9	2,7	2,7	910
160	315 L	1LA6 316-4AA ..	1485	95,8	0,87	275	1030	2,5	7,0	2,7	3,2	1060
200	315 L	1LA6 317-4AA ..	1488	96,2	0,87	345	1280	2,6	7,0	2,7	4,2	1200
250	315	1LA8 315-4AB ..	1488	96,0	0,88	425	1600	1,9	6,5	2,8	5,6	1300
315		1LA8 317-4AB ..	1488	96,3	0,89	540 ²⁾	2020	2,0	6,8	2,8	4,4	1500
355	355	1LA8 353-4AB ..	1488	96,3	0,87	610 ²⁾	2260	2,1	6,5	2,6	6,1	1900
400		1LA8 355-4AB ..	1488	96,4	0,87	690 ²⁾	2570	2,1	6,5	2,6	6,8	2000
500		1LA8 357-4AB ..	1488	96,8	0,88	850 ²⁾	3210	2,1	6,5	2,4	9,5	2200
560	400	1LA8 403-4AB ..	1492	96,8	0,88	960 ²⁾	3580	1,9	6,5	2,7	13	2600
630		1LA8 405-4AB ..	1492	97,0	0,88	1090 ²⁾	4030	1,9	6,8	2,7	14	3000
710		1LA8 407-4AB ..	1492	97,0	0,89	1300 ²⁾	4540	1,9	6,8	2,7	16	3200
800	450	1LA8 453-4AC ..	1492	97,0	0,88	780 ²⁾	5120	1,6	7,0	2,6	23	4000
900		1LA8 455-4AC ..	1492	97,1	0,88	880 ²⁾	5760	1,6	7,0	2,6	26	4200
1000		1LA8 457-4AC ..	1492	97,1	0,89	970 ²⁾	6400	1,7	7,0	2,6	28	4400

Numerokoodit moottorityypin täydentämiseen:

Moottorityyppi	Ensimmäinen piste: jännite							Jälkimmäinen piste: asennusasento					
	50 Hz		60 Hz		60 Hz			IM B3					
	230 VΔ	400 VΔ	500 VY	500 VΔ	690 VΔ	460 VY	460 VΔ	IM B5	IM V1	IM V1	IM B14	IM B14	IM B35
	400 VY	690 VY						ilman	sade- suojaa	suoja	ilman	ilman	
1LA7 050 .. 1LA7 096	1	6	3	-	-	1	6	0	1	1	4	2	3
1LA 106 .. 1LA 207	1	6	3	5	-	1	6	0	1	1	4	2	3
1LA 220 .. 1LA 313	1	6	3	5	-	-	6	0	1	1	4	-	-
1LA6 316 ja 1LA6 317	-	6	-	5	-	-	9L2F	0	-	8	4	-	-
1LA8 315 .. 1LA8 405	-	6	-	5	-	-	9L2F	0	-	8	4	-	-
1LA8 407 .. 1LA8 457	-	-	-	5	0	-	kyytäessä	0	-	8	4	-	-

1) 230 V:n kytkennässä tarvitaan rinnakkaiset kaapelit.
2) 400 V:n kytkennässä tarvitaan rinnakkaiset kaapelit.

3) 500 V:n kytkennässä tarvitaan rinnakkaiset kaapelit.
4) 690 V:n kytkennässä tarvitaan rinnakkaiset kaapelit.

5) Nimellisvirta 690 V:lla.
6) Toimitetaan moottorikokoon 1LA7 113 saakka.

Liite 3. RK5 kuormat

Keskus	Laite	3~/1~	n	Pm	U	I	cosφ	P	P x n	Sijainti	Kuormituksen tyyppi
RK5	PR16	3~	6		400	13	0,85	7656	45934	Ky-mene	Huolto
RK5	Lämmi- tin	3~	2		400	13	1	9007	18013	Ky-mene	Kiinteistö
RK5	Moot- tori	3~	4	750	400	1,5	0,82	852	3409	Ky-mene	Kiinteistö
RK5	Lämmi- tin	3~	3		400	5	1	3464	10392	Ky-mene	Kiinteistö
RK5	Valo	1~	4		230	13	0,95	2841	11362	Ky-mene	Kiinteistö
RK5	IK	3~	1		400	16	0,95	10531	10531	Ky-mene	Tuotanto
RK5	Moot- tori	3~	4	550	400	1,03	0,8	571	2284	Ky-mene	Tuotanto
RK5	Moot- tori	3~	1	3000	400	6,4	0,82	3636	3636	Ky-mene	Tuotanto
RK5	Moot- tori	3~	3	750	400	1,5	0,82	852	2557	Ky-mene	Tuotanto
RK5	Moot- tori	3~	3	1500	400	3,45	0,82	1960	5880	Ky-mene	Tuotanto
RK5	Moot- tori	3~	4	2200	400	4,9	0,82	2784	11135	Ky-mene	Tuotanto
RK5	Moot- tori	3~	3	7500	400	11,4	0,86	6792	20377	Ky-mene	Tuotanto
RK5	Moot- tori	3~	2	4000	400	8,3	0,83	4773	9546	Ky-mene	Tuotanto
RK6	Lämmi- tin	3~	3		400	25	1	10000	30000	Ky-mene	Kiinteistö

Liite 4. RK7 ja B1 kuormat

Keskus	Laite	3~/1~	n	Pm	U	I	cosφ	P	P x n	Sijainti	Kuormituksen tyyppi
RK7	PR16	3~	1		400	13	0,85	7656	7656	Kompressori	Huolto
RK7	PR16	1~	1		230	13	0,95	2841	2841	Kompressori	Kiinteistö
RK7	Moottori	1~	1	750	230	5	0,75	863	863	Kompressori	Kiinteistö
RK7	Valo	1~	1		230	8	0,95	1748	1748	Kompressori	Kiinteistö
RK7	Moottori	3~	1	750	400	1,5	0,82	852	852	Kompressori	Tuotanto
RK7	Taajuusmuuttaja	3~	2		400	45	1	31177	62354	Kompressori	Tuotanto
RK7	EKONO	1~	1		230	10	0,95	2185	2185	Kompressori	Tuotanto
B1	PR32	3~	1		400	25	0,85	14722	14722	Kattila	Huolto
B1	Moottori	3~	3	550	400	1,03	0,8	571	1713	Kattila	Kiinteistö
B1	PR16	1~	4		230	13	0,95	2841	11362	Kattila	Kiinteistö
B1	Lämmitin	1~	3		230	6	1	1380	4140	Kattila	Kiinteistö
B1	Moottori	1~	2	750	230	5	0,75	863	1725	Kattila	Kiinteistö
B1	Valo	1~	3		230	10	0,95	2185	6555	Kattila	Kiinteistö
B1A1	PR32	3~	1		400	25	0,85	14722	14722	Verstas	Huolto
B1A1	PR16	3~	4		400	13	0,85	7656	30623	Verstas	Huolto
B1A1	PRK12	3~	1		400	25	0,85	14722	14722	Verstas	Huolto
B1A1	Novot.	3~	1		400	6	0,95	3949	3949	Verstas	Huolto
B1A1	Lämmitin	3~	2		400	6	1	4157	8314	Verstas	Huolto
B1A1	Moottori	3~	2	750	400	1,5	0,82	852	1704	Verstas	Kiinteistö
B1A1	Moottori	3~	3	550	400	1,03	0,8	571	1713	Verstas	Kiinteistö
B1A1	Lämmitin	3~	1		400	6	1	4157	4157	Verstas	Kiinteistö
B1A1	PR16	1~	4		230	13	0,95	2841	11362	Verstas	Kiinteistö
B1A1	Valo	1~	7		230	8	0,95	1748	12236	Verstas	Kiinteistö
OK01	Taajuusmuuttaja	3~	2		400	45	1	31177	62354	Kattila	Tuotanto
RK100	Moottori	3~	2	550	400	1,03	0,8	571	1142	Kattila	Tuotanto
RK100	Moottori	3~	1	750	400	1,5	0,82	852	852	Kattila	Tuotanto
RK100	Moottori	3~	1	5500	400	11,4	0,81	6398	6398	Kattila	Tuotanto
RK100	Lämmitin	3~	1		400	6	1	4157	4157	Kattila	Tuotanto
RK100	Lämmitin	3~	1		400	6	1	4157	4157	Kattila	Tuotanto
RK100	Lämmitin	1~	2		230	6	1	1380	2760	Kattila	Tuotanto
RKUV1	Valo	1~	7		230	10	0,95	2185	15295	Ulkona	Kiinteistö
OK500	Moottori	3~	2	5500	400	11,4	0,81	6398	12795	Kattila	Tuotanto
RK101	Muut	1~	3		230	6	0,95	1311	3933	Kattila	Tuotanto
OK100	Muut	1~	15		230	6	0,95	1311	19665	Kattila	Tuotanto
RK18	Muut	1~	5		230	6	0,95	1311	6555	Verstas	Kiinteistö
RK18	Muut	1~	5		230	13	0,95	2841	14203	Verstas	Tuotanto

Liite 5. RK15 kuormat

Kes- kus	Laite	3~/1~	n	Pm	U	I	cosφ	P	P x n	Sijainti	Kuormituk- sen tyyppi
RK15	PR32	3~	1		400	25	0,85	14722	14722	Lieteeal- las	Huolto
RK15	PR16	3~	2		400	13	0,85	7656	15311	Lieteeal- las	Huolto
RK15	PR16	1~	3		230	13	0,95	2841	8522	Lieteeal- las	Kiinteistö
RK15	Valo	1~	9		230	13	0,95	2841	25565	Lieteeal- las	Kiinteistö
RK15	Taajuus- muuttaja	3~	1		400	7	1	4850	4850	Lieteeal- las	Tuotanto
RK15	Taajuus- muuttaja	3~	2		400	3	1	2078	4157	Lieteeal- las	Tuotanto
RK15	Moottori	3~	4	370	400	1,1	0,8	610	2439	Lieteeal- las	Tuotanto
RK15	AK	3~	1		400	6	0,85	3533	3533	Lieteeal- las	Tuotanto
RK15	Lämmitin	3~	2		400	6	1	4157	8314	Lieteeal- las	Tuotanto
RK30	PRK21	3~	1		400	25	0,85	14722	14722	Lieteeal- las	Huolto
RK30	PRK22	3~	1		400	35	0,85	20611	20611	Lieteeal- las	Huolto
RK30	PRK31	3~	1		400	25	0,85	14722	14722	Lieteeal- las	Huolto
RK30	PR32	3~	1		400	25	0,85	14722	14722	Lieteeal- las	Huolto
RK30	PR16	3~	2		400	13	0,85	7656	15311	Lieteeal- las	Huolto
RK30	Lämmitin	1~	1		230	6	1	1380	1380	Lieteeal- las	Kiinteistö
RK30	Muut	1~	1		230	6	0,95	1311	1311	Lieteeal- las	Kiinteistö
RK30	PR16	1~	2		230	13	0,95	2841	5681	Lieteeal- las	Kiinteistö
RK30	Valo	1~	9		230	13	0,95	2841	25565	Lieteeal- las	Kiinteistö

Liite 6. RK22 ja RK97 kuormat

Kes- kus	Laite	3~/1~	n	Pm	U	I	cosφ	P	P x n	Sijainti	Kuormituk- sen tyyppi
RK22	PR32	3~	1		400	25	0,85	14722	14722	Lämminva- rasto	Huolto
RK22	PR16	3~	2		400	13	0,85	7656	15311	Lämminva- rasto	Huolto
RK22	PRK21	3~	1		400	25	0,85	14722	14722	Lämminva- rasto	Huolto
RK22	Läm- mitin	3~	4		400	6	1	4157	16628	Lämminva- rasto	Kiinteistö
RK22	Moot- tori	3~	4	1500	400	3	0,75	1559	6235	Lämminva- rasto	Kiinteistö
RK22	PR16	1~	7		230	13	0,95	2841	19884	Lämminva- rasto	Kiinteistö
RK22	Valo	1~	9		230	8	0,95	1748	15732	Lämminva- rasto	Kiinteistö
RK2	Moot- tori	3~	2	2200	400	5	0,82	2841	5681	Lämminva- rasto	Kiinteistö
RK2	Moot- tori	3~	2	1500	400	3	0,82	1704	3409	Lämminva- rasto	Kiinteistö
RK2	Läm- mitin	1~	4		230	6	1	1380	5520	Lämminva- rasto	Kiinteistö
RK2	PR16	1~	2		230	13	0,95	2841	5681	Lämminva- rasto	Kiinteistö
RK2	Moot- tori	1~	3	370	230	2,4	0,75	414	1242	Lämminva- rasto	Kiinteistö
RK2	Valo	1~	10		230	8	0,95	1748	17480	Lämminva- rasto	Kiinteistö
RK97	Läm- mitin	3~	7		400	6	1	4157	29098	Lastauslai- turi (länsi)	Kiinteistö
RK97	PRK6	3~	1		400	25	0,85	14722	14722	Lastauslai- turi (länsi)	Huolto

Liite 7. RK94 kuormat

Kes- kus	Laite	3~/1~	n	Pm	U	I	cosφ	P	P x n	Sijainti	Kuormituksen tyyppi
RK94	Moot- tori	3~	1	2200	400	4,9	0,82	2784	2784	Säiliöt	Tuotanto
RK94	Moot- tori	3~	7	1500	400	3,45	0,82	1960	13720	Säiliöt	Tuotanto
RK95	PR16	3~	1		400	13	0,85	7656	7656	Parkki	Huolto
RK95	PR16	1~	11		230	13	0,95	2841	31246	Parkki	Kiinteistö
RK95	Läm- mitin	1~	1		230	13	1	2990	2990	Parkki	Kiinteistö
RK95	Valo	1~	7		230	13	0,95	2841	19884	Parkki	Kiinteistö
RK98	PR16	3~	1		400	13	0,85	7656	7656	Parkki	Huolto
RK98	Läm- mitin	3~	5		400	13	1	9007	45033	Parkki	Kiinteistö
RK98	PR16	1~	1		230	13	0,95	2841	2841	Parkki	Kiinteistö
RK14	Moot- tori	3~	1	1500	400	3,45	0,82	1960	1960	C	Tuotanto
RK99	Läm- mitin	3~	5		400	3,8	1	2633	13164	Las- taus	Kiinteistö

Liite 8. A1 ja 1-A1 kuormat

Keskus	Laite	3~/1~	n	Pm	U	I	cosφ	P	P x n	Sijainti	Kuormituksen tyyppi
A1	Moottori	3~	4	550	400	1,03	0,82	585	2341	B	Kiinteistö
A1	PR10	1~	2		230	8	0,95	1748	3496	B	Kiinteistö
A1	Lämmitin	1~	1		230	10	1	2300	2300	B	Kiinteistö
A1	Moottori	3~	4	750	400	1,5	0,82	852	3409	B	Tuotanto
A1	Moottori	3~	5	1500	400	3,45	0,82	1960	9800	B	Tuotanto
A1	Moottori	3~	3	5500	400	11,4	0,81	6398	19193	B	Tuotanto
A1	HOK	3~	1		400	6	0,95	3949	3949	B	Tuotanto
A1	Muut	3~	2		400	13	0,85	7656	15311	B	Tuotanto
RK8	Moottori	1~	4	750	230	5	0,75	863	3450	Neuvottelu	Kiinteistö
RK8	PR16	1~	20		230	13	0,95	2841	56810	Neuvottelu	Kiinteistö
RK8	Valo	1~	6		230	8	0,95	1748	10488	Neuvottelu	Kiinteistö
RK11	Moottori	1~	1		230	5	0,75	863	863	Konttori	Kiinteistö
RK11	PR16	1~	9		230	13	0,95	2841	25565	Konttori	Kiinteistö
RK11	Valo	1~	11		230	8	0,95	1748	19228	Konttori	Kiinteistö
RK9	PRK	3~	4		400	25	0,85	14722	58890	C	Huolto
RK9	PR10	1~	2		230	8	0,95	1748	3496	C	Kiinteistö
RK9	Lämmitin	1~	7		230	6	1	1380	9660	C	Kiinteistö
RK9	Moottori	1~	3	750	230	5	0,75	863	2588	C	Kiinteistö
RK9	Valo	1~	4		230	8	0,95	1748	6992	C	Kiinteistö
RK9	Moottori	3~	3	3000	400	6,4	0,83	3680	11041	C	Tuotanto
RK9	Moottori	3~	4	1500	400	3,45	0,82	1960	7840	C	Tuotanto
RK9	Lämmitin	3~	1		400	25	1	17321	17321	C	Tuotanto
RK9	Moottori	3~	1	550	400	1,03	0,82	585	585	C	Tuotanto
RK9	Moottori	3~	2	750	400	1,5	0,82	852	1704	C	Tuotanto
RK9.1	Moottori	3~	1	1500	400	3,45	0,82	1960	1960	C	Tuotanto
RK9.1	Moottori	3~	4	550	400	1,03	0,82	585	2341	C	Tuotanto
RK9.1	Moottori	3~	9	750	400	1,5	0,82	852	7670	C	Tuotanto
RK9.1	Taajuusmuuttaja	3~	4		400	4	1	2771	11085	C	Tuotanto
RK9.1	Taajuusmuuttaja	3~	2		400	7	1	4850	9699	C	Tuotanto
RK9.1	Taajuusmuuttaja	3~	1		400	12	1	8314	8314	C	Tuotanto
RK9.1	Muut	3~	10		400	13	0,85	7656	76557	C	Tuotanto
RK9.1	Lämmitin	1~	4		230	8	1	1840	7360	C	Kiinteistö
RK9.1	Valo	1~	2		230	8	0,95	1748	3496	C	Kiinteistö
RK9.2	Moottori	3~	6	1500	400	3,45	0,82	1960	11760	C	Tuotanto
RK9.2	Moottori	3~	3	3000	400	6,4	0,83	3680	11041	C	Tuotanto
RK9.2	Moottori	3~	7	750	400	1,5	0,82	852	5965	C	Tuotanto

RK9.2	Taajuusmuuttaja	3~	1		400	22	1	15242	15242	C	Tuotanto
RK9.2	Lämmitin	3~	2		400	6	1	4157	8314	C	Tuotanto
RK9.2	Muut	3~	2		400	13	0,85	7656	15311	C	Tuotanto
RK9.2	Valo	1~	3		230	8	0,95	1748	5244	C	Kiinteistö
RK9.2	PR16	1~	7		230	13	0,95	2841	19884	C	Kiinteistö
RK9.3	Moottori	3~	4	3000	400	6,4	0,83	3680	14721	C	Tuotanto
RK9.3	Moottori	3~	4	750	400	1,5	0,82	852	3409	C	Tuotanto
RK9.3	Moottori	3~	1	1500	400	3,45	0,82	1960	1960	C	Tuotanto
RK9.3	Moottori	3~	1	550	400	1,03	0,82	585	585	C	Tuotanto
RK9.3	Muut	3~	5		400	13	0,85	7656	38278	C	Tuotanto
RK10	Moottori	1~	2	750	230	5	0,75	863	1725	Labra	Tuotanto
RK10	Muut	1~	8		230	13	0,85	2542	20332	Labra	Kiinteistö
RK10	PR10	1~	1		230	8	0,95	1748	1748	Labra	Kiinteistö
RK10	Valo	1~	1		230	13	0,95	2841	2841	Labra	Kiinteistö
RK10	PR16	1~	3		230	13	0,95	2841	8522	Labra	Kiinteistö
RK96	Lämmitin	3~	2		400	6	1	2400	4800	D	Kiinteistö
A1A1	Moottori	3~	1	750	400	1,5	0,82	852	852	B	Kiinteistö
A1A1	Moottori	3~	1	1500	400	3,45	0,82	1960	1960	B	Kiinteistö
A1A1	Moottori	3~	1	2200	400	4,9	0,82	2784	2784	B	Kiinteistö
A1A1	Lämmitin	1~	1		230	6	1	1380	1380	B	Kiinteistö
A1A1	Lämmitin	1~	1		230	6	1	1380	1380	B	Kiinteistö
A1A1	PR10	1~	1		230	8	0,95	1748	1748	B	Kiinteistö
A1A1	Valo	1~	17		230	8	0,95	1748	29716	B	Kiinteistö
A1A1	Moottori	3~	1	750	400	1,5	0,82	852	852	B	Tuotanto
RKA101	PR32	3~	2		400	25	0,85	14722	29445	Patahuone	Huolto
RKA101	Moottori	3~	5	750	400	1,5	0,82	852	4261	Patahuone	Kiinteistö
RKA101	Moottori	3~	4	550	400	1,03	0,8	571	2284	Patahuone	Kiinteistö
RKA101	Moottori	3~	1	2200	400	4,9	0,82	2784	2784	Patahuone	Kiinteistö
RKA101	Lämmitin	1~	13		230	6	1	2390	31073	Patahuone	Kiinteistö
RKA101	PR16	1~	4		230	13	0,95	2841	11362	Patahuone	Kiinteistö
RKA101	PR10	1~	1		230	8	0,95	1748	1748	Patahuone	Kiinteistö
RKA101	Valo	1~	2		230	8	0,95	1748	3496	Patahuone	Kiinteistö
RKA101	Moottori	3~	1	750	400	1,5	0,82	852	852	Patahuone	Tuotanto
RKA101	Moottori	3~	2	1500	400	3,45	0,82	1960	3920	Patahuone	Tuotanto
RKA101	Muut	3~	3		400	13	0,85	7656	22967	Patahuone	Tuotanto

Liite 9. C1 kuormat

Kes- kus	Laite	3~/1~	n	Pm	U	I	cosφ	P	P x n	Sijainti	Kuormituk- sen tyyppi
C1	Lämmitin	1~	4		230	6	1	1380	5520	B	Kiinteistö
C1	Valo	1~	1		230	6	0,95	1311	1311	B	Kiinteistö
C1	Moottori	3~	1	1500	400	3,45	0,82	1960	1960	B	Tuotanto
C1	Moottori	3~	3	750	400	1,5	0,82	852	2557	B	Tuotanto
C1	Moottori	3~	1	2200	400	4,9	0,82	2784	2784	B	Tuotanto
C1	Lämmitin	3~	1		400	13	1	9007	9007	B	Tuotanto
C1	Muut	3~	4		400	6	0,85	3533	14134	B	Tuotanto
RK1	PR16	3~	1		400	13	0,85	7656	7656	Lähet- tämö	Huolto
RK1	Moottori	3~	2	1500	400	3,45	0,82	1960	3920	Lähet- tämö	Kiinteistö
RK1	Moottori	3~	3	750	400	1,5	0,82	852	2557	Lähet- tämö	Kiinteistö
RK1	Moottori	3~	3	550	400	1,03	0,8	571	1713	Lähet- tämö	Kiinteistö
RK1	Lämmitin	3~	3		400	6	1	4157	12471	Lähet- tämö	Kiinteistö
RK1	PR16	1~	2		230	13	0,95	2841	5681	Lähet- tämö	Kiinteistö
RK1	Moottori	1~	1	550	230	4	0,75	690	690	Lähet- tämö	Kiinteistö
RK1	Lämmitin	1~	2		230	6	1	1380	2760	Lähet- tämö	Kiinteistö
RK1	Valo	1~	4		230	6	0,95	1311	5244	Lähet- tämö	Kiinteistö
RK1	Taajuus- muuttaja	3~	2		400	3	1	2078	4157	Lähet- tämö	Tuotanto
RK1-1	PR16	3~	1		400	13	0,85	7656	7656	Lähet- tämö	Huolto
RK1-1	Lämmitin	3~	4		400	6	1	4157	16628	Lähet- tämö	Kiinteistö
RK1-1	PR16	1~	1		230	13	0,95	2841	2841	Lähet- tämö	Kiinteistö
D1	Lämmitin	1~	6	1380	230	6	1	1380	8280	Bunk- keri	Kiinteistö
D1	Valo	1~	2		230	6	0,95	1311	2622	Bunk- keri	Kiinteistö
D1	Moottori	3~	4	5500	400	11,4	0,81	6398	25590	Bunk- keri	Tuotanto
D1	Moottori	3~	1	1500	400	3,45	0,82	1960	1960	Bunk- keri	Tuotanto
D1	Muut	3~	4		400	6	0,85	3533	14134	Bunk- keri	Tuotanto
RK16	Lämmitin	1~	6	1380	230	6	1	1380	8280	Bunk- keri	Kiinteistö
RK17	PR32	3~	1		400	25	0,85	14722	14722	Bunk- keri	Huolto
RK17	PR16	3~	1		400	13	0,85	7656	7656	Bunk- keri	Huolto
RK17	PR16	1~	3		230	13	0,95	2841	8522	Bunk- keri	Huolto
C1C1	PR32	3~	1		400	25	0,85	14722	14722	Puristin	Huolto

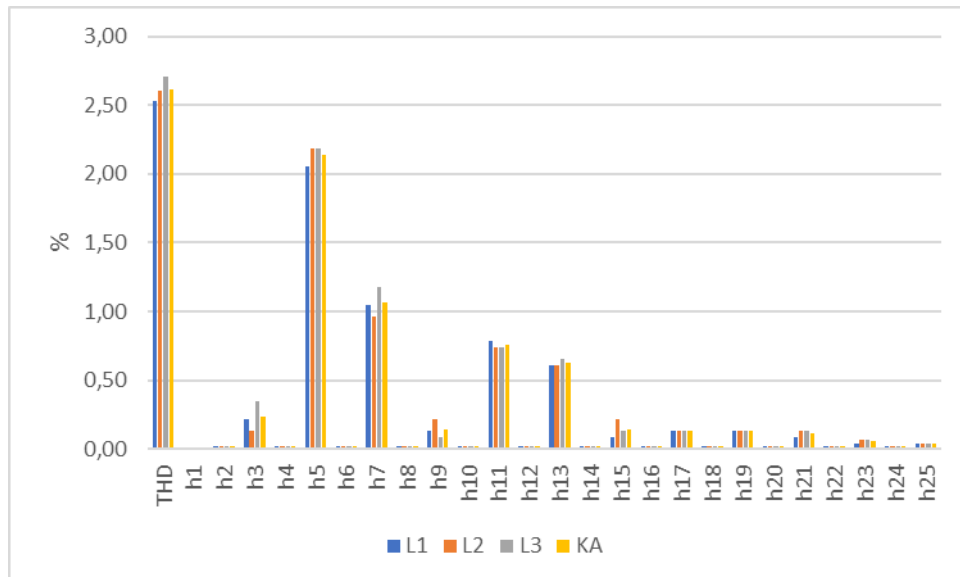
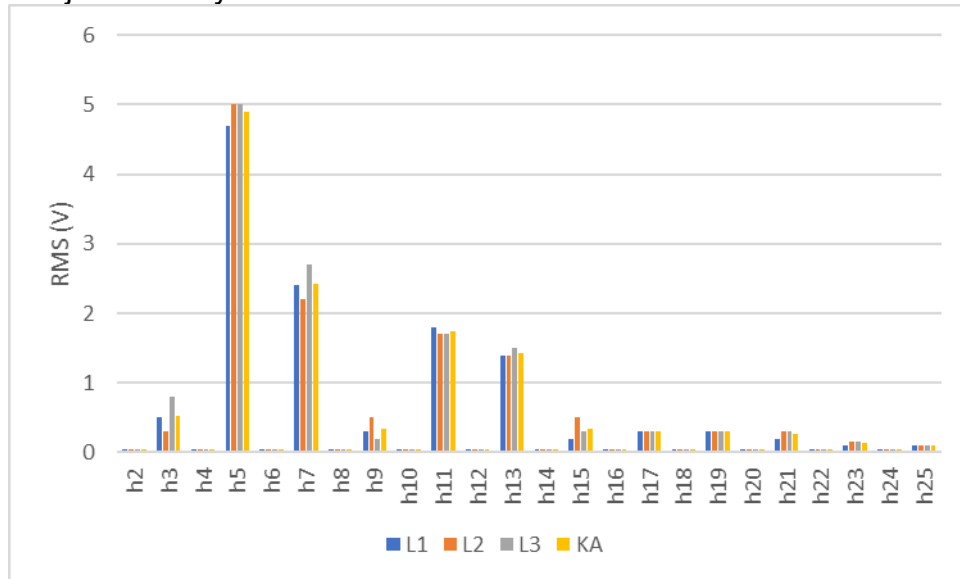
C1C1	PR16	3~	1		400	13	0,85	7656	7656	Puristin	Huolto
C1C1	PR16	1~	3		230	13	0,95	2841	8522	Puristin	Huolto
RK4.1	Moottori	3~	4	3000	400	6,4	0,83	3680	14721	HTP	Tuotanto
RK4.1	Moottori	3~	1	11000	400	21,4	0,84	12454	12454	HTP	Tuotanto
RK4.1	Moottori	3~	1	18500	400	35	0,83	20126	20126	HTP	Tuotanto
RK4.1	Moottori	3~	1	8000	400	16	0,82	9090	9090	HTP	Tuotanto
RK4.1	Moottori	3~	1	55000	400	106	0,87	63892	63892	HTP	Tuotanto
RK4.1	Moottori	3~	1	4000	400	8,3	0,83	4773	4773	HTP	Tuotanto
RK4.1	Moottori	3~	3	90	400	0,29	0,77	155	464	HTP	Tuotanto
RK4.1	Taajuus- muuttaja	3~	1		400	12	1	8314	8314	HTP	Tuotanto
RK4.1	Taajuus- muuttaja	3~	2		400	22	1	15242	30484	HTP	Tuotanto

Liite 10. Yliaallot

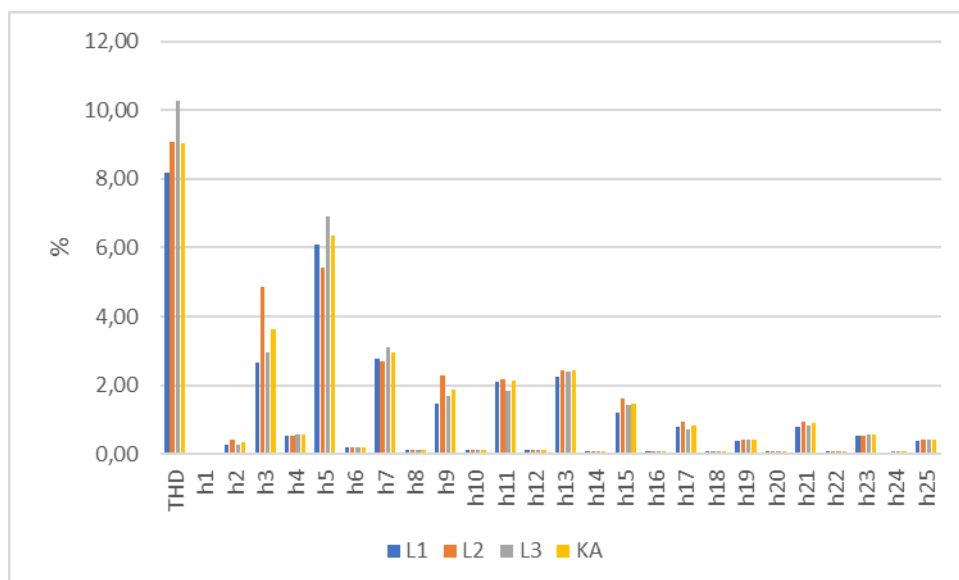
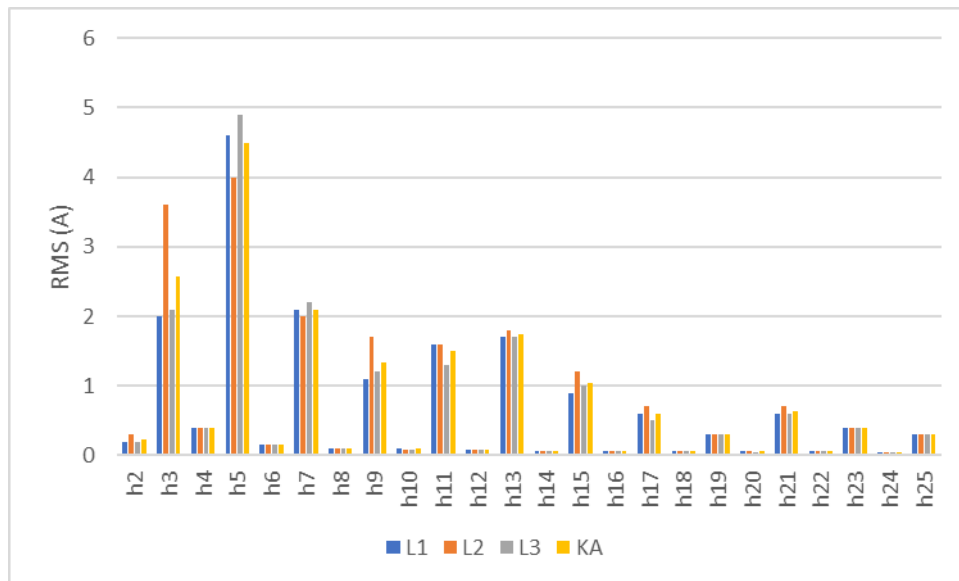
Jännitteen särökerroin

Yliaalto	Sallittu (<= %)	Mitattu (%)
THD	8	2,71
h2	2	0,02
h3	5	0,24
h4	1	0,02
h5	6	2,19
h6	0,5	0,02
h7	5	1,04
h8	0,5	0,02
h9	1,5	0,15
h10	0,5	0,02
h11	3,5	0,88
h12	0,5	0,02
h13	3	0,72
h14	0,5	0,02
h15	0,5	0,14
h16	0,5	0,02
h17	2	0,14
h18	0,5	0,01
h19	1,5	0,16
h20	0,5	0,01
h21	0,5	0,11
h22	0,5	0,01
h23	1,5	0,07
h24	0,5	0,01
h25	1,5	0,04

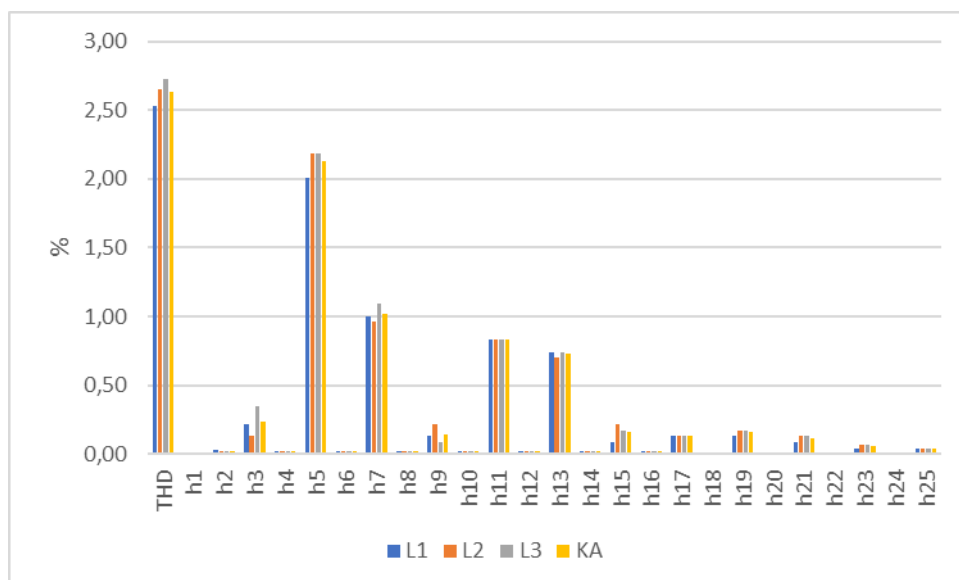
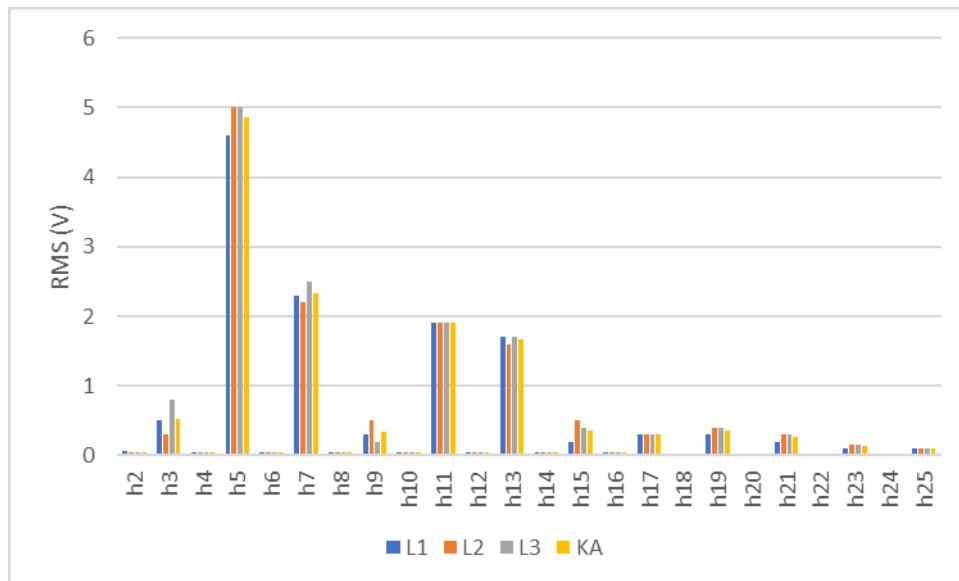
A1: jännitteen yliaallot



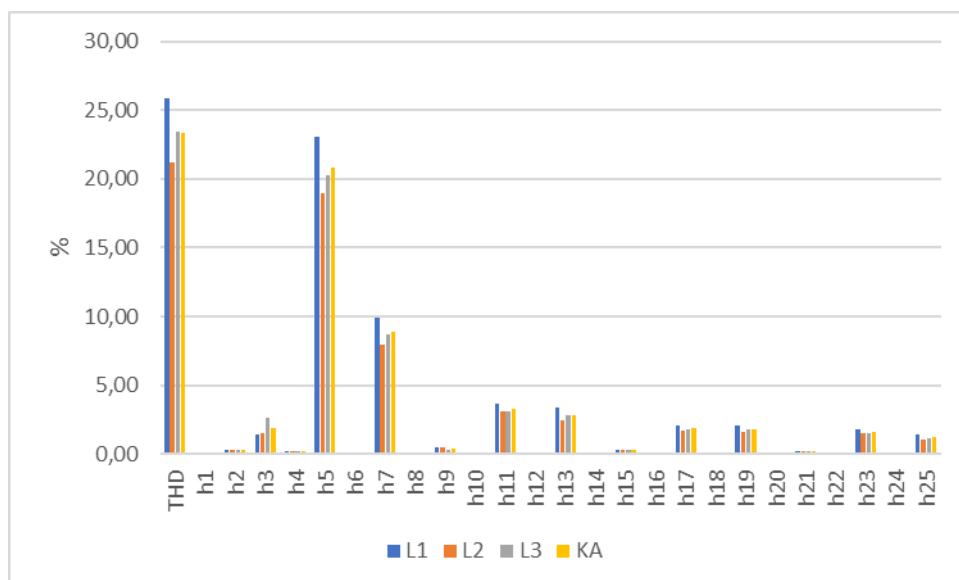
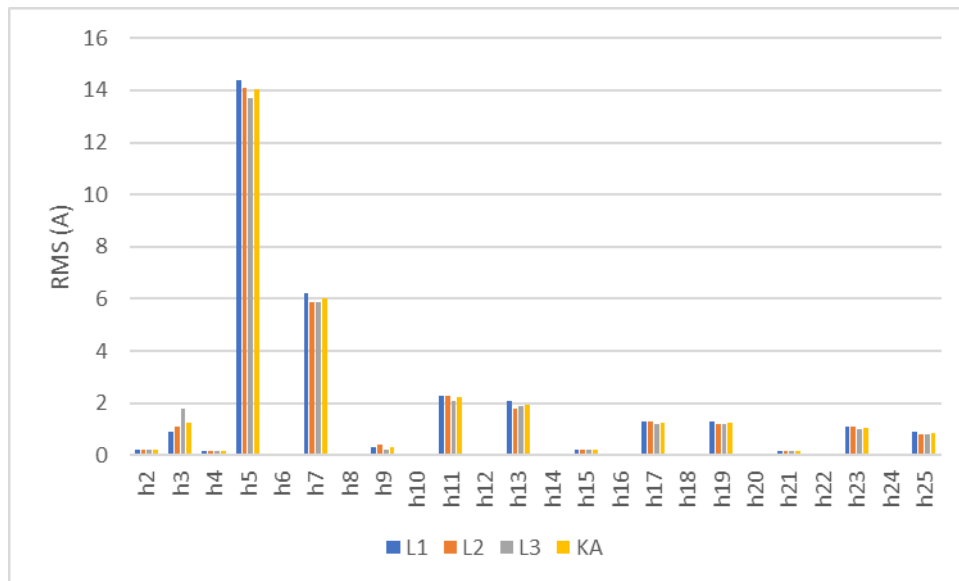
A1: virran yliaallot



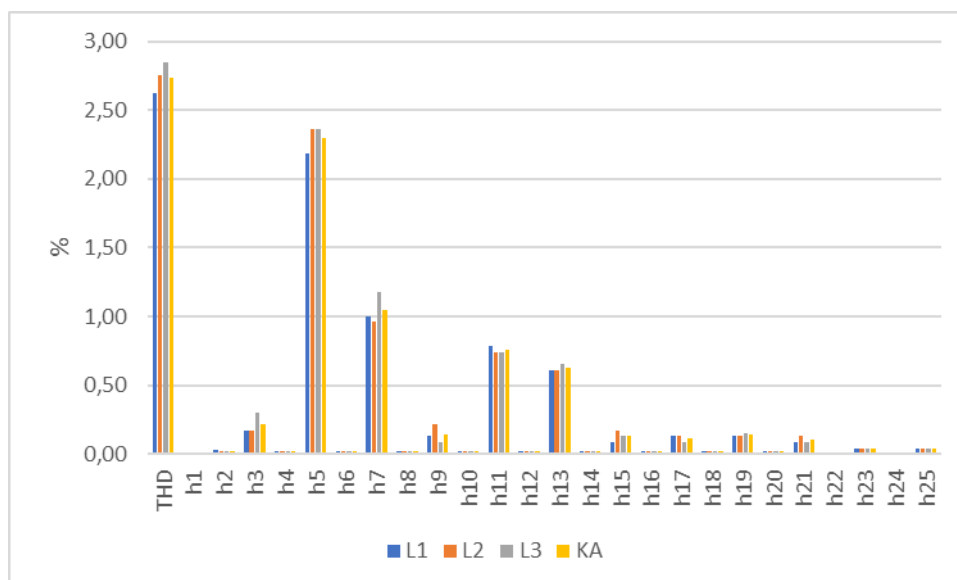
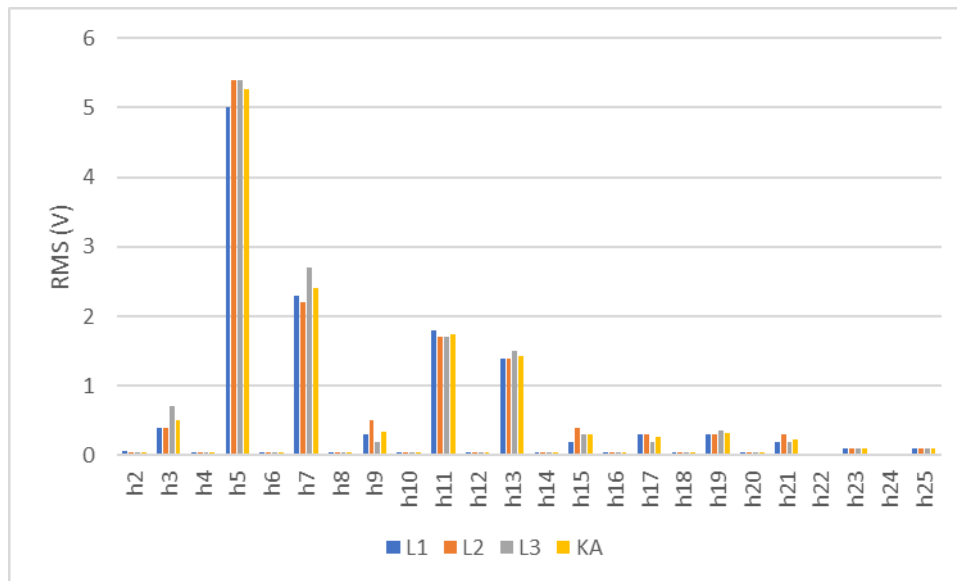
C1: jännitteen yliaallot



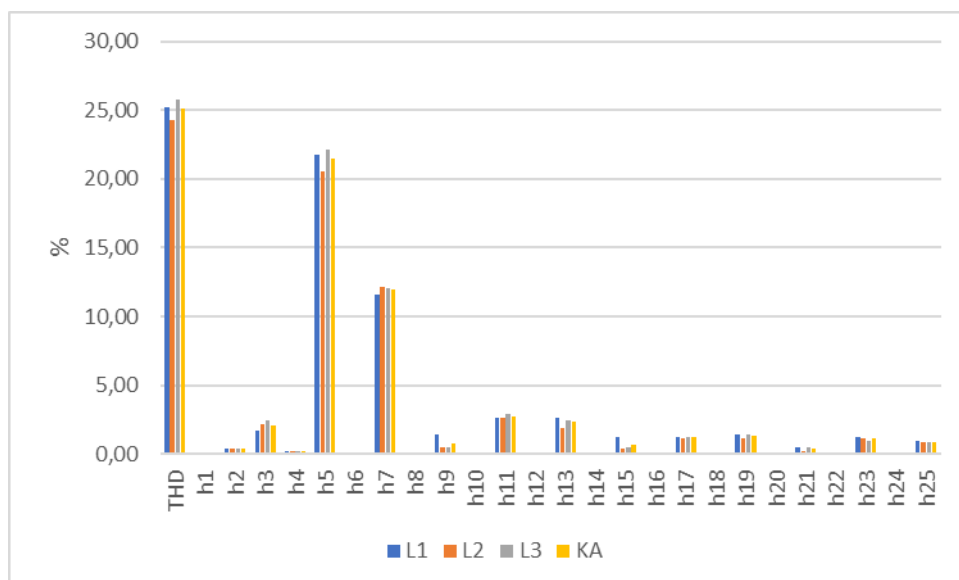
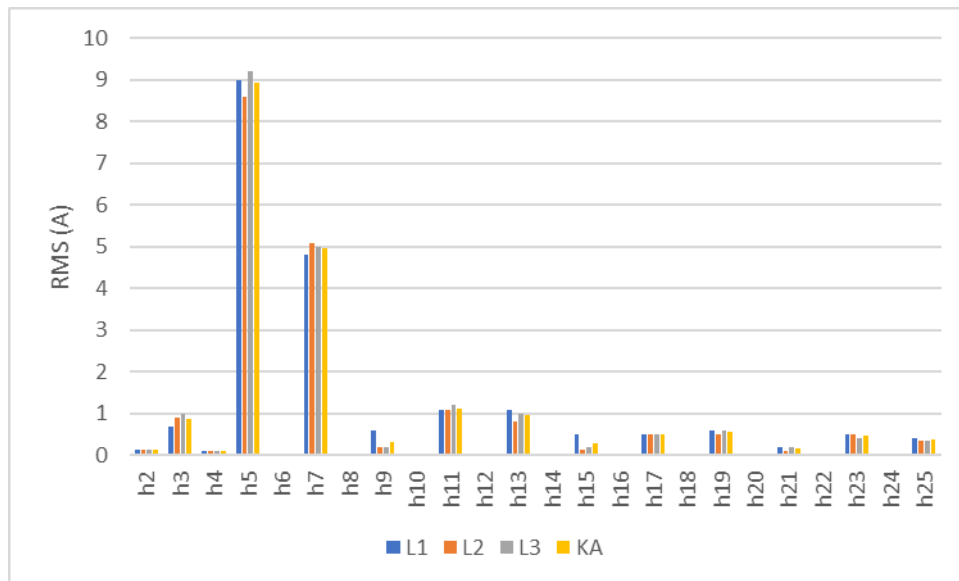
C1: virran yliaallot



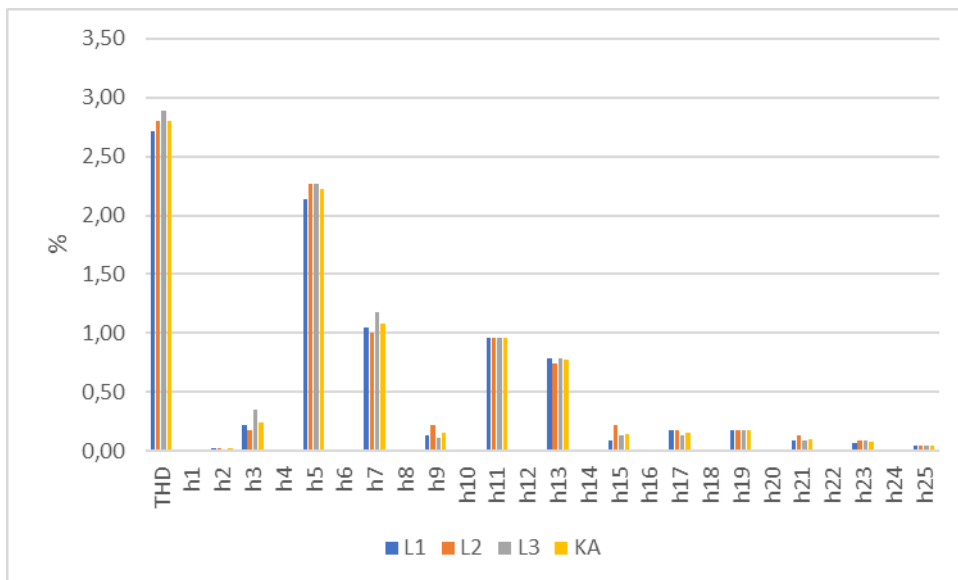
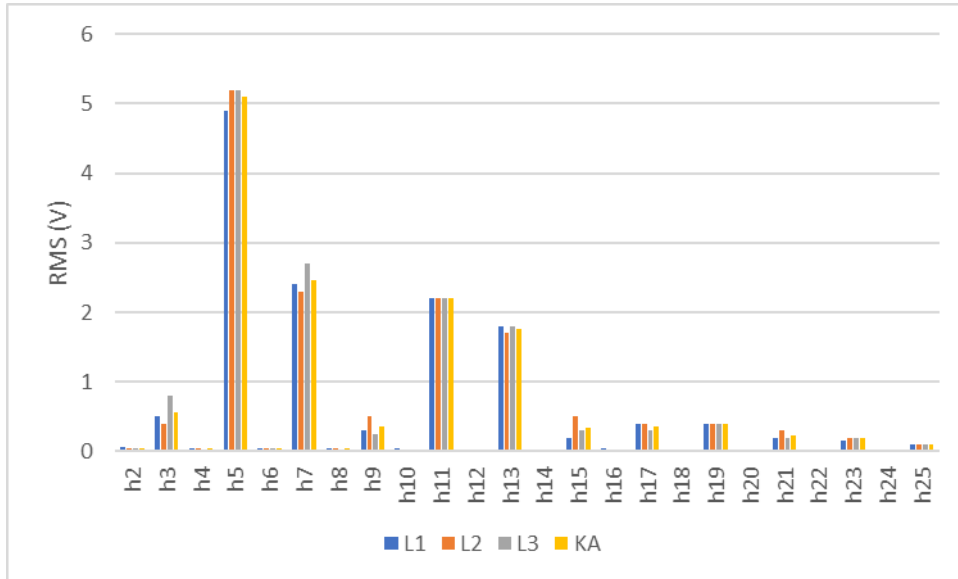
RK5: jännitteen yliaallot



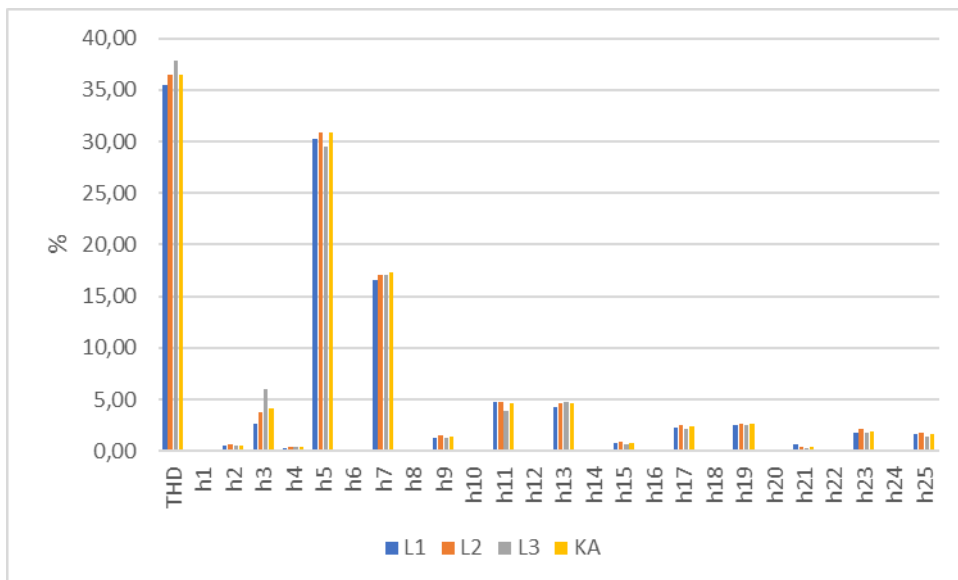
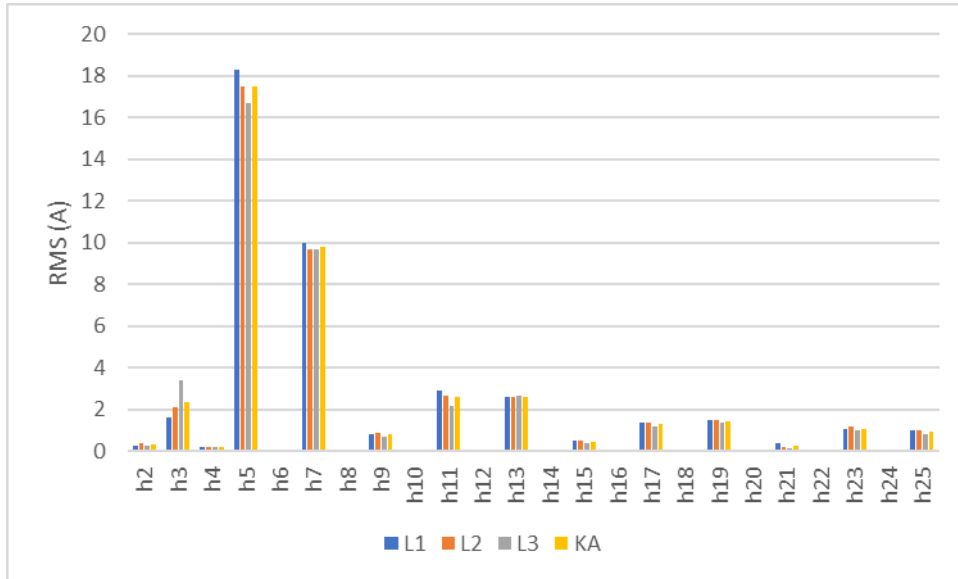
RK5: virran yliaallot



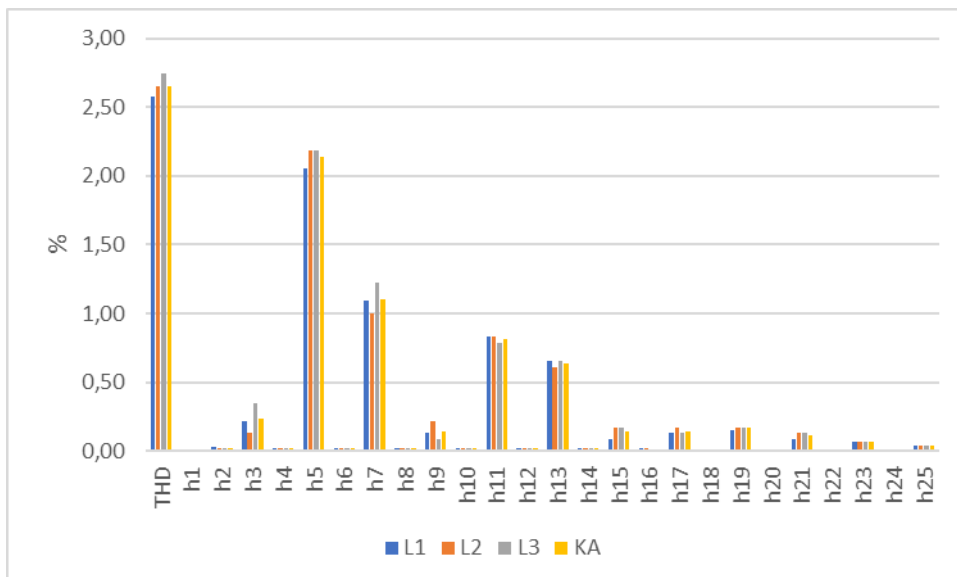
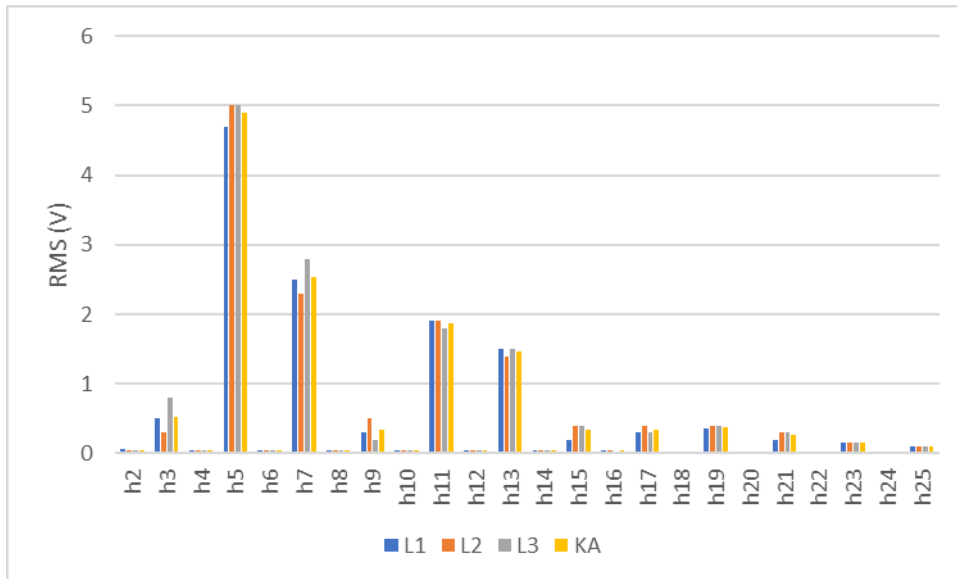
RK7 & B1: jännitteen yliaallot



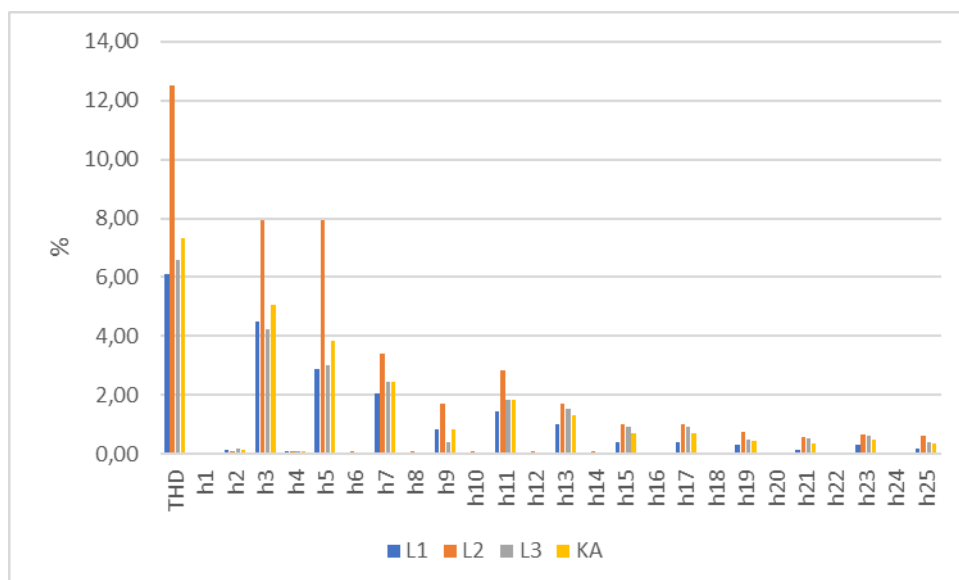
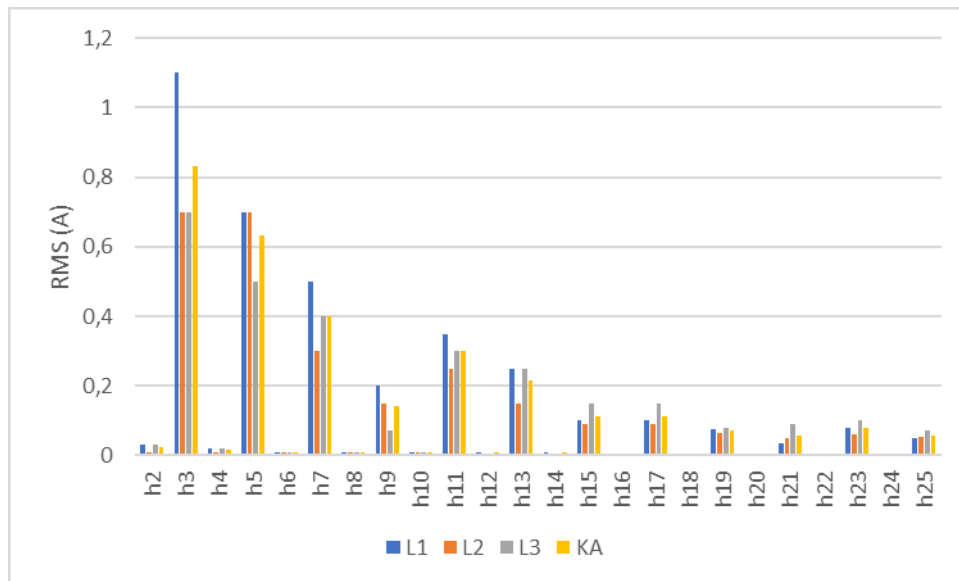
RK7 & B1: virran yliaallot



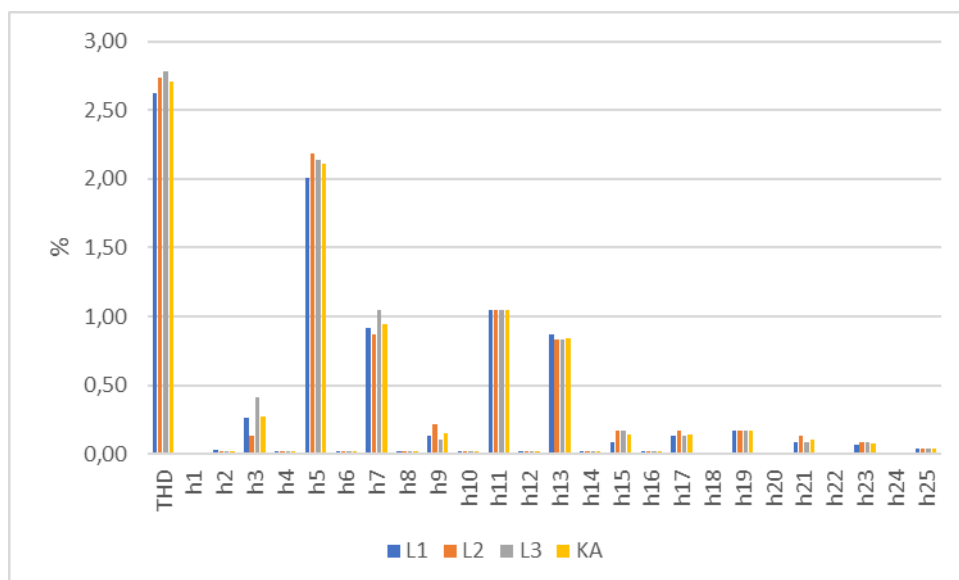
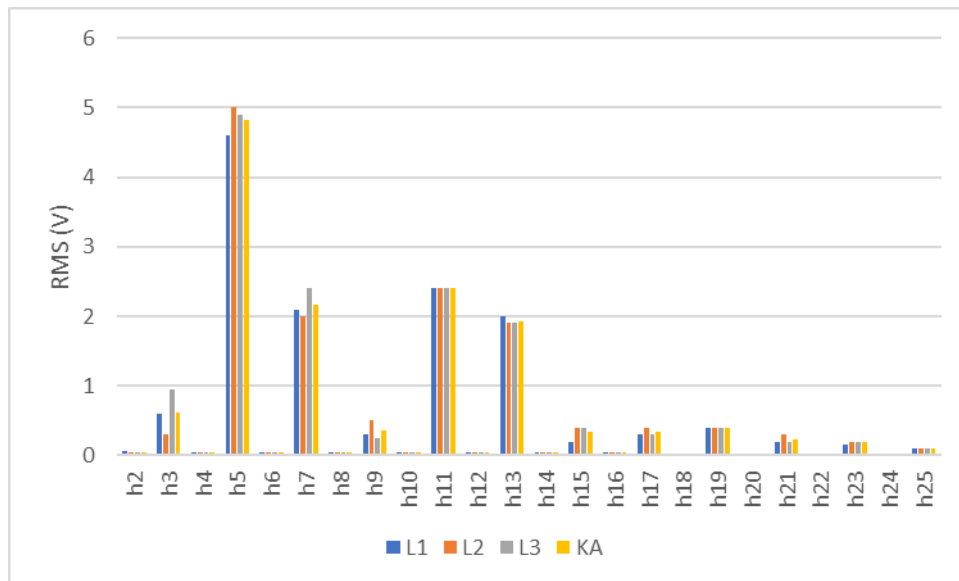
RK15: jännitteen yliaallot



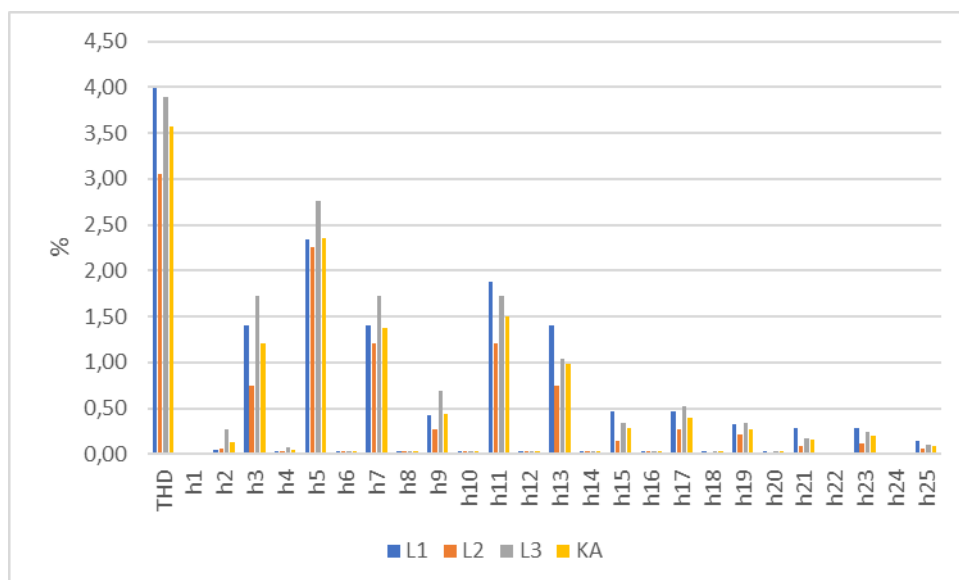
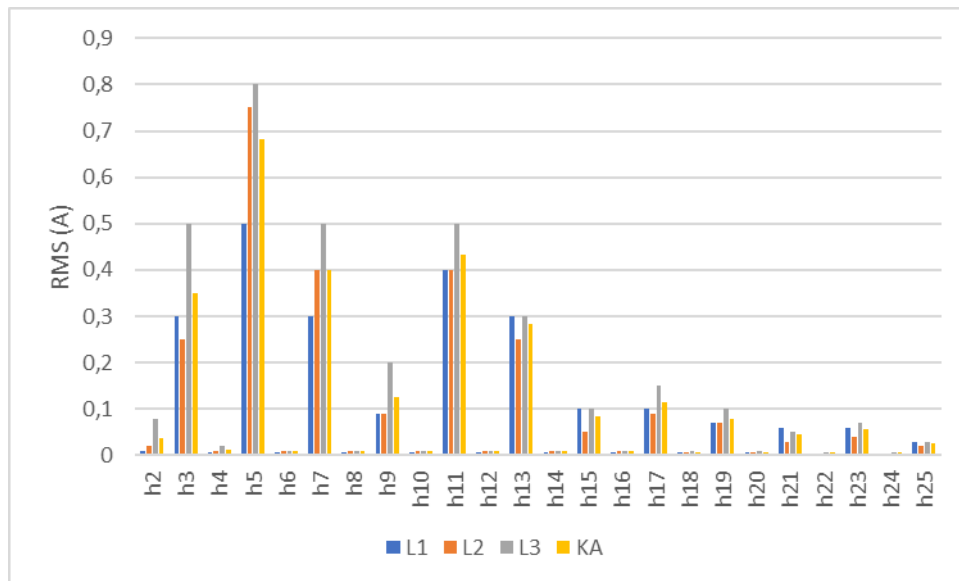
RK15: virran yliaallot



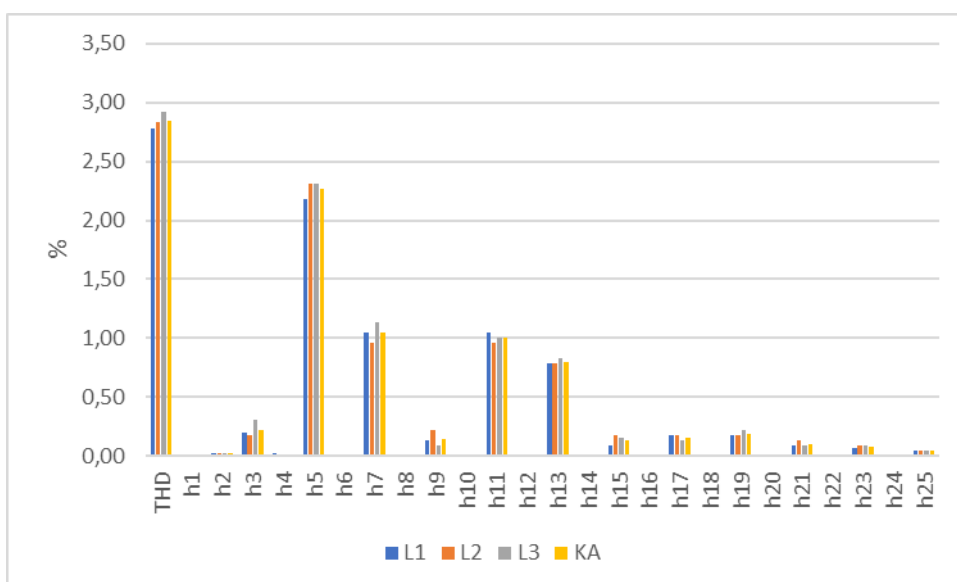
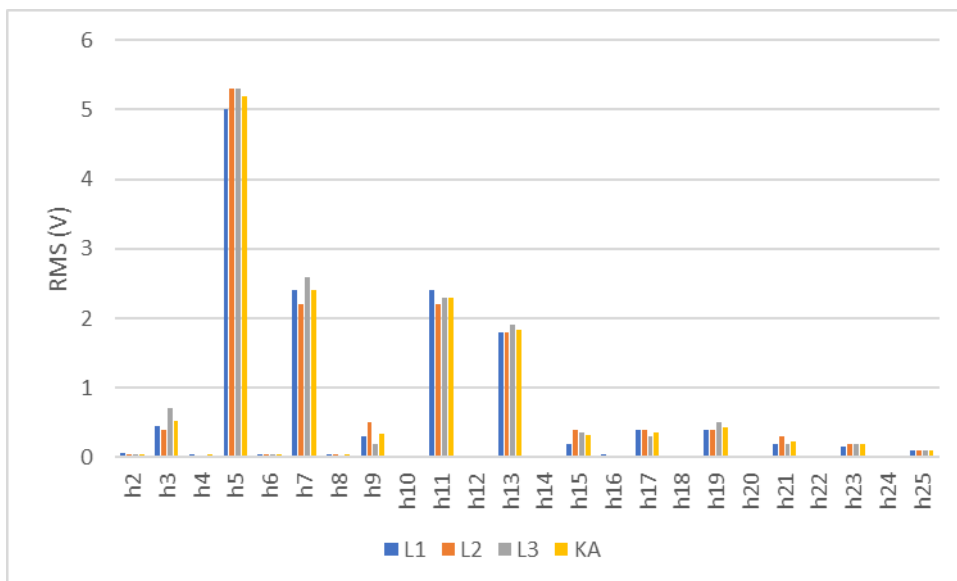
RK22 & RK97: jännitteen yliaallot



RK22 & RK97: virran yliaallot



RK94: jännitteen yliaallot



RK94: virran yliaallot

