

SATAKUNNAN AMMATTIKORKEAKOULU
TEKNIKAN PORIN YKSIKKÖ



Mikko Heinonen

TAMMISTON PUU OY:N TUOTANTOHALLIN
SÄHKÖSUUNNITTELU

SÄHKÖTEKNIikka
Sähkövoima- ja automaatiotekniikan suuntautumisvaihtoehto
2006

TIIVISTELMÄ

Työn nimi:	Tammiston Puu Oy:n tuotantohallin sähkösuunnittelu
Nimi:	Heinonen, Mikko
Oppilaitos:	Satakunnan Ammattikorkeakoulu Tekniikan Porin yksikkö Tekniikantie 2, 28600 PORI
Koulutusohjelma:	Sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto:	Sähkövoima- ja automaatiotekniikka
Työn ohjaaja:	Viljanen, Timo
Valvoja:	Heinonen, Markku
Yritys:	Tammiston Puu Oy
Päivämäärä:	Kesäkuu 2006
Asiasanat:	kompensointi, loisteho, ylivirtasuojaus
UDK:	696.6(083.9), 725.4

Insinööriyön tavoitteena oli tehdä Tammiston Puu Oy:n uuden pihakalustetehtaan sähkösuunnitelmat, sekä selvittää loistehon kompensoinnin kannattavuus. Kompensoinnin kannattavuuden selvittämiseksi yrityksen sähkön käyttöä mitattiin energiamittarilla. Sähkösuunnitelmat tehtiin CADS – sähkösuunnitteluohjelmalla, jossa on kaikki tarvittavat ominaisuudet sähkösuunnitelmien tekoon. Työ oli käytännönläheinen ja suurin osa työstä olikin sähköpiirustusten ja kaavioiden laatimista.

Insinööriyön alkuosa käsittelee kompensoinnin ja loistehon teoriaa sekä tarkastelee energiamittarista saatuja mittaustuloksia. Mittaustuloksien pohjalta laskettujen laskelmien perusteella kompensoinnin hankkiminen osoittautui taloudellisesti erittäin kannattavaksi. Seuraava osio käsittelee sähkösuunnitteluun liittyviä asioita, joista suurimman painoarvon saa syöttökaapelin ja lähdön mitoittaminen. Loppuosa sisältää tietoa sähkölaitteistolle vaadittavista tarkastuksista ennen käyttöä ja käytön aikana yrityksen näkökulmasta tarkasteltuna.

Insinööriyön liitteenä ovat kaikki suunnitelmat ja piirustukset sekä sähköselitys, jotka tehtiin ja joiden perusteella lavatehtaan sähköistys on toteutettu.

ABSTRACT

Title: Electrical Wiring Design for the Production Plant of Tammiston Puu Oy
Name: Heinonen, Mikko
Polytechnic: Satakunta University of Applied Sciences
School of Technology Pori
Tekniikantie 2, 28600 PORI
Degree Program: Electrical Engineering
Field of Specialisation: Electrical Power Engineering and Automation
Technology
Supervisor: Viljanen, Timo
Instructor: Heinonen, Markku
Commissioned by: Tammiston Puu Oy
Date: June 2006
Keywords: compensation, parasitic power, over current protection
UDC: 696.6(083.9), 725.4

The objective of this final year project was to create an electrical design of the new garden furniture production plant for Tammiston Puu Oy and to clarify the profitability of the compensation of parasitic power. In order to get the profitability of the compensation clarified, the electricity usage was measured with an energy meter. The electrical design was made using CADS electricity planning application which includes all the necessary features needed in electrical design. The task was practical in nature and the major part of it consisted of planning and drawing electrical sketches and schemes.

The first part of the final year project handles the theory of compensation and parasitic power and examines the measured values of the energy meter. On the basis of the calculations on the measured values, it turned out that the acquirement of the compensation was economically very beneficial. The next part considers matters related to electrical design where the greatest importance is laid on defining the dimensions of the source cable and the outlet. The last part includes information about the required inspections of electrical equipment before implementation and during use, considered from the company's point of view.

All plans, drawings and electrical specifications which were drawn up and on which the electrification of the furniture plant was realized have been attached to the final year project.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	3
1. JOHDANTO	6
2. YRITYS	7
3. LOIS- JA SÄRÖTEHON KOMPENSOINTI	8
3.1. Loisteho yrityksessä	9
3.2. Säröteho yrityksessä	11
3.3. Loistehon aiheuttamat kustannukset	12
3.4. Loistehotarpeen määrittäminen	13
3.5. Kompensointipariston valinta	15
3.6. Takaisinmaksuaika	17
3.7. Yhteenveto	18
4. PIHAKALUSTETEHTAAN SÄHKÖSUUNNITTELU	19
4.1. Sähköverkon rakenne	19
4.1.1 Tariffin rakenne	20
4.2. Valaistuksen suunnittelu	25
4.3. Tehtaan tasoituskertoimen määrittäminen	25
4.4. Tehtaan pääkeskuksen syötön mitoitus	27
4.4.1. Ylivirtasuojaus	27
4.4.1.1. Oikosulkusuojaus	27
4.4.1.2. Ylikuormitussuojaus sulakkeella	29
4.4.1.2.1. Yleistä	29
4.4.1.2.2. Syöttökaapelin mitoitus	30

4.4.2. Jännitteenalenema	31
4.4.3. Selektiivisyys	32
4.5. Rakennusalan yleiset sopimusehdot YSE 1998	34
5. SUUNNITELMAT JA PIIRUSTUKSET	35
6. TARKASTUKSET	35
6.1. Käyttöönottotarkastus	35
6.2. Varmennustarkastus	36
6.3. Määräaikaistarkastukset	37
6.4. Yhteenveto	37
7. YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT	38
LÄHDELUETTELO	39
LIITTEET	41

1. JOHDANTO

Kesällä 2005 Tammiston Puu Oy:ltä paloi pihakalusteiden valmistukseen keskitynyt tuotantohalli sekä sen yhteydessä ollut toimisto-osa. Palaneen rakennuksen tilalle rakennettiin uusi halli- ja toimistorakennus. Tämä insinöörityö perehtyy uuden rakennuksen sähkösuunnitteluun, sekä selvittää yrityksen loistehon kulutuksen. Lisäksi selvitetään loistehon kompensoinnista saatavat hyödyt, ja onko loistehon kompensointi yritykselle taloudellisesti kannattavaa.

Uuden tuotantohallin suunnittelussa on kiinnitettävä erityistä huomiota paloturvallisuuteen, sillä ajan saatossa hallissa oleville pinnoille kerääntyy runsaasti hienoa puun pölyä, joka on erittäin helposti syttyvää, jopa räjähtävää.

Tuotantohalli otettiin käyttöön vuoden vaihteessa 2005–2006. Halli valmistui hyvin nopealla aikataululla, siksi tämä insinöörityön kirjallinen osuus tehdään suunnitelmien mukaisesti vasta nyt keväällä 2006 hallin käyttöönoton jälkeen. Hallin sähkösuunnitelmat tehtiin kuitenkin jo silloin, kun niitä tarvittiin eli syksyllä 2005.

2. YRITYS

Tammiston Puu Oy on vuonna 1979 perustettu puutyöalan yritys. Yrityksen omistaja vaihtui vuonna 1989 ja sen jälkeen tuotantovalikoima ja tuotantomenetelmät ovat kehittyneet. Yrityksen tuotanto keskittyi aikaisemmin vain trukkilavojen valmistukseen, mutta nykyisin siellä valmistetaan niiden ohella myös pihalaattoja, aitoja, laitureita, grillikatoksia, pakkauslaatikoita, ynnä muita puusta valmistettuja tuotteita. Yrityksen valmistamat tuotteet ovat Suomessa erittäin kysytyjä. Myös vientiä tapahtuu paljon, esimerkiksi Japaniin.

Yritys sijaitsee eteläisessä Satakunnassa, Euran Hinnerjoella. Yritys työllistää noin 40 henkilöä pienen kylän 900 asukkaasta. Yritys on siis huomattavan suuri työllistäjä paikkakunnalla.

3. LOIS- JA SÄRÖTEHON KOMPENSOINTI

Teollisuudessa on paljon laitteita, jotka tarvitsevat pätötehon ja -energian lisäksi myös loistehoa ja -energiaa. Yleensä teollisuuden tarvitsema loisteho on induktiivista. Induktiivista loistehoa tarvitsevat esimerkiksi induktiomootorit, loistevalaisimet ja muuntajat. /1/

Laitteiden tarvitsema loisteho voidaan tuottaa joko paikallisesti kondensaattoriparistoilla mahdollisimman lähellä kulutuspistettä tai keskitetysti voimalaitoksen generaattoreilla. /1/

Loisteho ei tee hyötytyötä. Jos loistehoa ei tuoteta paikallisesti lähellä kulutuspistettä, niin käytännössä se tarkoittaa sitä, että teho kulkee edestakaisin sähkölaitoksen ja kuluttajan välillä. Koska sähkönjakeluverkko ei ole häviötön, edestakaisin kulkeva teho lisää sähkön siirrosta aiheutuvia häviöitä merkittävästi. Lisäksi, koska virta on suurempi, on loistehon siirtämisen vuoksi käytettävä myös suurempia johtimien poikkipintoja, joka lisää verkon rakennuskustannuksia. /1/

Laitteet, joiden virran kulutus on epäsinimuotoista, aiheuttavat verkkoon yliaaltoja. Tällaisia ovat esimerkiksi taajuusmuuttajat, hakkurivirtalähteet ja purkauslamput. Harmonisen yliaallon järjestysluvulla on suuri merkitys yliaallon ominaisuuksiin. Yliaallot, joiden järjestysluku on alhainen, vaikuttavat pääasiassa sähkönjakeluverkon komponentteihin ja suuritaajuiset yliaallot häiritsevät tiedonsiirtojärjestelmiä.

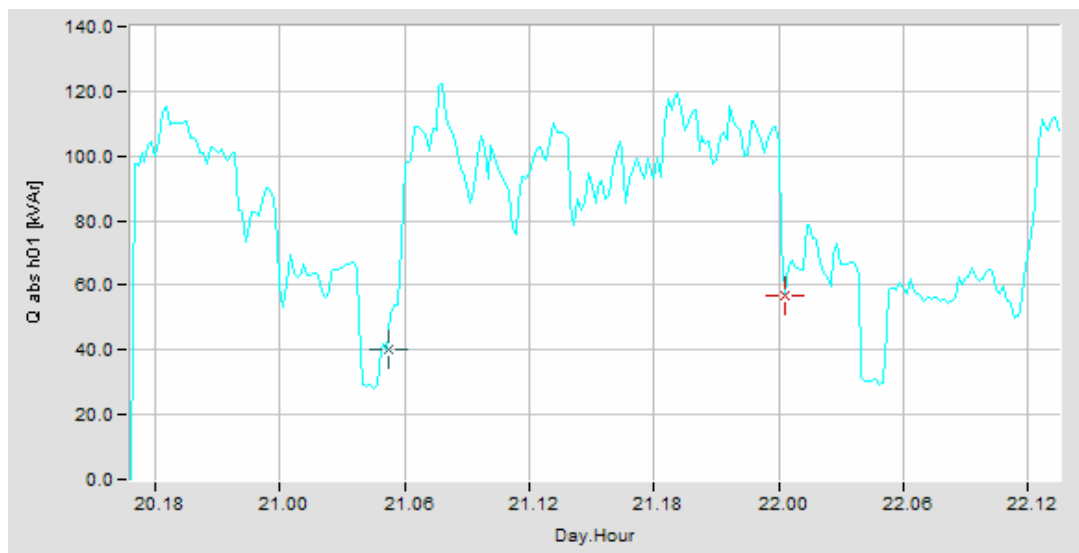
Taajuusmuuttajakäytöt aiheuttavat verkkoon runsaasti harmonisia yliaaltoja, koska sen verkosta ottama virta on voimakkaasti epäsinimuotoista. Tavallisissa taajuusmuuttajissa varsinkin järjestysluvultaan kolmas ja viides yliaalto ovat suuria. Joihinkin uusiin taajuusmuuttajiin on asennettu suodatin, joka pystyy ainakin osittain suodattamaan yliaallot. Loistehoa taajuusmuuttajakäytöt eivät ota verkosta ollenkaan, koska taajuusmuuttaja tuottaa ohjaamansa moottorin tarvitseman loistehon. Verkkovaihtosuuntaajalla varustetut taajuusmuuttajat pystyvät jopa tuottamaan loistehoa verkkoon. Ne voivat siis toimia samalla myös loistehon kompensoijina.

3.1 Loisteho yrityksessä

Yrityksen energian kulutusta mitattiin TOPAS 1000 energia-analysaattorilla. Alla olevissa kaavioissa on keskeltä työviikkoa noin puolentoista vuorokauden pituinen mittausjakso (Kaavio 1.) (Kaavio 2.) ja (Kaavio 3.).

Keskimääräinen loistehon kulutus oli 90 kilovaria. Pienimmillään loistehon kulutus oli 29 kilovaria yöaikaan ja suurimmillaan työpäivän aikana 123 kilovaria, kuten alla olevasta kaaviosta nähdään (Kaavio 1).

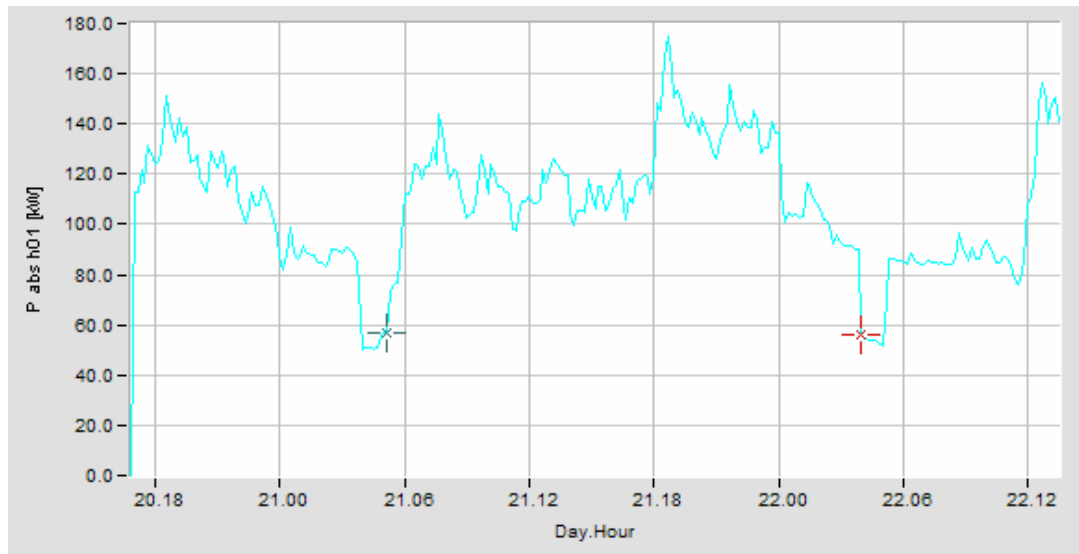
Loistehon kulutus ajan funktiona



Kaavio 1. Loistehon kulutus

Pätötehon tarve yrityksessä oli keskimäärin 110 kilowattia. Pienimmillään se oli 50 kilowattia ja suurimmillaan 175 kilowattia (Kaavio 2.).

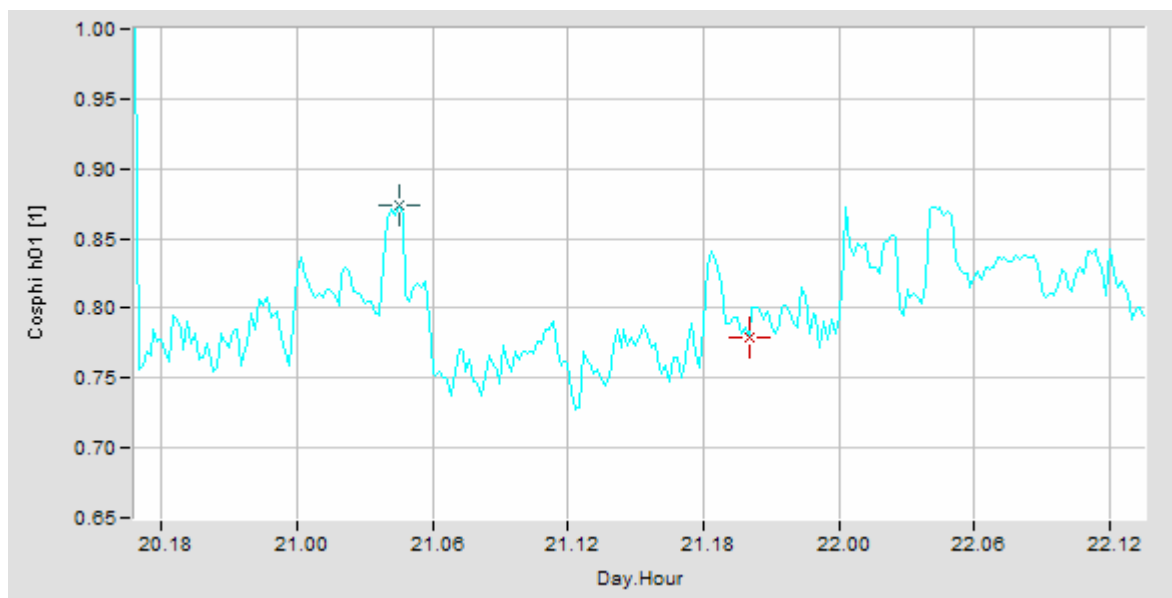
Pätötehon kulutus ajan funktiona



Kaavio 2. Pätötehon kulutus

$\cos(\varphi)$ on kerroin, joka ilmaisee pätötehon osuuden näennäistehosta, jos se ei sisällä särötehoa. Alla olevasta kaaviosta nähdään, että yrityksen $\cos(\varphi)$ vaihtelee 0,73 ja 0,87 välillä (Kaavio 3.).

$\cos(\varphi)$ ajan funktiona



Kaavio 3. $\cos(\varphi)$

3.2 Säröteho yrityksessä

Eniten harmonisia yliaaltoja esiintyy vaiheessa L2, jossa kokonaissäröprosentti (THD) oli suurimmillaan 1,7 prosenttia. Tämä on reilusti pienempi kuin standardin EN 50160 suurin sallima säröprosentti, joka on 8 prosenttia, kuten seuraava taulukko osoittaa (Taulukko 1.).

järjestysluku	standardin EN 50160 sallima säröprosentti	95 % arvot			100% arvot		
		UL1 %	UL2 %	UL3 %	UL1 %	UL2 %	UL3 %
THD	0 - 8.0	1,42	1,56	1,29	1,52	1,7	1,36
2	0 - 2.0	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05
3	0 - 5.0	0,37	0,5	0,25	0,42	0,54	0,28
4	0 - 1.0	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03
5	0 - 6.0	0,61	0,47	0,53	0,7	0,57	0,64
6	0 - 0.5	0,04	0,04	0,03	0,06	0,05	0,06
7	0 - 5.0	1,16	1,32	1,04	1,23	1,51	1,13
8	0 - 0.5	0,03	0,03	0,02	0,03	0,05	0,03
9	0 - 1.5	0,39	0,31	0,19	0,43	0,35	0,21
10	0 - 0.5	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
11	0 - 3.5	0,67	0,61	0,55	0,81	0,74	0,59
12	0 - 0.5	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02
13	0 - 3.0	0,24	0,27	0,35	0,28	0,3	0,39
14	0 - 0.5	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
15	0 - 0.5	0,05	0,07	0,07	0,06	0,09	0,08
16	0 - 0.5	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
17	0 - 2.0	0,05	0,09	0,14	0,06	0,13	0,19
18	0 - 0.5	0	0	0,01	0	0	0,01
19	0 - 1.5	0,04	0,05	0,11	0,04	0,06	0,13
20	0 - 0.5	0	0	0	0	0	0
21	0 - 0.5	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
22	0 - 0.5	0	0	0	0	0	0
23	0 - 1.5	0,01	0,02	0,04	0,02	0,03	0,05
24	0 - 0.5	0	0	0	0	0	0,01
25	0 - 1.5	0,01	0,02	0,03	0,01	0,02	0,04

Taulukko 1. Harmonisten yliaaltojen suuruudet, 95 prosentin ja 100 prosentin arvot

3.3 Loistehon aiheuttamat kustannukset

Paikkakunnalla toimiva sähköyhtiö, Vakka-Suomen Voima Oy laskuttaa kuukausittain loistehosta 4,10 euroa per kilovari. Loistehomaksu määräytyy kunkin kuukauden mitatun loistehohuipun perusteella siten, että loistehohuipusta vähennetään sallitun loistehon määrä, joka on 20 prosenttia kuukauden pätötehuipun suuruudesta./3/

Mitatun jakson loistehohuippu oli 123 kilovaria ja pätötehuippu 175 kilovattia.

Ilmaisen loistehon määrä kuukaudessa:

$$Q_i = 0,2 \cdot P_h = 0,2 \cdot 175 \text{ kW} = 35 \text{ k var}$$

Maksullisen loistehon määrä kuukaudessa:

$$Q_m = Q - Q_i = 123 \text{ k var} - 35 \text{ k var} = 88 \text{ k var}$$

Loistehomaksu kuukaudessa:

$$88 \text{ k var} \cdot 4,10 \text{ €/ k var} \cdot \text{kk} = 360,80 \text{ €/ kk}$$

Loistehomaksu vuodessa:

$$12 \text{ kk} \cdot 360,80 \text{ €/ kk} = 4329,60 \text{ €/ v}$$

Niin kuin yläpuolella oleva laskelma osoittaa, loistehon kulutuksesta aiheutuu yritykselle yli 4000 euron vuotuinen kustannus. Tämä menoerä voitaisiin käytännössä katsoen poistaa kokonaan hankkimalla kompensointiparisto, sillä se on pitkäikäinen eikä juuri aiheuta kunnossapitotoimenpiteitä.

Lisäksi on otettava huomioon loistehon virran kulutusta lisäävä vaikutus. Lois- ja pätöteho ovat vektorisuureita, jotka ovat toisiinsa nähden 90 asteen kulmassa. Tästä johtuen niitä ei voi suoraan summata toisiinsa.

Maksimivirta ilman kompensointia:

$$I_{\max 1} = \frac{\sqrt{P_h^2 + Q_h^2}}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{\sqrt{175kW^2 + 123kVAR^2}}{\sqrt{3} \cdot 400V} = 308,7A$$

Maksimivirta, kun loisteho on kompensoitu täysin:

$$I_{\max 2} = \frac{P_h}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{175kW}{\sqrt{3} \cdot 400V} = 252A$$

$$\frac{308,7A - 252A}{308,7A} = 18,4\%$$

Kompensoimalla loisteho täysin, voidaan edellä olevan laskelman perusteella käyttää noin 18 prosenttia pienempää sähköliittymää kuin ilman kompensointia. Mitausjakson suurin virta oli 308,7 ampeeria ja yrityksessä on 315 ampeerin sähköliittymä, joten hyvinkin nopeasti voi tulla tarpeelliseksi kasvattaa liittymäkokoja, jos loistehoa ei tuoteta paikallisesti.

3.4 Loistehotarpeen määrittäminen

Ilmaisen loistehon määrä yrityksessä on 35 kilovaria. Tästä voidaan laskea tavoitteellinen $\cos \varphi$ seuraavasti:

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_h}{S_h} = \frac{P_h}{\sqrt{P_h^2 + Q_i^2}} = \frac{175kW}{\sqrt{175kW^2 + 35k var^2}} = 0,98$$

Tällä hetkellä $\cos \varphi$ on:

$$\cos \varphi_2 = \frac{P_h}{S_h} = \frac{P_h}{\sqrt{P_h^2 + Q_h^2}} = \frac{175kW}{\sqrt{175kW^2 + 123k var^2}} = 0,81$$

Tehokerrointa pitäisi siis parantaa arvosta 0,81 arvoon 0,98.

Kun halutaan parantaa tehokerrointa arvosta $\cos \varphi_1$ arvoon $\cos \varphi_2$, saadaan tarvittava loistehon määrä taulukosta kertomalla pätöteho taulukon kertoimella (Taulukko 2.)./3/

cos φ ₁	cos φ ₂							
	1,00	0,99	0,98	0,97	0,95	0,90	0,85	0,8
0,30	3,18	3,04	2,98	2,93	2,85	2,70	2,56	2,43
0,32	2,96	2,82	2,76	2,71	2,63	2,48	2,34	2,21
0,34	2,77	2,62	2,56	2,52	2,44	2,28	2,15	2,02
0,36	2,59	2,45	2,39	2,34	2,26	2,11	1,97	1,84
0,38	2,43	2,29	2,23	2,18	2,11	1,95	1,81	1,68
0,40	2,29	2,15	2,09	2,04	1,96	1,81	1,67	1,54
0,42	2,16	2,02	1,96	1,91	1,83	1,68	1,54	1,41
0,44	2,04	1,90	1,84	1,79	1,71	1,56	1,42	1,29
0,46	1,93	1,79	1,73	1,68	1,60	1,45	1,31	1,18
0,48	1,83	1,69	1,62	1,58	1,50	1,34	1,21	1,08
0,50	1,73	1,59	1,53	1,48	1,40	1,25	1,11	0,98
0,52	1,64	1,50	1,44	1,39	1,31	1,16	1,02	0,89
0,54	1,56	1,42	1,36	1,31	1,23	1,07	0,94	0,81
0,56	1,48	1,34	1,28	1,23	1,15	1,00	0,86	0,73
0,58	1,40	1,26	1,20	1,15	1,08	0,92	0,78	0,65
0,60	1,33	1,19	1,13	1,08	1,00	0,85	0,71	0,58
0,62	1,27	1,12	1,06	1,01	0,94	0,78	0,65	0,52
0,64	1,20	1,06	1,00	0,95	0,87	0,72	0,58	0,45
0,66	1,14	1,00	0,94	0,89	0,81	0,65	0,52	0,39
0,68	1,08	0,94	0,88	0,83	0,75	0,59	0,46	0,33
0,70	1,02	0,88	0,82	0,77	0,69	0,54	0,40	0,27
0,72	0,96	0,82	0,76	0,71	0,64	0,48	0,34	0,21
0,74	0,91	0,77	0,71	0,66	0,58	0,42	0,29	0,16
0,76	0,86	0,71	0,65	0,60	0,53	0,37	0,24	0,11
0,78	0,80	0,66	0,60	0,55	0,47	0,32	0,18	0,05
0,80	0,75	0,61	0,55	0,50	0,42	0,27	0,13	
0,82	0,70	0,56	0,49	0,45	0,37	0,21	0,08	
0,84	0,65	0,50	0,44	0,40	0,32	0,16	0,03	
0,86	0,59	0,45	0,39	0,34	0,26	0,11		
0,88	0,54	0,40	0,34	0,29	0,21	0,06		
0,90	0,48	0,34	0,28	0,23	0,16			
0,91	0,46	0,31	0,25	0,20	0,13			
0,92	0,43	0,28	0,22	0,18	0,10			
0,93	0,40	0,25	0,19	0,14	0,07			
0,94	0,36	0,22	0,16	0,11	0,03			
0,95	0,33	0,19	0,13	0,08				
0,96	0,29	0,15	0,09	0,04				
0,97	0,25	0,11	0,05					
0,98	0,20	0,06						
0,99	0,14							

Taulukko 2. Tarvittavan loistehon määrittäminen /5/

Taulukosta saadaan loistehokertoimeksi 0,55, jonka avulla tarvittava loisteho voidaan laskea:

$$Q_k = k \cdot P_h = 0,55 \cdot 175 \text{ kW} = 96,25 \text{ k var}$$

Loistehoa tarvitaan noin 100 kilovaria, jotta Vakka - Suomen Voima ei laskuta loistehosta. Loistehotarpeen todennäköinen kasvu huomioon ottaen kannattaa paristo ylilimitoittaa tämän hetken tarpeeseen nähden. Tässä tapauksessa on järkevää valita vähintään 150 kilovarin automaattiparisto.

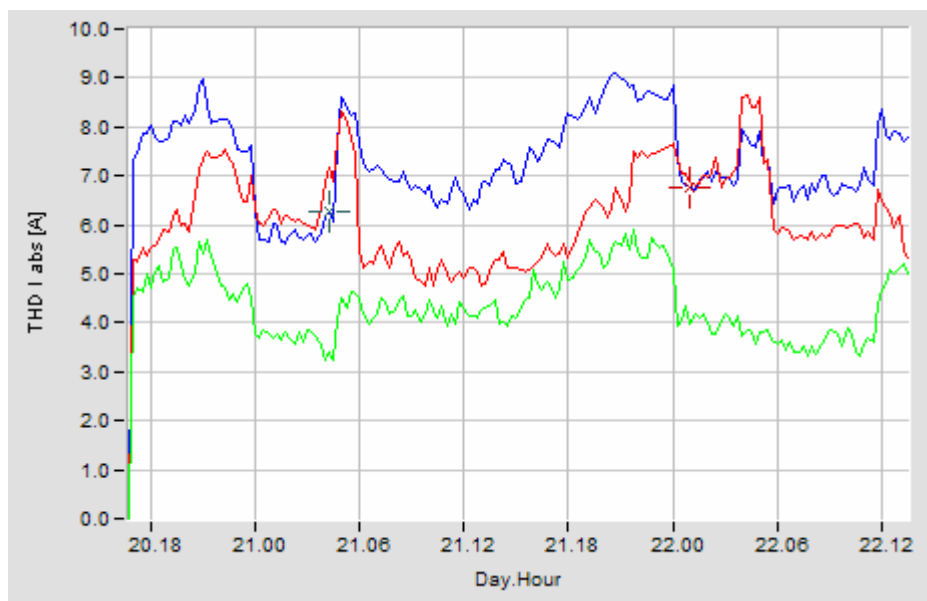
3.5 Kompensointipariston valinta

Kompensointiparistoja on kolme eri tyyppiä. Verkon yliaaltopitoisuuden perusteella valitaan, minkä tyyppinen kompensointi on järkevä hankkia. Jos verkko sisältää runsaasti yliaaltoja, pelkkä kondensaattori saattaa mennä rinnakkaisresonanssiin jonkin kertaluokan yliaallon kanssa ja aiheuttaa huomattavia ylivirtoja. Tällöin kannattaa valita joko estokelaparisto tai suodatinparisto.

Estokela estää kondensaattoria menemästä rinnakkaisresonanssiin verkon kanssa, mutta ei juuri suodata yliaaltoja pois verkosta. Suodattimella varustettu kondensaattoriparisto suojaa kondensaattoria rinnakkaisresonanssilta ja lisäksi puhdistaa verkon haitallisista yliaalloista.

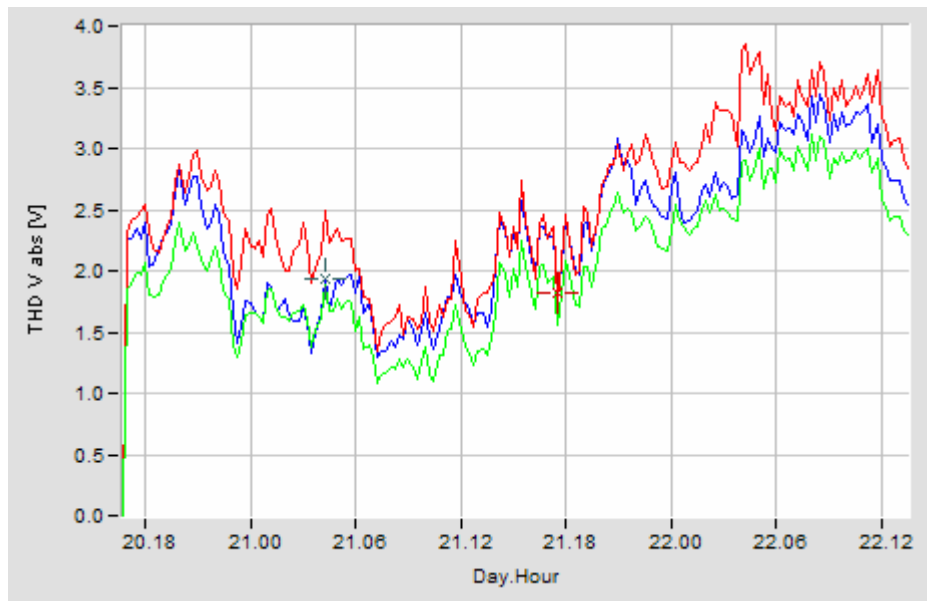
Kondensaattoripariston tyyppi voidaan määrittellä maksimisärötehon perusteella, kun tunnetaan pätötehuippu. Seuraavista kaavioista saadaan laskettua mittausjaksolla esiintynyt maksimisäröteho (Kaavio 5.) ja (Kaavio 6.).

Särövirta vaiheittain



Kaavio 5. Särövirrat

Säröjännite vaiheittain



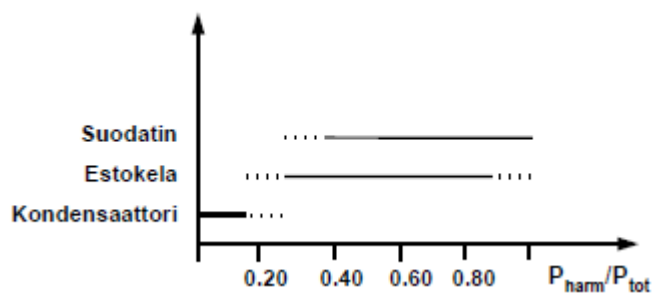
Kaavio 6. Säröjännitteet

Säröteho vaiheittain saadaan laskettua, kun säröjännite kerrotaan särövirralla:

$$P_{THD\max} = I_{THD\max} \cdot U_{THD\max} \cdot 3 = 9A \cdot 3,8V \cdot 3 = 103W$$

Seuraavan kaavion perusteella voidaan määrittellä kondensaattoripariston tyyppi särö- ja pätötehosuhteen perusteella (Kaavio 7.).

Kompensointityypin valinta



Kaavio 7. Kompensointilaitteen tyypin määrittäminen /3/

Särö- pätötehosuhde saadaan kaavasta:

$$\frac{P_{THD\max}}{P_h} = \frac{103W}{175kW} = 0,0006$$

Särö- / pätötehosuhteeksi saatiin 0,0006, joten yliaalloista ei aiheudu ongelmaa yrityksen kompensointilaitteille. Voidaan siis valita halvin vaihtoehto, eli pelkkä kondensaattoriparisto.

3.6 Takaisinmaksuaika

Kondensaattoriparistolle voidaan laskea takaisinmaksuaika, kun tunnetaan pariston käytöstä saatava vuotuisen hyödyn määrä T_1 , hankintahinta K_0 , sekä pääomalle laskettava vuotuinen korko p .

Takaisinmaksuaika saadaan, kun ratkaistaan τ yhtälöstä:

$$K_0 = T_1 \cdot \frac{100}{p} \cdot \left(1 - \frac{1}{\alpha^\tau}\right)$$

Yhtälössä esiintyvä α saadaan laskettua korkoprosentista seuraavan kaavan mukaisesti:

$$\alpha = 1 + \frac{100}{p}$$

Pääomalle laskettiin 10 prosentin korko, joten α :ksi tuli 1,1. Kompensointipariston hintaa tiedusteltiin Nokian Capacitors Oy:stä. He ilmoittivat 150 kilovarin kaapimallisen automaattipariston budjettihinnaksi 4000 euroa ilman asennuskustannuksia. Asennuskustannuksien arvioitiin olevan enintään 2000 euroa, joten kondensaattoripariston hankintahinta K_0 on 6000 euroa ja vuodessa saatava hyöty T_1 on edellä esitettyssä kappaleessa 3.3 olevien laskelmien mukaan 4330 euroa.

Takaisinmaksuaika voidaan nyt laskea kaavasta:

$$6000\text{€} = 4330\text{€} \cdot \frac{100}{10} \cdot \left(1 - \frac{1}{1,1^\tau}\right)$$

$$0,139 = 1 - \frac{1}{1,1^\tau}$$

$$-0,861 = -\frac{1}{1,1^\tau}$$

$$-0,885 \cdot 1,1^\tau = -1$$

$$1,1^\tau = 1,16$$

$$\tau \log 1,1 = \log 1,16$$

$$\tau = \frac{\log 1,16}{\log 1,1} = 1,56\text{a}$$

Takaisinmaksuajaksi saatiin 1,56 vuotta, joka on vuosina ja kuukausina noin 1 vuosi ja 7 kuukautta.

3.7 Yhteenveto

Loistehoa yrityksessä kuluu huomattava määrä, josta aiheutuu vuosittain 4330 euron menot. Takaisinmaksuajan periaatteella toteutettu kannattavuuslaskelma osoittaa, että kompensointi maksaa hankintahintansa takaisin runsaassa puolessatoista vuodessa, joten investointi on taloudellisesti erittäin kannattava.

Tulevaisuudessa kompensoinnilla voidaan myös mahdollisesti ehkäistä suuremman sähköliittymän hankinta, mistä saataisiin vielä lisää säästöjä.

Yliaaltoja yrityksen sähköverkossa ei juuri esiinny ja amplitudeiltaan ne ovat verrattain pieniä, joten niiden aiheuttamat haitat ovat merkityksettömiä. Kompensointityypiksi kannattaa siis valita tavallinen automatiikkaparisto. Vaikka yliaallot ovatkin pieniä, ne on otettava kuitenkin huomioon kondensaattoripariston valmistuksessa siten, että ei synny resonanssia minkään kertaluokan yliaalloilla.

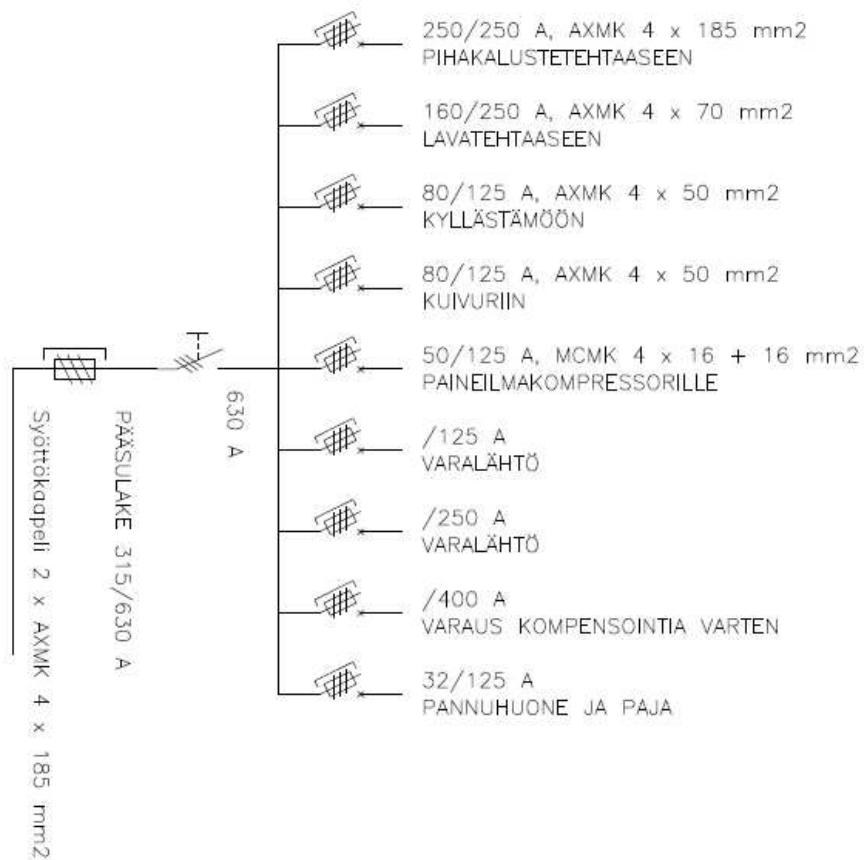
4. PIHAKALUSTETEHTAAN SÄHKÖSUUNNITTELU

4.1. Sähköverkon rakenne

Tällä hetkellä yrityksen sähköjärjestelmän pääsulakkeet ovat 315 ampeeria, mutta pääkeskus on mitoitettu siten, että pääsulakkeen koko on mahdollista kasvattaa 630 ampeeriin. Pääkeskusta syötetään kahdella 185 neliömillimetrin neljäkertaisella AXMK – alumiinivoimakaapelilla.

Pääkeskuksessa on yhteensä yhdeksän kolmivaiheista kahvasulakelähtöä, joista kuusi on käytössä. Seuraavasta kaaviosta nähdään yrityksen sähkönsyöttöjärjestelmän rakenne (Kaavio 8.).

Kaavio yrityksen sähköverkosta



Kaavio 8. Sähköverkon rakenne.

Pihakalustetehtaan sähköjärjestelmä suunniteltiin paloturvallisuuden vuoksi siten, että kun tehtaassa ei työskennellä, saadaan napin painalluksella kytkettyä sähköä pois niistä paikoista, missä sitä ei tarvita. Tämä toteutettiin asentamalla kontaktorit näitä ryhmiä syöttävien kahvalähtöjen eteen.

Tehtaan sähköjärjestelmä sisältää pääkeskuksen lisäksi toimisto- / sosiaalityöryhmien ryhmäkeskukset, joita on kolme kappaletta. Pääkeskuksesta lähtevät pistorasia-, valaistus- ynnä muut ryhmät on jaettu kahvalähdöillä neljään osaan, joista kolme ohjataan kontaktoreilla.

4.1.1 Tariffin rakenne

Yrityksessä on käytössä pienjännitetehotariffi. Seuraavaksi tarkasteltiin, miten sähkökulutuksen kuukausittainen hinta tässä tapauksessa muodostuu sekä verrattiin pienjännite- ja suurjännitetehotariffien hintoja.

Tehotariffin kuukausittainen hinta muodostuu kiinteästä perusmaksusta sekä huipputehomaksusta, joka määräytyy vuoden aikana esiintyneen kolmen suurimman kuukausittaisen huipputehon keskiarvon mukaan. Lisäksi laskutetaan käytetyistä kilowattitunneista riippuen käyttöhetkestä. Alla olevista taulukoista selviää Vakkasuomen-Voiman tehosähköhinnat.

	Sähköenergia	Sähkönsiirto	Sähköverot Ik II
Perusmaksu	5,70 €/kk	37,62 €/kk	
Tehomaksu	0,85 €/kW,kk	2,05 €/kW,kk	
Kulutusmaksut	snt/kWh	snt/kWh	snt/kWh
Talviarkipäivä	4,88	2,42	0,5527
Talviyö+pyhä	4,88	1,21	0,5527
Kesäarkipäivä	3,89	1,21	0,5527
Kesäyö+pyhä	3,89	1,21	0,5527

Taulukko 3. Vakkasuomen-Voiman pienjännitetehosähkö /11/

	Sähköenergia	Sähkönsiirto	Sähköverot lk II
Perusmaksu	5,70 €/kk	68,40 €/kk	
Tehomaksu	0,85 €/kW,kk	1,86 €/kW,kk	
Kulutusmaksut	snt/kWh	snt/kWh	snt/kWh
Talviarkipäivä	4,88	1,79	0,5527
Talviyö+pyhä	4,88	1,01	0,5527
Kesäarkipäivä	3,89	1,01	0,5527
Kesäyö+pyhä	3,89	1,01	0,5527

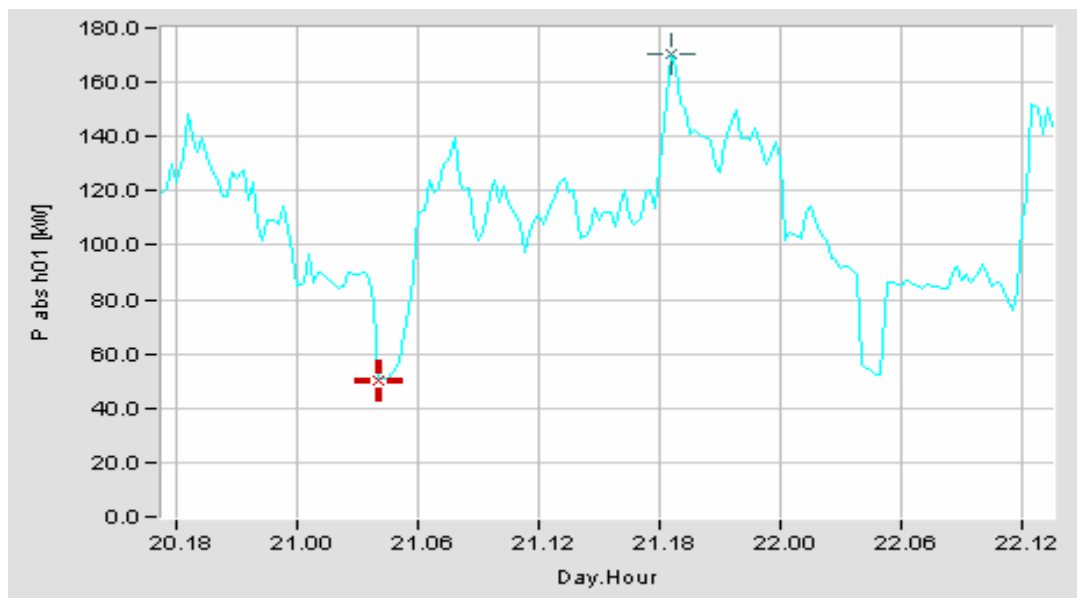
Taulukko 4. Vakkasuomen-Voiman suurjännitetehtösähkö /11/

Talviarkipäivät ovat 1.11. - 31.3. ma - la klo 07 - 22

Kesäarkipäivät ovat 1.4. - 31.10. ma - la klo 07 - 22

Talviyö + pyhä ja kesäyö + pyhä ovat em. aikoina yöt 22 - 07 sekä sunnuntait ja arkipyhät

Pätöteho ajan funktiona



Kaavio 12. Yrityksen pätötehon kulutus

Seuraavissa laskelmissa ja päätelmissä tehtiin sellainen yksinkertaistava oletus, että yrityksen sähkönkulutus on läpi vuoden yllä olevan kaavion mukainen (Kaavio 12). Lisäksi oletettiin, että loisteho on kompensoitu alle 20 prosenttiin pätötehohuipusta. Tästä aiheutuu jonkin suuruinen virhe, mutta tulokset ovat siitä huolimatta keskenään vertailukelpoisia. Kaikki laskelmissa olevat hinnat sisältävät 22 prosenttia arvonlisäveroa.

Yöajan kulutus oli keskimäärin noin 85 kilowattia ja päivisin kulutus oli noin 120 kilowattia. Näiden keskimääräisten kulutusten perusteella voidaan laskea vuotuinen sähköenergian tarve. Kesäaika on yhteensä noin 31 viikkoa ja talviaika 21 viikkoa. Kesäarkipäiviä on siis 186 ja talviarkipäiviä 126. Arkipäivässä lasketaan olevan 15 tuntia, joten kesäarkipäivissä on 2790 tuntia ja talviarkipäivissä 1890 tuntia. Arkipäivän kulutus oli keskimäärin 120 kilowattia, joten kesäarkipäivinä sähköä kuluu 335 megawattituntia ja talviarkipäivinä 227 megawattituntia. Kesäöissä sekä -pyhäpäivissä on 2418 tuntia ja talviöissä sekä -pyhäpäivissä on 1638 tuntia. Yöajan kulutus oli 85 kilowattia, joten kesäöinä sekä -pyhäpäivinä kuluu 206 megawattituntia ja talviöinä sekä -pyhäpäivinä kuluu 139 megawattituntia.

Seuraavaksi lasketaan pienjännitetehotariffin mukaiset hinnat yllä olevien kulutus-tietojen pohjalta.

$$\text{Kesäarkipäivät:} \quad 335MWh \cdot 0,0565 \frac{\text{€}}{kWh} = 18930\text{€}$$

$$\text{Talviarkipäivät:} \quad 227MWh \cdot 0,0785 \frac{\text{€}}{kWh} = 17830\text{€}$$

$$\text{Kesäyöt ja – pyhät:} \quad 206MWh \cdot 0,0565 \frac{\text{€}}{kWh} = 11640\text{€}$$

$$\text{Talviyöt ja – pyhät:} \quad 139MWh \cdot 0,0664 \frac{\text{€}}{kWh} = 9230\text{€}$$

Yllä olevien laskelmien mukaan yritykselle aiheutuu sähkön kulutuksesta 57 640 euron meno vuodessa. Lisäksi tulee perusmaksu ja huipputehomaksu, joka määräytyy vuoden aikana esiintyneen kolmen suurimman kuukausittaisen huipputehon mukaan. Mittausjakson perusteella arvioidaan huipputehon olevan 180 kilowattia.

Pienjänniteliittymän tehomaksu:

$$2,9 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \cdot \text{kk} \cdot 180 \text{kW} \cdot 12 \text{kk} = 6264 \text{€}$$

Pienjänniteliittymän perusmaksu:

$$43,32 \frac{\text{€}}{\text{kk}} \cdot 12 \text{kk} = 520 \text{€}$$

Yhteensä pienjännitetehosähköliittymää käyttäen yritykselle aiheutuu 64 400 euron meno vuodessa.

Seuraavaksi laskettiin kuinka paljon kustannuksia syntyisi, jos yrityksellä olisi oma 20 kilovoltin muuntaja ja hinta määräytyisi suurjännitetehosähkön hintojen perusteella.

Kesäarkipäivät: $335 \text{MWh} \cdot 0,0545 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 18270 \text{€}$

Talviarkipäivät: $227 \text{MWh} \cdot 0,0722 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 16400 \text{€}$

Kesäyöt ja – pyhät: $206 \text{MWh} \cdot 0,0545 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 11230 \text{€}$

Talviyöt ja – pyhät: $139 \text{MWh} \cdot 0,0644 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 8960 \text{€}$

Yhteensä: $18270 \text{€} + 16400 \text{€} + 11230 \text{€} + 8960 \text{€} = 54850 \text{€}$

Suurjänniteliittymän tehomaksu:

$$2,71 \frac{\text{€}}{\text{kWh} \cdot \text{kk}} \cdot 180 \text{kW} \cdot 12 \text{kk} = 5850 \text{€}$$

Suurjänniteliittymän perusmaksu:

$$74,10 \frac{\text{€}}{\text{kk}} \cdot 12 \text{kk} = 890 \text{€}$$

Yhteensä suurjännitetehosähkön hinnoilla kustannus olisi 61 600 euroa vuodessa.

Säästöä suurjänniteliittymän käytöllä verrattuna pienjänniteliittymän käyttöön saataisiin 2 800 euroa vuodessa. On kuitenkin huomioitava, että suurjänniteliittymän kunnossapitokustannukset ovat suuremmat kuin pienjänniteliittymän, jota edellä olevassa laskelmassa ei otettu huomioon. Lisäksi on otettava huomioon suurjänniteliittymän hankintakustannus.

20 kilovoltin liittymän hankintahintaa (sisältäen muuntamon hankinta- sekä asennuskustannukset) tiedusteltiin Vakka-Suomen Voima Oy:ltä. He ilmoittivat sen olevan suuruusluokaltaan noin 79 000 euroa. 20 kilovoltin liittymän vuotuisten huoltokustannusten arvioitiin olevan 500 euroa suuremmat kuin pienjänniteliittymän. Todellinen vuotuisen hyödyn määrä on siis $2800 \text{€} - 500 \text{€} = 2300 \text{€}$. Kappaleen 3.6 mukaisesti suoritettu kannattavuuslaskelma osoittaa takaisinmaksuajan olevan äärettömän pitkä, jos pääomalle lasketaan 10 prosentin vuotuinen korko. Yrityksen ei ole siis kannattavaa hankkia omaa muuntamoaa, koska vuotuisen hyödyn määrä hankintahintaan verrattuna on vähäinen.

Yrityksen sähkönkulutuksessa esiintyy 30 kilowatin suuruinen lyhytaikainen tehohuippu. Jos tämä tehohuippu voitaisiin leikata laitteiden eriaikaisella käytöllä, säästettäisiin vuotuisissa tehomaksuissa 1040 euroa. Tehohuippu johtuu todennäköisesti hakkurista, koska se aiheuttaa 30 kilowatin lyhytaikaisen kulutuksen. Huippu voidaan leikata käyttämällä hakkuria ainoastaan, kun muu sähkön kulutus on pienimmillään esimerkiksi illalla työpäivän jälkeen ja aamulla ennen työpäivän alkua tai ruokatauolla työpäivän aikana.

4.2 Valaistuksen suunnittelu

Tehtaan valaistuksen suunnittelussa käytimme apuna CalcuLux- ohjelmaa. Ohjelmalle annetaan tieto tilan koosta, pintojen materiaaleista, haluttu valaistusvoimakkuus sekä käytettävän valaisimen tiedot. Näiden tietojen pohjalta ohjelma laskee tarvittavien valaisimien lukumäärän ja sijoittelee ne tilasta tekemäänsä kolmiulotteiseen malliin.

4.3 Tehtaan tasoituskertoimen määrittäminen

Tehtaan liittymisteho P_L saatiin laskemalla kaikkien koneiden ja laitteiden tehot yhteen (Taulukko 5.). Joidenkin laitteiden tehontarve jouduttiin arvioimaan. Myöskään ei ollut tietoa kaikista tehtaassa käytettävistä laitteista, joten liittymistehon tuloksessa on melko iso virhemarginaali.

laite	teho	
katkaisusaha 1	19	kW
katkaisusaha 2	8,7	kW
pinkkari	3,35	kW
purunpoisto	55,5	kW
hakkuri	19,5	kW
nosto-ovet (2 kpl)	0,6	kW
vesipumppu	1	kW
sidontalaite	0,65	kW
lämpöpuhaltajat (3 kpl)	3	kW
porakone	3	kW
katkaisusaha	3	kW
jiyrin	5	kW
pylväsporakone	0,55	kW
vannesaha	3	kW
sirkkeli	3	kW
höylä	4	kW
liimauspuristin	9	kW
jiirisirkkeli	1,4	kW
hydraulikoneikko	5,5	kW
trukin latauspiste	5	kW
sahojen kuljettimet (4 kpl)	4,4	kW
tehtaan valaistus	12	kW
taukotilan valaistus	1,12	kW
taukotila muu	5,5	kW
toimiston ATK-järjestelmä	2,7	kW
toimiston valaistus	1,8	kW
toimisto muu	8,5	kW
edustustilan valaistus	1,2	kW
edustustilat muu	19,5	kW
yhteensä	210,47	kW

Taulukko 5. Tehtaan tehonkulutus

Liittymistehosta P_L voidaan määrittää teoreettinen huippuvirta, kun tunnetaan tehokerroin $\cos \varphi$. Teoreettinen huipputeho oli 210 kilowattia (Taulukko 5.) ja $\cos \varphi$:nä käytetään mittausjaksolla esiintynyttä huonointa arvoa, joka oli 0,74.

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \Rightarrow I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{210kW}{\sqrt{3} \cdot 400V \cdot 0,74} = 415A$$

Teoreettiseksi huippuvirraksi edellisen laskelman perusteella saatiin 415 ampeeria, joten jos kaikkia pihakalustetehtaan koneita ja laitteita käytettäisiin yhtä aikaa, niin yrityksen 315 ampeerin sähköliittymä ei riittäisi.

Pihakalustetehtaan sähkökäyttöä mitattiin erään työpäivän aikana TOPAS 1000 energia-analysointilaitteella. Huonoimmillaan mittausjakson aikana tehokerroin $\cos \varphi$ oli 0,74, joka käytännössä tarkoittaa lähes 20 prosentin lisää virran kulutuksessa (LIITE 4). Tehohuippu mittausjaksolla oli noin 63 kilowattia (LIITE 2) ja virta oli enimmillään noin 120 ampeeria (LIITE 3).

Todellisesta huipputehosta P_H ja liittymistehosta P_L voimme määrittää tasoituskerroimen seuraavasti:

$$P_H = k \cdot P_L \Rightarrow k = \frac{P_H}{P_L} = \frac{63kW}{210kW} = 0,3$$

Tasoituskerroimeksi saatiin 0,3. Tämä tarkoittaa sitä, että käytännön tilanteessa esiintyvä tehohuippu on alle kolmasosa kaikkien laitteiden yhteenlasketusta tehosta.

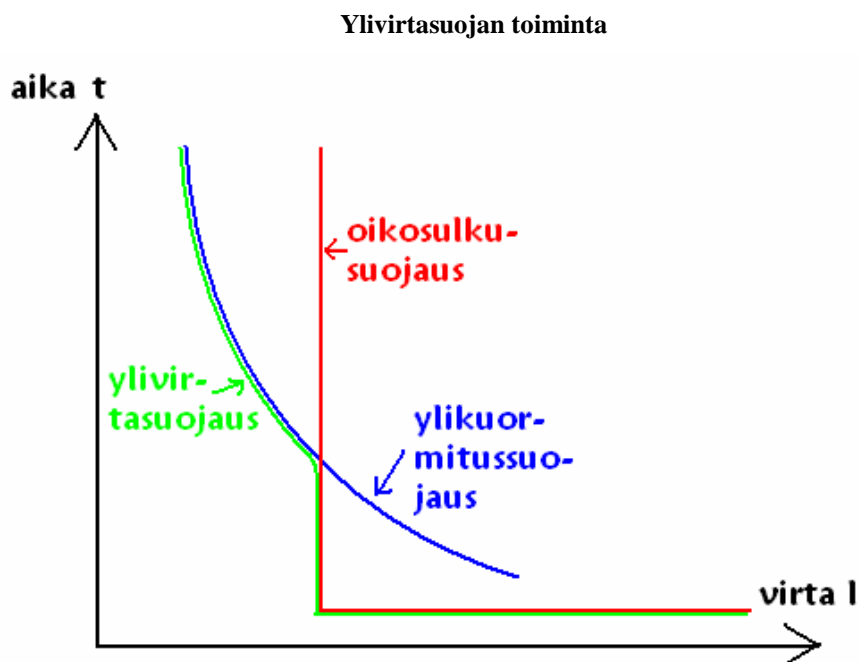
Tasoituskerroin on tärkeä tieto, kun hankitaan uusia tuotantolaitteita. Uuden laitteen vaikutus huipputehoon P_H saadaan, kun laitteen liittymisteho kerrotaan tasoituskerroimella. Laskettaessa laitteen vaikutusta huipputehoon kannattaa käyttää pientä varmuusvaraa, eli tässä tapauksessa kerroin voisi olla esimerkiksi 0,4.

4.4 Tehtaan pääkeskuksen syötön mitoitus

Syötön mitoituksessa on otettava huomioon kolme perusasiaa, ylivirtasuojaus, jännitteen alenema ja selektiivisyys.

4.4.1 Ylivirtasuojaus

Ylivirtasuojaus koostuu kahdesta eri tavalla toimivasta osa-alueesta, oikosulkusuojauksesta ja ylikuormitussuojauksesta. Usein nämä molemmat suojat on rakennettu yhdeksi suojauslaitteeksi, joka voi olla esimerkiksi johdonsuojakatkaisija, gg-tyypin tulppasulake tai suojarele. Moottorien ylivirtasuojaus on perinteisesti toteutettu kahdella erillisellä suojauslaitteella, sulakkeella ja lämpöreleellä, mutta nykyisin siinäkin käytetään usein elektronista suojalaitetta, joka sisältää kummatkin suojat./5/



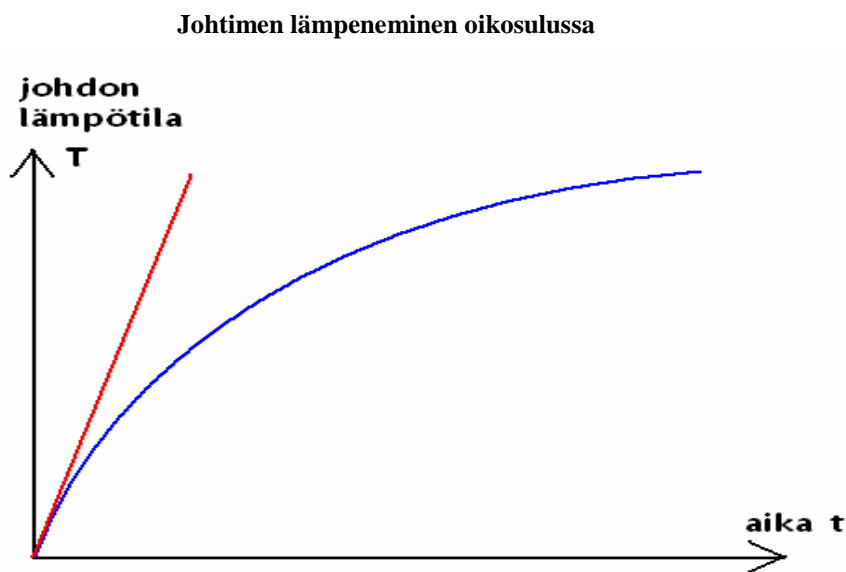
Kaavio 9. Ylivirtasuojaus.

4.4.1.1 Oikosulkusuojaus

Määräysten mukaan oikosulku on laukaistava nopeasti ja itsetoimivasti pois. Kuten yllä olevasta kaaviosta nähdään, ideaalinen oikosulkusuojaja sallii tiettyä rajaa pie-

nemmän virran kulkea ajasta riippumatta, mutta laukaisee sen hyvin nopeasti rajan ylittyessä (Kaavio 9.). SFS-6000-standardin mukaan nopea laukaisu tarkoittaa sitä, että oikosulku laukaistaan alle 5 sekunnissa ja tietyissä tapauksissa alle 0,4 sekunnissa.

Koska oikosulku on hyvin nopea ilmiö, kaikki oikosulussa syntyvä lämpö jää oikosulun aikana johtimeen. Tästä johtuen oikosulkuä tutkimista johtimen lämpenemistä kuvaava käyrä korvataan sen origoon piirretyllä tangentilla laskujen yksinkertaistamiseksi (Kaavio 10.).



Kaavio 10. Johtimen lämpenemiskäyrän approksimaatio.

Johtimen lämpenemistä oikosulun aikana voidaan siis pitää lineaarisena ilmiönä.

Tästä seuraa SFS-6000-standardin kaava:

$$t_{\max} = \left(k \cdot \frac{A}{I} \right)^2$$

Kaavan mukaan $I^2 \cdot t = \text{vakio}$. Kaapelien valmistajat antavat yleensä kaapeleilleen yhden sekunnin $I^2 \cdot t$ -arvon ja koska se on vakio, niin kyseisestä arvosta saadaan piirrettyä kaapelille oikosulunkestokäyrä ajan suhteen.

Kaapelia suojaavan sulakkeen laukaisukäyrän on sijaittava kokonaan kaapelin $I^2 \cdot t$ -käyrän vasemmalla puolella.

Tehtaan pääkeskusta PK1 syöttävälle AXMK 4 x 185 mm² alumiinivoimakaapelille valmistaja ilmoittaa yhden sekunnin $I^2 \cdot t$ -arvoksi 17,5 kiloampeeria./9/ Liittymispisteen oikosulkuvirtana käytetään kolmea kiloampeeria. Näiden tietojen pohjalta voidaan laskea, miten nopeasti oikosulku tulee laukaista, jotta kaapeli säilyy vahingoittumattomana.

$$I^2 t = 17,5 \text{ kA} \cdot 1 \text{ s} \Rightarrow t = \frac{17,5 \text{ kA}^2 \text{ s}}{3^2 \text{ kA}^2} = 1,94 \text{ s}$$

Oikosulun maksimi kesto aika syöttökaapelille on siis 1,94 sekuntia. 160 ampeerin kahvasulake toimii kolmen kiloampeerin virralla alle 0,4 sekunnissa, joten kaapelin kestävyysongelmia ei oikosulkutilanteessa ole.

4.4.1.2 Ylikuormitussuojaus sulakkeella

4.4.1.2.1 Yleistä

Sulakkeen valinta ylikuormitussuojaksi perustuu kahteen epäyhtälöön, nimellisvirtaepäyhtälöön ja laukaisuepäyhtälöön.

Nimellisvirtaepäyhtälö:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z \quad , \text{ jossa} \quad \begin{aligned} I_B &= \text{virtapiirin mitoitusvirta} \\ I_N &= \text{sulakkeen nimellisvirta} \\ I_Z &= \text{kaapelin kesto virta (korjauskertoimilla} \\ &\quad \text{korjattuna)} \end{aligned}$$

Laukaisuepäyhtälö:

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_Z \quad , \text{ jossa} \quad \begin{aligned} I_2 &= \text{sulakkeen toimintavirta, suurilla} \\ &\quad \text{kahvasulakkeilla } I_2 = 1,6 I_N \end{aligned}$$

Tapaus 1. Virtapiirin mitoitusvirta on tiedossa ja pitää valita sulake ja johto:

Ensin valitaan virtapiirin mitoitusvirran perusteella mitoitusvirtaa lähinnä oleva suurempi sulake. Seuraavaksi selvitetään johdon asennustavasta ja asennusympäristöstä johtuvat korjauskertoimet. Tämän jälkeen laukaisuepäyhtälön perusteella määritetään valitun sulakkeen suurin sallima kuormitusvirta, joka jaetaan korjauskertoimien tulolla. Lopuksi valitaan johdon kuormitettavuustaulukosta lähinnä suurempi virta ja sitä vastaava poikkipinta.

Tapaus 2. Kaapelin poikkipinta tunnetaan ja pitäisi valita suurin sallittu ylikuormitukselta suojaava sulake:

Aluksi selvitetään asennusympäristöä ja –geometriaa vastaavat korjauskertoimet. Tämän jälkeen katsotaan kuormitusvirtataulukosta kaapelin asennustapaa vastaava kuormitusvirta, joka kerrotaan korjauskertoimien tulolla. Seuraavaksi laukaisuepäyhtälön perusteella määritellään sulakkeen nimellisvirta ja valitaan sitä lähinnä oleva pienempi sulake. Kaapelin suurin sallittu kuormitusvirta on valitun sulakkeen nimellisvirta.

4.4.1.2.2 Syöttökaapelin mitoitus

Pihakalustetehtaan pääsulakkeiksi valittiin 250 ampeerin kahvasulakkeet. Syöttökaapelina käytetään AXMK -kaapelia, joka on PEX -eristeinen. Asennustavasta tai ympäristöstä johtuvia korjauskertoimia ei tässä tapauksessa ole. Kaapelista puolet on asennettu maan alle ja puolet kaapelihyllylle. Edellä luetellut ehdot huomioon ottaen poikkipintatieto hyllyasennukselle löytyy SFS-6000 standardin taulukosta 52-C6 ja maa-asennukselle taulukosta 52-C2. Kaapelin pienin poikkipinta hyllyasennuksessa on 120 neliömillimetriä, ja tällöin sen kuormitettavuus on enintään 274 ampeeria. Kaapelin pienin poikkipinta maa-asennuksessa on myös 120 neliömillimetriä, ja tällöin sen kuormitettavuus on enintään 255 ampeeria.

Kaapelin poikkipinta määräytyy epäedullisimman asennustavan mukaan. Tässä tapauksessa kummatkin asennustavat antoivat saman poikkipinnan. Syöttökaapelin

poikkipinnaksi edellä kerrotuin perustein riittäisi siis 120 neliömillimetrin suuruinen PEX- eristeinen alumiinikaapeli. Syöttökaapelia valittaessa otettiin huomioon virrankulutuksen todennäköinen kasvaminen tulevaisuudessa. Siksi syöttökaapeliksi valittiin 185 neliömillimetrin suuruinen alumiinivoimakaapeli, AXMK 4x185 mm².

4.4.2 Jännitteenalenema

Standardi ei määrää jännitteen alenemalle maksimiarvoa, mutta yleinen suositus on, että se olisi kuluttajan sähköverkossa enintään neljä prosenttia. Seuraavaksi selvitetään, kuinka paljon jännite alenee hallin kauimmaisessa pisteessä sijaitsevassa kulutuspaikassa, jos sitä syötetään pääkeskukselta puolentoista neliön kuparijohtimilla ja sen tarvitsema virta on 10 ampeeria. Lisäksi oletetaan, että pääkeskuksen virrankulutus on maksimissaan eli 250 ampeeria./10/

Pihakalustetehtaan syöttökaapelin pituus on 50 metriä ja pääkeskukselta hallin kauimmaiseen kulmaan kaapelireitit pitkin kertyy matkaa 100 metriä. Lisäksi oletettiin, että kulutuspaikassa on yksivaiheinen kuorma. Puolentoista neliön kuparijohtimen resistanssi metrillä on 11,5 milliohmia ja 185 neliömetrin alumiinijohdinten resistanssi metrillä on 0,147 milliohmia. Jännitteenalenema saadaan laskettua näiden tietojen pohjalta alla olevan laskelman mukaisesti.

$$\Delta U_1 = 2 \cdot 100m \cdot 11,5 \frac{m\Omega}{m} \cdot 10A = 23V$$

$$\Delta U_2 = 50m \cdot 0,147 \frac{m\Omega}{m} \cdot 250A = 1,84V$$

$$\Delta U = \Delta U_1 + \Delta U_2 = 25V$$

$$\Delta U \% = \frac{25V}{230V} \cdot 100 = 10,9\%$$

Jännitteenalenemaksi saatiin tällaisessa ääritapauksessa 10,9 prosenttia, joka on huomattavasti suurempi kuin standardin suositus (4 %). Jos edellä olevassa esimer-

kissä olisi käytetty 2,5 neliömetrin johtimia jännitteenalenema olisi ollut 6,5 prosenttia eli standardin suositus ei vielääkään täyty. Esimerkistä huomataan, että kaukana syöttöpisteestä olevien kulutuspuisteiden kaapelin poikkipinnan määrääkin johdon kuormitettavuuden sijasta jännitteenalenema.

Seuraavaksi lasketaan puolentoista neliömetrin johtimen maksimi kuormitusvirta kyseessä olevassa pisteessä, jotta standardin suositus ei ylity.

$$\Delta U_{\%} = \frac{\Delta U_2 + R \cdot I}{U_N} \cdot 100 \Rightarrow (\Delta U_2 + R \cdot I) \cdot 100 = \Delta U_{\%} \cdot U_N$$

$$I = \frac{\Delta U_{\%} \cdot U_N - 100 \cdot \Delta U_2}{R \cdot 100} = \frac{4\% \cdot 230V - 100 \cdot 1,84V}{2,3\Omega \cdot 100} = 3,2A$$

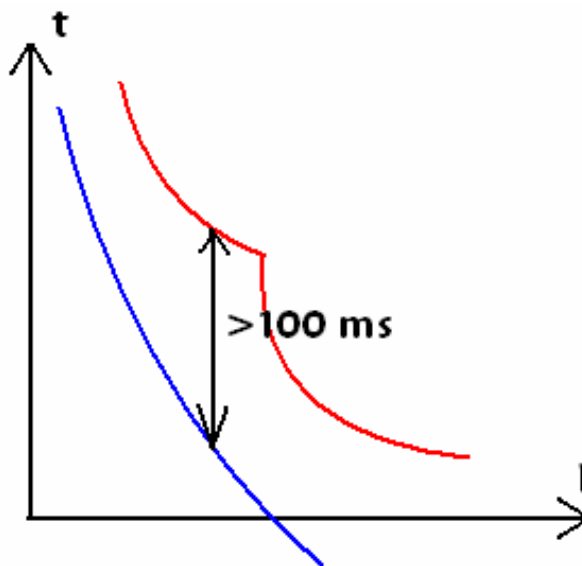
Maksimi kuormitusvirta puolentoista neliömetrin yksivaiheiselle johdolle sadan metrin päässä pihakalustetehtaan pääkeskuksesta on siis 3,2 ampeeria, jotta standardin suositus jännitteenalenemalle ei ylity.

4.4.3 Selektiivisyys

Selektiivisyys oikosulkusuojauksessa tarkoittaa sitä, että oikosulun sattuessa vain vikapaikkaa lähinnä oleva suojalaite toimii. Suojalaitteiden selektiivisellä toiminnalla käyttökeskeytysalue jää mahdollisimman pieneksi aiheuttaen mahdollisimman vähän häiriötä.

Seuraavassa kaaviossa vaaka-akselilla on oikosulkuvirta ja pystyakselilla aika (Kaavio 11.). Punainen ja sininen käyrä kuvaavat peräkkäisten suojien laukaisuaikoja eri ylivirroilla. Ylivirtasuojien laukaisuaajoissa on tietty toleranssi. Tästä johdun selektiivisyys toteutuu vain, jos näiden käyrien välinen ero on vähintään 100 millisekuntia kaikilla ylivirroilla.

Selektiivisyys piirros

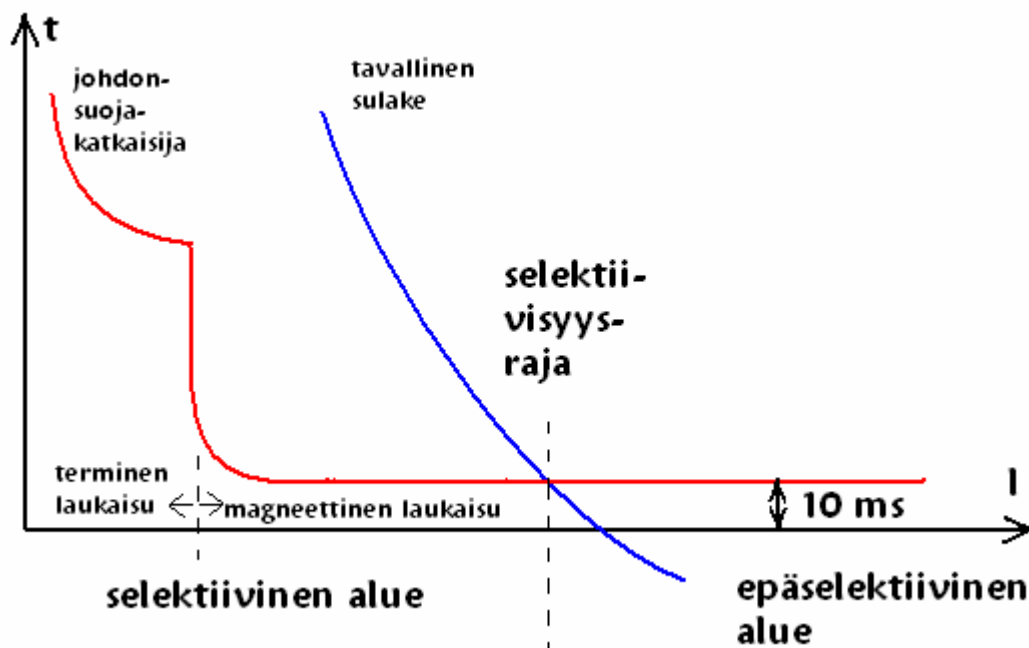


Kaavio 11. Selektiivisyys./8/

Pihakalustetehtaan syötön oikosulkusuojana toimivat 250 ampeerin kahvasulakkeet ja suurimman yksittäisen lähdön kahvasulakkeet ovat 125 ampeerin suuruiset. Seuraavaksi tarkastellaan toimivatko nämä peräkkäiset suojalaitteet selektiivisesti. Sulakkeiden laukaisuaikoja tarkasteltiin valmistajan antamasta kaaviosta (LIITE 5). Laukaisukäyrien ero oli kaikilla ylivirroilla enemmän kuin 100 millisekuntia, joten suojaus on selektiivinen.

Ongelmia syntyy, kun käytetään erityyppisiä suojalaitteita. Käytettäessä peräkkäisinä suojina sulaketta ja johdonsuojakatkaisijaa, syntyy epäselektiivisyystilanne. Johdonsuojakatkaisija laukeaa pienillä ylivirroilla termisesti ja suurilla magneettisesti. Magneettinen laukaisu toimii 10 millisekunnissa, eikä oikosulkuvirran kasvu nopeuta suojan toimintaa, toisin kuin tavallisilla sulakkeilla. Kun sulake ja johdonsuojakatkaisija ovat peräkkäin, tiettyä rajaa suuremmilla ylivirroilla suojat toimivat edellä mainitusta syystä johtuen epäselektiivisesti (Kaavio12)./8/

Sulake ja johdonsuoja peräkkäin



Kaavio 12. Sulakkeen ja johdonsuojakatkaisijan selektiivisyysraja./8/

Tarkastellaan seuraavaksi tehtaan 25 ampeerin pistorasiaryhmän ja sitä edeltävän 80 ampeerin kahvavarokkeen selektiivisyyttä ja selvitetään selektiivisyysraja. Pistorasiaryhmän oikosulkusuojana on B -tyypin johdonsuojakatkaisija. Epäselektiivisyystilanne syntyy sellaisella oikosulkuvirralla, jolla kahvasulakkeen laukeamisaika on alle 110 millisekuntia. Kyseessä oleva oikosulkuvirran suuruus nähdään käyrästä (LIITE 5). Tässä tapauksessa selektiivisyysraja on 0,5 kiloampeeria. Oikosulkuvirta tehtaan pääkeskuksella on 3,28 kiloampeeria, joten suojaus voi oikosulku-tilanteessa toimia epäselektiivisesti. Tässä tapauksessa epäselektiivisyys on kuitenkin hyväksyttävä tilanne, sillä sähkökatko rajautuu siitä huolimatta melko pienelle alueelle.

4.5 Rakennusalan yleiset sopimusehdot YSE 1998

Sähköselityksessä viitataan rakennusalan yleisiin sopimusehtoihin YSE 1998, tästä johtuen selvitetään hieman, mitä sopimusehdot ovat.

Vuonna 1998 voimaan tulleet YSE -ehdot poikkeavat merkittävästi aikaisemmista vuoden 1983 ehdoista. Nämä uudet ehdot soveltuvat kaikkiin urakkamuotoihin sel-

laisenaan, toisin kuin vuoden 1983 ehdot. Valtaosa yrityksien ja yhteisöjen välisistä urakoista solmitaan YSE 1998 -ehtojen pohjalta. /9/

YSE -ehdot luovat pelisäännöt urakoiden eri osapuolille. Nämä säännöt on hyvä tuntea jo urakkaa laskettaessa, sillä ne saattavat vaikuttaa merkittävästi urakan hintaan. Tarkempaa tietoa YSE -ehdoista löytyy esimerkiksi Urakoitsijan YSE -oppaasta sekä tämän insinööriyön liitteestä (LIITE 7).

5. SUUNNITELMAT JA PIIRUSTUKSET

Kaikki pihakalustetehtaan sähkösuunnittelun tuloksena syntyneet kaaviot ja piirustukset tullaan julkaisemaan tässä työssä. Näitä ovat muun muassa johdotuskaaviot, keskuskaaviot ja asemapiirustus.

Kaikki sähkösuunnitelman piirustukset on tehty SähköCADS PRO-ohjelmistolla, joka kattaa kaikki sähkösuunnittelussa tarvittavat toiminnot. Sähkösuunnitelmaan kuuluu tehtaan ja toimisto-osan tasopiirustukset, keskuksien (MK1, PK1, RK1, RK2, RK3) nousujohtopiirustukset ja piirikaavio sekä kaapelinvetolista ja sähköselitys. Työssä julkaistut piirustukset löytyvät liitteistä (LIITE 8).

6. TARKASTUKSET

Seuraavaksi käsitellään lyhyesti sähkölaitteistolle vaadittavia tarkastuksia ennen käyttöönottoa sekä käyttöönoton jälkeen.

6.1 Käyttöönottotarkastus

Käyttöönottotarkastus on tehtävä kaikille sähkölaitteistoille tai niiden osille ennen laitteiston tai sen osan käyttöönottoa. Käyttöönottotarkastuksesta on laadittava mitauspöytäkirja, josta käy ilmi tarkastuksen tulokset ja tarkastuksen tekijän on alle-

kirjoitettava se. Mittauspöytäkirjaa ei kuitenkaan tarvitse tehdä pienistä, esimerkiksi yhden laitteen kytkennästä tai siihen rinnastettavasta pienestä sähkötyöstä. Käyttöönottotarkastus on kuitenkin tehtävä aina ja tulokset on esitettävä asiakkaalle, jos asiakas sitä haluaa./6/

Käyttöönottotarkastusta tehdään työn edetessä pääasiassa silmämääräisen tarkastuksen muodossa. Katsotaan, että johtimien liitokset, suojaukset, merkinnät, ynnä muut asiat ovat määräysten mukaisia. Asennuksen valmistuttua varmistetaan mittauksin ja kokein, että laitteet toimivat suunnitellusti eikä jännitettä ole virhekytkentöjen seurauksena päässyt kiellettyihin paikkoihin esimerkiksi pistorasioiden suojakoskettimiin. Lisäksi on selvitettävä laitteiston eristeiden määräystenmukaisuus eristysresistanssimittauksin sekä vaadittu syötön poiskytkennän toteutuminen oikosulkuvirtatestauksella ja vikavirtasuojien laukaisutesteillä. Suojajohtimien jatkuvuus testataan resistanssimittauksin jokaisesta maadoitettavasta paikasta.

Tarkastuksen edetessä tarkastuksen tulokset kirjataan mittauspöytäkirjaan. Jos vaadittava turvallisuustaso on saavutettu, järjestelmä voidaan ottaa käyttöön.

6.2 Varmennustarkastus

Varmennustarkastus on tehtävä asuintalon sähköjärjestelmälle, joka käsittää enemmän kuin kaksi huoneistoa tai muulle laitteistolle, jonka suojalaitteena toimivan ylivirtasuojan nimellisvirta on yli 35 ampeeria./6/

Tarkastuksessa selvitetään pistokoeluontoisesti, että laitteisto täyttää vaadittavan sähköturvallisuustason ja että laitteistolle tehty käyttöönottotarkastus on suoritettu määräystenmukaisesti./6/

Varmennustarkastus on suoritettava viimeistään kolmen kuukauden kuluttua laitteiston käyttöönotosta. Varmennustarkastuksen suorittaa kyseisen oikeuden omaava valtuutettu tarkastaja tai valtuutettu laitos./6/

6.3 Määräaikaistarkastukset

Standardissa sähkölaitteistot jaetaan ominaisuuksiensa perusteella kolmeen luokkaan. Yrityksen sähköjärjestelmä on ensimmäisen luokan sähkölaitteisto. Ensimmäisen luokan sähkölaitteille eli laitteille, joiden pääsulakkeet ovat yli 35 ampeeria ja liittymisteho P_L enintään 1600 kilovolttiampeeria, on tehtävä määräaikaistarkastus 15 vuoden välein./6/

Määräaikaistarkastuksessa selvitetään pistokoeluonteisesti, että sähkölaitteisto täyttää vaadittavan turvallisuustason. Tarkistetaan, että sähköpiirustukset ja ohjeet ovat ajan tasalla, sähköasennusten muutostöistä on asianmukaiset mittauspöytäkirjat ja että sähkölaitteiston käyttö on turvallista./6/

Määräaikaistarkastuksen suorittaa valtuutettu tarkastaja tai laitos. Tarkastuksen tekijän on tehtävä tarkastuspöytäkirja, jossa on yksilöityinä tarkastuksen tiedot sekä havaitut puutteet./6/

6.4 Yhteenveto

Pihakalustetehtaaseen asennettuun sähkölaitteistoon on käyttöönottotarkastuksen lisäksi tehtävä varmennustarkastus viimeistään kolmen kuukauden kuluttua käyttöönotosta. Lisäksi yrityksen sähköjärjestelmille on tehtävä 15 vuoden välein määräaikaistarkastus.

7. YHTEENVETO JA PÄÄTELMÄT

Tavoitteena oli selvittää yrityksen loistehonkompensoinnin kannattavuus. Tehdyt mittaukset ja laskelmat osoittavat, että se on taloudellisesti erittäin kannattava investointi. Loisteho maksaa yritykselle joka kuukausi noin 360 euroa. Tällä rahalla 6000 euron investointi maksaa itsensä alle kahdessa vuodessa.

Toinen tavoite oli luoda pihakalustetehtaan sähkösuunnitelmat ja piirustukset. Piirustukset tehtiin ja hallin sähköjärjestelmä on toteutettu piirustusten pohjalta.

Uusien laitteiden hankinnan kannalta tärkeä tieto on tasoituskerroin, joka selvitetiin insinööriyön sähkösuunnitteluosiossa. Tehtaan tasoituskertoimeksi saatiin 0,3. Kun hankittavan laitteen liittymisteho kerrotaan tällä kertoimella, saadaan selville laitteen vaikutus huipputehoon.

Lisäksi tarkasteltiin sähkölaitteistoille vaadittavia tarkastuksia yrityksen näkökulmasta. Yrityksen sähkölaitteistolle on tehtävä määräaikaistarkastus 15 vuoden välein. Kaikille uusille asennuksille, joiden nimellisvirta on yli 35 ampeeria, on käytöönottotarkastuksen lisäksi tehtävä varmennustarkastus valtuutetun tarkastajan tai laitoksen toimesta kolmen kuukauden kuluessa käyttöönotosta.

LÄHDELUETTELO

- /1/ Pienjänniteverkon kompensointi,
Espoo: Sähköurakoitsijaliiton Koulutus ja Kustannus Oy 1991.
- /2/ ABB, Teknisiä tietoja ja taulukoita – käsikirja. Loistehon
kompensointitarpeen määrittäminen. [Online].
[Viitattu 18.5.2006] Sivujen toteutus: ABB Asea Brown Boveri Ltd.
Saatavissa: <http://www.abb.fi>
- /3/ Vakka-Suomen Voima, Tehosähkö. Loistehomaksu [Online]
[Viitattu 18.5.2006] Sivujen toteutus: Vakka-Suomen Voima Oy.
Saatavissa: <http://www.svs.fi>
- /4/ Sähköalan talouslaskenta, Investointilaskelmat.
Tampere: Tammertekniikka 2001, s.54 - 55
- /5/ Sähkön siirto- ja jakelutekniikan tuntimuistiinpanot, Ylivirtasuojaus
Pori: Satakunnan Ammattikorkeakoulu 2005.
- /6/ Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähkölaitteistojen käyttöönotosta
ja käytöstä 5.7.1996/517 [Online]
[Viitattu 3.6.2006] Sivujen toteutus: Edilex
Saatavissa: <http://www.edilex.fi/tukes/fi/>
- /7/ Reka, kaapelien sähköisiä ominaisuuksia. [Online]
[Viitattu 3.6.2006] Sivujen toteutus: Reka
Saatavissa: <http://www.reka.fi>
- /8/ Sähkön siirto- ja jakelutekniikan tuntimuistiinpanot, Selektiivisyys
Pori: Satakunnan Ammattikorkeakoulu 2005.

- /9/ Urakoitsijan YSE -opas
Espoo: Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2005, s.3
- /10/ D1 Käsikirja Rakennusten Sähköasennuksista, Jännitteenalenema
Espoo: Sähköturvallisuuden edistämiskeskus, 2002, s.187
- /11/ Vakka-Suomen Voima, Tehosähkö. PJ- ja SJ-tehosähkö [Online]
[Viitattu 24.8.2006] Sivujen toteutus: Vakka-Suomen Voima Oy.
Saatavissa: <http://www.svs.fi>

LIITTEET

LIITE 1	Liittymisteholaskelmat	1	A4
LIITE 2	Pihakalustetehtaan pätöteho	1	A4
LIITE 3	Pihakalustetehtaan virta	1	A4
LIITE 4	Pihakalustetehtaan $\cos \varphi$	1	A4
LIITE 5	Sulakkeiden laukaisukäyriä	1	A4
LIITE 6	Johdonsuojakatkaisijoiden laukaisukäyriä	1	A4
LIITE 7	YSE 1998	2	A4
LIITE 8	Sähköpiirustukset		
LIITE 8.1	Sähköselitys	14	A4
LIITE 8.2	Kaapelinvetolista	4	A4
LIITE 8.3	Nousujohtokaavio, mittauskeskus	1	A4
LIITE 8.4	Nousujohtokaavio, tehtaan pääkeskus	3	A4
LIITE 8.5	Nousujohtokaavio, ryhmäkeskukset	3	A4
LIITE 8.6	Tasopiirustus, tehdas ja taukotilat	1:50	
LIITE 8.7	Tasopiirustus, toimisto, edustustilat ja ullakko	1:50	
LIITE 8.8	Piirikaavio, tehtaan pääkeskus	1:1	

TAUKOTILA

valaistus	muu	
loistevalot :	792 mikro	2000
	60 kahvinkeitin	2500
	60 jääkaappi	1000
	60	
	18	
	18	
	36	
	18	
	36	
	18	
yht.	1116 W	5500 W

150W/ atk-työpiste

TOIMISTO

valaistus	atk	muu	
loistevalot :	1512 tietokoneet	1200 kahvinkeitin	1500
	60 kopiokone	1000 mikro	2000
	18 UPS	500 APK	2000
	18	jääkaappi	1000
	60	imuri	2000
	60		
	60		
	18		
yht.	1806 W	2700 W	8500 W

EDUSTUSTILAT

valaistus	muu	
loistevalot	144 baari	5000
hehkulamp	960 kiuas	8000
kuituvalo	100 apk	2000
	18 jääkaappi	1000
	mikro	2000
	kahvinkeitin	1500
yht.	1222 W	19500 W

TEHTAAN VALAISTUS

valaistus	
suurpaine	
natrium 400	10400
kulkuvalot	928
ulkovalotull	625
yht.	11953 W

Level time diagram

Date:31.05.2006

TOPAS1000/19 3.3.0.2 20030708

Company:@Tammiston Puu Oy

Department:@

Contact:@Markku Heinonen

Cause of measurement@

Reference:@

@

@

@

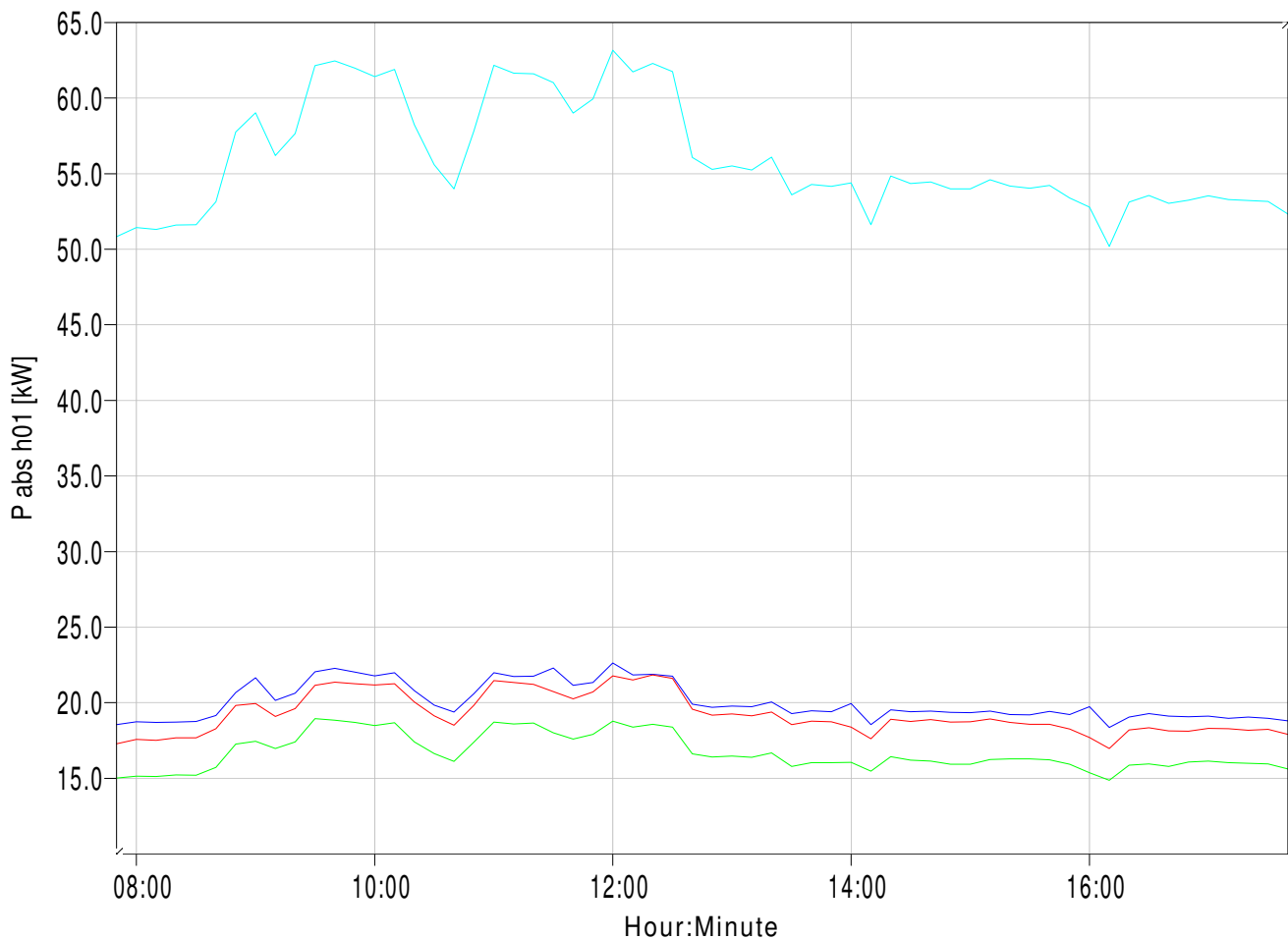
@

@

Filename: TAMPUU3.def

Measurement Period: 14.04.2006 07:50:00,000000 - 14.04.2006 17:40:00,000000

Quantity	L1	2	3	N	Measuring method	Unit
P abs h01	--	--	--	--	10 min Database	[kW]



Level time diagram

Date:31.05.2006

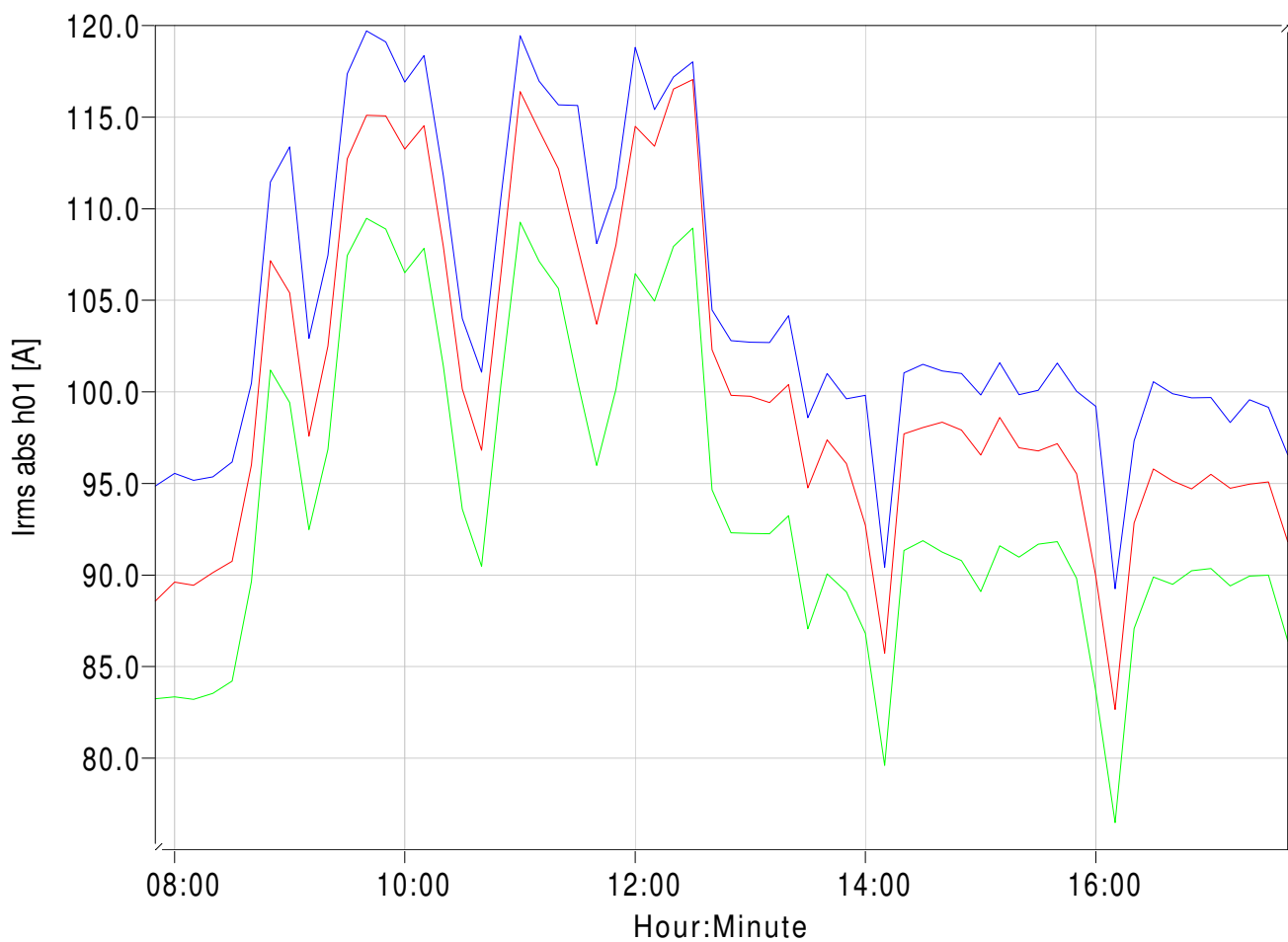
TOPAS1000/19 3.3.0.2 20030708

Company:@Tammiston Puu Oy
Department:@
Contact:@Markku Heinonen
Cause of measurement@
Reference:@
@
@
@
@

Filename: TAMPUU3.def

Measurement Period: 14.04.2006 07:50:00,000000 - 14.04.2006 17:40:00,000000

Quantity	L1	2	3	N	Measuring method	Unit
Irms abs h01	--	--	--		10 min Database	[A]



Level time diagram

Date:31.05.2006

TOPAS1000/19 3.3.0.2 20030708

Company:@Tammiston Puu Oy

Department:@

Contact:@Markku Heinonen

Cause of measurement@

Reference:@

@

@

@

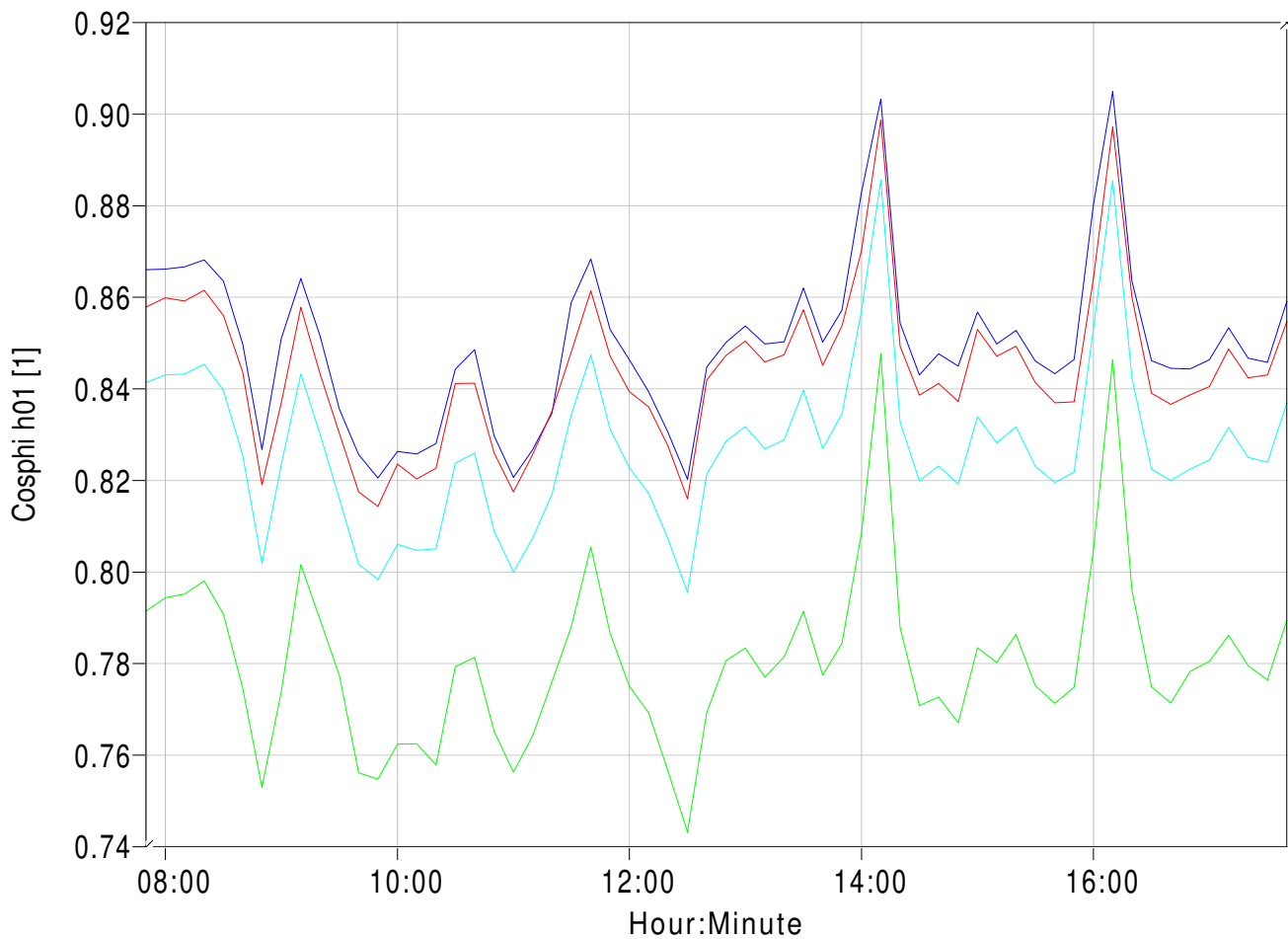
@

@

Filename: TAMPUU3.def

Measurement Period: 14.04.2006 07:50:00,000000 - 14.04.2006 17:40:00,000000

Quantity	L1	2	3	N	Measuring method	Unit
Cosphi h01	--	--	--	--	10 min Database	[1]



Kaapelinvetolista

Kaap. tun.	Kaapelin tyyppi	Mistä	Mihin	Ruuhmä	Huom.
PK1-1	MCMK 4x6+6	PK1	RK1	F2.6	
PK1-2	MCMK 4x6+6	PK1	RK2	F2.7	
PK1-3	MCMK 4x6+6	PK1	RK3	F2.8	
PK1-4	AMCMK 4x70Al+21Cu	PK1	OK1	F1	Hakkuri ja Puruimuri
PK1-5	MCMK 4x10+10	PK1	AS1	F4.1	Automaattisaha 1
PK1-6	MCMK 4x10+10	PK1	AS2	F4.2	Automaattisaha 2
PK1-7	MMJ 5x1,5	PK1	M4	F4.3	Automaattisaha 1 Rullasto
PK1-8	MMJ 5x1,5	PK1	M5	F4.4	Automaattisaha 1 Rullasto
PK1-9	MMJ 5x1,5	PK1	M6	F4.5	Automaattisaha 2 Rullasto
PK1-10	MMJ 5x1,5	PK1	M7	F4.6	Automaattisaha 2 Rullasto
PK1-11	MMJ 5x1,5	PK1	M8	F4.7	Hydraulikoneikko
PK1-12	MMJ 5x1,5	PK1	M9	F2.11	Lämpöpuhallin 1
PK1-13	MMJ 5x1,5	PK1	M10	F2.12	Lämpöpuhallin 2
PK1-14	MMJ 5x1,5	PK1	M11	F2.13	Lämpöpuhallin 3
PK1-15	MMJ 5x1,5	PK1	M12	F2.14	Lämpöpuhallin 4
PK1-16		PK1			
PK1-17		PK1			
PK1-18		PK1			
PK1-19		PK1			
PK1-20	MMJ 5x6	PK1	PR321	F3.3	
PK1-21	MMJ 5x6	PK1	PR322	F3.4	
PK1-22	MMJ 5x6	PK1	PR323	F3.5	
PK1-23	MMJ 5x6	PK1	PR324	F3.6	
PK1-24	MMJ 5x6	PK1	PR325	F5.3	
PK1-25	MMJ 5x6	PK1	PR326	F5.4	
PK1-26	MMJ 5x6	PK1	PR327	F5.5	
PK1-27	MMJ 5x6	PK1	PR328	F5.6	
PK1-28	MMJ 5x2,5	PK1	PR1	F3.7	Kaappa
PK1-29	MMJ 5x2,5	PK1	PR2	F3.8	Jyrsin
PK1-30	MMJ 5x2,5	PK1	PR3	F3.9	Jyrsin
PK1-31	MMJ 5x2,5	PK1	PR4	F3.10	Porakone
PK1-32	MMJ 5x2,5	PK1	PR5	F5.7	Säteissaha
PK1-33	MMJ 5x2,5	PK1	PR6	F5.8	Vannesaha
PK1-34	MMJ 5x2,5	PK1	PR7	F5.9	Porakone
PK1-35	MMJ 5x2,5	PK1	PR8	F5.10	Höylä
PK1-36	MMJ 5x2,5	PK1	PR9	F5.11	
PK1-37	MMJ 5x2,5	PK1	PR10	F5.12	
PK1-38	MMJ 5x2,5	PK1	PR11	F5.13	
PK1-39	MMJ 5x2,5	PK1	PR12	F5.14	
PK1-40	MMJ 5x2,5	PK1	PR13	F5.15	
PK1-41	MMJ 5x2,5	PK1	PR14	F5.16	
PK1-42	MMJ 5x2,5	PK1	PR15	F3.11	
PK1-43	MMJ 5x2,5	PK1	PR16	F3.12	
PK1-44	MMJ 5x2,5	PK1	PR17	F3.13	
PK1-45	MMJ 5x2,5	PK1	PR18	F3.14	
PK1-46	MMJ 5x2,5	PK1	PR19	F3.15	
PK1-47	MMJ 5x2,5	PK1	PR20	F3.16	
PK1-48		PK1			
PK1-49		PK1			

Kaap. tun.	Kaapelin tyyppi	Mistä	Mihin	Ryhmä	Huom.
PK1-50		PK1			
PK1-51		PK1			
PK1-52	MMJ 5x1,5	PK1		F2.1	kulkuvalot
PK1-53	MMJ 5x1,5	PK1		F2.2	kulkuvalot
PK1-54	MMJ 5x1,5	PK1		F2.3	kulkuvalot
PK1-55	MMJ 5x2,5	PK1		F2.4	ulkovalot
PK1-56	MMJ 5x2,5	PK1		F2.5	trukin latauspisteen pistorasiat
PK1-57	MMJ 5x2,5	PK1		F3.1	valaistus hallin vasen puoli
PK1-58	MMJ 5x2,5	PK1		F3.2	valaistus sahaosasto
PK1-59	MMJ 5x2,5	PK1		F5.1	valaistus hallin oikea puoli
PK1-60	MMJ 5x2,5	PK1		F5.2	valaistus varasto
PK1-61	MMJ 3x1,5	PK1		F2.9.2	valaistus keskushuone
PK1-62	MMJ 3x1,5	PK1		F2.9.1	merkkilamppu H1
PK1-63	MMJ 3x1,5	PK1		F2.9.1	merkkilamppu H2
PK1-64	MMJ 3x1,5	PK1		F2.9.1	merkkilamppu H3
PK1-65		PK1			
PK1-66	Nomak 2x24x0,5	PK1	OK2		
PK1-67	MMO 12x1,5	PK1	OK2		
PK1-68		PK1			
PK1-69		PK1			
PK1-70	Liyycy 4x0,5	PK1	S1		tehtaan sähköt päälle/pois
PK1-71	Liyycy 4x0,5	PK1	S2		hallin valaistus
PK1-72	Liyycy 4x0,5	PK1	S3		saha osaston valaistus
PK1-73	Liyycy 4x0,5	PK1	S4		varaston valaistus
PK1-74	Liyycy 4x0,5	PK1	S5		hallin kulkuvalot
PK1-75	Liyycy 4x0,5	PK1	S6		hallin kulkuvalot
PK1-76	Liyycy 4x0,5	PK1	S7		hallin kulkuvalot
PK1-77	Liyycy 4x0,5	PK1	S8		sahaosaston ja varaston kulkuvalot
PK1-78	Liyycy 4x0,5	PK1	S9		sahaosaston ja varaston kulkuvalot
PK1-79	Liyycy 4x0,5	PK1	S10		sahaosaston ja varaston kulkuvalot
PK1-80	Liyycy 4x0,5	PK1	S11		sahaosaston ja varaston kulkuvalot
PK1-81	Liyycy 4x0,5	PK1	S12		sahaosaston ja varaston kulkuvalot
PK1-82	Liyycy 4x0,5	PK1	S13		hämäräkytkin

Kaap. tun.	Kaapelin tyyppi	Mistä	Mihin	Ryhmä	Huom.
RK1-11				F1.1	ohjaus
RK1-12	MMJ 3x1,5S	RK1		F1.2	valaistus taukotilat, tuulikaappi ja ulkovalot
RK1-13	MMJ 3x1,5S	RK1		F1.3	valaistus WC, siivouskomero ja taukotila
RK1-21	MMJ 3x1,5S	RK1		F2.1	valaistus sos. tila miehet
RK1-22	MMJ 3x1,5S	RK1		F2.2	valaistus sos. tila naiset
RK1-23	MMJ 3x1,5S	RK1		F2.3	valaistus porraskäytävä
RK1-31	MMJ 3x1,5S	RK1		F3.1	lämmityksen ohjaus jakotukki
RK1-32		RK1		F3.2	
RK1-33		RK1		F3.3	
RK1-41	MMJ 3x2,5S	RK1		F4.1	keittiön PR:t
RK1-42	MMJ 3x2,5S	RK1		F4.2	astian pesukone
RK1-43		RK1		F4.3	
RK1-51	MMJ 3x2,5S	RK1		F5.1	ulkopistorasia
RK1-52		RK1		F5.2	
RK1-53		RK1		F5.3	
RK2-11		RK2		F1.1	ohjaus
RK2-12	MMJ 3x1,5	RK2		F1.2	valaistus TSTO 1 ja TSTO 2
RK2-13	MMJ 3x1,5	RK2		F1.3	valaistus TSTO 3 ja TSTO 4
RK2-21	MMJ 3x1,5	RK2		F2.1	valaistus TSTO 5, TSTO 6 ja TSTO 7
RK2-22	MMJ 3x1,5	RK2		F2.2	valaistus aula ja käytävä
RK2-23	MMJ 3x1,5	RK2		F2.3	valaistus siivouskomero ja vessat
RK2-31	MMJ 3x1,5	RK2		F3.1	lämmityksen ohjaus
RK2-32		RK2		F3.2	
RK2-33		RK2		F3.3	
RK2-41	MMJ 3x2,5	RK2		F4.1	keittiön pistorasiat
RK2-42	MMJ 3x2,5	RK2		F4.2	mikro
RK2-43		RK2		F4.3	
RK2-51	MMJ 3x2,5S	RK2		F5.1	pistorasiat TSTO 1 ja TSTO 2
RK2-52	MMJ 3x2,5S	RK2		F5.2	pistorasiat TSTO 3 ja TSTO 4
RK2-53	MMJ 3x2,5S	RK2		F5.3	pistorasiat TSTO 4 ja TSTO 5
RK2-61	MMJ 3x2,5S	RK2		F6.1	pistorasiat TSTO 6 ja TSTO 7
RK2-62	MMJ 3x2,5S	RK2		F6.2	UPS-laite
RK2-63	MMJ 3x2,5S	RK2		F6.3	
RK2-71	MMJ 3x2,5S	RK2		F7.1	Huippuimuri 1
RK2-72	MMJ 3x2,5S	RK2		F7.2	Huippuimuri 2
RK2-73	MMJ 3x2,5S	RK2		F7.3	Huippuimuri 3

Kaap. tun.	Kaapelin tyyppi	Mistä	Mihin	Ryhmä	Huom.
RK3-11		RK3		F1.1	ohjaus
RK3-12	MMJ 3x1,5	RK3		F1.2	valaistus aula, vessa ja siivouskomero
RK3-13	MMJ 3x1,5	RK3		F1.3	valaistus oleskelutila
RK3-21	MMJ 3x1,5	RK3		F2.1	valaistus pukuhuone, pesuhuone ja sauna
RK3-22	MMJ 3x1,5	RK3		F2.2	valaistus baaritiski
RK3-23	MMJ 3x1,5	RK3		F2.3	lämmityksen ohjaus
RK3-31		RK3		F3.1	
RK3-32		RK3		F3.2	
RK3-33		RK3		F3.3	
RK3-41	MMJ 3x2,5S	RK3		F4.1	keittiön PR:t
RK3-42	MMJ 3x2,5S	RK3		F4.2	astian pesukone
RK3-43		RK3		F4.3	
RK3-5	MMJ 5x2,5S	RK3		F5	kiuas
RK3-6	MMJ 5x2,5S	RK3		F6	liesi
OK2-1	Öflex 3x1,5	OK2	Y1	A4.0	Saha1 Ovi auki
OK2-2	Öflex 3x1,5	OK2	Y2	A4.1	Saha1 rullarata ylös
OK2-3	Öflex 3x1,5	OK2	Y3	A4.2	Saha1 rullarata alas
OK2-4	Öflex 3x1,5	OK2	Y4	A4.3	Saha2 Ovi auki
OK2-5	Öflex 3x1,5	OK2	Y5	A4.4	Saha2 rullarata ylös
OK2-6	Öflex 3x1,5	OK2	Y6	A4.5	Saha2 rullarata alas
OK2-7					
OK2-8					
OK2-9					
OK2-10	Liycy 4x0,5	OK2	F1	E0.0	Oviaukko 1 vapaa
OK2-11	Liycy 4x0,5	OK2	G2	E0.1	Ovi 1 Auki
OK2-12	Liycy 4x0,5	OK2	G3	E0.2	Rullarata1 ylhäällä
OK2-13	Liycy 4x0,5	OK2	G4	E0.3	Rullarata1 alhaalla
OK2-14	Liycy 4x0,5	OK2	F5	E0.4	Sahan 1 työskentelykorkeuden säätö
OK2-15	Liycy 4x0,5	OK2	G6	E0.5	Nippu 1 sisällä
OK2-16	Liycy 4x0,5			E0.6	
OK2-17	Liycy 4x0,5			E0.7	
OK2-18	Liycy 4x0,5			E1.0	
OK2-19	Liycy 4x0,5	OK2	F10	E1.1	Oviaukko 2 vapaa
OK2-20	Liycy 4x0,5	OK2	G11	E1.2	Ovi 2 Auki
OK2-21	Liycy 4x0,5	OK2	G12	E1.3	Rullarata 2 ylhäällä
OK2-22	Liycy 4x0,5	OK2	G13	E1.4	Rullarata 2 alhaalla
OK2-23	Liycy 4x0,5	OK2	F14	E1.5	Sahan 2 työskentelykorkeuden säätö
OK2-24	Liycy 4x0,5	OK2	G15	E1.6	Nippu 2 sisällä
OK2-25	Liycy 4x0,5			E1.7	