

Teollisuuskiinteistön 20 kV-liittymän hankintaprojekti

Risto Kuosmanen

Opinnäytetyö

Joulukuu 2015

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), Automaatiotekniikan koulutusohjelma

Tekijä(t) Kuosmanen Risto	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä 8.12.2015
	Sivumäärä 82	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: kyllä
Työn nimi Teollisuuskiinteistön 20 kV-liittymän hankintaprojekti		
Tutkinto-ohjelma Automaatiotekniikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Vesa Hytönen		
Toimeksiantaja(t) Granlund Joensuu Oy		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyö tehtiin Granlund Joensuu Oy:lle, joka tarjoaa LVIAS-suunnittelun lisäksi myös kiinteistö- ja energiankonsultoinnin palveluita. Opinnäytetyön tavoitteena oli tarkastella 20 kV-liittymän hankintaprosessia liittyen Petäjäveden Metalliteollisuuden tuotantotilojen laajenemiseen. Opinnäytetyö rajattiin käsittelemään keskijänniteliittymän hankintaa, ja miten kyseinen prosessi käytännössä toteutetaan. Lisäksi työssä perehdyttiin muuntajien energiatehokkuuteen ja sähkön pääjakelujärjestelmien toteutustapoihin ja suojauksiin.</p> <p>Tietoperusta opinnäytetyöhön koottiin pääosin sähköisistä materiaaleista kuten standardeista, verkkoyhtiöiden ohjeista, esitteistä sekä lehtileikkeistä. Lisäksi tietoperustaan saatiin henkilökohtaisia näkemyksiä Granlund Joensuu Oy:n sähköosaston suunnittelijoilta ja asiantuntijoilta. Kirjallisten lähteiden lisäksi opinnäytetyön aikana laadittiin laskentataulukoita, joiden avulla pystyttiin tutkimaan taloudellisia näkökulmia liittyen muuntajan hankintaan.</p> <p>Opinnäytetyön tärkein tulos oli selvittää keskijänniteliittymän hankintaprosessi sähkösuunnittelijan näkökulmasta. Lisäksi opinnäytetyö antoi tärkeitä tietoja sähkölaitteiston pääkomponenteista, joista sähkösuunnittelijan pitää olla perillä tehdessään sähköliittymähankintaa.</p> <p>Keskijänniteliittymän hankinta on käyttäjälle investointi, jolla on pitkä pitoaika. Liittymän suunnittelussa ja mitoituksessa tulee sähkösuunnittelijan olla perillä eri toteutustavoista ja niiden eduista ja haitoista. Myös taloudellinen tarkastelu muuntajalle on tärkeä suorittaa ennen hankintaa.</p>		
Avainsanat (asiasanat) muuntamot, muuntajat, energiatehokkuus, projektinhallinta		
Muut tiedot		

Author(s) Kuosmanen, Risto	Type of publication Bachelor's thesis	Date 8.12.2015 Language of publication: Finnish
	Number of pages 82	Permission for web publication: yes
	Title of publication Procurement project for 20kV electrical interface of industry real estate	
Degree programme Automation Engineering		
Supervisor(s) Hytönen, Vesa		
Assigned by Granlund Joensuu Ltd		
Abstract <p>The thesis was assigned by Joensuu Granlund Ltd, which provides HVAC design, electrical and automation design, real estate and energy consulting services. The aim of the thesis was to examine the 20kV interface procurement process related to the expansion of Petäjavesi Metal Ltd production premises. The thesis was limited to the acquisition of a medium voltage interface, and the implementation of this process in practice. In addition, the energy efficiency as well as the methods of the implementation of electricity main distribution and protections were studied.</p> <p>The knowledge base for this thesis was gathered mainly from electronic materials such as standards, instructions of network-companies, brochures, and newspaper clippings. In addition, the knowledge base was widened using the personal views of designers and experts of the electrical department at Granlund Joensuu Ltd e. Besides the literary sources, spreadsheets were also drawn up, enabling to examine the economic perspectives related to the transformer acquisition.</p> <p>The main result of the thesis was to clarify the procurement process of the medium voltage interface from the electrical designer's perspective. In addition, the thesis provided important information about the main components of the electrical installation, of which the electrical designer should be aware when acquiring the electrical interface.</p> <p>The purchase of medium voltage interface is a long-term investment for the user. When designing and dimensioning the interface the electrical designer should be aware of different methods of implementation and their advantages and disadvantages. It is important to perform the economic review of the transformer before the acquisition.</p>		
Keywords/tags (subjects) substations, transformers, energy efficiency, project management		
Miscellaneous		

Sisältö

1	Johdanto	6
1.1	Opinnäytetyön tausta, tavoitteet ja rajaukset	6
1.2	Granlund Joensuu Oy	6
1.3	Petäjäveden Metalli Oy Ab	7
2	Hankkeen tausta	8
2.1	Tarveselvitys ja hankesuunnittelu	8
2.2	Muuntamon tarveselvitys ja hankesuunnittelu	8
2.3	Nykyhetken käytön kartoitus	9
2.4	Tulevaisuuden käyttötarpeen kartoitus	10
2.5	Aikataulu	11
2.6	Kustannukset	11
2.7	Johtopäätökset ja esitykset toteutusvaihtoehtoiksi	12
3	Jakeluverkko	13
3.1	Jakelujärjestelmät	13
3.2	Sähköliittymä	16
3.3	Muuntamot	18
3.4	Muuntajatyypit	23
3.5	Muuntajan energiatehokkuus	26
3.6	Sähkökeskukset	31
3.7	Kaapelointi	32
3.8	Maadoitukset	36
3.9	Kompensointi	39
3.10	Keski- ja pienjännitekojeistot	44
4	Työn vaiheet ja toteutus	51
4.1	Projektin kulku	51
4.2	Tarveselvitys ja hankesuunnittelu	52

4.3	Aloituspalaveri	52
4.4	Esisuunnittelu	53
4.5	Suunnittelupalaverit	56
4.6	Toteutussuunnittelu.....	57
4.7	Rakentamisaikaiset tehtävät	62
4.8	Käyttöönotto ja tarkastukset.....	63
4.9	Kohteen luovutus ja käyttö	63
5	Tuloksien käsittely	65
5.1	Tavoitteet	65
5.2	Tulokset	65
6	Pohdinta	67
	Lähteet	68
	Liitteet	72
	Liite 1. Suurjännitelaitteiston käyttöönottotarkastuspöytäkirja.....	72
	Liite 2. Direktiivin uudet vaatimukset tehomuuntajille	74
	Liite 3. 50-2500 kVA:n jakelumuuntajien normaalihäviöinen sarja.....	75
	Liite 4. Aloituspalaverin muistio	76
	Liite 5. Petäjäveden Metalli Oy Ab:n laajennuksen pääjakelukaavio	79
	Liite 6. Toteutusvaiheen asemapiirustus	80
	Liite 7. Ote keskijännitejakelun sähköselostuksen osiosta	81
	Liite 8. Rakentamisajan revisioitu asemapiirustus	82

Kuviot

Kuvio 1. Esimerkki jakeluverkkoyhtiön kaapelikartasta.....	10
Kuvio 2. Maasta erotettu 20 kV jakelujärjestelmä	13
Kuvio 3. Avokolmiokytkentä	14
Kuvio 4. Sammutettu 20 kV jakelujärjestelmä	15
Kuvio 5. Esimerkki muuntamon maadoituskaaviosta	15
Kuvio 6. Yhden muuntajan muuntamon aluerajaukset SF6 kojeistolla	19
Kuvio 7. Muuntajan toimintaperiaate	20
Kuvio 8. Kolmivaihemuuntajien osoitin- ja kytkentäpiirrokset	21
Kuvio 9. Hermeettisesti suljettu muuntaja	24
Kuvio 10. Paisuntasäiliöllinen öljyristeinen muuntaja	24
Kuvio 11. Kuivamuuntaja	25
Kuvio 12. 1600 kVA:n muuntajan kuormituksesta riippuva takaisinmaksuaika	28
Kuvio 13. Muuntajan nimellistehon vaikutus häviökustannuksiin	29
Kuvio 14. Puistomuuntamon PJ-keskus ja jonovarokelähdöt	32
Kuvio 15. AHXAMK-W kaapelin rakenne	33
Kuvio 16. HXCMK kaapelin rakenne	33
Kuvio 17. Vikavirtojen kulku ja suojalaitteiden toiminta, jos vain alkupään oikosulkusuojat suojaamassa nousujohtoja	35
Kuvio 18. Vikavirtojen kulku ja suojalaitteiden toiminta, kun oikosulkusuojat molemmissa päissä nousujohtoja	35
Kuvio 19. Muuntajan sisältävän sähköliittymän maadoitukset ja pääjohdot	36
Kuvio 20. Maadoitusjohtimien ja maadoituselektrodien sallitun oikosulkuvirran tiheys	37
Kuvio 21. Suurin sallittu kosketusjännite U_{TP}	38
Kuvio 22. Tehon kompensoinnin vaikutus	40
Kuvio 23. Yliaaltoisen verkon särötehon vaikutus siirrettävään näennäistehoon	43
Kuvio 24. Loistehomaksun määräytyminen Tampereen sähköverkossa, kun laskutuspäätoteho 800 kW	44
Kuvio 25. SF6 eristeinen kojeistokenno	45
Kuvio 26. Ilmaeristeinen kojeistokenno	46
Kuvio 27. Projektin eteneminen ja työvaiheet	51

Kuvio 28. Hallin laajennusosan perustuksien rakennusvaihe	57
Kuvio 29. 1600 A ja 630 A katkaisijoiden asettelut ja selektiivisyystarkastelu	60
Kuvio 30. 400 A lähtösulakkeen ja 1600 A pääkatkaisijan selektiivisyystarkastelu.....	61
Kuvio 31. Puistomuuntamo asennettuna työmaan rakennusvaiheessa	62

Taulukot

Taulukko 1. Sähkönjakeluverkon yksikköhintoja vuonna 2014.....	12
Taulukko 2. Elenian jakeluverkon liittymishinnasto	17
Taulukko 3. 1600 kVA:n muuntajan takaisinmaksulaskelma	28
Taulukko 4. Yksittäisten yliaaltojännitteiden raja-arvot	42
Taulukko 5. Jakeluverkkojen taajuuden ja jännitteen raja-arvot	42
Taulukko 6. Ohjeellisia arvoja muuntajan pääsulakkeiden valintaan.....	47
Taulukko 7. Keskijännitekojeiston sähköisiä mitoitusarvoja.....	50
Taulukko 8. Laajennuksen mitoitusraportti	58
Taulukko 9. Kompensoinnin mitoitusraportti	59

Käsiteluettelo

PJ	Pienjännite, ≤ 1 kV
KJ	Keskijännite, 1 – 36 kV
SF6-kaasu	Rikkiheksafluoridia sisältävä eristysaine keski- ja suurjännitekojeistoissa
TN-C	Sähkönjakelujärjestelmä, jossa on yhdistetty nolla- ja suojamaadoitusjohdin
TN-S	Sähkönjakelujärjestelmä, jossa on erillinen nolla- ja suojamaadoitusjohdin

1 Johdanto

1.1 Opinnäytetyön tausta, tavoitteet ja rajaukset

Tämä opinnäytetyö tehtiin osana harjoittelujaksoa Granlund Joensuu Oy:lle. Sain työtehtäväkseni toteuttaa harjoittelun aikana Petäjäveden Metalli Oy Ab:lle tuotantotilojen laajennukseen liittyvät sähkösuunnitelmat, sekä olla avustamassa asiakasta 20 kV-liittymän hankinnassa. Pääpainoni opinnäytetyössä keskittyy tarkastelemaan 20 kV-liittymän hankintaprojektia, sekä tarkastelemaan jakeluverkon komponentteja, joiden ominaisuuksiin on sähkösuunnittelijan tärkeä olla perehtynyt, kun asiakkaan omistukseen tulevaa keskijänniteliittymää ollaan hankkimassa.

Opinnäytetyön tavoite on esitellä lukijalle projektin tärkeimmät tehtävät, mitä eri dokumentteja eri työvaiheista on syytä laatia, ja mitä tyypillisessä 20 kV-liittymän hankintaprojektissa eri osapuolet tekevät. Tavoitteena on myös tarkastella taloudellisista näkökulmista eri laitevalintojen vaikutuksia loppukäyttäjälle. Jatkossa opinnäytetyötäni voidaan hyödyntää tietolähteenä vastaavanlaisissa projekteissa, joissa tehtäviin kuuluu muun muassa asiakasmuuntamon hankinta.

1.2 Granlund Joensuu Oy

Granlund Joensuu Oy aloitti toimintansa 1.5.2015, kun entinen Insinööritoimisto Eskelinen Oy ja Granlund Kuopion omistama vuonna 2009 perustettu Joensuun aluetoimisto yhdistyivät. Nykyään Granlund Joensuu Oy työllistää hieman yli kaksikymmentä henkilöä. Yrityksen palveluihin kuuluu LVIAS-suunnittelun lisäksi myös kiinteistö- ja energiankonsultoinnin palveluita. Granlund Joensuu Oy kuuluu Granlund konserniin, joka työllistää yhteensä yli 500 asiantuntijaa ympäri Suomea kuudelta toista eri paikkakunnalla. Granlund konsernin perusti 55 vuotta sitten jo edesmennyt Olof Granlund (Hänninen n.d).

Granlund Joensuu Oy:n pääasiakkaat sijoittuvat Joensuuhun ja sen ympäryskuntiin. Toiminta keskittyy erityisesti julkiseen rakentamiseen, liike- ja palvelurakentamiseen sekä kasvavassa määrin myös teollisuuteen. (Granlund Joensuun yhteystietosivusto n.d)

Koko Granlund konsernin toimintatavat tähtäävät energiatehokkaisuun ja uudistuviin ratkaisuihin. Yrityksen sloganiksi onkin muodostunut näin ”Less energy gives more”. (Granlund Oy:n yhtiötiedote sivustolta n.d)

1.3 Petäjäveden Metalli Oy Ab

Petäjäveden Metalli Oy Ab perustettiin vuonna 1980, ja se valmisti aluksi erilaisia metallituotteita kuten kattiloita ja varaajia. vuonna 1986 yritys muutti toimintansa vastaamaan asiakkaiden tarpeita, ja vaihtoi toimintansa alihankintaperusteiseksi. Konekanta yrityksessä on uudistunut, ja nykyään ne vastaavat tämän päivän tuotantotarpeisiin sekä laatuvaatimuksiin. Vastaavia tuotantokoneita ei nykyään löydy mistään muualta pohjoismaista. (Yritysesittely sivustolta 2013)

Yritys on erikoistunut valmistamaan erilaisia muototeräksestä ja teräslevyistä tehtäviä taivutettuja ja puristettuja osia, kuten säiliönpäätyjä. Yrityksen asiakkaita sijaitsee muun muassa Suomessa, Pohjoismaissa ja Baltiassa.

Vuoden 2015 tuotantotilojen laajennukset nojaavat suuresti tulevaisuuden tilauksiin. Yhtenä suurena loppuasiakkaana tulee olemaan vuosina 2016 - 2017 Metsä Fibre, joka päätti 21.4.2015 investoida uuteen biotuotetehtaaseen Äänekoskelle. Petäjäveden Metalli Oy Ab on yhtenä alihankkijana mukana toimittamassa muun muassa säiliönpäätyjä tehtaan prosessisäiliöihin. (Pörssitiedote 2015)

2 Hankkeen tausta

2.1 Tarveselvitys ja hankesuunnittelu

Lähes aina rakentamiseen liittyvään projektiin kuuluu tarveselvitys ja hankesuunnittelu. Tarveselvityksen ja hankesuunnittelun laajuus on aina yksilöllinen riippuen paljolti rakennettavan kohteen laajuudesta. Tarveselvityksessä perustellaan hankinnan tarpeellisuus tai jo olemassa olevien tilojen muutostarve. Tarveselvityksessä tehdään alustava selvitys tarvittavien tilojen käyttötarkoituksesta, ja mitä vaatimuksia tiloilta vaaditaan, sekä vertaillaan tarvittaessa erilaisia vaihtoehtoja. (ST 41.10, 2013, 1) Tarveselvityksen pohjalta tehdään hankepääätös ja aloitetaan projekti.

Tarveselvitys on projektin ensimmäinen työvaihe, ja riippumatta projektin luonteesta ja kohteesta pääidea tarveselvityksellä on aina sama.

Jos projektissa on jo mukana suunnittelijoita tai muita asiantuntijoita, hyödyntää asiakas usein heidän asiantuntemustaan jo tarveselvitys vaiheessa.

Tarveselvitystä seuraa hankesuunnittelu, jonka tarkoituksena on muodostaa projektiohjelma ja hankeohjelma. Projektille siis asetetaan sen raamit, eli muun muassa aikataulu ja kustannukset rajataan tässä vaiheessa. Tarveselvityksen pohjalta tehdään investointipääätös, ja tämän jälkeen asiakas viimeistään suorittaa suunnittelijoiden valinnan, ja kohteen suunnittelu eri suunnittelualoilla voidaan aloittaa. (Mts. 1.)

2.2 Muuntamon tarveselvitys ja hankesuunnittelu

Käyttäjän omistukseen tulevaa muuntamoa hankittaessa, tulee aluksi miettiä, paljonko kohteen sähköenergian tarve on, ja kuinka suuren huipputehon kiinteistö voi tulevaisuudessa tarvita.

Kun sähköenergian tarve ja suurin huipputeho on selvillä, ottaa suunnittelija yhteyden alueella toimivaan sähköverkkoyhtiöön ja selvittää seuraavat asiat:

- Sähkön siirron hinnat sekä keskijännitteellä että pienjännitteellä
- Verkkoyhtiökohtaiset liittymisehdot ja maksut sekä keskijänniteliittymästä että pienjänniteliittymästä kyseiseen kohteeseen lasketulla huipputeholla
- Käytettävien liittymisjohtojen lajit, poikkipinnat, lukumäärät ja reitit
- Käyttäjän muuntamoita koskevat ohjeet (muun muassa mittaustapa ja suoja-laitteet)
- Nykyisten sähköliittymien siirto ja hyvitys hankittaessa uutta liittymää (mikäli vanhat liittymät poistetaan)

Edellä mainittujen tietojen pohjalta suunnittelija arvio mahdolliset muuntajainvestoinnit ja keskijänniteliittymän hankinnan kannattavuuden sekä esimerkiksi käyttövarmuuteen vaikuttavat asiat.

Jos laskettu huipputeho on alle 500 kW, on pienjänniteliittymä yleisesti edullisempi. Jos laskettu huipputeho on 250-500 kW välillä, suositellaan että asia tarkistetaan laskemalla ennen hankintapäätöstä. (ST 53.11, 2003, 3)

2.3 Nykyhetken käytön kartoitus

Monesti teollisuuden rakennuskohteissa on kyse laajennuksesta tai saneerauksesta, joka aiheuttaa muutoksia sähkön jakeluun. Usein myös kiinteistön sähkötehon tarve kasvaa. Tärkeä osa projektia on myös nykytilanteen kuormitusten ja huipputehon selvittäminen. Tässä tilanteessa apuna voidaan käyttää muun muassa verkonhaltijalta saatavia reaaliaikaisia kulutustietoja tai kohteesta saatavia paikallisia mittaustietoja. Vaihtoehtoisesti mikäli edellä mainittuja tietoja ei ole saatavilla, voidaan arvioida nykyinen huipputeho myös nykyisten sähköliittymien pääsulakkeiden mukaan tai suorittaa kohteelle verkostanalysointimittaus erillisellä laitteistolla.

Myös nykyiset kaapelireitit ja kytkentäpisteet mahdollisten muutoksien varalta tulee selvittää. Kaapelireitit voivat olla merkattuina käyttäjältä löytyviin asemapiirustuksiin tai vaihtoehtoisesti jakeluverkkoyhtiön kaapelikarttoihin (ks. kuvio 1).



Kuvio 1. Esimerkki jakeluverkkoyhtiön kaapelikartasta

2.4 Tulevaisuuden käyttötarpeen kartoitus

Projektissa suurin osa käyttäjän kanssa käytävistä palavereista keskittyy nimenomaan tulevaisuuden käyttötarpeiden määrittämiseen. Projektin alussa tulee suunnittelijan kirjata kaikki mahdolliset lähtötiedot, jotka voivat vaikuttaa huipputehon määrittämiseen ja sähköliittymän hankintaan. Tämä johtuu siitä, että ensimmäinen, tärkein ja usein myös kallein hankinta sähköteknisissä järjestelmissä liittyy asiakkaan muuntamon hankintaan.

Suunnittelijan tulee myös selvittää asiakkaalta mahdolliset tulevat laajennukset riittävien varamitoitusten varalta.

2.5 Aikataulu

Projektin aikataulut on tärkeä hahmottaa jo suunnittelun alkuvaiheessa. Huomioitavia asioita projekteissa, jotka sisältävät suuria sähkötekniisiä laitehankintoja, ovat laitteiden toimitusajat. Usein esimerkiksi isoilla muuntamoilla voi olla useiden kuukausien toimitusajat, joten suunnittelijan ja myös asiakkaan on varauduttava aikatauluttamaan rakennustyöt siten, että pitkät toimitusajat laitteistoissa eivät aiheuta ylimääräisiä myöhästymisiä tai muita haittoja tuotannon käynnistämisessä. Valitettavan usein projekteissa käyttöönotolle varattu aika isoissakin projekteissa voi olla minimaalisen lyhyt, ja oletetaan käyttöönottoa aloittaessa, että kaikki laitteet toimivat. Suunnittelutyö tulee olla tarkasti tehty, jotta käyttöönotto- ja tarkastusvaiheessa suunnitteluvirheistä johtuvat viat olisivat minimaaliset.

2.6 Kustannukset

Usein projekteille on asetettu budjetti, jossa pyritään pysymään. Suunnittelijan tärkeä tehtävä on osata kertoa asiakkaalle isoimmista kustannuseristä, mistä ne muodostuvat ja miksi. On myös tärkeä vakuuttaa asiakas, että halvalla ei saa aina hyvää eikä turvallista laitteistoa.

Asiakkaan kanssa pyritään löytämään budjettiin sopiva varustelutaso ja laatu, joka määrittää muun muassa kohteen sähköpisteiden määrän, käytettävien tuotteiden tyypit, sekä mahdollisten varauksien määrän keskuksissa. Useissa kohteissa energiatehokkailla ja pitkälti automatisoiduilla ratkaisuilla voidaan kuitenkin tulevaisuudessa säästää huomattavia summia, johtuen pienemmistä energiakustannuksista ja tuottavuuden noususta.

20 kV-liittymän hankinnassa isoin yksittäinen investointi liittyy itse muuntamon hankintaan. Muuntaja- ja kojeistotyyppin valinnalla on myös suuria vaikutuksia energian kulutukseen ja käyttökustannuksiin, mitä itse muuntajan ylläpitoon menee.

Jos suunnittelija joutuu arvioimaan projektin kustannuksia, voi apuna käyttää muun muassa yksikköhintaluetteloita. Taulukossa 1 on ote Energiaviraston (2014) laatimasta yksikköhintaluettelosta koskien muuntamoita ja keskijännitekaapelointia.

Taulukko 1. Sähkönjakeluverkon yksikköhintoja vuonna 2014 (Energiavirasto 2014)

Muuntamot (ei asennusta)	Yksikkö	Yksikköhinta euroa
1-pylväsmuuntamo	kpl	5 040
2-pylväsmuuntamo	kpl	6 700
4-pylväsmuuntamo	kpl	7 710
Kevyt puistomuuntamo	kpl	9 170
Puistomuuntamo, ulkoa hoidettava	kpl	24 540
Puistomuuntamo, sisältä hoidettava	kpl	33 990
Kiinteistömuuntamo	kpl	53 590
Erikoismuuntamo	kpl	81 140
Kaapeloitu erotinasema	kpl	25 420
1 kV suojalaitteet	kpl	2 040
20 kV maakaapelit (asennus)	Yksikkö	Yksikköhinta euroa
Enintään 70 maakaapeli	km	24 520
95 - 120 maakaapeli	km	32 290
150 - 185 maakaapeli	km	37 940
240 - 300 maakaapeli	km	45 390
400 - 500 maakaapeli	km	84 920
630 - 800 maakaapeli	km	151 030
Enintään 70 vesistökaapeli	km	41 040
95 - 120 vesistökaapeli	km	43 000
150 - 185 vesistökaapeli	km	46 730
Kojeistopääte	kpl	1 260
Pylväspääte	kpl	2 370
Jatko	kpl	2 010

2.7 Johtopäätökset ja esitykset toteutusvaihtoehtoiksi

Asiakkaan kanssa käytyjen palaverien ja yhteydenottojen pohjalta suunnittelija koostaa alustavat luonnokset ja tekee esitettäviä laitevalintoja (esimerkiksi valaisimet, sähkökeskusten määrän, koot ja sijainnit). Ehdotuksen pohjalta mietitään ovatko ehdotukset toteutuskelpoisia ja jos ei, niin mitä muutoksia ehdotuksiin tulisi lisätä.

Projekteissa vaaditaan suunnittelijalta oma-aloitteisuutta myös eri vaihtoehtojen esittämiseen. Pitää muistaa, että suunnittelija on oman alansa asiantuntija, ja asioiden esittelijänä suunnittelijalla on yleisesti parempi tekninen näkemys asiaan kuin asiakkaalla.

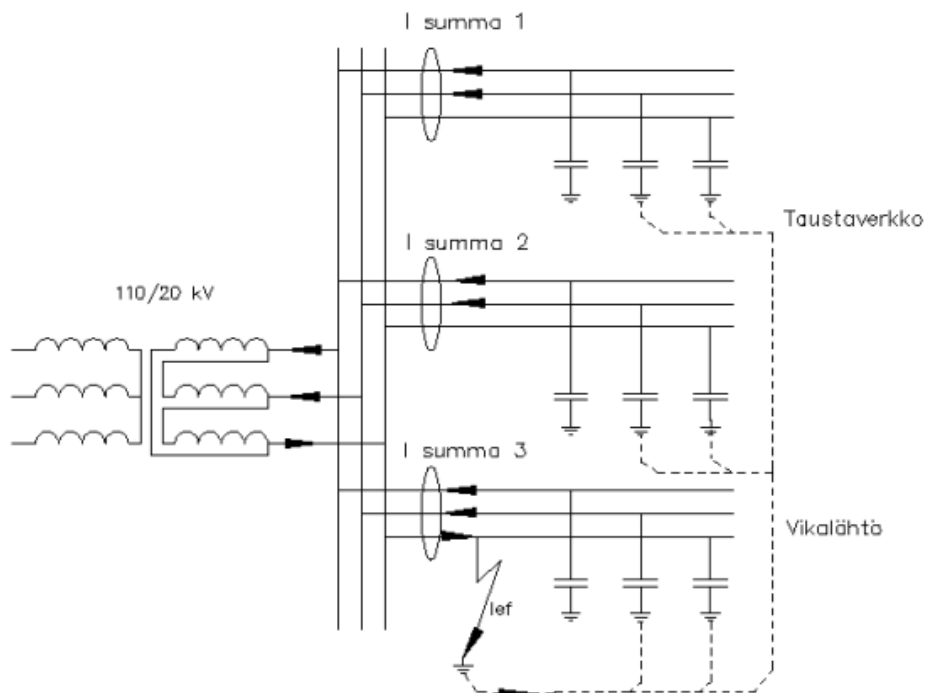
3 Jakeluverkko

3.1 Jakelujärjestelmät

Sähkönjakeluun käytettävät järjestelmät luokitellaan seuraavien ominaisuuksien perusteella (D1 2012 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2012, 62):

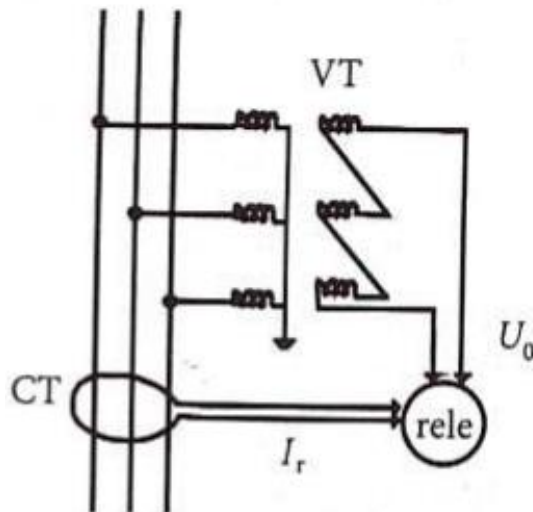
- Jännitteisten johtimien ja maadoitusjohtimien tyypit ja lukumäärä
- Jakelujärjestelmän maadoittaminen

Keskijänniteverkot ovat joko maasta erotettuja järjestelmiä tai ne on sammutettu päämuuntajan (110/20 kV) toisiokäämin tähtipisteen ja maan välille kytkettävällä sammutuskuristimella tai sammutusvastuksella. Sammutusvastusta käytetään tyypillisesti teollisuuden jakeluverkoissa. Maasta erotetussa järjestelmässä 20 kV jakelujärjestelmää syöttää 110 kV muuntaja, joka on kytketty tähti-kolmio kytkentään, ja vastaavasti 20 kV jakelumuuntaja syöttää enintään 1 kV pienjännitejärjestelmää kolmion-tähti kytketyllä muuntajalla. Tällöin 20 kV jakelujärjestelmä jää irti maapotentiaalista.



Kuvio 2. Maasta erotettu 20 kV jakelujärjestelmä (Isomäki 2010, 16.)

Jos keskijänniteverkko on maasta erotettu, tulee sen eristystilaa valvoa esimerkiksi jännitemuuntajien avokolmioon kytketyn ylijännitereleen avulla. Eristystilan valvonta perustuu tässä tapauksessa maasulkuviasta syntyvään vaihevirtojen asymmetriaan, joka taas aiheuttaa tähtipisteen jännitteen kohoamisen. (Maadoituskirja 1990, 118.),

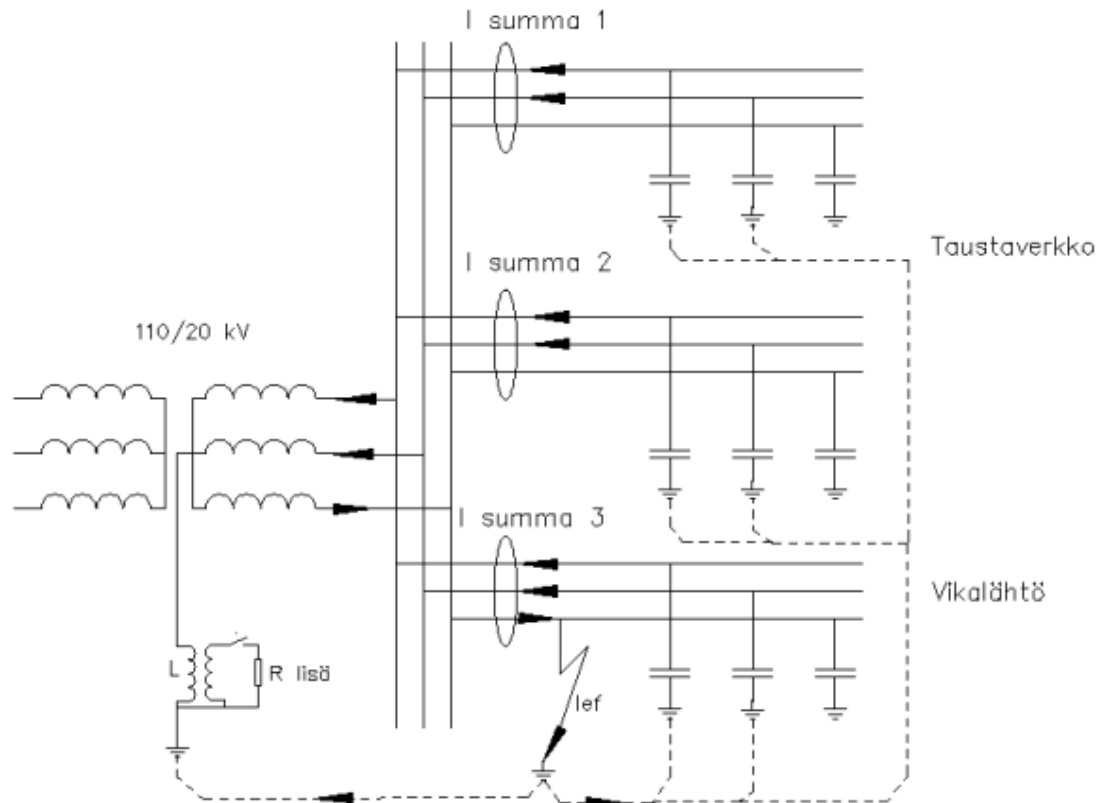


Kuvio 3. Avokolmiokytkentä (Huurinainen 2011, 29.)

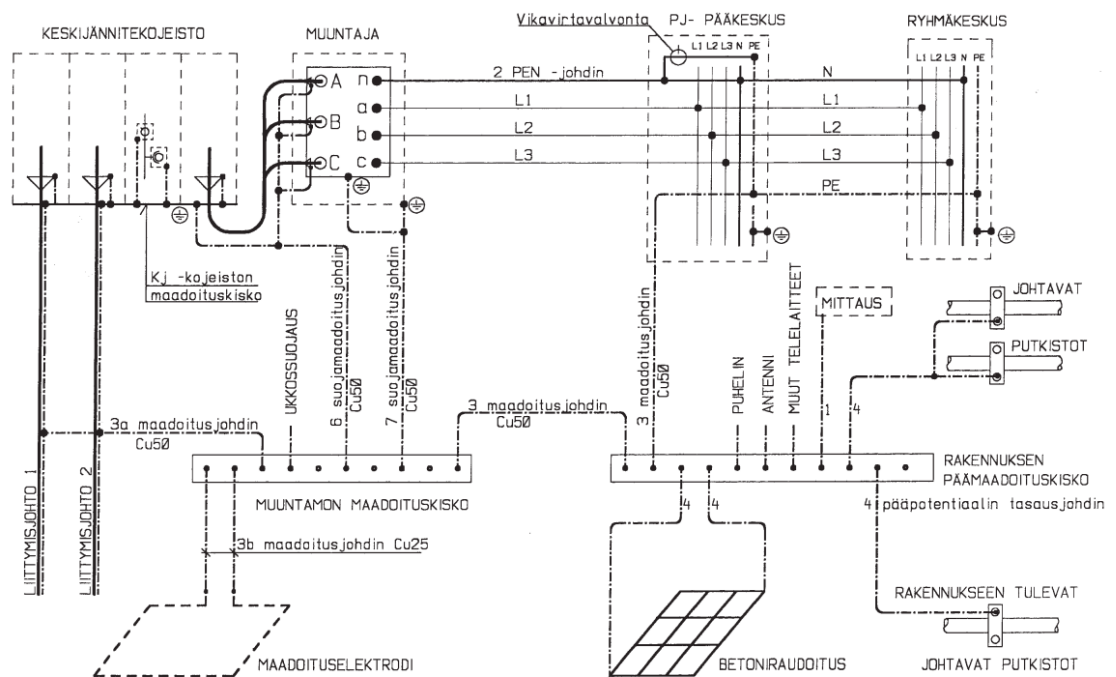
Jos keskijänniteverkon tähtipisteeseen on kytketty sammutuskuristin, pyritään sillä kompensoimaan vikatilanteessa syntyvää kapasitiivista maasulkuvirtaa. Myös ilma-johdot aiheuttavat maasulkuvirtaa mutta huomattavasti vähemmän kuin maakaapelit. Kaapelin johtimen ja maan välille syntyy kapasitanssi, joka kasvaa aina kun verkkoon kytketään lisää kaapeleita.

Nykyään käytetään enemmän sammutettuja keskijänniteverkkoja, koska niissä esiintyy pienempiä maasulkuvirtoja. Pienien maasulkuvirtojen johdosta suojaukset ja maadoitukset on helpompi toteuttaa. (Partanen 2011, 14-15.)

Tyypillisen 20/0,4 kV muuntajan sisältävä sähköjakelujärjestelmä koostuu kuvion 5 tavalla.



Kuvio 4. Sammutettu 20 kV jakelujärjestelmä (Isomäki 2010, 20.)



Kuvio 5. Esimerkki muuntamon maadoituskaaviosta (ST 53.11, 2003, 21.)

Alle 1600 kVA:n muuntamoissa keskijännitekaapelointi tuodaan tyypillisesti varoke-kuormaerottimelle, josta liitäntä viedään muuntajan ensiöpuolelle. Muuntajan toisio- puolelta viedään TN-C jakelujärjestelmää käyttäen kaapelointi 0,4 kV pääkeskukselle. Tyypillisesti tämän on paikka missä uusissa 0,4 kV verkoissa käytetään TN-C jakelujär- jestelmää. Pääkeskukselle tehdään N ja PE-kiskon yhdistys josta kaikki edelleen lähte- vät kaapeloinnit toteutetaan TN-S järjestelmää käyttäen.

3.2 Sähköliittymä

3.2.1 Liittymisehdot- ja sopimus

On sitten kyseessä pienjännite- tai keskijänniteliittymä, tulee asennuksien ja sähkön- käyttöpaikan täyttää jakeluverkon haltijan laatimat liittymisehdot (Sähköverkkoon liittymisen ehdot LE 05 2005, 1).

Liittyjä on se taho, joka tekee jakeluverkon haltijan kanssa liittymissopimuksen. Liitty- missopimuksessa jakeluverkon haltija ja liittyjä sopivat sähkönkäyttöpaikan sähkön- siirtoyhteydestä. Yleensä liittymissopimus tehdään toistaiseksi. Määräaikainen sopi- mus voi tulla kyseeseen esimerkiksi työmaasähköistyksessä tai muussa vastaavassa tilanteessa.

Jakeluverkon haltija perii liittyjältä voimassa olevan hinnaston mukaisen liittymis- maksun (ks. taulukko 2).

Taulukko 2. Elenian jakeluverkon liittymishinnasto (Sähkökäyttöpaikkojen liittymishinnasto 2013)

SULAKEPOHJAISET 0,4 kV:N SÄHKÖLIITTYMÄT

(sis. alv 24%)

Pääsulake/A	Vyöhyke 1	Vyöhyke 2	Vyöhyke 3
3 x 25	2 419 €	3 155 €	5 171 €
3 x 35	3 215 €	4 143 €	7 349 €
3 x 50	4 455 €	5 695 €	10 625 €* ^a
3 x 63	5 504 €	6 935 €	13 025 €* ^a
3 x 80	7 440 €	8 417 €* ^a	16 543 €* ^a
3 x 100	9 294 €	10 534 €* ^a	20 686 €* ^a
3-vaiheistus 25 A	917 €	1 240 €	1 965 €

TEHOPOHJAISET 0,4 kV:N SÄHKÖLIITTYMÄT

(sis. alv 24%)

	Vyöhyke 1, asemakaava-alue	Muu kuin asemakaava-alue
(1 kW=1,5 A)	1 240 € + 124 €/kW	1 602 € + 142 €/kW*

20 kV:N SÄHKÖLIITTYMÄT

(sis. alv 24%)

	Vyöhyke 1, asemakaava-alue	Muu kuin asemakaava-alue
	8 680 € + 53,9 €/kW	8 680 € + 53,9 €/kW*

Mahdolliset kantaverkon liittymismaksut lisätään yllä esitettyihin hintoihin.

110 kV:N SÄHKÖLIITTYMÄT

(sis. alv 24%)

	24 800 € + 26,2 €/kW*
--	-----------------------

Mikäli liittyjällä on jo verkonhaltijan kanssa olemassa olevia liittymäsopimuksia, ja liittyjä haluaa vaihtaa ne isompaan liittymään, hyvitetään vanhojen liittymien liittymismaksu uutta liittymää hankittaessa.

3.2.2 Suunnitelmat

Suunnittelijan tulee toimittaa jakeluverkon haltijalle liittymän tilauksen yhteydessä tarvittavat asiakirjat hyväksyttäväksi. Toimitettavista asiakirjoista tulee selvittää miten sähkökäyttöpaikalla on toteutettu maadoitukset, sähkön kulutuksen mittaus ja suo-
jaukset. Myös kaapelointireitit ja käytettävien kaapeleiden tyypit ilmoitetaan. Usein toimitettavat asiakirjat eivät ole vielä lopullisia rakentamista varten olevia dokumentteja, vaan alustavia luonnoksia.

Myös mahdolliset loistehonkompensoinnin toteutustavat pitää ilmetä toimitettavista dokumenteista. (Asiakasmuuntamon suunnittelu n.d, 1.) Esimerkiksi Elenian jakelu-

verkossa loisteho laskutetaan asiakkaalta mikäli loistehon määrä ylittää 16 % laskutetun pätötehon määrästä (Tietoa sähköverkkoon liittymisestä 2014, 17). Jos asiakas tuottaa loistehoa liikaa, eli verkko on ylikompensoitu, veloittaa jakeluverkkoyhtiö myös siitä, yleensä vielä tuntuvammin kuin alikompensoidusta verkosta (ks. kuvio 24). Yleisesti jakeluverkkoyhtiöt veloittavat ylikompensoinnista jos kapasitiivinen loisteho käyttöpaikalla on yli 4 % pätötehon arvosta. (Loistehon hinnoittelu ja kompensointi 2012)

3.2.3 Sähköverkkoon liittyminen

Liittäminen ja sähköjen päälle kytkeminen jakeluverkon haltijan verkkoon tapahtuu kun liittymissopimus on voimassa, ja liittyjä vakuutta jakeluverkon haltijalle sähkölaitteistonsa olevan vaaraton ja häiriötön esittämällä asianmukaiset tarkastuspöytäkirjat sitä pyydettyä. (ks. liite 1)

3.2.4 Mittaus

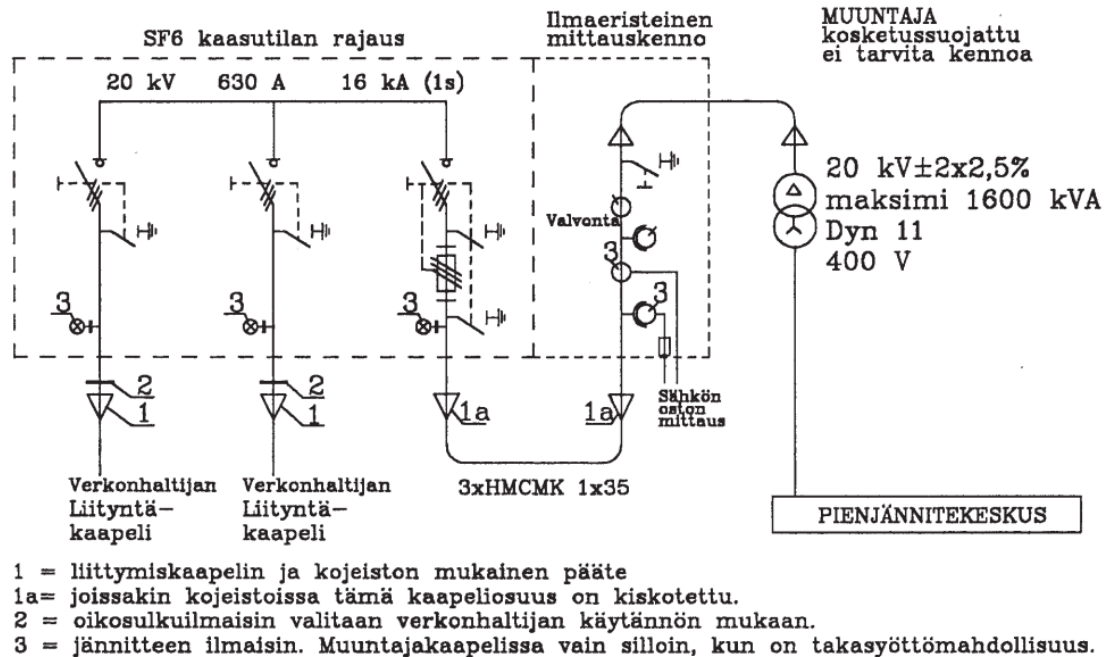
Sähköenergian mittaus tapahtuu liittyjän omistamassa muuntamossa yleisesti keskijännitepuolelta. Mittaustapa, mittamuuntajien koot ja tarkkuusluokat tulee olla verkonhaltijan ohjeiden mukaiset. Yleisesti alle 2000 kVA:n muuntamoissa virtamuuntajien tarkkuusluokka tulee olla 0,2S ja jännitemuuntajien 0,2.

3.3 Muuntamot

3.3.1 Yleisesti

Puhuttaessa muuntamosta se käsittää kaikki komponentit, jotka on sisällytetty muuntamorakennukseen. Muuntamorakennukseen on sijoitettu tyypillisesti eri lohkoja, joita ovat muun muassa keskijännitekojeisto sisältäen KJ-kaapeleiden liityntäpaikat, KJ-suojalaitteet ja sisäiset kaapeloinnit. Toisena lohkona muuntamossa on itse muuntaja, joka on erotettu muusta laitteistosta. Kolmantena lohkona muuntamossa on PJ-keskus, johon on sijoitettu muuntajan toisiopuolen jakeluun käytettävät laitteet, kuten jonovarokeytkimet ja muuntamon omakäyttöosa, jota voidaan hyödyntää esimerkiksi muuntamon lämmityksen ja valaistuksen käyttämiseen. Muuntamot voivat

sisältää myös erillisen hoitotilan johon KJ-kojeisto on sijoitettu. Paljon käytetyt puistomuuntajat ovat usein ulkoapäin hoidettavia, joten erillistä hoitotilaa ei ole. Muuntamosta tulee myös löytyä tarvittavat dokumentit ja hoito- ja maadoitusvälineet säädösten vaatimalla tavalla. (Puistomuuntamot n.d)

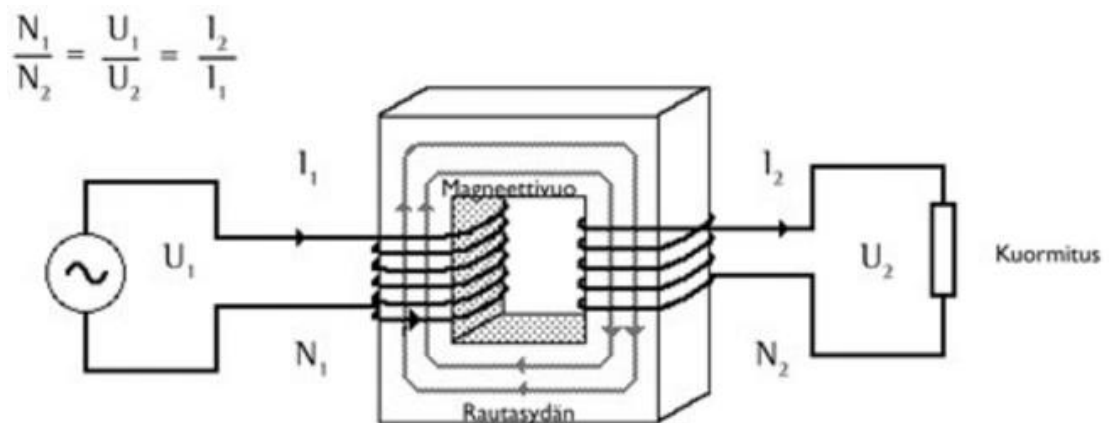


Kuvio 6. Yhden muuntajan muuntamon aluerajaukset SF6 kojeistolla (ST 53.11, 2003, 11)

3.3.2 Muuntajan toiminta

Muuntajalla muutetaan ensiöpuolelle syötettävä sähköenergian jännitetaso. Jännitetaso keskijänniteliitymissä on tyypillisesti 20 kV. Muuntajan toisiopuolelta otetaan vastaavasti sähköenergiaa, jonka jännitetaso on esimerkiksi 0,4 kV. Teollisuudessa voi olla myös käytössä 10/0,69 kV muuntajia. 690 V toisiojännitettä käyttävät tyypillisesti teollisuusmoottorit. Todella isot moottorikäytöt voidaan toteuttaa teollisuudessa myös 3, 6 tai 10 kV toisiojännitteellä. Jännitteiden suuruudesta riippuen käämejä nimitetään ylä- tai alajännitekäämeiksi. Muuntaja on yksinkertainen ja varmatoiminen laite. Se koostuu muuntajan sydäimestä joka usein on joko rautalevyjä tai ferriittiä.

Muuntajan sydän johtaa magneettivuon kulkemaan molempien käämien lävitse. Muuntajan muuntosuhde määritetään käämien kierrosluvun (N) perusteella. Muuntajan tärkein tehtävä on muuntaa jännite käyttökohteeseen sopivalle tasolle, jotta sähköenergian siirtäminen on mahdollista ja kannattavaa erilaisissa olosuhteissa. Muuntajan muita tehtäviä on muun muassa jänniteportaiden galvaaninen erottaminen sekä rajoittaa oikosulkuvirtaa jakeluverkossa.



Kuvio 7. Muuntajan toimintaperiaate (Väärämäki 2004)

3.3.3 Kolmivaihemuuntajan rakenne

Sähköenergian siirto vaihtojännitteellä tapahtuu pääjakelujärjestelmissä kolmivaihejärjestelmää käyttäen, joten esimerkiksi 20/0,4 kV jakelumuuntajan ovat lähes poikkeuksetta kolmivaiheisia. Kolmivaihemuuntajan samaan jännitteeseen kuuluvat käämitykset voidaan kytkeä käyttämällä tähtikytkentää (Y), kolmiokytkentää (D) tai hakatähtikytkentää (Z).

Tähtikytkentä saadaan kytkemällä kaikkien käämien toiset päät yhteen johon muodostuu näin tähtipiste. Dyn11 kytketyssä muuntajassa alajännitepuolen PEN-johdin liitetään toisiopuolen tähtipisteeseen. Tähtikytkentää käytetään muun muassa pienjänniteverkon puolella jakelu- ja puistomuuntajissa.

Kolmiokytkentä saadaan kun jokaisen vaiheen käämityksen alku kytketään seuraavan vaiheen käämityksen lopun kanssa yhteen. Dyn11 kytketyssä muuntajassa yläjännitepuolen käämit on kytketty kolmiokytkentään.

Hakatähtikytkentä muodostuu osittain tähtikytkennästä. Kytkennässä jokaisen vaiheen käämi on jaettu kahteen puolikkaaseen. Toisten puolikkaitten loppupäät ovat kytketty yhteen, johon muodostuu nollapiste kuten normaalissa tähtikytkennässä. Eri pylväillä sijaitsevat käämien puolikkaat kytketään sarjaan, jolloin saadaan täydellinen hakatähtikytkentä. (Muuntaja yleisesti n.d)

Kytkentäryhmä IEC:n mukaan	Osoitinpiirros		Kytkentäpiirros		Toision Nollapiste
	Ylä- jännite	Ala- jännite	Ylä- jännite	Ala- jännite	
0	Dd 0				Ei saatavissa
	Yy 0				n. 10% kuormitettavissa.
	Dz 0				100% kuormitettavissa
5	Dy 5				100% kuormitettavissa
	Yd 5				Ei saatavissa
	Yz 5				100% kuormitettavissa
6	Dd 6				Ei saatavissa
	Yy 6				n. 10% kuormitettavissa
	Dz 6				100% kuormitettavissa
11	Dy 11				100% kuormitettavissa
	Yd 11				Ei saatavissa
	Yz 11				100% kuormitettavissa

Kuvio 8. Kolmivaihemuuntajien osoitin- ja kytkentäpiirroksat (Muuntaja yleisesti n.d)

Jos muuntajassa on kytkentäpiste nollajohtimelle, ilmoitetaan se muuntajan kytkentätekstissä joko N kirjaimella, jos se on käytettävissä yläjännitepuolella, tai vastavasti n kirjaimella jos se on käytettävissä alajännitepuolella.

Kytkentätekstissä ilmoitettava numero (0,5,6 ja 11) kertoo mitä numeroa kellotaulussa toisiojännitteen osoitin osoittaa, kun vastaava ensiojännitteen osoitin osoittaa numeroa 0 eli 12.

20/0,4 kV jakelu- ja puistomuuntajissa eniten käytetty kytkentä on Dyn11. Kyseinen kytkentä soveltuu vinokuormitusominaisuuksiensa sekä taloudellisuutensa ansiosta moneen eri käyttötarkoitukseen. Lisäksi alajännitepuolelle kytketään usein PEN-johdin, joten senkin käyttö on mahdollista Dyn11 kytketyssä muuntajassa. (Muuntaja yleisesti n.d)

3.3.4 Jännitteen säätö

Jakeluverkossa ilmenevät kuormituspiikit tai jatkuva kuormitus voivat aiheuttaa verkkoon jännitteen alenemaa, jota voidaan hieman kompensoida säätämällä muuntajan jännitettä. Jännitteen säätäminen tapahtuu muuttamalla muuntajan muuntosuhdetta. Koska muuntajan muuntosuhde tulee käämityksien kierroslukujen suhteesta, voidaan sitä muuttaa käyttämällä käämikytkintä tai väliottokytkintä, joiden molempien tarkoituksena on pienentää tai kasvattaa tyypillisesti yläjännitepuolen käämityksen kierroslukua.

Monissa jakelumuuntajissa on väliottokytkin jolla voidaan säätää muuntajan toisiojännitettä $\pm 2 \times 2,5 \%$ (ST 53.11 2003, 9). Väliottokytkintä voidaan käyttää vain muuntajan ollessa jännitteetön, joten jatkuvaan säätöön väliottokytkin ei kelpaa.

Jos jännitteen säätö on tarpeen tehdä kuormituksen aikana, on käämikytkin siihen oikea vaihtoehto. Käämikytkin voidaan asentaa muuntajaan siten, että se muuttaa automaattisesti muuntosuhdetta erillisen jännitesäätimen ohjaamana. Käämikytkintä käytetään suuremmissa muuntajissa, joissa pyritään keskeyttämättömään jakeluun.

3.3.5 Häviöt

Muuntajan häviöt, eli muuntajassa kuluva teho jota ei voida hyödyntää, jakautuvat tyhjäkäyntihäviöihin sekä kuormitushäviöihin. Tyhjäkäyntihäviöt ovat hystereesi- ja

pyörrevirtahäviöitä, ja näitä voidaan myös kutsua rautahäviöiksi. Tyhjäkäyntihäviöistä käytetään yleisesti tunnusta P_0 . Tyhjäkäyntihäviöt ovat riippuvaisia muuntajan jännitteestä, ja ne pysyvät vakiona riippumatta muuntajan kuormituksesta. Kuormitushäviöt syntyvät taas muuntajan käämityksien resistansseissa. Kun käämin virta kasvaa, sen kuormitushäviöt lisääntyvät. Kuormitushäviöitä merkataan tunnuksella P_K . Tyypillisesti muuntajan kilpiarvoissa ilmoitettu kuormitushäviöiden arvo on annettu muuntajan nimelliskuormalla. (Korpinen n.d) Muuntajille on myös laadittu standarisoidut häviöluokat, joita valmistajien tulee noudattaa. Voimassaolevat jakelumuuntajien häviöluokat eri tehoisille muuntajille on esitetty liitessä 2.

3.4 Muuntajatyypit

Teollisuudessa ja muissakin kohteissa käytetään tehomuuntajaa jännitetasojen muuntamiseen. Tehomuuntajia on olemassa kolmea eri tyyppiä jotka luokitellaan niiden rakenteen perusteella.

3.4.1 Öljyeristeiset muuntajat

Suljetussa eli hermeettisessä muuntajassa muuntajan nestetila on kokonaan ilmatii-vis ja täytetty kokonaan nesteellä, usein muuntajaöljyllä. Kun muuntajaa kuormitetaan ja muuntajan sisältämä neste lämpenee, pyrkii neste luonnollisesti laajenemaan. Koska muuntajan nestetilassa ei ole nesteelle varattua paisuntatilaa, syntyy muuntajan runkorakenteeseen paine, joka vastaavasti tehostaa muuntajan rungon jäähdytystä. Muuntajan ulkokuori on aalloitettu, jotta jäähdytettävä pinta-ala muuntajassa olisi mahdollisimman iso. Lisäksi aalloitettu rakenne on luja ja sallii pienen runkorakenteen joustamisen muuntajan paineenvaihtelujen aikana. Koska muuntajan rakenne on kokonaan suljettu, ei muuntajan nesteeseen pääse juurikaan happea, ja tämä pidentää käytettävän nesteen käyttöikää. Mikäli hermeettiseen muuntajaan joudutaan vaihtamaan muuntajanesteet, ovat vaihtokustannukset hyvin korkeat joutuen muuntajan suljetusta rakenteesta. Jos muuntajan runkorakenne joutuu jatkuvalle vaihtuvalle rasitukselle, esimerkiksi suurien lämpötilan vaihteluiden takia, voi hermeettinen muuntaja olla huono valinta. (Setälä 2005, 13)



Kuvio 9. Hermeettisesti suljettu muuntaja (Transformers n.d)

Toisena vaihtoehtona öljyeristeisistä muuntajista on paisuntasäiliöllinen muuntaja. Erona hermeettisesti suljettuun muuntajaan on, että sen runkoa ei ole rakennettu joustavaksi kuten hermeettisesti suljetun muuntajan runko. Kun muuntajaneste laajenee lämmitessään, varastoituu neste paisuntasäiliöön, joka on sijoitettu muuntajan yläpuolelle. Kun muuntajaneste laajenee lämmitessään tai supistuu viiletessään, saa muuntaja korvausilmaa paisuntasäiliöön asennetun ilmankuivaimen kautta. Ilmankuivain estää normaalia ilmankosteutta joutumasta kosketuksiin muuntajanesteen kanssa ja pidentää näin nesteen käyttöikää. (Dehydrating Breathers n.d)



Kuvio 10. Paisuntasäiliöllinen öljyeristeinen muuntaja (Hollings 2013)

Paisuntasäiliöllisiä muuntajia käytetään tyypillisesti suuremmissa teholuokissa (yli kolme MVA) ja hermeettisesti suljettuja muuntajia alle kolmen MVA:n kokoluokassa. Puistomuuntamoissa eniten käytetty muuntajatyyppe on hermeettisesti suljettu muuntaja. (Öljyeristeiset jakelumuuntajat n.d)

3.4.2 Kuivamuuntajat

Kuivamuuntajat ovat soveltuvia erikoistilanteisiin joissa öljytäytteisiä muuntajia ei voi asentaa niiden palo- tai ympäristön pilaantumisvaaran vuoksi. Tällaisia kohteita voi olla esimerkiksi öljy- ja kaasuteollisuudessa. Myös sisälle asennettavissa muuntamo-kohteissa esimerkiksi laivoissa, kaivoksissa sekä kiinteistöissä voidaan käyttää kuivamuuntajia. Kuivamuuntajan etuina ovat erittäin vähäinen huollon tarve sekä ympäristöstävällisyys. Lisäksi muuntajien paloluokat verrattuna öljyeristeisiin muuntajiin ovat huomattavasti paremmat. Tyypillisesti kuivamuuntajat kuuluvat paloluokkaan F1, joka tarkoittaa, että muuntajat ovat heikosti syttyviä ja itsestään sammuvia. Eniten käytetty kuivamuuntajatyyppe on valuhartsieristeinen muuntaja.



Kuvio 11. Kuivamuuntaja (ABB transformers help deliver power to the world's highest airport n.d)

Usein kuivamuuntajan mukana toimitetaan muuntajakotelo, jonka sisälle kuivamuuntaja asennetaan, ja jonka avulla muuntajan ilmanvaihto hoidetaan. Koska kuivamuuntajassa ei ole muuntajanestettä, jonka välityksellä muuntajan lämpöenergia

siirtyisi ympäröivään ilmaan, tulee kuivamuuntajan ilmavaihdosta huolehtia. Ilmanvaihto voidaan toteuttaa luonnollisella ilmankierrätyksellä ja tarvittaessa tehostaa puhaltimella, joka kierrättää ilmaa muuntajan ympärille sijoitetussa kotelossa. (Korpi-nen n.d) Kuivamuuntajien valmistuskustannukset ovat nykyisin tasoittuneet suhteessa öljyeristeisiin muuntajiin. Koska valmistuskustannukset ovat pudonneet, on kuivamuuntajien käyttö lisääntynyt huomattavasti viime vuosina.

3.4.3 Varusteet

Öljyeristeisten muuntajien pakollisiin varusteisiin kuuluu lämpömittari, sekä paisuntasäiliöllisissä muuntajissa myös öljynpinnankorkeusmittari. Suojalaitteena hermeettisesti suljetuissa muuntajissa voi olla ylipainekeytkin. Paisuntasäiliöllisissä muuntajissa suojalaitteena voi olla esimerkiksi Bucholtz-kaasurele. Bucholtz-kaasurele toimii nimensä mukaisesti silloin kun muuntajaöljy alkaa muuttumaan kaasuksi. Kaasurele asennetaan paisuntasäiliöön johtavaa putkeen. Usein muuntaja on myös varustettu kosketinlämpömittarilla, josta saadaan kaksi hälytystietoa. Jos muuntajan lämpötila nousee tarpeeksi, ohjaa ensimmäinen hälytyskosketin erillisen muuntajan jäähdytyspuhaltimen päälle tai antaa hälytyksen eteenpäin esimerkiksi kiinteistövalvomoon. Jos lisäjäähdytyksestä huolimatta muuntaja ylikuumenee, ohjaa toinen hälytyskosketin hälytystiedon katkaisijan tai varokekuormanerotimen laukaisukelalle erottamaan muuntajan irti verkosta.

Joissain erityistapauksissa muuntamo voidaan varustaa myös automaattisella sprinkleri-sammuttimella. Tällöin tulee huolehtia että sprinklerin vesisuihku suunnataan itse muuntajaa kohti eikä kytkinlaitteistoihin. Lisäksi muuntamon ulkopuolelle on asennettava sulkuventtiili, jotta vedentulo voidaan pysäyttää työskentelyn ajaksi. (ST 53.11 2003, 10)

3.5 Muuntajan energiatehokkuus

3.5.1 Yleistä

Usein muuntajaa hankittaessa suurimpana hankintapäätökseen vaikuttavana tekijänä on muuntajan hinta. Muuntaja on jakeluverkon tärkein komponentti, ja sen odotettu toimintaikä on jopa vuosikymmeniä. Koska muuntajan käyttöikä sähköverkossa on

suhteellisen pitkä, tulisi muuntajaa valittaessa erityisesti kiinnittää huomiota sen käytön aikaisiin kustannuksiin, kuten tehohäviöihin sekä huoltokustannuksiin. Pitkällä aikavälillä energiatehokas ja vähäistä huoltoa tarvitseva muuntaja tulee edullisemmaksi verrattuna vanhoihin suurihäviöisiin muuntajiin, jotka myös tarvitsevat paljon huoltoa. Lisäksi on tärkeää huomioida, että jos muuntajan laadusta on tingitty hankintahetkellä, todennäköisyys muuntajan häiriöihin, paloihin tai räjähdyksiin on suurempi laadukkaaseen muuntajaan verrattuna. Edellä mainitut häiriöt aiheuttavat yritykselle taloudellisia tappioita tuotannossa välittömästi, jos sähkönjakelu keskeytyy tai häiriintyy.

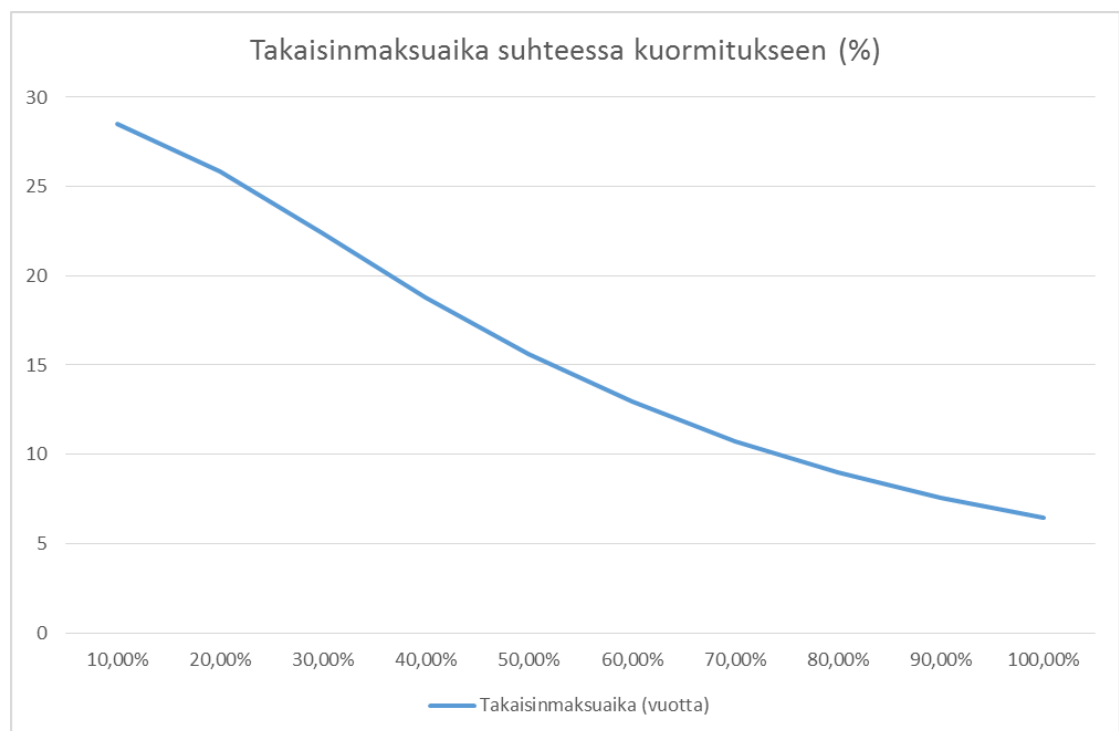
3.5.2 Hankinta

Nykypäivänä uusien muuntajien tuotantoa ja suunnittelua ohjaa energiatehokkuus. Lisäksi nykypäivän muuntajien energiatehokkuudessa on pyritty ajattelemaan ympäristöystävällistä näkökulmaa. (Distribution transformers 2015, 10)

Muuntajan hankintaa mietittäessä on tärkeää muistuttaa käyttäjää energiatehokkuuteen liittyvistä asioista ja niiden taloudellisista vaikutuksista. Taulukossa 3 on laskettu nykyisen normaalihäviöisen muuntajan vaihtamista uuteen energiatehokkaaseen muuntajaan. Hankintahinta uudelle muuntajalle on arvioitu 35000 €. Kuviosta 12 ilmenee, että taulukossa 3 lasketulla muuntajalla takaisinmaksuaika lyhenee huomattavasti, mikäli muuntaja käy lähellä nimellistehoa. Tämä johtuu kuormitushäviöiden suuresta erosta eri häviöluokan muuntajissa.

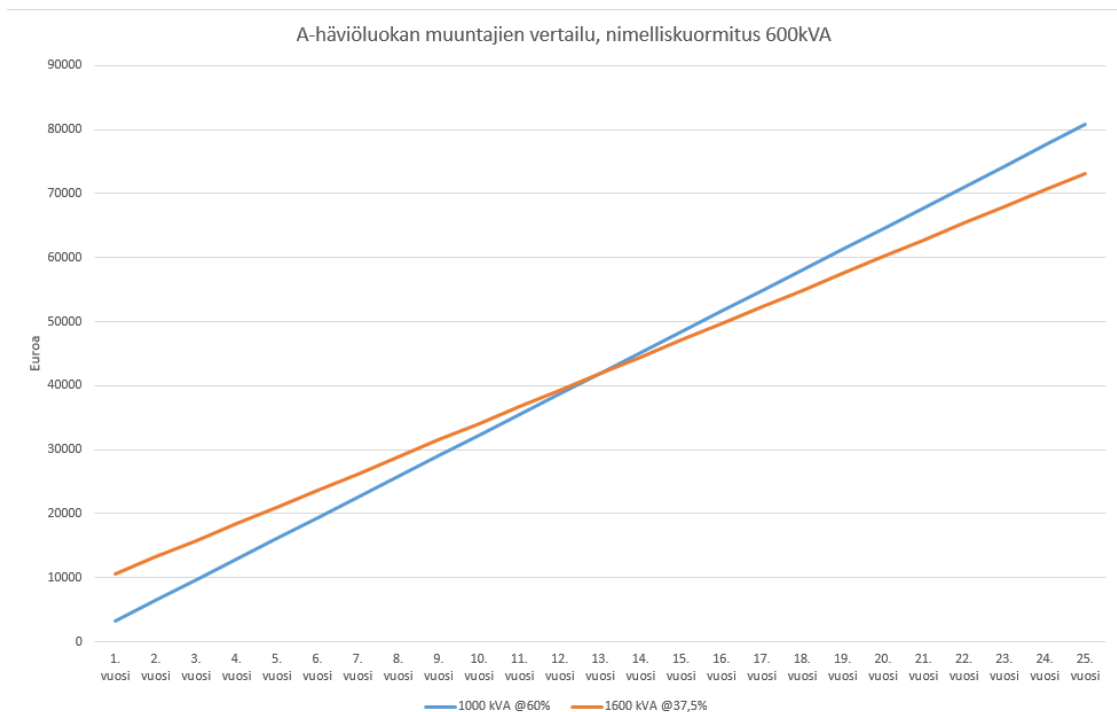
Taulukko 3. 1600 kVA:n muuntajan takaisinmaksulaskelma

NYK. NORMAALIHÄV. SARJA VS VAIHE 1 VAATIMUKSET				
TEKIJÄT		D0/Dk	A0/Ak	Erot ref muuntajaan.
Muuntajan teho (kVA)	Sn	1600	1600	
Tyhjäkäyntihäviöt (W)	Po	2600	1200	1400
Kuormitushäviöt (W)	Pk	17000	12000	5000
Hankintahinta (€)	A		35000	
keskimääräinen kuormitus (%)	Load	50,00 %	50,00 %	
Käyntiaika (h/year)	Tb	8760	8760	
vuosikorko (%/year)	p	2,00 %	2,00 %	
hankinnan poistoaika (year)	n	10	10	
sähköenergian hinta (snt/kWh)	SP	10	10	
sähköenergian hinnan nousu (snt/kWh*year)	ΔSP	0,05	0,05	
tarkastelu jakso (years)	tb	30	30	
LASKELMAT				
sähköenergian hinta (€/kWh)	ks	0,1075	0,1075	
Korko tekijä	q	1,02	1,02	
Poisto tekijä	r	0,111327	0,111327	
Pääomakustannukset (€/year)	ka	0	3896,428	
tyhjäkäyntihäviö kustannukset (€/year)	Kpo	2448,42	1130,04	12264 Tyhjäkäyntihäviöt (kWh/year)
kuormitushäviö kustannukset (€/year)	Kpk	4002,225	2825,1	10950 Kuormitushäviöt (kWh/year)
Investointi yhteensä (€)	Ki	0	38964,28	696,42 Häviösäästöt tarkastelujaksolla (MWh)
häviökustannukset yhteensä (€/year)	Kv	6450,645	3955,14	2,495505 tekijä t/MWh
Suuremmat investoinnit (€)	ΔKi	ref	38964,28	
Säädettyt kustannukset pienhäviöisellä muunt. (€/year)	ΔKv	ref	-2495,505	
Takaisinmaksuaika (years)	x	ref	15,61379	



Kuvio 12. 1600 kVA:n muuntajan kuormituksesta riippuva takaisinmaksuaika

Kuviossa 13 on vertailtu kahden saman häviöluokan muuntajan häviökustannuksia 25 vuoden aikana. Laskelmissa on oletettu, että 1600 kVA hankintahinta on 8000 € kalliimpi verrattuna 1000 kVA:n muuntajaan. Kuvioista ilmenee, että pitkällä aikavälillä on taloudellisempaa hankkia hieman ylimitoitettu muuntaja, ja kuormittaa sitä hieman vajaasti, kuin hankkia pienempi muuntaja, ja kuormittaa sitä jatkuvasti lähellä nimellistehoä. Ilmiö johtuu siitä, että muuntajan kuormitushäviöt pienenevät neliöllisesti suhteessa muuntajan kuormitukseen. Lisäksi kuormitushäviöt ovat suhteessa paljon suuremmat vertattuina muuntajien tyhjäkäyntihäviöihin.



Kuvio 13. Muuntajan nimellistehon vaikutus häviökustannuksiin

Muuntajaa hankittaessa kannattaa suorittaa eri muuntajien häviötarkastelut ja perustella muuntajan valinta käyttäjälle taloudellisesta näkökulmasta. Muuntajan hankintahinta alussa on pieni summa siihen verrattuna, mitä muuntajan eri häviökustannukset tulevat vuosien mittaan maksamaan.

3.5.3 Energiatohokkuuden merkitys

Suur- ja jakelumuuntajien häviöt globaalilla tasolla ovat noin 40 % sähkön siirtoon liittyvistä häviöistä. Globaalilla tasolla muuntajien häviöihin kuluu siis noin 3 % kaikesta tuotetusta sähköenergiasta. Muuntajien häviöt jakautuvat yleisesti melko tasaisesti tyhjäkäynti- ja kuormitushäviöiden kesken. Nykytekniikalla toteutettuna muuntajien häviöistä pystytään melko helposti poistamaan jopa kolmannes ilman suuria taloudellisia tai teknisiä ongelmia. Jos muuntajahäviöistä leikattaisiin kolmannes, se vastaisiin tällöin 1 % leikkausta koko maailman tuotettavasta sähköenergiasta. (Muuntajat Energiatohokkuudesta 2014)

3.5.4 Jakelumuuntajien uudet vaatimukset

Euroopan unioni laati vuonna 2009 ekosuunnittelu direktiivin energiaan liittyville tuotteille. Direktiivin vaikutukset ulottuvat muuntajien osalta aina vuoteen 2021. 11.6.2014 EU laati asetuksen 548/2014 koskien muuntajien energiatohokkuuden kasvattamista (ks. liite 2). Aiemmin käytössä olleet muuntajien häviöitä kuvanneet taso- luokitukset nousivat direktiivin myötä uusille tasoille. Esimerkiksi liitteessä 3 esitetty normaalihäviöinen muuntajasarja poistuu tulevaisuudessa käytöstä kokonaan. Vertailemalla eri häviösarjojen tyhjäkäynti- ja kuormitushäviöitä keskenään huomataan merkittävät erot saman kokoluokan muuntajien välillä. (A 11.6.2014/548)

Vanhat poistuvat tyhjäkäyntihäviötasot:

- B₀ (ns. pienihäviöinen sarja)
- C₀ (ns. keskihäviöinen sarja)
- D₀ (ns. normaalihäviöinen sarja)

Uudet tyhjäkäyntihäviötasot:

- A₀ (Vaihe 1, 1.7.2015)
- A₀-10 % (Vaihe 1, 1.7.2015)

Vanhat poistuvat kuormitushäviötasot:

- D_k (ns. normaalihäviöinen sarja)

Uudet kuormitushäviötasot:

- C_k (käytössä vaihe 1, 1.7.2015-1.7.2021)
- B_k (käytössä vaihe 1, 1.7.2015-1.7.2021)
- A_k

3.5.5 Häviöitä alentavat tekijät

Koska muuntajista pitää tulevaisuudessa tehdä hyötysuhteeltaan entistä parempia, se tarkoittaa myös sitä, että valmistamisprosessia pitää miettiä uudelleen.

Muuntajien tyhjäkäyntihäviöiden alentamiseen on olemassa muun muassa seuraavia ratkaisuja:

- Paremman sydänmateriaalin käyttö
- Kierroksien lisääminen käämityksessä
- Sydänlevyn ohentaminen
- Poikki-pinta-alan kasvattaminen sydänpylväessä

Vastaavasti muuntajien kuormitushäviöiden alentamiseen on olemassa muun muassa seuraavia ratkaisuja:

- Käämimateriaalin vaihtaminen alumiinista kupariin
- Kierroksien vähentäminen käämityksessä
- Käämijohtimen poikki-pinta-alan kasvattaminen

Edellä mainituissa tapauksissa muuntajan hyötysuhteen parantaminen tarkoittaa usein korkeampia muuntajan materiaalikustannuksia. Joissain tapauksissa hyötysuhteen parantaminen saattaa kasvattaa myös muuntajan fyysistä kokoa. Muuntajien suunnittelussa tulee erityisesti pyrkiä optimoimaan saavutettu hyötysuhde maltillisilla kustannuksilla. (Muuntajat Energiatehokkuudesta 2014)

3.6 Sähkökeskukset

Tyypillisessä 20 kV-liittymässä asiakkaan omistamassa muuntamossa sijaitsee myös ensimmäinen pienjännitejakelun keskus. Muuntamorakennuksen PJ-osassa on tavallisesti jonovarokeytkinlähtöjä kokoluokkaa 160-630 A. Jonovarokeytkimiin kytetään tarvittaessa yksi tai useampi kaapeli syöttämään muuntamoon liitettyjä nousuja jakokeskuksia. Usein muuntamorakennuksessa sijaitsevaa PJ-keskusta nimitetään pääkeskukseksi, koska se on asiakkaan omistuksessa oleva keskus, sekä lähinnä liittymispistettä sijaitseva PJ-keskus. Jos sähkönjakelu asiakkaalle tapahtuu verkonhaltijan

omistuksessa olevasta muuntamon PJ-osasta ja ostettava sähköliittymä kuulu pienjänniteluokkaan, käytetään liittymiskaapeliin kytkettävästä keskuksesta nimikettä pääkeskus.



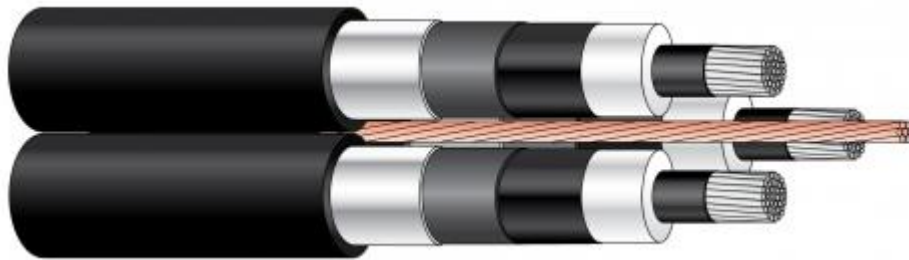
Kuvio 14. Puistomuuntamon PJ-keskus ja jonovarokelähdöt

3.7 Kaapelointi

Keskijänniteliittyjän muuntamon kaapeloinnissa sähkösuunnittelija suunnittelee ja hyväksyy verkkohaltijan verkostosuunnittelijalla muuntamorakennukseen liittyvät kaapeloinnit. Mikäli muuntamo liitetään verkkohaltijan rengasverkkoon, eli verkkoon jossa muuntamolle tuodaan kaksi liittymiskaapelia erillisiin tulokennoihin, tulee käyttää liittymiskaapeleina verkkohaltijan suosittelemia kaapelityyppejä ja poikkipintoja. Tyypillinen rengasverkkoon kytkettävä kaapeli voi olla esimerkiksi AHXAMK-W 3x185+35 tai AHXAMK-W 3x240+70 (ks. kuvio 15). Jos keskijänniteliittyjän muuntamo sijaitsee lähellä verkkohaltijan muuntamo, ei erillistä rengasverkkoa ole välttämättä tarvetta rakentaa, vaan muuntamolle voidaan esimerkiksi viedä erillinen liittymiskaapeli verkkohaltijan olemassa olevasta muuntamon erotinkennosta. Tällöin käytettä-

vän KJ-liittymiskaapelin poikkipinta voidaan mitoittaa muuntajan nimellistehon perusteella, jolloin usein kaapelin poikkipinta tippuu huomattavasti verrattuna rengasverkko kaapelointiin. (Asiaksmuuntamon suunnittelu n.d)

Muuntamon sisäiset suurjännitesulakkeella suojatut kaapeloinnit toteutetaan yleisesti HXCMK 1x35 kaapelilla (ks. kuvio 16).



Kuvio 15. AHXAMK-W kaapelin rakenne (Keskijännitekaapeli AHXAMK-W 20 kV n.d)

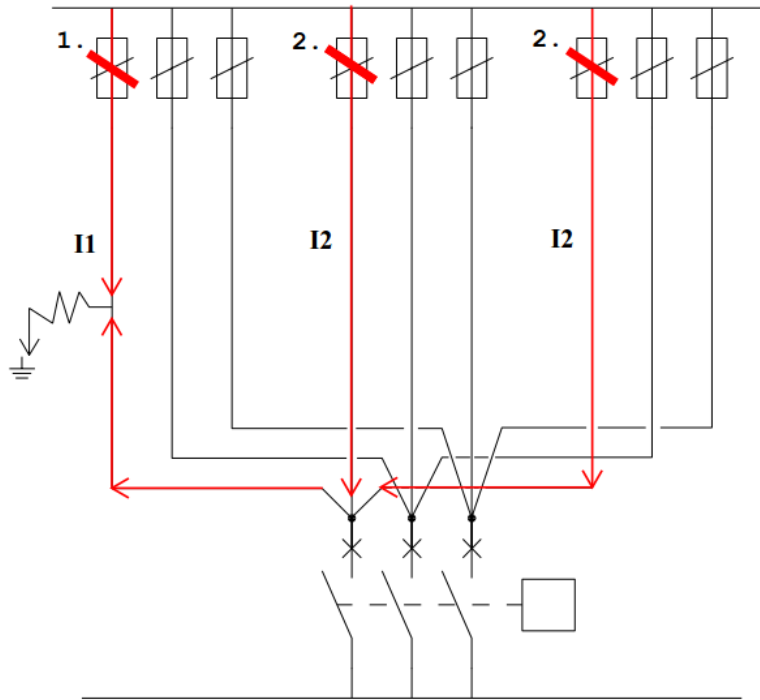


Kuvio 16. HXCMK kaapelin rakenne (HXCMK 20 kV 1-johtiminen 2013)

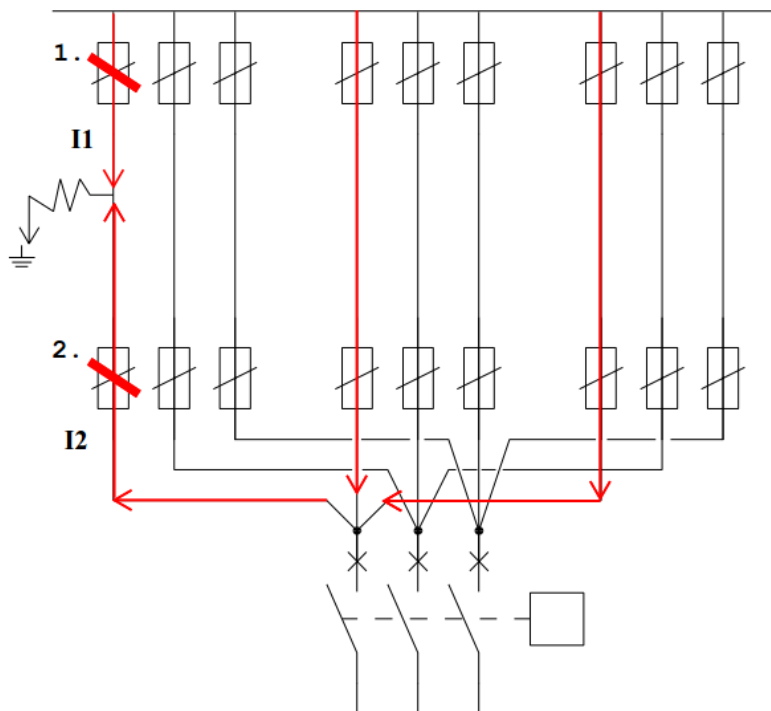
Nousukaapelointi muuntamon PJ-keskukselta kiinteistön nousu- ja jakokeskuksille tulee toteuttaa käyttäen TN-S järjestelmää. PJ-liittymissä verkonhaltijat käyttävät tyypillisesti TN-C jakelua muuntamolta käyttäjän pääkeskukselle. Koska keskijänniteliittymän liittymispiste sijaitsee muuntamossa, tulee liittymispisteestä eteenpäin käyttää uusissa asennuksissa TN-S järjestelmää. PE- ja N kiskon yhteenliittyminen tapahtuu siten muuntamon PJ-keskuksessa. Nousukaapeloinnissa tyypillisiä käytettäviä kaapeleita ovat muun muassa AMCMK ja MCMK. Joissakin tapauksissa voidaan myös harkita suurvirtajärjestelmien käyttöä, mikäli siirrettävät tehomäärät PJ-puolella ovat

huomattavan suuria. Myös kiskosiltojen käyttö esimerkiksi kiinteistömuuntamoissa on mahdollista. Kuitenkin ottaen huomioon kaapeleiden hankinta- ja asennuskustannukset, yleisin vaihtoehto on toteuttaa kaapelointi käyttämällä alumiinijohtimista AMCMK kaapeleita.

Kaapeleita voidaan asentaa myös useampi rinnakkain syöttämään samaa keskusta. Jos kaapeleita on kolme tai enemmän ja suojalaitteina käytetään sulakkeita, pitää huolehtia, että molemmissa päissä kaapelia on jokaiselle vaiheelle oikosulkusuojat asennettuna. (ks. kuvio 18) Usein vakiorakenteiset puistomuuntamot sisältävät pelkästään jonovarokelähtöjä, jolloin edellä mainittu tilanne on edessä. Mikäli nousukaapelin päähän ei asenneta erillisiä oikosulkusuojia jokaiselle kaapelille, vaan käytetään kaikille kaapeleille yhteistä ylikuormitussuojaa, kuten suojareleellä varustettua katkaisijaa, tulee varmistua, että vikapaikkaan virtaava oikosulkuvirta I₂ riittää myös muiden kaapeleiden kyseisen vaiheen suojalaitteen toimintaan vaaditussa viiden sekunnin poiskytkentäajassa (ks. kuvio 17). Nousujohdon loppupään oikosulkusuojien poisjättöä voi harkita lyhyissä kaapelivedoissa, jolloin oikosulkuvirrat pysyvät vielä melko korkeina ja suojalaitteet toimivat oikein. Jos kaapeleita on kaksi, voidaan ne asentaa rinnakkain yhden oikosulku- ja ylikuormitussuojan perään. Yleensä, jos kaapeleita on kolme tai enemmän, on järkevää käyttää katkaisijasuojattua lähtöä mikäli mahdollista. Tällöin yhden katkaisijan perään voidaan kytkeä kaikki rinnan kytkettävät kaapelit, eikä niitä tarvitse suojata toisesta päästä erikseen.



Kuvio 17. Vikavirtojen kulku ja suojalaitteiden toiminta, jos vain alkupään oikosulkusuojat suojaamassa nousujohtoja

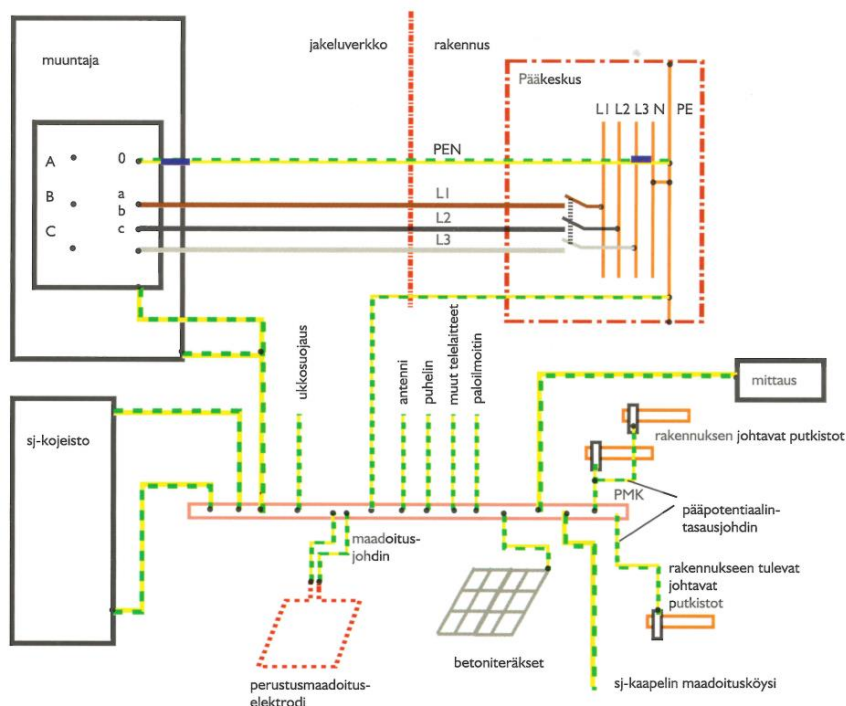


Kuvio 18. Vikavirtojen kulku ja suojalaitteiden toiminta, kun oikosulkusuojat molemmissa päissä nousujohtoja

3.8 Maadoitukset

Rakennettavien maadoitusjärjestelmien rakenne 20 kV-liittymissä vaihtelee hieman riippuen jakelujärjestelmän rakenteesta, ja jo olemassa olevasta maadoitusjärjestelmästä. Maadoitusjärjestelmää suunniteltaessa on tärkeää olla yhteydessä verkonhaltijan verkostosuunnittelijaan. Verkostosuunnittelijalta saadaan muun muassa tiedot olemassa olevista maadoituksista sekä nykyiset maasulkuvirta-arvot ja maadoitusimpedanssin arvot, joihin rakennettavan kohteen maadoitusten mitoituksessa tulee pyrkiä. Lisäksi verkostosuunnittelijalta saadaan tieto siitä, onko kohde yhdistettävissä laajaan maadoitusverkkoon. Laajaa maadoitusverkko on usein käytettävissä alueella, joka sijaitsee taajama-alueella ja jossa on paljon maakaapelointia. Tällöin kiinteistön uudet maadoitukset kytketään kiinni olemassa olevaan laajaan maadoitusverkkoon.

Maadoitustapoja on useita, mutta usein pyritään vakioituihin ratkaisuihin ja käytetään vakioituja poikkipintoja maadoituselektrodeissa sekä suojamaadoitusjohtimissa. Kuviossa 19 on esitetty D1 käsikirjan suositus maadoitusjärjestelmän toteutuksesta laitteistossa, jossa mukana on muuntaja sekä suurjännitekojeisto.

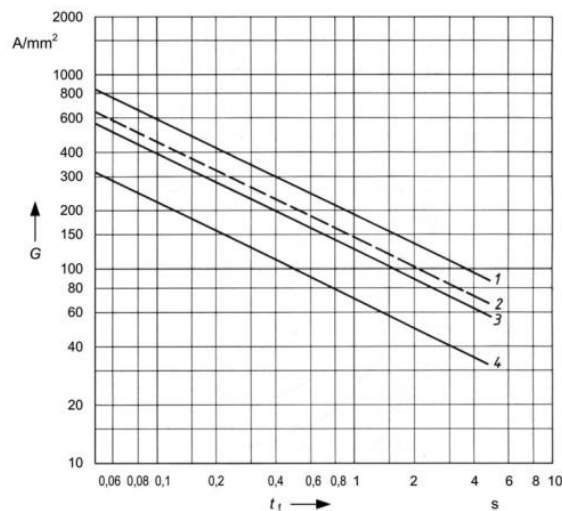


Kuvio 19. Muuntajan sisältävän sähköliittymän maadoitukset ja pääjohdot (D1 2012 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista 2012, 308)

Teollisuusympäristössä paljon käytetty kuparisen maadoitusjohtimen poikkipinta-ala on 50 mm^2 . Käyttötarkoituksista riippuen käytetään myös 25 mm^2 sekä 120 mm^2 poikkipinta-aloja. Jos epäillään maadoitusten riittävyksiä, ne on syytä tarkastaa laskemalla. Laskelmilla varmistetaan maadoitusjärjestelmän rakenteen neljä vaatimusta; riittävä mekaaninen lujuus ja korroosion kestävyys, terminen kesto, omaisuuden ja laitteiden vaurioitumisen estäminen sekä henkilöturvallisuuden varmistaminen. (Ylinen 2015)

SFS 6001 (2015, 110) standardin liitteen C mukaan riittävä mekaaninen lujuus ja korroosionkestävyys saavutetaan paljasta kupariköyttä käytettäessä 25 mm^2 poikkipinta-alalla. Joissakin tapauksissa standardi antaa luvan myös käyttää pienempää poikkipinta-alaa.

Terminen kesto määritellään maadoituspisteessä esiintyvän suurimman oikosulkuvirran ja sen poiskytkentäajan perusteella. KJ-verkossa käytettävä poiskytkentäaika on selvitettävä tapauskohtaisesti. Tyypillisesti se vaihtelee 0,1-0,5 sekunnin välillä. (Ylinen 2015)

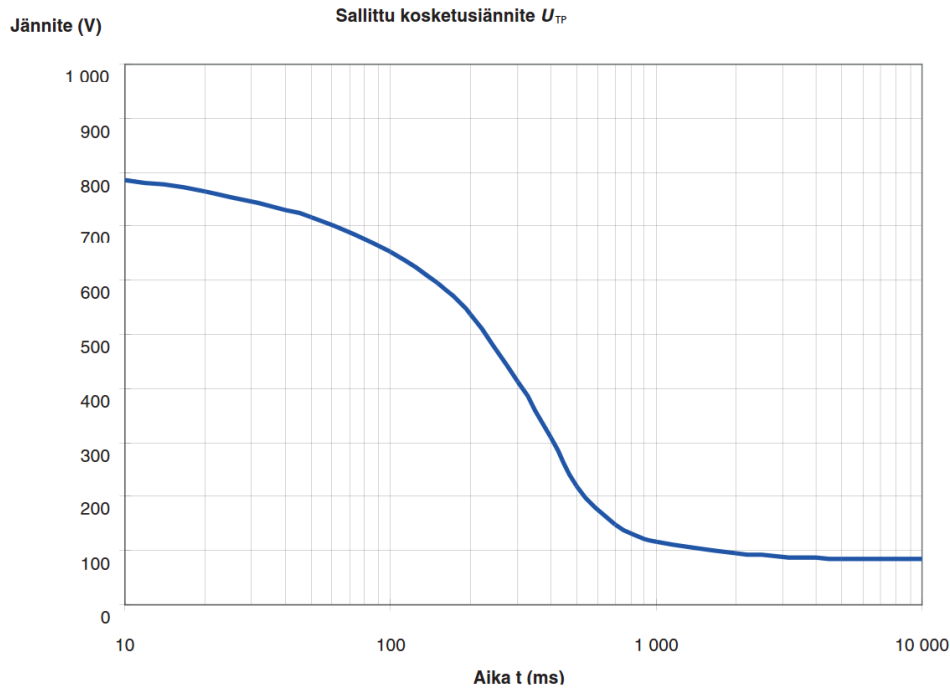


Suorat 1, 3 ja 4 pätevät loppulämpötilalle 300 °C , suora 2 pätee loppulämpötilalle 150 °C .

- 1 Paljas tai sinkkipäällysteinen kupari
- 2 Tinattu tai lyijyvaippainen kupari
- 3 Alumiini (vain maadoitusjohtimena)
- 4 Sinkitty teräs

Kuvio 20. Maadoitusjohtimien ja maadoituselektrodien sallitun oikosulkuvirran tiheys (SFS 6001, 2015, 112)

Henkilöturvallisuus varmistetaan mitoittamalla kohteen maadoituselektrodi, siten että muuntamon maadoitusjännite U_E on standardissa esitettyä kosketusjännitettä U_{TP} pienempi (ks. kuvio 21).



Kuvio 21. Suurin sallittu kosketusjännite U_{TP} (SFS 6001, 2015, 97)

Muuntamon maadoitukset on aina mitattava, ja niistä on laadittava pöytäkirja verkonhaltijalle, jotta tämä voi antaa luvan sähköjen päälle kytkemiseen.

Yleensä riittävään maadoitusimpedanssin arvoon päästään, kun rakennuksen perustuksia tehdessä asennetaan maadoitusjohdin kiertämään perustusten ympäri hyvin johtavaan maa-ainekseen, ja tuodaan maadoituselektrodin molemmat päät muuntamon päämaadoituskiskolle (ST 53.11, 2003, 17). Tämän lisäksi usein 20 kV-liittymäkaapeleiden mukana tuodaan vielä erillinen maadoitusköysi, joka liitetään muuntamon päämaadoituskiskoon. Edellä mainittujen lisäksi käytetään usein myös perustuksien betoniraidoituksia maadoituselektrodin lisänä.

3.9 Kompensointi

3.9.1 Yleistä

Sähköenergian toimittajat veloittavat asiakastaan kaikesta toimitetusta sähköenergiasta. Laskutettu sähköenergia jakaantuu kahteen osaan; pätötehoon ja loistehoon. Pätöteho muun muassa pyörittää moottoreita, ja loistehoa tarvitaan muun muassa moottoreiden magneettikentän ylläpitämiseen. Jos tarvittava loisteho tuotetaan voimalaitoksella, pitää myös koko siirtoverkon aina tuotantopisteeltä kulutuspisteelle kestää loistehon siirto. Tämän takia on kaikkien osapuolien kannalta järkevämpää tuottaa tarvittava loisteho lähellä sähkön kulutuspistettä, jolloin siirtoverkkoa ei rasita kaikki loisteho, jota tarvitaan kulutuspisteellä. Samalla myös asiakas säästyy loistehomaksuilta, joita jakeluverkkoyhtiöt veloittavat mikäli siirretty loisteho on riittävän suuri.

Sähköverkon pitää siirtää sekä pätötehoa P , että loistehoa Q . Loistehon ja pätötehon yhteistekijä on näennäisteho S joka voidaan laskea seuraavalla tavalla.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Verkon kokonaisvirta I määritetään näennäistehon S ja jännitteen perusteella.

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} * U}$$

Verkon tehokerroin $\cos\varphi$ määritetään pätötehon ja näennäistehon perusteella.

$$\cos\varphi = \frac{P}{S}$$

Kompensoitava loisteho Q määritetään seuraavasti;

$$Q = \frac{P}{\eta} * (\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)$$

Q = Loistehon tarve

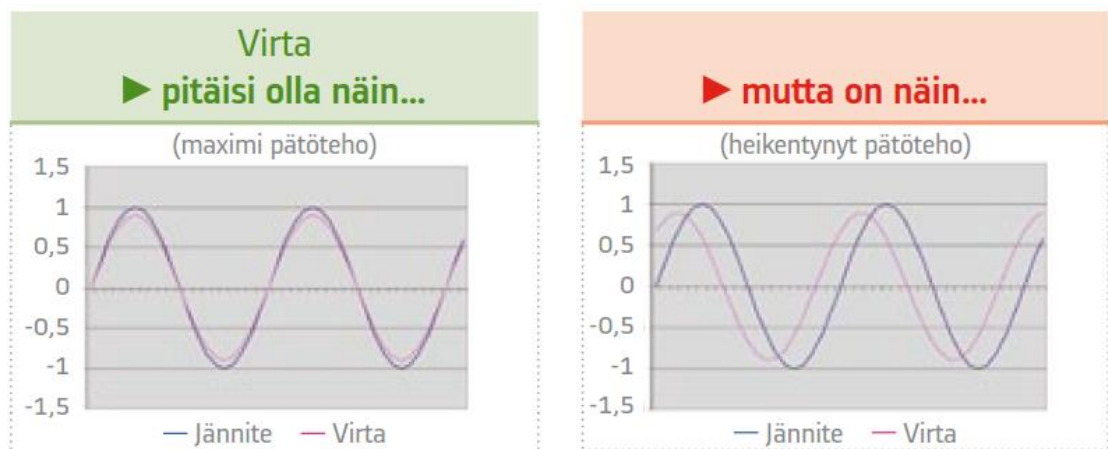
P = Kuorman pätöteho

η = Kuorman hyötysuhde

φ_1 = Tehokulma ennen kompensointia

φ_2 = Tehokulma kompensoinnin jälkeen

Mikäli siirrettävä pätöteho halutaan pitää vakiona, nousee näennäistehon määrä tehokertoimen laskiessa. Koska verkkoa kuormittava kokonaisvirta määräytyy näennäistehon mukaan, on virran ja jännitteen välinen vaihe-ero pyrittävä kompensoimaan pois. Kun virran ja jännitteen vaihe-ero on kompensoitu pois kokonaan, verkosta otettava näennäisteho on käytännössä kokonaan pätötehoa. Sähkölaitteissa tarvittava loisteho tuotetaan tällöin paikallisesti kulutuslaitteella tai keskitetysti käyttöpaikalla.



Kuvio 22. Tehon kompensoinnin vaikutus (Pienjännitetuotteiden tuoteopas n.d, 3)

Esimerkiksi Tampereen Sähköverkko Oy:n jakeluverkon piirissä olevilta asiakkailta ve-
loitetaan loistehomaksua, jos loistehon määrä on yli 16 % siirretystä pätötehosta. Mi-
käli Tampereen Sähköverkko Oy:n asiakkaan sähköliittymä on ylikompensoitu ja se
alkaa tuottamaan kapasitiivista loistehoa, sallitaan maksimissaan 4 % kapasitiivisen
loistehon osuus pätötehon arvosta. (Loistehon hinnoittelu ja kompensointi, 2012) Ka-
pasiitiivisen loistehosta jakeluverkkoyhtiöt laskuttavat suhteessa paljon enemmän
kuin induktiivisen loistehosta (ks. kuvio 24).

3.9.2 Suunnittelu

Kun suunnitellaan loistehon kompensointia esimerkiksi teollisuuskiinteistöön tai julkiseen rakennukseen, tulee myös huomioida sähkön laatu kulutusasteella. Sähkön laatua parantamalla vältytään joskus kalliilta ja arvaamattomilta prosessihäiriöiltä. Sähkön laatuun vaikuttavin tekijä on harmoniset yliaallot ja niiden aiheuttamat jännite- ja virtasäröt. Yliaalloiksi kutsutaan kaikkia sähköverkon virtoja ja jännitteitä joiden taajuus ylittää verkon normaalin taajuuden (50Hz). Yliaaltoja syntyy kun sähköverkkoon kytketään kuormia joiden verkosta ottama virta ei vastaa puhdasta sinikäyrää. Kun yliaallon lähde syöttää verkkoon yliaaltovirtaa, muodostuu tämän seurauksena verkon puolelle yliaaltojännitteitä, joka lopulta aiheuttaa jännitteen käyrämuodon säröytymisen. (Korpinen n.d) Yliaaltoja voivat aiheuttaa muun muassa suuntaajakäytöt, loistevalaisimet, muuntajat, ups-laitteet sekä hakkurivirtalähteet. Yleisesti harmonisia yliaaltoja esiintyy kaikkialla, toisissa kohteissa vähemmän ja toisissa enemmän. Mikäli kohteessa ei toteuteta erillistä yliaaltojen suodatusta, on kuitenkin suositeltava tapa asentaa estokelaparisto, joka toimii samalla kompensointiparistona sekä pienentää jonkun verran verkossa esiintyviä jännitesäröjä. (Pienjännitetuotteiden tuoteopas n.d, 2)

Yleisesti estokelaparistolla päästään noin 7 % kokonaissäröön. Sähkönlaatu standardin SFS-EN 50160 mukaan vaatimus KJ- ja PJ- jakelujännitteen kokonaissärölle on ≤ 8 % (Sähkötoimituksen laatu- ja toimitustapavirheen sovellusohje 2014, 17). Lisäksi viikon pituisen mittausjakson aikana 95 % jakelujännitteen yksittäisten yliaaltojännitteiden kymmenen minuutin keskimääräinen tehollisarvo tulee olla pienempi tai yhtä suuri kuin taulukossa 4 esitetty arvo. Taulukossa 5 on esitetty muita oleellisia raja-arvoja sähkönlaatu standardissa esitettyihin vaatimuksiin. (SFS-EN 50160, 2010) Standardissa ei määritellä raja-arvoja harmonisille yliaaltovirroille. Kuitenkin yleinen suositus virran kokonaissärölle PJ-jakelussa on maksimissaan 10 % referenssivirrasta. KJ-jakelussa vastaava suositus on 8 %. Referenssivirralla tarkoitetaan sulakepohjaisissa liittymissä pääsulakkeen nimellisvirtaa. Tehopohjaisissa liittymissä referenssivirta voidaan laskea liittymän pätötehon avulla. (Pesonen 2012, 12)

$$I_{ref} = \frac{P}{\sqrt{3} * U * \cos\varphi}$$

I_{ref} = Referenssivirta

P = Liittymäsopimuksen pätöteho

U = Liittymän vaihejännite

$\cos\varphi$ = Liittymän tehokerroin

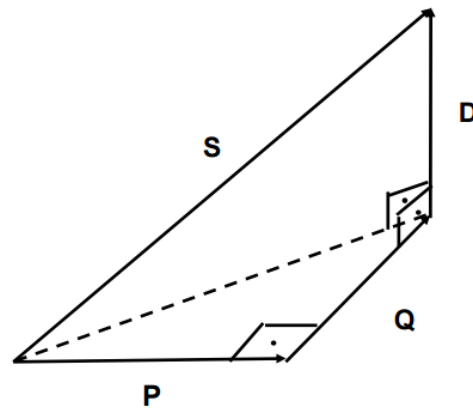
Taulukko 4. Yksittäisten yliaaltojännitteiden raja-arvot (SFS-EN 50160 2010, 22)

Parittomat yliaallot				Parilliset yliaallot	
Kolmella jaottomat		Kolmella jaolliset			
Järjestysluku h	Suhteellinen jännite (U_h)	Järjestysluku h	Suhteellinen jännite (U_h)	Järjestysluku h	Suhteellinen jännite (U_h)
5	6,0 %	3	5,0 %	2	2,0 %
7	5,0 %	9	1,5 %	4	1,0 %
11	3,5 %	15	0,5 %	6...24	0,5 %
13	3,0 %	21	0,5 %		
17	2,0 %				
19	1,5 %				
23	1,5 %				
25	1,5 %				

HUOM. Järjestysluvultaan yli 25 harmonisille ei anneta arvoja, koska ne ovat tavallisesti pieniä ja hyvin arvaamattomia resonanssitilanteiden vuoksi.

Taulukko 5. Jakeluverkkojen taajuuden ja jännitteen raja-arvot

STANDARDIN SFS-EN 50160 VAATIMUS	MITTAUSAIKA	TAAJUUS 50Hz (Keskiarvo 10 s aikaväliltä) yhteiskäyttöverkoissa	
99,50 %	1 VIIKKO	MIN	49,5 Hz
		MAX	50,5 Hz
100 %	1 VIIKKO	MIN	47 Hz
		MAX	52 Hz
JÄNNITE U_n (Keskiarvo 10 min aikaväliltä) PJ-VERKOSSA			
95 %	1 VIIKKO	MIN	$U_n - 10\%$
		MAX	$U_n + 10\%$
100 %	1 VIIKKO	MIN	$U_n - 15\%$
		MAX	$U_n + 10\%$
JÄNNITE U_c (Keskiarvo 10 min aikaväliltä) KJ-VERKOSSA			
99 %	1 VIIKKO	MIN	$U_c - 10\%$
		MAX	$U_c + 10\%$
100 %	1 VIIKKO	MIN	$U_c - 15\%$
		MAX	$U_c + 15\%$



P = pätöteho S = näennäisteho
 Q = loisteho D = säröteho

Kuvio 23. Yliaaltoisen verkon särötehon vaikutus siirrettävään näennäisteeseen (Willman 2006)

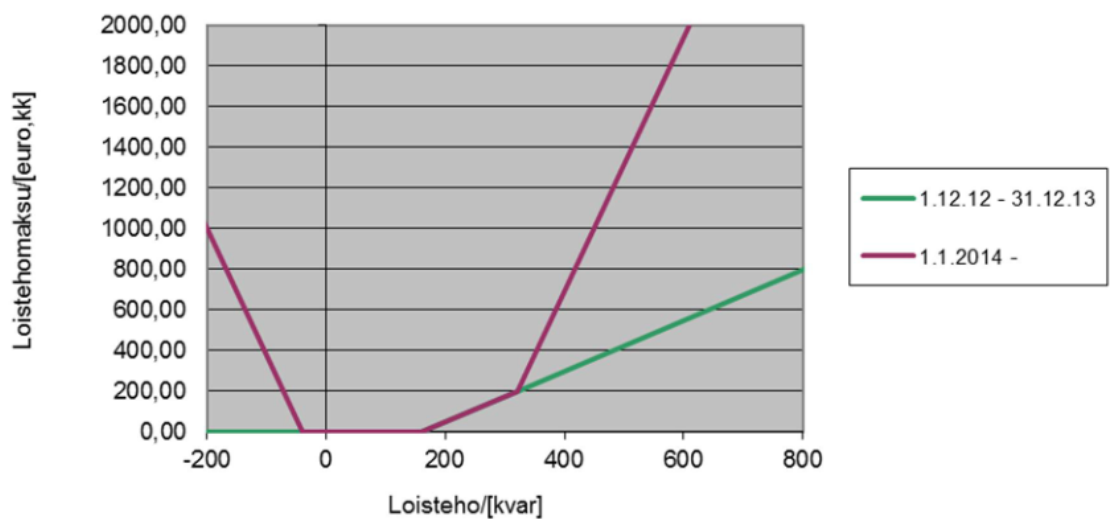
Kuviossa 23 on esitetty yliaaltopitoisen verkon särötehon vaikutus siirrettävään näennäisteeseen. Nykypäivänä siirrettävän loistehon vektori on usein kuviossa esitettyä vektoria lyhempi, koska laitteiden paikallisilla kompensointilaitteilla, sekä keskitetyillä kompensointiparistoilla saadaan siirrettävä loisteho pudotettua melko pieneksi. Vaikeammin kompensoitava särökomponentti sen sijaan aiheuttaa kokonaistehon nousua nykyään yhä useammassa kohteessa.

3.9.3 Toiminta

Estokelaparistossa jokaisen kondensaattorin kytkentäportaan kanssa on kytketty sarjaan rautasydäminen kuristin. Kondensaattori on mitoitettu siten, että siitä saadaan haluttu perustaajuinen (50 Hz) kompensointiteho. Sarjaan kytketty kuristin on taas mitoitettu siten, että se muodostaa resonanssitaajuuden kondensaattorin kapasitanssin kanssa jollakin ei harmonisella taajuudella, tyypillisesti 189Hz. Kuristimen sarjaan kytkennästä johtuen estokelapariston kytkentävirtapiikit ovat myös huomattavasti pienemmät kuin ilman kuristinta varustetun kompensointipariston. Kompensointipariston kytkettyä loistehoa säädetään automaattisesti mittaamalla sähköverkon yhden vaiheen jännite sekä virta. Säädin laskee edellä mainittujen arvojen avulla jännitteen ja virran välisen kulmaeron, josta saadaan kytkettävän loistehon määrä. (ST 52.15, 2015, 6)

3.9.4 Edut

Investointina kompensoinnin asentaminen kiinteistöön on todella kannattava joutuksen melko suurista loistehomaksuista. Keskimäärin kompensoinnin investoinnin takaisinmaksuaika on alle 18kk. Loistehomaksut vaihtelevat liittymän koon mukaan. Kuviossa 24 on esimerkki loistehomaksujen suuruudesta Tampereen sähköverkko Oy:n alueella.



Kuvio 24. Loistehomaksun määräytyminen Tampereen sähköverkossa, kun laskutus-
pätöteho 800 kW (Loistehon hinnoittelu ja kompensointi, 2012)

3.10 Keski- ja pienjännitekojeistot

3.10.1 Yleistä

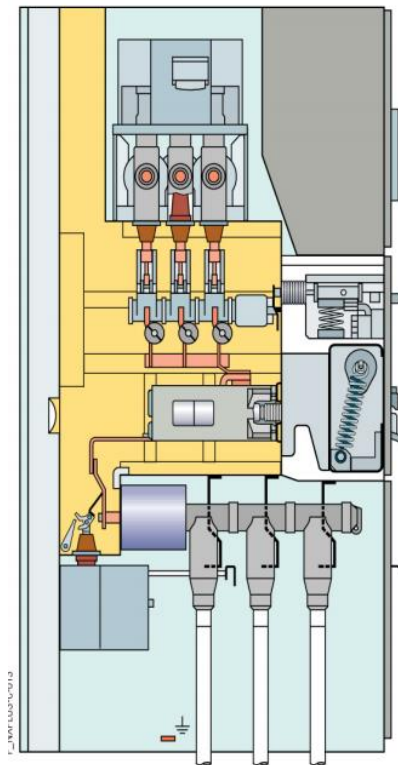
Pääjakelujärjestelmää suunniteltaessa tulee myös mitoittaa ja valita sähköverkon suoja- ja kytkinlaitteet. Suoja- ja kytkinlaitteet jakautuvat moneen eri osa-alueeseen. Kytkinlaitteita ovat muun muassa katkaisijat ja erottimet. Suojalaitteita ovat muun muassa erilaiset varokkeet, sulakkeet, johdonsuoja-automaatit sekä katkaisijoissa käytettävät suojarieleet. Edellä mainittuja laitteita voidaan käyttää useaan eri käyttötarkoitukseen ja yksittäinen komponentti voi sisältää useita ei suojausten toimintoja.

Usein sähkön pääjakelussa pyritään sijoittamaan yhteen suojalaitteeseen sekä ylikuormitus- että oikosulkusuojaus.

3.10.2 Kojeistotyypit

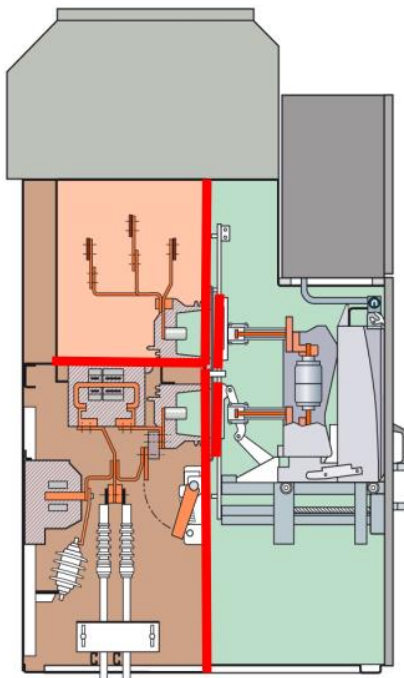
Keskijännitekojeistoa valittaessa ensimmäisenä asiana tulee selvittää käytetäänkö SF6 eristettyjä kojeistoja vai ilmaeristeisiä kojeistoja. Kummallakin ratkaisulla on omat hyvät ja huonot puolensa.

Kaasueristeisen kojeiston etuna on erittäin hyvä sietokyky ympäristöstä tuleville haittavaikutuksille (vieraat esineet, kosketus, valo, pöly, kosteus). Suljettu sekä ilmatiivis rakenne takaavat kojeistolle edellä mainitun ominaisuuden. Koska kojeistoon ei pääse vaikuttamaan mikään edellä mainittu haitta, takaa se kojeistolle vähäisen huollontarpeen. Koska kojeistoon ei pääse mitään ulkopuolisia haittavaikutuksia, eivät myöskään koskettimet ja muut komponentit pääse hapettumaan. Myös komponenttien ja johtimien eristeaineet pysyvät pitkään hyvässä kunnossa SF6 eristetyissä kojeistoissa. (Seminaari keskijänniteverkon suunnittelijoille 2012)



Kuvio 25. SF6 eristeinen kojeistokenno (Mts. 20.)

Ilmaeristeistä kojeistoa on käytetty jo 100 vuotta, joten eri käyttökokemusten johdosta kojeistorakenne on hyvin testattu monessa eri kohteessa. Ilmaeristeisen kojeiston komponentteja on myös hyvin saatavilla, koska ne ovat standardisoitu. Kojeiston huoltamiseen ja kasaamiseen ei myöskään tarvita erikoistyökaluja kuten SF6-kojeistoissa. Ilmaeristeisen kaapelipäätteet tekeminen on myös SF6-päätteen tekemiseen verrattuna paljon yksinkertaisempaa. Ilmaeristeinen kojeisto on myös helposti huollettavissa. Eri komponentteja voidaan vaihtaa ilman, että tarvitsee uusia koko kojeistoa kerralla. (Mts. 36.)



Kuvio 26. Ilmaeristeinen kojeistokenno (Mts. 36.)

Nykypäivänä asiakkaan omistukseen tulevat puistomuuntamot ovat pääosin jo SF6 eristeisiä. Myös ilmaeristeisiä muuntamoitakin käytetään, mutta SF6 eristetyt muuntamot ovat yleistyneet niiden huoltovapauden, turvallisuuden, tilankäytön sekä viime vuosina laskeneiden hintojen vuoksi.

3.10.3 Muuntamon suoja- ja kytkinlaitteet

Muuntamon laitteiden ja siihen liitettävien nousukaapeleiden suojaamiseen ja erotamiseen käytetään muun muassa seuraavia laitteita:

- Varokekuormanerotin
 - Käytetään yleisesti ≤ 1600 kVA:n muuntamoissa pääkytkimenä ja suojaamaan muuntaja, PJ-keskuksen syöttöjohto sekä PJ-keskus.
 - Varokekuormanerotin avaa kaikki vaiheet, jos yksi tai useampi sulake toimii
 - Sulakkeina käytetään keskijännitesulakkeita, jotka tulee valita kojeisto- ja muuntajavalmistajan suositusten mukaan. Taulukossa 6 on annettu suuntaa-antavia arvoja sulakkeiden valinnasta muuntajan tehon mukaan.

Taulukko 6. Ohjeellisia arvoja muuntajan pääsulakkeiden valintaan (ST 53.11 2003, 14)

Muuntaja kVA	200	315	500	800	1000	1250	1600
Jännite 10 kV	25	40	63	63	100	100	100
Jännite 20 kV	16	25	25	40	63	63	63

- Kuormanerotin
 - Käytetään KJ-rengassyötössä, liityntäkaapelit kytketään molemmat omaan kuormaerottimeen
 - Voidaan katkaista nimellisvirran suuruinen kuormitusvirta, sekä tehdä luotettava erotus verkosta.
 - Usein myös maadoituskytkin on yhdistetty erottimen lukitukseen
 - Ei sisällä sulakesuojausta kuten varokekuormanerotin

- Jonovarokeytkin
 - Kytetään muuntamon PJ-keskuksen virtakiskostoon
 - Toimii muuntamoon liitettyjen nousujohtojen suoja- ja kytkinlaitteena.
 - Sulakkeina toimivat NH-kahvasulakkeet

- Katkaisija
 - Voidaan käyttää myös varokekuormanerotimen tilalla muuntamon pääkytkimenä
 - Katkaisijan suojalaitteena toimii katkaisijaan asennettava suojarele
 - Katkaisee kaikki vaiheet kerralla, joten useaa syöttökaapelia suoja- tessa toimii suojaten kaikki vaiheet kerralla
 - Voidaan käyttää myös erikoisrakenteisten muuntamoiden nousujohtojen suoja- ja kytkinlaitteena
 - Vaatii lämmitetyn asennustilan, jotta katkaisijan elektroniikkapiiri pysyvät toimintakuntoisina
 - Voidaan tuoda ohjaustietoja monenlaisista ulkopuolisista tuloista, esimerkiksi valokaarisuojaus ja lukitukset muihin katkaisijoihin ja kytkimiin.

- Kytkinvaroke
 - Käytetään paljon nousukeskuksissa lähtöjen suojalaitteina (tyypillisesti alle 630 A)
 - Edullinen ja varmatoiminen, selektiivisyys helppo toteuttaa
 - Sulakkeina toimivat NH-kahvasulakkeet
 - Kuorman erottaminen helppoa vääntökahvan avulla

3.10.4 Suoja- ja kytkinlaitteiden mitoitus

Sähkösuunnittelijan työtä helpottamaan tehdyt mitoitusohjelmistot esim. Febdok ja ABB Doc ovat verraton apuväline mitoittaessa eri suoja- ja kytkinlaitteita sähkön pääjakeluun. Ohjelmistojen avulla pystytään tarkastamaan eri suojalaitteiden sopivuus ja toimivuus simuloitussa ympäristössä. Myös esimerkiksi katkaisijoiden suojareleiden

asettelut on helppo suunnitella sekä tarkastaa mitoitusohjelmistoilla, joten käsin tehtäviä laskutoimituksia ei juuri tarvitse tehdä. Asiakasmuuntamoissa käytetään myös paljon vakioituja sähköisiä mitoitusarvoja, joita kojeistovalmistajat noudattavat. Usein sähkösuunnittelijan tehtävänä on valita muuntamon tyyppi ja rakenne, ja suunnitella muuntamoon liitettävät kaapeloinnit ja suojalaitteet, sekä tarkastaa, että kaikki sähkönjakelun suojalaitteet toimivat oikein ja turvallisesti. Taulukossa 7 on esitetty sähköenergialiiton suosituksen mukaiset sähköiset mitoitusarvot 10 ja 20 kV muuntamoille.

Koska usein teollisuudessa nousu- ja jakokeskusten nimellis- ja oikosulkuvirrat voivat nousta huomattavan suuriksi, pitää keskusten suunnittelussa ottaa huomioon virtojen vaikutus niiden rakenteeseen sekä varusteluihin. Jos keskuksen nimellisvirta ylittää 1000 A, on kyseiseen keskukseen suositeltavaa asentaa maadoituskytkin ja suunniteltava sen lukituspiirit. Mikäli ei haluta käyttää maadoituskytkintä, on vähintään kuitenkin asennettava työmaadoituspallo erillisiä työmaadoitusköysiä varten. Maadoituskytkimen ja työmaadoituspalloihin liitettävien työmaadoitusköysien tehtävä on maadoittaa kaikki pääkytkimellä erotetut piirit huolto- ja asennustöiden ajaksi. (SFS 6002, 2015, 27-28)

Myös keskuksien terminen ja dynaaminen oikosulkukestoisuuden tarkastelu on tehtävä keskuksia suunniteltaessa. Edellä mainittuja arvoja tarvitsee keskusvalmistaja, jotta he osaavat valita oikean tyyppiset suoja- ja kytkinlaitteet, sekä suunnitella keskuksen rakenteen vastaamaan vaadittuja oikosulkuvirta-arvoja. Oikosulkuvirtojen tarkastelu on helpointa toteuttaa mitoitusohjelmilla.

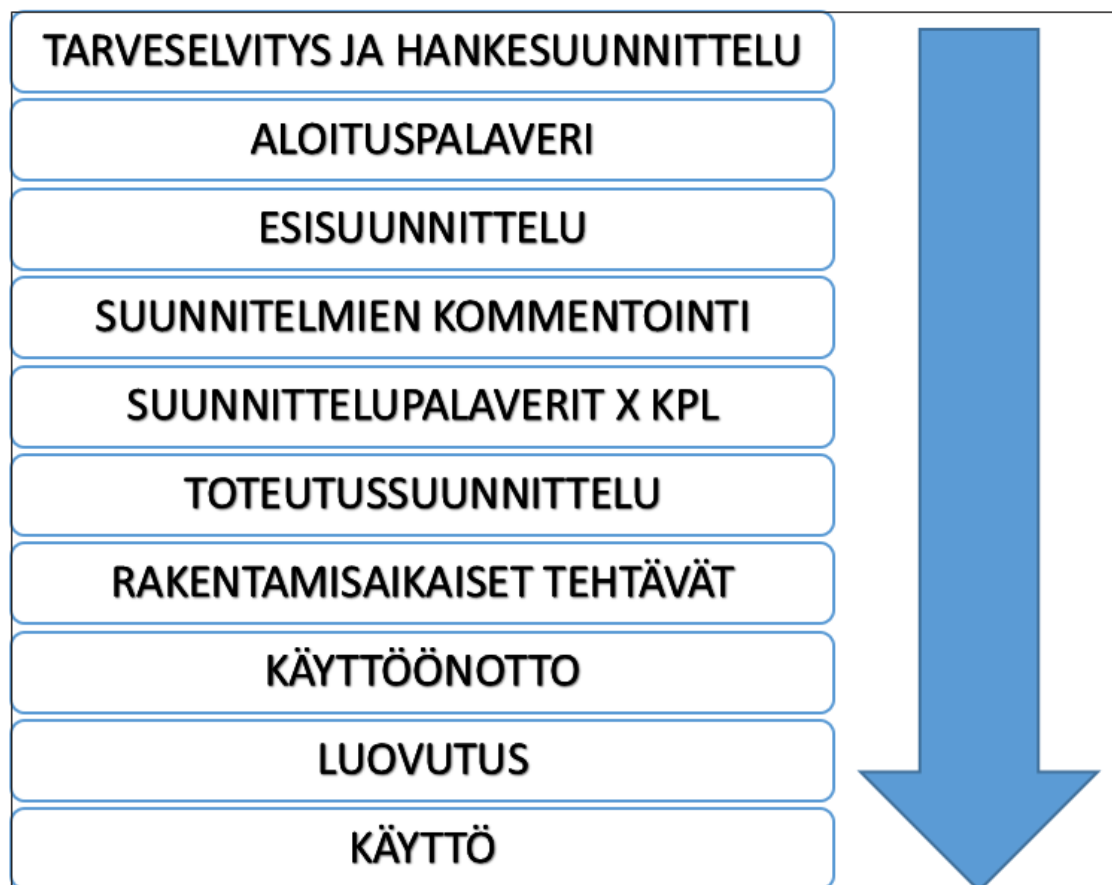
Taulukko 7. Keskijännitekojeiston sähköisiä mitoitusarvoja (ST 53.11 2003, 10)

Nimellisjännite	10kV	20 kV
Suurin käyttöjännite	12 kV	24 kV
Koejännitteet		
– salamasyöksyjännite h-arvo 1,2 / 50 μ s	75 kV	125 kV
– vaihtojännitteellä tehollisarvo 1 min	28 kV	50 kV
Kojeiston oikosulkukestoisuus		
– terminen virtakestoisuus, 1 s	20 kA	16 kA ¹⁾
– dynaaminen virtakestoisuus	50 kA	40 kA
Varokekuormanerotin		
– suurin käytettävä sulake ²⁾	100 A	63 A
Kuormanerotimen ja kiskon nim. virta	630 A	630 A
Kuormanerotimen katkaisukyky		
– normaali katkaisukyky, $\cos \varphi = 0,7$ ³⁾	630 A	630 A
– silmukan katkaisukyky, $\cos \varphi = 0,3$ ³⁾	630 A	630 A
– kuormittamattoman kaapelin katkaisukyky ⁴⁾	25 A	25 A
– kuormittamattoman avojohdon katkaisukyky ⁴⁾	16 A	16 A
– kuormittamattoman muuntajan katkaisukyky ⁴⁾	16 A	16 A
– maasulkuvirran katkaisukyky I _{ce} ⁵⁾	50 A	50 A
Muuntamon sisäinen keskijännitekaapeli sulakkeiden takana HXCMK 1 × mm ²	35	35

4 Työn vaiheet ja toteutus

4.1 Projektin kulku

Kuviossa 27 on esitetty suunnittelijan kannalta projektityöskentelylle tyypilliset työvaiheet. Kuviossa esitetyt työvaiheet sekä niiden järjestys ovat tyypillisiä myös muillekin rakentamiseen liittyville suunnittelualoille. Opinnäytetyöhöni liittyvässä projektissa minun tuli ensimmäiseksi hahmottaa projektin kulku ja arvioida miten resursoin työaikani eri tehtävien suorittamiseen.



Kuvio 27. Projektin eteneminen ja työvaiheet

4.2 Tarveselvitys ja hankesuunnittelu

Tehtäväni oli tehdä Petäjaveden Metallin Oy Ab:lle metallintyöstöön tarkoitettujen noin 1700 m²:n teollisuushallin sähkötekniisten järjestelmien suunnitelmat, sisältäen myös asiakasmuuntamon mitoittamisen ja liittämisen suunnittelun jakeluverkon haltijan verkkoon. Rajasin opinnäytetyöni tarkastelun 20 kV-liittymän hankkimiseen liittyviin asioihin ja siihen liittyviin järjestelmiin.

Petäjaveden Metallin Oy Ab oli tehnyt jo melko pitkälle tarveselvityksen sekä alustavan hankesuunnittelun, joten tehtäväkseni tässä projektissa jäi tarkentaa ja täydentää edellä mainittuja asioita. Tärkein tehtävä hankesuunnittelun aikana olikin auttaa asiakasta hahmottamaan mitä eri asioita uuden 20 kV-liittymän hankinta merkitsee asiakkaan näkökulmasta, ja mistä eri osista hankkeen kustannusrakenne koostuu.

4.3 Aloituspalaveri

4.3.1 Agenda

Sovimme asiakkaan kanssa pidettäväksi suunnittelun aloituspalaverin jonka agenda oli selvittää projektin kulku, sekä sopia asiakkaan kanssa järjestelmästä, joita uusiin tuotantotiloihin tulisi (ks. liite 4).

4.3.2 Lähtötiedot

Aloituspalaverin tärkein asia oli koota asiakkaalta kaikki mahdolliset lähtötiedot projektiin liittyen muun muassa konetiedot, pohjapiirustukset ja tiedot nykyisistä sähköliittymistä. Näitä tietoja hyödyntämällä pyrin hahmottamaan kohteen laajuuden ja miettimään jo tässä vaiheessa eri toteutusvaihtoehtoja sähkön pääjakelujärjestelmään. Petäjaveden Metallin Oy Ab:lla oli nykyisiä PJ-liittymiä kaksi kappaletta (3x160 A + 3x315 A), joten myös näiden liittymien siirtäminen uuteen muuntamoon piti ottaa huomioon.

Merkittävimpinä lähtötietoina olivat metallintyöstöön tarkoitettujen koneiden tehotiedot. Aloituspalaverissa tarkkoja lähtötietoja kaikista koneista ei vielä ollut saatavilla, mutta suurpiirteisiä teholumemia koneista hahmottelimme yhdessä asiakkaan

kanssa. Asiakas painotti, että tulevaisuutta varten keskuksissa ja muuntamossa tulisi olla reilusti varalähtöjä. Otin asian myöhemmin suunnittelussa huomioon.

4.3.3 Toteutettavat järjestelmät

Kävimme asiakkaan kanssa alustavasti läpi mitä eri järjestelmiä teollisuushalliin olisi mahdollisesti tulossa. Lisäksi ehdotin itse mitä eri järjestelmiä kyseiseen teollisuuskohteeseen olisi hyvä asentaa. Opinnäytetyöni keskittyy tältä osin 20 kV-liittymän hankintaan vaikuttaviin järjestelmiin, kuten pääjakelujärjestelmiin, kompensointiin, muuntamoon sekä suojalaitteisiin.

4.3.4 Tilavaraukset

Aloituspalaverissa hahmottelimme yhdessä asiakkaan kanssa mahdollisia tilavarauksia sähkökeskuksille ja kaapelikanaaleille. Kävimme myös läpi koneiden alustavat sijoittelut. Tärkeimpänä asiana oli miettiä muuntamon ja jakokeskusten sijoittelut, sekä miettiä miten kaapelointi niille voitaisiin suorittaa. Lisäksi mietimme mahdollisia laajennusvaroja, missä ja kuinka paljon niitä tulisi olla.

4.3.5 Aikataulu

Aloituspalaverin ajankohta oli 23.6.2015, jolloin sovimme, että sähköjen osalta toteuttamista varten olevat suunnitelmat olisivat valmiina elo-syyskuun aikana. Suunnitelmien mukaan koko hallin rakennusprojekti olisi valmiina vuoden 2015 loppuun mennessä. Melko tiukasta aikataulusta johtuen oli sähkösuunnittelu aloitettava heti, jotta muun muassa muuntajan toimitus ei myöhästyisi.

4.4 Esisuunnittelu

4.4.1 Sähköliittymän mitoitus

Ensimmäinen tehtäväni oli koota kaikki asiakkaalta saamani lähtötiedot yhteen ja alkaa laskemaan koko kiinteistön huipputehoa ja tämän pohjalta mitoittamaan tarvittavaa muuntamoaa sekä tehopohjaista 20 kV-liittymää. Apunani käytin mitoitusohjelmistoja Febdok ja ABB Doc.

Koska asiakas oli painottanut, että laajennusvaroja tulee olla reilusti myös muuntamossa, otin sen huomioon enkä valinnut muuntajaa kiinteistön nimellistehon mukaan vaan reilusti yläkanttiin. Laskelmia tehdessäni oli tärkeää huomioida se seikka, että kaikkien kulutuspisteiden huipputehot eivät todellisuudessa ole samanaikaisia, joten käytin laskelmissani tasoituskertoimena 0,6 joka tasaa huipputehon lähelle todellista teholuokkaa. Alustavien laskelmieni mukaan uuden sähköliittymän tasoitettu teho olisi 805 kW joten tähän teholuokkaan olisi uusi sähköliittymä hankittava.

Muuntajan nimellistehoa mietittäessä oli huomioitava, että muuntaja ei olisi liian ylimitoitettu, mutta ei myöskään tulevaisuuden laajennuksia silmälläpitäen liian pieni. Asiakas oli alustavasti miettinyt että noin 1600 kVA:n muuntaja voisi olla kohteeseen sopiva ja kyseiseen tulokseen myös itsekin eri laskelmien jälkeen tulin. Koska muuntajan mahdollinen vaihtaminen suurempaan jälkikäteen olisi hankala ja kallis toimenpide, päädyttiin tässä kohteessa varautumaan suuremmalla muuntajalla jo valmiiksi.

Itse sähköliittymä hankittiin tehopohjaisena 20 kV-liittymänä ja ostettavaksi tehoksi valittiin 850 kW. Jos tulevaisuudessa tuotantotiloja laajennetaan, selviää sähköliittymän suurentamisessa pelkällä liittymän tehonkorotuksella, josta Elenian sähköverkon alueella peritään hinnaston mukainen maksu (ks. taulukko 2).

4.4.2 Pääjakelun suunnittelu

Yhtenä suurena kokonaisuutena projektissa oli miettiä uuden teollisuushallin sähköjakeluverkon pääkaapeloinnit. Aluksi asiakas oli ajatellut että isot työstökoneet saataisiin suoraan kiinni muuntamon PJ-keskukseen. Tästä ideasta kuitenkin luovuttiin, koska muuntamon jonovarokepaikat olisivat loppuneet kesken, eikä varalähtöjä olisi jäänyt ollenkaan. Päädyimme yhdessä asiakkaan kanssa ratkaisuun, että tuodaan muuntamolta neljällä AMCMK 4x300/88 kaapelilla pääsyöttö uusiin tuotantotiloihin, jossa isossa nousukeskuksessa jaetaan sähkö eteenpäin koneille ja muille keskuksille. (ks. liite 5)

Toisena tärkeänä osana oli miettiä vanhojen liittymiskaapeleiden siirto uuteen muuntajaan. Vanhat liittymät kytketään vaihtotilanteessa irti verkonhaltijan nykyisestä

muuntamosta ja jatketaan asiakkaan omistamaan uuteen muuntamoon. Näin asiakkaalla ei tarvitse jatkossa olla kuin yksi liittymissopimus, joka käsittää uuden 20 kV muuntamon.

Pääjakelun suunnittelussa piti huomioida monia asioita, kuten asennettavuutta, kustannusvaikutuksia sekä toimivuutta. Myös suurvirtajärjestelmän käyttöä kohteessa harkitsin suurien tehomäärien takia.

4.4.3 Muut suunnittelualat

Projektin alussa olin kohteen arkkitehtiin ja teräsrakenteiden rakennesuunnittelijaan yhteydessä. Heiltä sain sähkösuunnittelun aloitusta varten tarvittavat uuden laajennuksen asema-, pohja- ja leikkauskuvat. Lisäksi otin yhteyden Elenian verkostosuunnittelijaan, jonka kanssa aloin keskustelemaan uudesta 20 kV-liittymästä. Verkostosuunnittelijalta sain lisäksi tarkat tiedot nykyisistä sähköliittymistä sekä niiden kaapeloinneista (ks. kuvio 1). Lisäksi verkostosuunnittelija antoi minulle tarvittavia sähkötekniisiä tietoja, kuten maasulkuvirran arvon sekä maadoituksen tavoitearvon, joiden puitteissa suunnittelin uuden muuntamon maadoitukset. Myöhemmin toimitin verkostosuunnittelijalle kohteen alustavan asemapiirustuksen, pääjohtokaavion sekä maadoituskaavion kommentoitavaksi ja hyväksyttäväksi.

4.4.4 Viranomaiset

Projektin edetessä olin sähköpostitse ja puhelimitse yhteydessä kohteen rakennusvalvojaan, joka muun muassa hyväksyi muuntajan sijoituksen tontille sekä uusien KJ-kaapeleiden kaivuureitit. Olin myös paikalliseen paloviranomaiseen yhteydessä, enniinkään sähköliittymään liittyvissä asioissa, vaan enemmänkin kohteen paloturvallisuuden liittyvissä asioissa, kuten savunpoistojärjestelmän, palovaroitus- sekä turvalaistusrakenteiden tiimoilta.

4.4.5 Urakoitsijat

Projektin alkuvaiheessa olin pääasiassa yhteydessä KJ-kaapeloinnin sekä muuntamon asennuksesta vastaavaan urakoitsijaan. Kohteen KJ-urakoinnista vastasi Keuruun

Sähkö Oy. Toimitin heille projektin edetessä pääjakeluun liittyviä dokumentteja kommentoitaviksi. Projektin alkuvaiheessa PJ-urakoitsijaa ei ollut vielä valittu, joten tarvittavat dokumentit toimitin PJ-urakoitsijalle vasta valinnan jälkeen.

4.5 Suunnittelupalaverit

4.5.1 Agenda

Projektin aikana pidin asiakkaan kanssa yhden suunnittelupalaverin. Palaveri oli ajan-kohtainen, kun olin saanut esisuunnittelun valmiiksi. Palaverin agendana oli tarkastaa yhdessä asiakkaan kanssa suunnitelmien tilanne, sekä pyrkiä esittelemään asiakkaalle yksityiskohtaisemmin toteutettavia järjestelmiä. Lisäksi tarkastimme, oliko jotain uusia laitetietoja tai lisäyksiä asiakkaan puolesta ilmaantunut.

4.5.2 Kustannusvaikutukset

Suunnittelupalaverissa kävimme läpi uudesta sähköliittymästä aiheutuvia suurimpia kustannustekijöitä, jotta asiakkaalle tulisi selkeä käsitys mistä eri tekijöistä projektin kustannukset muodostuvat. Lisäksi ehdotin asiakkaalle, että hän hankkii uuden KJ-liittymän oletetun uuden huipputehon mukaan.

4.5.3 Muut asiat

Sovimme palaverissa, että vastaisin sähkökeskuksien tarjouspyyntöjen tekemisestä keskusvalmistajille. Muuntajan hankinnasta sovimme, että asiakas hoitaa sen KJ-urakoitsijan kanssa. Lisäksi kävimme läpi eri sähköjärjestelmien pistesijoituskuvat, sekä keräsin uusia laitetietoja joita asiakas oli saanut. Selostin myös asiakkaalle miten vanhojen sähköliittymien siirto uuteen muuntamoon tulisi toteuttaa, jotta käyttökätkö kiinteistölle tulisi mahdollisimman lyhyeksi.

4.5.4 Työmaakierros

Lopuksi kiertelimme työmaalla, joka tässä vaiheessa oli vielä perustusten tekovaiheessa (ks. kuvio 28).



Kuvio 28. Hallin laajennusosan perustuksien rakennusvaihe

Tarkastimme uuden puistomuuntamon sijoituspaikan sekä reitit, joita pitkin muuntamon kaapelointi tulisi suorittaa. Lisäksi opastin maadoituselektrodin oikeaoppisesta asentamisesta teollisuushallin anturan ympärille.

4.6 Toteutussuunnittelu

4.6.1 Ryhmä- ja johdotuspiirustukset

Kun riittävä määrä laitetietoja ja asiakkaan kanssa sovittuja asioita oli lyöty lukkoon, aloitin projektin toteutussuunnittelun. Toteutussuunnittelun tuloksena projektista syntyi dokumentteja, jotka olivat kelvollisia työmaalle toimitettaviksi. Ensimmäisenä täydensin pistesijoittelukuvat ryhmänumeroiduiksi johdotuspiirustuksiksi (ks. liite 6). Lisäksi suoritin vielä kerran verkostolaskentatarkastelun pääjakelujärjestelmille, jotta käytettävät kaapelit ja suojalaitteet olivat varmasti soveltuvia keskenään.

4.6.2 Johto- ja pääkaaviot

Laadin myös pääjakelun lopulliset johto- ja pääkaaviot. Pääjohtokaavioon merkkasin ylös työstetyn mitoitusraportin, josta ilmeni keskuksien minimi ja maksimi oikosulkuvirta-arvot, sekä oleellista tietoa kaapelointien maksimipituuksista urakoitsijaa varten.

Taulukko 8. Laajennuksen mitoitusraportti

KESKUS		$I_{k,min}$	$I_{k,max}$	Kaapeli Max 3x1.5 S C10	Kaapeli Max, $U_h = 4\% @ I_n$ = 10A	Kaapeli Max 3x2.5 S C16	Kaapeli Max, $U_h = 4\% @ I_n$ = 16A	Kaapeli Max 5x6 S C32	Kaapeli Max, $U_h = 4\% @ I_n$ = 32A	Kaapeli Max 5x16 S gG63	Kaapeli Max, $U_h = 4\% @ I_n$ = 63A
PK1		24,5 kA	38,9 kA								
NK1		22,1 kA	32,8 kA								
NK2		16,9 kA	29,0 kA	76 m	56 m	78 m	57 m	92 m	68 m	214 m	90 m
JK1		5,0 kA	14,9 kA	75 m	40 m	75 m	40 m	87 m	48 m	208 m	64 m
Työstök. 1		13,7 kA	27,3 kA								
Työstök. 2		13,9 kA	27,4 kA								
Lämpök.		7,9 kA	21,1 kA								
TPK 19		3,6 kA	12,3 kA								
TPK 9		0,8 kA	2,5 kA								
TPK 18		1,0 kA	4,0 kA								
TPK 12		0,9 kA	2,9 kA								

4.6.3 Kompensointi

Kohteen laajuudesta johtuen uuteen laajennukseen tulisi asentaa kompensointiparisto. Toteutin kompensoinnin mitoituksen paikallisen jakeluverkkoyhtiön ohjeen mukaisesti. Laskennassa pyrin mitoittamaan kompensointipariston siten, että laajennuksen tehokerroin olisi 1.00. Kompensointiparistoksi valikoitui 300 kVar suuruinen estokelaparisto. Estokelaparistosta piti löytyä riittävän pienet kytkentäportaot, jotta kompensoinnin säätölaite pystyisi säätämään kytkettävän kompensoinnin mahdollisim-

man tarkasti. Automaattinen säätölaite kytkee aina sopivan määrän kytkentäpor-
taita, jolloin päästään aina lähelle tehokerrointa 1.00. Näin vältetään mahdolliselta
ylikompensoinnilta.

Laadin asiakasta varten raportin mitoitus tuloksista, ja listan eri valmistajien estokela-
paristoista jotka olisivat kohteeseen sopivia.

Taulukko 9. Kompensoinnin mitoitusraportti

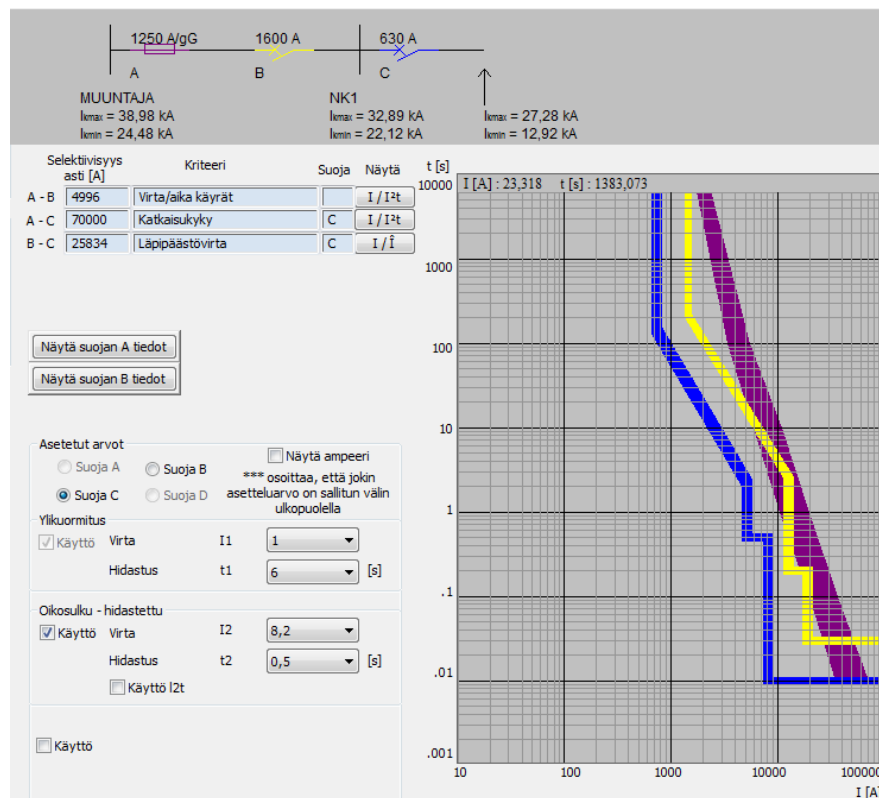
Granlund		SÄH Kompensoinnin mitoitusraportti ja laite-ehdotukset Peltijäveden Metall Oy Ab, Tuusulanjoen laajennus					
Granlund Joensuu Oy		Asiakirja nro		SAH S2220-1R			
Kauppakatu 15 A 1 80100 Joensuu		Projektin nro		151033-1			
		Viimeisin muutos		Pvm Laailja/Tark.Hyv.			
		Laadittu		6.10.2015 RK			
	KBoL 8032-800	WMB9132	Siltanosturit	Lämpökäsittely	Muut kojeet	YHT	Tasoitettu 0,6
Qmot (kVar)	272,00	131,32	44,22	0,00	40,20	487,74 293 kVar	
IP (kW)	340,00	196,00	66,00	360,00	60,00		
η (hyötysuhde)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00		
cos φ1	0,79	0,83	0,83	1,00	0,83		
cos φ2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00		
tan φ1 - tan φ2	0,80	0,67	0,67	0,00	0,67		
U (kV)	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40		
Q (kVar)	263,87	131,71	44,35	0,00	40,32		
IP (kW)	340,00	196,00	66,00	360,00	60,00		
cos φ	0,79	0,83	0,83	1,00	0,83		
S (kVA)	430,38	236,14	79,52	360,00	72,29		
I _{kok} (A)	621,20	340,85	114,77	519,62	104,34		
I _{pää}	490,75	282,90	95,26	519,62	86,60		
I _{lois}	380,86	190,11	64,02	0,00	58,20		
P _{re} (kW)	339,70	195,88	65,99	360,00	59,76		
S (kVA)	430,00	236,00	79,50	360,00	72,00		
cos φ	0,79	0,83	0,83	1,00	0,83		
300 kVar Estokelaparisto vaihtoehdot							
	VE1	VE2	VE3	VE4	VE5		
MALLI	D300/2x25+5x50-400-50/189-1218E	TKF-E 300 189Hz 6 x 50	FKCA-LZ 300-7-189	NACBL 6xNLU50	MCR 300 kVar / 400 V-50/189 Hz		
Valmistaja	Nokian Capacitors	Tampereen Kondensaattorit.	Falco Oy	Norelco Oy	ABB		
Tuotenumero	5704612			58404355 + 58404362			
Paino	455 kg	450 kg	490 kg				
Mitat (l x s x k)	1200x600x1800	600x600x2000	600x800x2050	524x750x2250	1200x600x2240		
Virta	507 A	433 A	432 A	432 A	480 A		
Sulake	2x315 A	2x250 A	2x250 A	2x250 A	2x250 A		
Kaapeli	2 x MCMK 3x240+120	2 x MCMK 3x185+95	2 x MCMK 3x185+95	2 x MCMK 3x185+95	2 x MCMK 3x185+95		

Kompensointi mitoitettu $\cos \phi$ arvoon 1. Käyttöänotossa asetetaan kompensointipariston säätö $\cos \phi$ arvoon 0,995 eli n. 10% loistehon päätötehostä. Loistehon ilmaisosuus Elenian jakeluverkossa on Max 15%

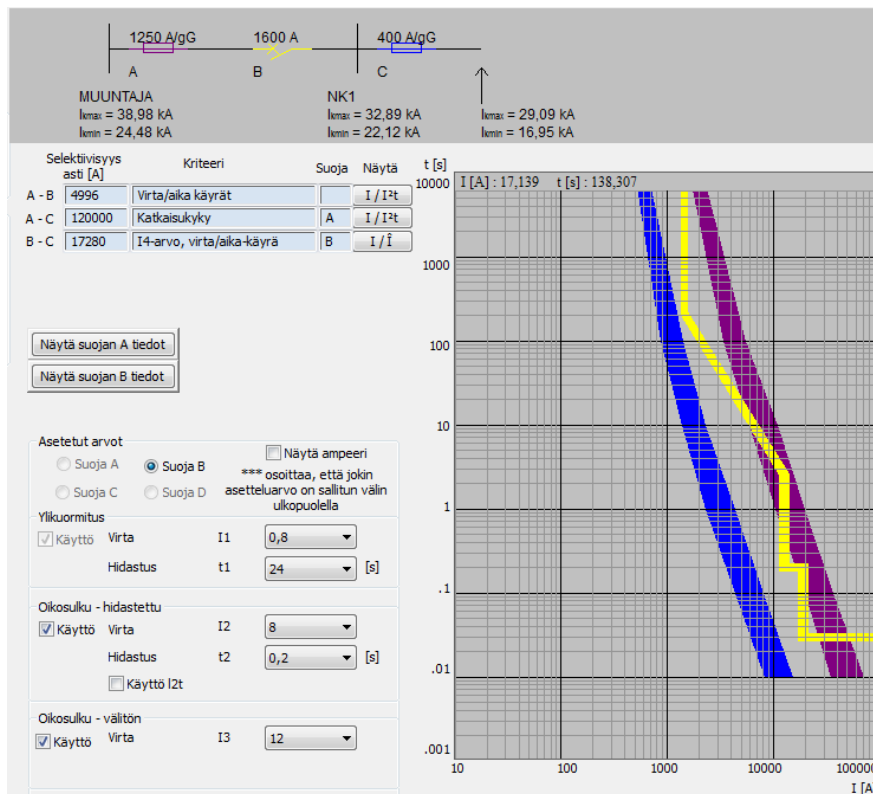
4.6.4 Katkaisijoiden asettelut ja selektiivisyystarkastelu

Koska käytin laajennuksen yhdessä nousukeskuksessa katkaisijoita, tuli katkaisijoiden suojareille laatia asetteluarvot, jotta selektiivinen suojaus kohteessa toteutuisi. Selektiivisellä suojuksella tarkoitetaan suojausta, jossa lähinnä vikapaikka oleva suo-
jalaite toimii ensimmäisenä vikatilanteen sattuessa. Käytettäessä pelkästään sulak-
keita, on selektiivinen suojaus helppo toteuttaa, johtuen sulakkein sulamiskäyrien sa-
mankaltaisuudesta. (ks. kuvio 30)

Kun käytetään katkaisijaa, joka on varustettu suojarielellä, pystytään katkaisijan toimintakäyrää muuttamaan. Ilman suojarielettä katkaisija on pelkkä kytkinlaite. Releiden asettelut on tehtävä niin, että suojalaitteet olisivat mahdollisimman selektiiviset keskenään ja suojaisivat myös niihin kytketyt kaapelit. Kyseisen tarkastelun tekemiseen käytin Febdok ohjelman ominaisuutta, jossa eri suojarieleiden asetteluarvoja säätämällä pystyin muuttamaan katkaisijan toimintakäyrän sijaintia niin, että tarvittava selektiivisyys saavutettiin. (ks. kuviot 29, 30) Kuvioissa 29 ja 30 muuntamon PJ-osan jonovarokeytkimen rinnankytketyt sulakkeet (4 x 315 A) on korvattu yhdellä 1250 A sulakkeella, jolloin tarkastelussa päästään riittävään tarkkuuteen. Ohjelmasta ei löytynyt toimintoa jolla olisi voitu simuloida jokaiselle rinnankytketylle kaapelille oma sulake. Koska kuvioissa 29 ja 30 esitetty 1600 A katkaisija ja 1250 A sulake suojaavat samaa kaapelia, toinen ylikuormukselta ja toinen oikosululta, saavat käyrät leikata toisiaan.



Kuvio 29. 1600 A ja 630 A katkaisijoiden asettelut ja selektiivisyystarkastelu



Kuvio 30. 400 A lähtösulakkeen ja 1600 A pääkatkaisijan selektiivisyystarkastelu

Kun sopivat asettelut löytyivät, kirjasin tulokset ylös, ja liitin asetteluarvot osaksi keskuksien dokumentteja.

4.6.5 Selostukset ja järjestelmäkuvaukset

Laadin suunnitelmien tueksi myös erilaisia järjestelmäselostuksia ja urakkamäärittelyjä, jotta eri urakoitsija voisivat tarkistaa suunnitelmista, mitä töitä heidän kuuluu tehdä, ja mitkä työt kuuluvat toiselle urakoitsijalle. Lisäksi laadin Granlund Oy:n sähköselostus pohjaa mukailleen kohteeseen sopivan sähköselostuksen. Selostuksessa käydään läpi jokainen kohteessa toteutettava järjestelmä, sekä esitellään niiden erityispiirteet (ks. liite 7).

4.7 Rakentamisaikaiset tehtävät

4.7.1 Valvonta ja konsultointi

Kun paperiset työpiirustukset oli toimitettu työmaalle, oli projektin suurin työ osaltani tehty. Kuitenkaan projekti ei loppunut siihen kun työpiirustukset olivat toimitettu työmaalle. Suoritin projektin edetessä satunnaisesti työmaan valvontaa. Valvontakierroksella kävin muun muassa tarkastamassa, että kaapeleille oli varattu tarvittavat varaukset ja reitit. Puhelimitse suoritin työmaan konsultointia erinäisissä asioissa.



Kuvio 31. Puistomuuntamo asennettuna työmaan rakennusvaiheessa

4.7.2 Lisäykset ja muutokset

Rakentamisaikaisiin tehtäviin kuului myös muutamien muutoksien laatimisia, kuten yhden nousukeskuksen siirto, sekä muutamien laitteiden teholuokkien noususta ai-

heutuvia muutoksia. Näistä aiheutuneet muutokset päivitin välittömästi suunnitelmiin, sekä suoritin päivitettyjen kuvien jakelun sähköpostitse projektin osakkaille. (ks. liite 8)

4.8 Käyttöönotto ja tarkastukset

Opinnäytetyön kirjoittamishetkellä kohteeseen ei ollut vielä tehty koko sähkölaitteiston käyttöönottoa, johtuen keskeneräisistä asennustöistä. Asiakkaan puistomuuntamo kuitenkin saatiin asennettua sekä kytkettyä käyttöön. Lisäksi vanhat liittymiskaapelit kytkettiin uuteen muuntamoon suunnitelmieni mukaan. KJ-urakoitsija suoritti muuntamon käyttöönoton ja siihen liittyvät tarkastukset ja mittaukset. Muuntamoon suoritettiin normaali sähkölaitteiston käyttöönottotarkastus SFS 6000-61 standardin mukaan, sekä mitattiin muuntamon maadoitusresistanssi SFS 6001 standardin liitteen L ohjeen mukaan. Näistä urakoitsija laati mittauspöytäkirjat. Koko kohteen sähkölaitteistolle tulee vielä teettää varmennustarkastus ulkopuolisella valtuutetulla tarkastajalla kolmen kuukauden kuluessa käyttöönotosta.

4.9 Kohteen luovutus ja käyttö

4.9.1 Käytönjohtaja

Koska kohteen rakennustyöt olivat vielä kesken, ei kohteen kaikkia luovutukseen liittyviä toimenpiteitä ollut vielä suoritettu. Kohteeseen oli kuitenkin nimetty sähkölaitteiston käytönjohtaja. Käytönjohtajan tehtäviin kuuluu valvoa, että kohteessa noudatetaan sähköturvallisuuslakia sähkölaitteiston käytössä ja huollossa, sekä varmistaa, että sähkölaitteiston käyttötöitä tekevät ovat ammattitaitoisia ja opastettuja tehtäviinsä. (KTMp 1996/516)

4.9.2 Ilmoitukset

Uudesta keskijänniteverkkoon liitettävästä muuntamosta on aina tehtävä rekisteri-ilmoitus Turvatekniikan keskukselle kuukauden kuluessa muuntamon käyttöönotosta (ST 53.11 2003, 19). Kohteessa ilmoituksen laati ja toimitti KJ-urakoitsija.

4.9.3 Käyttäjän opastus

Sähkölaitteiston käyttäjä tulee aina opastaa tekemään kohteen tarvittavat käyttötyöt oikein ja turvallisesti (Kauppila 2014). Kohteen pääjakeluun liittyviä käyttötyitä ovat muun muassa mittareiden luennat sekä erilaisten kytkimien käytöt. Edellä mainittujen asioiden opastuksesta vastaa pääasiassa kohteen sähköurakoitsija.

4.9.4 Luovutusasiakirjat

Kohteen luovutusasiakirjojen laadinnasta vastaa sähkösuunnittelija. Luovutusasiakirjoja käytetään kohteen käytössä ja huollossa, sekä tarvittaessa tulevissa muutostöissä. Luovutusasiakirjoissa ilmenee eri sähköjärjestelmien toteutettu sisältö. Sähkösuunnittelija toimittaa kohteeseen vaadittavat asiakirjat. Vaadittavia asiakirjoja ovat muun muassa:

- Huolto- ja kunnossapito-ohjelma
- Tarkastuspöytäkirjat
- Sähköjärjestelmien luovutuspiirustukset
- Käytönjohtajan tiedot

4.9.5 Määräaikaistarkastukset

Koska kohteen sähkölaitteisto sisälsi yli 1000 V sisältäviä sähkölaitteita, luokiteltiin sähkölaitteisto luokkaan 2c. Tukesin ohjeen S4-11 (2011) mukaan luokan 2c laitteistolle tulee teettää valtuutetulla tarkastajalla määräaikaistarkastus kymmenen vuoden välein. Käytönjohtaja on vastuussa määräaikaistarkastuksen tilaamisesta.

Määräaikaistarkastuksessa tarkistetaan sähkölaitteiston turvallisuus sekä kunto. Lisäksi tarkastetaan, että laitteiston dokumentaatiot ovat ajan tasalla. Jos laitteistoon on tehty laajennus- tai muutostöitä, tarkastetaan myös näiden töiden tarkastuspöytäkirjat. (Sähköasennusten määräaikaistarkastukset 2008) Määräaikaistarkastus suoritetaan pistokokein ja erilaisin mittauksin. Yksi tyypillinen mittaus on lämpökamera-kuvaus eri kytkin- ja suojalaitteille mahdollisten ylikäynnemisien löytämiseksi.

5 Tuloksien käsittely

5.1 Tavoitteet

Projektin alussa oli tavoitteena tuottaa toteutuskelpoiset suunnitelmat Petäjäveden Metallin Oy Ab:lle kaikista projektiin liittyvistä sähköjärjestelmistä. Kun päätin tehdä projektista opinnäytetyön, rajasin opinnäytetyölleni tavoitteet ja raamit missä pitäytyä. Ensisijaisesti halusin perehtyä projektityön selostamiseen, eli mitä 20 kV-liittymän hankintaprojekti teollisuusympäristössä on. Lisäksi halusin, että työni voisi toimia eräänlaisena esimerkkinä siitä, mitä sähkösuunnittelijan työ on, ja minkälaisia taitoja ja valmiuksia sähkösuunnittelijalta vaaditaan. Opinnäytetyöni tavoitteena oli myös perehtyä keskeisiin kojeisiin ja järjestelmiin, joista suunnittelijan tulee olla perillä 20 kV-liittymää hankkiessa.

5.2 Tulokset

Eniten projektin läpivienti opetti minua ymmärtämään teollisuusympäristöjen sähköjakelua ja niihin liittyviä asioita. Projektin aikana olin yhteydessä moniin eri henkilöihin, jotka olivat projektissa jollain tapaa mukana. Kontaktit eri ihmisten kanssa antoivat minulle hyvän käsityksen siitä, kuinka tärkeää sähkösuunnittelijalle on kommunikointi ja tiedonkeruu hankkeessa. Lisäksi opin ymmärtämään taloudelliset merkitykset liittyen eri laitehankintoihin. Esimerkiksi muuntajien ominaisuudet sekä pääjakelijärjestelmien komponentit olivat aiemmin omalta osalta melko heikolla tietopohjalla, joten tämä projekti auttoi käytännön kautta minua oppimaan kyseisten laitteiden toiminnan ja niiden valintaperusteet.

Kriittinen tarkastelu taloudellisesta ja energiatehokkaasta näkökulmasta oli mielestäni tärkeä osa opinnäytetyöni tulosta. Usein työelämässä kaikki hankinnat ja niiden tarkoitus pyörii tavalla tai toisella rahan ympärillä. Se että suunnittelijana osaan perustella asiakkaalle hankintojen kannattavuuden myös taloudellisesta näkökulmasta, on mielestäni nykypäivänä tärkeä taito.

Opinnäytetyötäni voivat jatkossa hyödyntää työelämässä olevat suunnittelijat, mikäli he kaipaavat tietoa esimerkiksi nykyisistä muuntajista ja niiden energiatehokkuuden

vaikutuksista, tai muuntamoa koskevista vaatimuksista. Lisäksi opinnäytetyötäni voidaan hyödyntää koulumaailmassa muun muassa esimerkkinä siitä, mitä eri vaiheita projektityöskentelyssä on, ja mitä taitoja suunnittelijalta vaaditaan työelämässä.

6 Pohdinta

Opinnäytetyöni oli pintaraapaisu siitä kokonaisuudesta, jonka toimeksiantona sain. Opinnäytetyötä kirjoittaessa piti miettiä, mikä olisi kokonaisuuden kannalta oleellista tietoa ja mikä ei, ettei aihe leviäisi liian suureksi. Pyrinkin keskittämään tarkastelun enemmän projektin kokonaisuuden hahmottamiseen ja sen tutkimiseen sen sijaan, että olisin ottanut yksittäisiä asioita tarkempaan tarkasteluun. Isoin ongelmani työn aikana olikin pitää työtä karkaamasta pois otsikoidusta aiheesta. Koska minun piti samalla työstää kyseisen projektin suunnittelua eteenpäin, tuli opinnäytetyön kirjoittamisen aikana usein aikoja, jolloin kirjoittamisprosessi ei juurikaan edistynyt. Tästä johtuen ajankäyttö kirjoittamistyössä olisi voinut jakautua hieman tasaisemmin projektin koko ajalle.

Suurena apuna opinnäytetyöni tietoperustan kirjoittamisessa olivat harjoittelupaikan muut suunnittelijat. Heiltä sain hyviä näkemyksiä heidän omista projekteistaan. Lisäksi ne tiedot ja materiaalit mitä koulun penkiltä olivat jääneet käteen, tulivat tarpeeseen ja pääsin soveltamaan niitä oikeaan työelämän projektiin. Projektin aikana tehdyt erilaiset laskelmat ja mitoitukset halusin tehdä perinpohjaisesti, jotta se tukisi mahdollisimman hyvin omaa oppimistani. Sen sijaan, että olisin laskenut jokaisen sähkötekniikan arvon aina laskentaohjelmilla, tein itselleni Excel laskentataulukoita standardeissa esitettyjen kaavojen pohjalta, ja opin samalla miten tulokset muodostuvat.

Se, että sain tehdä opinnäytetyöni projektista, josta olin itse kokonaan suunnitteluvastuussa, motivoi tietenkin panostamaan ja tutkimaan opinnäytetyöni aihetta. Koska toimeksiantoni aihealue oli minulle vieras ja aihe tarpeeksi haastava, tuki se hyvin omaa oppimistani sekä antoi hyvän startin työelämään. Työelämässä tulen varmasti törmäämään jatkuvasti uusiin ja vieraisiin asioihin eri projekteissa.

Lähteet

ABB. n.d. Dehydrating Breathers. Viitattu 23.10.2015.

<http://www.abb.com/product/db0003db004283/c1257399006bc806c12570690029dcb7.aspx>.

ABB. n.d. ABB transformers help deliver power to the world's highest airport. Viitattu 8.12.2015.

<http://www.abb.com/cawp/seitp202/cd8bfa2602a90af5c1257b2e0033104a.aspx>.

ABB. 2014. Muuntajat Energiatehokkuudesta. Esitys vuoden 2014 energiakongressista. Viitattu 2.10.2015.

http://www.promaint.net/instancedata/prime_product_yhdistys/kp-media/embeds/promaintwwwstructure/b3.pdf.

Alstom Grid. n.d. Pienjännitetuotteiden tuoteopas. Viitattu 25.9.2015.

<http://www.alstom.com/Global/Finland/Resources/Documents/Pienj%C3%A4nnitetuotteiden%20tuoteopas.pdf>.

Elenia Oy. 2013. Sähkökäyttöpaikkojen liittymishinnasto. Viitattu 2.10.2015.

http://www.elenia.fi/sites/www.elenia.fi/files/Liittymishinnasto_01012013%20web.pdf.

Elenia Oy. 2014. Tietoa sähköverkkoon liittymisestä. Viitattu 2.10.2015.

<https://www.elenia.fi/sites/www.elenia.fi/files/Yleisohje%20s%C3%A4hk%C3%B6ura%20koitsijalle.pdf>.

Energiateollisuus. 2014. Sähkötoimituksen laatu- ja toimitustapavirheen sovellusohje. Viitattu 26.10.2015.

http://energia.fi/sites/default/files/sahkon_laatu_ja_toimitustapavirheen_sovellusohje_2014.pdf.

Energiavirasto. 2014. Sähköjakeluverkon komponenttien yksikköhinnat vuodelle 2014. Viitattu 20.9.2015.

<https://www.energiavirasto.fi/documents/10179/0/S%C3%A4hk%C3%B6jakeluverkon+komponenttien+yksikk%C3%B6hinnat+vuodelle+2014.xlsx/dfa3136e-232e-4472-8e5c-ab032c6a1564>.

Finnelectric Oy. n.d. Öljyeristeiset jakelumuuntajat. Viitattu 2.9.2015.

http://media.finnelectric.fi/pdf/fe/finnelectric_catalogue/Imefy/Oljyeristeiset_jakelumuuntajat_12V1_FE.pdf.

Granlund Joensuu Oy. n.d. Granlund Joensuun yhteystietosivusto. Viitattu 27.10.2015. <http://www.granlund.fi/yhteystiedot/joensuu/>.

Granlund Oy. n.d. Granlund Oy:n yhtiötiedote sivustolta. Viitattu 27.10.2015.

<http://www.granlund.fi/yhtiosta/>.

Gross automation. n.d. Trasformers. Viitattu 8.12.2015. <http://www.foodandbevautomation.com/ABB/index.php>.

- Huurinainen, J. 2011. Keskijänniteverkon vikojen ja suojauksen simulointi ABB REF-541 kennoterminalilla. Opinnäytetyö. Pohjois-Karjalan Ammattikorkeakoulu, Sähkötekniikan koulutusohjelma. Viitattu 27.10.2015. https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/31565/Juha_Huurinainen_5_31_2011.pdf?sequence=1.
- Hollings, G. 2013. The difference between distribution and power transformers. Viitattu 8.12.2015. <http://www.abb-conversations.com/2013/09/the-difference-between-distribution-and-power-transformers/>.
- Hänninen, R. n.d. Muistokirjoitus Helsingin Sanomien sivustolla. Viitattu 27.10.2015. <http://www.hs.fi/muistot/a1364352797345>.
- Isomäki R. 2010. Sammutetun keskijänniteverkon kompensointilaitteiston lisävastuksen ohjaus. Opinnäytetyö. Vaasan Ammattikorkeakoulu. Viitattu 9.11.2015. http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/16790/Isomaki_Rami.pdf.
- Kauppila, J. 2014. Sähkölaitteistojen käyttötyöt ja niihin opastaminen. Artikkelit Sähköala.fi sivustolta. Viitattu 5.11.2015. http://www.sahkoala.fi/ammattilaiset/artikkelit/saadokset_ja_maaraykset/fi_FI/sahkolaitteistojen_kayttotyot_opastaminen/.
- Komission asetus (EU) N:o 548/2014. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2009/125/EY täytäntöönpanosta pienten, keskikokoisten ja suurten muuntajien osalta. Viitattu 28.9.2015. http://eur-lex.europa.eu/legal-content/fi/TXT/PDF/?uri=OJ:JOL_2014_152_R_0001&from=EN.
- Korpinen, L. n.d. Muuntajan ja sähkölaitteet. Viitattu 2.10.2015. http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/9muuntajat_ja_sahkolaitteet.pdf.
- Korpinen, L. n.d. Yliaalto-opus. Viitattu 7.12.2015. <http://www.leenakorpinen.fi/archive/opukset/ylialto-opus.pdf>.
- KTMp 516/1996. Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös sähköalantöistä. Viitattu 5.11.2015. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1996/19960516>.
- Metsä Fibre. 2015. Pörssitiedote. Viitattu 27.10.2015. <https://newsclient.omxgroup.com/cdsPublic/viewDisclosure.action?disclosureId=655746&lang=fi>.
- Norelco Oy. n.d. Puistomuuntamot. Viitattu 25.9.2015. http://www.norelco.fi/UserFiles/LiiteTiedostot/14092011103534-NPM_puistomuuntamoosite_2009_web.pdf.
- Partanen, J. 2011. Sähkönjakelutekniikka. Lappeenranta University of Technology. Viitattu 20.10.2015. <https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/bl20a0500/luennot/maasulkusuojaus.pdf>.
- Pesonen, N. 2012. Sähköverkon sähkön laatu Pankakosken kartonkitehtaalla. Opinnäytetyö. Pohjois-karjalan Ammattikorkeakoulu, Sähkötekniikan koulutusohjelma. Viitattu 23.11.2015. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/41497/Pesonen_Niko.pdf?sequence=1
- Petäjaveden Metallit Oy Ab. 2013. Yritysesittely sivustolta. Viitattu 27.10.2015. <http://www.petajavedenmetalli.fi/fi/>.

PKS Sähkösiirto Oy. 2005. Sähköverkkoon liittymisen ehdot LE 05. Viitattu 22.9.2015. http://www.pks.fi/c/document_library/get_file?uuid=4c842db0-b8cf-472f-8698-542c5c74567b&groupId=10427.

Prysmian Group. 2013. HXCMK 20 kV 1-johtiminen kuparijohtiminen, PEX-eristeinen voimakkaapeli. Datalehti yrityksen sivustolta. Viitattu 28.10.2015. http://fi.prysmiangroup.com/en/business_markets/markets/pd/download/datasheets/HXCMK_20kv_1joht.pdf.

Reka Kaapeli Oy. n.d. Keskijännitekaapeli AHXAMK-W 20 kV. Esite yrityksen sivustolta. Viitattu 28.10.2015. <http://www.reka.fi/keski-ja-suurjannitekaapelit/keskijannitekaapelit/keskijannitekaapeli-ahxamk-w-20-kv>.

Setälä, J. 2005. Paperitehtaan 20 kV verkko-osuuden syötön muuttaminen. Opinnäytetyö. Tampereen Ammattikorkeakoulu, Sähkötekniikan koulutusohjelma. Viitattu 23.9.2015. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/9876/TMP.objres.344.pdf?sequence=4>.

SFS 6001. 2015. Suurjännitesähköasennukset. 4.p. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Viitattu 1.10.2015. <http://sales.sfs.fi/sfs/>, SFS online.

SFS 6002. 2015. Sähkötyöturvallisuus. 3.p. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Viitattu 7.12.2015. <http://sales.sfs.fi/sfs/>, SFS online.

SFS-EN 50160. 2010. Yleisestä jakeluverkosta syötetyt sähkön jänniteominaisuudet. 4.p. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Viitattu 23.11.2015. <http://sales.sfs.fi/sfs/>, SFS online.

Siemens AG. 2015. Distribution transformers. Viitattu 12.10.2015. http://www.energy.siemens.com/mx/pool/hq/power-transmission/Transformers/Distribution%20Transformers/Oil-filled%20Distribution%20Transformers/Brochure-Liquid-immersed-distribution-transformers-to-13MVA_EN.pdf.

Siemens Oy. 2012. Seminaari keskijänniteverkon suunnittelijoille. Viitattu 3.10.2015. http://www.siemens.fi/pool/cc/events/keskijannitesuunnittelijat2012/02_keskijannit_ekojeistot_ilmaeristeinen_vs_sf6-teknologia.pdf.

ST 41.10. 2013. Taloteknisen suunnittelun tehtäväluettelo TATE12. Rakennustieto Oy. Viitattu 26.10.2015. <http://www.severi.sahkoinfo.fi/>.

ST 51.21.07. 2013. Suurjännitelaitteiston käyttöönottotarkastuspöytäkirja. Espoo: Sähköinfo Oy. Viitattu 2.10.2015. <http://www.severi.sahkoinfo.fi/>.

ST 52.15. 2015. Loistehon kompensointi ja kompensointilaitteet alle 1000 V:n pienjänniteverkossa. Espoo: Sähköinfo Oy. Viitattu 2.10.2015. <http://www.severi.sahkoinfo.fi/>.

ST 53.11. 2003. Kaapeliliitännäiset sähkökäyttäjän muuntamot. Espoo: Sähköinfo Oy. Viitattu 23.8.2015. <http://www.severi.sahkoinfo.fi/>.

Suomen Sähköurakoitsijaliitto ry. 1990. Maadoituskirja. Espoo: Sähköurakoitsijaliiton Koulutus ja Kustannus oy.

Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. 2012. D1 2012 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. 10. uud. p. Espoo: Sähköinfo Oy.

Tampereen sähkölaitos sähköverkko oy. 2012. Loistehon hinnoittelu ja kompensointi. Viitattu 1.10.2015.

<https://www.tampereensahkolaitos.fi/sahkoverkkopalvelut/sahkoverkkoonliittymine n/TSV-urakoitsijalle/Documents/Lo>.

Trafomic Oy. n.d. Muuntaja yleisesti. Muuntajan toimintakuvaus yrityksen sivustolta. Viitattu 3.10.2015. <http://www.trafomic.fi/muuntaja>.

Tukes. 2008. Sähköasennusten määräaikaistarkastukset. Viitattu 5.11.2015.

http://www.tukes.fi/Tiedostot/sahko_ja_hissit/esitteet_ja_oppaat/mat_esite2008.pdf.

Tukes. 2011. S4-11 Sähkölaitteistot ja käytönjohtajat. Viitattu 5.11.2015.

<http://www.tukes.fi/fi/Palvelut/Tukes-ohjeet/1Sahko-ja-hissit/S4-11-Sahkolaitteistot-ja-kaytonjohtajat/>.

Turku energia sähköverkot oy. n.d. Asiakasmuuntamon suunnittelu. Viitattu 23.9.2015.

<http://www.turkuenergia.fi/files/6113/7034/5299/Asiakasmuuntamo.pdf>.

Väärämäki, M. 2004. Teho- ja mittamuuntajat. Lyhennelmä artikkelista Fingrid-lehdessä. Viitattu 2.10.2015.

<http://www.fingrid.fi/fi/verkkohankkeet/kantaverkonABC/Sivut/ABCteho-ja-mittamuuntajat.aspx>.

Willman, J. 2006. Sähkönjakelu Prosessiteollisuudessa. Viitattu 6.11.2015.

[http://www02.abb.com/global/fiabb/fiabb254.nsf/0/32c1167fdaaea021c1257162004c97d3/\\$file/PRES_Juha_Willman_Loistehon_kompensointi.pdf](http://www02.abb.com/global/fiabb/fiabb254.nsf/0/32c1167fdaaea021c1257162004c97d3/$file/PRES_Juha_Willman_Loistehon_kompensointi.pdf).

Ylinen, T. 2015. Suurjännitelaitteistojen maadoitusten mitoittaminen. Lehtiartikkeli Sähkö- ja teleurakoitsijoiden jäsentiedotteesta 9/2015, 6-7.

Liitteet

Liite 1. Suurjännitelaitteiston käyttöönottotarkastuspöytäkirja (ST 51.21.07 2013)



ST 51.21.07

1 (2)

SUURJÄNNITELAITTEISTON KÄYTTÖÖNOTTOTARKASTUSPÖYTÄKIRJA

<input type="checkbox"/> SJ-JOHTO / KAAPELI _____	<input type="checkbox"/> MUUNTAMO _____	Arkistonumero _____
<input type="checkbox"/> PJ-JOHTO / KAAPELI _____	<input type="checkbox"/> MUUNTAJA _____	Tilaaajan työnumero _____
<input type="checkbox"/> PJ-KESKUS _____	<input type="checkbox"/> EROTIN _____	Rakentajan työnumero _____

KÄYTETYT NORMIT

Kohteen rakentamisessa ja tarkastamisessa on käytetty seuraavia normeja:

<input type="checkbox"/> SFS 6000-sarja _____	<input type="checkbox"/> SFS 6001 + A1 + A2 _____	<input type="checkbox"/> SFS 6003 _____
<input type="checkbox"/> SFS-EN 50341-1 + A1, SFS-EN 50341-3-7 ja SFS-EN 50423-1 _____	<input type="checkbox"/> _____	

Lisätietoja _____

KOHTEEN RAKENTAJAN / URAKOITSIJAN TIEDOT

Yrityksen nimi _____

Yhteyshenkilö _____	Puhelin _____	Faksi _____	Sähköposti _____
---------------------	---------------	-------------	------------------

KOHTEEN YKSILÖIVÄ TIETO

Verkon haltija _____	Yhteyshenkilö _____
----------------------	---------------------

Kohde _____

AISTINVARAINEN TARKASTUS

	Kunnossa	El kuulu rakenteeseen		Kunnossa	El kuulu rakenteeseen
Dokumentointi, käyttö-/huolto-ohjeet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Kaapelin valppa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Työmaadoitusvälineet- ja paikat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Taivutussäleet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Työskentelysuojat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Kalvuuajajat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Muut työ-, käyttö- ja suojavälineet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Raivaus ja oksiminen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tunnukset ja merkinnät	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Eitäisyydet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Varoituskilvet ja -merkinnät	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Kallistumat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Laitteiden nimellisarvot	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Pyvästys	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Asetusarvot	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Upotussyvytydet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lukitukset	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Latvasuojukset	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Valaistus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Orret	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Plenelänsuojaus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Eristimet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Katkaisijat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Johdin ja liittokset	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SF6-kennot	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Kiinnitykset	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rakennus varustelueen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Kirstykset	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Läpiviennit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Päätteet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lämpötila	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Hanukset	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kipinäväli	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Avausväli	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Muuntajan numero	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Asennonosoitus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hoitotaso	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ohjain	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ylijännitesuojat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ohjauskeskus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kosketussuojaus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Antenni	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Keskuskaappi	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Maadoitukset	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Varokehytkin	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Laaja maadoitusjärjestelmä	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sulakkeet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Muut laitteet:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kaapeleiden asennussyvyys	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mekaaninen suojaus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kaapeleiden merkinnät	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			

Lisätietoja: _____

ST 51.21.07

2 (2)

MITTAUKSET			
	Kunnossa	Ei kuulu rakenteeseen	
Jännitteet			
Mittauspiste:			
L1-PEN _____ V	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
L2-PEN _____ V	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
L3-PEN _____ V	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
L1-L2 _____ V	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
L1-L3 _____ V	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
L2-L3 _____ V	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Oikosuukivirta I_k tai -impedanssi Z_k			
Mittauspiste:			
_____ A	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
_____ Ω	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Erillinen mittauspöytäkirja liitteenä	<input type="checkbox"/>		
Maadoitus			
<input type="checkbox"/> Resistanssimittaus (ks. erill. mittausptk. _____ kpl)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
_____ Ω	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> Jatkuvuuden mittaus (ks. erill. mittausptk. _____ kpl)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
_____ Ω	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Lisätietoja, käytetyt mittalaitteet ja menetelmät jne.			
TESTAUKSET			
	Kunnossa	Ei kuulu rakenteeseen	
Vaihejärjestyksen toeleminen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Suojareleet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Lukitukset	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Kaapeleiden jännitteesti	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Eroittimen toiminta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Kalkalsijan toiminta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Vikavirtasuojan toiminta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Lisätietoja:			
LISÄTIETOJA / MUUT HUOMIOT			
<input type="checkbox"/> liitteessä			
TARKASTUKSEN TULOS			
<input type="checkbox"/> Tarkastuksen kohde on säännösten ja määräysten mukainen.			
<input type="checkbox"/> Tarkastuksen kohde on käyttöönotettavissa, mutta siinä on seuraavia korjattavia puutteita:			
_____		<input type="checkbox"/> korjattu	_____
_____		<input type="checkbox"/> korjattu	_____
Liitteitä _____ kpl			
TARKASTUKSEN TEKIJÄT			
Nimet			
Päiväys	Alekkirjoitus	Nimen selvennys	

Liite 2. Direktiivin uudet vaatimukset tehomuuntajille (A 11.6.2014/548)

1.1 Vaatimukset keskikokoisille kolmivaihemuuntajille, joiden nimellisteho $\leq 3\ 150\ \text{kVA}$

Taulukko 1.1: Enimmäiskuormitushäviöt ja -tyhjäkäyntihäviöt (W) **neste-eristeisille** keskikokoisille kolmivaihemuuntajille, joissa toisen käämin $U_m \leq 24\ \text{kV}$ ja toisen $U_m \leq 1,1\ \text{kV}$.

Nimellisteho (kVA)	Vaihe 1 (1. heinäkuuta 2015 alkaen)		Vaihe 2 (1. heinäkuuta 2021 alkaen)	
	Enimmäiskuormitushäviöt P_k (W) (*)	Enimmäistyhjäkäyntihäviöt P_o (W) (*)	Enimmäiskuormitushäviöt P_k (W) (*)	Enimmäistyhjäkäyntihäviöt P_o (W) (*)
≤ 25	C_k (900)	A_o (70)	A_k (600)	$A_o - 10\%$ (63)
50	C_k (1 100)	A_o (90)	A_k (750)	$A_o - 10\%$ (81)
100	C_k (1 750)	A_o (145)	A_k (1 250)	$A_o - 10\%$ (130)
160	C_k (2 350)	A_o (210)	A_k (1 750)	$A_o - 10\%$ (189)
250	C_k (3 250)	A_o (300)	A_k (2 350)	$A_o - 10\%$ (270)
315	C_k (3 900)	A_o (360)	A_k (2 800)	$A_o - 10\%$ (324)
400	C_k (4 600)	A_o (430)	A_k (3 250)	$A_o - 10\%$ (387)
500	C_k (5 500)	A_o (510)	A_k (3 900)	$A_o - 10\%$ (459)
630	C_k (6 500)	A_o (600)	A_k (4 600)	$A_o - 10\%$ (540)
800	C_k (8 400)	A_o (650)	A_k (6 000)	$A_o - 10\%$ (585)
1 000	C_k (10 500)	A_o (770)	A_k (7 600)	$A_o - 10\%$ (693)
1 250	B_k (11 000)	A_o (950)	A_k (9 500)	$A_o - 10\%$ (855)
1 600	B_k (14 000)	A_o (1 200)	A_k (12 000)	$A_o - 10\%$ (1080)
2 000	B_k (18 000)	A_o (1 450)	A_k (15 000)	$A_o - 10\%$ (1 305)
2 500	B_k (22 000)	A_o (1 750)	A_k (18 500)	$A_o - 10\%$ (1 575)
3 150	B_k (27 500)	A_o (2 200)	A_k (23 000)	$A_o - 10\%$ (1 980)

(*) Enimmäishäviöt kVA-nimellistehoille, jotka sijoittuvat taulukossa 1.1 esitettyjen nimellistehojen välille, saadaan interpoloimalla lineaarisesti.

Liite 3. 50-2500 kVA:n jakelumuuntajien normaalihäviöinen sarja (Öljy-eristeiset jakelumuuntajat n.d)

Muuntajan tyyppi	Nim. teho [kVA]	Muuntosuhte	Häviöt Po/Pk [W]	Melutaso LwA/LpA [dB]	Mitat, toleranssi +/-5%					Paino, tol. +/-5%		
					A	B	C	E	Ød	F	kokonais	öljy
[mm]												
TDO 50/10.25/0.41	50	10,25 +/-2x2,5% /0,41	190 / 1100	52 / 46	1000	670	1260	520	125	40	540	160
TDO 50/20.5/0.41		20,5 +/-2x2,5% /0,41										
TDO 100/10.25/0.41	100	10,25 +/-2x2,5% /0,41	320 / 1750	56 / 50	1080	680	1330	520	125	40	670	185
TDO 100/20.5/0.41		20,5 +/-2x2,5% /0,41										
TDO 160/10.25/0.44	160	10,25 +/-2x2,5% /0,41	460 / 2350	59 / 53	1160	750	1360	520	125	40	850	240
TDO 160/20.5/0.41		20,5 +/-2x2,5% /0,41										
TDO 200/10.25/0.41	200	10,25 +/-2x2,5% /0,41	550 / 2750	61 / 55	1240	820	1400	670	125	40	970	250
TDO 200/20.5/0.41		20,5 +/-2x2,5% /0,41										
TDO 250/10.25/0.41	250	10,25 +/-2x2,5% /0,41	650 / 3250	62 / 56	1290	820	1410	670	125	40	1060	270
TDO 250/20.5/0.41		20,5 +/-2x2,5% /0,41										
TDO 315/10.25/0.41	315	10,25 +/-2x2,5% /0,41	780 / 3850	64 / 57	1360	820	1450	670	125	40	1250	340
TDO 315/20.5/0.41		20,5 +/-2x2,5% /0,41										
TDO 400/10.25/0.41	400	10,25 +/-2x2,5% /0,41	930 / 4600	65 / 58	1430	820	1470	670	125	40	1460	355
TDO 400/20.5/0.41		20,5 +/-2x2,5% /0,41										
TDO 500/10.25/0.41	500	10,25 +/-2x2,5% /0,41	1100 / 5450	66 / 59	1520	820	1560	670	125	40	1700	460
TDO 500/20.5/0.41		20,5 +/-2x2,5% /0,41										
TDO 630/10.25/0.41	630	10,25 +/-2x2,5% /0,41	1300 / 6500	67 / 60	1590	860	1600	670	125	40	1960	480
TDO 630/20.5/0.41		20,5 +/-2x2,5% /0,41										
TDO 800/10.25/0.41	800	10,25 +/-2x2,5% /0,41	1550 / 8100	68 / 61	1750	930	1610	670	125	40	2250	565
TDO 800/20.5/0.41		20,5 +/-2x2,5% /0,41										
TDO 1000/10.25/0.41	1000	10,25 +/-2x2,5% /0,41	1700 / 10500	68 / 61	1880	1020	1690	670	125	40	2620	680
TDO 1000/20.5/0.41		20,5 +/-2x2,5% /0,41										
TDO 1250/10.25/0.41	1250	10,25 +/-2x2,5% /0,41	2130 / 13500	70 / 62	2090	1210	1710	820	200	70	3230	830
TDO 1250/20.5/0.41		20,5 +/-2x2,5% /0,41										
TDO 1600/10.25/0.41	1600	10,25 +/-2x2,5% /0,41	2600 / 17000	71 / 63	2220	1270	1830	820	200	70	4060	1020
TDO 1600/20.5/0.41		20,5 +/-2x2,5% /0,41										
TDO 2000/10.25/0.41	2000	10,25 +/-2x2,5% /0,41	3110 / 20200	73 / 65	2420	1390	1890	820	200	70	4870	1220
TDO 2000/20.5/0.41		20,5 +/-2x2,5% /0,41										
TDO 2500/10.25/0.41	2500	10,25 +/-2x2,5% /0,41	3800 / 26500	76 / 68	2580	1510	1980	###	200	70	6170	1490
TDO 2500/20.5/0.41		20,5 +/-2x2,5% /0,41										

Liite 4. Aloituspalaverin muistio



Muistio

1 (3)

23.6.2015

Muistio (Asiakaspalaveri)**Petäjaveden Metalli Oy Ab teollisuushalli**

Aika	20.6.2015 klo 12.00 – 13.00
Paikka	Teollisuustie 15, 41900 Petäjävesi
Läsnä	Markku Salminen (Petäjaveden Metalli Oy Ab) Markus Salminen (Petäjaveden Metalli Oy Ab) Risto Kuosmanen (Granlund Joensuu Oy)

1 Lähtötiedot

- Rakennetaan n. 1700 m² metallintyöstöön tarkoitettu 12m korkea teollisuushalli
- Hallia syötetään uudesta 20/0,4kV 1600kVA asiakkaan omistukseen tulevasta puistomuuntajasta n. 20m päästä hallin kulmasta
- Syöttö puistomuuntajalle ketjutetaan verkkoyhtiön 20/0,4kV 800kVA puistomuuntajalta n. 150m päästä.
 - KJ- kaapeloinnin suorittaa verkkoyhtiö
 - Asiakas tarvitsee käytönjohtajan kohteeseen
 - Suunnittelija toimittaa verkkoyhtiölle tarvittavat tiedot sähköliittymästä ja puistomuuntajasta (lähtöjen määrät, mittaus ym.)
- Kohteeseen tulee 3 isompaa työstökoneita (0,4kV) näille syötöt suoraan muuntajalta
 - 110+75kW Säiliöpohjakone
 - 340kW Puristuskone
 - 360kW Lämpökäsittely kone
- Maalämpö + ilmanvaihtimet lämmitystä varten
 - Tehontarve selvitettävä
- Nostureita halliin tulee yht. 6 kpl jotka asennetaan koko hallin leveälle osalle kattoon
 - 18kW 4kpl
 - 15kW 2kpl

Granlund Joensuu Oy

Postiosoite/
Address
Kauppakatu 15 A1
80100 Joensuu

Puhelin/Tel.
0451299833

Internet
<http://www.granlund.fi/yhteystiedot/joensuu/>

Y-tunnus 0401175-1



23.6.2015

2 Järjestelmät

- Keskukset
 - Halliin 2kpl jakokeskuksia nostureita, lämmitystä, valaistusta ja työpaikkakeskuksia varten.
 - Jakokeskuksiin vähintään 20% varalähtöjä laajentamista varten
- Sisävalaistus
 - Led valonheittimillä työskentelyyn tarvittava valaistustaso
 - Valaisimet kiinnitetään kattotuolien sivuun aivan katon rajaan (mitoituskorkeus 12m)
 - Ohjaukset painonapein kulkuväyliltä, ryhmitetään myös läpikulkupalot (muutama valaisin syytty)
- Ulkovalaistus
 - Led valonheittimet tunnistimilla pihalle nosto-ovien eteen
- Pistorasiakeskukset
 - Jokaiseen metallipylväeseen hallissa asennetaan ns. työpaikkakeskus jossa 16A ja 32A lähdöt ja suojalaitteet kyseisille lähdöille
 - 10kpl pylväistä varustetaan myös 63A lähdöllä
 - Pienille työstökoneille sähkönsyötöt työpaikkakeskuksilta
- ATK-Järjestelmä
 - Jokaiseen hallin nurkkaa 2xRJ45 piste + atk syöttö lämpökäsittely koneelle
 - Kiinteistössä sijaitsee kiinteä atk liittymä toimistotiloissa tontin toisessa päässä joten runkolinja uudelle hallille on kaapeloitava kuitukaapelilla ja halliin asennetaan jakamo. (etäisyys yli 90m)
- Rikosilmoitin/valvontajärjestelmä
 - Asennetaan liikeilmaisimet hallin sisäpuolelle
 - Oviin magneettikytkimet ja koodi/avainnäppäimistöt
 - Gsm hälytyksen siirto



Muistio

3 (3)

23.6.2015

3 Aikataulu

- Suunnitelmat valmiiksi Elo-syyskuun aikana
- Hallin rakennustyöt valmiina Marraskuun aikana

4 Muut asiat

- Sähköurakoitsijana toimii paikallinen yritys: Sähköasennus Koskinen Oy
 - Tekee asennukset laskutyönä

Liitteet

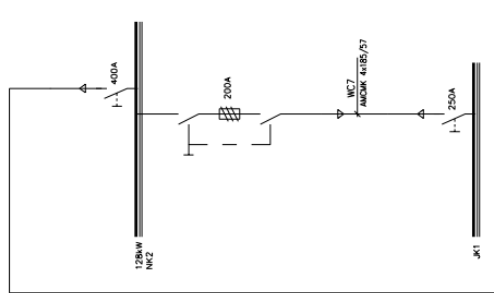
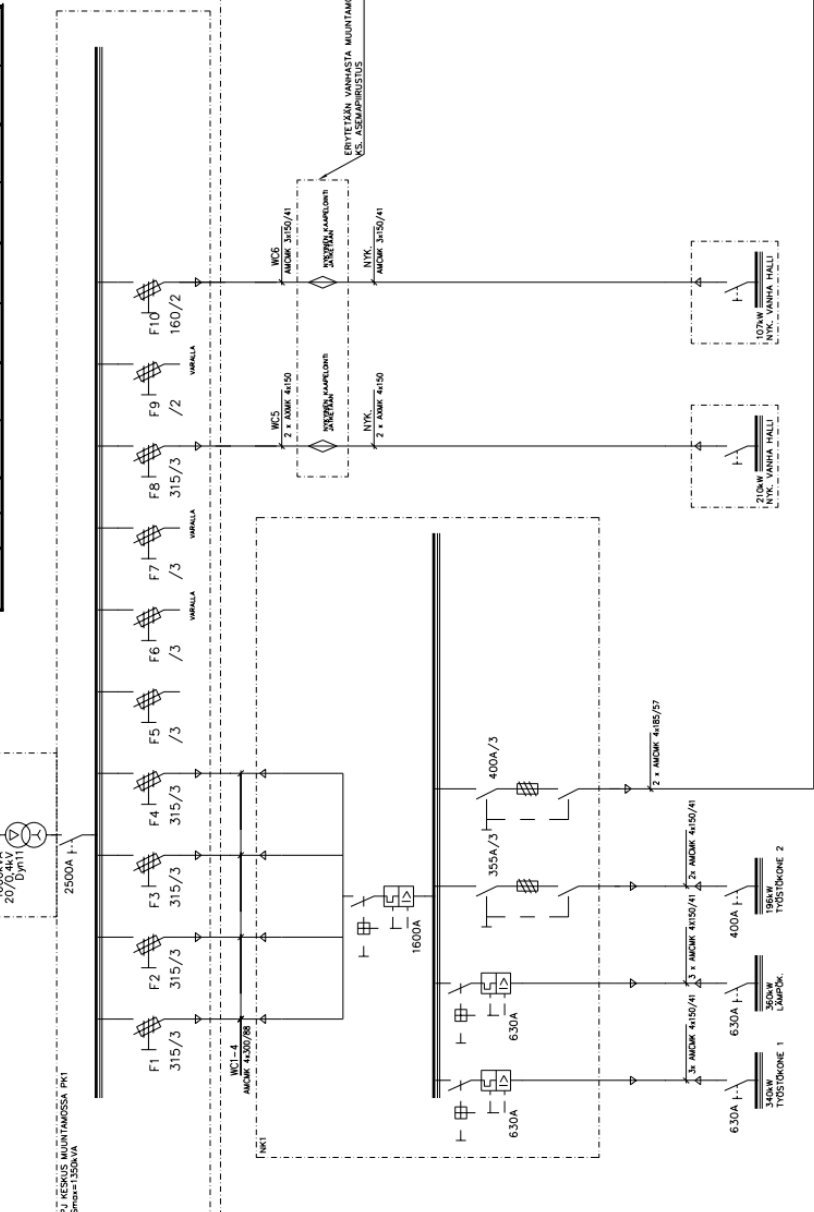
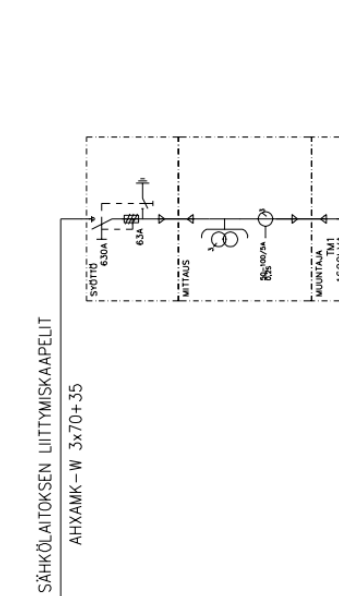
Jakelu

Tiedoksi

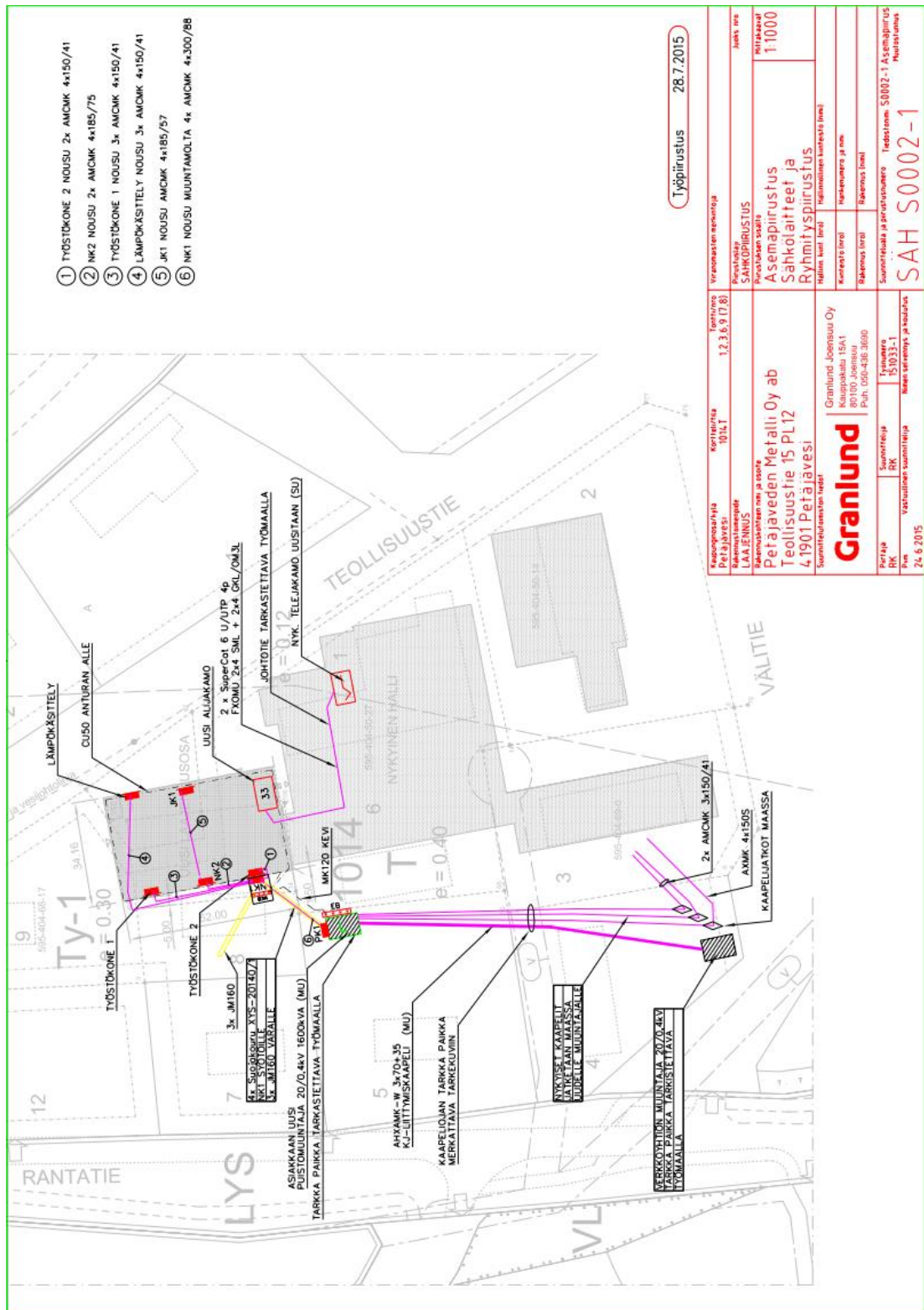
Liite 5. Petäjäveden Metallli Oy Ab:n laajennuksen pääjaka- lokaavio

- MUUNTAMO TOIMITETAAN TÄYDELLISENÄ KOJEISTOINEEN, MUUNTAJINEEN, RAKENNUKSINEEN JA PERUSTUKSINEEN
- MUUNTAJAN TUOLELLA PIENHÄYÖNEN
- MUUNTAJAN TUOLELLA PIENHÄYÖNEN
- SUUNNITTELUALUEEN KÄYTTÖKESKUS ALOITAMISTA
- MU=MUUNTAJALUOKITSIJAN TOIMITUSRAJA
- SU=SÄHKÖURAKOITSIJAN TOIMITUSRAJA

KOKO		KOKO		KOKO		KOKO		KOKO	
Yh.	Yh.	Yh.	Yh.	Yh.	Yh.	Yh.	Yh.	Yh.	Yh.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
...



Liite 6. Toteutusvaiheen asemapiirustus



Liite 7. Ote keskijännitejakelun sähköselostuksen osiosta



Tekniset vaatimukset

Kaapelointiin käytetään tuotantolaitteen valmistajan ohjeistusta ja suunnitelman mukaisia lisävaatimuksia.

Asentaminen

Asentamisessa noudatetaan normaalin liittymiskaapeloinnin periaatteita.

S 22 SÄHKÖENERGIAN PÄÄJAKELU

S 221 KESKIJÄNNITEJAKELUJÄRJESTELMÄ

S 2210 Yleistä

Yleiskuvaus

Rakennuksen uusi puistomuuntaja liittyy paikallisen jakeluverkon haltijan keskijännitejakeluverkkoon muuntamon 154414 VÄLITIE kautta.

Tekniset vaatimukset

Muuntamo toteutetaan kojeistoineen, muuntajineen ja kaapelointineen täyteen käyttökuntoon asennettuna ja koestettuna.

Muuntamoihin toimitetaan lisäksi määräysten mukaiset varusteet mm kilvet, varoitustaulut, hoito- ja ensiapuohjeet, jännitteenkoettimet työmaadoitusvälineet sekä työskentelysuojat.

Keskijännitekojeisto ja muuntajat sijoitetaan tasopiirustuksien mukaisesti.

Muuntamon rakentamisessa noudatetaan kortteja ST 53.11 ja sekä jakeluverkon haltijan antamia ohjeita.

Suunnittelu ja dokumentointi

Muuntamoon liittyvinä dokumentteina laaditaan ja toimitetaan vähintään seuraavat dokumentit:

- kojeiston pääkaavion, kokoonpanopiirustukset kojeistosta ja kennoista sekä rakennepiirustukset
- kennokohtaiset sisäiset piirikaaviot, lukitus- ja johdotuskaaviot ja -taulukot
- katkaisijan ylivirta- ja oikosulkusuojausten asetteluarvot ja laukaisukäyrätiedot
- käyttöönnoton, käytön ja kunnossapidon käsikirjat
- varaosalistat
- ongelmajätteiden käsittelyohjeet sekä kierrätys- ja romutusohjeet
- sertifikaatit
- tehdastestauspöytäkirjat

Asentaminen

Muuntajan ja kojeiston asennuspaikka ja kuljetusreitti on määritelty suunnitteluvaiheessa. Mikäli rakentamisaikana havaitaan muutoksia suunnitellun reitin mitoissa, on siitä ilmoitettava rakennuttajalle viipymättä.

Laadunvarmistus

Laadunvarmistukseen kuuluu hyväksyntään, valmistukseen, asennuksiin, käyttöön ja huoltoon sekä luovutusdokumenttien laadintaan tarvittavat asiakirjat. Hyväksyttäminen rakennuttajalla on hoidettava ennen komponenttitilauksia ja valmistuksen aloittamista.

Liite 8. Rakentamisajan revisioitu asemapiirustus

