

**RAAHEN SAIRAALAN 10/0,4 KV MUUNTAMON  
SANEERAUKSEN SUUNITTELU**

Eskelinen Hannu

Opinnäytetyö  
Tekniikka ja liikenne  
Sähkötekniikka  
Insinööri (AMK)

2016

Tekniikka ja liikenne  
Sähkötekniikka  
Insinööri (AMK)

---

<b>Tekijä</b>	Hannu Eskelinen	Vuosi	2016
<b>Ohjaajat</b>	DI Jaakko Etto Tekn. Markku Huhtala		
<b>Toimeksiantaja</b>	Raahen seudun hyvinvointikuntayhtymä, Pekka Kastell, kiinteistöpäällikkö		
<b>Työn nimi</b>	Raahen Sairaalan 10/0,4 kV muuntamon saneerauksen suunnittelu		
<b>Sivu- ja liitesivumäärä</b>	89 + 13		

---

Opinnäytetyössä tutkittiin Raahen sairaalan 10/0,4 kV muuntamon saneerauksen toteutusvaihtoehtoja. Työn tavoitteena oli selvittää muuntamon saneerausta ohjaavat voimassaolevat määräykset ja ohjeet sekä määrittää ja mitoittaa muuntamossa käytettävä sähkölaitteisto. Lisäksi oli tarkoitus määrittää kiinteistön loistehonkompensointi poistuvien kondensaattorien tilalle sekä tutkia syöttövaihtautomatiikan toteutettavuus saneerauksen yhteydessä. Työssä myös vertailtiin syvällisesti kahta eri muuntamon saneerauksen toteutusvaihtoehtoa.

Tarve muuntamon saneeraukselle on ilmeinen, koska sairaalan nykyinen muuntamo on vuodelta 1965 ja se on laitteistoinen alkuperäisessä kunnossa.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa käydään läpi jakelumuuntamotyypit ja muuntamon sijoitukseen ja rakenteeseen vaikuttavat määräykset ja ohjeet. Lisäksi esitellään muuntamon yleisimmin käytettävien kojeiden teorian ja mitoitusperusteet, muuntamon maadoitusten toteutusperiaatteet sekä kiinteistön loistehon kompensoinnin teoria ja varmennettujen sähköjärjestelmien periaatteet.

Työssä mitoitettiin ja valittiin tähän tapaukseen soveltuvat, muuntamossa käytettävät pääsähkönjakelun kojeet ja laitteet keskusrakenteineen, sekä mitoitettiin ja määriteltiin kiinteistölle loistehon kompensointi poistuvien kondensaattorien tilalle. Lisäksi tutkittiin kattavasti muuntamon saneerausta entisiin muuntamotiloihin tai sairaalan viereen rakennettavaan uuteen muuntamorakennukseen, saneerauksen toteutettavuuden näkökulmasta.

Työn tuloksena saatiin selville muuntamon saneerauksen toteutusmahdollisuudet, laitteistovalinnat ja kustannusarvio molemmissa saneerausvaihtoehdoissa. Opinnäytetyön perusteella valituksi tulleesta saneerausvaihtoehdosta saatiin laitteistovalintojen lisäksi tuloksena pääkaaviotasoiset sähkökuvat ja sähkötyöselostus. Lisäksi tuloksena oli kiinteistön loistehon kompensoinnin toteutussuunnitelma.

Avainsanat

muuntamo, saneeraus, sähkönjakelu

Industry and Natural Resources  
Electrical Engineering

---

<b>Author</b>	Hannu Eskelinen	Year	2016
<b>Supervisors</b>	Jaakko Etto MSc. (El.Eng) Markku Huhtala Tech.		
<b>Commissioned by</b>	Joint Municipal Authority of Wellbeing in Raahe District, Pekka Kastell, property manager		
<b>Subject of thesis</b>	Renovation plan for the 10/0,4 kV distribution substation of the hospital of Raahe		
<b>Number of pages</b>	90 + 13		

---

The bachelor's thesis examined renovation possibilities for the 10/0,4 kV distribution substation of Raahe hospital. The aim of the thesis was to find out regulations and instructions that are concerning the renovation of the distribution substations and as well as design and dimension the electrical hardware to be used. In addition, the objective was to define reactive power compensation for the hospital premises to replace the existing capacitors that will be removed and also to examine implementation possibilities for the automatic source changeover system. The thesis also compares two different renovation alternatives.

The existing distribution substation of Raahe hospital was built in 1965. It is in initial condition and therefore at the end of its life cycle and in need for a renovation.

In the theoretical part of the bachelor's thesis, different types of distribution substations as well as instructions and regulations that effect the structure and location of the substations, are viewed. The thesis also introduces the theory and dimensioning of the commonly used devices for substations as well as shows principles for implementation of earthing at the substations. The thesis also introduces the theory of the reactive power compensation on the premises and the theory of the reserve electrical network.

Main distribution devices, apparatuses and the switchgear structure were chosen and dimensioned for this case in the bachelor's thesis. Reactive power compensation for the premises was also dimensioned and defined to replace the existing capacitors that will be removed. Furthermore, thorough research was made between two alternatives for the substation renovation on viability point of view: renovating on the existing transformer room or renovating on new transformer room, which would be built beside the hospital building.

As a result of the thesis, implementation possibilities for substation renovation, hardware specifications and budgeted for both renovation alternatives were defined. Along with those, electrical work report and main circuit diagrams were created from the chosen renovation alternative, based on the thesis. Implementation plan for reactive power compensation on the premises was also created.

Key words                      distribution substation, distribution network, renovation

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	5
2	RAAHEN SAIRAALA .....	6
3	JAKELUVERKON MUUNTAMOT .....	7
4	SÄHKÖNKÄYTTÄJÄN MUUNTAMON RAKENNE .....	12
4.1	Rakennukseen sijoitettu muuntamo .....	12
4.1.1	Sijoitus .....	13
4.1.2	Tilantarve .....	13
4.1.3	Rakennus- ja palotekniset vaatimukset .....	14
4.1.4	Ovet .....	16
4.1.5	Ilmanvaihto .....	17
4.1.6	Kaapelireitit .....	19
4.1.7	Muuntamon magneettikentät .....	20
4.1.8	Muuntamon varusteet .....	21
4.2	Erillinen muuntamo .....	22
4.2.1	Sijoitus .....	22
4.2.2	Rakenteelliset vaatimukset .....	23
5	SÄHKÖNKÄYTTÄJÄN LAITTEET MUUNTAMOSSA .....	26
5.1	Keskijännitekojeisto .....	26
5.1.1	Katkaisija .....	30
5.1.2	Erotin .....	31
5.1.3	Kuormaerotin .....	32
5.1.4	Varokekuormaerotin .....	33
5.1.5	Varokkeet .....	34
5.1.6	Mittamuuntajat .....	35
5.1.7	Ylijännitesuojat .....	36
5.1.8	Muita muuntamon keskijännitekojeiston komponentteja .....	37
5.2	Jakelumuuntaja .....	38
5.3	Pienjännitekeskus .....	43
5.4	Kaapelit .....	44
6	SÄHKÖNKÄYTTÄJÄN MUUNTAMON MAADOITUKSET .....	45
7	LOISTEHON KOMPENSOINTI PIENJÄNNITEVERKOSSA .....	48

8	VARMENNETUT SÄHKÖNJAKELUJÄRJESTELMÄT .....	50
9	MUUNTAMON LAITTEIDEN MITOITTAMINEN JA MÄÄRITTELEMINEN ...	52
9.1	Jakelumuuntajan mitoittaminen ja määrittelyminen .....	52
9.1.1	Jakelumuuntajan mitoittaminen.....	52
9.1.2	Jakelumuuntajan kuormituksen kasvuennuste.....	53
9.1.3	Jakelumuuntajan häviötehojen laskeminen.....	54
9.1.4	Jakelumuuntajan elinkaarikustannusten laskeminen.....	55
9.1.5	Jakelumuuntajan valinta.....	60
9.2	Keskijännitekojeiston mitoittaminen .....	61
9.3	Kaapeleiden mitoittaminen.....	65
9.3.1	Keskijännitekaapelit.....	65
9.3.2	Pienjännitekaapelit .....	67
9.4	Pienjännitekeskuksen mitoittaminen.....	72
9.5	Loistehon kompensoinnin mitoittaminen.....	73
9.6	Pääsähkönjakelun rakenteen määrittelyminen .....	75
10	MUUNTAMON SANEERAUKSEN TOTEUTUSVAIHTOEHDOT.....	79
10.1	Saneeraus entisiin muuntamotiloihin .....	79
10.2	Saneeraus uuteen muuntamorakennukseen.....	82
11	POHDINTA.....	85
	LÄHTEET .....	86
	LIITTEET .....	89

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on Raahen sairaalan 10/0,4 kV muuntamon saneerauksen toteutussuunnittelu ja siihen liittyvien laitteistojen ja komponenttien valinta sekä mitoittaminen perusteluineen ja kustannusarvioineen, mukaan lukien kiinteistön loistehon kompensoinnin uusiminen. Syötönvaihtoautomaatiikan toteutusmahdollisuus ja sillä saavutettava jännitekatkon pituus selvitetään myös.

Toimeksiantajana työllä on Raahen seudun hyvinvointikuntayhtymä, ja työ toteutetaan yhteistyössä Caverion Suomi Oy:n kanssa, jossa opinnäytetyön tekijä myös itse työskentelee. Opinnäytetyön aiheeksi tämä aihe valikoitui ajankohtaisuutensa, mielenkiintoisuutensa sekä opintotoihin soveltuvuutensa johdosta.

Raahen sairaalan nykyinen 10/0,4 kV:n muuntamo on rakennettu vuonna 1965 ja se on alkuperäisessä kunnossaan alkuperäisine kojeineen ja laitteineen, eli näin ollen se on 50 vuoden ikäisenä, täysin palvellut ja elinkaarensa lopussa.

Työssä esitellään ensin jakeluverkkojen eri muuntamotyypit, jonka jälkeen esitellään sähkökäyttäjän muuntamoiden sijoitukseen ja rakenteeseen vaikuttavat erinäiset määräykset ja ohjeet. Seuraavaksi esitellään muuntamoissa yleisesti käytettävät komponentit ja sähkölaistot teorioineen ja mitoitusperusteineen sekä mitoitetaan tähän tarkoitukseen parhaaksi nähdyt komponentit perusteluineen. Teoriaosuudessa esitellään myös loistehon kompensointi ja varmennettujen sähköverkkojen periaatteet. Tämän jälkeen vertaillaan kattavasti kahta eri muuntamon saneerausvaihtoehtoa kustannuksineen ja toteutusmahdolluuksiineen: muuntamon saneerausta nykyiseen tilaansa sairaalan kellarikerrokseen tai uuden muuntamorakennuksen rakentamista sairaala rakennuksen ulkopuolelle.

Opinnäytetyön tavoitteena on tuottaa 10/0,4 kV muuntamon uusimisesta pääpiirteittäinen, myös verkkoyhtiön vaatimukset huomioiva, toteutussuunnitelma laitevalintoineen ja mitoituksineen, pääkaaviotasoiset sähkökuvat ja sähkötyöselostus sekä kustannusarvio perusteluineen. Kiinteistön loistehon kompensoinnista on tavoitteena tuottaa suunnitelma mitoituksineen ja syötönvaihtoautomaatiikan mahdollisuudesta on tavoitteena ottaa selvää.

## 2 RAAHEN SAIRAALA

Raahen sairaalaa on alettu rakentamaan nykyiseen muotoonsa vuonna 1965 ja ensimmäiset osat siitä otettiin käyttöön vuonna 1967. Uuden isomman sairaalan rakentaminen entisen Gellmanin kunnansairaalan korvaajaksi tuli ajankohtaiseksi tuolloin, kun Raahen väkiluku alkoi äkisti kasvaa ja elämä kaupungissa vilkastui Rautaruukin terästehtaan aloitettua toimintansa kaupungissa 1960-luvun alussa. (Raahen seudun hyvinvointikuntayhtymä 2015.)

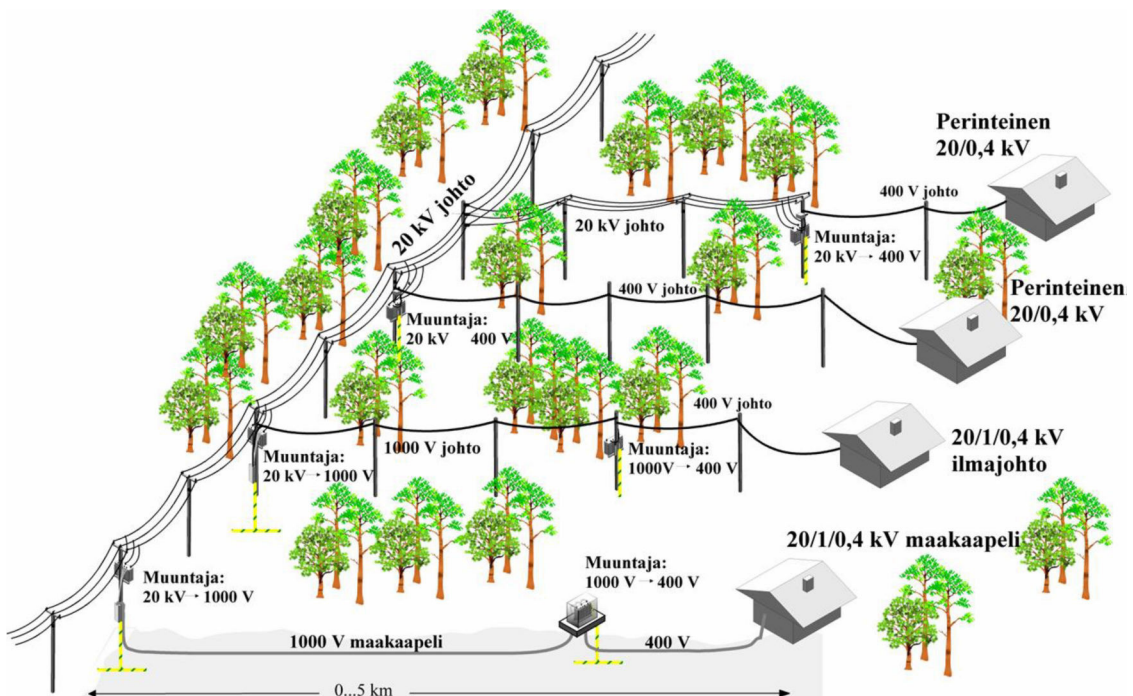
Nykyisin Raahen sairaala toimii Raahen seudun hyvinvointikuntayhtymän toimintayksikkönä tuottaen terveystalvueluita pääasiassa kuntayhtymän jäsenkunnille, eli Raahelle, Siikajoelle ja Pyhäjoelle, joissa asukkaita on yhteensä noin 35 000 kpl. Myös jäsenkuntien ulkopuolelle myytyjä peruserikoissairaanhoidon palveluja, kuten esimerkiksi pehmytkudoskirurgiaa, tuotetaan Raahen sairaalassa. (Raahen seudun hyvinvointikuntayhtymä 2015.)

Raahen sairaalassa toimii tällä hetkellä kuntayhtymän tuottamina terveydenhuollon ja erikoissairaanhoidon palveluina muun muassa ympärivuorokautinen terveyskeskuspäivystys sekä sairaalapäivystys, 4 sairaalaosastoa sekä useampia eri erikoissairaanhoidon poliklinikoita ja erikoislääkäripalveluja näiden poliklinikoiden yhteydessä. (Pohjois-Pohjanmaan sairaanhoitopiiri 2015.)

### 3 JAKELUVERKON MUUNTAMOT

Keskijännitejakeluverkossa jakelumuuntamot muuntavat käytössä olevan, yleensä 10 kV:n tai 20 kV:n jakelujännitteen, matalammaksi sähkönkuluttajille soveltuvaksi 400 V:n pienjännitteeksi. Jakelumuuntamo koostuu yleisesti keskijännitekojeistoista tai keskijännitekiskostosta, yhdestä tai useammasta muuntajasta, pienjännitelähdöistä tai pienjännitekeskuksesta sekä mahdollisista apujärjestelmistä, kuten akustoista, kaukokäyttöjärjestelmistä tai energianmittausjärjestelmistä. (Lakervi & Partanen 2008, 157.)

Jakelumuuntamotyyppinä on Suomessa yleisesti käytetty erityyppisiä pylväsmuuntamoja, puistomuuntamoja sekä kiinteistömuuntamoja. Jakelumuuntamot liitetään yleensä verkkoyhtiön keskijänniterengasverkkoon sähkönjakelun käytövarmuussyistä, yksittäisiä säteittäisjohtojen pienitehoisia muuntamoita lukuun ottamatta. (Lakervi & Partanen 2008, 157–158). Kuviossa 1 on esimerkki haja-asutusalueen jakeluverkon osasta muuntamoineen.



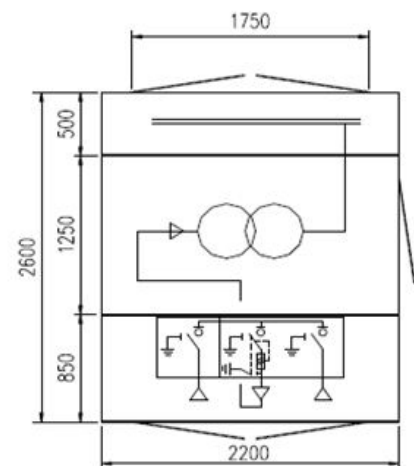
Kuvio 1. Esimerkki haja-asutusalueen jakeluverkosta muuntamoineen (Partanen 2011).



Pylväsmuuntamot soveltuvat kooltaan pienille, enintään 315 kVA:n muuntajille, ja niihin jakeluverkon liityntä tapahtuu ilmajohdoilla, minkä vuoksi pylväsmuuntamoiden käyttö rajoittuukin haja-asutusalueille, kuten maaseudulle. Keskijänniteilmajohto liittyy yleensä pylväsmuuntamon muuntajaan erottimen kautta, eikä varsinaisesta keskijännitekiskostosta voidakaan puhua pylväsmuuntamon rakenteen ollessa yksinkertainen ja pelkistetty. Tavallisesti pylväsmuuntamoilla on varusteena ylijännitesuojana joko perinteinen suojakipinäväli, metallioksidisuoja tai näistä koostuva yhdistelmäsuoja. (Lakervi & Partanen 2008, 157–158, 149.)

Pylväsmuuntamolla käytetään öljyeristeistä jakelumuuntajaa, joka sähköisiltä ominaisuuksiltaan ja kustannustehokkuudeltaan on tähän tarkoitukseen parhaiten soveltuva muun muassa ylikuormitettavuutensa ansiosta, eikä pylväsmuuntamolla ole yleensä myöskään paloturvallisuuden asettamia rajoituksia öljyeristeiselle jakelumuuntajalle. Muuntajat varustetaan öljynkeräyskaukaloilla.

Puistomuuntamot ovat tavallisia taajamissa, ja niiden nimellistehot ovat yleensä 1000 kVA:n luokkaa, ja niihin liityntä tapahtuu keskijännitemaakaapelilla (Lakervi & Partanen 2008, 158). Puistomuuntamot ovat tehdasvalmisteisia kalustettuja ja testattuja kokonaisuuksia, jotka nostetaan asennuspaikalle tehdylle sopivalle perustukselle käyttövalmiina kokonaisuutena (Kuva 1). Puistomuuntamon keskijännitekojeistoina on tyypillisesti joko ilmaeristeinen tai SF<sub>6</sub>-eristeinen kojeisto ja niiden kytkinlaitteina käytetään yleisesti kuormaerotinta, varokekuormaerotinta tai katkaisijaa. (Elovaara & Haarla 2011b, 122.)

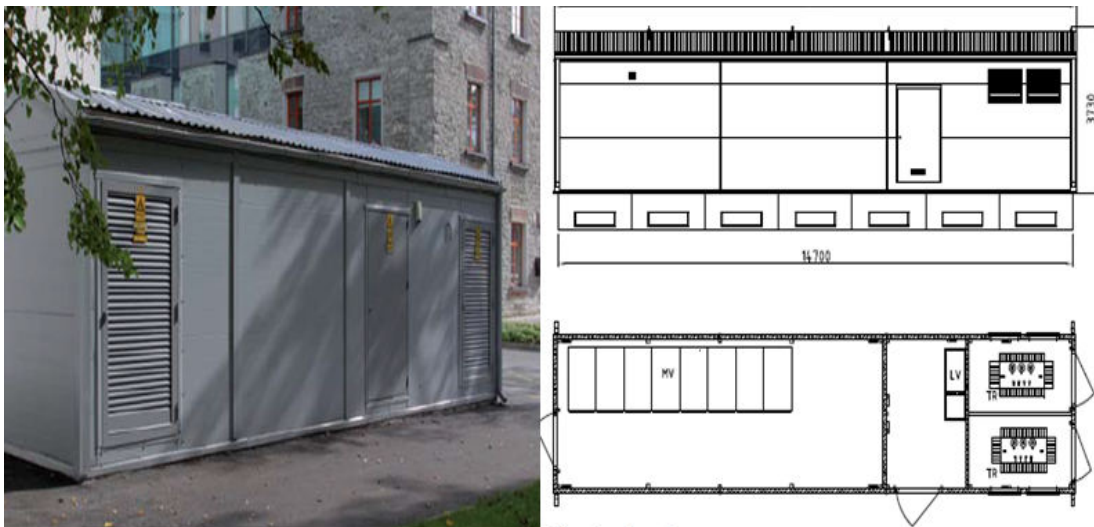


Kuva 1. Puistomuuntamon tyypillinen rakenneperiaate (Norelco 2015).

Useimmiten käytössä on öljyeristeinen jakelumuuntaja öljynkeräyskaukaloilla varustettuna, sen hyvistä käyttöominaisuuksista ja kustannustehokkuudesta johtuen, ellei muuntamon sijoitus paloturvallisuussyistä muuta vaadi.

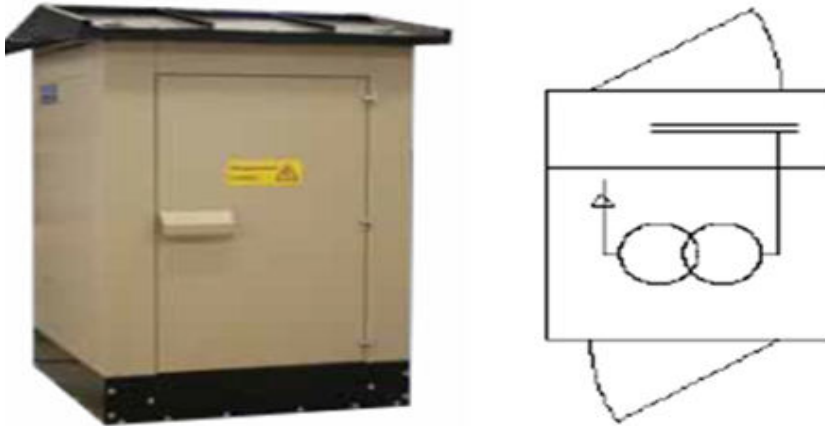
Ulkoa hoidettava puistomuuntamo on pelkistetty koteloitu ulkokojeisto, jonka sisään on tehdasvalmisteisena asennettu muuntaja tai muuntajat, pienjännitelähdöt tai pienjännitekeskus sekä muutamasta kennosta koostuva keskijännitekojeisto apulaitteineen. Esimerkiksi energianmittauslaitteita varten voi puistomuuntamossa olla tarvittaessa pieni lämmitetty tila.

Erillinen muuntamorakennus, niin sanottu sisältä hoidettava muuntamo, on puolestaan isompi versio perinteisestä puistomuuntamosta ja se sisältää muuntamotilat hoitokäytävineen. Isompi tila mahdollistaa suuremmat kojeisto rakenteet, kuten kaksoiskiskojärjestelmän kaikkine tarvittavine apujärjestelmineen sekä lämmitetyn tilan niitä tarvitseville laitteille, kuten akustoille jne. Muuntamon sokkelin alla on asiaan kuuluva kaapelitila. (Elovaara & Haarla 2011b, 122.)



Kuva 2. Erillinen muuntamorakennus (Satmatic 2011).

Kuvassa 2 on esimerkki sisältä hoidettavasta muuntamosta, joka on sijoitettu erilliseen muuntamorakennukseen. Useimmiten käytössä on öljyeristeinen jakelumuuntaja ja vastaavan tyyppiset laitteistot kuin puistomuuntamoissakin.



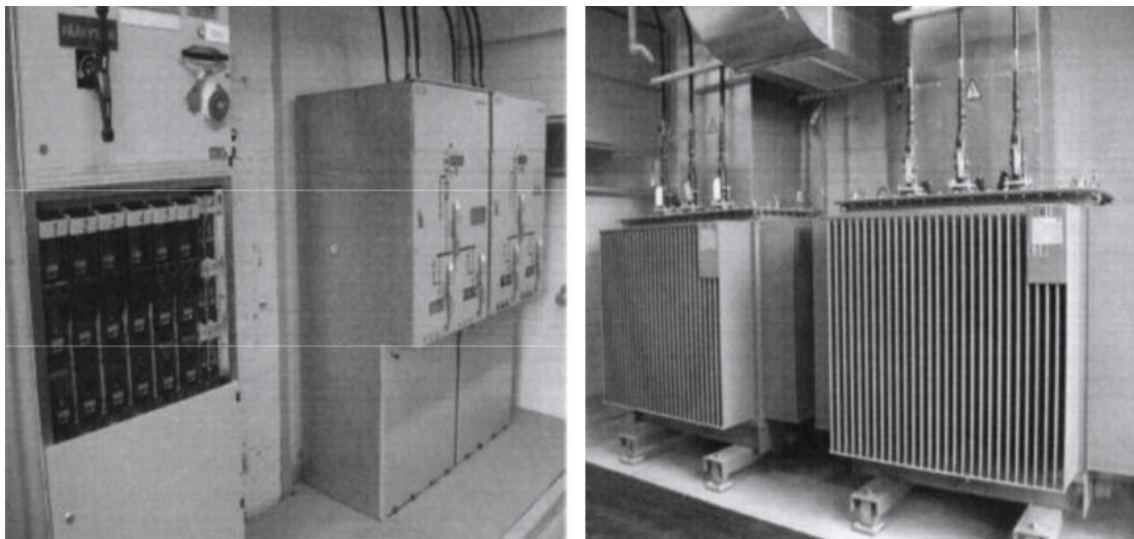
Kuva 3. Satelliittimuuntamon tyypillinen rakenneperiaate (Norelco 2015).

Niin sanotun satelliittimuuntamon käyttö on yleistynyt jakeluverkon säteittäisjohtoilla (Kuva 3). Muuntamorakenteeltaan satelliittimuuntamo on puistomuuntamotyyppinen, pelkistetty ja yksinkertainen kaapeliliityntäinen muuntamo. Teholtaan satelliittimuuntamo on tyypillisesti pieni, noin 300 kVA.

Pelkistetyimmillään satelliittimuuntamo sisältää vain jakelumuuntajan ja pienjännitelähdöt kytkinlaitteenkin ollessa sitä syöttävällä isommalla muuntamolla. Tyypillinen käyttökohde satelliittimuuntamolle on esimerkiksi haja-asutusalueella maaseudun säteittäisjohdolla korvaamassa maakaapeloinnin takia poistunutta pylväsmuuntamoita. (Lakervi & Partanen 2008, 158.)

Kiinteistömuuntamot sijaitsevat taajamissa kiinteistöjen, kuten kerrostalojen, liikerakennusten tai teollisuusrakennusten tiloihin sijoitettuina. Teholtaan ja rakenteeltaan kiinteistömuuntamot ovat yleensä hyvin paljon puistomuuntamoiden kaltaisia, keskijännitekaapeli rengasverkkoon kytkettyjä, kohtuullisen suuritehoisia jakelumuuntamoita, sisältäen keskijännitekojeiston, muuntajan tai muuntajat ja pienjännitekeskuksen sekä tarvittavat apulaitteet ja mahdolliset energianmitauslaitteet. (Lakervi & Partanen 2008, 158.)

Kiinteistömuuntamoissa on käytössä jakelumuuntajina myös kuivamuuntajia, johtuen standardin paloturvallisuusvaatimuksista, jotka asettavat vaatimuksia kiinteistömuuntamon rakenteiden paloluokituksille sekä sammutuslaitteiston tarpeellisuudelle muuntajan eristeaineesta aiheutuvan palokuorman mukaisesti (SFS 6001 2015, 75).



Kuva 4. Kosketussuojaisen asennustavan käyttö kiinteistömuuntamossa (RT 92-10774, 2002).

Keskijännitekojeistot ovat näissä muuntamoissa usein SF<sub>6</sub>-eristeisiä pienemmän tilantarpeensa ja pienemmän valokaarioikosulkutehonsa johdosta. Kiinteistömuuntamossa on nykyään yleistä myös kosketussuojaisten asennusten käyttö (Kuva 4), jonka myötä saavutetaan usein niille tarpeellinen tilan säästö sekä parantunut käyttö- ja henkilöturvallisuus. (ST 53.11 2003, 9,15; Verkostosuositus RM 3:02, 20.)

Jakeluverkon muuntamot voidaan jakaa omistussuhteidensa perusteella kahteen päätapaukseen:

- Verkonhaltijan muuntamoon, josta verkonhaltija jakaa sähköä pienjännitteellä sähkönkäyttäjälle.
- Sähkönkäyttäjän muuntamoon, jossa sähkönkäyttäjä liittyy veronhaltijan siirtoverkkoon keskijännitekojeistolla ja muuntaa käyttämänsä sähkön pienjännitteelle itse. (RT 92-10774, 2002.)

Keskeisimpänä ja lähes ainoana merkittävänä teknisenä erona kyseisillä muuntamoilla on tyypillisesti laskutusmittauksen sijainti, joka sijaitsee sähkönkäyttäjän muuntamossa keskijännitepuolella ja verkonhaltijan muuntamossa pienjännitepuolella, mikä lisää hieman tilan tarvetta sekä vaatii usein lämpimän tilan laskutusmittauslaitteille sähkönkäyttäjän muuntamolla (ST 53.11 2003, 1, 20).

## 4 SÄHKÖNKÄYTTÄJÄN MUUNTAMON RAKENNE

Tässä yhteydessä käsiteltävällä sähkökäyttäjän muuntamolla tarkoitetaan keskijännitekaapelilla verkonhaltijan jakeluverkkoon liittyvää muuntamoita, johon voi mittauksella varustetun muuntamon lisäksi kuulua useita alamuuntamoita sekä sähkökäyttäjän omaa keskijännitekaapeliverkkoa (ST 53.11 2003, 1).

Sähkökäyttäjän muuntamot jaetaan sijaintinsa ja näin ollen niille asetettujen teknisten vaatimuksien myötä kahteen ryhmään:

- Rakennukseen sijoitettuun muuntamoon eli myös niin sanottuun kiinteistömuuntamoon.
- Erilliseen muuntamoon eli rakennuksen ulkopuolella erillisessä muuntamorakennuksessa sijaitsevaan muuntamoon, joka voi olla niin sanottu puistomuuntamo tai isompi sisältä hoidettava muuntamorakennus. (ST 53.11 2003, 1; Verkostosuositus RM 3:02, 7, 16.)

Sähkökäyttäjä omistaa muuntamonsa sähkölaitteiston ja ylläpitää muuntamonsa sähkölaitteista, laskutusmittareita lukuun ottamatta, mutta liittymiskaapeleiden kuormaerottimilla kytkentöjä saa tehdä vain verkonhaltija tai hänen valtuuttamansa henkilö (ST 53.11 2003, 20).

### 4.1 Rakennukseen sijoitettu muuntamo

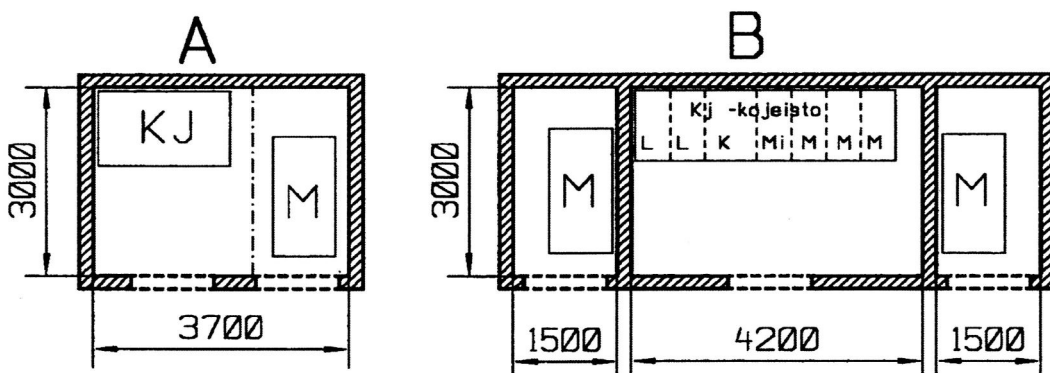
Muuntamotilat tulisi sijoittaa ensisijaisesti kiinteistön ulkorakennukseen, teknisiin tiloihin tai erilliseen muuntamorakennukseen, jolloin ne eivät sijoitu asuintilojen tms. yhteyteen. Jos muuntamo joudutaan sijoittamaan asuinrakennuksen tai vastaavan yhteyteen, tulisi se sijoittaa ensimmäiseen maanpäälliseen kerrokseen siten, että käynti muuntamoon on ulkoa. Todellisuudessa kaupunkien keskustoissa ei sijoitusta rakennusten kellareihin voida aina välttää ja silloin erityisesti kulku- ja haalaus reitteihin sekä rakenteiden määräysten mukaisuuteen on kiinnitettävä huomiota. (RT 92-10774, 2002; Verkostosuositus RM 3:02, 44.)

#### 4.1.1 Sijoitus

Muuntamotilaa rakennukseen sijoitettaessa tulee huomioida tekniset vaatimukset tilan mittojen ja korkeuden, ilmanvaihdon, kaapelikanavien ja kaapelireittien, paloluokkavaatimuksien, valokaarioikosulun painevaikutuksen kestoisuuden ja kulku- ja haalausreittien suhteen sekä sijainnille jakeluverkkoon nähden (RT 92-10774, 2002).

#### 4.1.2 Tilantarve

Kiinteistömuuntamon tilantarve riippuu merkittävästi valittujen laitteistojen tyyppistä sekä pienjännitekeskuksen sijoituspaikasta. Pienimpään tilantarpeeseen päästään käyttäessä SF<sub>6</sub>-eristeisiä keskijännitekojeistoja sekä kosketusuojaista muuntamorakennustapaa. SF<sub>6</sub>-eristeisen kojeistoa käytettäessä tilantarve on paljon pienempi kuin ilmaeristeistä kojeistoa käytettäessä. Kosketusuojaisten asennustavan käyttö muuntajilla poistaa muuntajien ympärille muutoin rakentamaan jouduttavien IP 2X-kosketusuojausluokan mukaisten suojarakenteiden tarpeen. Muuntajat voivat sijaita myös omassa IP 2X-luokan tilaissaan, jolloin kosketusuojausvaatimukset täyttyvät. Muuntamotilan minimikorkeus on yleensä 2500 mm. Kuviossa 2 on esimerkki tyypillisestä kiinteistömuuntamon tilantarpeesta sekä muuntajien omilla tiloillaan että muuntajan sijaitessa kojeiston kanssa samassa tilassa. Pienjännitekeskus on asennettu toiseen tilaan. (ST 53.11 2003, 5; Verkostosuositus RM 3:02, 20, 25.)



Kuvio 2. Esimerkki kiinteistömuuntamon tilantarpeesta (ST 53.11 2003, 5).

#### 4.1.3 Rakennus- ja palotekniset vaatimukset

Rakennukseen sijoitettavan muuntamon tulee täyttää rakentamismääräysten vaatimukset. Standardi SFS 6001 määrittelee em. määräysten mukaan rakennukseen sijoitettavalle muuntamolle kantavien sekä osastoivien rakenteiden luokkavaatimukset taulukossa 1. Vaatimustaso perustuu palavien aineiden ja rakenteiden palokuorman suuruuteen, jossa muuntajan eristeaineella ja sen määrällä on keskeisin vaikutus. Johtojen tms. läpiviennit eivät saa oleellisesti heikentää rakenteiden osastoivuutta. (ST 53.11 2003, 4; SFS 6001 2015, 75.)

Taulukko 1. Muuntamon kantavien ja osastoivien rakenteiden luokkavaatimukset (SFS 6001 2015, 75).

Muuntajatyyppe	Luokka	Suojaustoimenpiteet
Öljyeristeiset muuntajat (O)	Nestemäärä	
	< 200 l	EI 60
	200 ... 1 000 l	EI 120 tai EI 60 ja automaattinen sammutuslaitteisto
	> 1 000 l	EI 240 tai EI 60 ja automaattinen sammutuslaitteisto
Vähemmän palonarat neste-eristeiset muuntajat (K)	Nimellisteho/ max. jännite	
	(ei rajoitettu)	EI 60 tai EI 30 ja automaattinen sammutuslaitteisto
Kuivamuuntajat (A)	Paloluokka	
	F0	EI 60
	F1	Pintojen on täytettävä luokan B-s1,d0 vaatimukset
HUOM 1 Jos rakenteet ovat kantavia, niiden pitää täyttää sama aikavaatimus myös kantavuuden suhteen.		
HUOM 2 Hartsieristeisten muuntajakäymitysten määräjain toistuvaan puhdistukseen on varattava riittävä tila, jotta ilman tai muuntajan pinnan likaantuminen ei aiheuta sähkövikoja ja palovaaraa.		

Valokaarioikosulussa syntyvän paineiskun vaikutus tulee ottaa myös huomioon muuntamon rakenteiden mitoituksessa. Etenkin osastoivien seinien kohdalla valokaaripaine voi muodostua usein mitoittavaksi tekijäksi. Kantamattomat väliseinät ja muuratut seinät tuetaan ja vahvistetaan RT-kortissa 92-10774 esitetyn mukaisesti. Taulukossa 2 on esitetty VTT:n suorittaman tutkimuksen mukaan mitoitettut seinärakenteet, jotka ovat valokaarioikosulun painevaikutuksen kestoisia muuntamoissa ja vastaavankokoisissa kytkinlaitostiloissa. (RT 92-10774, 2002; ST 53.11 2003, 4). Osastointivaatimuskin tulee yleensä täytetyksi, kun muuntamon seinät mitoitetaan valokaarioikosulun aiheuttaman paineiskun mukaisesti (Verkostosuositus RM 3:02, 8).

Taulukko 2. Muuntamotilan seinärakenteiden mitoitus valokaarioikosulun painevaikutuksen mukaisesti (ST 53.11 2003, 4).

Rakenne	Seinän paksuus mm	Ohje
Betoni	120	Ø 8 K 200 A500H <sup>1)</sup>
Tiili	130	Tiilien lujuusluokka ≥ 25 Laastin lujuusluokka ≥ 8
Kevytbetoni-harkko	290	KSB 3-650

<sup>1)</sup> Verkko seinän molemmissa pinnoissa tuella ja kentässä.

Ilmanvaihtoaukkojen yhteenlaskettujen poikkileikkausten pinta-alojen on oltava vähintään 0,18 m<sup>2</sup>, jotta taulukon 2 seinävahvuudet riittävät. Valokaarioikosulun aiheuttaman paineiskun takia täytyy muuntamon ovi lukita auki asentoon käyttötoimenpiteiden ajaksi. Avoin ovi alentaa merkittävästi mahdollista paineiskua, antaa hyvän poistumistien oikosulun pimentämästä muuntamosta sekä edesauttaa valokaarioikosulussa mahdollisesti syntyneiden myrkyllisten kaasujen tuulettumista muuntamosta. (ST 53.11 2003, 7, 13.)

Valokaarioikosulku voi syntyä muuntamon keskijännitekojeistossa, muuntajan kannella tai pienjännitekeskuksessa. Erityisesti keskijännitteellä SF<sub>6</sub>-eristeisen kojeiston käyttö pienentää esiintyvää valokaaripainetta merkittävästi, koska valokaarienergia on pienempien aine-etäisyyksien johdosta noin kolmannes ilmaeristeiseen verrattuna. Yhdessä muuntamon kosketussuojaisen asennustavan kanssa tämä vähentää valokaarivaurioiden esiintymistodennäköisyyttä, kun kertyvä lika, kosteus tai eläimet eivät pääse aiheuttamaan muuntamon laitteisiin oikosulkuja. (ST 53.11 2003, 7, 13.)

Muita kiinteistömuuntamoille asetettuja rakenteellisia vaatimuksia ovat:

- Muuntajavaurion tapahtuessa öljyn valuminen muuntamotilan ja kaapelitilan ulkopuolelle on estettävä.
- Vesien pääsy muuntamotilaan on estettävä.
- Muuntamon kautta ei saa johtaa sellaisia putkia, kanavia tai kaapeleita, jotka eivät liity suoranaisesti muuntamotilan käyttöön.



- Valaisimet sijoitetaan siten, että niiden huolto voidaan suorittaa sähköturvallisuussääntöjä noudattaen. Valokytkin sijoitetaan oven viereen ja lisäksi suositellaan, että osa valoista syttyy automaattisesti joko ovikytkimellä tai liiketunnistimella sisään muuntamoon astuttaessa.
- Lämmöneristyksen suunnittelussa otetaan huomioon, että muuntamon lämpötila voi laskea alle nollan asteen. Lämmöneristykset rakennetaan lämpimien tilojen suuntaan. Katon lämmöneristyksellä estetään muun muassa kondenssiveden muodostuminen.
- Muuntamotilan lattiapinnat, seinät ja kattopinnat pintakäsitellään, ettei niistä irtoa pölyä, julkaisun *Maalaus RYL 2001* mukaisesti: lattiapinnat rasitusluokan 3 ja ulkonäköluokan P3 mukaisesti, lukuun ottamatta lattiapinnan alapuolisia kaapeli- tai öljytiloja, sekä seinä- ja kattopinnat rasitusluokan 2 ja ulkonäköluokan 3 mukaisesti.
- Muuntajan alla suositellaan käytettäväksi muuntajan painon mukaan mitoitettuja runkoäänen vaimentimia (taajuus 100 Hz). Tällöin myös mahdollisten kiskoliitosten tulee olla joustavia. (RT 92-10774, 2002.)

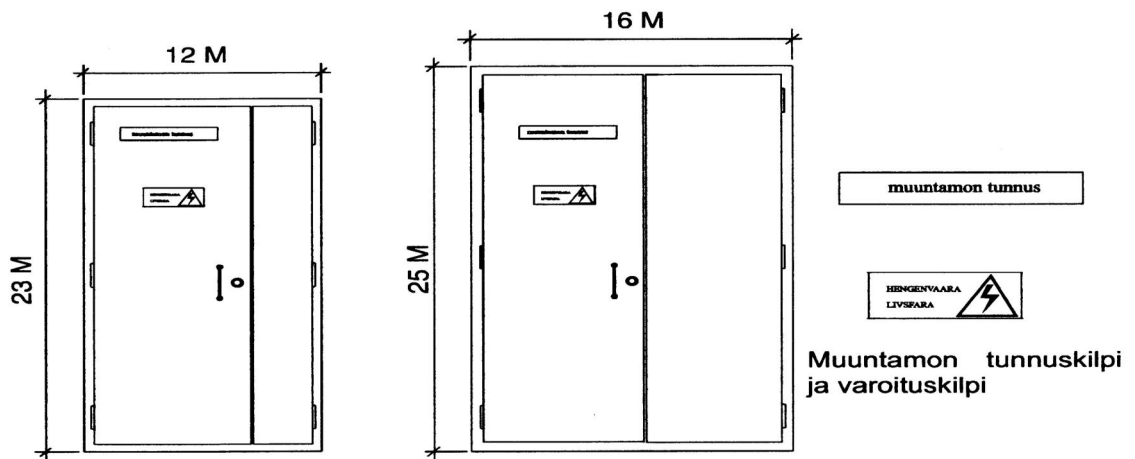
#### 4.1.4 Ovet

Muuntamotilojen ovien tulee olla kuvion 3 esittämien mittojen mukaisia, mistä suurempi on tarkoitettu käytettäväksi suurille muuntajille sekä ilmaeristeisille kojeistoille. Oven ulkopuolelle kiinnitetään standardin mukainen hengenvaarausta varoittava suorakaiteen muotoinen kilpi sekä muuntamon tunnuskilpi, josta ilmenee muuntamon nimi, numero tai molemmat. (RT 92-10774, 2002.)

Muuntamotilojen oville on asetettu seuraavia rakennusteknisiä vaatimuksia:

- Ovien tulee avautua ulospäin.
- Ovien tulee olla avattavissa sisäpuolelta ilman avainta.
- Ovet on varustettava vetimillä sekä sisä- että ulkopuolelta ja kiinteällä avaimelle avattavalla lukolla, joka sarjoitetaan verkonhaltijan muuntamosarjaan tai kulkutielle sijoitetaan lukittuja avainsäilöjä.

- Oven ollessa kaksiosainen, toinen osa varustetaan hätäsalvalla, joka on aina vahinkotilanteessa sisäpuolelta auki saatavissa.
- Ovien tulee olla auki-asentoon lukittavissa kytkentätoimenpiteiden ajaksi.
- Ovet on pidettävä huolellisesti lukittuina. Verkonhaltijan pääsy muuntamoon on oltava esteetön kellon ympäri. (ST 53.11 2003, 5, 19.)
- Ovien palonkestävyyden on oltava vähintään 60 minuuttia. Suoraan ulos aukeavien ovien osalta riittää, että ne eivät ole palonarkaa materiaalia (SFS 6001 2015, 75).



Kuvio 3. Muuntamotilojen ovien mitat ja merkitseminen (RT 92-10774, 2002).

#### 4.1.5 Ilmanvaihto

Rakennuksiin sijoitetuissa kiinteistömuuntamoissa koneellinen ilmanvaihto on usein tarpeen. Ilmanvaihto on suunniteltava muuntamossa syntyvän häviötehon mukaan. Taulukossa 3 on annettu muuntamon koneelliselle ilmanvaihdolle ohjeelliset ilmamäärät, jotka riittävät tyypilliselle jakeluverkon muuntamolle, missä kuormitushuippu ei ole kesäaikaan. Jos kuormitushuippu on kesällä tai kuormitus on tasaisen isoa aina, täytyy ilmanvaihto suorittaa tapauskohtaisesti ilmanvaihtolaskelmien mukaan. Ilmanvaihto voidaan toteuttaa joko sisään- tai ulospuhalluksella, joista sisäänpuhallus on likaantumista vähemmän aiheuttava vaihtoehto. Ilma otetaan mahdollisimman pölyttömästä paikasta ja ilma suunnataan muuntajan alaosaan, jolloin muuntajan jäähdytys toimii parhaiten. (ST 53.11 2003, 7; Verkostosuositus RM 3:02, 12.)

Taulukko 3. Muuntamosta poistettava ilmamäärä koneellisella ilmanvaihdolla (ST 53.11 2003, 7).

Muuntajateho kVA	Poistettava ilmamäärä [m <sup>3</sup> /h]	
	$\Delta t = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$\Delta t = 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$
800	1200	2300
1000	1400	2800
1250	1600	3100
1600	1900	3900

$\Delta t$  = tulo- ja poistoilman lämpötilan erotus

Lisäksi muuntamon ilmanvaihdolle on asetettu seuraavat vaatimukset:

- Ilmanvaihtokanavat johdetaan mahdollisimman suoraan ulos ja tuloilma otetaan mahdollisimman viileästä ja pölyttömästä paikasta.
- Ilmanvaihtokanavat eivät saa olla muiden kiinteistön ilmanvaihtokanavien kanssa yhteisiä.
- Ilmakanavien tai ilmanvaihtoaukkojen yhteenlaskettujen poikkileikkausten pinta-ala on oltava vähintään 0,18 m<sup>2</sup>, valokaarioikosulun paineen purun takia.
- Ilmanvaihtokanavien ulkoilman puoleisessa päässä suositellaan vahvaa, kiinteää säleikkö tai verkkoa, jonka silmäkoko on enintään 20 mm. Rakenteeltaan säleikön tai verkon on oltava sellainen, ettei sen läpi voi vaarallisesti työntää muuntamoon esineitä, esimerkiksi 1 mm paksua pitkää metallilankaa. Niiden kautta ei myöskään saa päästä sadevettä muuntamoon.
- Ilmanvaihtokanavat on paloeristettävä (yleensä EI 120 mukaan) RakMK E7 mukaan muuntamon ulkopuolella, myös palopeltien käyttö on mahdollista.
- Poistoaukkojen välittömässä läheisyydessä ei saa olla palavia rakenteita.
- Koneellinen ilmanvaihto varustetaan automaattisella ohjauksella, jota ohjaa huonetermostaatti, muuntajan kosketinlämpömittari tai molemmat.

- Ilmanvaihtolaitteiden hälytykset ohjataan kiinteistön valvonta- ja hälytysjärjestelmään.
- Ilmanvaihtolaitteet sijoitetaan siten, että ne voidaan huoltaa muuntamon ollessa jännitteinen.
- Vältetään aiheuttamasta häiritsevää melua ilmanvaihtolaitteilla, estämällä runkorakenteisiin johtuva ääni, pitämällä ilman nopeus riittävän alhaisena sekä välttämällä melua aiheuttavien itsestään avautuvien ulkosäleikköjen käyttöä. (ST 53.11 2003, 6-7; Verkostosuositus RM 3:02, 13; SFS 6001 2015, 144.)

#### 4.1.6 Kaapelireitit

Kaapelireitti rakennuksen ulkopuolelta kojeiston kaapelipäätteille suunnitellaan seuraavien periaatteiden mukaisesti:

- Tontilla ja rakennuksessa liittymiskaapelien reitin tulee olla mahdollisimman lyhyt ja suora.
- Kaapelien asennussyvyyden tulee rakennuksen ulkopuolella olla 0,5-1 m ja keskijännitekaapeleilla 0,7 m tai suurempi.
- Rakennuksessa liittymiskaapelit tulee asentaa palonkestävästi ja tarvittaessa riittävästi eristää vierekkäiset kaapelit toisistaan, jotta estetään mahdollisesti oiko- tai maasulun aikana toista liittymiskaapelia tai muita kaapeleita tuhoutumasta.
- Liittymäkaapeleille varataan oma kaapelihylly.
- Varaudutaan kaapelien taivutussäteiden vaatimiin riittävän suuriin kaapelikanaviin ja kaapelireitteihin, joiden on oltava kaapeli ilmaan asennettaessa oltava 800 mm, kaapeli vaiheet erillisinä asennettaessa 500 mm ja kaapeli putkeen asennettaessa 2000 mm, jotka ovat voimassa AHXAMK-W tyyppiselle korkeintaan 240 mm<sup>2</sup> kaapelille. (ST 53.11 2003, 14.)

#### 4.1.7 Muuntamon magneettikentät

Kiinteistömuuntamossa pyritään mahdollisimman pieniin häiriöitä aiheuttaviin hajamagneettikenttiin, jotka voisivat aiheuttaa häiriöitä kiinteistön laitteissa. Hajamagneettikenttiä muuntamoissa aiheuttavat eniten paljaat tai epätäydellisesti suojatut suurivirtaiset pienjännitekiskostot, suurvirtajärjestelmät sekä kuivamuuntajat, joilta puuttuu aukottomasti yhtenäinen metallinen suojakuori. Myös nollausten aiheuttamat harhavirrat saattavat aiheuttaa yllättäviä häiriöitä aiheuttamallaan magneettikentällä harhaillessaan esimerkiksi rakennuksen putkistoissa. (ST 53.11 2003, 18.)

Häiriöitä tuottavilta hajamagneettikentiltä voidaan parhaiten välttyä, kun:

- Käytetään muuntajaa, jolla on suljettu metallinen säiliö, kuten esimerkiksi öljyeriteisellä jakelumuntajalla on.
- Käytetään muuntajan syöttökaapeleina suojattuja, esimerkiksi HXCMK-tyyppisiä kaapeleita, jotka niputetaan kolmioon.
- Käytetään muuntajan ja pienjännitekeskuksen välissä pienjännitekiskostoa, joka on kauttaaltaan suojattu vahvalla 3-5 mm vahvuisella alumiinilla, jonka saumat on hitsattu umpeen.
- Käytetään muuntajan ja pienjännitekeskuksen välissä 3-vaiheisia suojattuja kaapeleita tai suojataan tämä johto-osuus kauttaaltaan vahvalla 3-5 mm alumiinilevyllä.
- Pidetään muuntajan ja pienjännitekeskuksen välinen johto- tai kisko-osuus mahdollisimman pienenä asentamalla keskus ja muuntaja seläkän.
- Käytetään keskijännitekojeistossa hyvin koteloitua pienikokoista tekniikka, kuten SF<sub>6</sub>-eristeistä kojeistoa.
- Huolehditaan 5-johdinjärjestelmän puhtaudesta sekä käytetään nousujohtoina 3-vaiheisia (suojattuja) kaapeleita. (ST 53.11 2003, 18; Verkosuositus RM 3:02, 40.)

#### 4.1.8 Muuntamon varusteet

Muuntamon keskijännitekojeiston kaikki kennot varustetaan jännitteen ilmaisimin ja maadoituskytkimin, jolloin siirrettäviä maadoituslaitteita ja jännitteen koetinta ei muuntamossa tarvitse olla. Jos maadoituskytkimen sijoittaminen mitauskennoon tuottaa vaikeuksia, voidaan se korvata maadoituskohtioilla, jolloin muuntamossa tulee oikosulkukestoiset siirrettävät maadoituslaitteet ja jännitteen koetin olla. Pienjännitekeskuksen työmaadoitusta varten tulee olla siirrettävät työmaadoituslaitteet, ellei keskuksessa ole maadoituskytkimiä. (ST 53.11 2003, 18.)

Mikäli muuntamossa tarvitaan erikoistyökaluja esimerkiksi keskijännitesulakkeen vaihtoa varten tai oikosulkuilmaisimien palauttamista varten, tarkoitukseen sopivat ja hyväksytyt työkalut tulee muuntamossa olla. Keskijännitesulakkeita tulee olla varalla muuntamossa 3 kpl kutakin käytössä olevaa kokoa ja lajia. (ST 53.11 2003, 19; Verkostosuositus RM 3:02, 39.)

Muuntamo merkitään ulkopuolelta ”MUUNTAMO” -kilvellä sekä muuntamon nimen ja numeron kertovalla kilvellä. Verkonhaltijan mittareiden sijainti merkitään ”PÄÄMITTAUS” -kilvellä. Keskijännitekojeiston kennot sekä pienjännitekeskus merkitään asianmukaisin merkinnön. Lisäksi jokaisessa muuntamossa tulee olla standardien vaatimat turvallisuuskilvet: 2 kpl kolmiomaisia yleisesti jännitteisyydestä varoittavia kilpiä, 2-3 kpl kolmiomaisia varoituskilpiä, joissa on teksti ”ÄLÄ KYTKE – TYÖ KÄYNNISSÄ” sekä suorakaiteen muotoinen kilpi, jossa on varoitusnuoli kolmiossa ja teksti ”PÄÄSY SIVULLISILTA KIELLETTY”. (ST 53.11 2003, 19.)

Sähkökäyttäjän muuntamossa tulee lisäksi seinällä olla: sähköinen pääkaavio, maadoituskaavio, hätäpuhelimen numero ja tarrakilpi ”MUISTA TYÖMAADOITAA” sekä suositeltavaa on seinälle asentaa ensiapuohjeita antava taulu. Lisäksi muuntamossa tulisi olla kansio, johon on kerätty muun muassa käytön johtajan yhteystiedot, huolto ja kunnossapito-ohjelma, tarkastuspöytäkirjat, vuosittaiset toimenpidemuistiot sekä erinäisiä tietoja, kuten releasettelun tiedot ja maadoitusresistanssin arvo valmistumishetkellä sekä tarkistusmittauksissa. (ST 53.11 2003, 19; SFS 6002 2015, 57.)

## 4.2 Erillinen muuntamo

Erillisen muuntamorakennuksen tulee olla kansallisten rakennus- ja palomääräysten mukainen. Tehdasvalmisteisten puistomuuntamoiden rakenne- ja testausvaatimukset on esitetty standardissa IEC 62271-202 ja ne eivät näin ole standardin SFS 6001 tarkoittamia rakennuksia. (SFS 6001 2015, 58, 61). Sijoitusmääräykset ovat kuitenkin myös puistomuuntamoita koskevia.

### 4.2.1 Sijoitus

Jakelumuuntamot ja kytkinlaitokset tulee sijoittaa niin, että ajoneuvojen laitteistolle aiheuttamat vahingot ovat epätodennäköisiä (SFS 6001 2015, 61).

Tulipalolta suojautumisen takia muuntamoille on asetettu vaatimuksia sijoituksensa suhteen. Ulkona sijaitseva laitteisto on sijoitettava niin, että yli 200 litraa nestettä sisältävän muuntajan palo ei aiheuta muiden kohteiden tai muiden muuntajien palovaraa, kyseessä olevaan muuntajaan oleellisesti liittyviä osia lukuun ottamatta. Myös alle 200 litraa nestettä sisältävän muuntajan sijoittaminen syttyvän seinän viereen saattaa vaatia erityisiä varotoimenpiteitä rakennuksen luonteesta ja käyttötavasta riippuen. (SFS 6001 2015, 74.)

Taulukko 4. Ulosasennettavien muuntajien etäisyysvaatimukset (SFS 6001 2015, 74).

Muuntajatyyppi	Nestemäärä l	Etäisyys $G_1$ toisiin muuntajiin ja palonkestäviin rakennuspintoihin	
		m	m
Öljyeristeiset muuntajat (O)	200 <...< 2 000	3	8
	2 000 ≤...< 20 000	5	10
	20 000 ≤...< 45 000	10	20
	≥ 45 000	15	30
Vähemmän palonarat nesteeristeiset muuntajat (K)	200 <...< 3 800	1,5	8
	≥ 3 800	4,5	15
Kuivamuuntajat (A)	Paloluokka	Etäisyys $G_1$ rakennuspintaan tai viereisiin muuntajiin	
		Vaakaetäisyys m	Pystyettäisyys m
		F0	1,5
	F1	0	0

HUOM. Hartsieristeisten muuntajakäymitysten määräjain toistuvaan puhdistukseen on varattava riittävä tila, jotta likaantunut ilma ei aiheuta sähkövikoja ja palovaraa.

Taulukossa 4 on annettu ohjearvoja muuntamoiden riittävästä etäisyyksistä rakennuspintoihin, joita voidaan pienentää, jos käytössä on automaattinen palon-sammutuslaitteisto. Pelkästään suurjännitekytkinlaitteita sisältävällä, erillisellä rakennuksella ei ole palo-osastointia koskevia vaatimuksia, jos se sijaitsee vähintään 8 m:n päässä toisesta rakennuksesta, missä on muuta toimintaa. (SFS 6001 2015, 58, 74.)

Jos taulukon 4 arvoja ei voida noudattaa, käytetään:

- a) muuntajien välissä EI60 palonkestosta erottavaa seinää
- b) muuntamossa tai lähellä olevassa rakennuksessa luokan EI120 osastoi-vaa ulkoseinää. (SFS 6001 2015, 74.)

Erityistä huomiota vaativissa rakennuksissa, kuten esimerkiksi historiallisesti merkittävässä kirkossa, museossa tai vastaavassa, suuria määriä helposti sytytyvää tavaraa sisältävässä varastossa, henkilöturvallisuuden kannalta haasteellisessa, vaikeasti nopeasti tyhjennettävässä rakennuksessa kuten koulussa, sairaalassa tai hoitolaitoksessa on muuntamon sijoittamisetäisyyttä rakennukseen nähden syytä harkita suurennettavaksi yhdessä paloviranomaisen kanssa tai varustaa muuntamo sammutuslaitteilla tai kuivamuuntajilla. (Verkostosuositus RM 3:02, 16; ST 53.11 2003, 8.)

#### 4.2.2 Rakenteelliset vaatimukset

Erillisen muuntamon rakenteelliset vaatimukset ovat hyvin paljon samansuuntaisia kiinteistömuuntamon rakennevaatimuksien kanssa. Muuntamorakennuksen tulee olla kansallisten rakennus- ja palomääräysten mukainen. Jos suurjännitesähkölaitteita sijoitetaan rakennukseen, missä on myös muuta toimintaa, muodostetaan tilasta rakennusmääräyskokoelman E1 mukaisesti oma palotekninen osasto. (SFS 6001 2015, 58–61.)

Standardissa ja ohjeissa on rakenteellisiksi vaatimuksiksi määrätty:

- Katto- ja seinäpintojen tulee olla luokan B-s1,d0 vaatimusten mukaisia.



- Pinta- ja pohjavesien pääsy muuntamoon sekä kosteuden tiivistyminen rakenteissa estetään.
- Sähköasemalla tarvittavien putkistojen ja vastaavien suunnittelu toteutetaan niin, että ne eivät edes vahingoittuessaan vahingoita sähköasennuksia.
- Rakennuksen seinät, katto ja lattia suunnitellaan kaikki ympäristöolosuhteet kestäväksi sekä näiden rakenteiden on kestettävä kaikki laitteistojen normaalikäytössä aiheuttavat mekaaniset, staattiset ja dynaamiset kuormitukset sekä valokaarioikosulun aiheuttaman sisäisen paineen.
- Ikkunat suunnitellaan siten, että sivullisten sisäänpääsy on hankalaa esimerkiksi sijoittamalla ikkunan alareuna riittävän korkealle maasta, suojaamalla ikkunat, tekemällä ikkunat särkymättömästä materiaalista tai rakentamalla rakennuksen ympärille riittävän korkea aita.
- Kojeistotilaan järjestetään mahdollisesti tarvittavat paineenpurkausaukot ja rakennuksen käytävät tehdään vähintään 800 mm leveiksi ja ainakin 500 mm leveiksi silloin kun ulosvedettävät osat pienentävät kulkutietä tai laitteistot on koteloitu kiinteäseinäisesti. Kojeistokennojen ovien pitää sulkeutua poistumissuuntaan.
- Uloskäynnit järjestetään siten, että poistumistien pituus ei ylitä 20 m, kun jännite on enintään 52 kV.
- Ovien tulee avautua ulospäin ja olla auki-asentoon lukittavissa, avaimella toimivalla lukolla varustettuja ja niiden on oltava materiaaliltaan vaikeasti syttyvää materiaalia sekä niissä täytyy olla kiinteistömuuntamon ovien yhteydessä esitetyt varoituskilvet.
- Sisäilma säädetään ilmanvaihdolla sopivaksi jäähdyttämällä, lämmittämällä, kosteutta poistamalla ja muutenkin noudatetaan samoja periaatteita ilmanvaihdossa kuin kiinteistömuuntamossa. Akustojen ilmanvaihtotarve suunnitellaan tapauskohtaisesti.

- Eristysnesteen pääsy ympäristöön on estettävä esimerkiksi varustamalla muuntaja soveltuvalla, koko nestetilavuuden vetoisella keruualtaalla tai käyttämällä nesteitä läpäisemättömiä lattioita ja riittäviä kynnyksiä rakennuksessa. (SFS 6001 2015, 58–61, 76; ST 53.11. 2003, 8.)

Lisäksi erilliselle muuntamolle tarvitaan kunnan rakennusjärjestyksen määräyksistä ja rakennuslupaviranomaiskäytännöistä riippuvat luvat, jotka ovat eripuolella Suomea hieman erilaisia. Erillinen muuntamorakennus vaatii aina sijoitusluvan maanomistajalta, jonka kanssa sovitaan maankäytöstä, ostetaan maa tai solmitaan maan vuokrasopimus. Muuntamorakennukselle haetaan rakennuslupa tai toimenpidelupa, ellei sitä näistä ole kunnan rakennusjärjestyksessä, esimerkiksi puistomuuntamon tapauksessa, pienen kokonsa johdosta vapautettu. (Verkostosuositus RM 3:02, 17–18.)

Erilliselle muuntamolle pitää myös tekovaiheessa asentaa perustuksiin riittävä putkitus kaapeleita varten, jotta vältytään myöhemmin maan kaivamiselta maadoitus- tai potentiaalintasauselektrodin alta (Verkostosuositus RM 3:02, 26).

Erilliselle muuntamolle tulisi myös soveltuvien osiin noudattaa kiinteistömuuntamon yhteydessä esitettyä muuntamon varustusta sekä hajamagneettikentät minimoivaa asennustapaa ja ottaa huomioon kaapelien pienimmät sallitut taivutussäteet.

## 5 SÄHKÖNKÄYTTÄJÄN LAITTEET MUUNTAMOSSA

Sähkökäyttäjän muuntamon laitteiden valinnassa ja mitoituksessa noudetaan standardin asettamia vaatimuksia, verkonhaltijan liittymisehtoja ja ohjeita sekä sähkökäyttäjän omia teknisiä ja toiminnallisia tarpeita.

Laitteistot tulee suunnitella ottaen huomioon käyttäjän asettamat vaatimukset laitteiston luotettavuudelle, käytettävyydelle ja sähkönlaadulle, käyttöhenkilökunnan ja ulkopuolisten henkilöiden turvallisuus, kunnossapito ja mahdollinen laajennustarve, ympäristövaikutukset sekä se, että laitteistot vastaavat käyttötarkoitustaan (SFS 6001 2015, 30).

### 5.1 Keskijännitekojeisto

Standardin mukaan keskijännitekojeiston on oltava selväpiirteinen, tarkoituksenmukainen ja rakenteeltaan sellainen, että olennaisiin osiin pääsee helposti käsiksi kun kojeistoa käytetään, kunnossapidetään ja pystytetään. Laitteistot on myös suunniteltava ja rakennettava niin, että henkilöstö on mahdollisimman hyvin suojattu valokaarivioilta sekä laitteistojen on kestettävä ennakoitavissa olevat paikalliset sähköiset, mekaaniset, ilmastolliset ja ympäristövaikutukset. (SFS 6001 2015, 30, 56).

Näihin periaatteisiin perustuen on taulukossa 5 annettu arvoja, joiden mukaan sähkökäyttäjän muuntamon kojeiston mitoitus tehdään ja se on yleensä riittävä koko maan alueella. On myös huomattava, että laitteisto valitaan sen käyttöolosuhteiden vaatimusten mukaisesti. Erityisesti puistomuuntamoita käytettäessä voi Suomessa eteen tulla tilanne, jossa laitteiston tulee täyttää jopa  $-50^{\circ}\text{C}$  asteen standardin mukainen pakkasenkestovaatimus myös pitkähkön käyttökatkon jälkeen. (Verkostosuositus RM 3:02, 19–20.)

Rakenteeltaan nykyään eniten käytettävät keskijännitekojeistot on koteloitu kennokohtaisesti tai tilakohtaisesti ja kojeiston ulkokuori on materiaaliltaan metallia. Kojeiston eristeenä toimii joko normaalipaineinen ilma tai ylipaineinen SF<sub>6</sub>-kaasu. Kalustustapansa perusteella kojeistot voidaan jakaa kiinteällä kalustuk-

sella varustettuihin kojeistoihin sekä ulosvedettävillä kojeilla varustettuihin kojeistoihin. Koeisto varustetaan tapauskohtaisesti tarvittavilla kojeilla, laitteilla ja komponenteilla ja kojeiston rakenteella muodostetaan tarkoituksenmukainen kiskotorakenne muuntamoon. (Elovaara & Haarla 2011b, 121–125.)

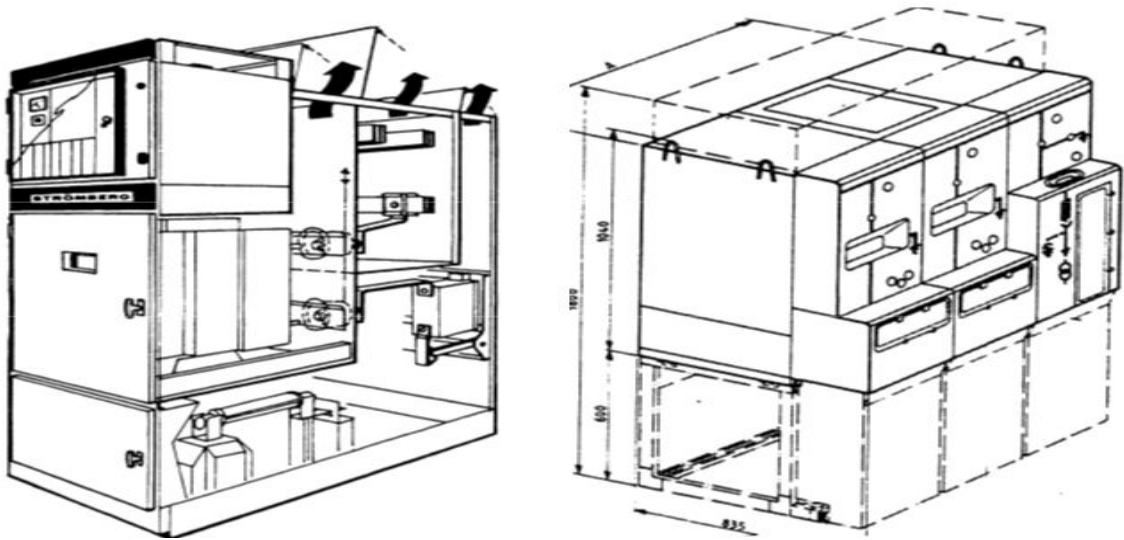
Taulukko 5. Koeiston sähköisiä mitoitusarvoja (Verkostosuositus RM 3:02, 19).

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

Kennokohtaisesti koteloidussa kojeistossa eri kennojen välillä on väliseinät, mutta kennon sisällä kaikki laitteet ovat samassa tilassa. Tilakohtaisesti koteloidussa kojeistossa kennon laitteet kuten esimerkiksi kiskosto, katkaisija, mitamuuntajat ja kaapelipäätteet ovat kaikki koteloitu omiin tiloihinsa, mikä tekee tilakohtaisesti koteloidusta rakenteesta kennokohtaista henkilöturvallisemman ratkaisun. Koeistoihin on rakennettu valokaaripaineen purkausluukut, joiden avulla paine ohjataan sopivaan paikkaan ja saadaan kojeiston rakenteesta valokaarioikosulkukestoisen. (Elovaara & Haarla 2011b, 121–125.)

Ilmaeristeiset kojeistot ovat olleet perinteisesti edullisin ja käytetyin malli keskijännitteellä, niiden rakenne on ollut tarkoituksenmukainen ja toimiva sekä niiden rakenne on kehittynyt henkilö- ja käyttöturvallisemmaksi tuotekehityksen myötä. Ilmaeristeisten kojeistojen huonompina puolina ovat huomattavasti suurempi tilantarve sekä suurempien kiskoetäisyyksien takia suurempi valokaarienergia, joka on noin kolminkertainen SF<sub>6</sub>-eristeiseen kojeistoon verrattuna. Näistä huolimatta ilmaeristeinen kojeisto on kuitenkin käyttökelpoinen ratkaisu keskijännit-

teellä tänäkin päivänä. (Elovaara & Haarla 2011b, 121–125; ST 53.11 2003, 10, 13). Kuviossa 4 on esimerkki tilakohtaisesti koteloidusta kasettikojeistosta, missä on kytkinlaitteena kasettikatkaisija ja jonka jokainen kojelila on varustettu omalla valokaaripurkauskanavalla (Elovaara & Laiho 1998, 315).



Kuvio 4. Vasemmalla ilmaeristeinen kojeisto ja oikealla SF<sub>6</sub>-eristeinen RMU-kojeisto (Elovaara & Laiho 1998, 318, 326).

SF<sub>6</sub>-eristeiset keskijännitekojeistot ovat olleet yleisesti käytössä jakelumuuntauksissa 1990-luvun alkupuolelta asti. Nykyään SF<sub>6</sub>-eristeisiä muuntamokojeistoja on Suomessa käytössä tuhansia kappaleita ja ne muodostavatkin suurimman osan toimitettavista kojeistoista, useiden verkonhaltijoiden siirryttyä käyttämään yksinomaan niitä. Tilantarpeeltaan SF<sub>6</sub>-eristeinen kojeisto on parhaillaan jopa korkeudessa 50 % ja pituudessa 70 % ilmaeristeistä pienempi, kun vertailussa on muuntamokojeistot. Suljetun rakenteensa ansiosta lika, pöly, kosteus tai eläimet eivät pääse aiheuttamaan oikosulkuja kojeistossa ja vian sattuessakin valokaarienergia on huomattavasti ilmaeristeistä pienempi. Myös eräissä takavuosien vertailututkimuksissa on saatu tuloksia, joiden mukaan SF<sub>6</sub>-eristeisillä muuntamokojeistoilla esiintyy vikoja vain 1/5 osa ilmaeristeisten kojeistojen viroista. (Verkostosuositus RM 3:02, 20–21: ST 53.11 2003, 13.)

Rakenteeltaan keskijännitteinen SF<sub>6</sub>-kojeisto voi olla kompakti muuntamokojeisto eli RMU-kojeisto, joka on rakenteeltaan kokonaan kaikille komponenteille

yhtenäistä 200–300 litran kaasutilaa oleva kojeisto tai itsenäisistä kaasutilan sisältävistä kenoista koostuva kokonaisuus, joita voidaan lisätä vierekkäin (Kuvio 4). Myös rakenne, jossa katkaisijakytkinlaitoksen kokoojakiskot ja katkaisijat jne. ovat omissa kaasutiloissaan, on yleisesti käytössä. (Elovaara & Haarla 2011b, 136–138.)

Huonompina puolina voidaan todeta, että hinnaltaan SF<sub>6</sub>-eristeinen kojeisto on ilmaeristeistä kalliimpi, SF<sub>6</sub>-eristeisessä kompaktissa kojeistossa oikosulku vian sattuessa koko kojeisto joudutaan mahdollisesti vaihtamaan, SF<sub>6</sub>-eristeisen kojeiston kaasun painetta täytyy tarkkailla, koska se mahdollisesti vuotaa käytön aikana hieman ja jokaisen täytyy vuosittain ilmoittaa hallussaan olevien laitteidensa SF<sub>6</sub>-kaasun määrä viranomaisille. Kompaktien SF<sub>6</sub>-kojeistojen ilmoitettu käyttöikä 30 vuotta on lähtökohtaisesti lyhyempi, kuin käytössä olevilla ilmaeristeisillä kojeistoilla on saavutettu. (Elovaara & Haarla 2011b, 128–138; Verkostosuositus RM 3:02, 20–21; ST 53.11 2003,11, 13.)

Suosituksen mukaisilla komponenteilla varustetusta sähkökäyttäjän muuntamon keskijännitekojeistosta on esimerkkinä periaatteellinen pääkaavio kuviossa 5. Koko kojeisto tai kytkinlaitteet voivat olla ilma- tai SF<sub>6</sub>-eristeisiä, taulukon 5 mukaan mitoitettuja. (ST 53.11 2003, 12.)



Kuvio 5. Sähkökäyttäjän muuntamon pääkaavio (ST 53.11 2003,12.)

### 5.1.1 Katkaisija

Katkaisijoita käytetään virtapiirin avaamiseen ja virtapiirin sulkemiseen, kun ohjataan sähköenergian kulkua verkossa, muutetaan verkon muotoa eli topologiaa tai erotetaan viallinen verkoston osa nopeasti verkosta. Ohjaus tapahtuu joko käsin tai automaattisesti, jolloin katkaisijaa ohjataan esimerkiksi mittamuuntajien avulla virtapiirin kytketyn releen toimesta. Myös kauko-ohjaus on yleinen katkaisijoilla. Katkaisija mitoitetaan rakenteeltaan sellaiseksi, että se lähtökohtaisesti kykenee katkaisemaan ja kytkemään vaurioitumatta suurimmatkin verkossa esiintyvät virrat, jotka ovat moninkertaiset nimelliseen virtaan verrattuna. Katkaisijan tärkeimpiä ominaisuuksia kuvaavia arvoja ovat: katkaisukyky, sulkemiskyky, mitoitusvirta, mitoitusjännite, taajuus, palaavan jännitteen mitoitusarvo, nimellinen toimintasykli, erityistilanteiden katkaisukyky sekä ohjaus- ja apupiiriin mitoitusjännite ja taajuus. (Elovaara & Haarla 2011b, 161–188.)

Vaihtovirtakatkaisijoissa katkaisutapahtuman yhteydessä katkaisijan koskettimien välille syntyneitä valokaarta pidennetään, jaetaan osiin ja jäähdytetään katkaisupään väliaineessa, jolloin näiden yhteisvaikutuksesta valokaari muuttuu virran nollakohdassa johteesta eristeeksi ja virtapiiri katkeaa. Tämä sallii koskettimien avautumisen riittävän etäälle toisistaan, kestääkseen täyden jännitteen valokaaren sammuttua. Myös virran itsensä aiheuttamalla magneettikentällä tai eristeaineella valokaarta voimakkaasti puhaltamalla sitä voidaan sekä jäähdyttää että pidentää, jota periaatetta katkaisijoiden rakenteessa usein hyödynnetäänkin. Katkaisupäässä on myös usein sekä päävirtakoskettimet että hieman niitä myöhemmin avautuvat valokaarikoskettimet, joiden väliin valokaari auki ohjatessa syttyy. (Elovaara & Haarla 2011b, 163–165.)

Katkaisupäässä käytettävä väliaine osallistuu siis sekä itse valokaaren sammuttamiseen että katkaisukohtaan jännitteisten osien eristämiseen katkaisijan muista osista. Eristeaineen perusteella katkaisijat voidaan jakaa seuraaviin ryhmiin:

- tyhjiökatkaisijat
- SF<sub>6</sub>-katkaisijat tai muut kaasukatkaisijat
- ilmakatkaisijat

- vähäöljykatkaisijat
- paineilmakatkaisijat
- öljykatkaisijat. (Elovaara & Haarla 2011b, 168–169.)

Kaikkia luettelon tyyppejä löytyy vielä sähköjakeluverkoista käytöstä, mutta SF<sub>6</sub>-katkaisijat ja tyhjiökatkaisijat ovat yleisimmät nykyisin käytettävät keskijännitteellä hyvien ja kehittyneiden ominaisuuksiensa ja pitkien huoltoväliensä johdosta. Jakeluverkkoja syöttävillä keskijännitteisillä sähköasemilla sekä teollisuuden ja voimalaitosten sähköasemilla kytkinlaitokset toteutetaan yleensä järeinä katkaisijakojeistoina, kun taas jakeluverkkojen jakelumuuntamot, kuten sähkökäyttäjän muuntamo, toteutetaan yleensä kuormaerotinkojeistoina. (Elovaara & Haarla 2011b, 124, 177–184.)

Sähkökäyttäjän muuntamolla suojarleillä varustettua katkaisijaa käytetään pääkytkimenä ja suojausena kojeistossa pääsääntöisesti silloin, kun muuntaja on kooltaan iso, luokkaa yli 1600 kVA, eli kun sulakesuojausrakenteita ei ole enää saatavana. Katkaisijaa käytetään kojeistossa myös aina, kun muuntajia on enemmän kuin yksi. Katkaisijan mitoitus tehdään tapauskohtaisten vallitsevien oikosulkuvirtojen ja muiden määräävien arvojen mukaisesti, huomioiden taulukon 4 ohjearvot. Muuntamon suojarleinä katkaisijalla toimii yleensä ainakin vakioaikaylivirtarele pikalaukaisulla varustettuna sekä maasulun suuntarele, mikäli sähkökäyttäjällä on huomattavasti omaa keskijänniteverkkoa. Katkaisijan suojarleiden selektiivisyys verkonhaltijan suojausien kanssa on varmistettava. (ST 53.11 2003,11; Verkostosuositus RM 3:02, 24–25.)

### 5.1.2 Erotin

Erotinta käytetään laitteen tai laitteiston erottamiseen virtapiiristä, muodostamalla turvallinen, jännitelujuudeltaan riittävä avausväli virtapiirin ja erotettavan laitteiston välille. Käytön luonteesta johtuen, erottimen avausvälin on oltava erittäin luotettava ja avausvälin on oltava näkyvä tai erottimessa on oltava luotettava asennosoitus ja lisäksi avausvälin jännitelujuuden on oltava suurempi kuin muun ympäröivän eristyksen. Erotinta käytetään myös muun muassa ohi-



tuserottimena, keskeytymättömän käytön mahdollistamiseksi, esimerkiksi katkaisijan huollon tai mittamuuntajan vian aikana. (Elovaara & Haarla 2011b, 190.)

Erottimia ei ole tarkoitettu kuormitetun virtapiirin avaamiseen tai sulkemiseen, vaikka niillä käytännössä voidaan rakenteesta riippuen katkaista pieniä muutamien ampeerien virtoja, kuten pienien muuntajan tyhjäkäyntivirtoja tai tyhjäkäyvien johtojen virtoja. Erottimelta vaadittavia tärkeimpiä ominaisuuksia kuvaavia arvoja ovat muun muassa: mitoitusvirta, mitoitusjännite sekä oikosulkuvirtojen kestoisuus. Lisäksi ulos asennettavilla erottimille tärkeä arvo on jäänmurtokyky, joka ominaisuutena kertoo sen, minkä vahvuisen jääkerroksen erotin kykenee auki ja kiinni-ohjauksessa murtamaan rikkoutumatta itse. (Elovaara & Haarla 2011b, 190.)

Keskijännitteellä erotin on rakenteeltaan tavallisesti veitsirakenteisilla pääkoskettimilla varustettu, kolmivaiheinen samalle rungolle rakennettu koje, jossa veitset liikkuvat suhteellisen hitaasti auki ja kiinni, ilman toimiessa eristeenä. Erotin voidaan myös varustaa pääkoskettimien lisäksi esimerkiksi katkaisupiisakoilla, jotka toimivat apukoskettimina, avautuen pääkoskettimen auetessa viritämän jousen voimalla hieman pääkoskettimien jälkeen, mutta huomattavasti suuremmalla nopeudella. Tämä on yksi tapa lisätä erottimen kuormankatkaisukykyä ja tämä on käytetty tapa esimerkiksi keskijännitteellä ilmalinjojen pylväsmuuntamoissa. Erottimia ohjataan tapauskohtaisesti joko käsin tai moottorihjatuksi ja kauko-ohjaus on yleistä etenkin ilmalinjojen erotinasemilla. (Elovaara & Haarla 2011b, 192–194, 197.)

Nykyisissä suosituksien mukaisissa sähkönkäyttäjän muuntamon kojeistorakenteissa ei ole käytetty erottimia, vaan yksinomaan kuormaerottimia.

### 5.1.3 Kuormaerotin

Kuormaerotin kykenee sekä laitteiston erottamiseen virtapiiristä näkyvällä ja jännitelujuudeltaan riittävällä avausvälillä että suurten kuormitusvirtojen katkaisuun ja pienehköjen oikosulkuvirtojen kytkemiseen. Kuormaerotin onkin erään-

lainen katkaisijan ja erottimen välimuoto. Kuormaerotin on hyvin yleisesti käytössä keskijänniteverkossa, esimerkiksi jakelumuuntamoilla, missä kuormitusvirrallisia verkonosia erotetaan tai liitetään toisiinsa, muuntajia ja johtosilmukoita kytketään verkkoon ja niin edelleen. (Elovaara & Haarla 2011b, 191–192, 195.)

Kuormaerottimen rakenteessa on yleensä, useiden katkaisijoiden tapaan, sekä pääkoskettimet että valokaarikoskettimet, joita pääkoskettimet avautuvat hie-man ennen valokaarikoskettimia, joiden väliin sammutuskammioon valokaari jää palamaan. Sammutuskammiossa valokaarta jäähdytetään ja pidennetään esimerkiksi ilmavirtauksen tai eristinaineen ja magneettikentän avulla ja näin saadaan valokaari sammumaan virran nollakohdassa. Myös SF<sub>6</sub>-kaasua tai öljyä voidaan käyttää valokaaren sammutukseen sammutuskammiossa. Kiinni-ohjauksessa jousilaite ohjaa pääkoskettimet nopeasti kiinni, mikä mahdollistaa kytkentäkyvyn pienillä oikosulkuvirroilla. (Elovaara & Haarla 2011b, 195–196). Kuormaerotinta voidaan ohjata sekä käsin että moottoriohjatusti ja paikallisesti tai kauko-ohjauksella.

Sähkökäyttäjän muuntamalla kuormaerottimia käytetään kojeistossa yleisesti niin kojeiston lähdoissä kun liityntäkaapeillakin. Verkonhaltijan liityntäkaapeleille varataan kojeistoon kaksi kuormaerotinta, joiden katkaisukyky erityyppisille kuormille sekä sähköisien ominaisuuksien täytyy olla taulukon 4 mukaiset. (ST 53.11 2003, 15). Kuormaerottimen moottoriohjaus voi olla usein tarpeellinen etenkin liityntäkaapeleilla, kun verkonhaltija ohjaa jakeluverkkoaan kauko-ohjauksella.

#### 5.1.4 Varokekuormaerotin

Varokekuormaerotin on rakenteeltaan kuormaerotin, joka on varustettu keskijännitesulakkeilla. Varokekuormaerotinta käytetään yleisesti jakelumuuntamoissa katkaisijoita korvaavina kytkinlaitteina. Varokekuormaerotin on yleensä varustettu niin sanotulla nastalaukaisulaitteella, joka aiheuttaa kolminapaisen laukaisun, jos yksikin varokkeista toimii. Tämä on tärkeä ominaisuus esimerkiksi muuntajan yhteydessä, kun muuntajan kolminapainen erottaminen on tarpeen ylijännitevaaran vuoksi. (Elovaara & Haarla 2011b, 196). Muuntajan ylikuormi-

tussuojaus voidaan myös hoitaa esimerkiksi johdottamalla muuntajan kosketinlämpömittari varokekuormaerottimen laukaisulaitteelle. Sulakkeen asettamisen tai vaihdon ajaksi tulee sulakkeiden kohtiot maadoittaa ja kuormaerottimen rakenne tulee olla sellainen, että kyseisen työn suorittaminen on turvallista. (ST 53.11 2003,14.)

Varokekuormaerotinta käytetään sähkönkäyttäjän muuntamossa yleisesti muuntajan suojana tai kojeiston pääkytkimenä. Varokekuormaerottimen tulee avautua, jos yksi tai useampi sulake palaa. Sähkönkäyttäjän muuntamossa varokekuormaerotinta voidaan käyttää yhden enintään 1600 kVA:n muuntajan suojana tai vastaavan yhden muuntajan sisältämän kojeiston pääkytkimenä. (ST 53.11 2003,14.)

#### 5.1.5 Varokkeet

Keskijännitesulakkeet suojaavat asennuspaikkansa jälkeistä keskijännitekojeistoa, muuntajan keskijännitekaapelia, muuntajaa, pienjännitekeskuksen syöttökaapelia ja pienjännitekeskusta oikosulun aiheuttamilta vaurioilta, pienentäen huomattavasti muuntamopalon riskiä sekä parantaen näin henkilöturvallisuutta. Sulakkeen nopea sulamiskäyrä ja kolminapainen laukaisu aikaansaavat muuntajan käämioikosulussa nopeamman laukaisun kuin katkaisijalla ja näin ollen sulakkeiden ja varokekuormaerottimen käyttö muuntajan suojauksessa on suositeltavaa. (ST 53.11 2003,14; Verkostosuositus RM 3:02, 23–24.)

Sulakkeiden sulamiskäyrät saattavat vaihdella paljonkin eri valmistajilla, joten sulakkeiden valinnassa on huomioitava sulake-, muuntaja- tai kojeistovalmistajan suositukset sekä valita etenkin pienillä oikosulkuvirtojen alueilla ns. ”Full range” sulakkeet, jotka toimivat nopeasti ja luotettavasti myös pienillä keskijännitteen oikosulkuvirroilla. Sähkönkäyttäjän muuntamon muuntajaa suojaavien sulakkeiden valintaan on olemassa ohjeellinen taulukko 6, missä on soveltuvan sulakkeen koko ilmoitettu ampeerina erikokoisille muuntajille. (ST 53.11 2003, 14; Verkostosuositus RM 3:02, 23–24.)

Taulukko 6. Muuntajaa suojaavien sulakkeiden ohjeellinen valintataulukko (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

### 5.1.6 Mittamuuntajat

Mittamuuntajat ovat virran ja jännitteen mittaukseen tarkoitettuja erikoismuuntajia, joiden tehtävänä on erottaa mittauspiiri galvaanisesti päävirtapiiristä, muuttaa mitta-ala sopivaksi standardoinnin mahdollistavaan arvoon, mahdollistaa mittareiden ja releiden sijoitus etäälle mittauspaikasta sekä suojella mittareita ylikuormituksilta. Mittamuuntajat perustuvat valtaosin sähkömagneettisen induktion käyttöön ja niiden on pystyttävä toistamaan mitattavansa suure normaalilla kuormitusalueellansa mahdollisimman virheettömästi. (Elovaara & Haarla 2011b, 198.)

Virta- ja jännitemuuntajat jaetaan käyttötarkoituksensa mukaan mittauksiksi valmistettuihin sekä suojaustarkoituksiin valmistettuihin mittamuuntajiin. Nämä luokat eroavat toisistaan mitoituksen ja vaatimuksien perusteella, koska mittauksien muuntajalle tarvitaan suurta tarkkuutta nimellisellä mitta-alueellaan ja taas suojaustarkoituksen muuntajalle tarvitaan kykyä toistaa moninkertaisia nimellisarvoja riittävän tarkasti esimerkiksi oikosulkutilanteissa. Tämä toteutetaan erilaisilla rakenne- ja sydänmateriaali-valinnoilla eri tarkoituksen mittamuuntajiin. (Elovaara & Haarla 2011b, 199–224.)

Mittamuuntajille on standardoitu tarkkuusluokat, joka on valittava mitattavan kohteen mukaisesti ja niistä suurimmat tarkkuusvaatimukset on asetettu energian mittaukselle. Mittauksien virtamuuntajalla tarkkuusluokka ottaa huomioon virtavirheen ja kulmavirheen, jännitemuuntajalla tarkkuusluokka ottaa huomioon jännitevirheen ja kulmavirheen. Mittauksen pysyminen tarkkuusluokassaan edellyttää myös toisiopiirin taakan pysymistä mittamuuntajalle anne-

tuissa rajoissa, mikä tarkoittaa, että toisiopiirin impedanssiin eli laitteisiin, johtimien poikkipintaan sekä etäisyyksiin täytyy kiinnittää erityistä huomiota niitä valittaessa. Rakenteeltaan keskijännitteellä sisätiloissa käytetyt mittamuuntajat ovat vaiheisiin asennettavia valuhartsieristeisiä ja näin mekaanisesti ja sähköisesti kestäviä sekä pienikokoisia. (Elovaara & Haarla 2011b, 202–220.)

Sähkökäyttäjän muuntamossa verkonhaltija vastaa sähkömarkkinalain mukaan mittauksen toteutuksesta, mittareiden luennasta ja lukemien jatkokäsittelystä, joten verkonhaltijan ohjeet on otettava huomioon mittamuuntajien hankinnassa, asennuksessa ja mittauksen kytkentäkaaviossa. Muuntamon laskutusmittauksen virtamuuntajien täytyy olla tarkkuusluokkaa 0,2S ja jännitemuuntajien täytyy olla tarkkuusluokkaa 0,2 sekä toisiopiirin taakka on oltava 25-100 % nimellistaakasta. Jännite- ja virtamuuntajat asennetaan jokaiseen vaiheeseen ja laskutusmittauksen mittamuuntajiin ei saa liittää mitään muita laitteita. Virtamuuntajan toisiovirtasuositus on 5 A ja jännitemuuntajan toisiojännite on  $100:\sqrt{3}$  voltia. Jos muuntamossa on muita mittamuuntajia, ne sijoitetaan laskutusmittamuuntajien jälkeen, kuten kuvan 9 pääkaaviossa on esitetty. Mittauskytkentä tehdään verkonhaltijan mittauspiirikaavion mukaisesti. (ST 53.11 2003, 15.)

#### 5.1.7 Ylijännitesuojat

Ylijännitesuojausta tarvitaan sähkökäyttäjän muuntamalla, mikäli keskijännite-liittymiskaapeli liittyy suoraan ilmajohtoon. Ylijännitesuojaus toteutetaan muuntamon keskijännitekojeistoon, liittymiskaapelin päätteen yhteyteen sijoitettavalla, 10 kA:n metallioksidilylijännitesuojalla. Myös alhaisella 95 kV:n syöksykoejännitteellä koestettuja laitteita 20 kV:n jännitteellä käytettäessä, tulee ne suojata suoraan kojeelle kytketyllä ylijännitesuojalla. Erityisen tarpeellisia ylijännitesuojat ovat SF<sub>6</sub>-eristeisiä kojeistoja käytettäessä, jotka ylijännite saattaa tuhota kokonaan. Ylijännitesuojausta käytettäessä yhdistetään muuntajan n-napa suoraan muuntajan runkoon määräyksien mukaisella maadoitusjohtimella. Ylijännitesuojauksen toteutuksen yksityiskohdista sovitaan verkonhaltijan kanssa. (ST 53.11 2003, 17; Verkostosuositus RM 3:02, 33.)

### 5.1.8 Muita muuntamon keskijännitekojeiston komponentteja

Suurjännitelaitteistossa pitää työmaadoittaa kaikki ne osat, joissa työskennellään. Tämä voidaan toteuttaa kojeistossa olevien maadoituskohtioiden ja siirrettävien maadoituslaitteiden avulla tai kojeiston kenttiin asennettavien maadoituskytkimien avulla, jotka ovat esiintyvien suurimpien oikosulkuvirtojen kestoisia. (SFS 6002 2015, 27.)

Sähkökäyttäjän muuntamon keskijännitekojeiston kaikissa kentissä käytetään maadoituskytkimiä, jotka ovat sähköisiltä ominaisuuksiltaan kykeneviä kytkeään ja kestämään suurimmat esiintyvät oikosulkuvirrat. Mittamuuntajakentän maadoituskytkimen voi korvata maadoituskohtioilla ja siirrettävillä maadoituslaitteilla, jotka ovat kohteen oikosulkuvirrat kestäviä, jos kytkimen sijoittaminen mittauskenttään tuottaa vaikeuksia. Maadoituskytkimien toiminta on estetty mekaanisella lukituksella kentän kytkinkojeen ollessa johtavassa asennossa. (ST 53.11 2003, 10.)

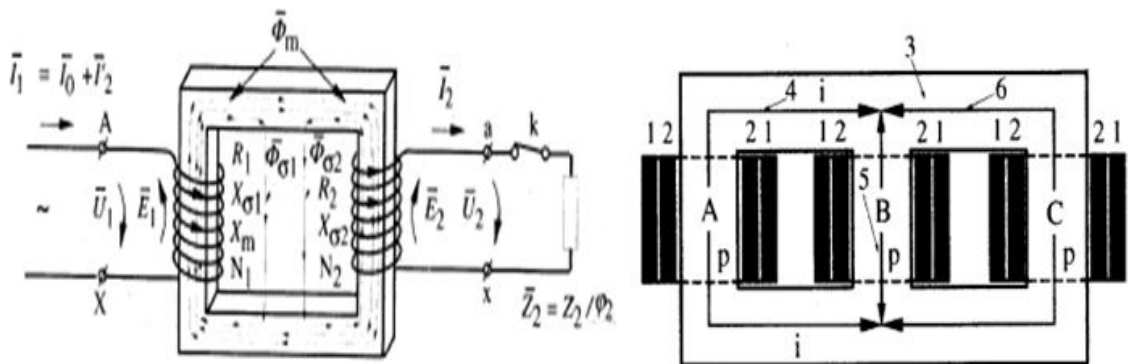
Kojeiston kentissä, mittauskenttää lukuun ottamatta, käytetään joka vaiheeseen asennettuja jännitteen ilmaisimia (ST 53.11 2003, 10, 12). Maadoituskytkimien ja jännitteenilmaisimien käytöllä saavutetaan turvallinen tapa tehdä työmaadoitus ja näin voidaan luopua siirrettävien maadoituslaitteiden ja jännitteenkoettimen käytöstä näissä kojeistoissa (SFS 6002 2015, 27).

Kojeiston tilavarauksissa otetaan huomioon myös verkonhaltijan mahdollisten oiko- ja maasulkuilmaisimien käyttö. Kaapelin päätteiden yhteyteen yleensä asennettavat oikosulkuilmaisimet auttavat paikantamaan viallisen johtosuuden ilman vikamittauksia ja kokeilukytkentöjä, minkä vuoksi ne ovat saavuttaneet verkonhaltijoiden piirissä suosiota. Oikosulkuilmaisimet voivat olla itsestään tietyn ajan kuluttua palautuvia tai kojeistosta käsin tai työkalulla palautettavia, niille asetellun virran ylittyessä toimivia laitteita. (Verkostosuositus RM 3:02, 26–27; ST 53.11 2003, 14.)

## 5.2 Jakelumuuntaja

Jakelumuuntaja on rakenteeltaan kohtuullisen yksinkertainen sähkökone, jonka tehtävänä on muuntaa pienemmät häviöt ja suuremmat tehot sähkönsiirrossa mahdollistava keskijännitteinen jakelujännite sähkökuluttajille paremmin käyttöön soveltuvaksi pienjännitteeksi sekä samalla eristää kaksi erijännitteistä sähköverkkoa toisistaan. Kuviossa 6 on muuntajan sähkömagneettiseen induktioon perustuva toimintaperiaate yksivaiheisena, jossa energia siirtyy rautasydämesä magneettivuon avulla ensiökäämistä toisiokäämiin, käämien kierrosluvun määrittäessä muuntajan muuntosuhteen. (Aura & Tonteri 2002, 267, 275.)

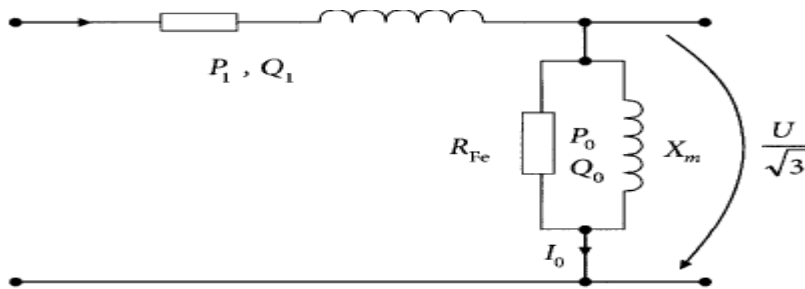
Muuntaja rakennetaan rautasydämen eli magneettipiirin ympärille johtimia useita kierroksia kiertämällä eli muuntajakäämityksellä. Rautasydän rakennetaan pyörrevirtahäviöiden minimoimiseksi pienihäviöisistä, ohuista ja pinnoiltaan eristetyistä muuntajalevyistä, joista muodostetaan muuntajan pylväät sekä ala- ja yläies. Sydänmuuntajarakenteen mukaisesti rakennettuna, eristetyt ensiö- ja toisiokäämit käämitään pylväiden ympärille lieriömäisesti päällekkäin niin, että ylä- ja alajännitekäämien väliin jää eristeliiriö ja jäähdytyskanavat. Muuntajien käämityksien materiaali on alumiinia tai kuparia. Sydänmuuntajan rakenne näkyy kuviossa 6 oikealla. (Aura & Tonteri 2002, 280–281.)



Kuvio 6. Muuntajan yksivaiheinen toimintaperiaate sekä kolmivaiheisen sydänmuuntajan rakenneperiaate (Aura & Tonteri 2002, 275, 280).

Muuntajassa syntyy myös aina sen toimiessa häviöitä. Muuntajan magneettipiirissä syntyy magneettivuon vaihtelun vuoksi rautahäviöitä, jotka muodostuvat hystereesihäviöistä ja pyörrevirtahäviöistä. Näitä kutsutaan muuntajan tyhjä-

käyntihäviöiksi, mitkä eivät sanottavasti riipu muuntajan kuormituksesta. Hystereesihäviöt johtuvat raudan magneettisista ominaisuuksista eli hystereesimukkana tunnetun raudan magnetoitumiskäyrän aiheuttamista ominaispiirteistä. Pyörrevirtahäviöt johtuvat magneettivuon rautaan indusoimista pyörrevirroista, jotka ovat sitä isompia mitä suurempi on rautasydämen yhtenäinen pinta-ala. Lisäksi muuntajan käämityksien resistansseissa syntyy virran kulkiessa kuparilankahäviöitä eli virtalämpöhäviöitä. Näitä kutsutaan muuntajan kuormitushäviöiksi, mitkä ovat riippuvaisia muuntajan kuormituksesta. Kuviossa 7 on muuntajan sijaiskytkentä, mistä voi havaita periaatteellisesti pitkittäishaarassa muodostuvat kuormitushäviöt ja poikittaishaarassa muodostuvat tyhjäkäyntihäviöt. (Hietalahti 2011, 10–12, 15; Lakervi & Partanen 2008, 34.)



Kuvio 7. Muuntajan sijaiskytkentä (Lakervi & Partanen 2008, 34).

Muuntajan kilpiarvoissakin esitettävän muuntajan nimelliskuormitushäviön perusteella voidaan kaavan 1 avulla laskea muuntajan kulloisenkin kuormituksen aiheuttamat kuormitushäviöt  $P_k$ . Kaavalla 2 lasketaan tyhjäkäyntihäviöiden ja kuormitushäviöiden summa eli muuntajan tehohäviö  $P_h$ . (Lakervi & Partanen 2008, 34; Aura & Tonteri 2002, 277.)

$$P_k = \left(\frac{S}{S_N}\right)^2 * P_{kN} \quad (1)$$

missä

$P_k$	on	muuntajan kuormitushäviöt [W]
$P_{kN}$	on	muuntajan nimelliskuormitushäviö [W]
$S$	on	muuntajan kuorma [VA]
$S_N$	on	muuntajan nimellisteho [VA]

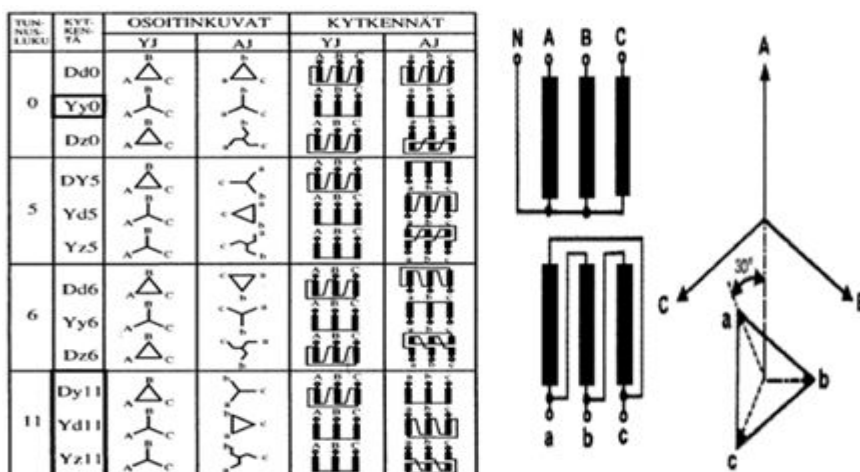


$$P_h = P_0 + P_k \quad (2)$$

missä

$P_h$	on	muuntajan tehohäviö [W]
$P_0$	on	muuntajan tyhjäkäyntihäviöt [W]
$P_k$	on	muuntajan kuormitushäviöt [W]

Kolmivaihemuuntajien vaihekäämit kytketään yläjännitepuolelta joko tähteen tai kolmioon ja alajännitepuolelta tähteen, kolmioon tai hakatähteen. Muuntajan kytkentä ilmoitetaan kirjainsymboleilla ja tunnusluvulla. Kirjainsymboli Y tai y tarkoittaa tähtikytkentää, D tai d kolmiokytkentää ja z hakatähtikytkentää. Iso kirjain tarkoittaa yläjännitepuolen käämitystä ja pieni kirjain alajännitepuolen käämitystä. Tunnusluvulla ilmoitetaan kytkennästä aiheutuva vaihesiirto, jonka kuvitteellisesti ajatellaan muodostuvan yläjännitepuolen vaihejännitevektorin osoittamasta kellotaulun lukemasta 12 sekä alajännitteen vaihejännitevektorin osoittamasta kellonlukemasta eli tunnusluvusta, yhden tunnin kellotaulussa vastatessa  $30^\circ$  vaihesiirtoa muuntajassa. Jos vaihesiirtoa ei ole on lukema tällöin 0. Yleisimmät muuntajien kytkennät on esitetty kuviossa 8. (Hietalahti 2011, 24.)



Kuvio 8. Muuntajien yleisimmät kytkennät ja esimerkki YNd11 kytkennästä ja tunnusluvun mukaisista jänniteosoittimista (Hietalahti 2011, 24–25).

Rakenteeltaan jakelumuuntajat voidaan jakaa eristyksensä perusteella neste-eristeisiin muuntajiin ja kuivamuuntajiin, joista on esimerkit kuvassa 5. Jakelumuuntamoissa käytetyin on hyvien teknisten ominaisuuksiensa johdosta eristysnesteinä O1-luokan eristysnestettä eli muuntajaöljyä käyttävä muuntaja. Myös muita ympäristöystävällisempiä luonnossa hajoavia eristysnesteitä on muuntajiin nykyään saatavilla. Kuivamuuntajan käyttö tulee kysymykseen lähinnä joko palovaarallisissa tiloissa pienen palokuormansa johdosta, kuten sairaaloissa, kerrostaloissa, kaivoksissa ja tehdashalleissa tai ympäristöltään vaativissa tiloissa, kuten pohjavesialueilla tai luonteeltaan vastaavan tyyppisissä tiloissa. (Aura & Tonteri 2002, 288; Hietalahti 2011, 32; ST 53.11 2003, 9.)



Kuva 5. Kuivamuuntaja sekä paisuntasäiliöllinen öljyristeinen muuntaja (Euro-laite 2016).

Öljyristeiset jakelumuuntajat voidaan rakenteensa perusteella edelleen jakaa hermeettisesti suljettuihin muuntajiin, paisuntasäiliöllisiin muuntajiin sekä pylväsmuuntajiin. Paisuntasäiliöllisessä muuntajassa käytön aikaisten lämpötilojen muutosten ja siten öljyn tilavuuden muutoksien aiheuttama öljynpinnan vaihtelu tapahtuu paisuntasäiliössä. Hermeettisesti suljettu muuntaja on kaasutiiviisti suljettu ja mukautuu käytön aikaisiin tilavuuden muutoksiin elastisten jäähdytysaaltojensa avulla. Pylväsmuuntajassa öljynpaisuntatila on puolestaan sijoitettu muuntajan kannen alle. (Aura & Tonteri 2002, 284–286.)

Kuivamuuntajassa rautasydän on nykyisin usein eristetty esimerkiksi hartsieristeellä tai vastaavalla materiaalilla, joka antaa hyvän suojan kosteutta ja ympäristöoloja vastaan. Kosketussuojainen asennus on saavutettavissa koteloimalla kuivamuuntaja suojakoteloon, jolloin ilmanvaihto täytyy varmistaa. Kuivamuuntajia on olemassa teknisesti monella tavalla toteutettuja sekä laadultaan hyvin erilaisia teknisiä ratkaisuja, joissa on valmistajakohtaisesti ollut suuria laatueroja. (Hietalahti 2011, 32–33; Verkostosuositus RM 3:02, 32–33.)

Kuivamuuntajan ja öljyeristeisen jakelumuuntajan ominaisuuksia vertailtaessa voidaan todeta seuraavat asiat: kuivamuuntajan ylikuormitettavuus on pienempi ja se edellyttää usein lisäpuhaltimia sekä lämpötilan valvonta ja jäähdytys vaativat yleensäkin enemmän huomiota, kuivamuuntajien luotettavuudessa ja laadussa on ollut selkeitä puutteita ja eroja eri valmistajien välillä, kuivamuuntaja on hinnaltaan selvästi kalliimpi, melutasoltaan korkeampi ja vikatapauksessa sopivan kuivamuuntajan löytäminen tilalle voi olla haastavaa, mutta palokuormaltaan se on merkittävästi pienempi ja palo-ominaisuuksiltaan parempi kuin öljyeristeinen jakelumuuntaja. (ST 53.11 2003, 9.)

Jännitteen säätöä varten suurtehomuuntajissa on käämikytkin, jolla voidaan jännitettä säätää yläjännitepuolen käämikierroslukua muuttamalla, muuntajan ollessa kuormitettu ja se soveltuu näin jatkuvaan jänniteensäätöön sähköverkossa. Jakelumuuntajissa on yleensä käytetty väliottokytkintä, pylväsmuuntajia lukuun ottamatta, joka on tuotu akselin avulla muuntajan kannelle, mistä kääntökahvalla kääntämällä voidaan säätää muuntajan muuntosuhdetta eli muuntajan jännitettä tyypillisesti 2x2,5 % molempiin suuntiin. Väliottokytkimellä voidaan jännitettä säätää vain muuntajan ollessa jännitteetön. Jakelumuuntaja voidaan myös varustaa 10/20 kV jänniteenvaihtokytkimellä, joka asennetaan muuntajan valmistusvaiheessa usein väliottokytkimen tilalle ja sen avulla voidaan muuntajan yläjännitteeksi valita joko 10 kV tai 20 kV. Tämä onkin yleinen tapa hankkia 10 kV:n jakelumuuntajat, jolloin ne soveltuvia käyttöön myös tulevaisuudessa, kun verkonhaltija mahdollisesti nostaa jakelujännitteen tasolle 20 kV. (Aura & Tonteri 2002, 282; ST 53.11 2003, 9.)

Jakelumuuntaja voidaan varustaa nestemäärämittarin lisäksi esimerkiksi kosketinlämpömittarilla, jossa on kosketin öljynlämmön perusteella sekä hälytykselle

että laukaisulle. Isommat muuntajat varustetaan myös kaasureleellä, joka laukaisee muuntajan pois verkosta tai antaa hälytyksen muuntajan sisäisessä vika tilanteessa sekä ilmankuivaimella, joka poistaa ilmasta kosteuden muuntajan hengittäessä sen kautta. (Aura & Tonteri 2002, 289; ST 53.11 2003, 9.)

1.7.2015 jälkeen hankittujen jakelumuuntajien täytyy olla Euroopan unionin ekosuunnitteluvaatimuksien mukaisia, direktiivissä mainittuja erikoismuuntajia lukuun ottamatta, ja niiden tulee näin täyttää niille asetuksessa vaaditut tyhjäkäynti- ja kuormitushäviö tai huippuhyötysuhdeindeksi vaatimukset (EUR-Lex 2016).

### 5.3 Pienjännitekeskus

Muuntamon pienjännitekeskus on nykyään yleensä 5-johdinjärjestelmän keskus ja se voi sijaita myös muualla kuin itse muuntamotilassa. Keskus mitoitetaan tapauskohtaisesti siihen liitettävän muuntajatehon sekä tarvittavan oikosulkukestoisuuden mukaan. Useamman muuntajan tapauksessa voi keskus olla muuntajakohtainen, jolloin päästään pienempiin keskuksen oikosulkuvirtoihin ja tällöin rakennetaan keskusten väliin normaalisti auki olevia varayhteyksiä. Yhteisen keskuksen ei tulisi liittää yli 1600 kVA:n muuntajatehoa. (ST 53.11 2003, 15.)

Keskus varustetaan pääkytkimellä, joka on mitoitettu kuormitusvirran ja sallitun muuntajan ylikuormituksen mukaan sekä joka on kykenevä avaamaan ja sulkemaan myös ylikuormituksessa olevan muuntajan. 1000 A ja sitä suurempi nimellisvirtainen keskus tulee varustaa maadoituskohtioilla tai maadoituskytkimillä. Maadoituskohtiot on suositeltavaa rakentaa molemmille puolille pääkytkintä, jolloin keskuksen puoleisiin voidaan liittää varavoimakone muuntajan huollon tai vian aikana ja muuntajan puoleisia voidaan käyttää maadoitukseen muuntajan huollon aikana. Muuntajan kuormituksen valvonnan takia, keskuksen tulisi asentaa virtamittaus, josta voidaan lukea esimerkiksi virran 15 minuutin keskiarvo. Suositeltavaa on käyttää hyväksi havaittua digitaalista mittausta ja esimerkiksi suomalaista Pihimittaria, jolla on hyvät ominaisuudet ja tallenteiden purkumahdollisuus tietokoneella. (ST 53.11 2003, 15–16.)

## 5.4 Kaapelit

Muuntamoissa on vakiintunut tapa käyttää sulakkeiden suojaaman muuntajan syöttökaapelina yksivaiheista PEX-eristeistä keskijännitekaapelia HXCMK 1x35/16Cu. Katkaisijan suojaaman muuntajan tapauksessa tämä kaapeli ei yleensä ole riittävä, vaan silloin keskijännitekaapeli mitoitetaan normaalin mitoituskäytännön mukaan, eli verkon oikosulkuvirran ja katkaisijan laukaisuajan sekä kaapelin kuormituksen mukaan ottaen huomioon kaapelireitin asennusolosuhteet ja mahdolliset kertoimet. On myös järkevää käyttää keskijännitteellä verkonhaltijan kanssa samoja kaapelityyppejä, jolloin mahdollista korjausapua kaapelin vikatilanteessa on todennäköisesti pikaisesti saatavilla. (ST 53.11 2003, 10, 17).

AHXAMK-W keskijännitemaakaapeli on hyvin yleisesti käytetty tyyppi luotettavuutensa ja vikavirtojen hallintansa johdosta, tämän kaapelin keskusköyden yhdistäessä yleensä muuntamoiden maadoitukset toisiinsa sekä sen toimiessa osittain myös maadoituselektronina. Keskijännitekaapeleissa päätteet ja vaipat maadoitetaan yleensä aina muuntamoasennuksissa ja erityisen tärkeää on maadoittaa kosketussuojattujen päätteiden yhteydessä sekä pääte että konsentrinen johdin kaapelin kummassakin päässä, jolloin vältytään päätteen potentiaalintasausjohtimien ylikuumenemiselta. (Verkostosuositus RM 3:02, 36.)

Sähkökäyttäjän muuntamossa muuntajalta lähtevää pienjännitekaapelia, kiskosta tai suurvirtajärjestelmää sekä pienjännitekeskusta suojaavat keskijännitesulakkeet, joiden laukaisukäyrän sekä kaapelien todellisen kuormituksen ja ympäristötekijöiden mukaan pienjännitekaapelit mitoitetaan. Eri valmistajien laukaisukäyrät eroavat toisistaan ja keskijännitesulakkeet valitaankin sulake- tai laitteistovalmistajan suosituksen mukaan ja tuleekin valita sulake, joka antaa tehokkaan suojan myös pienjännitepuolella tapahtuvassa pienehkön oikosulkuvirran viassa. (ST 53.11 2003, 14; Verkostosuositus RM 3:02, 23, 27–28.)

Muuntamon pienjännitepääkeskukselta lähtevät kaapelit mitoitetaan normaalin standardin mukaisen 5 sekunnin laukaisuajan sekä kaapelien ylikuormitus-suojaus määräysten mukaan huomioiden vierekkäiset kaapelit ja vallitsevat olosuhteet soveltuvin kertoimin (Lakervi & Partanen 2008, 198–203).

## 6 SÄHKÖNKÄYTTÄJÄN MUUNTAMON MAADOITUKSET

Maadoituksilla on sähköturvallisuuden kannalta ensisijaisena tarkoituksena rajoittaa vikatapauksessa esiintyviä kosketusjännitteitä ja askeljännitteitä sekä estää vaarallisten jännitteiden siirtymistä järjestelmästä toiseen, estää vaarallisten vuotovirtojen, kipinöiden ja valokaarien syntyminen ja luoda toimintaedellytykset maasulku- ja vikasuojaukselle. Maadoituksilla on lisäksi tehtäviä myös häiriösuojauksen kannalta sekä suojauduttaessa ilmastollisia tai käyttötaajuisia ylijännitteitä vastaan. Maadoitusjärjestelmän mitoituksessa olennaiset tekijät ovat: vikavirran suuruus, vian kestoaika ja maaperän sekä maadoituselektrodin ominaisuudet. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2007, 25, 53; SFS 6001 2015, 91.)

Keskijänniteverkon ja pienjänniteverkon maadoitukset tulee yleensä sähkönkäyttäjän muuntamoilla yhdistää. Tällä tavoin luodaan edellytykset laajaan maadoitusjärjestelmään liittymiselle, mikä osaltaan mahdollistaa näennäisen tasapotentiaalinen muodostuksen maadoitusjärjestelmässä ja näin ehkäisee vaarallisen korkeiden kosketusjännitteiden syntymisen paikallisessa maadoitusjärjestelmässä. Tyypillisiä esimerkkejä laajan maadoitusjärjestelmän toteutumisesta ovat kaupunkien keskustat tai tiheästi rakennetut alueet ja teollisuusalueet, joilla on laaja toisiinsa luotettavasti yhdistetty pienjännite- ja suurjännitemaadoitusverkko. Verkkoja yhdistävinä johtimina toimivat muun muassa keskijännitekaapelien keskusköydet, kaapelien konsentriset johtimet sekä maadoitusjohtimet ja maaperä. Laajan maadoitusjärjestelmän olemassaolo ja toteutuminen todetaan mittauksin tai laskelmin ja siitä on oltava riittävät dokumentit. (SFS 6001 2015, 23, 136, 145, 150.)

Maadoituselektrodi rakennetaan aina jokaiselle muuntamolle. Sen muoto ja vaadittu maadoitusimpedanssin mitoitusarvo voivat vaihdella muuntamotyypistä ja sijoituspaikasta riippuen. Maadoituselektrodi voi olla vaakaelektrodi, joka on yleisimmin käytetty tai pystyelektrodi, jota käytetään esimerkiksi maan resistiivisyyden ollessa pienempi syvemmillä maassa ja kun tämä halutaan hyödyntää tai maadoituselektrodi voi myös olla näiden kahden yhdistelmä. Mekaanisen lujuuden ja korroosionkestävyyden takia maadoituselektrodin poikkipinnan tulee olla kuparijohdinta käytettäessä vähintään  $16 \text{ mm}^2$  paikassa, jossa kokemuksen

mukaan sen vaurioitumisen riski on pieni, kuten esimerkiksi pylvään tyvimaadoituksessa ja muutoin poikkipinnan on oltava vähintään 25 mm<sup>2</sup>. (SFS 6001 2015, 110; Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry 2007, 81–82.)

Maadoitusjohtimien on oltava mekaanisen lujuuden ja korroosion kestävyys takia vähintään 16 mm<sup>2</sup> kuparijohdinta käytettäessä, lukuun ottamatta mittamuuntajien toisiopiirien maadoituksia, joiden on oltava mekaanisesti suojattuna 2,5 mm<sup>2</sup> tai suojaamattomana 4 mm<sup>2</sup> kuparia (SFS 6001 2015, 92).

Maadoituselektrodien ja maadoitusjohtimien mitoitus täytyy suorittaa myös termisen lujuuden mukaan tarkasteltuna, jolloin niiden poikkipinta määräytyy käyttöpaikalla vallitsevien vikavirtojen suuruuden ja kestoajan mukaan. Suurin huomioon otettava esiintyvä vikavirta riippuu verkon maadoitustavasta ja on esimerkiksi maasta erotetussa keskijänniteverkossa kaksoismaasulkuvirta, jonka voidaan olettaa olevan 85 % alkuoikosulkuvirran arvosta. Lisäksi maadoitusjärjestelmän johtimien mitoituksessa otetaan huomioon maasulun aikana maavirran aiheuttamat, paikallisesti esiintyvät kosketusjännitteet ja askeljännitteet, joiden suuruuteen maadoitusjohtimien poikkipinnoillakin voidaan järjestelmän maadoitusimpedanssin kautta vaikuttaa. (SFS 6001 2015, 93–94.)

Alle 5 sekuntia kestäville vikavirroille maadoituselektrodin ja maadoitusjohtimien poikkipinta termisen kuormitettavuuden näkökulmasta voidaan laskea standardista löytyvällä kaavalla ja yli 5 sekuntia kestäville vikavirroille sallitut johtimien poikkipinnat valitaan standardin taulukoista. Johtimen sallittu loppulämpötila valitaan johdintyyppin ominaisuuksien mukaan, josta yleisesti on kirkkaalla kuparijohtimella käytetty arvoa 300 °C ja eristetyllä kuparijohtimella arvoa 160 °C, jonka johtimen PVC-eriste kestää sulamatta. (SFS 6001 2015, 111–113.)

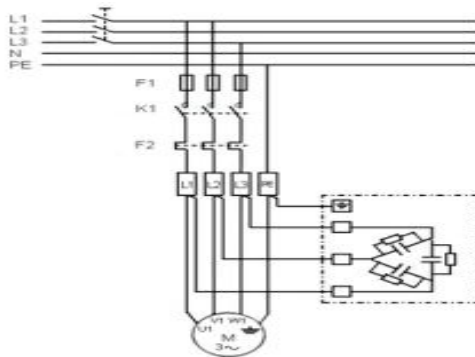
Sähkönkäyttäjän muuntamossa on yleisesti käytetty maadoituselektronina 25 mm<sup>2</sup> kupariköyttä renkaan muotoon muuntamon ympärille routarajan alle, eli noin 0,7 m syvyyteen asennettuna, jolloin molemmat päät renkaasta kytketään muuntamon maadoituskiskoon. Lisäksi, jos ei olla laajan maadoitusjärjestelmän alueella ja suurimman sallitun kosketusjännitteen ehto ei täyty, tehdään puistomuuntamolle potentiaaliohjauselektrodi enintään 0,5 m:n syvyyteen ja 1 m:n etäisyydelle puistomuuntamosta. Maadoitusjohtimien poikkipintana on sähkönkäyttäjän muuntamossa käytetty 50 mm<sup>2</sup> kirkasta kuparia, jolloin on päästy





## 7 LOISTEHON KOMPENSOINTI PIENJÄNNITEVERKOSSA

Jotkin sähkölaitteet, kuten esimerkiksi muuntajat, moottorit ja purkauslamput tarvitsevat toimiakseen magneettikentän ylläpitoon loistehoa, varsinaisen työtä tekevän pätötehon lisäksi. Laitteiden tarvitsema loisteho voidaan joko ottaa energialaitoksen sähköjakeluverkosta tai se voidaan tuottaa itse paikallisesti esimerkiksi kondensaattoreilla, jolloin puhutaan yleisesti loistehon kompensoinnista. Sähköverkon läpi siirrettävä näennäisteho koostuu pätötehosta ja loistehosta, eli loistehon syntyyn tarvittava virtakomponentti on näin siirrettävä sähköverkon läpi, ellei sitä tuoteta paikallisesti. Loistehon siirto sähköverkon läpi aiheuttaa komponenteille virtarasituksia ja lämmittää niitä lisäämällä siirrettävää kokonaisvirtaa ja näin sitä kautta lisää sähköverkossa aiheutuvia pätötehohäviöitä sekä lisää näin myös jakeluverkossa syntyviä jännitehäviöitä. Sähköjakeluverkkoyhtiöt ovatkin määritelleet loistehon käytölle ilmaisosuuden, jonka ylityksessä loistehosta veloitetaan mittauksen perusteella, kuten pätötehostakin. (ST 52.15 2014, 1-2, 5-6). Tyypillinen ilmaisosuus voi esimerkiksi olla 16 % pätötehon huipputuntikeskitehosta laskettuna, kuten Raahen Energialla on ja tämän ylittävä loistehon [kVAr] käyttö laskutetaan sähkökäyttäjältä.



Kuvio 10. Laitekohtainen loistehon kompensointi (ST 52.15 2014, 4).

Loistehon kompensointi toteutetaan laitekohtaisesti laitteiston rinnalle asennettavien kondensaattorien avulla (Kuvio 10), ryhmäkohtaisesti esimerkiksi 3-vaiheisen purkauslamppu ryhmän rinnalle asennettujen kondensaattorien avulla tai mikä on nykyään suositeltavinta, keskitetysti pää- tai ryhmäkeskuksien rinnalle asennettujen loistehon säätöautomatiikalla varustettujen estokelapatteris-tojen avulla. Loistehon säätöautomatiikalla varustetuissa estokelaparis-toissa on

tyypillisesti 6-12 kpl kondensaattoriporrasta, joita säädin kytkee päälle ja pois kontaktorien tai tyristorien avulla, sähköverkosta tekemiensä loistehomittausten perusteella. Säädin mittaa kompensoitavan verkon jännitettä, virtaa sekä niiden välistä kulmaa, mitä varten sille on yleensä asennettava virtamuuntaja ja jännitteen mittaus kompensoitavasta keskuksista. (ST 52.15 2014, 4-5, 6.)

Kondensaattorit on varustettava sarjaan kytketyillä estokeloilla tai muuten kondensaattori ja verkon induktanssit saattavat muodostaa rinnakkaisresonanssitaajuuden verkossa esiintyvien yliaaltojen kanssa, vahvistaen yliaallot ja näin myös verkon jännitesärön moninkertaiseksi. Estokelapariston kapasitanssin ja induktanssin suhde viritetään niin, että se muodostaa resonanssitaajuuden jollekin ei harmoniselle taajuudelle, kuten esimerkiksi yleisesti käytetylle viritystaajuudelle 189 Hz. Estokalaparistolla on vähäinen yliaaltojen suodatusominaisuus ja erittäin paljon yliaaltoja sisältävässä verkossa loistehon kompensointi suoritetaan yliaaltosuodatinlaitteilla, joka samalla viritetään suodattamaan haluttuja yliaaltotaajuuksia. Yliaaltoja verkkoon ja näin sinimuotoisen jännitteen säröytymistä ja nollavirtoja aiheuttavat kuormitukset, jotka ottavat sähköverkosta siniaallosta poikkeavaa virtaa. Tällaisia kuormimia ovat muun muassa tietokoneet ja elektroniikkalaitteet ja tästä aiheutuvasta resonanssivaarasta johtuen perinteisiä kompensointiparistoja ilman estokeloja ei voi enää uusissa asennuksissa käyttää. (ST 52.15 2014, 3-5; ST 52.16 2014, 1-2.)

Tehokerroin  $\cos \varphi$  ilmaisee pätötehon suhdetta näennäistehoon ja kuvaa näin myös kuormituksen loistehon tarvetta. Kuormituksen tarvitsema loistehon määrä voidaan määrittää laskemalla tai taulukoista kun tiedetään kuormituksen jakauma, tehokerroin ja kuormituksen suuruus tai se voidaan myös mitata. Mittaus suoritetaan suurimman loistehon kulutuksen aikaan verkkoanalysaattorilla, jolla on mahdollista tallentaa pidemmän ajan mittaustuloksia, kun ensin on varmistuttu mittauksin ja tarkastuksin mahdollisesti olemassa olevien kondensaattoreiden kunnosta. Myös sähköverkkoyhtiöltä saa toteutuneet loistehon kulutus-tiedot. (ST 52.15 2014, 2-4.)

## 8 VARMENNETUT SÄHKÖNJAKELUJÄRJESTELMÄT

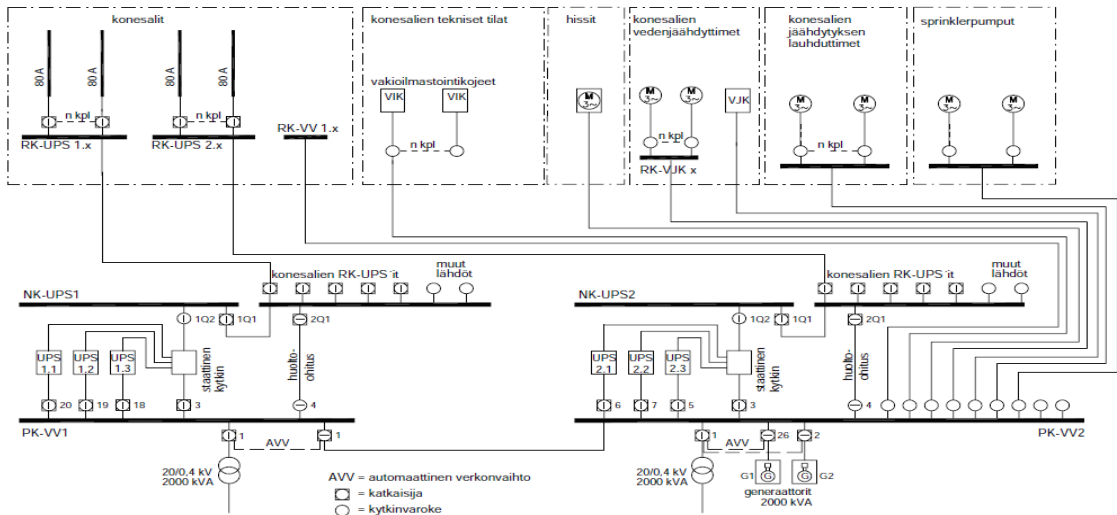
Sähkön syötön varmentamisen taustalla ovat aina toiminnalliset, taloudelliset tai turvallisuusnäkökohdat, mutta varmennettua sähkönjakelua toteutettaessa varmentamisen minimirajana on pidettävä turvallisuusnäkökohtien täyttymistä. Sähkön syötön varmentaminen on monitahoinen kokonaisuus, missä varmennuksen laajuuden ja tarvittavan tehon lisäksi on ratkaistava myös varmennukselta vaadittava toiminta-aika sekä järjestelmän luotettavuus, jotka voidaan määrittää esimerkiksi kohteen riskikartoitusta apuna käyttäen. (ST-käsikirja 20 2005, 27, 38–39.)

Varmennustason mukaan voidaan kohteet jakaa kahteen järjestelmätyyppiin: turvasyöttöjärjestelmiin, joiden tarkoituksena on varmistaa ihmisen turvallisuudelle tärkeiden laitteiden toiminta sekä varavoimajärjestelmiin, joiden tarkoituksena on varmistaa toiminnan jatkuminen muista kuin henkilöturvallisuuteen liittyvistä syistä (ST-käsikirja 20 2005, 50).

Turvasyöttöjärjestelmille on asetettu vaatimuksia ja määräyksiä ja turvasyötön automaattinen kytkeytyminen luokitellaan kytkeytymisaikaluokkiin ajan perusteella, jolloin automaattinen syöttö on käytettävissä sähkön syötön katkettua seuraavasti: katkeamaton, jolloin automaattinen syöttö on käytettävissä katkeamattomasti, hyvin lyhyt katko 0,15 sekuntia, lyhyt katko 0,5 sekuntia, keskipitkä katko 15 sekuntia ja pitkä katko yli 15 sekuntia. Turvasyöttöjärjestelmiä käytetään muun muassa lääkintätiloissa, kuten leikkaussaleissa sekä turvavalaistusjärjestelmissä. (ST-käsikirja 20 2005, 53–54.)

Varavoimajärjestelmät voidaan jakaa yleisesti kahteen tyyppilliseen järjestelmään: katkoton sähkön syöttö eli UPS-järjestelmä tai katkollinen sähkön syötön järjestelmä. Katkottoman sähkön syötön järjestelmät toteutetaan joko staattisilla UPS-järjestelmillä, jotka käyvät sähköverkon rinnalla energian ollessa varastoituna akustoihin tai dynaamisilla UPS-järjestelmillä, joissa energian on varastoituna rinnalla pyörivän sähkökoneen huimamassoihin. Katkollisessa järjestelmässä varavoimakoneena toimii esimerkiksi dieselgeneraattori, joka käynnistyy tyyppillisesti 5-10 sekunnin kuluttua sähkökatkosta automaattisesti tai on käynnistettävä käsin. Myös erillinen, varasyöttöyhteyden kautta toteutettu normaalis-

ta syötöstä täysin riippumaton sähkön syöttö, voi toimia varavoimalähteenä tai turvasyöttöjärjestelmän tehonlähteenä. (ST-käsikirja 20 2005, 54, 59, 73.)



Kuvio 11. Redundanttinen sähköjakaajärjestelmä keskijännitekojeista saakka (ST-käsikirja 20 2005, 97).

Järjestelmää sanotaan redundanttiseksi, kun rinnakkaisia yksiköitä on enemmän kuin kuormituksen syöttäminen edellyttää, eli yhden yksikön vikaantuminen tai huolto ei vaaranna järjestelmän toimintaa ja näin redundanttisuudella saavutettava järjestelmän luotettavuus on moninkertainen yksittäisten laitteiden käyttöön verrattuna. Kuviossa 11 on sähkön syötölle kriittisen konesalin varmennettu sähköjakaajärjestelmä, missä redundanttisuus on toteutettu keskijännitekojeiston syötöistä lähtien kaikki sähköjärjestelmät kahdentaen, jolloin säilytetään laitoksen toimintakyky yhden vian sattuessaakin. (ST-käsikirja 20 2005, 91–92.)

Varmennettavat kuormitukset voidaan jakaa sähkön syötön kannalta kahteen luokkaan: UPS-varmennettavat kuormat, joille ei sallita jännitekatkoa ja varavoimalla varmennettavat kuormat, joille sallitaan varavoiman kytkeytymisen vaatima jännitekatko. Vaativimpia kuormia jännitekatkon pituuden sietämisen näkökulmasta ovat tietokoneet, joiden sietämä jännitekatko on tyypillisesti vain noin 10–20 ms. Moottori- ja muuntajakuormien varmentaminen voi olla haastavaa niiden suurien käynnistysvirtojen johdosta. (ST-käsikirja 20 2005, 103–106.)

## 9 MUUNTAMON LAITTEIDEN MITOITTAMINEN JA MÄÄRITTELEMINEN

Raahen sairaalan muuntamon laitteiden määrittelyminen ja mitoittaminen suoritetaan tässä yhteydessä sähkökäyttäjän muuntamolle annettujen ohjeiden ja vaatimusten, alan kirjallisuudesta löytyvien ohjeiden sekä teknisien vaatimusten ja tarkoituksenmukaisuuden perusteella.

### 9.1 Jakelumuuntajan mitoittaminen ja määrittelyminen

Jakelumuuntajan mitoittaminen Raahen sairaalalle suoritetaan tarvittavan suurimman sähkötehon ja arviotavan sähkökäytön kasvuennusteen perusteella sekä jakelumuuntajaa valittaessa vertailussa ovat lisäksi kokonaishäviöiden ja hankintahinnan mukaan lasketut elinkaarikustannukset. Vertaillaan sähköisen mitoituksen mukaan soveltuvaa ja kahta sitä suurempaa jakelumuuntajaa keskenään, koska muuntajan valinnassa ei aina yksioikoisesti sähköiseltä mitoitukseltaan pienin soveltuva muuntajakoko ole elinkaarikustannuksiltaan järkevin vaihtoehto. Jakelumuuntajan tyypin ja koon valinta suoritetaan teknisen soveltuvuuden ja elinkaarikustannuslaskelmien pohjalta.

#### 9.1.1 Jakelumuuntajan mitoittaminen

Verkkoyhtiöltä saadun vuoden 2015 sähkökäyttöraportin perusteella suurin esiintynyt tuntikeskiteho on ollut 577 kW, joka on esiintynyt helmi- ja joulukuussa. Sairaalalla esiintyy myös kesällä lähes yhtä suuri huipputehon tarve johtuen jäähdytysten suuresta määrästä, josta esimerkkinä elokuun 565 kW:n mitattu tuntikeskiteho. (Raahen Energia Oy 2016.)

Jakelumuuntajan mitoitus voidaan suorittaa kaavan 3 mukaan. (Simonen 2006, 54.)

$$P * \left(1 + \frac{r}{100}\right)^t < k * S_n * \cos \theta \quad (3)$$

missä

$P$	on	muuntopiirin maksimiteho [W]
$t$	on	kuormituksen kasvuaika [a]
$r$	on	kuormituksen kasvuprosentti [%]
$k$	on	jakelumuuntajan ylikuormituskerroin
$S_n$	on	jakelumuuntajan nimellisteho [VA]
$\cos \theta$	on	kuormituksen tehokerroin

Jakelumuuntajan mitoitus Raahan sairaalalle, kun tehokerroin kompensoidaan arvoon 0,95, muuntajan ylikuormitettavuus arvona on 1, koska muuntajan kuormitus on lähellä huippuaan kesälläkin ja muuntaja halutaan mitoittaa nimellisteholle ilman ylikuormitusta ja kuormituksen kasvuprosenttina käytetään 0 %:

$$577 \text{ kW} * \left(1 + \frac{0}{100}\right)^{40} < 1 * S_n * 0,95 \quad \text{eli} \quad S_n > \frac{577 \text{ kW}}{0,95} \Rightarrow S_n > 607,4 \text{ kVA}$$

Näin ollen tehon puolesta soveltuva jakelumuuntaja olisi kooltaan 630 kVA.

### 9.1.2 Jakelumuuntajan kuormituksen kasvuennuste

Sairaalan teknisen henkilökunnan haastatteluiden perusteella sähkönkäyttöön ei ole oletettavissa kasvua, koska suunnitteilla ei ole sähkönkäyttöä lisääviä sairaalarakennuksen laajennus tai muutos investointeja tai merkittäviä laitehankintoja ja viime vuosina on jo toteutettu esimerkiksi kaikki sähkönkäyttöä lisäävät merkittävät jäähdytyslaitte investoinnit (Ukura 2016). Kun vertaillaan sairaalan viimeisen viiden vuoden toteutuneita sähköenergian vuosikulutuksia keskenään, voidaan todeta vuosittaisen energiankulutuksen vaihdelleen vuoden 2011 tasoon nähden välillä +2-(-3) %, viime vuoden kulutuksen ollessa vertailujakson suurinta (Kastell 2016). Tämänkään vertailun perusteella ei siis sairaalan sähköenergian kulutukseen ole ennustettavissa merkittävää kasvua.

Tilanteeseen sopivasti mukautetun kaavan 4 avulla voidaan laskea vuosittainen kuormituksen kasvuprosentti, jolla korotettuna muuntaja käy 40 vuoden mittaisen elinkaarensa lopussa nimelliskuormallaan (Karjalainen 2016)

$$S_F = S * \left(1 + \frac{r}{100}\right)^n \quad (4)$$

missä

$S_F$	on	nimelliskuorma laskentajakson lopussa [VA]
$S$	on	nimelliskuorma laskentajakson alussa [VA]
$r$	on	kuormituksen kasvuprosentti [%]
$n$	on	laskenta aika [a]

Kaavan avulla laskemalla huomataan, että 630 kVA:n muuntaja ei siis salli tehonsa puolesta elinkaarensa aikana käytännössä ollenkaan vuosittaista kuormituksen kasvua, 800 kVA:n muuntajalla kuormitustehon kasvu voi olla n. 0,7 % vuodessa ja 1000 kVA:n muuntajalla n. 1,3 % vuodessa, jotta mitoitusteho riittää koko elinkaaren ajan.

### 9.1.3 Jakelumuuntajan häviötehojen laskeminen

Muuntajan kuormitushäviöt ovat neliöllisesti riippuvaisia muuntajan kuormituksesta suhteessa muuntajan nimellistehoon kaavan 1 mukaisesti. Esimerkkinä seuraavassa on 630 kVA:n muuntajan kuormitushäviöiden laskenta mitatulla 607.4 kVA:n huippukuormituksella:

$$P_k = \left(\frac{607kVA}{630kVA}\right)^2 * 6500 W = 6034 W$$

Muuntajan kokonaishäviöt muodostuvat kaavan 2 mukaan tyhjäkäyntihäviöistä ja kuormitushäviöistä ja ovat seuraavan esimerkkilaskelman mukaisesti edellisen muuntajan tapauksessa:

$$P_h = 600 W + 6034 W = 6634 W$$

Muuntajien eri energialuokkien mukaiset tyhjäkäyntihäviöt ja edellisellä tavalla lasketut kuormitushäviöt on laskettu valituille kolmelle eri muuntaja koolle muuntajan eristeaineen mukaan taulukoihin 6 ja 7 luokiteltuna.

#### 9.1.4 Jakelumuuntajan elinkaarikustannusten laskeminen

Jakelumuuntaja investoinnin kokonaiskustannukset, tämän päivän rahallisessa arvossa laskettuna, saadaan diskonttaamalla koko tarkasteluajan häviökustannukset rakentamisajankohtaan nykyarvomenetelmän mukaisesti, lisättynä muuntajan investointi- ja rakentamiskustannuksilla seuraavan tilanteeseen muutetun kaavan 5 avulla (Lakervi & Partanen 2008, 65). Muuntajalla ei laskelmissa katsota olevan jäännösarvoa, vaan jäännösarvon katsotaan riittävän kattamaan muuntajan hävityskustannukset elinkaaren lopussa.

Laskelmissa käytettävä häviösähkön hinta 0,08 €/kWh on likimääräisesti tämän hetkinen markkinahinta, jonka Raahen sairaala maksaa yhteensä siirto- ja energiamaksuina, ilman arvonlisäveroa (Kastell 2016). Laskentakorkona laskelmissa käytetään tasoa 4 %, muuntamon pitoajan ollessa 40 vuotta (Lakervi & Partanen 2008, 84, 88).

$$K = K_R + K_{h,m} \tag{5}$$

missä

$K$	on	nykyarvoon diskontatut kokonaiskustannukset [€]
$K_R$	on	investointikustannukset [€]
$K_{h,m}$	on	muuntajan diskontatut pitoajan kustannukset [€]

Muuntajan nykyarvoon diskontatut pitoajan kustannukset edellistä kaavaa varten saadaan puolestaan laskettua kaavalla 6 (Simonen 2006, 55).



$$K_{h,m} = \kappa_1 * P_{k0} * H_{hE} * t_h + \kappa_2 * P_{00} * H_{hE} * 8760h \quad (6)$$

missä

$H_{hE}$	on	häviöenergian hinta [€]
$P_{k0}$	on	alkuhetken kuormitushäviöt [W]
$P_{00}$	on	alkuhetken tyhjäkäyntihäviöt [W]
$\kappa_1$	on	diskonttauskerroin kuormitushäviöille
$\kappa_2$	on	diskonttauskerroin tyhjäkäyntihäviöille
$t_h$	on	häviöiden huipunkäyttöaika [h]

Edellistä kaavaa varten täytyy määrittää diskonttauskertoimet  $\kappa_1$  ja  $\kappa_2$ . Muuntajan kuormitushäviöille mahdollisen vuotuisen kuormituksen kasvun huomioon ottava diskonttauskerroin lasketaan kaavalla 8, jota varten lasketaan ensin apukerroin kaavalla 7. (Simonen 2006, 14–15.)

$$\Psi_1 = \frac{\left(1 + \frac{r}{100}\right)^2}{1 + \frac{p}{100}} \quad (7)$$

$$\kappa_1 = \Psi_1 * \frac{\Psi_1^T - 1}{\Psi_1 - 1} \quad (8)$$

missä

$\Psi_1$	on	apukerroin
$r$	on	kuormituksen vuotuinen kasvuprosentti [%]
$p$	on	laskentakorko [%]
$T$	on	muuntajan pitoaika [a]

Esimerkki 630 kVA:n jakelumuuntajan diskonttauskertoimen  $\kappa_1$  laskemisesta Raahen sairaalan tapauksessa, kun kuormituksen kasvu muuntajalla on 0 %:

$$\psi_1 = \frac{\left(1 + \frac{0\%}{100}\right)^2}{1 + \frac{4\%}{100}} = 0,96154$$

$$\kappa_1 = 0,96154 * \frac{0,96154^{40v} - 1}{0,96154 - 1} = 19,793$$

Muuntajan tyhjäkäyntihäviöille diskonttauskerroin lasketaan kaavalla 10, jota varten lasketaan ensin apukerroin kaavalla 9 (Simonen 2006, 16).

$$\psi_2 = \frac{1}{1 + \frac{p}{100}} \quad (9)$$

$$\kappa_2 = \psi_2 * \frac{\psi_2^{T-1} - 1}{\psi_2 - 1} \quad (10)$$

missä

$\psi_2$  on apukerroin

Esimerkki 630 kVA:n jakelumuuntajan diskonttauskertoimen  $\kappa_2$  laskemisesta:

$$\psi_2 = \frac{1}{1 + \frac{4\%}{100}} = 0,96154$$

$$\kappa_2 = 0,96154 * \frac{0,96154^{40v} - 1}{0,96154 - 1} = 19,793$$

Huomataan, että diskonttauskertoimiksi  $\kappa_1$  ja  $\kappa_2$  muodostuu sama luku, koska vuotuista kuormituksen kasvua ei ole oletettavissa kuormitushäviöihin.

Elinkaarikustannuksien laskennassa apuna tarvittava tieto kuormituksen huipunkäyttöajasta saadaan laskemalla likiarvoisesti kaavalla 11 (Lappeenrannan teknillinen yliopisto 2010).

$$t_k = \frac{W}{P_{max}} \quad (11)$$

missä

$t_k$	on	kuormituksen huipunkäyttöaika [h]
$W$	on	vuosienergia [kWh]
$P_{max}$	on	kuormituksen huipputeho [W]

Raahen sairaalan kuormituksen huipunkäyttöajan laskenta:

$$t_k = \frac{2890217kWh}{577kW} = 5009.04 h$$

Kuormituksen huipunkäyttöajan perusteella voidaan laskea likimääräisesti häviöiden huipunkäyttöaika kaavalla 12 (Lappeenrannan teknillinen yliopisto 2010). Häviöiden huipunkäyttöaika voidaan saada myös verkonhaltijan verkostolaskentaohjelmasta tai ellei parempaa tietoa ole käytettävissä, voidaan käyttää taulukoiden mukaisia arvoja (Lakervi & Partanen 2008, 35).

$$t_h \approx 0,17 * t_k + 0,83 * \frac{t_k^2}{8760h} \quad (12)$$

missä

$t_h$	on	häviöiden huipunkäyttöaika [h]
-------	----	--------------------------------

Raahen sairaalan häviöiden huipunkäyttöajan laskenta:

$$t_h \approx 0,17 * 5009,04h + 0,83 * \frac{(5009,04h)^2}{8760h} = 3228,83 h$$

Esimerkkinä voidaan nyt laskea Raahen sairaalan muuntajan pitoajan häviökustannusten nykyarvo kaavan 6 mukaisesti 630 kVA:n muuntajalla:

$$K_{h,m} = 19,793 * 6,034kW * 0,08 \frac{\text{€}}{kWh} * 3228,83 h + 19,793 * 0,6kW * 0,08 \frac{\text{€}}{kWh} * 8760h = 39172,34 \text{ €}$$

Vastaavasti esimerkkinä voidaan nyt laskea muuntajan nykyarvoon diskonttatut kokonaiskustannukset kaavalla 5, kun tiedetään 630 kVA:n öljyeristeisen standardin häviövaatimuksien mukaisen muuntajan hankintakustannukset:

$$K = 12320 \text{ €} + 39172,34 \text{ €} = 51492 \text{ €}$$

Taulukoihin 7 ja 8 on laskettu edellä esitetyllä tavalla, eri häviöluokkien ja kolmen erikokoisen jakelumuuntajan elinkaarikustannukset sekä kuivamuuntajille että öljyeristeisille muuntajille, Raahen sairaalan tapauksessa.

Taulukko 7. Öljyeristeisten jakelumuuntajien lasketut elinkaarikustannukset.

Muuntajan koko [kVA]	Muuntajan energialuokka	Tyhjäkäyntihäviöt [W]	Kuormitus-häviöt nimellisteholla [W]	Kuormitus-häviöt 607,4 kVA kuormituksella [W]	Pitoajan häviökustannukset [€]	Hankinta hinta keskiarvo [€]	Pitoajan kustannukset yhteensä [€]
630	Standardi	600	6500	6034	39172	12320	51492
800	Standardi	650	8400	4836	33741	14410	48151
1000	Standardi	770	10500	3869	30461	16170	46631
630	Standardi +10-15%	690	7150	6637	43504	13398	56902
800	Standardi +10-15%	748	9240	5319	37570	15397	52967
1000	Standardi +10-15%	886	11550	4256	34049	17268	51317
630	$A_0 A_k$	600	4600	4270	30154	17695	47849
800	$A_0 A_k$	650	6000	3454	26675	20118	46793
1000	$A_0 A_k$	770	7600	2800	24996	24490	49486
630	Amorfinen tms.	310*	6400*	5941	34674	19601	54275
800	Amorfinen tms.	340*	6695*	3854	24420	21482	45902
1000	Amorfinen tms.	525*	10000*	3684	26117	27457	53574

\* = Amorfinen muuntajan häviöarvot ovat tapauskohtaisia

Hintatietoina muuntajilla on käytetty muutamilta valmistajilta pyydettyjen tarjouksien perusteella laskettua muuntajan hankintakeskihintaa. Hankintahinta on pääsääntöisesti sitä kalliimpi, mitä parempi on muuntajan energiatehokkuus.

Uusien hankittavien muuntajien tulee olla ekosuunnitteluvaatimuksien mukaisia aiheuttamiensa häviöiden puolesta, mutta vaatimuksissa on kuitenkin annettu

mahdollisuus tietyn prosentin mukaiseen häviöiden ylitykseen, mikäli muuntajassa on esimerkiksi jänniteenvaihtokytkin ja tätä energialuokkaa tarkoittaakin taulukoiden sarake standardi +10–15 %. Taulukoiden standardi sarake tarkoittaa ekosuunnitteludirektiivin mukaista perusmallista jakelumuuntajaa, jossa ei ole jännitteensäätö- tai jänniteenvaihtokytkintä. Amorfinen tai Super eco sarake tarkoittavat puolestaan energialuokkiin kuulumattomia, valmistajien erityisen pieni häviöisiä jakelumuuntajia, joiden häviöt ovat valmistajakohtaisia. Paras muuntajille luokiteltu energiatehokkuusluokka on puolestaan  $A_0A_k$ -luokka, jonka mukaiset arvot on laskettu samannimiseen sarakkeeseen.

Taulukko 8. Kuivamuuntajien lasketut elinkaarikustannukset.

Kuivamuuntaja							
Muuntajan koko [kVA]	Muuntajan energialuokka	Tyhjäkäyntihäviöt [W]	Kuormitushäviöt nimellisteholla [W]	Kuormitushäviöt 607,4 kVA kuormituksella [W]	Pitoajan häviökustannukset [€]	Hankintahinta keskiarvo [€]	Pitoajan kustannukset yhteensä [€]
630	Standardi	1100	7600	7055	51328	12320	63648
800	Standardi	1300	8000	4606	41581	14850	56431
1000	Standardi	1550	9000	3316	38454	17050	55504
630	Standardi +10-15%	1265	8360	7761	57226	17080	74306
800	Standardi +10-15%	1495	8800	5066	46638	20521	67159
1000	Standardi +10-15%	1783	9900	3648	43383	23095	66478
630	$A_0A_k$	1100	7100	6591	48956	13844	62800
800	$A_0A_k$	1300	8000	4606	41581	15897	57478
1000	$A_0A_k$	1550	9000	3316	38454	18159	56613
630	Super Eco tms.	570*	5400*	5013	33536	23625	57161
800	Super Eco tms.	610*	5900*	3397	25829	27636	53465
1000	Super Eco tms.	760*	7600*	2800	24857	32009	56866

\* = Super Eco muuntajan häviöarvot ovat tapauskohtaisia

### 9.1.5 Jakelumuuntajan valinta

Laskelmien perusteella valitaan Raahan sairaalan jakelumuuntajaksi 800 kVA:n muuntaja, joka osoittautuu elinkaarensa aikana kaikissa tapauksissa 630 kVA:n muuntajaa edullisemmaksi ja lisäksi se jättää mahdollisuuden sähkön kulutuksen n. 0,7 % vuosittaiselle kasvulle, lisäämättä kuitenkaan hankintakustannuksia 1000 kVA:n muuntajan hankinnan tavoin, kun muuntamoon tulee hankittavaksi kaksi muuntajaa. Energialuokaltaan minimivaatimuksia parempien jakelumuuntajien käyttöä tulee vertailun perusteella harkita vakavasti, niiden elinkaarikustannuksien ollessa useassa tapauksessa pienemmät.

Muuntajan tyypiksi valitaan, sairaalan sisälle kellariin muuntamo saneerattaessa, kuivamuuntaja sen hyvien palo-ominaisuuksien ja rakennuksen erityispiirteiden johdosta. Uuden, rakennuksen ulkopuolelle rakennettavan muuntamon toteutusvaihtoehdossa, valitaan muuntajatyypiksi öljyeristeinen jakelumuuntaja, sen hyvien käyttöominaisuuksien ja luotettavuuden johdosta.

Muuntaja varustetaan 10/20 kV jännitteenvaihtokytkimellä, koska verkkoyhtiö on oikeissa nostaa jakelujännitettä tulevaisuudessa (Uusivirta 2016). Muuntajan alajännitteeksi valitaan 400 V ja kytkentäryhmäksi Dyn 11. Muuntaja varustetaan lisäksi kosketinlämpömittarilla öljyeristeisen muuntajan tapauksessa tai vastaavalla lämpötilanvalvontalaitteella kuivamuuntajan tapauksessa, muuntajan ylikuormitus valvontaa varten.

## 9.2 Keskijännitekojeiston mitoittaminen

Muuntamon keskijännitekojeiston mitoituksessa on apuna taulukko 5, jonka sähkötekniisten arvojen mukaan sähkönkäyttäjän muuntamon keskijännitekojeisto voidaan yleensä toteuttaa. Tarkastetaan vielä laskelmin, että kyseiset arvot ovat riittäviä myös Raahan sairaalan muuntamolle.

Oikosulkuvirrat Raahan sairaalan 10 kV:n keskijänniteliitymässä ovat:  $I_{K2} = 2,54 \text{ kA}$  ja  $I_{K3} = 2,83 \text{ kA}$ .

missä

$I_{K2}$  on kaksivaiheinen oikosulkuvirta [A]

$I_{K3}$  on kolmivaiheinen oikosulkuvirta [A]

Kolmivaiheinen oikosulkuimpedanssi liittymässä voidaan silloin laskea kaavalla 13 (Elovaara & Haarla 2011a, 175).

$$Z_{sv} = \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot I_{K3}} \quad (13)$$

missä

$Z_{sv}$	on	10 kV taustaverkon impedanssi [ $\Omega$ ]
$c$	on	kerroin 1,1
$U$	on	pääjännite [V]

Kolmivaiheinen oikosulkuimpedanssi Raahen sairaalan liittymässä on tällöin:

$$Z_{sv} = \frac{1,1 \cdot 10000V}{\sqrt{3} \cdot 2830A} = 2,24412 \Omega$$

Terminen ekvivalenttinen oikosulkuvirta on kojeiston termisen oikosulkukestoisuuden tarkastelussa käytettävä suure, joka lasketaan kolmivaiheisen oikosulkuvirran ja sen kestoajan avulla kaavalla 14 (Elovaara & Haarla 2011b, 83).

$$I_{t1} = I_k * \sqrt{\frac{t_k}{t_1}} \quad (14)$$

missä

$I_{t1}$	on	ekvivalenttinen oikosulkuvirta [A]
$I_k$	on	kolmivaiheinen oikosulkuvirta [A]
$t_k$	on	oikosulkuvirran kesto aika [s]
$t_1$	on	ekvivalenttinen kesto aika [s]

Terminen ekvivalenttinen oikosulkuvirta Raahen Sairaalan keskijännitekojeistossa on tällöin 1 sekunnin kestoajalla:

$$I_{t1} = 2830A * \sqrt{\frac{0,1s}{1s}} = 895 A = 0,9 kA$$

Verrataan arvoa taulukon 5 keskijännitekojeiston 1 sekunnin termiseen oikosulkuvirtakestoisuus vaatimukseen, mikä on 20 kA >> 0,9 kA, eli vaatimus täyttyy.

Suurin esiintyvä oikosulkuvirta eli sysäysoikosulkuvirta asettaa kojeille puolestaan vaatimuksia mekaanisten voimavaikutuksien keston suhteen ja se voidaan laskea kaavan 15 mukaan (Elovaara & Haarla 2011b, 82).

$$i_p = k * \sqrt{2} * I_{k3} \quad (15)$$

missä

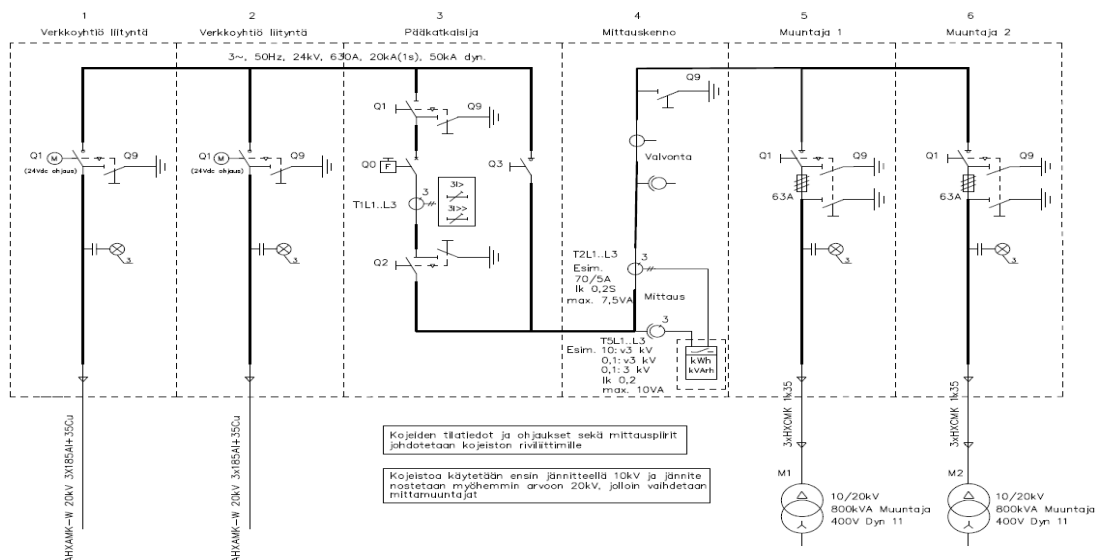
$i_p$  on sysäysoikosulkuvirta [A]  
 $k$  on kerroin 1,8 (suurjännitteellä)

Raahen Sairaalan keskijännitekojeistossa esiintyy tällöin sysäysoikosulkuvirta:

$$i_p = 1,8 * \sqrt{2} * 2830A = 7204 A = 7,2 kA$$

Verrataan arvoa taulukon 5 keskijännitekojeiston dynaamiseen oikosulkuvirta-kestoisuus vaatimukseen, joka on 50 kA >> 7,2 kA, eli vaatimus täyttyy.

Nimellisvirraltaan Raahen sairaalalle valittu 800 kVA:n muuntaja on yläjännitepuolelta noin luokkaa 46 A, joten myös taulukon 5 kojeiston 630 A nimellisvirta suositus on sen puolesta soveltuva.

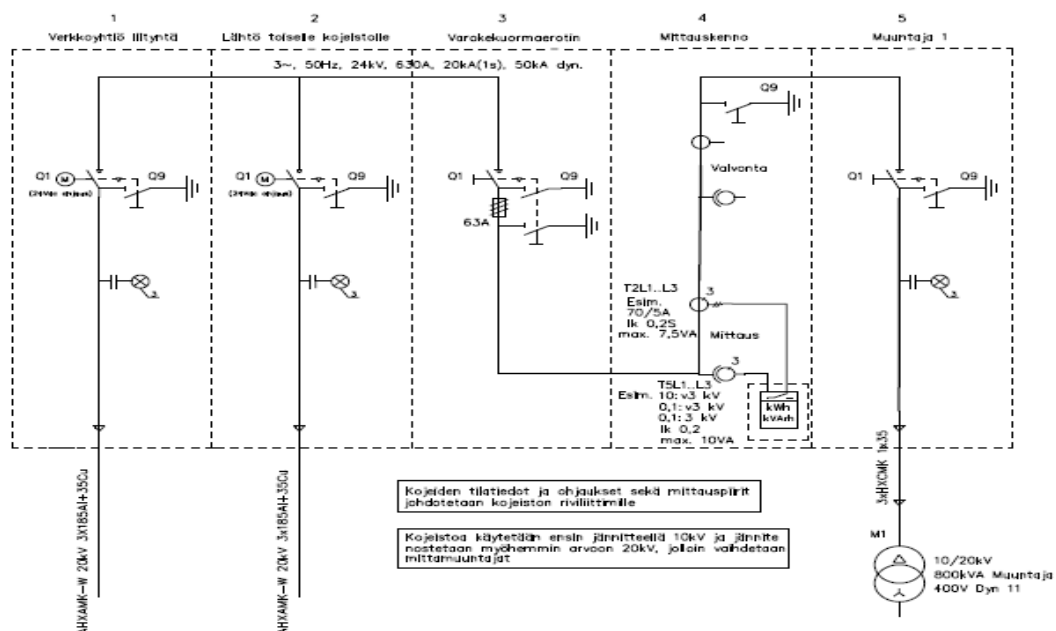


Kuvio 12. Periaatekaavio kahden muuntajan kojeistosta.



Todetaan, että Raahan sairaalan keskijännitekojeisto mitoitetaan taulukon 5 sähköteknisten suositusarvojen mukaan ja kohdan 5.1 mukaisilla komponenteilla varustettuna. Liitteessä 1 on keskijännitekojeistolle suunniteltu pääkaavio, jossa on suositusten periaatteiden mukainen kojeisto kahdelle jakelumuuntajalle. Periaatekaavio tästä on esitetty kuviossa 12.

Liitteessä 2 on suunniteltu kojeisto, joka kahdentamalla ja kojeistot keskijännitekaapelilla yhdistämällä, saadaan aikaan käyttövarma toteutus, jossa molemmat kojeistot syöttävät omaa jakelumuuntajaa. Periaatekaavio tästä on esitetty kuviossa 13.



Kuvio 13. Periaatekaavio kahdennettavasta kojeistosta.

Kojeisto voi kaikissa pääsähköjakelun rakenne malleissa ja molemmissa muuntamon toteutusvaihtoehdossa olla joko ilmaeristeinen tai SF<sub>6</sub>-eristeinen. Ilmaeristeinen kojeisto tosin vaikuttaa muuntamon tilantarpeeseen, suurentaen näin mitoiltaan mahdollista uutta muuntamorakennusta.

Huomataan kuitenkin tässä yhteydessä, että johtavien kojeistovalmistajien tuotteiden tutkimisen perusteella, SF<sub>6</sub>-eristeiselle RMU-kojeistolle annetaan valmistajan toimesta usein 30 vuoden elinikä, jonka jälkeen se on vaihdettava kokonaan uuteen. Ilmaeristeisen kojeiston eliniällä ei lähtökohtaisesti ole vastaavia rajoitteita ja sen voidaan olettaa olevan toimintakykyinen pidempään, kuten ny-

kyinen 50 vuoden ikäinen käytössä oleva ilmaeristeinen keskijännitekojeisto osoittaa.

### 9.3 Kaapeleiden mitoittaminen

#### 9.3.1 Keskijännitekaapelit

Keskijännitekaapelit mitoitetaan sähkökäyttäjän muuntamalla kuormitusvirran mukaisesti sekä termisten ja dynaamisten oikosulkuvirtojen kestoisuuden perusteella. Raahan sairaalan muuntajien lähdeissä käytetään sähkökäyttäjän muuntamoilla yleisesti käytettävää, varokekuormaerotin lähdeille soveltuvaa yksivaiheista kolmion muotoon sidottua keskijännitekaapelia HXCMK 1\*35/16 20 kV.

Erään esimerkki kaapelivalmistajan tällä asennustavalla asennetulle kaapelille sallittu jatkuva kuormitus, päätteet molemmissa päissä maadoittaen, on 195 A ja yhden sekunnin terminen oikosulkukestoisuus on 5 kA, joten se on tähän käyttöön soveltuva (Prysmian Finland Oy 2016).

Keskijännitekaapeloinnin vaikutus suurimpaan esiintyvään kolmivaiheiseen oikosulkuvirtaan voidaan laskea laskemalla ensin keskijännitekaapelista aiheutuva impedanssi kaavalla 16 (Huotari & Partanen 1998, 20).

$$Z_j = (r + jx) * l \quad (16)$$

missä

$Z_j$	on	kaapelin impedanssi [ $\Omega$ ]
$r$	on	kaapelin resistiivinen osa [ $\frac{\Omega}{km}$ ]
$jx$	on	kaapelin reaktiivinen osa [ $\frac{\Omega}{km}$ ]
$l$	on	kaapelin pituus [km]

Tätä varten lasketaan ensin kaapelin induktiivinen reaktanssi kaavalla 17.

$$X_L = 2 * \pi * f * L \quad (17)$$

missä

$X_L$	on	induktiivinen reaktanssi [ $\Omega$ ]
$f$	on	taajuus [Hz]
$L$	on	induktanssi [H]

Keskijännitekaapelin HXCMK 1\*35/16 20 kV tapauksessa arvolla 0,45 mH/km laskettuna:

$$X_L = 2 * \pi * 50\text{Hz} * 0,45 \frac{\text{mH}}{\text{km}} = 0,141 \frac{\Omega}{\text{km}}$$

Keskijännitejohtojen oikosulkulaskelmat tehdään johtimen 40°C lämpötilassa ja HXCMK 1\*35/16 20 kV tapauksessa sen resistanssin arvo on tällöin n.  $0,566 \frac{\Omega}{\text{km}}$  (Prysmian Finland Oy 2016; Lakervi & Partanen 2008, 30).

Nyt kaavan 16 avulla laskettuna kaapelin ollessa 10 m pitkä, saadaan sille seuraava impedanssi:

$$Z_j = (0,566 + j0,141) \frac{\Omega}{\text{km}} * 0,010\text{km} = (0,00566 + j0,00141)\Omega$$

$$Z_j = \sqrt{0,00566^2\Omega + 0,00141^2\Omega} = 0,00583 \Omega$$

Näin voidaan laskea nyt impedanssi muuntajan yläjännitenavoissa summaamalla taustaverkon impedanssi ja keskijännitekaapelin impedanssi. Taustaverkon impedanssin oletetaan tässä yhteydessä olevan kokonaan reaktiivista suurjännitetaustaverkossa:

$$Z_{10\text{kV}} = Z_{sv} + Z_j = \sqrt{0,00566^2\Omega + (0,00141 + 2,24412 \Omega)^2} = 2,24554 \Omega$$

Kolmivaiheinen oikosulkuvirta muuntajan yläjännitenavoissa on näin:

$$I_{K10kV} = \frac{1,1 * 10000V}{\sqrt{3} * 2,24554\Omega} = 2828 \text{ A} = 2,8 \text{ kA}$$

### 9.3.2 Pienjännitekaapelit

Pienjännitekaapelit mitoitetaan pääsääntöisesti kuormitettavuutensa perusteella ja niiden tulee myös kestää esiintyvät vikavirrat. Pienjännitekaapelien kuormitettavuuden on Raahan sairaalan muuntamon tapauksessa vähintään oltava 800 kVA:n muuntajan nimelliskuormalla:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} * U} = \frac{800 \text{ kVA}}{\sqrt{3} * 400V} = 1154 \text{ A}$$

Lasketaan seuraavaksi soveltuvien 400 V:n kaapelien ja muuntajan vaikutus muuntamossa esiintyviin suurimpiin oikosulkuvirtoihin. Myös pienjännitepuolen suurimpia oikosulkuvirtoja laskettaessa on käytetty johtimen resistanssi arvoja lämpötilassa 40°C.

Taustaverkon oikosulkuimpedanssi redusoidaan 10 kV:n puolelta 400 V:n puolelle kaavan 18 mukaan (Elovaara & Haarla 2011a, 135).

$$Z' = \left( \frac{U_{2R}}{U_{1R}} \right)^2 * Z_{10kV} \quad (18)$$

missä

$Z'$	on	400 V:n puolelle redusoitu oikosulkuimpedanssi [ $\Omega$ ]
$U_{2R}$	on	toisiopuolen nimellisjännite [V]
$U_{1R}$	on	ensiöpuolen nimellisjännite [V]

Eli Raahan sairaalan tapauksessa oikosulkuimpedanssin redusointi muuntajan 400 V:n puolelle:

$$Z' = \left( \frac{410V}{10250V} \right)^2 * 2,24554 \Omega = 0,00359 \Omega$$

400 V:n puolen oikosulkuimpedanssiin kuuluu lisäksi muuntajan oikosulkuimpedanssi, joka lasketaan muuntajan sähköisien arvojen perusteella kaavalla 19 (Elovaara & Haarla 2011a, 132). Käytettävä nimellisjännite valitaan sen mukaan, kummalle puolelle muuntajaa impedanssi lasketaan.

$$Z_m = \frac{z_k}{100} * \frac{U_R^2}{S_R} \quad (19)$$

missä

$Z_m$	on	muuntajan oikosulkuimpedanssi [ $\Omega$ ]
$z_k$	on	muuntajan suhteellinen oikosulkuimpedanssi [%]
$U_R$	on	muuntajan nimellisjännite [V]
$S_R$	on	muuntajan nimellisteho [VA]

Muuntajan oikosulkuimpedanssin laskenta 400 V:n puolelle Raahen sairaalan tapauksessa:

$$Z_m = \frac{4,7\%}{100} * \frac{410V^2}{800000VA} = 0,00987 \Omega$$

Muuntajan resistiivinen ja reaktiivinen osa huomioiden, kokonaisimpedanssi jakelumuuntajan toisiossa on:

$$Z_k = Z' + Z_m = \sqrt{0,000019^2 \Omega + (0,00359 \Omega + 0,00987 \Omega)^2} = 0,01346 \Omega$$

Kolmevaiheinen oikosulkuvirta muuntajan pienjännitenavoissa on näin:

$$I_{k3} = \frac{1,0 * 410V}{\sqrt{3} * 0,01346 \Omega} = 17586 A = 17,6 kA$$

Muuntajan pienjännitenavoissa esiintyy tällöin pienjännitteellä käytettävällä kertoimella 1,44, sysäysoikosulkuvirta:

$$i_p = 1,44 * \sqrt{2} * 17586 A = 35813 A = 35,8 kA$$

Vastaavasti muuntajan pienjännitenavoissa ekvivalenttinen 1 sekunnin oikosulkuvirta termisien vaikutuksen tarkasteluun on:

$$I_{t1} = 17586 A * \sqrt{\frac{0,3s}{1s}} = 9632 A = 9,6 kA$$

Muuntajan ja muuntamon pienjännitekeskuksen välisenä pienjännitekaapelointina voidaan näin Raahen sairaalan tapauksessa käyttää esimerkiksi kaapeleita 4x(AXMK 4G300). Tämä on myös kaapelivalinta muuntajan ja sairaalarakennuksen nykyisen pääkeskuksen välille, mikä saneerausvaihtoehdoksi valikoituu muuntamon saneeraus nykyiselle paikalle. Yhden AXMK 4G300 kaapelin kuormitettavuus on ilmassa 480 A ja kun se kerrotaan neljän kaapelin ollessa vierekkäin korjauskertoimella 0,8 saadaan sen kuormitettavuudeksi 384 A ja kun kaapeleita on neljä, niiden kuormitettavuus yhteensä on tämä nelinkertaisena, eli 1536 A. Terminen 1 sekunnin oikosulkukestoisuuden arvo tällä kaapelilla on 28.3 kA, joten senkin voidaan todeta riittävän. (Prysmian Finland Oy 2016; SFS-käsikirja 600-1 2012, 253.)

Oikosulkuimpedanssi kasvaa tämän 5 m kaapeloinnin johdosta seuraavasti ja on muuntamon pienjännitepääkeskuksella:

$$Z_j = (0,12 + j0,060) \frac{\Omega}{km} * 0,005km = \frac{(0,0006 + j0,0003)\Omega}{4} = (0,00015 + j0,000075)\Omega$$

$$Z_j = \sqrt{0,00015^2\Omega + 0,000075^2\Omega} = 0,00017\Omega$$

$$Z_{pk} = Z' + Z_m + Z_j = \sqrt{(0,00015 \Omega + 0,000019 \Omega)^2 + (0,00359 \Omega + 0,00987 \Omega + 0,000075 \Omega)^2}$$

$$Z_{pk} = 0,01354 \Omega$$

Kolmevaiheinen oikosulkuvirta muuntamon pienjännitepääkeskuksella on näin:

$$I_{k3} = \frac{1,0 \cdot 410 \text{ V}}{\sqrt{3} \cdot 0,01354 \ \Omega} = 17483 \text{ A} = 17,5 \text{ kA}$$

Tällöin muuntamon pienjännitepääkeskuksella esiintyy sysäysoikosulkuvirta:

$$i_p = 1,44 \cdot \sqrt{2} \cdot 17483 \text{ A} = 35604 \text{ A} = 35,6 \text{ kA}$$

Pääkeskuksella esiintyvä ekvivalenttinen 1 sekunnin oikosulkuvirta on näin:

$$I_{t1} = 17483 \text{ A} \cdot \sqrt{\frac{0,3 \text{ s}}{1 \text{ s}}} = 9576 \text{ A} = 9,6 \text{ kA}$$

Raahan Sairaalan muuntamon pääkeskukselta sairaalakiinteistön pääkeskukselle lähtevät nousukaapelit määritellään suojattavaksi kaapelikohtaisesti 300 A gG kahvasulakkeilla, jolloin nousukaapeloinnin nimellisvirta yhteensä on  $300 \text{ A} \cdot 4 = 1200 \text{ A}$ .

300 A gG kahvasulakkeita käytettäessä on kaapelin kuormitettavuuden oltava vähintään  $300 \text{ A} / (1,45 / 1,6) = 331 \text{ A}$ , jotta ylikuormitussuojauksen säännökset täyttyvät (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. 2013, 133). Kaapelien kuormitettavuuteen vaikuttavat merkittävästi kaapelien asennusolosuhteet ja tästä syystä tähän tapaukseen valitaan nousukaapeloinniksi 4x(XCMK 4x300/150). Tällä valitulla kaapelityypillä on valmistajan mukaan kuormitettavuutta maassa ilman korjauskertoimia 550 A. (Prysmian Finland Oy 2016). Valitaan kaapeliksi lisäksi HF-tyyppinen kaapeli, joka on halogeeniton, vähän savuava ja itsestään sammuva, koska kaapelointi kulkee myös sairaalarakennuksen sisällä.

Kaapelien kuormitettavuuden kannalta määrääviä ovat ne asennusolosuhteet, joista aiheutuu eniten kuormitettavuutta pienentäviä kaapelien korjauskertoimia. Tällainen olosuhde tässä tapauksessa esiintyy neljän rinnakkaisen kaapelin maahan asennuksessa, osuudella missä kaapelit on asennettu muuntamolle

nouseviin putkiin. Tämä asennustapa antaa korjauskertoimen 0,6, jolla kerrottuna yhden kaapelin kuormitettavuus on tässä tapauksessa  $0,6 * 550 \text{ A} = 330 \text{ A}$ . Tämä ei siis aivan ole standardin mukaan hyväksyttävissä valitulle kaapeloinnille. Asennetaan muuntamolle nousevat putket 0,7 m etäisyydelle toisistaan, jolloin standardin mukaan määrääväksi korjauskertoimeksi tulee maahan asennuksessa neljän vierekkäisen kaapelin korjauskerroin 0,63, milloin kaapelin kuormitettavuus on  $0,63 * 550 \text{ A} = 367 \text{ A}$  ja sen voidaan todeta olevan riittävä. (SFS-käsikirja 600-1 2012, 254.)

Lasketaan kolmivaiheinen oikosulkuimpedanssi ja oikosulkuvirta sairaalarakennuksen nykyisellä pääkeskuksella. Kaapelien mitan ollessa 43 m, valitusta nousukaapeloinnista aiheutuu impedanssi:

$$Z_{j2} = (0,0649 + j0,0785) \frac{\Omega}{\text{km}} * 0,043 \text{ km} = \frac{(0,00279 + j0,00338)\Omega}{4} = (0,00069 + j0,00084)\Omega$$

$$Z_{j2} = \sqrt{0,00069^2\Omega + 0,00084^2\Omega} = 0,00109\Omega$$

$$Z_{pk2} = Z_{pk} + Z_{j2} = 0,0144 \Omega$$

Kolmevaiheinen oikosulkuvirta sairaalarakennuksen pääkeskuksella on näin:

$$I_{k3} = \frac{1,0 * 410 \text{ V}}{\sqrt{3} * 0,0144 \Omega} = 16438 \text{ A} = 16,4 \text{ kA}$$

Tällöin sairaalarakennuksen pääkeskuksella esiintyy sysäysoikosulkuvirta:

$$i_p = 1,44 * \sqrt{2} * 16438 \text{ A} = 33475 \text{ A} = 33,5 \text{ kA}$$

Sairaalarakennuksen pääkeskuksella esiintyvä ekvivalenttinen 1 sekunnin oikosulkuvirta on näin:

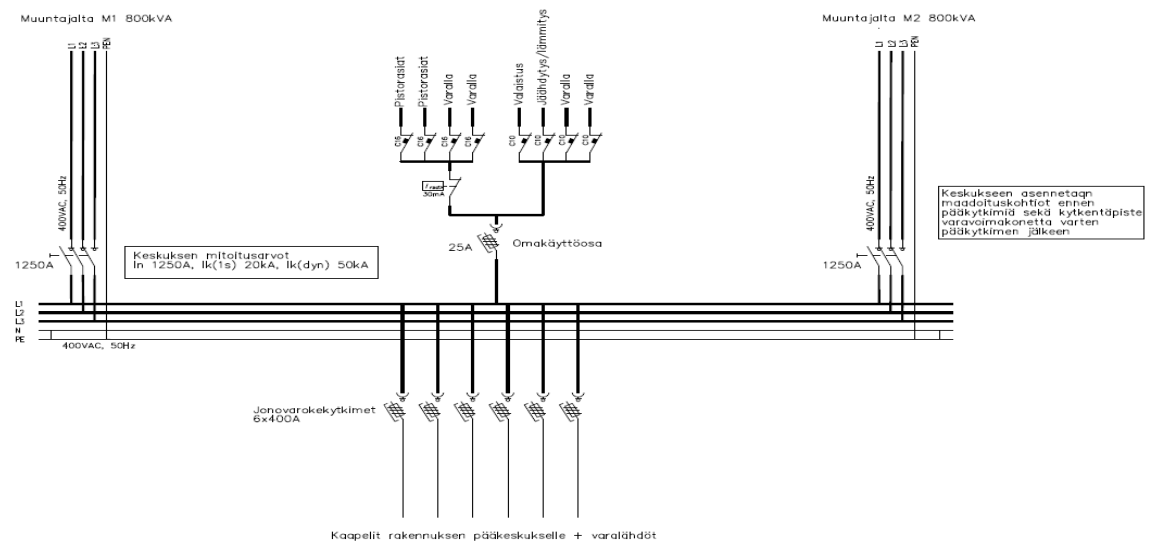
$$I_{t1} = 16438 \text{ A} * \sqrt{\frac{0,3 \text{ s}}{1 \text{ s}}} = 9003 \text{ A} = 9,0 \text{ kA}$$



## 9.4 Pienjännitekeskuksen mitoittaminen

Muuntamon pienjännitekeskus mitoitetaan nimellisvirran sekä esiintyvien suurimpien termisten ja dynaamisten vikavirtojen mukaisesti. Seuraavaksi mitoitettavat arvot ovat soveltuvia yhden muuntajan syöttäessä keskusta, jos halutaan jostakin syystä käyttää kahta muuntajaa rinnan, täytyy mitoitus tehdä sen mukaisesti.

Pienjännitekeskuksen suunniteltu pääkaavio on liitteenä 3 ja periaatekaavio on esitetty kuviossa 14.



Kuvio 14. Pienjännitepääkeskuksen periaatekaavio.

Edellisen kappaleen laskelmien perusteella valitaan muuntamon pienjännitepääkeskuksen mitoitusarvoiksi seuraavat soveltuvat standardin mukaiset arvot: nimellisvirta 1250 A, dynaaminen virtakestoisuus 50 kA ja terminen 1 sekunnin virtakestoisuus 20 kA.

Pääkytkimiksi keskukseen valitaan molempia syöttäviä muuntajia varten 1250 A:n kuormakytkimet, joiden yhtäaikainen kiinniasento valituilla keskusarvoilla estetään tai siitä varoitetaan varoituskilvillä.

Pääkytkimiksi voidaan myös valita katkaisijat, jolloin pienjännitekeskukseen voidaan näiden katkaisijoiden välille toteuttaa syötönvaihtoautomatikka, joka vaihtaa syötön automaattisesti toisen jakelumuuntajan taakse, ensisijaisessa syötössä tapahtuvan jännitekatkon tai sähkön laadun heikkenemisen johdosta. Täl-

laisella järjestelmällä syötönvaihto tapahtuu noin 0,8 sekunnissa, eli järjestelmällä ei saavuteta täysin katkotonta sähkönsyöttöä. (Schneider Electric Industries SAS 2015, A-7.)

Lähtöinä pienjännitepääkeskuksessa toimivat 400 A:n jonovarokeytkimet ja keskuksessa on myös oman jonovarokeytkimen takana oleva keskuksen oma käyttöosa, josta syötetään muuntamon sähkölaitteita, kuten valaistus, ilmastointi ja lämmitys.

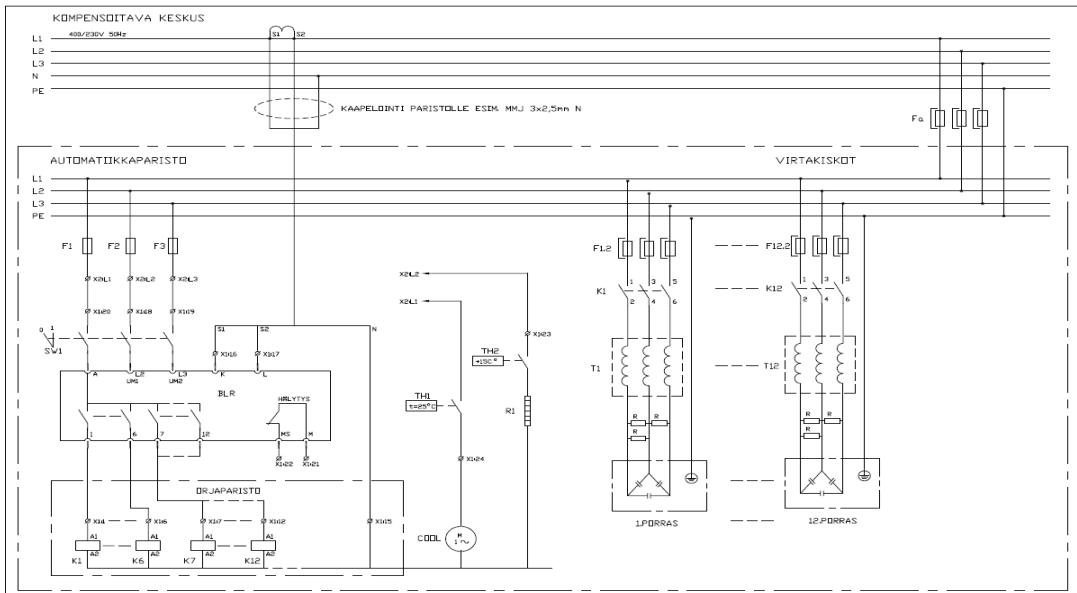
### 9.5 Loistehon kompensoinnin mitoittaminen

Raahen sairaalan loistehon kulutustiedot saadaan verkkoyhtiön toimittamasta vuoden 2015 sähkönkäyttöraportista, jonka perusteella loistehon kompensointi ei ole aivan riittävää, koska loistehosta on laskutettu pieniä määriä neljänä kuukautena vuodesta. Toisaalta nykyisessä pääkeskuksessa sijaitsevan säädettävän kompensointipariston portaiden säädettävyysskään ei ole täysin soveltuva, mikä voidaan todeta säätimen ylikompensointi hälytyksistä.

Muuntamon saneerauksen yhteydessä nykyiset jakelumuuntajien rinnalla olevat kiinteät kondensaattorit tullaan joka tapauksessa poistamaan, eli loistehon kompensointi on tässä yhteydessä syytä määritellä uudelleen. Yleensäkin vanhat kondensaattoriparistot tulee yliaaltoja sisältävissä verkoissa saneerauksen yhteydessä korvata estokelaparistoilla, josta on esimerkki kuviossa 15, resonanssi vaaran vuoksi.

Kompensointilaitteistona Raahen sairaalalla on tällä hetkellä jakelumuuntajien rinnalla olevat kiinteät 60 kVAR:n kondensaattorit sekä pääkeskukseen kalustettuna, loistehonsäätimen ohjaamana 8x40 kVAR:n kondensaattorit. Yhteensä siis loistehonkompensointitehoa on 440 kVAR. Kondensaattorit on aikavälein tarkastettu ja todettu toimiviksi, mutta niiden todellisesta nimellistehon mukaisesta kunnosta ei nyt tässä yhteydessä ole täyttä varmuutta.

Suurimmat esiintyneet loistehontarpeet ovat viime vuonna esiintyneet kesällä, ilmeisesti suuresta jäähdytyskonekuormasta johtuen, laskutetun loistehon oltua elokuussa 35,84 kVAr. Kun tiedetään, että Raahen Energiolla ilmaisen loistehon osuus on 16 % tuntihiippukeskitehosta ja oletetaan suurimman loistehon tarpeen esiintyneen suurimman päätötehoikutuksen aikana, voidaan suuntaa antavasti laskea elokuun tietojen perusteella, että loistehon kompensointikyvyn ylittävä loistehon tarve on ollut  $0,16 \cdot 565 \text{ kW} + 35,84 \text{ kVAr} = 126,24 \text{ kVAr}$ . Näin ollen kaikkien kompensointilaitteiden ollessaan nimellistehonsa mukaisessa kunnossa, kokonaisloistehon tarve on suurimmillaan ollut noin  $126,24 \text{ kVAr} + 440 \text{ kVAr} = 566 \text{ kVAr}$ . Jotta olisi pysytty loistehon ilmaisosuuden käytön rajoissa, loistehonkompensoinnin tarve olisi ollut kokonaisuudessaan noin 476 kVAr.



Kuvio 15. Estokelaparin kytentäperiaate (Nerto 2016).

Raahen sairaalan pääkeskus on myös peräisin vuodelta 1965 ja sekin tultaneen uusimaan tulevaisuudessa, joten sinne kalustettua vanhaa kondensaattoripatteristoa ei ole mielekäs ruveta laajentamaan tai uusiman jo siitäkin syystä, että se ei ole nykyisten vaatimuksien mukainen estokelapatteristo.

Raahen sairaalan loistehon kompensointitavaksi valitaan keskitetty kompensointi sairaalarakennuksen pääkeskuksella. Tämä toteutetaan muuntamon saaneeraus yhteydessä tyhjentyvään vanhaan muuntamotilaan sijoitetulla, loistehonsäätöautomatiikalla varustetulla estokelaparinistolla, jonka viritystaajuus on 189 Hz ja koko 2000(k)x800(l)x600(s). Säätimeksi valitaan 12-portainen mikro-

proessorisäädin, estokelapariston tehoksi valitaan suurin yhteen yksikköön mahtuva 350 kVAr ja patteriston portaaksi esimerkiksi 12.5 + 25 + 37.5 + 50 + 3x75 kVAr:n portaat. Tätä estokelaparistoa laajennetaan viereen asennettavalla 200 kVAr:n orjaparistolla koko 2000(k)x800(l)x600(s), jonka portaat ovat esimerkiksi 3x50 + 2x25 kVAr ja orjapatteria ohjaa näin saman säätimen 5 säätöporrasta.

Patteriston riittävän pienet portaat ja riittävän moniportainen säädin mahdollistavat tarkan loistehon säädön, jolloin vältytään nykyisen kaltaisilta ylikompensointi tilanteilta. Tällä kokonaisuudella kokonaiskapasiteetti 550 kVAr riittää mainiosti huipputehossa tarvittavan ilmaisosuuden 476 kVAr kompensointiin ja tehoreserviäkin jää vielä sopivasti mahdollista tulevaisuuden tarvetta ajatellen.

Keskuksen virtakiskoon asennetaan yhdelle vaiheelle tarkoitukseen soveltuva virtamuuntaja, joka kaapeloidaan uudelle kompensointipatterille loistehon säädön virtamittausta varten. Loistehon kompensointipatteristoa varten joudutaan asentamaan sairaalarakennuksen pääkeskukseen uudet 630 A:n ja 400 A:n kytkinvarokkeet vanhan kondensaattoripatteriston lähtöihin, niiden purkautuessa tässä yhteydessä pois. Säätimellinen kompensointiparisto kaapeloidaan pääkeskukseen valmistajan ohjeen mukaisesti esimerkiksi kaapeleilla 2xMCMK 3x185+95 ja etusulakkeiksi laitetaan kahvasulakkeet gG 630 A. Orjapatteristo kaapeloidaan pääkeskukseen valmistajan ohjeen mukaisesti esimerkiksi kaapeleilla 2xMCMK 3x95+50 ja etusulakkeiksi laitetaan kahvasulakkeet gG 400 A. Kaapelien mitta on noin 10 m ja ne ovat näin käännettävissä uuteen pääkeskukseen, jos ja kun se uusitaan tulevaisuudessa vanhaan muuntamotilaan.

Jos muuntamo sanerataan nykyiseen tilaansa, valitaan sama kompensointiparisto ja sama toteutusperiaate, mutta sijoitetaan se nykyisen pääkeskushuoneen keskelle, johon se juuri mittojensa puolesta sopii.

## 9.6 Pääsähkönjakelun rakenteen määrittely

Raahen sairaalan muuntamo ja pääsähkönjakelu voidaan saneerauksen yhteydessä toteuttaa rakenteeltaan ja käyttövarmuustasoltaan kolmella periaatteelli-

sesti soveltuvalta tavalla, vertailtavista eri muuntamon sijoituspaikoista juurikaan riippumatta.

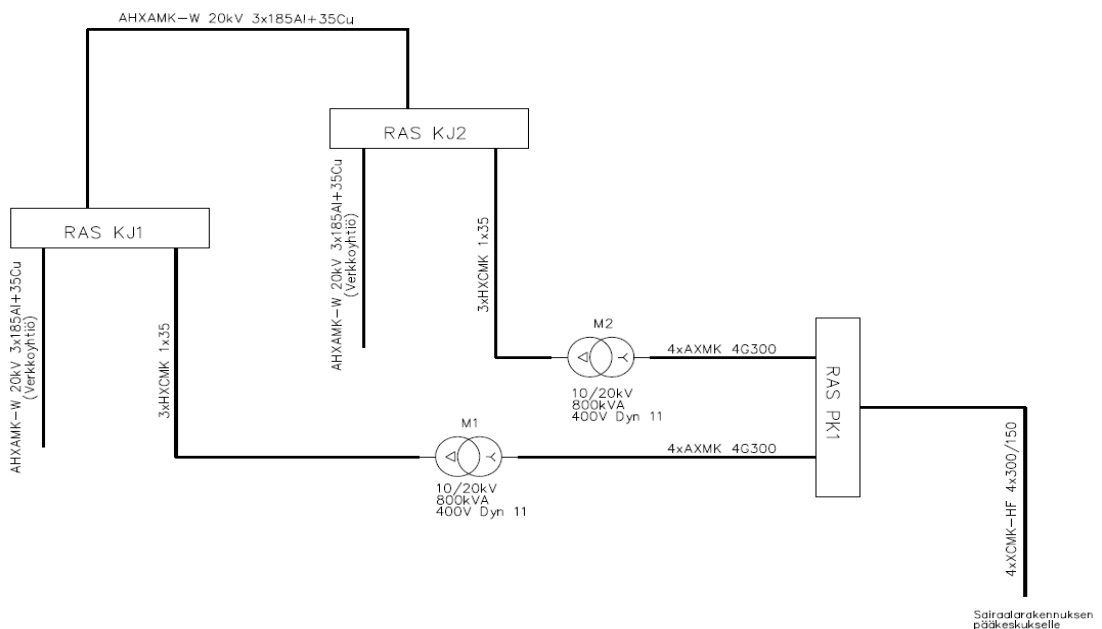
Ensimmäinen rakenteellinen tapa on toteuttaa muuntamo ja pääsähkönjakelu yhdellä jakelumuuntajalla ja liitteen 2 mukaisella keskijännitekojeistolla, sillä erotuksella sähkökuvaan verrattuna, että myös toisen syötön kuormaerottimessa on moottoriohjaus ja tähän lähtöön on kytketty verkonhaltijan rengassyötön toinen kaapeli. Kojeistossa voidaan käyttää pääkytkimenä tässä tapauksessa varokekuormaerotinta ja rakenteeksi soveltuu tällöin esimerkiksi sarjatuotantomallinen puistomuuntamo. Kojeistorakenne on yksinkertainen ja lähes huoltovapaa, mikä tuo kustannustehokkuutta.

Tämä pääsähkönjakelun rakenne on näistä toteutustavoista edullisin toteuttaa, mutta tämän järjestelmän heikkous on käyttövarmuudessa ja luotettavuudessa, koska minkä tahansa pääpiirin kojeen vikaantuminen tässä järjestelmässä aiheuttaa sähkökatkon sairaalalle. Sähkökatkon pituus tällä rakenteella vaihtelee vuorokaudesta muutamaan vuorokauteen, riippuen vian ajankohdasta ja siitä onko kyse kojeistoviasta, mittamuuntajaviasta tai jakelumuuntajaviasta ja siitä mikä on kulloinkin soveltuvan varavoiman, varaosien ja työvoiman saatavuus. Kaikki jännitteettömyyttä vaativat kojeiston tai muuntajan huoltotoimenpiteet aiheuttavat myös aina sähkökatkon sairaalalle. Syötönvaihtoautomaatiikka ei ole myöskään toteutettavissa tähän rakenteeseen keskijännitesyötöille, koska se aiheuttaisi automaattisen jakorajamuutoksen verkkoyhtiön jakeluverkossa, mitä ei haluta automaattisesti tässä tapauksessa suorittaa.

Toinen rakenteellinen tapa toteuttaa muuntamo ja pääsähkönjakelu on varsin samankaltainen, kun on nykyinenkin sairaalan pääsähkönjakelun ja muuntamon toteutustapa. Tässä mallissa keskijännitekojeistona on liitteen 1 mukainen kojeisto ja jakelumuuntajia on kaksi kappaletta, joista käytössä on kerrallaan yksi jakelumuuntaja toisen ollessa varalla. Kojeistossa täytyy pääkytkimenä olla katkaisija, jota täytyy aika ajoin huolta ja koestaa, mikä tuo tälle rakenteelle lisää hankinta- ja ylläpitokustannuksia. Tämä pääsähkönjakelun toteutustapa on selvästi kalliimpi toteuttaa kun ensimmäinen, mutta jonkin verran edullisempi kuin kolmas toteutustapa. Ideana tässä rakenteessa on käyttövarmuuden ja luotettavuuden parantaminen, koska varalla ja käyttövalmiina on pitkän toimitusajan

vikatapauksessa omaava jakelumuuntaja, joka saadaan heti kojeiston käyttötoimenpiteellä käyttöön.

Tässäkin vaihtoehdossa mahdollinen mittamuuntajavika aiheuttaa vähintään vuorokauden ja kojeistovika mahdollisesti vuorokausien sähkökatkon sairaalalle, riippuen vian laadusta ja ajankohdasta sekä siitä, mikä on kulloinkin soveltuvan varavoiman, varaosien ja työvoiman saatavuus. Myöskään tässä vaihtoehdossa, ei ensimmäisen vaihtoehdon tapaan, ole syötönvaihtoautomaatiikka toisesta riippumattomaan sähkönlähteeseen toteutuskelpoinen. Mahdolliset, jännitteettömyyttä vaativat kojeiston huoltotoimenpiteet, katkaisijan huoltoa lukuun ottamatta, aiheuttavat sähkökatkon kun taas muuntaja huolto onnistuu tällä rakenteella ilman jännitekatkoa, käytettävää muuntajaa vuorottelemalla.



Kuvio 16. Kahdennetun pääsähkönjakelun periaatekaavio.

Kolmas rakenteellinen tapa toteuttaa muuntamo ja pääsähkönjakelu on keskijännitesähkönjakelun kahdentaminen käyttämällä kahta liitteen 2 mukaista, toisiinsa keskijännitekaapelilla yhdistettyä kojeistoa, jotka molemmat syöttävät omaa jakelumuuntajaa. Liitteessä 4 on pääkaavio tästä toteutusmallista keskuksineen ja kaapeleineen. Kuviossa 16 on esitetty periaatekaavio kahdennetun toteutuksen periaatteesta. Kojeeistoissa voidaan käyttää pääkytkiminä varokeuormaerottimia ja kojeistorakenne on näin yksinkertainen ja lähes huoltova-

paa. Tämä toteutustapa on näistä vaihtoehdoista investoinniltaan kallein, mutta tällä rakenteella saavutetaan erittäin käyttövarma toteutus pääsähkönjakelulle, koska mikään vika keskijännitesähkönjakelussa ei aiheuta pysyvää sähkökatkoa sairaalalle ja kahden merkittävän samanaikaisen vian esiintymistä molemmissa kojeistoissa pidetään epätodennäköisenä. Myös kaikki keskijännitelaitteistojen huollot voidaan suorittaa tällä rakenteella ilman siitä aiheutuvaa sähkökatkoa.

Tämä rakenne mahdollistaa myös syötönvaihtoautomatiikan käyttämisen 400 V:n puolella pääkeskuksen pääkytkimillä, kun toistakin muuntajaa pidetään jännitteisenä, toisen ollessa kuormitettuna. Tällöin häiriön ilmaantuessa syöttöä vaihdetaan toiselle muuntajalle, joka on verkonhaltijan eri sähköaseman syöttämän jakeluverkon takana, tekemättä kuitenkaan tällä toiminnalla jakeluverkon jakorajamuutosta. Syötönvaihtoautomatiikan avulla voidaan sähkökatko sairaalalle rajoittaa alle 1 sekunnin mittaiseksi, silloin kun häiriö esiintyy verkonhaltijan toisessa keskijännitesyötössä.

Sähkön jatkuvan saatavuuden ollessa Raahen sairaalan toiminnalle keskeisen tärkeää, täytyy sähkönjakelun ja muuntamon rakenteen valinnassa olla johtajatuksena luotettava ja käyttövarma sähköverkko. Täytyy myös huomata, että nyt valittu rakenne on todennäköisesti käytössä varsin pitkän ajan, eli noin 40 vuotta, jolloin rakenteen soveltuvuus ja luotettavuus koko elinkaaren ajalle korostuu ja hankintahinnan painoarvo päätöstä tehdessä pienenee.

Valitaan tässä yhteydessä Raahen sairaalan pääsähkönjakelun ja muuntamon rakenteeksi, käyttövarmuussyistä ja hyvistä käyttöominaisuuksista johtuen, kahdennettu keskijänniteverkko liitteiden 2 ja 4 pääkaavioiden mukaisesti toteuttuna ja syötönvaihtoautomatiikalla täydennettynä.

## 10 MUUNTAMON SANEERAUKSEN TOTEUTUSVAIHTOEHDOT

Vertaillaan tässä luvussa Raahen sairaalan muuntamon saneerauksen kahta toteutusvaihtoehtoa ja kuvaillaan, miten ne käytännössä toteutettaisiin: muuntamo saneerausta entiselle paikalleen sairaalarakennuksen kellarikerrokseen tai muuntamo saneerausta sairaalan viereen rakennettavaan uuteen muuntamora kennukseen.

Muuntamon saneerauksesta, sen vaihtoehtoista ja sen aiheuttamista toimenpiteistä keskusteltiin myös paikallisen verkkoyhtiön kanssa. Verkonhaltijan kanssa käytiin läpi heidän vaatimukset saneerattavalle muuntamolle ja sovittiin, että saneerauksen yhteydessä verkonhaltija uusii keskijänniterengassyötön kaapelit.

### 10.1 Saneeraus entisiin muuntamotiloihin

Muuntamon saneerausta entisiin tiloihin suunniteltaessa, suurimpina selvitettävänä kysymyksinä ovat, voidaanko nykyisten palomääräyksien ja rakennevaatimusten puitteissa saneerausta kyseisiin tiloihin yleensäkin suorittaa, mitä muutoksia ja laitevalintoja se vaatii ja mikä on tämän vaihtoehdon kustannusarvio. Haasteen tuo myös saneerauksen käytännön toteutus, kun nykyisessä muuntamossa ei ole tilaa rakentaa uutta laitteisto vanhan rinnalle ja sähkökatko ei voi juuri olla yöaikaa pidempi, jottei sairaalan toiminta häiriinny, kun varavoima ei riitä kaikkien sähkölaitteiden ylläpitoon. Paikalliselta paloviranomaiselta kysyttäessä, heillä ei ollut tässä tapauksessa standardin vaatimuksista poikkeavia, paikallisia lisävaatimuksia muuntamoon paloturvallisuuden suhteen, joita pitää noudattaa jos sellaisia on.

Muuntamotila mittaamalla voidaan todeta heti, että tilantarpeiltaan se on suosituksia suurempi ja näin saneeraukseen kokonsa puolesta soveltuva. Muuntamotilan rakenteita tutkimalla voidaan todeta, että se on kaikilta pinnoiltaan, yli 20 sentin raudoitettun betonivalurakenteensa johdosta, valokaarioikosulun painevaikutukset vaaditulla tavalla kestävä sekä kantavien ja osastoivien rakenteiden paloluokkavaatimukset täyttävä, muuntamon ovea lukuun ottamatta. Ovi tulee saneerauksen yhteydessä uusiksi nykyisten palo- ja rakennemääräysten



mukaiseksi. Muuntamotilan ja pääkeskustilan väliseen kaapelikuiluun tehdään myös palokatko saneerauksen yhteydessä.

Sijoituksensa puolesta vanha muuntamotila ei ole, sairaalarakennuksen kellari-kerroksessa sijaitessaan, nykyisten suositusten mukaisessa paikassa kiinteistön paloturvallisuutta silmälläpitäen tai kulku- ja haalausreittejä ajatellen. Öljy-eristeisen muuntajan käyttö tässä tilassa vaatisikin standardin mukaan vähintään sekä tilan paloluokkavaatimusten täyttymisen että sammutusjärjestelmän käyttämisen muuntamossa. Kuivamuuntajaa tässä tilassa käytettäessä, ei sammutusjärjestelmää vaadita ja tilan mahdolliset paloluokkavaatimukset riippuvat muuntajan paloluokasta F0 tai F1.

Kaapelireitit kellarissa sijaitsevaan muuntamoon ovat osin ongelmalliset, koska esimerkiksi saneerauksen yhteydessä uusittaville keskijännitekaapeleille ei ole muuta vartenotettavaa kaapelireittiä kun uusia ne ulkoa tuleviin entisiin putkiin, joihin uusien kaapelien saaminen jää epävarmaksi, kunnes sitä päästään vanhojen kaapelien poistuessa yrittämään. Myöskin muuntamon kaapelikuilut lattiasa ovat liian matalat, kaapelien taivutussäteitä ja nykyisiä kojeistoja ajatellen, mistä johtuen uudet kojeistot täytyy rakentaa sopivien sokkelien päälle.

Muuntamon ilmanvaihtoaukko on oikosulun painevaikutuksista johtuvia vähimmäisvaatimuksia reilusti suurempi ja muutenkin se täyttää säleikölle asetetut rakennevaatimukset. Muuntamossa on myös tehokas koneellinen ilmanvaihto, jonka ilmamäärien vaatimustenmukaisuus mitataan ja tarkistetaan valitun muuntajatyypin ja sen häviötehojen mukaisesti. Mahdollisen palopellin tarve tuloilmakanavassa selvitetään saneerauksen yhteydessä.

Muuntamotila on valmiiksi valaistu asianmukaisesti, huollettavuus huomioiden ja se on varustettu automaattiseen paloilmottimeen liitetyillä paloilmamisimilla, eikä muuntamon kautta kulje sinne kuulumattomia kaapeleita tai putkia ja se on myös asianmukaisesti maalattu pölyämisen estämiseksi. Muuntamon aiheuttamat hajamagneettikentät pienenevät oleellisesti, kun avokojeisto ja avokiskosto poistuvat ja saneerauksen jälkeen käytetään keskijännitteellä ja pienjännitteellä oikeanlaista kaapelointia sekä hyvin koteloitua tekniikkaa kojeistoissa. Muuntajien alle asennetaan saneerauksen yhteydessä painon mukaan mitoitetut, taa-juudeltaan 100 Hz:n, runkoäänien vaimentimet.

Loistehon kompensointi uusitaan kappaleen 9.5 mukaisesti ja kompensointipatteri sijoitetaan tässä toteutusvaihtoehdossa pääkeskushuoneen keskelle, josta se kaapeloidaan pääkeskukseen. Pääkeskukseen tehdään lisäksi edellä mainitussa kappaleessa kerrotut muutokset kompensointia varten.

Tämän saneerausvaihtoehdon käytännön toteutus suoritetaan, siirrettävää kontti-mallista, 630 kVA:n varavoimakonetta hyödyntäen. Varavoimakone sijoitetaan sairaalarakennuksen itäpuolelle muuntamon kohdalle ja kaapeloidaan siitä väliaikaisesti 30 metrin kumikaapeleilla rakennuksen katon yli, josta edelleen sisään muuntamoon ja pääkeskukselle päästään muuntamon seinän yläosassa olevaa isoa poistoilmasäleikön aukkoa väliaikaisesti hyödyntäen. Tällöin riittää yön mittainen jännitekatko sekä varavoimakone pääkeskukseen kytkettäessä että muuntajien alajännitenapoihin asti koestettu ja toimintavalmis muuntamo, pääkeskukseen saneerauksen jälkeen takaisin kytkettäessä.

Arvioitu työaika saneeraukselle ja varavoimakoneen tarpeelle on noin 2 tehokasta työviikkoa, sisältäen vanhojen laitteistojen purkamisen muuntamosta, uusien laitteistojen asennuksen, kaapeloinnit ja kytkennät sekä laitteiston käyttöönoton ja koestuksen. Tämän toteutusmallin kustannusarvio on esitetty opinäytetyön toimeksiantajalle.

Hyvinä puolina tässä toteutusvaihtoehdossa ovat: halvempi hinta verrattuna uuteen muuntamorakennukseen sekä sijainnista johtuva helppo kaapeloinnin lisättävyys sekä muunneltavuus jälkeensä, esimerkiksi ohjauksia silmälläpitäen. Huonoina puolina tässä toteutusvaihtoehdossa ovat: muuntamon sijainti ei ole optimaalinen paloturvallisuutta ja kulku- ja haalausreittejä ajatellen, myöhemmin toteutettavalle pääkeskuksen uusinnalle ei vapaudu sen tarvitsemaa tilaa sekä liittymiskaapelien uusintaan liittyy pieni epävarmuus riski.

Toteutusvaihtoehdon selvityksen lopputuloksena voidaan todeta, että Raahan sairaalan muuntamo on saneerattavissa nykyiseen muuntamotilaan voimassa olevien määräyksien ja tilan ominaisuuksien puolesta pienillä muutoksilla, kun käytetään kuivamuuntajaa jakelumuntajatyypinä. Tilan ominaisuuksien tai voimassaolevien määräyksien perusteella käyttökelpoisia kojeistorakenteita ovat sekä ilmaeristeinen että SF<sub>6</sub>-eristeinen, standardien mukainen keskijännitekojeisto.

## 10.2 Saneeraus uuteen muuntamorakennukseen

Saneerattaessa muuntamo sairaalarakennuksen viereen rakennettavaan uuteen muuntamorakennukseen, suurimmat selvitettävät kysymykset liittyvät muuntamorakennuksen sijoitukseen ja rakenteeseen, laitevalintoihin sekä tämän vaihtoehdon kustannusarvioon. Muuntamon sijoituksen pitää olla palomääräykset täyttävä sekä sen pitää sijaita verkkoyhtiön keskijänniterengassyötölle ja sairaalarakennuksen nousukaapeloinnille otollisella paikalla. Paikalliselta paloviranomaiselta kysyttäessä, heillä ei ollut tässä tapauksessa standardin vaatimuksista poikkeavia, paikallisia lisävaatimuksia muuntamoon sijoituksen suhteen, joita pitää noudattaa jos sellaisia on. Tästä toteutusmallista on tehty myös sähkötyöselostus liitteeksi 6, josta selviää tarkasti saneerauksen toteuttaminen.

Sijoitetaan muuntamo sairaalarakennuksen pohjoispäähän noin 8 metrin päähän sairaalarakennuksesta, mikä on myös standardin mukainen muuntamon minimietäisyys öljyeristeisillä muuntajilla, jos kummassakaan rakennuksessa ei ole EI 120 paloluokan seinää. Ohjeellinen muuntamon sijoituspaikka on esitetty liitteessä 5, sairaalarakennuksen pohjakuvan yhteydessä. Kunnan rakennusvalvonnasta varmistetun tiedon mukaan, kyseisenlaiselle muuntamolle pitää hakea rakennuslupa, koska se on kooltaan yli 7 neliötä. Tätä varten täytyy hakemukseen olla asemapiirustus muuntamon sijoituksesta sekä muuntamon pääkuvat.

Muuntajatyypinä tässä toteutusvaihtoehdossa käytetään öljyeristeistä jakelumuuntajaa, sen kustannustehokkuuden ja hyvien käyttöominaisuuksien johdosta. Käyttökelpoisia kojeistorakenteita muuntamossa ovat sekä ilmaeristeinen että SF<sub>6</sub>-eristeinen, standardien mukainen keskijännitekojeisto. Toisesta saneerausvaihtoehdosta poiketen, uuteen muuntamon tulee myös pienjännitepääkeskus, mahdollisella syötönvaihtoautomaatiikalla varustettuna. Tältä pääkeskukselta kaapeloidaan nousukaapelointi sairaalarakennuksen pääkeskukselle.

Rakenteeltaan muuntamoksi valitaan sisältä hoidettava ja lämmitetty muuntamorakennus, jollaiseksi sopii hyvin esimerkiksi sandwich-tyyppisistä elementeistä rakennettu tehdasvalmisteinen sähköasemarakennus. Perustustavaksi muuntamorakennukselle valitaan kaapelikellarin rakennuksen pohjaan muodostava perustusmalli. Muuntamo varustetaan sopivalla sisä- ja ulkovalaistuksella,

tarvittavalla ilmanvaihdolla muuntajien mahdollisesti kesällä tarvitseman ilmanvaihto huomioon ottaen sekä lämmityksellä ja jäähdytyksellä, johon tarkoitukseen patterien lisäksi valitaan energiatehokas lämpöpumppu. Muuntamon lämpötilanmittaus liitetään kiinteistövalvontajärjestelmään. Muuntajat varustetaan öljynkeräyskaukaloilla, jotka ovat koko öljymäärälle riittäviä.

Muuntamo varustetaan paloilmaisimilla, jotka liitetään sairaalan automaattiseen paloilmoittimeen. Kylmissä muuntamotiloissa käytetään lämpöilmaisimia ja lämpimässä sisätilassa käytetään esimerkiksi yhdistelmäilmaisinta.

Tehdään muuntamon vaatimat maatyöt ja sopiva kulkutie muuntamolle, olemassa olevan tien reunasta sekä kaivetaan tarvittava kaapelioja sairaalarakennuksen ja muuntamon välille. Verkonhaltija kaivaa ja uusii keskijännitesyöttökaapelit uudelle muuntamolle saneerauksen yhteydessä.

Muuntamon ympärille tehdään perustusmaadoituselektrodi, kaivutöiden yhteydessä, joka liitetään muuntamoon asennettavaan päämaadoituskiskoon. Tehdään myös kaikki muutkin muuntamon maadoitukset sekä päämaadoituskiskon ja sairaalarakennuksen maadoituskiskon yhdistäminen maadoitusjohtimella, kappaleen 6 periaatteiden mukaisesti.

Sairaalarakennuksen ulkoseinään sekä muuntamotilan ja käytävän väliseen seinään tehdään timanttikoralla läpivientireiät nousukaapelointia, maadoituskaapelia ja ohjauskaapelointia varten. Näihin reikiin, kuten myös vanhan muuntamotilan ja pääkeskustilan väliseen kaapelikanavaan, tehdään palokatkot asennusten valmistuttua.

Nousukaapelointia, maadoituskaapelia ja ohjauskaapelointia varten tehdään sairaalarakennuksen sisään, alas lasketun katon yläpuolelle, kaapelihyllyt liitteessä 5 esitetyn ohjeellisen kuvan mukaisesti.

Loistehon kompensointi uusitaan kappaleen 9.5 mukaisesti ja kompensointipatteri sijoitetaan tässä toteutusvaihtoehdossa vanhaan muuntamotilaan heti sen tyhjennyttyä, josta se kaapeloidaan pääkeskukseen. Pääkeskuksen uusinnan yhteydessä tämä kaapelointi yltää käännettäväksi uuteen pääkeskukseen, joka tulee uusittavaksi samaan tilaan. Pääkeskukseen tehdään lisäksi edellä mainitussa kappaleessa kerrotut muutokset kompensointia varten.

Käytännössä tämä muuntamon saneerausvaihtoehto toteutetaan niin, että uusi muuntamorakennus ja sairaalarakennukseen tarvittavat hylly- ja sähköasennukset rakennetaan valmiiksi, nousukaapeloinnin ja kaapelihyllyn loppupäätä sekä loistehon kompensointia lukuun ottamatta. Muuntamolle tehdään valmiiksi kaikki sähkö- ja laiteasennukset ja verkkoyhtiö tuo kojeistolle uudet syöttökaapelit, jonka jälkeen koestettu ja toimintavalmis muuntamo liitetään yön mittaisessa jännitekatkossa, kaapelihyllyjen ja nousukaapeloinnin loppupäät valmiiksi tehden ja vanhat syötöt pääkeskuksen katkaisijoilta purkaen, sairaalarakennuksen pääkeskukseen. Tämän jälkeen tehdään vanhan muuntamon laitteiston purkutyöt ja asennetaan vapautuneeseen tilaan loistehon kompensointipatteri ja kaapeloidaan sekä kytketään se soveltuvin osin valmiiksi. Uudessa yön mittaisessa jännitekatkossa puretaan vanhat kompensointi laitteet pääkeskuksesta pois, asennetaan siihen uudet kytkinvarokkeet sekä virtamuuntaja kappaleen 9.5 mukaisesti, tehdään tarvittavat kytkennät ja otetaan laitteisto käyttöön.

Hyvinä puolina tässä toteutusvaihtoehdossa ovat: paloturvallisuus ja kulku- ja haalausreitit paranevat, kun muuntamo sijoittuu suosituksen mukaisesti, pääkeskuksen saneeraukselle ja loistehon kompensoinnille vapautuu oiva tila vanhaan muuntamoon, syöttökaapelien uusiminen onnistuu vaivatta ja selvittää lyhyillä jännitekatkoilla, jolloin varavoimakonetta ei tarvita. Huonona puolena tässä toteutusvaihtoehdossa voidaan pitää oikeastaan vain sitä, että tämä on kalliimpi investointikustannuksiltaan, verrattuna toiseen vaihtoehtoon. Tämän toteutusmallin kustannusarvio on esitetty opinnäytetyön toimeksiantajalle.

Toteutusvaihtoehdon selvityksen lopputuloksena voidaan todeta, että Raahen sairaalan muuntamo on saneerattavissa uuteen muuntamotilaa ilman esille tulleita rajoituksia. Valitaan tämä toteutusmalli tässä yhteydessä suositeltavaksi toteuttaa muuntamon saneeraus, sen em. hyvistä puolista johtuen.

## 11 POHDINTA

Opinnäytetyön tuloksena saatiin kattavasti vertailtua Raahen sairaalan muuntamon varteenotettavat saneerausvaihtoehdot, laitteisto määrätyksineen ja kustannusarvioineen. Kiinteistön loistehon kompensointi määriteltiin myös uudistettavaksi saneerauksen yhteydessä ja vastaus löydettiin myös syötönvaihtoautomaatiikan toteutettavuuteen.

Muuntamon toteutustavaksi ja rakenteeksi työssä päädyttiin esittämään uuden muuntamon rakentamista erilliseen rakennukseen, jossa keskijännitejakelun osalta sähkölaitteisto kahdennetaan tarkoituksenmukaisella tavalla. Johtoajatuksena muuntamon rakennetta määritettäessä ja valittaessa oli koko elinkaarinen aikainen käyttövarmuus ja luotettavuus, sähköenergian varman saannin ollessa koko sairaalan toiminnalle keskeisen tärkeitä.

Opinnäytetyö oli kokonaisuutena laaja-alainen ja tekijälleen haastava projekti, koska muuntamon saneerauksen toteutusvaihtoehtoja suunnitellessa ja vertaillessa, oli selvitettävä ja otettava huomion lukuisia asioita ja paljon myös muita, kuin sähkötekniisiä asioita. Opinnäytetyön tekemisen ansiosta tuli opittua paljon uutta, perehdyttyä varsin laajaan teoria aineistoon sekä perehdyttyä syvällisesti muuntamon rakenteisiin, keskijännite- ja pienjännitelaitteisiin ja niiden ominaisuuksiin ja mitoittamiseen kuin myös kiinteistön loistehon kompensointiinkin.

Toimeksiantajan kanssa asetetut tavoitteet saavutettiin ja sovitut asiat selvitettiin, joten opinnäytetyö onnistui mielestäni hyvin ja tarkoituksenmukaisesti. Toimeksiantajalla on mahdollisuus vertailla työn pohjalta molempien toteutusvaihtoehtojen yksityiskohtia kustannuksineen ja lisäksi laaditut sähkökuvat ja sähkötyöselostus voivat toimia tarjouspyyntöasiakirjoina, jos samaan toteutusvaihtoehtoon päädytään.

Jatkotutkimuksina muuntamon saneerauksen suorittamisen jälkeen, sähköjakelun luotettavuuden kannalta suoritettavaksi suosittelen, sairaalarakennuksen alkuperäisen pääkeskuksen uusimisen hankesuunnittelua sekä sähkölaadun mittauksia ja analysointia.

## LÄHTEET

- Aura, L. & Tonteri, A. 2002. Teoreettinen sähkötekniikka ja sähkökoneiden perusteet. 3.-4.painos. Helsinki: WSOY.
- Elovaara, J. & Haarla, L. 2011a. Sähköverkot I. Helsinki: Otatieto.
- Elovaara, J. & Haarla, L. 2011b. Sähköverkot II. Helsinki: Otatieto.
- Elovaara, J & Laiho, Y. 1998. Sähkölaitostekniikan perusteet. 6. painos. Helsinki: Otatieto.
- Eurolaite 2016. Viitattu 24.3.2016. <http://www.eurolaite.fi/jakelumuuntajat>
- EUR-Lex 2016. Komission asetus (EU) N:o 548/2014. Viitattu 29.3.2016. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=CELEX%3A32014R0548>
- Hietalahti, L. 2011. Muuntajat ja sähkökoneet. Tampere: Amk-Kustannus Oy Tammertekniikka.
- Huotari, K. & Partanen, J. 1998. Teollisuusverkkojen oikosulkuvirtojen laskeminen. Opetusmoniste. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.
- Kastell, P. 2016. Rantakatu 4:n sähkön kulutus ajalla 2011-2015. Sähköposti hannu.eskelinen@caverion.fi 18.2.2016. Tulostettu 1.4.2016.
- Lakervi, E. & Partanen, J. 2008. Sähkönjakelutekniikka. 3.painos. Helsinki: Otatieto.
- Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 2010. Sähkönjakelutekniikka, jakeluverkkojen tekninen laskenta. Luentomateriaali. Viitattu 11.4.2016. [https://noppa.lut.fi/noppa/.../jakeluverkkojen\\_tekninen\\_laskenta.pdf](https://noppa.lut.fi/noppa/.../jakeluverkkojen_tekninen_laskenta.pdf)
- Nerto, E. 2016. Tarjous. Sähköposti hannu.eskelinen@caverion.fi 25.2.2016. Tulostettu 22.4.2016.
- Norelco 2015. Vakiorakenteiset puistomuuntamot. Viitattu 10.3.2016. <http://www.norelco.fi/UserFiles/LiiteTiedostot/29102014123110-NPM300.pdf>

- Partanen, J. 2011. Pienjänniteverkot luentomateriaali. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Viitattu 9.3.2016.  
[http://www.google.fi/?gws\\_rd=ssl#q=Pienj%C3%A4nniteverkot+jarmo+partanen](http://www.google.fi/?gws_rd=ssl#q=Pienj%C3%A4nniteverkot+jarmo+partanen)
- Pohjois-Pohjanmaan sairaanhoitopiiri 2015. Viitattu 3.3.2016.  
<https://www.ppshep.fi/ammattilaiset/prime102/prime104/prime132.aspx>
- Prysmian Finland Oy 2016. Viitattu 15.4.2016.  
<http://fi.prysmiangroup.com/en/index.html>
- Raahen Energia Oy 2016. Raahen sairaalan sähkökäyttöraportti vuodelle 2015.
- Raahen seudun hyvinvointikuntayhtymä 2015. Viitattu 3.3.2016.  
<http://www.ras.fi/etusivu>
- RT 92-10774. 2002. Muuntamotila rakennuksessa. Rakennustieto Oy.
- Satmatic 2011. HEJA teräsrakenteiset sähköasemat. Viitattu 9.3.2016.  
<http://www.satmatic.fi/upload/esitteet/heka/heja-terasrakenteiset-sahkoasemat.pdf>
- Schneider Electric Industries SAS 2015. Low Voltage Source changeover systems. Viitattu 19.4.2016  
[http://download.schneiderelectric.com/files?p\\_File\\_Id=1338189910&p\\_File\\_Name=LVPED211022EN\\_WEB2.pdf](http://download.schneiderelectric.com/files?p_File_Id=1338189910&p_File_Name=LVPED211022EN_WEB2.pdf)
- SFS-käsikirja 600-1. 2012. Sähköasennukset. Osa 1:SFS 6000 pienjännitesähköasennukset. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry.
- SFS 6001. 2015. Suurjännitesähköasennukset. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry.
- SFS 6002. 2015. Sähkötyöturvallisuus. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry.
- Simonen, M. 2006. Sähköjakeluverkon suunnitteluperusteet. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Diplomityö.



ST-käsikirja 20. 2005. Varmennetut sähkönjakelujärjestelmät. Espoo: Sähkötieto ry.

ST 52.15. 2014. Loistehon kompensointi ja kompensointilaitteet alle 1000 V:n pienjänniteverkossa. Espoo: Sähköinfo Oy.

ST 52.16. 2014. Yliaaltosuodatinlaitteet ja niiden sijoitus alle 1000 V:n pienjänniteverkossa. Espoo: Sähköinfo Oy.

ST 53.11. 2003. Kaapeliliityntäisen sähkönkäyttäjän muuntamo. Espoo: Sähköinfo Oy.

Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. 2007. Maadoituskirja. Espoo: Sähköinfo Oy.

Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. 2013. D1-2012 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. Espoo: Sähköinfo Oy.

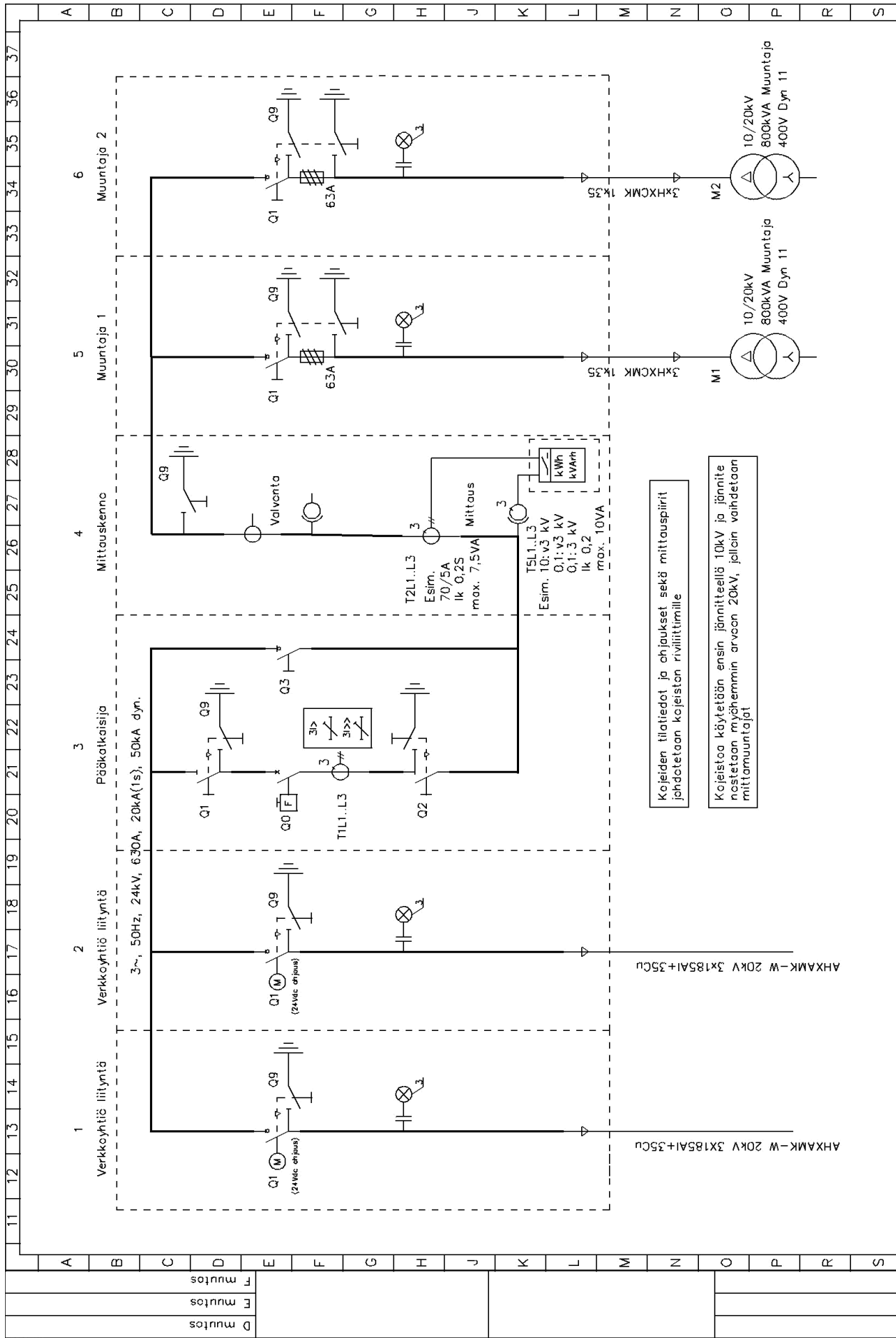
Ukura, E. 2016. Raahen seudun hyvinvointikuntayhtymä. Huoltomestarin haastattelu 12.1.2016.

Uusivirta, J. 2016. Raahen Energia Oy. Verkostopäällikön haastattelu 22.1.2016.

Verkostosuositus RM 3:02. Kaapeliliitäntäinen verkonhaltijan muuntamo. Sähköenergialiitto ry.

## LIITTEET

- Liite 1. Keskijännitekojeistojen pääkaavio SÄH 001
- Liite 2. Keskijännitekojeistojen pääkaavio SÄH 002
- Liite 3. Pienjännitepääkeskuksen pääkaavio SÄH 003
- Liite 4. Sähköjakelun pääkaavio SÄH 005
- Liite 5. Sairaalarakennuksen pohjakuva
- Liite 6. Sähkötyöselostus, Raahe sairaalan muuntamon saneeraus

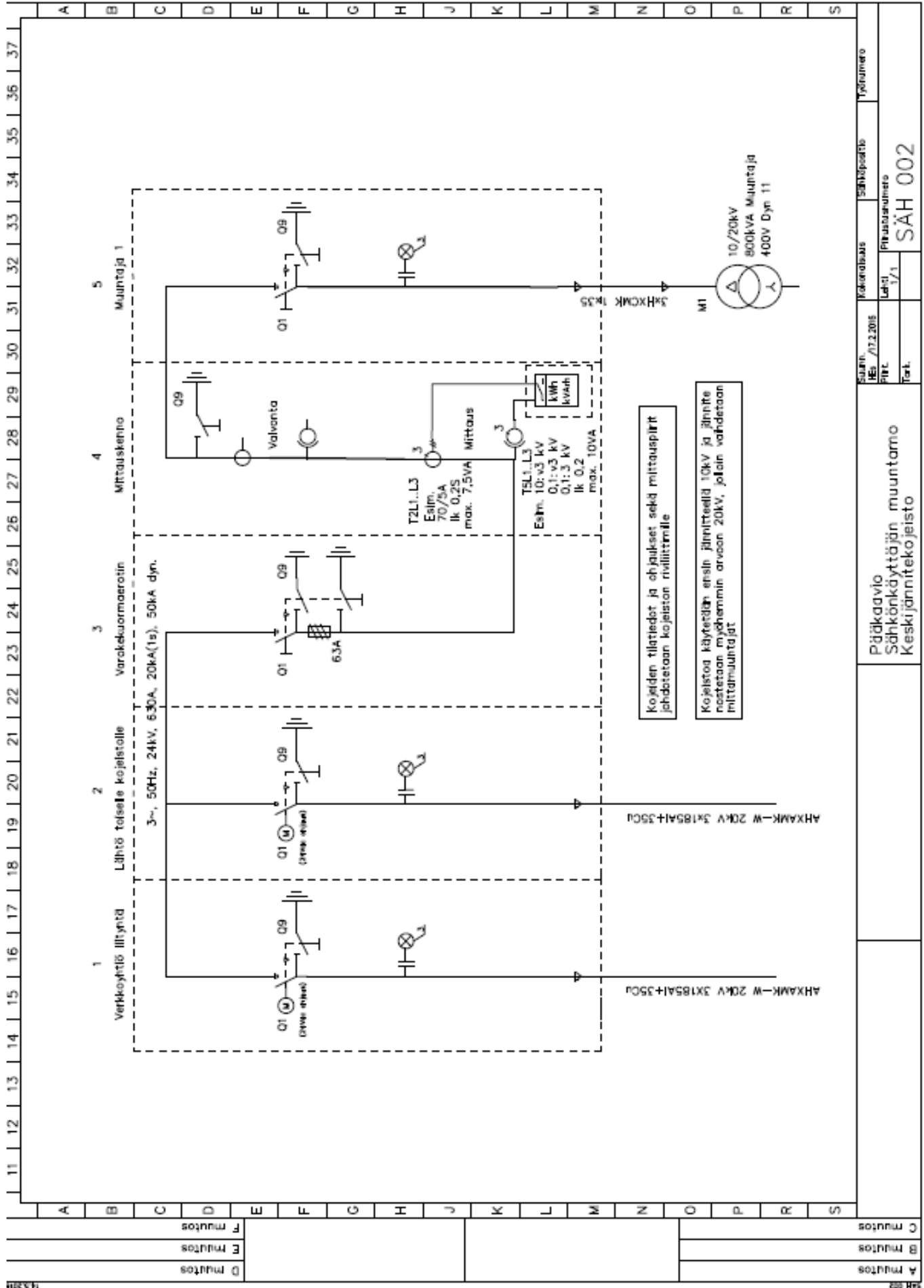


Kojeiden tilatiedot ja ohjaukset sekä mittauspiirit johdetaan kojeiston riviliittrille

Kojeistoa käytetään ensin jännitteellä 10kV ja jännite nostetaan myöhemmin arvoon 20kV, jolloin vaihdetaan mittamuuntajat

A	D muutos
B	E muutos
C	F muutos
D	
E	
F	
G	
H	
J	
K	
L	
M	
N	
O	
P	
R	
S	

Pääkaavio Sähkökäyttäjän muuntamo Keski-jännitekojeisto		Suunn. HEs /16.2.2016		Kokonaisuus		Sähköpiirio		Työnumero	
		Pirtt.		Lehti		Pirtustusnumero			
		1/1				SÄH 001			
		Tark.							



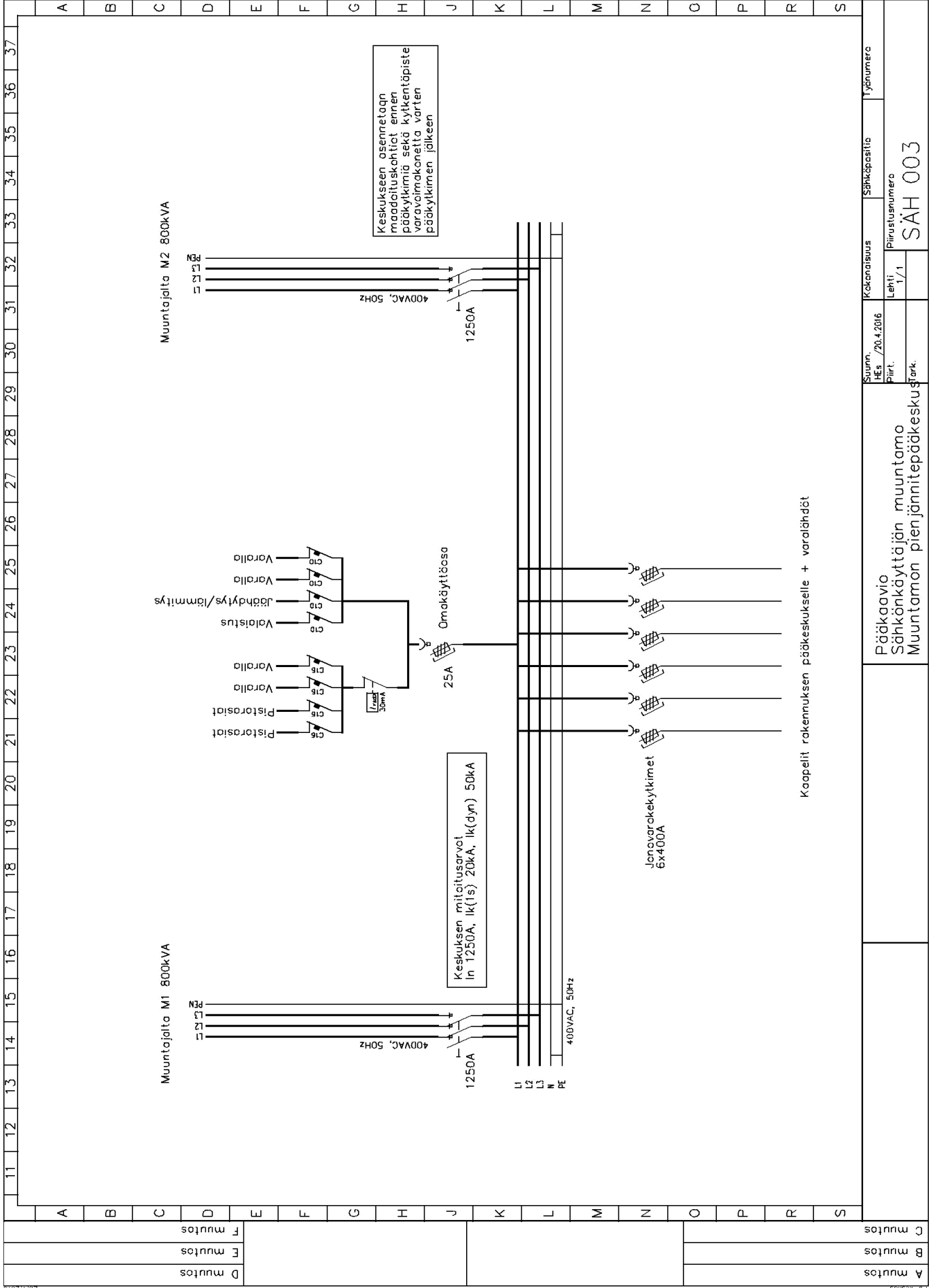
A	Muutos
B	Muutos
C	Muutos
D	Muutos
E	Muutos
F	Muutos

Yhtymä	Sähkösosia	Kokorobas	1/1
Yhtymä	1/1	1/1	1/1
Yhtymä	1/1	1/1	1/1

Yhtymä	1/1	1/1	1/1
Yhtymä	1/1	1/1	1/1
Yhtymä	1/1	1/1	1/1

Yhtymä	1/1	1/1	1/1
Yhtymä	1/1	1/1	1/1
Yhtymä	1/1	1/1	1/1

Yhtymä	1/1	1/1	1/1
Yhtymä	1/1	1/1	1/1
Yhtymä	1/1	1/1	1/1

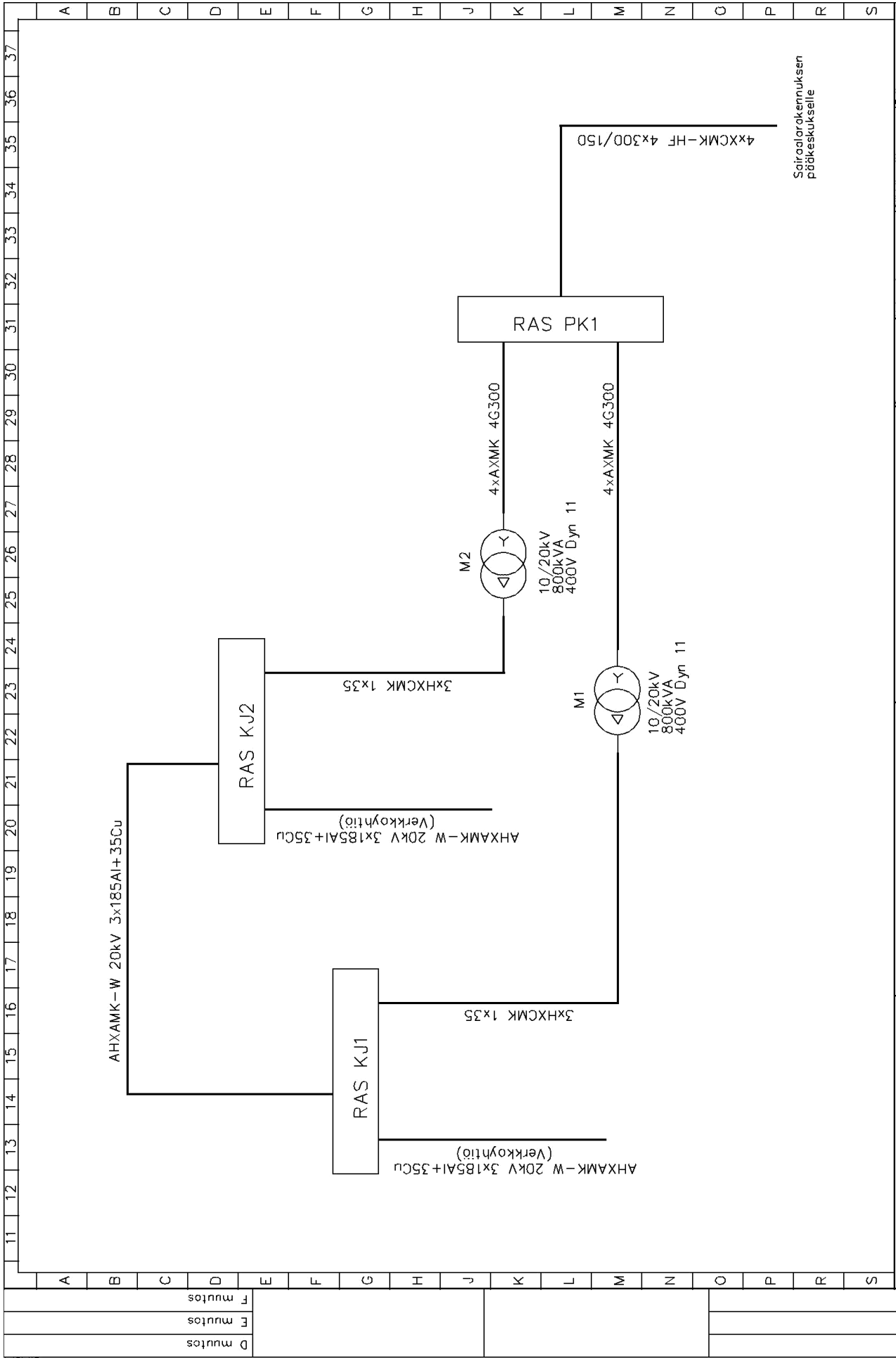


Proj. Nro. /20.4.2016	Kokonaisuus	Sähköpiirros	Yönumero
Piir. /1/1	Lehti	Piirustusnumero	SÄH 003

Pääkaasvio  
Sähkökäyttäjän muuntamo  
Muuntamon pienjännitepääkeskus

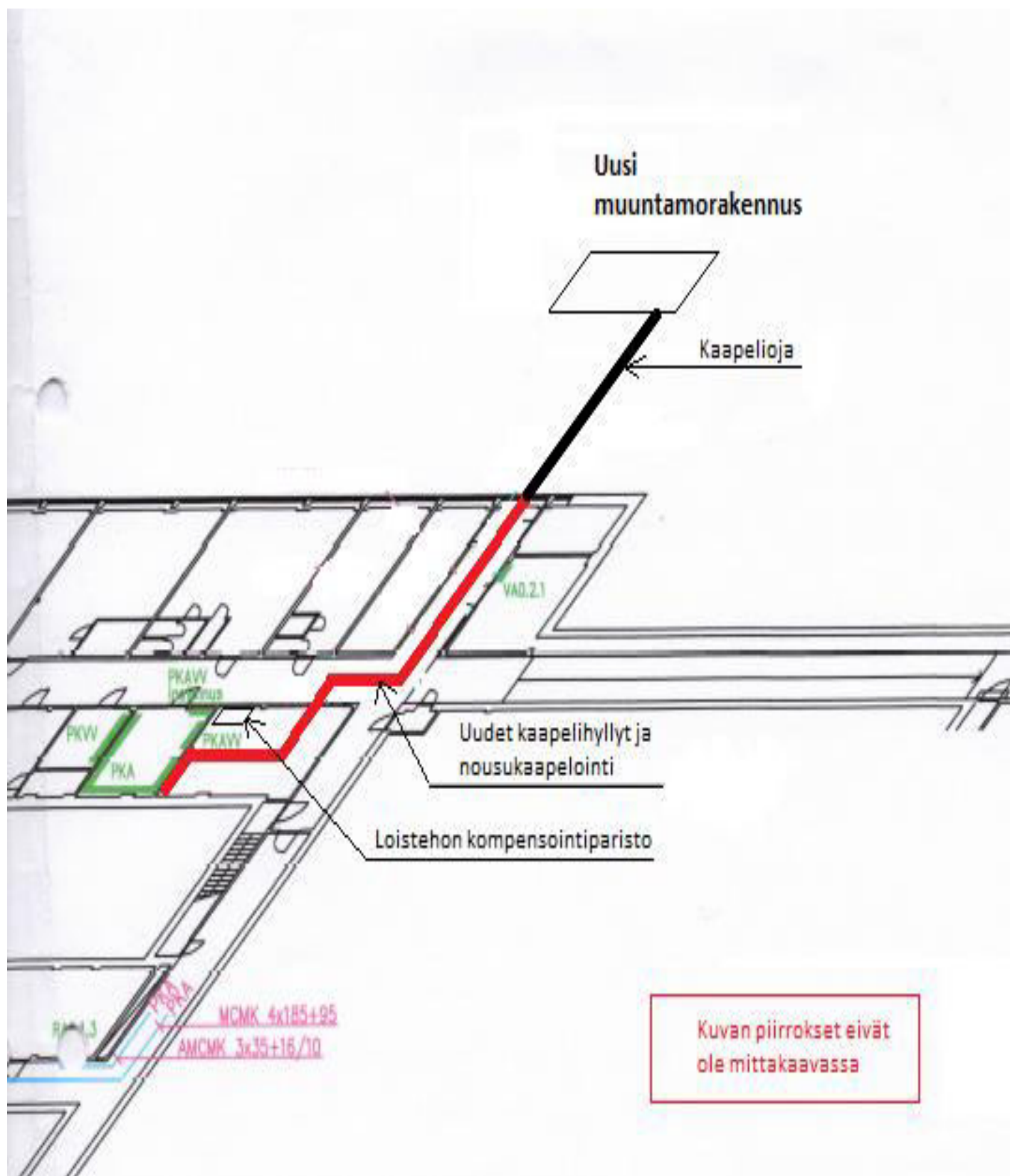
Kaapelit rakennuksen pääkeskukselle + varalähdät

A muutos
B muutos
C muutos



A muutos		Pääkaavio Sähkönjakelun pääkaavio Raahen sairaala muuntamo 1		Suunn. HE3 / 20.4.2016		Kokonaisuus		Sähköpiirros		Työnumero	
B muutos				Pirt.		Lehti		Pirtustenumero			
C muutos				Tark.		1/1		SÄH 005			

D muutos	
E muutos	
F muutos	



# Sähkötyöselostus

## Raahen sairaalan muuntamon saneeraus

### Hankkeen yleistiedot

Raahen sairaalan 10/0,4 kV muuntamo sijaitsee nykyisin sairaalarakennuksen kellarikerroksen muuntamotilassa ja on laitteistoltaan rakentamisvuotensa 1965 mukaisessa alkuperäiskunnossa. Sairaalan muuntamo saneerataan rakentamalla uusi muuntamorakennus pääsähkönjakelua varten sairaalan pohjoispuolelle, noin 8 metrin päähän sairaalarakennuksen pohjoisseinästä. Uuden muuntamon valmistuttua, puretaan vanhan muuntamon laitteistot pois ja uusitaan kiinteistön loistehon kompensointi laitteistoineen vanhaan muuntamotilaan.

### Yleistä

Muuntamon saneerausurakka suoritetaan kokonaisurakkaperiaatteella eli urakkaan kuuluvat kaikki tarvittavat tarvikkeet ja suunnittelu, asennus- ja rakennustyöt sekä maanrakennustyöt aputöineen, tämän työselostuksen ja urakkaneuvotteluissa sovittujen teknisten reunaehtojen mukaisesti toteutettuna. Myös kaikki vanhan muuntamon sähkölaitteiden purkutyöt ja laitteiston asianmukainen hävittäminen kuuluvat urakkaan. Tilajalle luovutetaan käyttövalmis ja koestettu, kaikki sitä koskevat standardit, määräykset, asetukset ja ohjeet täyttävä sähkönkäyttäjän muuntamo.

Kaikki työt tulee suorittaa ensiluokkaisia tarvikkeita käyttäen ja voimassa olevia standardeja, määräyksiä, asetuksia ja ohjeita sekä hyvää asennustapaa noudattaen. Tällä työselityksellä tarkennetaan ja täydennetään edellä mainittuja standardeja, vaatimuksia ja säännöksiä, ei poiketa niistä.

### 1 Työn suoritus

Rakennetaan uusi muuntamorakennus sairaalan pohjoispuolelle, liitteen 5 osoittamaan ohjeelliseen paikkaan. Muuntamolle rakennetaan olemassa olevan asfalttitiien reunasta, kulkuun soveltuva murskepintainen kulkutie. Kaivutöiden yhteydessä muuntamorakennuksen ympärille rakennetaan maadoituselektrodi sekä asennetaan muuntamon kaapelikellariin menevät putket kaapeleita varten. Muuntamorakennuksesta kaivetaan kaapelioja sairaalarakennuksen pohjoisseinälle, johon on tehty kaapelointia varten läpiviennit. Verkko-yhtiö uusii saneerauksen yhteydessä keskikaapelit uuden muuntamo kojeistoille asti.



Muuntamo rakennetaan täysin valmiiksi ja myös koestetaan ja käyttöönotetaan muuntamon pienjännitepääkeskuksen lähtöihin saakka. Muuntamo liitetään sairaalarakennuksen pääkeskukseen ja näin kiinteistön sähköjärjestelmään rakennettavilla nousu-, maadoitus- ja ohjauskaapeloinneilla, jotka tehdään myös vanhan muuntamopään osaa lukuun ottamatta täysin valmiiksi. Yön mittaisessa jännitekatkossa, uusi käyttöönotettu ja koestettu sekä toimintavalmis muuntamo, liitetään sairaalarakennuksen vanhaan pääkeskukseen. Tämän jälkeen, kun uusi muuntamo onnistuneesti syöttää sairaalaa, kaikki vanhan muuntamon sähkölaitteistot puretaan pois vanhasta muuntamotilasta.

Vapautuneeseen vanhaan muuntamotilaan asennetaan tämän jälkeen loistehon kompensoinnin estokelapatteristo, joka kaapeloidaan ja kytketään soveltuvin osin valmiiksi. Uudessa yön mittaisessa jännitekatkossa, puretaan vanhasta pääkeskuksesta vanhat kompensointikondensaattorit laitteistoiheen pois ja asennetaan näin vapautuneeseen tilaan, uudet kytkinvarokkeet ja virtamuunnin sekä tehdään kaapelien kytkennät ja estokelapatteriston käyttöönotto.

## **2 Muuntamotila**

Tilaaaja hakee kustannuksellaan muuntamolle rakennusluvan, urakoitsijan toimittamien muuntamon pääkuvien ja muuntamon tarkan sijoituksen osoittavan asemapiirroksen mukaisesti, jonka jälkeen voidaan aloittaa muuntamon rakentaminen. Muuntamorakennuksen tulee olla sitä koskevien rakennemääräyksien mukainen, huoltokäytävällä varustettu sisältä hoidettava muuntamo, johon valitut pääsähköjakelun kojeistot, pääkeskus ja apulaitteet sopivat. Muuntamorakennuksen pohjaan tulee jäädä kaapelikellari, joka mahdollistaa tarvittaessa myöhemmät kaapeloinnin muutokset ja lisäykset. Muuntamo tulee olla, katto mukaan luettuna, soveltuvasti lämpöeristetty sekä varustettu sopivalla lämmityksellä ja jäähdytyksellä, jollaisiksi voivat käydä esimerkiksi ilmalämpöpumppu ja patterin yhdistelmä. Lisäksi muuntamon täytyy olla varustettu riittävällä ulko- ja sisävalaistuksella sekä tarvittavalla ilmanvaihdolla, huomioiden muuntajien mahdollisesti kesän huippukulutuksen aikana tarvitsema ilmanvaihto.

Muuntamon suunnitellaan ja asennetaan sisälämpötilan mittaus, joka yhdistetään kaapeloimalla sairaalan kiinteistönvalvontajärjestelmään, johon ohjelmallisesti rakennetaan muuntamon yli- ja alilämpö hälytykset. Muuntamoon suunnitellaan ja asennetaan paloilmaisimet, jotka liitetään kaapeloimalla sairaalarakennuksen automaattiseen paloilmaisimeen. Kylmissä muuntamotiloissa käytetään lämpöilmaisimia ja lämpimissä sisätiloissa yhdistelmäilmaisimia.

## **3 Maa- ja kaivutyöt**

Muuntamorakennukselle suunnitellaan ja tehdään sen rakenteen ja perustuksien vaatimat sekä kulkutien vaatimat maansiirtotyöt, huomioiden mahdolliset tarvittavat sadevesijärjestelmät.

Kaivetaan kaapelioja muuntamon ja sairaalarakennuksen pohjoisseinän välille. Kaapeliojan syvyys on noin 0,8 m ja leveys noin 1 m. Ojaan pohjalle sekä kaapelien päälle laitetaan hiekkaa noin 10 cm. Nousukaapelit suojataan, kukin omalla kevyellä kaapelinsuojakourullaan ja ohjauskaapelit suojataan nippuna yhdellä kevyellä kaapelinsuojakourulla. Syöttökaapelit ja maadoituskaapeli sijoitetaan toiseen reunaan

kaapeliojaan ja ohjauskaapelit toiseen reunaan ja näiden välille jätetään noin 30 cm väliä. Kaapeliojaan levitetään, noin 30 cm syvyydelle maanpinnasta, kaapelivaroitusnauha.

Muuntamorakennuksen maatöiden yhteydessä asennetaan suunniteltavaksi kuuluva, muuntamon kaapelikellariin menevä tarvittava putkitus varaputkineen, huomioiden verkkoyhtiön tarpeet keskijänniterengassyötölle. Huomioidaan myös erityisesti sairaalarakennuksen nousukaapelien putkitus muuntamon kaapelikellariin, jossa putket (4 kpl) asennetaan vähintään 0,7 m päähän toisistaan, jotta täytetään kaapeleille lasketun korjauskertoimen vaatimukset.

#### 4 Jakelumuuntajat

Jakelumuuntajiksi asennetaan ekosuunnitteludirektiivin mukaisia öljyeristeisiä 800 kVA:n muuntajia 2kpl, jotka on varustettu niiden alla olevilla asianmukaisilla öljynkeräysastioilla. Energialuokaltaan käytettäviksi valitaan, pitoajan kustannuksiltaan tässä tapauksessa kilpailukykyisiksi osoittautuneet,  $A_0A_k$ -luokan öljyeristeiset jakelumuuntajat

Muuntajat varustetaan 10/20 kV jännitteenvaihtokytkimillä sekä kaksoiskosketinlämpömittareilla. Kaksoiskosketinlämpömittareilta suunnitellaan ja kaapeloidaan alempi hälytysrajatieto vietäväksi kiinteistönvalvontajärjestelmään muuntajan ylälämpö hälytyksenä sekä vastaavasti suunnitellaan ja kaapeloidaan ylempi hälytysrajatieto vietäväksi kojeiston varokekuormaerottimen laukaisukelalle.

#### 5 Keskijännitekojeistot

Asennetaan muuntamoon rakenteeltaan joko ilmaeristeiset tilakoteloitu keskijännitekojeistot tai  $SF_6$ -eristeiset keskijännitekojeistot, liitteen 4 periaatteen mukaisesti keskijännitekaapeleilla toisiinsa yhdistettyinä. Keskijännitekojeistot toteutetaan rakenteeltaan ja komponenteiltaan liitteen 2 periaatteen mukaisesti. Keskijännitekojeistojen sähköisinä mitoitusarvoina käytetään ST-kortin ST 53.11 (2003) taulukkoa 5.

#### 6 Pienjännitepääkeskus

Muuntamoon sijoitetaan pienjännitepääkeskus, johon kaapeloidaan molemmat jakelumuuntajat ja josta kaapeloidaan sairaalarakennuksen nousukaapelointi, liitteen 4 periaatteen mukaisesti. Pääkeskuksessa on myös omakäyttöosa muuntamon tarpeisiin. Pääkeskus toteutetaan sähköisiltä mitoitusarvoiltaan liitteen 3 periaatteen mukaisesti, lisättyä pääkatkaisijoiden syötönvaihtoautomaatiikalla.

Varmistetaan suunnittelun toimesta ennen saneerauksen toteutusta, nykyisen sairaalarakennuksen pääkeskuksen kiskostojärjestelmä (PE ja N-kisko, onko yhdistystä?) ja siitä lähtevien nousujohtojen nykyiset kytkennät ja tästä seuraavat uusien johtojen kytkentätavat.

## 7 Maadoitukset

Suunnitellaan ja asennetaan muuntamolle päämaadoituskisko ja tehdään muuntamolle maatoiden yhteydessä noin 1 m syvyyteen rengasmaadoituselektrodi Cu25-kupariköydellä, jonka molemmat päät kytketään muuntamon päämaadoituskiskoon. Suunnitellaan ja asennetaan muuntamolle, kojeistoille sekä keskukselle standardin mukaiset maadoitukset sekä yhdistetään muuntamon päämaadoituskisko ja rakennuksen maadoituskisko sopivalla kevi-johtimella. Maadoitusten suunnittelussa ja asennuksessa noudatetaan standardien määräyksiä sekä ST-kortin ST 53.11(2003)liitteen 1 mukaista toteutusperiaatetta.

## 8 Liittymäkaapelit

Verkkoyhtiö Raahen Energia Oy uusii keskijänniteliittymäkaapelit muuntamon saneerauksen yhteydessä kojeistojen kuormaerottimille saakka.

## 9 Nousu- ja ohjauskaapelit

Sairaalarakennuksen sisällä käytetään kaapelityyppinä vain standardin mukaisia HF-tyyppisiä, eli halogeenittomia, vähän savu tuottavia ja itsestään sammuvia kaapeleita.

Nousukaapelointina sairaalarakennuksen pääkeskukselle käytetään kaapeleita 4xXCMK (4x300+150) maa-asennuksen vierekkäisten kaapelien asettamasta korjauskertoimesta johtuen, etusulakkeiden ollessa gG 300 A. Nousukaapeloinnin suunniteltu pituus on noin 43 m.

Suunnitellaan ja asennetaan muuntamon ja sairaalarakennuksen välille kaikki tarvittavat ohjauskaapelit, joita ovat ainakin: paloilmaisinryhmän kaapelit, kiinteistönvalvontajärjestelmään liittyvät kaapelit sekä Raahen Energian ohjaus- ja mittausjärjestelmien kaapelit.

Varmistetaan suunnittelun toimesta ennen saneerauksen toteutusta, nykyisen sairaalarakennuksen pääkeskuksen kiskostojärjestelmä (PE ja N-kisko?) ja siitä lähtevien nousujohtojen nykyiset kytkennät ja tästä seuraava uusien johtojen kytkentätapa.

## 10 Kiinteistön loistehon kompensointi

Uusitaan vanha kondensaattoripatteristo ja poistuvat kiinteät kondensaattorit, korvaamalla ne uudella estokelapatteristolla, joka sijoitetaan muuntamon saneerauksen yhteydessä tyhjentyvään vanhaan muuntamotilaan. Suunnitellaan ja asennetaan loistehon kompensointi yksityiskohtaisen suunnitelman perusteella, esimerkiksi seuraavalla tavalla: Kiinteistön loistehon kompensointi toteutetaan saneerauksen yhteydessä asennettavalla loistehonsäätöautomatiikalla varustetulla estokelapatteristolla, jonka viritystaajuus

estokelapariston tehoksi valitaan suurin yhteen yksikköön mahtuva 350 kVAR ja patteriston portaaksi esimerkiksi 12.5 + 25 + 37.5 + 50 + 3x75 kVAR:n portaat. Tätä estokelaparistoa laajennetaan viereen asennettavalla 200 kVAR:n orjaparistolla koko 2000(k)x800(l)x600(s), jonka portaat ovat esimerkiksi 3x50 + 2x25 kVAR ja orjapatteria ohjaa näin säätimen 5 säätöporrasta.

Pääkeskuksen virtakiskoon asennetaan yhdelle vaiheelle tarkoitukseen soveltuva virtamuunnin, joka kaapeloidaan uudelle kompensointipatterille loistehon säädön virtamittausta varten. Loistehon kompensointipatteristoa varten joudutaan asentamaan sairaalarakennuksen pääkeskukseen uudet 630 A:n ja 400 A:n kytkinvarokkeet vanhan kondensaattoripatteriston lähtöihin, niiden purkautuessa tässä yhteydessä pois. Estokelapatteristo kaapeloidaan pääkeskukseen valmistajan ohjeen mukaisesti, esimerkiksi kaapeleilla 2xMCMK 3x185+95 ja etusulakkeiksi laitetaan kahvasulakkeet gG 630 A. Orjapatteristo kaapeloidaan pääkeskukseen valmistajan ohjeen mukaisesti, esimerkiksi kaapeleilla 2xMCMK 3x95+50 ja etusulakkeiksi laitetaan kahvasulakkeet gG 400 A. Syöttökaapelien mitta on noin 10 m.

Estokelapatteristo kaapeloidaan ja kytketään patteriston päästä täysin valmiiksi. Yön mittaisen jännitekatkon yhteydessä tehdään kaikki vanhojen kondensaattorilaitteistojen ja kuormakytkimien purkutyöt pääkeskuksessa sekä asennetaan uudet kytkinvarokkeet pääkeskukseen ja kytketään estokelapatteriston kaapelit pääkeskukseen ja tehdään estokelapatteristo käyttöönotto.

## **11 Kaapelitiet**

Asennetaan sairaalarakennuksen sisälle tarvittavat kaapelihylly, joiden sijoitus näkyy ohjeellisesti esitettyinä liitteessä 5. Nousukaapeleille tehdään kaapelihylly KS-80 500 (noin 25m) ja ohjauskaapeleille kaapelihylly KS-80 200 (noin 25m), jotka asennetaan rinnakkain alas lasketun katon yläpuolelle ja vanhan muuntamon kattoon. Hyllyreitti kulkee pohjoisseinän kaapelien sisääntulokohdasta vanhaan muuntamoon, jossa se pääkeskuksen puoleisen seinän vieressä laskeutuu pääkeskustilaan menevään kaapelikuiluun. Hyllyjen loppuosa vanhassa muuntamossa, tehdään yön jännitekatkon aikana, nousukaapelien perille asennuksen tavoin.

Kaapelihyllyt suojataan asianmukaisilla potkusuojuilla pystyhyllykohdissa, eli vanhan muuntamon päässä ja kaapelien sisääntulokohdassa ulkoseinällä. Suojataan kaapelit myös pohjoisseinän ulkopuolella maahan mentäessä, 0,5 m syvyyteen saakka, soveltuvalla suojalla.

## **12 Läpiviennit ja palokatkot**

Tehdään timanttitoralla tms. asennuksessa tarvittavat läpiviennit nousu-, maadoitus- ja ohjauskaapeleille vanhan muuntamorakennuksen ja käytävän seinän läpiviennissä sekä kaapelien sisääntulo kohdassa pohjoisseinällä (esim. 5x100mm + 1x100mm reiät per läpivienti). Näihin tehtyihin läpivienteihin tehdään määräysten mukaiset palokatkot (asennetaan ohjauskaapelien läpivienteihin 50 mm varaputki, yksi kuhunkin 100 mm reikään) asennusten valmistuttua, huomioiden että ulkoseinälle vaaditaan kosteuden kestävä palokatko. Lisäksi tehdään palokatko vanhan muuntamon ja pääkeskushuoneen väliseen kaapelikuiluun asennusten valmistuttua.

## 13 Laitteiden ja kaapelien merkitseminen

Annetaan suunnittelussa jokaiselle keskukselle, kojeelle ja laitteelle positio tai tunnus ja merkitään kaikki kesukset, kojeet ja laitteet soveltuvilla ja vaatimuksien mukaisilla koje- tai tunnuskilvillä.

Annetaan kaikille kaapeleille suunnittelussa kaapelitunnus, mukaan lukien maadoitusjohtimet ja merkitään kaapelimerkillä kaikki kaapelit sekä maadoitusjohtimet niiden kytkentäpisteissä.

## 14 Koestus ja käyttöönotto

Tehdään kaikille sähkölaitteille ja sähkölaitteistolle standardin mukaiset käyttöönottotarkastukset sekä käyttöönottotarkastusmittaukset, jotka esitetään ryhmittäin eriteltyinä mittauspöytäkirjassa, joka liitetään käyttöönottotarkastuspöytäkirjaan. Tehdään kaikille asennetuille laitteille ja kojeille käyttökokeet, jotka dokumentoidaan suoritetuksi käyttöönottotarkastuspöytäkirjaan.

Mitataan myös maadoitusjohtimien jatkuvuudet päämaadoituskiskoon nähden ja dokumentoidaan tulokset mittauspöytäkirjaan käyttöönottotarkastuspöytäkirjan liitteeksi maadoitusjohtimittain eriteltyinä.

Varmistetaan mittaamalla tai muulla tavalla verkkoyhtiön kanssa selvittämällä, että muuntamon maadoitus on standardin vaatimusten mukaisesti osa laajaa maadoitusjärjestelmää ja on luotettavasti yhteydessä siihen, esimerkiksi keskijännitekaapelien keskusköysien välityksellä. Dokumentoidaan myös tämä mittauksen tai selvityksen tulos liitteeksi käyttöönottotarkastuspöytäkirjaan.

## 15 Piirustukset ja dokumentit

Asennusten aikana päivitetään urakoitsijan toimesta yhtä sähkökuvien punakynäsarjaa, johon merkitään kaikki asennuksiin tulevat suunnitelmista poikkeavat muutokset. Punakynäsarjan perusteella suunnittelija tekee tarvittavat muutokset loppukuviin.

Luovutetaan tilaajalle ennen vastaanottotarkastusta kaikki asennettujen sähkölaitteiden käyttö- ja huolto-ohjeet, sähkökeskusten vaatimustenmukaisuusvakuustodistukset, käyttöönottotarkastuspöytäkirjat liitteineen sekä puhtaaksi piirretyt sähkökuvat ja kaikki muut työhön liittyvät suunnitelmakuvat kahtena kappaleena paperiversiona sekä sovituissa muodossa sähköisenä versiona.

Suunnittelija laatii ainakin seuraavat tarvittavat hyvän suunnittelukäytännön mukaiset työ- ja loppukuvat hankkeesta:

- asemakaavakuva, jossa näkyy muuntamon sijainti ja kaikki maakaapelit, mukaan lukien maadoituselektrodi, sijainti- ja korkotietoineen
- paloilmaisimien sijoitus- ja johdotuspiirustus sekä paikantamiskaavio määräysten mukaisesti

- kojeistoista, keskuksista ja loistehon kompensointiparistosta pääkaaviot ja ohjauspiirikaaviot
- kaikista asennettavista sähköjärjestelmistä ja laitteista soveltuvat sähkökuvat ja kytkentäkuvat
- muuntamon maadoituskaavio
- kaikkien kojeiden, laitteiden ja keskusten sijoituspiirustus tasokuvaan sekä muuntamon että sairaalarakennuksen osalta
- nousukaapeloinnista sijoituspiirustus tasokuvaan
- kaapelihyllyistä sijoituspiirustus tasokuvaan.