

samk



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

JANNE KUUSIKORPI

Kuivalajittelulaitoksen varmennetun sähkönsyötön suunnittelu ja elin- kaarihallinnan tarkastelu

SÄHKÖ- JA AUTOMAATIOTEKNIIKAN
TUTKINTO-OHJELMA
2021

Tekijä Kuusikorpi Janne	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä 11 / 2021
	Sivumäärä 38 + 5	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi Kuivalajittelulaitoksen varmennetun sähkönsyötön suunnittelu ja elinkaarihallinnan tarkastelu		
Tutkinto-ohjelma Sähkö- ja automaatiotekniikka		
Tiivistelmä <p>Työn tarkoituksena oli suunnitella ja mitoittaa varmennetun sähkönsyötönjärjestelmä UPM Kymmene Oyj Seikun sahan kuivalajittelulaitokselle.</p> <p>Työssä kohteeseen tehtiin tekninen ja taloudellinen tarkastelu sekä toteutuksen kustannusarvio. Työssä otettiin kantaa sähköjärjestelmän osalta ainoastaan varmennetun sähkönsyötön osa-alueeseen. Työn kunnossapitosuunnitelmassa ei otettu kantaa sähköjärjestelmään muuten kuin työssä suunniteltujen asennusten tai laitteiden osalta. Asennustyöt on tarkoitus toteuttaa suunnitelman jälkeen.</p> <p>Työn suunnittelun aikana valittiin sopiva UPS-laite tarjouskyselyiden perusteella, suunniteltiin sopivat suojalaitteet ja mitoitettiin kaapeleiden pituudet ja niiden mahdolliset jännitehäviöt. Laitteelle ja akustoille tehtiin kunnossapitosuunnitelma, jonka tarkoituksena on vähentää äkillisiä korjauskuluja ja minimoida varaosien tarvetta. Järjestelmän huoltaminen alentaa elinkaarikustannuksia ja takaa kunnossapidon jatkuvan ja ajantasaisen tietämyksen laitteistosta.</p>		
<u>Asiasanat</u> UPS, suunnittelu, varmennettu sähkönsyöttö		

Author(s) Kuusikorpi Janne	Type of Publication Bachelor's thesis, AMK	Date 11 / 2021
	Number of pages 38 + 5	Language of publication: Finnish
Title of publication Design of the certified power supply of the dry sorting plant and review of life cycle management		
Degree program Electrical and automation engineering		
Abstract The purpose of this thesis was to design and dimension UPS system for the dry sorting plant of UPM Kymmene Corporation Seikku sawmill. In this work, a technical and financial review and cost estimate of the implementation were performed at the site. Only the aspect of the UPS system was taken into account in the work. The work maintenance plan did not take a position on the electrical system, except for the installations or equipment planned in the work. The installation work is to be carried out according the plan. During the planning of the work, a suitable UPS device was selected on the basis of tender inquiries, suitable protection devices were designed, and the cable lengths and their possible voltage losses were dimensioned. A maintenance plan was made for the equipment and batteries to reduce sudden repair costs and minimize the need for spare parts. System maintenance reduces life cycle costs and ensures continuous maintenance and up to date knowledge of the equipment.		
<u>Key words</u> UPS, planning, certified power supply		

ALKUSANAT

Haluan esittää suuret kiitokset kaikille ystäväilleni, läheisilleni, sukulaisilleni sekä erityisesti vanhemmilleni ja isosiskolleni, jotka ovat auttaneet ja tukeneet minua parhain mahdollisin tavoin saavuttaakseni päämääräni.

Tätä opinnäytetyötä tehdessäni minua avustivat hyvät kollegat ja henkilöt, joille haluan esittää kiitokset. Tärkeä henkilö tätä työtä tehdessäni on ollut vanhempi työtoverini Erkki Ojala, jolta olen vuosien saatossa saanut tarvitsemäni tiedot sekä taidot sahateollisuuden kunnossapidossa. Esitän myös kiitokseni esimiehelleni Miika Gustafssonille, jolta olen saanut tietoa sekä tukea jokapäiväisen työni suorittamiseen. Hän on avustanut ja valvonut tämän työ suorittamista. Tätä opinnäytetyötä tehdessäni sain teknistä tukea myös Leo Heikaselta, joka toimii Eaton Power Quality Oy:llä myynti-insinöörinä. Eaton Oy valmistaa ja toimittaa opinnäytetyötäni koskevan UPS-laitteen.

Do or do not, there is no try.

Yoda

Porissa 10.11.2021

Janne Kuusikorpi

SISÄLLYS

1 JOHDANTO.....	6
1.1 Seikun saha	7
1.2 UPM	9
1.3 Kuivalajittelulaitos	10
2 VARMENNETTU SÄHKÖNSYÖTTÖ.....	11
2.1 UPS-topologiat.....	12
2.1.1 Offline- ja standby-tekniikka.....	12
2.1.2 Line-interaktiivinen tekniikka.....	13
2.1.3 Online-kaksoismuunnostekniikka.....	14
2.1.4 Redundanttinen järjestelmä	16
2.1.5 Kaksoismuunnostekniikan lisäominaisuudet.....	17
2.2 UPS-laitteen valinta.....	20
2.2.1 Laitteiden eri kokoluokat ja käytettävyys.....	22
2.2.2 Akuston toiminta ja hallinta.....	23
2.2.3 Suljetut akustot.....	23
2.2.4 Avoimet akustot	24
3 ASENNUKSEN TOTEUTUS.....	24
3.1 Suunnittelu ja aikataulutus.....	25
3.2 UPS-laitteen valinta asennukseen	26
3.3 UPS-järjestelmän suojaus	28
3.4 Asennuksen kaapeloinnin mitoitus	29
3.5 Kaapeleiden jännitehäviön laskenta asennuksissa	31
4 ELINKAARENHALLINTA	32
4.1 Huolto ja ylläpito	33
4.2 Kunnossapitosuunnitelma.....	34
5 YHTEENVETO.....	36
LÄHTEET	
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Työ tehdään Seikun sahalle, joka on yksi UPM Kymmene Oyj:n neljästä sahatavara-laitoksesta Suomessa. Olen työskennellyt laitoksessa automaatio- ja sähkökunnossapidossa vuodesta 2013 alkaen. Sähköalan töistä minulla on 12 vuoden työkokemus. Opinnäytetyön on tarkoitus tukea työtäni varavoimajärjestelmien parissa sekä teknisesti että laitteiden kehittämismahdollisuuksia ajatellen.

Työn aiheena on sahan kuivalajittelulaitoksen muuttaminen varmennetun sähkönsyötön taakse. Tarkoituksena on tehdä suunnitelma sen rakentamiseksi, tutkia sen elinkaarta sekä sitä, miten sitä hallitaan. Lähtökohta tälle muutokselle oli se, että sahalla muut laitoksen osiot ovat jo varmennetun sähkönsyötön takana. Näissä osioissa ei kuitenkaan ole suoritettu tai tutkittu esimerkiksi elinkaariseurantaa tai kehittämismahdollisuuksia.

Työn alkuvaiheessa tehtiin kartoitus, jonka avulla selvitettiin, minkä tyyppistä tai merkkistä laitteistoa on tarkoitus hankkia laitokselle. Tarjouksia pyydettiin eri yrityksiltä. Lopulta päädyttiin yksimielisesti hankkimaan Eaton-valmistajan UPS-laite. Päätös perustui aiempaan kokemukseen, joka on muodostunut päivittäisessä työssä vuosien varrella sekä siihen, että kyseisen valmistajan laitteistoa on jo laitoksella.

Alkuvaiheen kartoitusta jatkettiin tekniikan ja laajuuden toteamisella: todettiin laitteet, jotka halutaan varmasti varmennetun sähkönsyötön taakse laitoksen käytinvarmuuden parantamiseksi sekä mietittiin paljonko tulevaisuudessa tehtäviä investointeja jo laitteistoa hankkiessa, otetaan huomioon. Laitoksessa on monta pientä erillistä aluetta, joista muodostuu kuivalajittelulaitoksen kokonaisuus.

Työtä jatkettiin määrittämällä kohteet, niiden ottamat virrat ja tehot ja mahdolliset ryhmäjoittelut. Lisäksi suunniteltiin, millaisia keskuksia ja lähtöjä tarvitaan, sekä suunniteltiin kaapeloinnit ja laskettiin mahdolliset jännitehäviöt ja oikosulkuvirrat

asennusten kannalta. Laitevalmistajalta kerättiin laitteiden teknisiä tietoja: paino- ja mittatietoja, akustotietoja, oikosulkuvirta-arvoja sekä tietoa mahdollisista lisäominaisuuksista, joilla UPS-laitteen voisi liittää esimerkiksi automatiikkaan. Tästä saataisiin arvokasta tietoa kunnossapidolle. Tässä vaiheessa aloitettiin myös laitoksen oman dokumentoinnin seuranta. Dokumentointi on hyödyllistä, sillä sen avulla saadaan tietoa asennukseen ja suunnitteluun liittyvistä kaapelointi- ja sulaketiedoista. Lisäksi työn taustalla vaikuttavat SFS 6000 -sähköturvallisuusmääräyksien kaapelointi- ja sulakevaatimukset.

Työn tarkoituksena on saada aikaiseksi hyvät pohjatiedot asennuksen suorittamiselle. Elinkaarimalleja tutkitaan riittävästi, jotta saadaan hyvä pohja sen hallinnalle kunnossapidon näkökulmasta ja riittävästi tietoa uusille kehittämismahdollisuuksille varmennetun sähkönsyötön suhteen. Suunnittelutyö sisältää standardeja, teoriaa ja käytäntöjä, joita voidaan hyödyntää asennusta tehdessä.

1.1 Seikun saha

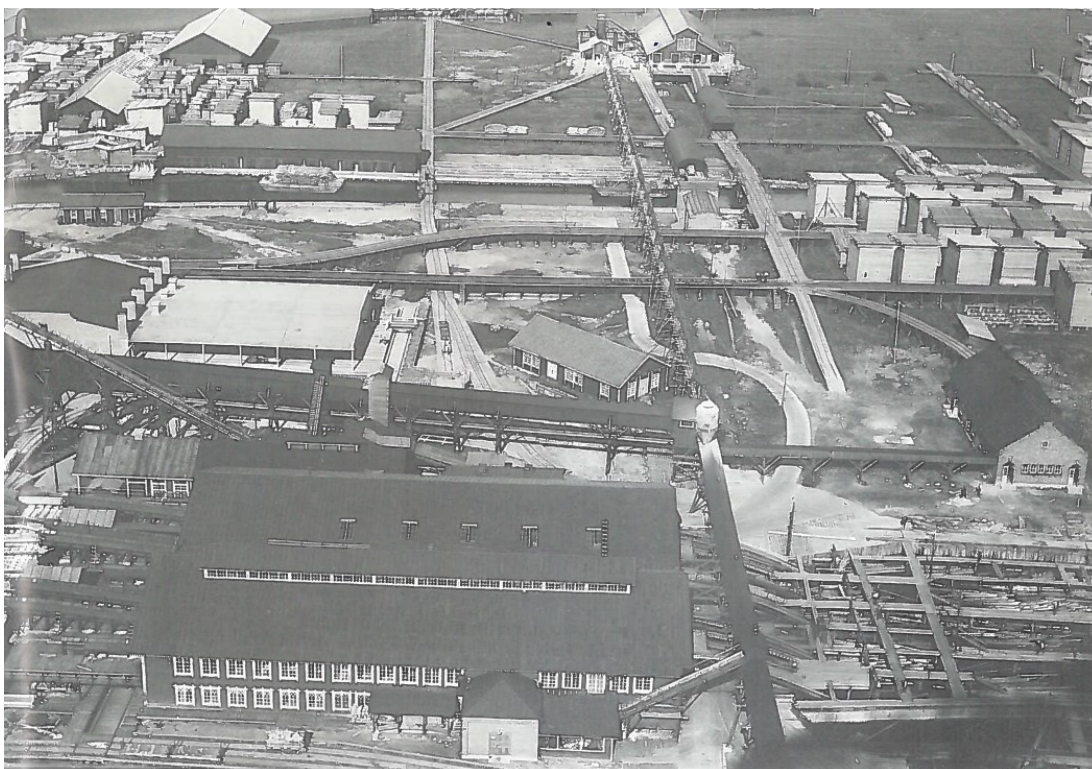
”Seikun saha perustettiin Aittaluodon alueelta vuokratulle Seikun saarelle vuonna 1872. Perustajina olivat Fredrik Wilhelm Rosenlew yhdessä englantilaisen kumppaninsa I.C. im Thurn & Co:n kanssa. Rosenlew omisti jo entuudestaan Isosannan sahan, mutta näki sen riittämättömäksi laitoksen koon ja vanhentuneen tekniikan takia. Hän halusi päästä nopeasti kehittyneeseen sahateollisuuteen mukaan. Sahan valmistuttua uudenaikaisella 3-raamisella ruotsalaisvalmisteisella höyrysahan koneistolla siitä kasvoi nopeasti Satakunnan suurin työllistäjä. Vuonna 1914 Seikun sahaa laajennettiin, minkä jälkeen siitä kasvoi Suomen suurin saha työllistäen jopa 750 henkeä.” (Porin kaupungin www-sivut 2021.)



Sanotaan, että jokaisen
suuren miehen takana on
aina nainen. Fredrik Wilhelm
ja Emma Rosenlew kävivät
valokuvauksessa vuonna 1857.

Kuva 1. Fredrik Wilhelm ja Emma Rosenlew (Yhtä näytön paikkaa, Similä 1997)

”Rosenlew keskitti sahaustoimintansa täysin Seikun sahalle vuonna 1941 sodasta huolimatta. Sotatilanteen keskellä sahatoimintaa jatkettiin, ja se koki tuotantoa parantavia uudistuksia. Sodan päätyttyä Seikun sahalta vietiin puutavaraa sotakorvauksina vuoteen 1949 asti. Vielä 1970-luvulla saha oli Suomen kolmanneksi suurin ja on toiminnassa edelleen vuonna 2021.” (Porin kaupungin www-sivut 2021.)



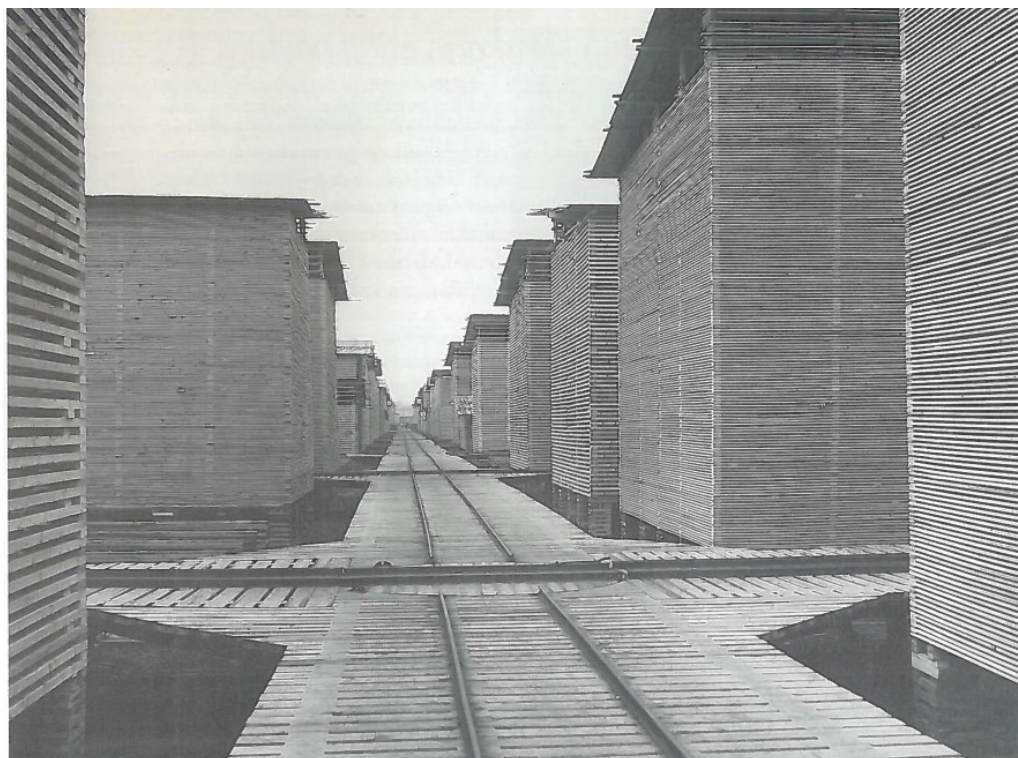
Kuva 2. Seikun saha vuonna 1927. Yleisnäkymä saha-alueesta pysyi vuosikaudet samanlaisena. (Yhtä näytön paikkaa, Similä 1997)

1.2 UPM

”Uusi yhtiö, UPM Kymmene, aloitti toimintansa toukokuussa 1996, sillä syksyllä 1995 perustettiin yritys, joka sai nimekseen UPM-Kymmene Oyj. Se syntyi, kun Kymmene Oy ja Repola Oy sekä sen tytäryhtiö Yhtyneet Paperitehtaat Oy (United Paper Mills) ilmoittivat fuusioitumisestaan.” (UPM www-sivut 2020.)

”Yhtiöllä on pitkä historia suomalaisessa metsäteollisuudessa. Yhtiön ensimmäiset sahat, puuhiomot sekä paperi- ja sellutehtaat aloittivat toimintansa jo 1870-luvulla. Sellunvalmistus alkoi 1800-luvun lopulla ja paperinjalostus 1900-luvun alkupuolella. Vannerinvalmistus alkoi yhtiössä seuraavalla vuosikymmenellä.”

”Nykyinen konserni on muodostunut aikoinaan itsenäisinä yrityksinä toimineista yhtiöistä, joita on kaikkiaan ollut noin sata. Myöhemmin yhtiöön ovat sulautuneet seuraavat yritykset: Schauman, Rosenlew, Rauma-Repolan metsäteollisuus, Yhtyneet Paperitehtaat, Kymi, Kaukas, Kajaani sekä Raf. Haarla.” (UPM www-sivut 2020.)



Seikun lautatarhan tapuleitten viivasuorista rivistöistä muodostui käsite, josta yksinkertaisesti ei voinut lipsua. Taaplareitten maine kiiri kauas maan rajojen ulkopuolelle. Kuva on vuodelta 1928, mutta sen olisi voinut ottaa vaikka 1972, jolloin tapuleitten aikakausi päättyi.

Kuva 3. Seikun lautatarha (Yhtä näytön paikkaa, Similä 1997)

1.3 Kuivalajittelulaitos

Kuivalajittelulaitos, joka tunnetaan myös nimellä tasaamo, on laitos, jossa suoritetaan puutavaran loppulajittelu. Nimitys johtuu siitä, että lajittelun ohella kuivaamosta tulevien saheiden päät tasataan tyvi- ja latvapäästä tarpeen mukaan joko vakio- tai asiakkaan haluamaan pituuteen. Kuivan sahatavaran käsittely alkaa kuivauskuormien purkamisesta lajittelulaitokselle, jossa sahatavara laatulajitellaan ja katkaistaan lopulliseen pituuteensa sekä lopuksi ohjataan paketointiin. Kuivalajittelulaitosten toiminta on suunniteltu monipuoliseksi, koska siellä voidaan käsitellä ohutta lautatavaraa sekä paksumpaa sydäntavaraa. (Sahateollisuus, Varis 2017.)

Lautatavara viedään lajiteluun tavaravirran määrää tasaavien laitteiden kautta arvostelupöydälle siksi, että lautoja on kappalemääräisesti enemmän, ne ovat keskimäärin kapeampia ja niissä esiintyy enemmän vajaasärmää, suippopäitä, lylyä sekä muita epä säännöllisyyksiä. Dimensioltaan paksummat saheet ja niin sanotut sydäntavarat, jotka valmistetaan tukin keskiosasta ja sisältävät puun ytimen, voidaan tuoda suoraan arvostelupöydälle erityisillä ylityskuljettimilla. Ne myös vähentävät sahatavarakappaleiden vaurioita, joita syntyy väistämättä lajittelussa.

Kuivalajittelulaitoksen alkupään tehtävänä on erottaa tuodusta erästä jokainen kappale yksittäin tunnistettavaksi. Tavara, joka on satunnaisessa järjestyksessä ja ryppäänä purtetu linjalle, hajotetaan tasaisesti eteneväksi sahatavaramatoksi. Annostelun jälkeen on sahatavarakappaleiden katkaisu eli tasaus. Tasaamon päätehtävänä on valmistaa kukin sahe lopulliseen pituutensa sekä lajitella samanlaiset ja samanlaatuiset kappaleet paketointia varten määrätyn kokoisiksi eriksi. Lajittelukuljettimet vievät kappaleet laadutuspäätöksen mukaisesti omiin lokeroihinsa. Tarvittavan määrän kertymisen jälkeen lokerossa olevat sahatavarakappaleet lasketaan lokeroston alla kulkeville kokooja- eli lokerostokuljettimille. Prosessi päättyy kuivalajittelussa siihen, kun saman lajittelukriteerin omaava kappalemäärältään tarkka erä saheita puretaan lokerosta kuljettimille ja lähetetään paketointiin. (Sahateollisuus, Varis 2017.)



Kuva 4. Kuivalajittelulaitos. Ajomies lajittelemassa sahatavaradimensiota (Yhtä näyttöpaikkaa, Similä 1997)

2 VARMENNETTU SÄHKÖNSYÖTTÖ

Varmennettu sähkönsyöttö eli UPS-järjestelmä (Uninterruptible Power System) on jokaisen hyvin suunnitellun sähkönsuojauksen keskeinen osa. Laite parantaa tulevan sähkön laatua, jotta yleiset jännitteiden notkahdukset ja virtapiikit eivät vahingoita elektronisia laitteita. UPS-järjestelmän avulla kriittiset laitteet sammuvat hallitusti eivätkä aiheuta tietojen menetystä tai laitteiden äkillistä rikkoutumista. (ABB verkkomateriaali 2019, s. 4)

Sähkön katketessa jakeluverkossa varmennettu sähkönsyöttö pitää sähkön laadun korkealla tasolla sekä ylläpitää varavoimaa niin pitkän aikaa, kunnes toissijainen energianlähde on käytössä tai jakeluverkon sähkö on taas käytettävissä. Sähkönsyötön suojaaminen UPS-laitteilla on tärkeässä roolissa nyky-yhteiskunnassamme. Jos sähkönsyöttö katkeaa vain sekunnin neljäsosaksi, se voi aiheuttaa tapahtumia, joiden vuoksi esimerkiksi IT-laitteita ei pystytä käyttämään minuuteista useampaan tuntiin.

Käytännössä jakeluverkon sähkö vaihtelee niin paljon, että se ei ole sataprosenttisesti luotettavaa. Näin ollen sähkökatkoksia voi olla jopa yhdeksän tunnin edestä vuoden aikana. Verkon sähkö ei ole tasalaatuista, ja siitä aiheutuu huomattavia ongelmia verkon takana oleville laitteille. EN 50160 -sähkönlaatustandardin mukaan jännitealue voi vaihdella, jopa +/- 10 % 230VAC-nimellisarvosta. (Eaton 2020.)

Erilaisten sähkölaitteiden ja järjestelmien käytettävyys on avainasemassa yhteiskunnassamme, mutta myös sähkön kustannuksiin kiinnitetään huomiota. Tällä hetkellä lähes kaikkien yritysten menestyksen ja kilpailukyvyn takana ovat toimivat IT-järjestelmät, jotka olivat aiemmin lähinnä yritysten eri toimintojen tukena. Kun nämä järjestelmät eivät toimi, ydinprosessit liiketoiminnassa voivat pysähtyä nopeasti tai kokonaan. Tämän takia myös yritysten sähkö- ja jäähdytyskulut ovat kasvaneet viime vuosina. Vastuu korkean käytettävyyden saavuttamisesta sekä samalla sähkön kulutuksen kustannusten laskemisesta on tärkeää. Siksi tehokkaat UPS-järjestelmät voivat auttaa tavoitteiden saavuttamisessa. Tämä ei ole ollut mahdollista vielä muutamia vuosia sitten. (ABB verkkomateriaali 2019, s. 2)

2.1 UPS-topologiat

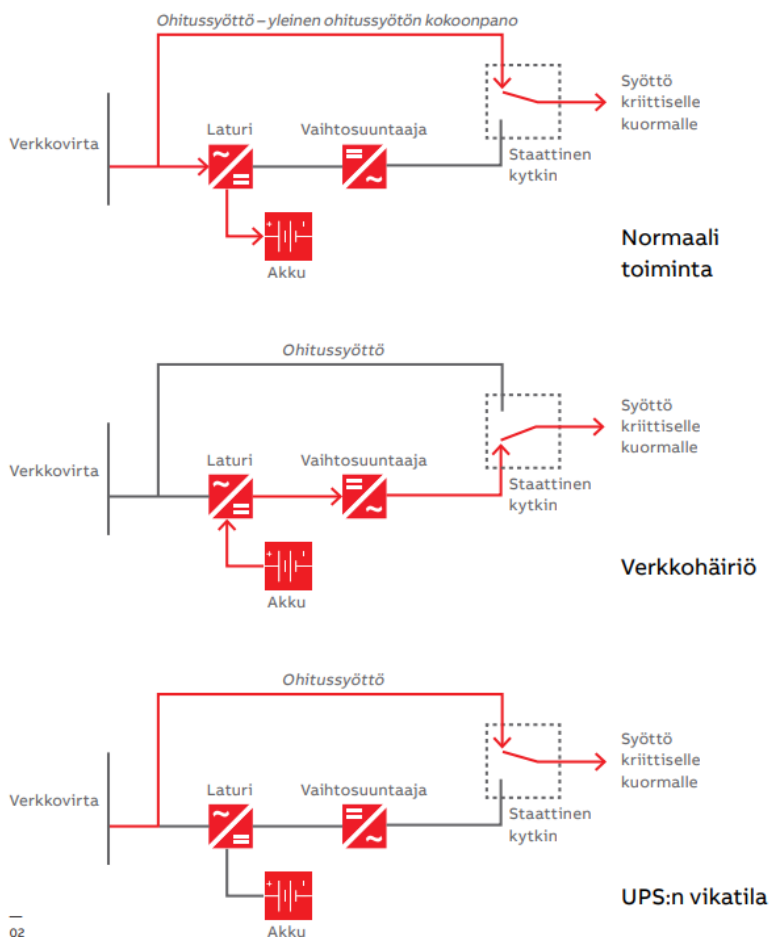
UPS-laitteet tuottavat varavoimaa laitteille, kun verkkosähkö katkeaa tai sähkönjakelussa esiintyy häiriöitä. Näitä ovat esimerkiksi virtapiikit, sähkökatkot tai katkokset, alijännite, ylijännite, kohina, taajuudenvaihtelut, harmoniset vääristymät sekä kytkentähäiriöt. Laitteet on luokiteltu suorituskyvyn mukaan standardein SFS-EN 62040-3 sekä SFS-EN 62040-4.

Aikoinaan varmennettu sähkönsyötön tekniikka perustui suurimassaisen vauhtipyörän hitauden käyttämiseen lyhytaikaisen tehonsuojauksen aikaansaamiseksi. Nykyisin tämä ovat korvattu nykyaikaisella, luotettavalla sekä kustannustehokkaalla tekniikalla. Vaikka nykyaikaiset UPS-laitteet tarjoavat useita erilaisia topologioita käytön varmistukseen, niiden peruseräkkeet ovat pysyneet lähes samoina. Kaikki perustuvat akustoon, invertteriin, tasasuuntaajaan, laturiin sekä joissakin tapauksissa vielä staattisen kytkimen käyttöön. (Ylinen, 2010.)

2.1.1 Offline- ja standby-tekniikka

Tämän mallin laitteet ovat yleisesti kaikkein yksinkertaisin UPS-tyyppi. (IEC 62040-3) Niistä puuttuu muutamia suorituskykyä lisääviä ominaisuuksia, mutta ne antavat perustason ylijännitesuojauksen sekä tehonsyötön vara-akuista. Jos pääjohdon virran-tulo keskeytyy tai jännite ylittää tai alittaa ennalta määritetyt arvot, offline UPS on

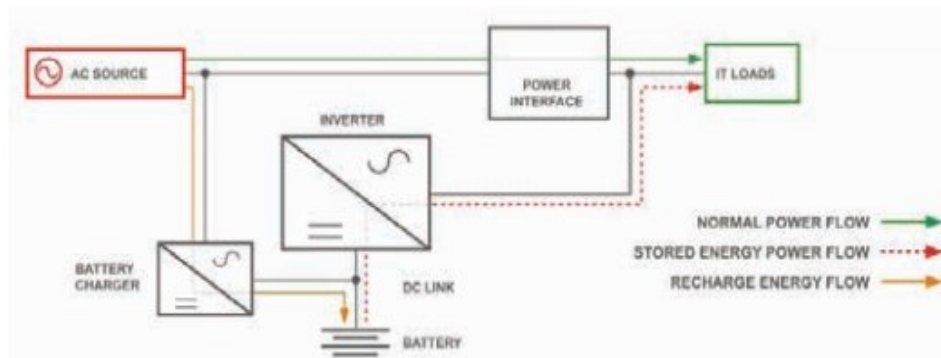
suunniteltu suojaamaan laitteita virran ohitusyötöllä siirtämällä tehon vaihtosuuntaajalle. Offline-tekniikan UPS:in lähtöjännite ei ole välttämättä sinimuotoista aaltoa akusto käytöllä vaan se voi olla kanttiaallon kaltainen. Tällainen aaltomuoto ei sovi kaikille ja saattaa aiheuttaa ongelmia tai toimimattomuutta sähkölaitteissa. (ST 52.35.01 2010.)



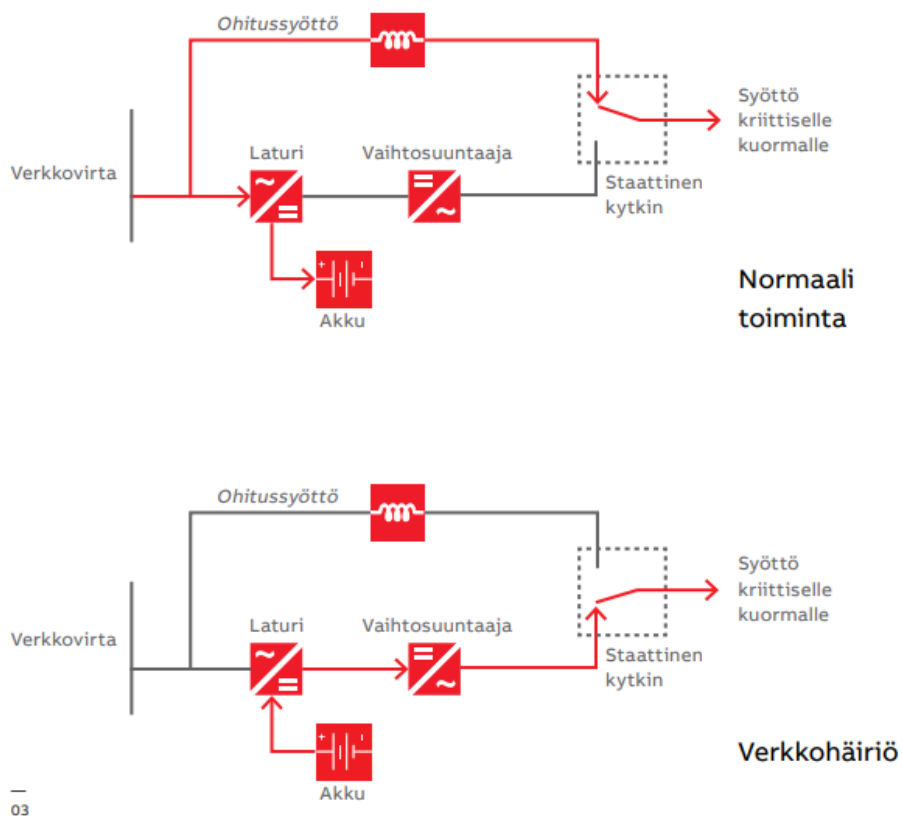
Kuva 5. Offline- ja standby-tekniikka (ABB verkkomateriaali 2019, s.6)

2.1.2 Line-interaktiivinen tekniikka

Tämän mallin laitteet toimivat samaan tapaan kuin offline- tai standby-tekniikan UPS, mutta tässä tekniikassa laite käyttää akustoa suojana jännitteen vaihteluille. Vikatilanteissa laite antaa virran ohitusyötöstä siirtäen sen vaihtosuuntaajaan ja nostaa tai laskee lähtöjännitettä tarvittaessa. Järjestelmä hyödyntää akkua, laturia ja vaihtosuuntaajaa niin kuin standby-mallit, mutta sen lisäksi vaihtosuuntaajan rakenne mahdollistaa jännitteenkorjauksen. Tämä ei ole mahdollista offline- tai standby-tekniikan UPS-laitteissa. (ST 52.35.01 2010.)



Kuva 6. Sisäinen rakenne (Eaton verkkomateriaali 2020, s. 2)



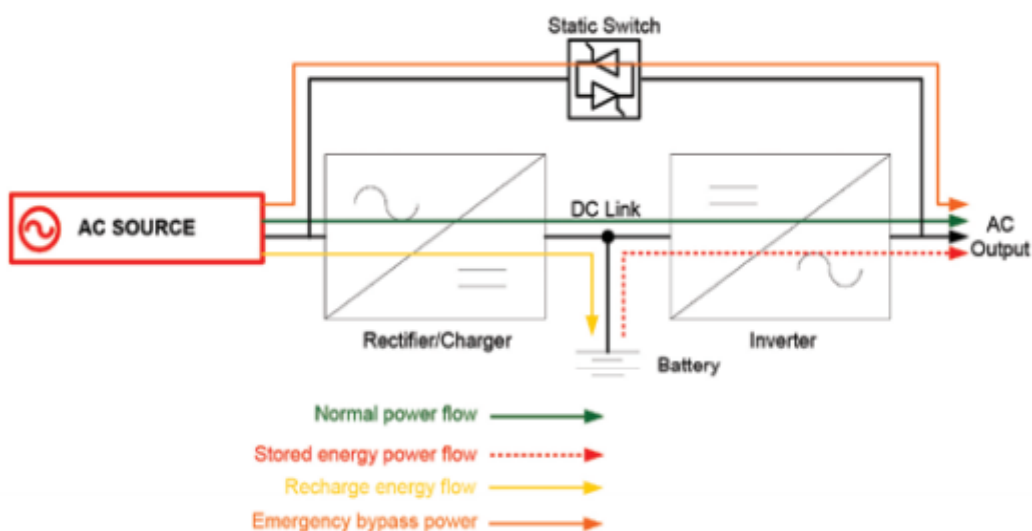
Kuva 7. Line-interaktiivinen tekniikka (ABB verkkomateriaali, s. 7)

2.1.3 Online-kaksoismuunnostekniikka

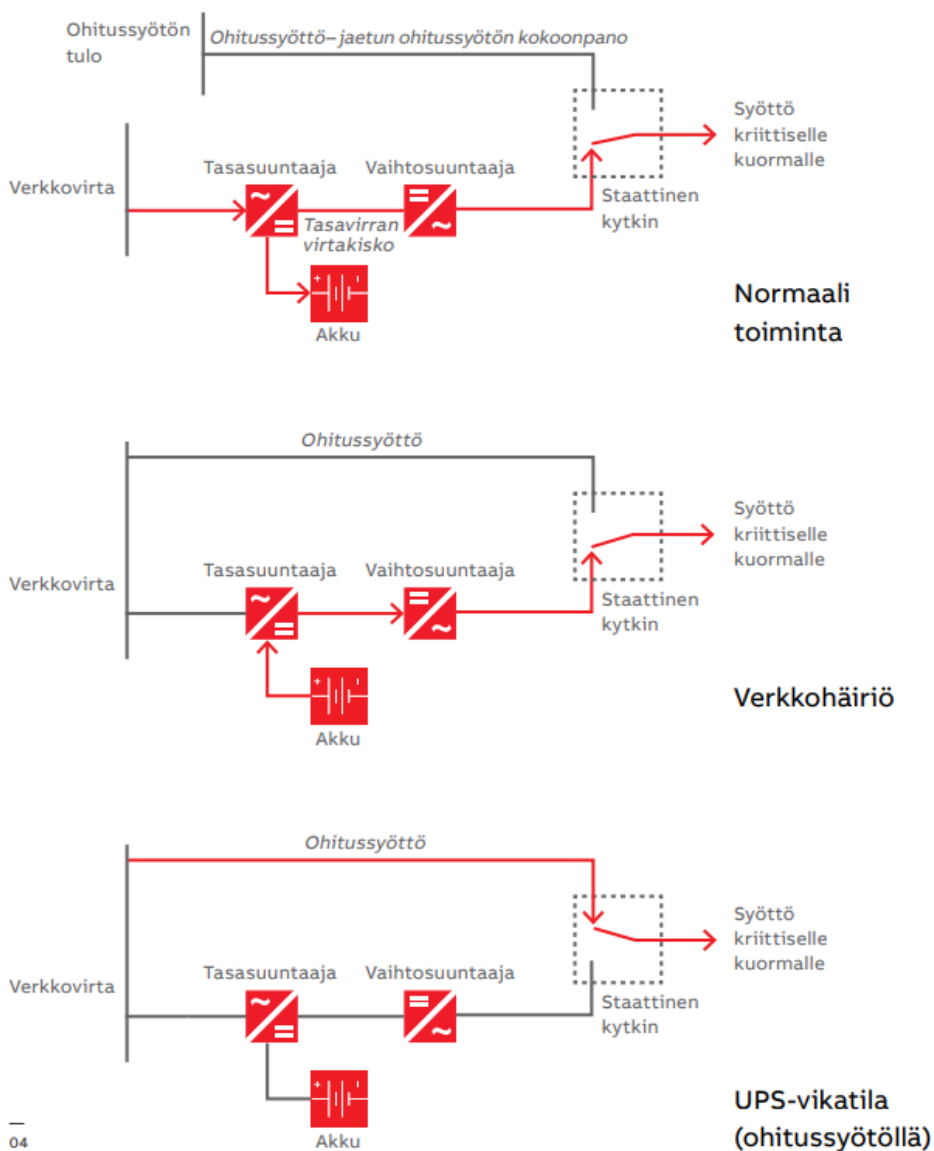
Tämän mallin laitteet tuottavat kattavimman ja häiriöttömän sähkönsyötön tekniikan. Perinteinen akkulaturi on korvattu tasasuuntaajan ja laturin yhdistelmällä, joka koostuu kahdesta erillisestä yksiköstä tai yhdestä tehoyksiköstä. Tätä laitetta kutsutaan

myös kaksoismuunnos UPS:ksi, koska siinä on kaksi muuntovaihetta. Laitteet muuttavat sähkön kaksi kertaa; ensin tulopuolen tasasuuntaaja muuntaa vaihtosähkön tasasähköksi, syöttää sen lähtöpuolen invertteriin ja muuntaa sen jälleen vaihtosähköksi. Kun normaaliolosuhteissa kuormaa syötetään vaihtosuuntaajalta suojaten verkon häiriöiltä, tasasuuntaaja ja vaihtosuuntaaja toimivat palomuurina kuorman ja sähköverkon jännitevaihteluiden välillä. Kun jakeluverkon sähkö on käytössä, tehoyksikkö lataa akkua ja toimittaa vaihtosuuntaajaan tasaisen jännitteen. (ST 52.35.01 2010.)

Verkkokatkon aikana tasasuuntaaja tippuu pois piiristä, jolloin akut alkavat ylläpitää tasaista tehoa. Kun vika poistuu, tasasuuntaaja alkaa taas syöttämään vaihtosuuntaajaa ja lataa akkuja. Tällainen tekniikka eristää kriittiset kuormat suoralta verkon sähköltä ja varmistaa laadukkaan ja toimintavarmen sähkön perässä oleville laitteille.



Kuva 8. Sisäinen rakenne. (Eaton verkkomateriaali 2020 s. 2)



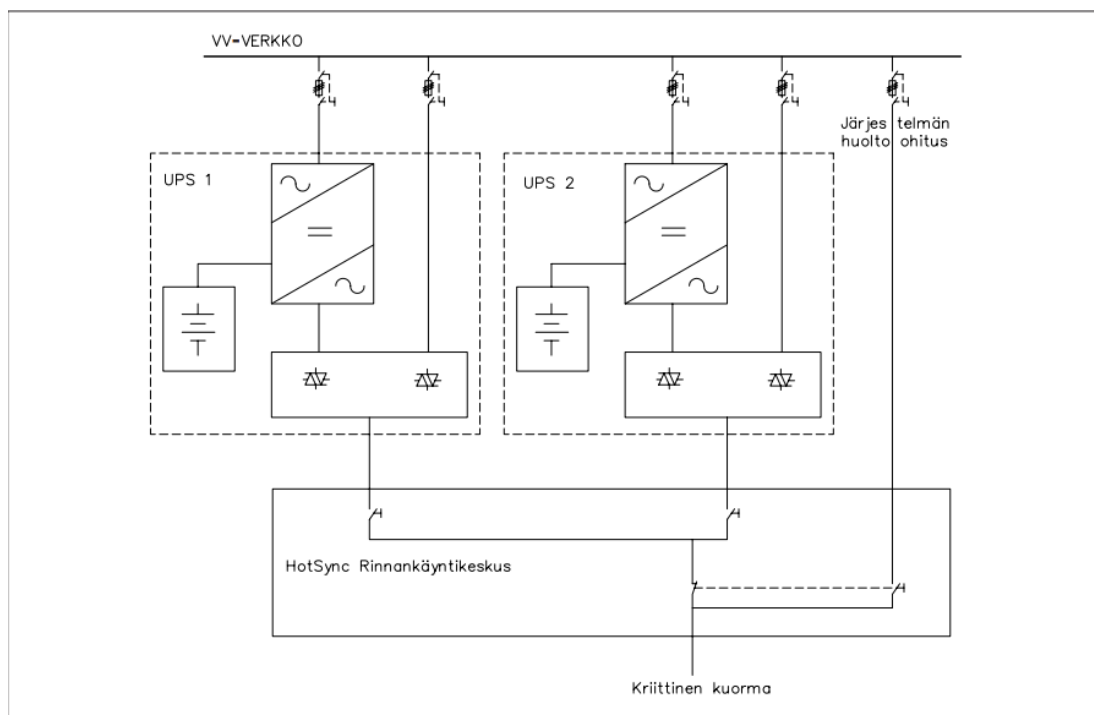
Kuva 9. Kaksoismuunnostekniikka (ABB verkkomateriaali 2019, s. 9)

2.1.4 Redundanttinen järjestelmä

Redundantisessa järjestelmässä UPS-laitteita voidaan kytkeä rinnan. Varmennetulle sähkönsyötölle asetetaan nykyään yhä suurempia vaatimuksia ja vaaditaan luotettavuutta. Rinnan kytkettäessä luotettavuus kasvaa ja järjestelmän yhteiset osat vähenevät.

Rinnankäyvässä UPS-järjestelmässä laitteet jakavat kuormituksen samansuuruiseksi molemmille UPS-laitteille, mutta toimivat silti itsenäisesti. Järjestelmän toimiessa nimellisteholla UPS-laitteet toimivat silloin 50 %:n teholla. UPS-laitteet voivat korvata

toisensa esim. huoltotilanteessa tai vikatilanteessa, jossa laite irrottautuu järjestelmästä, koska laitteilla ei ole yhteisiä osia. Redundanttinen järjestelmässä saadaan aikaan myös modulaarisesti, jolloin laitteessa useampi UPS-tehoduuli syöttää tarvittavan tehon. Rinnankäyvällä järjestelmällä saadaan kaksinkertaistettua oikosulkuvirta vaihetta kohden sähkökatkon aikana. Redundanttiset järjestelmät ovat kustannuksiltaan huomattavasti kalliimpia. (ST 52.35.01 2010.)



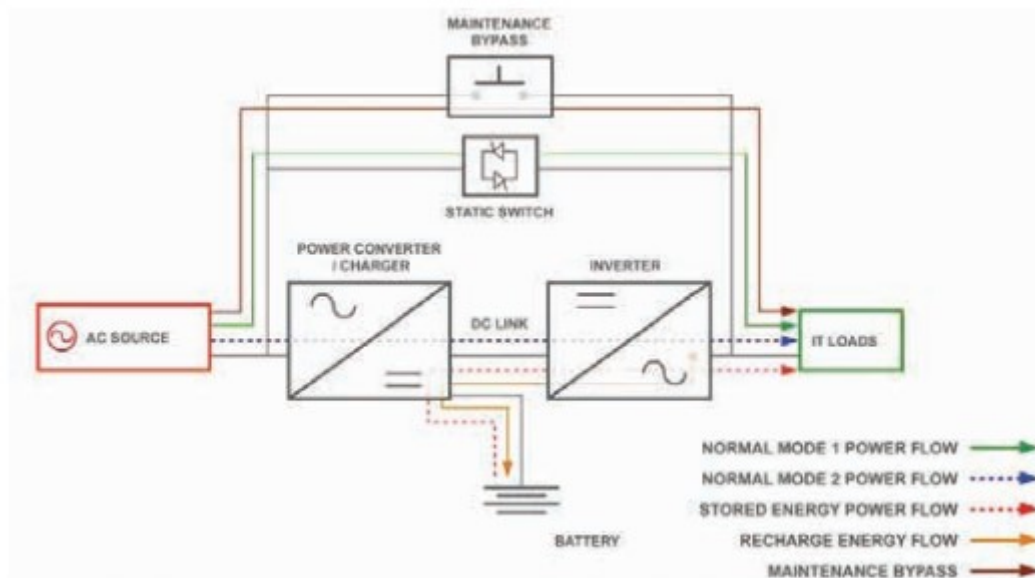
Kuva 10. Redundanttinen järjestelmä, rinnankäyvä (ST 52.35.01 2010)

2.1.5 Kaksoismuunnostekniikan lisäominaisuudet

Kaksoismuunnostekniikan omaavat UPS-laitteet sisältävät haluttuja energiansäästötoimintatiloja, jotka ovat seurausta nykypäivän yritysten halusta suojella ympäristöä ja toimia energiatehokkaasti. Näillä toiminnoilla yritykset tai suuremmat datakeskukset voivat säästää tuhansia euroja energiankustannuksissaan vaarantamatta suorituskykyä tai luotettavuutta.

Näissä ominaisuuksissa on mahdollisuus saavuttaa juuri oikea tasapaino tehokkuuden ja suojausten välillä. Normaleissa olosuhteissa näillä mahdollistetaan erittäin tehokas hyötysuhde energiansäästötilassa. Vian tai ongelman ilmetessä ne vähentävät

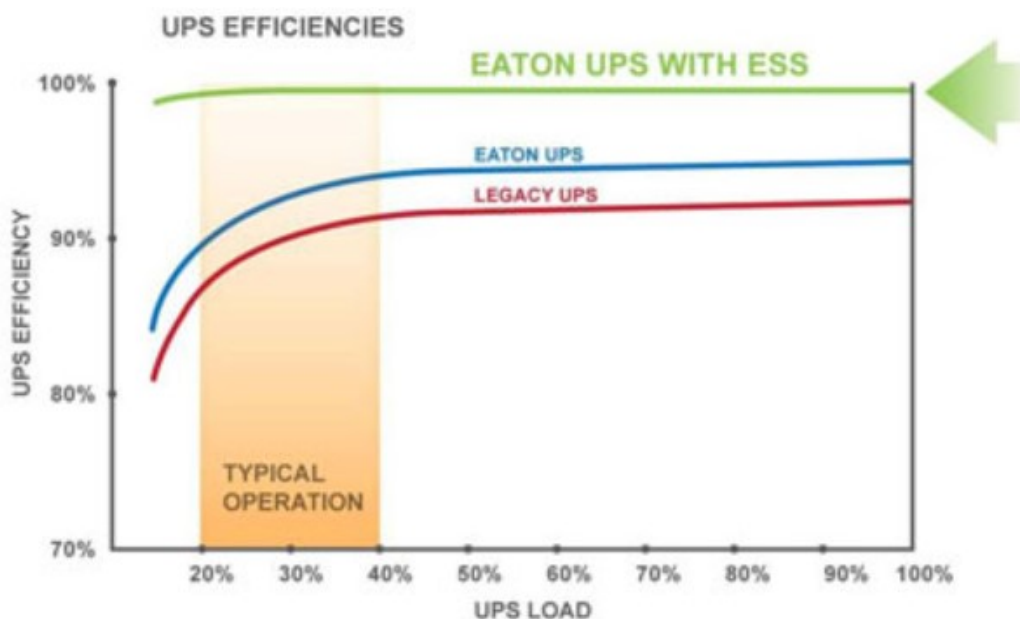
automaattisesti tehoa suuren suojaustason takaamiseksi siirtymällä takaisin kaksoismuunnostilaan. Ongelman palautuessa hyväksyttävälle tasolle laite siirtyy takaisin energiansäästötilaan. (Eaton 2020.)



Kuva 11. Toimintatilat ja kaksoismuunnos. Laitteen sisäinen rakenne. (Eaton verkkomateriaali 2020, s.3)

2.1.5.1 ESS

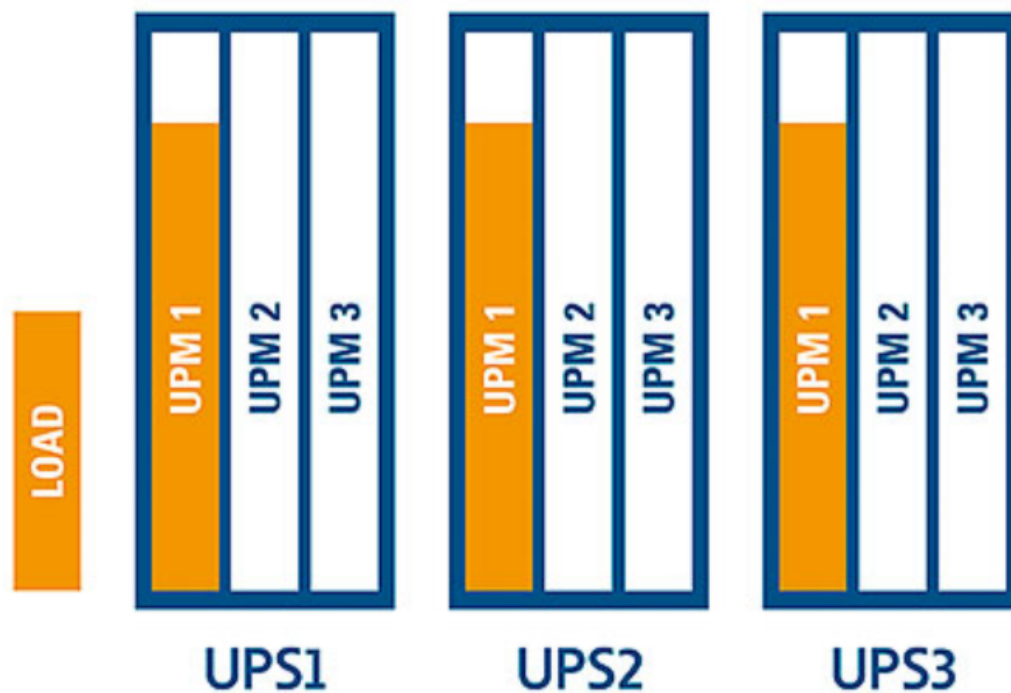
ESS (Energy Saver System) energiansäästötilassa UPS:in tehomodulit ohitetaan sisäisen staattisen ohituskytkimen kautta. Laite ei ole silloin online-kaksoismuunnostilassa vaan staattisella ohituksella ja sitä kautta verkon varassa. UPS-laite pysyy ohituksella niin kauan, kun esiasetellut taajuus- ja jänniterajat tuloverkossa ovat sallituissa rajoissa. Mikäli rajat ylitetään, siirtyy UPS-laite takaisin kaksoismuunnostilaan. ESS-tilassa tehomodulit eivät ole sammutettuina vaan eräänlaisessa lepotilassa ja siten erittäin nopeasti takaisin kaksoismuunnostilassa, jos syöttöverkon tila sen vaatii. Staattisen ohituskytkimen kytkentäaika ohituksen ja kaksoismuunnoksen välillä on jaksoajasta riippuen noin 2 ms luokkaa. Kuormille tämä siirtymä ei juurikaan näy, vaan sinimuotoinen jännite säilytetään kaikissa tilanteissa kytkentäaika lukuun ottamatta. Tiivistettynä ESS-tilassa ollaan ohituksella ja saadaan siten UPS-hyötysuhde nostettua jopa 99 %:n tasoon. (Heikanen henkilökohtainen tiedonanto 6.10.2021.)



Kuva 12. Havainnekuva ESS-ominaisuudesta. (Eaton www-sivut, 2020)

2.1.5.2 VMMS

VMMS (Variable Module Management System) liittyy rinnankäyviin tehomoduleihin UPS-laitteissa. Useamman tehomodulin tai UPS-laitteen järjestelmissä kuormitus jakautuu tasan kaikkien käytettävissä olevien moduuleiden kesken. Yksittäisen tehomodulin kuormitus on useasti pienellä osakuormalla, jolloin hyötysuhde on huono. VMMS-tilassa käytetään vain minimimäärää tehomoduleita kuormien varmistamiseen, ja loput moduulit ovat valmiustilassa. Näin saavutetaan kokonaisjärjestelmässä taas parempi hyötysuhde. UPS-laite seuraa lähtevän virran nousunopeutta, ja kuormituksen kasvaessa runsaasti se kytkee lepotilassa olevia moduuleita takaisin kaksoismuunnostilaan. Tässä tilassa UPS-laite on koko ajan kaksoimuunnostilassa mutta käyttää vain tarvittavan määrän tehomoduleita hyötysuhteen optimointiin. UPS-laite osaa myös kierrättää käytössä olevia tehomoduleita, joten ne ikäänntyvät samaan tahtiin. (Heikaniemi henkilökohtainen tiedonanto 6.10.2021.)



Kuva 13. Havainnekuva VMMS-ominaisuudesta. (Eaton www-sivut, 2020.)

2.2 UPS-laitteen valinta

Jotta voidaan valita juuri oikea sekä tarpeisiin sopiva UPS-laite, sen valintaa suunniteltaessa tulee ottaa seuraavia asioita huomioon:

- Tehoalue
- Topologia
- Yksi- tai kolmivaiheisuus
- Mahdollisen generaattorin mitoitus
- Haluttu varakäyntiaika
- Yksittäinen laite, rinnankäyvä tai modulaarinen järjestelmä

UPS-laitteita on yksi- ja kaksimuuntoisia. Energiatehokkuus suhteessa suojauksen tarpeeseen kohteessa vaikuttaa siihen, kumpi laite on parempi vaihtoehto. Yksimuunnoslaitteet ovat tehokkaampia kuin kaksoismuunnoslaitteet, mutta niiden suojaustaso on heikompi. Ne sopivat paremmin kuormille, joilla on suurempi toleranssi sähkön laadun poikkeamille. Ne sopivat myös paremmin kohteisiin, joissa on vakaampi

verkkovirta. Yleensä paras vaihtoehto pienempiin sovelluksiin, kuten myymälöihin tai pieniin toimistoihin, on passiivinen UPS-laite eli line-interaktiiviset laitteet sopivat asennuksiin, joissa käytetään suhteellisen ongelmatonta 1-vaiheista verkkovirtaa. Tällaisia ovat esimerkiksi pienet palvelin-, tallennus-, tai verkkosovellukset laitoksissa. Teollisuuden sovelluksissa tai ympäristöissä, joissa sähkö on heikkolaatuista, mutta siellä on kriittisiä järjestelmiä, jotka tarvitsevat suojausta, suositellaan kaksoismuunnos-UPS-laitetta. Ne ovat vakiovaihtoehto ja tarjoavat parhaimman eristyksen sähköverkosta mutta eivät ole yhtä tehokkaita. (Eaton 2020.)

UPS-laitetta hankittaessa voi valita joko yksivaiheisen tai kolmivaiheisen laitteen. Verkkovirta, jota käyttävät niin liike- kuin teollisuusasiakkaat, on yleisesti kolmivaiheista, jotta sähköä voidaan toimittaa tehokkaammin yhteen pisteeseen tai kuormaan, koska niissä on jaettava suuria määriä sähköä pitkien etäisyyksien päähän. Yksivaiheista jännitettä toimitetaan joko yksi- tai kaksivaiheisena kolmivaihejärjestelmästä muuntajien kautta. Yleensä ensisijainen vaihtoehto näissä sovelluksissa, joissa teho-vaatimukset ovat suuret, on kolmivaiheinen UPS-laite. Kolmivaiheiset laitteet ovat yleensä pitkälle kehittyneitä, ja niiden laskentakapasiteetti on suuri, koska niiden on jaettava sähköä suhteellisen pitkien etäisyyksien päähän. Yksivaiheinen UPS-laite on yleensä järkevä ja edullinen vaihtoehto järjestelmille, joiden teho-vaatimukset ovat pienet. (Eaton 2020.)

Merkittävin asia UPS-laitetta hankittaessa on tehoalue. Tehoalue tarkoittaa kuorman määrää, jota laite tukee, ja se ilmaistaan voltiampeereina (VA). Laitteita on saatavilla matalakuormaisista erittäin suurikuormaisiin, jopa yli 5 000 000 VA:n kuormiin.

Perusmenetelmällä laitteen kokoluokan määrittäminen on suhteellisen helppoa: luetteloidaan laitteet, joita on tarkoitus suojata, kerrotaan kunkin laitteen voltti- ja ampeerimäärät, jotta saadaan lukemat voltiampeereiksi, lasketaan yhteen ja kerrotaan esimerkiksi kerroinluvulla 0,99, jota käytetään upsin maksimi tehokertoimena. Tällöin otetaan huomioon mahdollinen kasvunvara. Saatujen arvojen perusteella on mahdollista valita sen kokoluokan laite, jonka näennäis- ja pätötehon syöttökyky on riittävä. (Ylinen 2010.)

Kaava 1. Näennäistehon (S) laskeminen 3-vaihejärjestelmästä

$$I = 10\text{A}, U = 400\text{VAC}$$

$$S = 10\text{A} \cdot \sqrt{3} \cdot 400\text{VAC} = 6930\text{VA}$$

Kaava 2. Pätötehon (P) laskeminen 3-vaihejärjestelmästä

$$\text{Kun näennäisteho } S = 6930\text{VA}, \text{ mitoituskerroin } k = 0,99$$

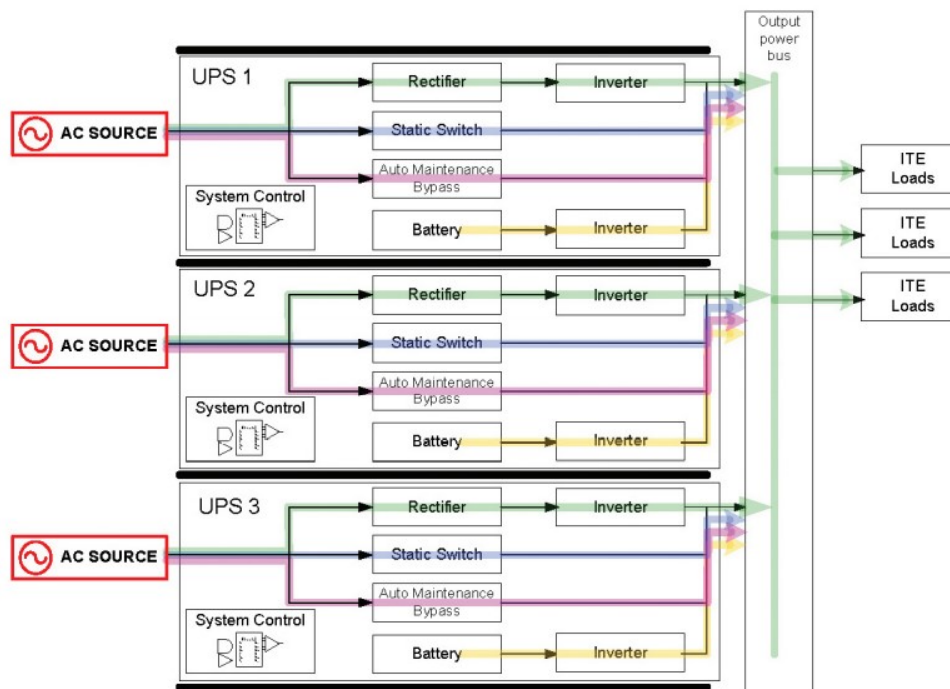
$$P = 6930\text{VA} \cdot 0,99 = 6861\text{W}$$

Keskitettyssä sähkönsuojauksessa käytetään laitteita, joiden teho määrät ovat suurempia kuin hajautetuissa suojausrakenteissa. Jos tarkoituksena on tukea suurempia laitteita, esimerkiksi taajuusmuuntajia tai moottoreita, täytyy huomioida käynnistyksissä tapahtuvat virtapiikit. Kun ennakoidaan nopeaa kasvuvaraa lyhyessä ajassa, laskettaessa on käytettävä suurempia kertoimia, koska valmistajat kehittävät koko ajan teho-vaatimuksiltaan suurempia sähkölaitteita. (Eaton 2020.)

2.2.1 Laitteiden eri kokoluokat ja käytettävyys

UPS-laitteet luokitellaan muodoiltaan niin sanottuihin pääluokkiin, joita on kaksi: tornimalliset ja räkkiin asennettavat. Räkkiin asennettavat laitteet vievät vähän tilaa ja ovat tehoiltaan pienempiä mutta helposti kasvatettavissa. Tornimalliset laitteet ovat teho vaatimuksiltaan suuria ja vievät paljon tilaa, mutta järjestelmän tehon kasvattaminen on silti helppoa. (Eaton 2020.)

Varmennetun sähkönsyötön käytettävyyttä voidaan parantaa hyödyntämällä sähkönsuojauksen erilaisia ratkaisuja. Laitteiden käyttäminen redundantisesti parantaa käytettävyyttä, sillä silloin kriittiset kuormat pysyvät suojattuina, vaikka yksi laite vioittuisi. Käytön aikana voidaan myös suorittaa huoltoja ja korjauksia. Laitteiden alueellistamisella saadaan rajattua vikojen vaikutuksia, ja rinnankytketyissä järjestelmissä saavutetaan suurempi redundantisuus. (ST 52.35.01 2010.)



Kuva 14. Rinnankytkettyjen UPS-laitteiden toimintaperiaate. (Eaton verkkomateriaali 2020, s. 5)

2.2.2 Akuston toiminta ja hallinta

Tärkein osa UPS:ssa on akusto. Se on kriittinen ja kallis komponentti, jonka toimintaikä on lyhyempi kuin järjestelmien muiden osien. UPS-järjestelmät saavat varavoi-
mansa joko suljetuista akuista tai avoimista akuista. Edullisempia akkuja ovat suljetut akut, mutta käyttöikä niissä on lyhyt. Avoimet akut ovat kalliimpia sekä edellyttävät erikoisasennusta ja -huoltoa. Ensiarvoisen tärkeää on akun kunnonvalvonta, jotta se voidaan huoltaa tai vaihtaa ennen ongelmien syntyä. (ST 52.35.01 2010.)

2.2.3 Suljetut akustot

Suljetuilla lyijyakuilla on monia hyviä ominaisuuksia. Niillä on hyvä tehoteho, ja kapasiteetti on hyvin käytettävissä lyhyillä purkausajoilla. Akkujen sijoitusmahdollisuudet ovat monipuolisemmat kuin avoimissa akuissa. Ne voidaan asentaa eri asentoihin sisäisen rakenteen ansiosta. Happo on imeytetty lasikuitumattoon, joka toimii levyjen välisenä eristeenä. Akkua ladattaessa ei myöskään muodostu kaasuja. Akut asennetaan tyypillisesti UPS-laitteen akkutilaan tai erillisiin akkukaappeihin, joissa

akkujen kytkentänavat ovat kosketussuojattuja. Ympäristön lämpötila vaikuttaa suljetujen akkujen elinikään: lämpötilan vaihtelut tai lämpötilojen nousut voivat jopa puollittaa akun eliniän. (ST 52.35.01 2010.)

2.2.4 Avoimet akustot

Avoimet lyijyakut ovat ominaisuuksiltaan pitkäikäisiä ja luotettavia. Ne ovat rakenteeltaan iskunkestävää ABS- tai SAN-muovia, josta hapon pinnankorkeus on tarkistettavissa läpinäkyvyyden ansiosta. Akkujen kuntoa voi valvoa monella tapaa: mittaamalla elektrolyytin ominaispainon tai tarkastamalla pinnankorkeuden ja tarvittaessa lisätä tislattua akkuvettä kennoon. Tehotiheys on huonompi kuin suljetuissa lyijyakuissa lyhyillä purkausajoilla, mutta niiden luotettavuus pitkissä purkausajoissa on parempi. Avoimen lyijyakun elinikä on korkeampi, mutta niiden tilantarve on suurempi sekä hinta korkeampi kuin suljetuilla lyijyakuilla. Akkuja ladatessa niissä syntyy vetykaasua, joten ne vaativat riittävän ilmanvaihdon ja niille suunnitellun erillisen akkuhuoneen. (ST52.35.01 2010.)

3 ASENNUKSEN TOTEUTUS

Työn tarkoituksena on suorittaa kokonaiskatsaus kuivalajittelulaitoksesta ja sen tarpeesta varmennetulle sähkönsyötölle. Laitos on saha-alueen vanhimpia osastoja. Laitteet ovat alttiita sähkönjakeluhäiriöille ja niistä aiheutuville laiterikoille.

Suunnitelmassa huomioidaan tulevan verkon kokonaisteho sekä verkon varakäyntiaika UPS-laitteen ja akuston määrittämiseksi. UPS-laitteen kokonaistehoa määritettäessä otetaan huomioon myös mahdolliset tulevaisuuden investoinnit, jotka kasvattavat kokonaistehovaatimusta. Verkonsuojaus toteutetaan sulakeautomaattilähdöillä. SFS 6000 -standardin mukaan jo suunnitteluvaiheessa täytyy varmistaa joko laskelmin tai muilla tavoin, että sähköasennusten suojausta koskevat perusvaatimukset toteutuvat. Suojauksen perusvaatimuksia ovat ensisijaisesti ylivirtasuojaus (ylikuormitussuojaus

ja oikosulkusuojaus) sekä vikasuojauksen toteutuminen. (D1-käsikirja, kohta 1.3.1 2019)



Kuva 15. Tuotantolaitoksen kenttäohjauspaikka, joita on tarkoitus suojata ups-järjestelmällä. (Janne Kuusikorpi 2021)

3.1 Suunnittelu ja aikataulutus

Tuleva UPS-järjestelmä tulee varmentamaan kuivalajittelulaitoksen tuotannon laitteita. Pääasiallisena kuormana ovat tietokoneet, tulostimet, näytöt sekä tuotantoa ohjaavat laitteet ja järjestelmät.

Työn suunnittelu aloitettiin määrittämällä tulevalle laitteistolle paikka, joka sijaitisi mahdollisimman keskeisellä paikalla laitosta, koska kuivalajittelulaitos on kolmessa kerroksessa, ja pisteet hajautuvat eri etäisyyksille. Myös tulevan järjestelmän kokonaiskuorma tuli määrittää, koska siitä ei ollut tarkempaa tietoa.

UPS-laitteen valintaan vaikuttaa merkittävästi syötettävien laitteiden sähkötehon tarve. Tehot määriteltiin mittaamalla sekä laskemalla. Mittauksissa käytettiin pihtimitaria, jonka avulla saadaan laskettua näennäistehot. Teho voidaan laskea myös laitteen

kilpiarvoista. Kilpiarvoja laskettaessa käytetään tyypillisesti tehokerrointa 0,7 tietokoneiden ja tulostimien kanssa. Tämä tehokerroin on otettava huomioon suunniteltaessa UPS-järjestelmää. Tietokoneiden sekä tulostimien todellinen tehonkulutus on normaalisti pienempi kuin kilpiarvoissa on määritetty. (Sokura 2013.)



Kuva 16. UPS-järjestelmän tuleva sijoituspaikka, joka sisältää keskuksen ja laitteiston. (Janne Kuusikorpi 2021)

Työn aikataulu suunnittelun suhteen oli jaettu kokonaisuudessaan puolen vuoden ajalle sisältäen laskennat, suunnitelmat, tarjouspyyntöjen tekemisen ja käsittelyn sekä laitteistojen tilaukset. Aikataulu sisälsi myös tarvittavia koulutuksia UPS-tekniikkaan liittyen. Tarkoitus oli saada toteutettua suunnitelma vuoden 2021 loppuun mennessä ja aloittaa asennukset tammikuussa 2022.

3.2 UPS-laitteen valinta asennukseen

Tehtaalla on jo ennestään käytössä UPS-tekniikkaa, ja vuosien kuluessa tehdas on keskittänyt kaikki UPS-laitteensa saman yrityksen alaisuuteen, Eaton Corporationille.

Laitteiden keskittämisessä on pyritty helpottamaan huolto- ja kunnossapitotoimenpiteitä sekä laitteiden uudistamista teknisen käyttöiän päätyttyä.

Keskittämisestä huolimatta tarjous tehtiin myös kilpailevalle yritykselle, ABB Oy:lle. Laitoksella ei ole varmennettua sähkönsyöttöä, joten kilpailevalla toimittajalla olisi voinut olla jotain sellaista, mitä ei ole aiemmin osattu ottaa huomioon. UPS-laitteen valinnassa merkittävää on kuitenkin sopivuus, varakäyntiaika ja hinta.

Eaton Corporationin tarjous:

Eaton 20kW UPS sisäisellä akustolla kuivalajittelulaitokselle

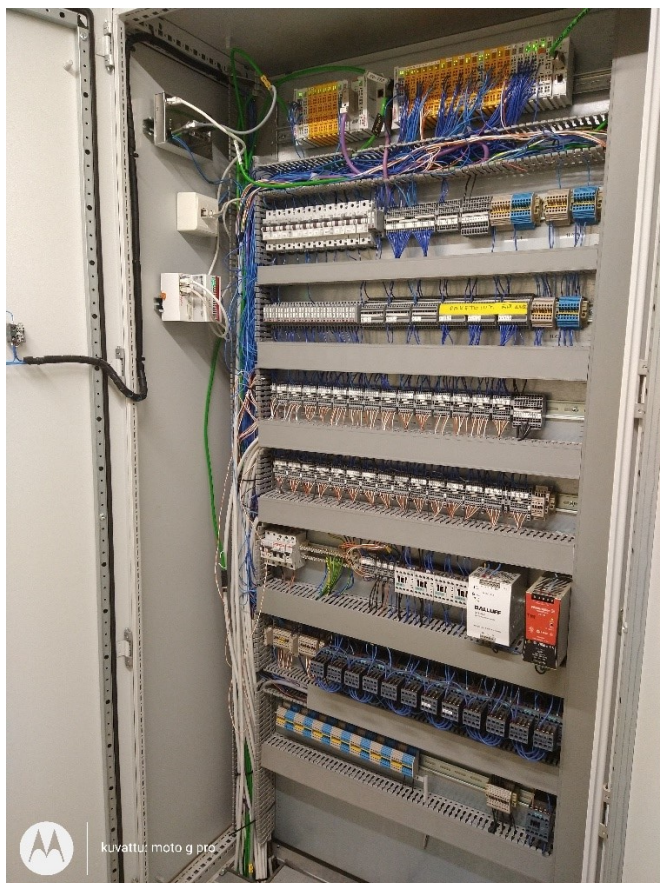
- Eaton 93PS-20(20) -20-2x9Ah-MBS-6
- Teho 20kVa / 20kW
- Oikosulkuvirta 72A, 300ms
- Suurimmat kuormasulakkeet B10/C6
- Varakäyntiaika 14min, 14kW kuormalla
- UPS:n mitat 335 x 750 x 1300, 257 kg

ABB Oy:n tarjous:

ABB 25kW UPS sisäisellä akustolla kuivalajittelulaitokselle

- ABB Power Scale 33
- Teho 25kVa / 25kW
- Oikosulkuvirta 86A, 40ms
- Suurimmat kuormasulakkeet B16/C6
- Varakäyntiaika 12min, 14kW kuormalla
- UPS:n mitat 345 x 1040 x 710, 328 kg

Kuivalajittelulaitos vaatii vähintään 10 minuutin varakäyntiajan, jotta laitteet pysähtyisivät hallitusti. Eatonin UPS-laite lupaa varakäyntiajaksi 14 minuuttia, kun taas ABB laite lupaa 12 minuuttia täydellä 14kW kuormalla. Nykyinen kuorma on laskettu suuremmalla mitoituksella, joten varakäyntiajan nousee hieman luvatusista.



Kuva 17. Tuotantoa ylläpitävät turvalogiikat ovat suurimpia järjestelmiä, joita UPS-järjestelmä ylläpitää. (Janne Kuusikorpi 2021.)

Tarjouksien hinnoissa ei ollut suurta eroa, ja laitteiden ominaisuudet olivat lähes identtiset, mutta yksi Eatonin laitteen ominaisuus vaikutti keskitetyssä UPS-järjestelmässä pysymiseen. Eatonin UPS-laitteet sisältää IPM-valvontaohjelmiston, joka on ilmainen. Näin asiakas pystyy suorittamaan laitevalvontaa etänä maksimissaan 10 UPS-laitteelle samanaikaisesti. Tämä on ominaisuus, joka haluttiin kuivalajittelulaitokselle elinkaarinhallinnan vuoksi. Siitä syystä ABB Oy:n tarjous hylättiin. Liitteessä 1 nähdään tarjouksen Eaton 93PS-20(20) -20-2x9Ah-MBS-6 tekniset tiedot.

3.3 UPS-järjestelmän suojaus

Sähköasennusten keskeisimpiä laitteita turvallisen ja luotettavan toiminnan kannalta ovat sähkölaitteiston jakokeskukset, jotka täyttävät SFS EN61439-1 -standardin vaatimukset kuormituksen ja oikosulkukestoisuuden suhteen. UPS-laitteelle suunnitellaan, valmistetaan ja asennetaan oma keskus yhteistyössä keskusvalmistajan kanssa.

Keskus tullaan sijoittamaan samaan tilaan laitteen kanssa, joka sisältää tarvittavat suo-
jalaitteet, pääkytkimet UPS:n huolto- ja korjaustoimenpiteitä varten sekä ohituskytki-
men järjestelmän ohittamiseen tarvittaessa. (Pienjännitesähkölaitteiston mitoitus
2015)

UPS-järjestelmä tulee varustaa oikeanlaisella ja toimivalla suojauksella. Liitteestä 2
on nähtävissä suositukset UPS-laitteen tuloverkon sekä maadoituksen kaapeleille sekä
teholuokan mukaan määrittyvät sulakkeet.

Tulopuolen sekä ohituspuolen syöttö on kolmivaiheinen. Tulopuolen kaapeliksi suo-
sitellaan 4x10 mm halkaisijalta olevaa kaapelia. Liitteestä 2 on nähtävissä, että 20kW
malliin suositellaan 40A suojaus tulo- sekä ohituspuolelle. Vaihejohtimien ylikuormi-
tus- ja oikosulkusuojana käytetään C-tyyppin johdonsuojankatkaisijaa, koska se sovel-
tuu paremmin induktiivisille ja kapasitiivisille kuormille, joita järjestelmä aiheuttaa.

Mitoitusta tehdessä käytetään apuna Pienjännitesähkölaitteiston mitoituskäsikirjan
taulukkoa 6.3 sekä liitettä 3. UPS-laitteiden sähköarvotaulukosta saadaan selville in-
vertterin eli tasasuuntaajan syöttämä oikosulkuvirta vaihetta kohden, joka on 72A.
Taulukosta on myös nähtävissä lähtöpuolen verkon lähdön suojaamiseksi vaaditut joh-
donsuojakatkaisijoiden koot. Mitoituskäsikirjasta nähdään toiminnallinen oikosulku-
virta B10-tyyppin johdonsuojakatkaisijoilla. 50A- ja C6-tyyppin johdonsuojakatkaisi-
joilla se on 60A. (Pienjännitesähkölaitteiston mitoitus 2015; Kedonperä 2017.)

3.4 Asennuksen kaapeloinnin mitoitus

Johdonsuojakatkaisimien mitoitusten jälkeen määritellään asennuksissa käytettävien
johtojen suurin sallittu pituus laskemalla, kun suojalaitetta edeltävän verkon impe-
danssi Z_v tai oikosulkuvirta on tunnettu. Tässä tapauksessa ne saadaan selville UPS-
laitteiden sähköarvotaulukkoliitteestä, johon on merkitty laitteen oikosulkuvirran sekä
vikavirtapiirin impedanssiarvon.

Johtopituuksien esimerkkilaskelmat tehdään käyttäen 400V pääjännitettä, B10- ja C6-tyypin johdonsuojakatkaisijoiden taulukkoarvoja sekä asennuksissa käytettävien jo tiedossa olevien 2,5 mm²:n sekä 10 mm²:n kaapelikokoja.

Kaavalla 3 voidaan laskea sallittu johtopituus:

$$I = \frac{\left(\frac{c \times U}{\sqrt{3} \times I_k} - Z_v \right)}{2 \times z}$$

I = Johtopituus (km)

c = Kerroin 0,95

U = Pääjännite

I_k = Oikosulkuvirta, joka aiheuttaa automaattisen poiskytkennän vaaditussa ajassa

Z_v = Impedanssi ennen suojalaitetta

z = Suojattavan johtimen impedanssi (Ω / km)

Ensimmäinen lasku lasketaan käyttäen B10-tyypin sulaketta ja 2,5 mm²:n kaapelia. Pienjännitesähkölaitteiden mitoituskäsikirjan taulukoista 6.2 ja 6.3 nähdään kyseisen kuparikaapelin impedanssi (z) sekä valitun sulakekoon vaatima oikosulkuvirta.

$$I = \frac{\left(\frac{0,95 \times 400V}{\sqrt{3} \times 50A} - 3,047\Omega \right)}{2 \times 8,770 \Omega/km} = 0,07km = 70m$$

Seuraavaksi lasketaan sallittu johtopituus käyttäen saman tyypin sulaketta, mutta kaapelikooksi on muutettu 10 mm².

$$I = \frac{\left(\frac{0,95 \times 400V}{\sqrt{3} \times 50A} - 3,047\Omega \right)}{2 \times 2,244 \Omega/km} = 0,298km = 298m$$

Seuraavaksi lasketaan käyttäen C6-tyypin sulaketta, mutta käytetään samoja kaapelikokoja kuin edellisissä laskuissa.

Ensimmäinen lasketaan käyttäen kaapelikokoa 2,5 mm².

$$I = \frac{\left(\frac{0,95 \times 400V}{\sqrt{3} \times 60A} - 3,047\Omega\right)}{2 \times 8,770 \Omega/km} = 0,034km = 34m$$

Toinen lasketaan käyttäen kaapelikokoa 10 mm^2 .

$$I = \frac{\left(\frac{0,95 \times 400V}{\sqrt{3} \times 60A} - 3,047\Omega\right)}{2 \times 2,244 \Omega/km} = 0,134km = 134m$$

(Pienjännitesähkölaitteiston mitoitus 2015; Kedonperä 2017)

3.5 Kaapeleiden jännitehäviön laskenta asennuksissa

Kaapeleille on laskettava myös niissä syntyvä jännitehäviö. SFS 6000 sisältää suosituksia jännitteenalenemasta liittymän sähköverkossa. Nämä suositukset eivät ole velvoittavia, ellei erikseen ole sovittu. Normaalisti pienjännitejakeluverkosta syötetylle laitteelle alenema saisi olla enintään 5 %. Valaistuskormalle vastaava suositus on 3 %. Mikäli sähkölaitetta syötetään yksityisestä teholähteestä, suositeltava jännitteenalenema on 8 %, ja valaistukselle vastaava suositus on 6 %.

(Pienjännitesähkölaitteiston mitoitus 2015)

Asennuksen pääjohtojen ollessa pidempiä kuin 100 m edellä mainittuja jännitteenalenemia voidaan kasvattaa 0,005 % metriä kohden. Ilman tätä lisäystä se ei saa olla suurempi kuin 0,5 %. Suurempia jännitteenalenemia voidaan hyväksyä sellaisilla laitteilla, joilla on suuri käynnistysvirta käynnistyksen aikana. Tällaisia ovat esimerkiksi moottorikäytöt. (Pienjännitesähkölaitteiston mitoitus 2015)

Kaavalla 4 voidaan laskea suhteellinen jännitteenalenema kolmivaiheisesta virtapiiristä:

$$\Delta_u = 100 * \frac{p * P * S}{A * U_v^2}$$

Δ_u = Suhteellinen jännitteenalenema (%)

p = Johdinaineen resistiivisyys

P = Kuormituksen teho (kW)

s = Kuormituksen etäisyys

A = Johtimen poikkipinta mm^2

U_v = Vaihejännite (kV)

Lasketaan esimerkkinä seuraavaksi syötölle jännitehäviö. Laskennasta halutaan saada selville suurin mahdollinen teho. Laskennassa käytetään poikkipinnaltaan 10 mm^2 :n kuparikaapelia ja B10-tyyppin johdonsuojakatkaisijaa. Selvitetään ensimmäiseksi kuormituksen teho ja kaavalla 5 voidaan laskea kolmivaiheteho (P).

$$P = \sqrt{3} * U * I * \cos\varphi$$

Virran suuruutena käytetään korkeinta mahdollista arvoa, jonka B10-tyyppin johdonsuojakatkaisija sallii. Pääjännite on 400V ja $\cos\varphi$ on 0,96 joka saatiin selville UPS-laitteesta.

$$P = \sqrt{3} * 400 * 10A * \cos(0,96) = 3973W = 4kW$$

Lopuksi lasketaan jännitteenalenema Δ_u .

$$\Delta_u = 100 * \frac{0,022 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}} * 4kW * 0,298km}{10\text{mm}^2 * 0,4kV^2} = 1,6 \%$$

Jännitteenalenema on alle standardien suositellun arvon, joten kaapelin kokoa tai suojalaitteen kokoa ei tarvitse muuttaa.

(Pienjännitesähkölaitteiston mitoitus 2015; Kedonperä 2017)

4 ELINKAARENHALLINTA

UPS-järjestelmät ovat toiminnassa jatkuvasti käyttöönoton jälkeen, ja niiden pääasiallisena tarkoituksena on varmistaa kriittisten kuormien sähkönsyöttö, kuten laitteiden jatkuva ja häiriötön toiminta. Järjestelmän varmennustaso voi kuitenkin muuttua

käytön aikana, jos varmennetut laitteet muuttuvat tai laitemäärät kasvavat, johdonsuojia vaihdetaan laitteiden vaihtuessa sekä jakeluverkkoon tehdään muutoksia. (ST 96.32 2010)

Varmennustason säilyttäminen riittävällä tasolla vaatii hyvin suunniteltua ylläpitoa. Dokumentaatio ja merkintöjen ajan tasalla pitäminen tukevat järjestelmän huoltotoimenpiteitä. Toimintojen laiminlyönti voi vaurioittaa koko järjestelmän joustavan käytön sekä suunnitelmallisen ylläpidon ja huollon. (ST 96.32 2010)

4.1 Huolto ja ylläpito

UPS-laite on suunniteltu niin, että sitä pystytään hallinnoimaan käytön aikana. Korjattavissa olevat osat on lisäksi sijoitettu helposti vaihdettaviksi sammuttamatta laitetta. Säännöllisillä tarkastuksilla ja huollolla varmistetaan järjestelmän tehokkuus ja vältetään yllättäviä ongelmilta. (Kedonperä 2017.)

Laitteiden huoltoon sisältyy ennaltaehkäisevän huollon laaja suunnittelu. Tällä pyritään suorittamaan päivittäiset tarkastukset, säännölliset huollot sekä tarvittavat testaukset ajallaan, jotta odottamatonta vikaa ei pääsisi syntymään. Ennaltaehkäisevät huollot vähentävät odottamattomien korjausten ja varaosien tarvetta, laskevat elinkaarikustannuksia sekä takaavat jatkuvan ja laadukkaan tiedonsaannin. Huollettuna UPS-laitteet kestävät hyvin pitkään. Laitteille ei ole määritelty varsinaista elinikää, vaan laitteen elinkaari perustuu siihen, kun laite valmistetaan ja varaosien saatavuus päättyy. (Eaton 2020.)

UPS-laitteet sisältävät erillisiä komponentteja, joille on laskettu suhteellinen elinikä. Tällaisia ovat tuulettimet, akut, kondensaattorit sekä modernimmissa laitteissa olevat piirikortit. Laitteiston elinkaaren lopussa on suositeltavaa kuitenkin miettiä, suorittaako akuston ja komponenttien vaihdon vai sijoittaako pääoman tulevaisuuteen ja vaihtaa uuteen modernimpaan laitteeseen. (Eaton 2020.)

UPS-laitteen tärkein komponentti on akusto. Akusto on huoltovapaa suljettu lyijyaku. Huoltovapaalla akulla tarkoitetaan sitä, että akun nesteitä ei tarvitse vaihtaa. Akun

elinkaareen vaikuttaa haitallisesti ympäristön korkea lämpötila tai sen vaihtelut. Akut pitäisi sijoittaa riittävästi tuuletettuun tilaan, jonka lämpötila pysyttelisi 20–25 celsiusasteen välillä. Akuston jännitettä suositellaan mitattavan ja tilastoitavan määrääjain, jolloin mahdolliset ongelmat havaitaan riittävän ajoissa. (ST 96.32 2010; Kedonperä 2017)

4.2 Kunnossapitosuunnitelma

Kunnossapito on muuttanut luonnettaan vuosien aikana, kun tuotannon tehokkuusvaatimukset ovat kasvaneet. Korjaavasta kunnossapidosta on edetty ennakoivaan kunnossapitoon, jossa koneita valvotaan monin tavoin estäen vaurioiden ennenaikaista syntymistä. Kunnossapitosuunnitelmalla pyritään vähentämään UPS-laitteen rikkoutumisen mahdollisuutta ja pitämään yllä laitteen suorituskykyä.

Kuvassa 18 nähdään valmistajan ilmoittamia huoltovaatimuksia, kuten päivittäinen, kuukausittainen, määräaikainen ja vuosihuolto. Kuvasta on havaittavissa, mitä ne sisältävät. Tämän pohjalta voidaan luoda kunnossapitosuunnitelma kyseiselle laitteelle.

Päivittäiset huoltotoimenpiteet:

- Silmämääräinen ympäristön tarkistus
- Tarkistetaan, että järjestelmä on normaalissa tilassa.
- Tarkistetaan, että vikalokissa tai näytöllä ei ole vikatiloja päällä.
- Käyttöympäristö vastaa asennuksen vaatimuksia. Ei lämpötila muutoksia tai epäpuhtauksia tilassa.
- Tarkistetaan, että laitteen ilmanotto- sekä poistoaukot ovat vapaina.
- Liitettyjen laitteiden silmämääräinen tarkistus

Kuukausittaiset huoltotoimenpiteet:

- Suoritetaan päivittäisten huoltotoimenpiteiden lisäksi.
- Järjestelmän parametrien tarkistaminen
- Ilmansuodattimien tarkistus ja mahdollinen vaihto

- Kirjataan tarkistustulokset ja korjattavat toimet huoltolokiin.

Määräaikaishuollon toimenpiteet:

- Silmänmääräinen tarkistus: onko johdoissa, komponenteissa tai liitännöissä merkkejä ylikuumentumisesta
- Tarkastetaan pulttiliitännät ja kiristetään tarvittaessa.

Vuosihuollon saa suorittaa vain ylläpidon ja huollon tunteva valtuutettu henkilö. Tämä huolto kuuluu Eaton Corporationin tarjoamaan vuosihuoltosopimukseen. Akkujen vaihdot sekä testaukset saa suorittaa vain huollon ammattihenkilö, mutta nämä sisältyvät huoltosopimukseen. (Eaton 2020; Kedonperä 2017.)

Component Life Cycle Replacement Schedule

Product	Eaton 93PS 8-40 kVA/Eaton 91PS 8-30 kVA Eaton 93PS Marine 8-40 kW	Maintenance		Responsibility	
		Sub Equipment	Operation description	Agents that may effect the aging factor	Frequency
UPS	Visual inspection and control of any unexpected warning/alarm and noise		daily	✓	
	Inspection of the UPS measurements by display		monthly	✓	
	Inspection of the connectivity devices		daily	✓	
	Visual inspection of the batteries and of the automatic monthly battery test results		every month	✓	
	Battery test (manual)		1-2 times per year	✓	✓
	Inspection of UPS parameters, calibration and alarm log		1-2 times per year		✓
	UPS internal and external cleaning		1-2 times per year		✓
	Varyify UPS functionality (double conversion, on battery, on bypass)		1-2 times per year		✓
ISBM	Visual inspection of the air filters. Eventually vacuum them	Dust, humidity, general site conditions	every 4 months	✓	✓
	Air filter replacements	Dust, humidity, general site conditions	1 time per year if the site is clean, 2-3 time for more harsh environments	✓	✓
	Visual Inspection of the FANs	Dust, humidity, general site conditions, temperature	every year		✓
	FANs replacement	Dust, humidity, general site conditions, temperature	5 years if site conditions are clean at 40 C		✓
	Battery on the communication board replacement	Dust, humidity, general site conditions, temperature	5 years starting with the date the unit is manufactured		✓
	EMI boards	Dust, humidity, general site conditions, temperature	10 years if site conditions are clean at 35 C		✓
UP#	Visual Inspection of the FANs	Dust, humidity, general site conditions, temperature	every year		✓
	FANs replacement	Dust, humidity, general site conditions, temperature	5 years if site conditions are clean at 40 C		✓
	DC CAPS replacement	Dust, humidity, general site conditions, temperature	10 years if site conditions are clean at 35 C		✓
	AC CAPS replacement	Dust, humidity, general site conditions, temperature	10 years if site conditions are clean at 35 C		✓
	Main Circuit fuses	Temperature, electrical stress	10 years if site conditions are clean at 35 C		✓

Kuva 18. Huolto – ja kunnossapito taulukko. (Eaton 2020)

5 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli mitoitaa ja suunnitella UPS-järjestelmä UPM Kymmene Oy:n kuivalajittelulaitokselle suojaamaan tuotannon tietokoneita, laitteita sekä niitä ohjaavia järjestelmiä. Teoriaosuudessa käsitelin erilaisia UPS-vaihtoehtoja sekä niiden toimintaperiaatteita ja kerroin erilaisista akustovaihtoehdoista. Näiden perusteella määräytyi tulevan järjestelmän laitteistotyyppi.

Tarkoituksena oli suunnitella varmennetun sähkönsyötön kokonaisuus alustavien tietojen pohjalta ja laajentaa tutkimusta erilaisiin vaihtoehtoihin UPS-laitteista sekä valmistajista. Työn alussa piti selvittää, kuinka suuria tehoja tuotannon automaatiojärjestelmät ja muut käytössä olevat laitteet kuluttavat. Mittaukset suoritettiin pääasiassa virtapihtimittarilla, mutta tarvittaessa tehot jouduttiin selvittämään laskemalla. Niistä laitteista, joissa kilpiarvotiedot olivat valmiina, ei mittauksia tai laskentoja suoritettu. Näiden tietojen pohjalta saatiin määritettyä tulevan järjestelmän laitteisto ja sen tarvitsema teho.

Koska kyseessä on uusi UPS-järjestelmä, laitteiston fyysinen sijoituspaikka piti suunnitella ja asennus täytyi varustaa keskuksella. Keskuksen tulee täyttää vaadittavat suojaukset asennukselle sekä mitoitaa tulevat kaapeloinnit ja laskea niiden jännitehäviöt. Keskuksen valmistuksessa käytettiin apuna eri keskusvalmistajia, joilta tiedusteltiin tarjouksia ja niiden perusteella valittiin toimittaja.

Suunnittelun ja mitoituksen jälkeen laitteistolle tehtiin kunnossapitosuunnitelma, jonka avulla on tarkoitus minimoida odottamattomat korjaukset sekä varaosien tarve. Kunnossapitosuunnitelma sisältää ennaltaehkäisevän suunnitelman, johon on kirjattu säännölliset tarkastukset, huollot ja testaukset, joiden avulla pystytään reagoimaan ajoissa mahdollisiin vikoihin. Kunnossapitosuunnitelma alentaa huomattavasti elinkaarikustannuksia ja takaa laadukkaan tiedon saatavuuden.

LÄHTEET

ABB verkkomateriaali. 2019. Viitattu 26.8.2021. https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=4NWP104969R0001_FI&Language-Code=fi&DocumentPartId=&Action=Launch

D1-2017. Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. 2019. Sähkötieto Ry. Sähköinfo. Viitattu 8.9.2021. <https://severi.sahkoinfo.fi/ekirjat/Open?id=88>.

Eaton verkkomateriaali. 2020. Viitattu 24.8.2021. <https://www.eaton.com/content/dam/eaton/markets/buildings/critical-power/documents/eaton-ups-basics-white-paper-WP153005EN-fi-fi.pdf>

Heikanen, L. 2021. Eaton Power Quality Oy. Sales Engineer. (J.Kuusikorpi, haastattelija)

Kedonperä, S. 2017. Viitattu 25.10.2021. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/132371/UPS-laitteen%20maaritys%20OPPARI%20lopullinen.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Porin kaupungin verkkosivut. 2021. Viitattu 20.8.2021. <https://www.pori.fi/satakunnan-museo/nayttelyt/verkkonayttelyt/teollisuustyon-jaljilla/1870-1900-sahojen-kaupunki-2>

Pienjännitesähkölaitteiston mitoitus. 2015. Sähkö – ja teleurakoitsijaliitto STUL Ry. Sähköinfo. Viitattu 9.9.2021.

Sokura, M. 2013. Viitattu 19.10.2021. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/56064/Marko_Sokura_Opinnaytetyo_Julkinen.pdf?sequence

Similä, M. 1997. Yhtä näytön paikkaa: 125-vuotiaan Seikun sahan tarina. Viitattu 24.8.2021.

ST 52.30.01. UPS-laitteet ja järjestelmät. 2010. Sähkötieto Ry. Sähköinfo. Viitattu 8.9.2021. <https://severi.sahkoinfo.fi/item/3973?search=varmennettu%20sahkonsyotto>.

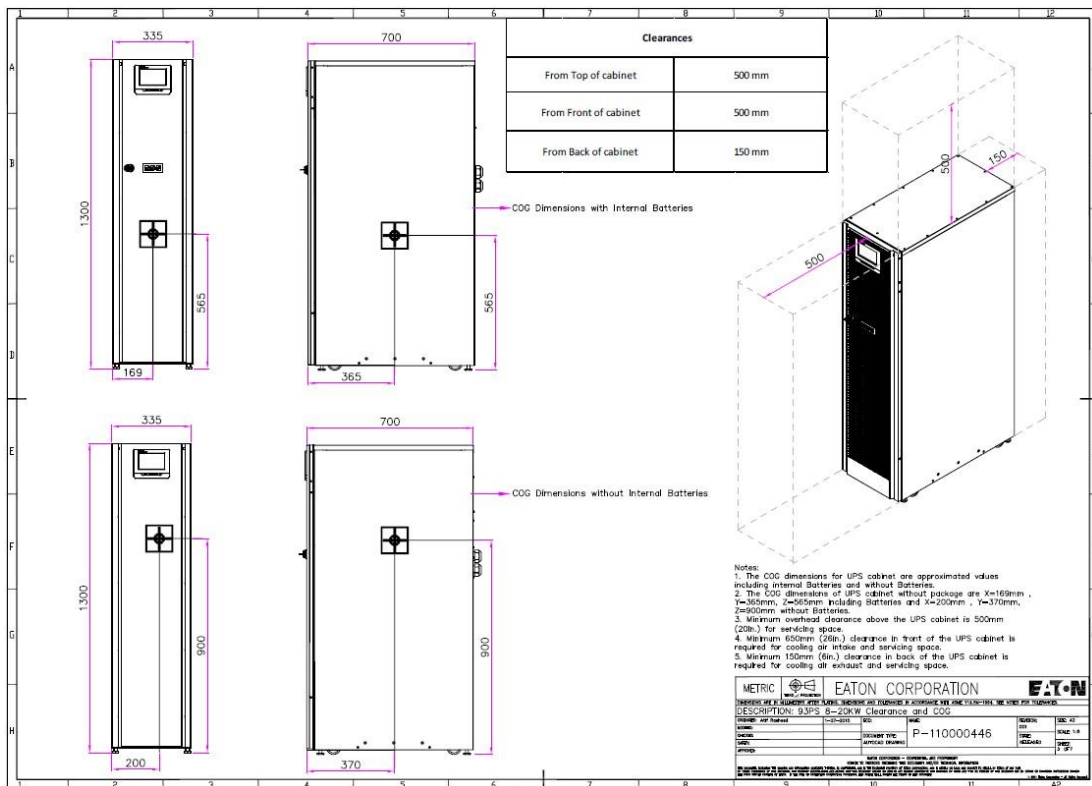
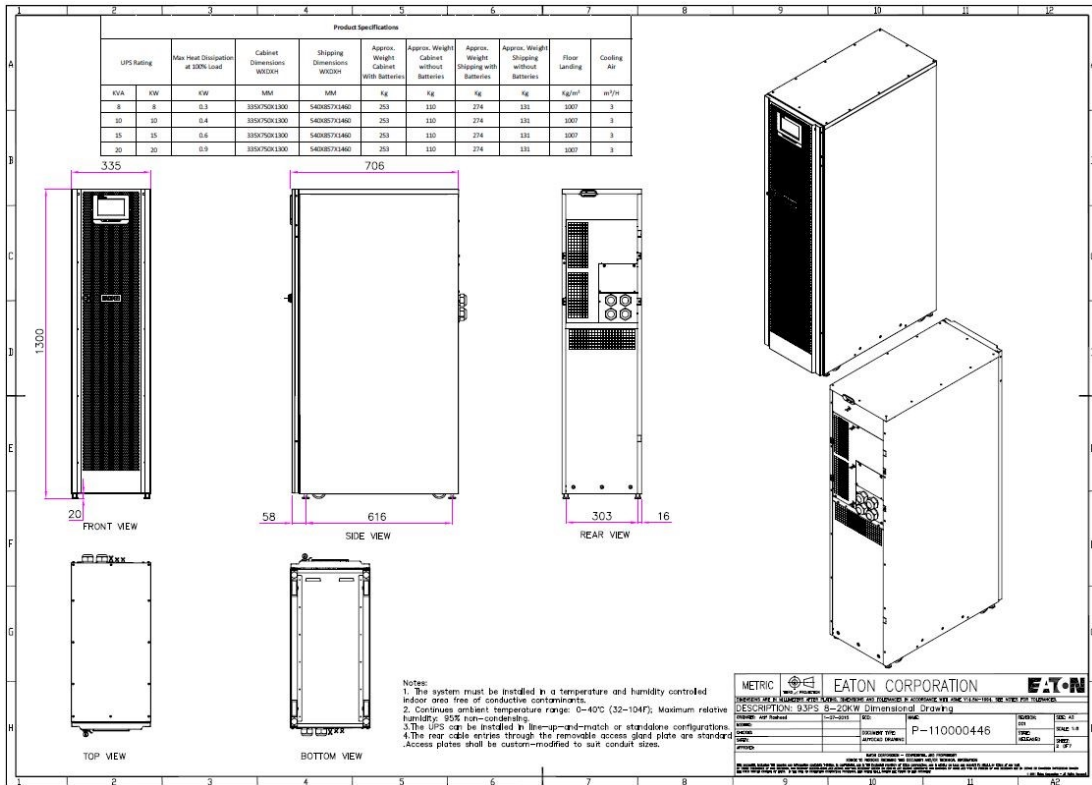
ST 96.32. UPS-järjestelmän käyttö, ylläpito ja huolto. 2010. Sähkötieto Ry. Sähköinfo. Viitattu 28.10.2021. <https://severi.sahkoinfo.fi/item/4041?search=varmennettu%20sahkonsyotto>.

UPM verkkosivut. 2020. Viitattu 20.8.2021. <https://www.upm.com/fi/tietoa-meista/yhtion-historia/>

Varis, R. 2017. Sahateollisuus. Viitattu 6.9.2021.

Ylinen, M. 2010. Viitattu 8.9.2021. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/24770/Ylinen_Marko.pdf?sequence=1&isAllowed=y

LIITE 1 EATON 93PS-20(20) -20-2X9AH-MBS-6



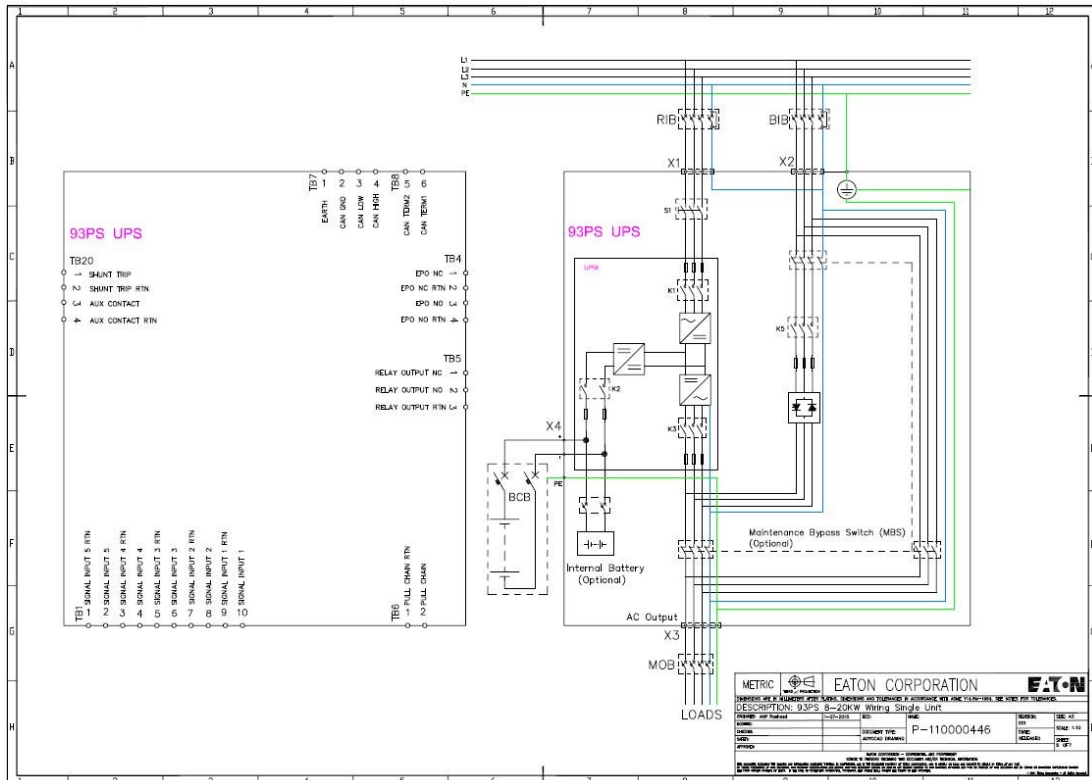
93PS 8-20KW UPS Site Planning Data

UPS Rating		AC Input		3P+ Bolted N Rectifier Input Breaker (RIB)					3P+ Bolted N Bypass Input Breaker (BIB)				4P Inverter AC Output Breaker (MOB)				Battery Breaker (BCB) (Ratings at the end of discharge, 1.67VPC)				For Single Unit Maintenance Bypass Switch (MBS)		For Parallel Units Common Maintenance Bypass Switch (MBS)	
				Nominal Current	Maximum Current	Nominal Current at 400V Input	Maximum Current at 12% under voltage	Integrated Bypass Fuse	Type	Output Current	Inverter Short Circuit Current	Auxiliary Switches	Rating	Separate Battery Configuration (UPM Battery)	Common Battery Configuration (UPS Battery)	Trip Device (Shunt Trip)	Auxiliary Switches	Rating	Rating	Auxiliary Switches				
																					A	A	A	A
8	8	400	12	18	12	17	160 FEE	400	12	72	2	500	NA	63	24	1	12	12 x N	1					
10	10	400	15	22	15	21	160 FEE	400	15	72	2	500	NA	63	24	1	15	15 x N	1					
15	15	400	23	29	22	32	160 FEE	400	22	72	2	500	NA	63	24	1	22	22 x N	1					
20	20	400	30	38	29	42	160 FEE	400	29	72	2	500	NA	63	24	1	29	22 x N	1					

Minimum recommended cable and fuse sizes							
UPS RATING KW	Cable [mm ²]	Rectifier Fuse [A]	Bypass Fuse [A]	PE Cable [mm ²]	POS. & NEG. Line [mm ²]	Battery Fuse [A]	EX BATT PE Cable [mm ²]
8	4*2.5	16	16	1*6	1*16	63	1*16
10	4*4	20	20	1*6	1*16	63	1*16
15	4*10	32	32	1*10	1*16	63	1*16
20	4*10	50	40	1*10	1*16	63	1*16

- Notes:
- Rectifier AC input current calculations: Nominal – 100% load without charging; Maximum – 100% load with maximum charging (Rectifier current limit).
 - Inverter AC output current calculation: At 100% rated output load.
 - The system must be installed on a level floor suitable for computer or electronic equipment.
 - All wiring and installations must be in accordance with applicable National and Local Electric Regulations.
 - AC input to UPS: (3) phases, (1) neutral, (1) ground.
AC output to load: (3) phases, (1) neutral, (1) ground.
 - DC input from battery to UPS: (1) positive, (3) negative, (1) ground.
 - All breakers should be adjusted according to the specified Ampere values to protect the UPS and installation.
 - For UPS installation that utilizes single feed input, the input breaker should be configured according to the rated rectifier input current.
 - Cable sizing is based on the standard IEC 60364-5-52 and IEC 60364-5-54. The sizing is for 70°C rated copper cables.
 - Specifications are subject to change.

METRIC	EATON CORPORATION	EATON
DESCRIPTION: 93PS 8-20KW Single Unit		
Part No.:	110000446	Rev.:
Rev.:	1.0	Rev.:
Rev.:	1.0	Rev.:
Rev.:	1.0	Rev.:



METRIC	EATON CORPORATION	EATON
DESCRIPTION: 93PS 8-20KW Wiring Single Unit		
Part No.:	110000446	Rev.:
Rev.:	1.0	Rev.:
Rev.:	1.0	Rev.:
Rev.:	1.0	Rev.:



VAROITUS

Älä irrota ohituksen nollaa irrottamatta samanaikaisesti ohituksen vaiheita.

Taulukko 12: Suositellut moniydinkaapelien ja sulakkeiden vähimmäiskoot tasasuuntaaja- ja ohitustulolle sekä UPS-lähtökaapeleille (kolmivaihetulo, kolmivaihelähtö)

93PS UPS:n teholuokitus (kW)	8	10	15	20	30	40
Kaapeli [mm²]	4*2,5	4*4	4*10	4*10	4*16	4*25
Tasasuuntaajan sulake [A]	20	20	32	40	63	80
Ohituksen sulake [A]	20	20	32	40	63	80
PE-kaapeli [mm²]	1*6	1*6	1*10	1*10	1*16	1*16
Johtimen enimmäispoikkipinta-ala	20 kW:n kehikko ja 20 kW:n C-malli: kiinteä/säikeetön johto 16 mm ² , punottu johto pääteliittimellä: 10 mm ² 40 kW:n kehikko: kiinteä johto: 70 mm ² , punottu johto pääteliittimellä: 50 mm ²					

2016/Rev11

EATON UPS-LAITTEIDEN SÄHKÖARVOTAULUKKO



EATON UPS	JÄRJESTELMÄ ARVOT				AKUSTO			TUULOVERKKO			OHITUSVERKKO			LAHTOVERKKO				** Suurin Lähdön Sulake [A]
	Nimellisteho [kVA / kW]	Un [V] Input/Output	F _n [Hz]	EFF [%] Normal ESS	Un VDC	In	Vaihe- Luku	Tulovirta In[A]	Tuulosulake Fn [A]	Vaihe- Luku	Ohitus- sulake [A]	Vaihe- Luku	Lahtovirta In [A]	Invertterin Oikosulku-virta [A]	Invertterin Oikosulku-aika [ms]	*Vikavirtapiirin Impedanssi max [Ω]		
9155	8	7,2	230/230	50/60	91%	-	384	21	34	40	1	35	100	300	2,194	B16/C6		
9155	8	7,2	230/230	50/60	91%	-	384	21	11	16	1	40	100	300	2,194	B16/C6		
9155	10	9	230/230	50/60	91%	-	384	26	43	50	1	43	100	300	2,194	B16/C6		
9155	10	9	230/230	50/60	91%	-	384	26	14	25	1	50	100	300	2,194	B16/C6		
9155	12	10,8	230/230	50/60	91%	-	384	31	17	25	1	63	144	300	1,524	B16/C10		
9155	15	13,5	230/230	50/60	91%	-	384	39	22	25	1	80	144	300	1,524	B16/C10		
9155	20	18	230/230	50/60	93%	-	384	50	28	40	1	100	300	300	0,731	B50/C25		
9155	30	27	230/230	50/60	93%	-	384	76	42	50	1	130	300	300	0,731	B50/C25		
93PS-8 [15]	8	8	230/400	50/60	95%	98%	384	22	12	16	3	12	54	300	4,063	B10/C6		
93PS-8 [20]	8	8	230/400	50/60	95%	98%	384	22	12	16	3	12	72	300	3,047	B10/C6		
93PS-10 [15]	10	10	230/400	50/60	96%	99%	384	27	15	20	3	14	54	300	4,063	B10/C6		
93PS-10 [20]	10	10	230/400	50/60	96%	99%	384	27	15	20	3	14	72	300	3,047	B10/C6		
93PS-15 [15]	15	15	230/400	50/60	96%	99%	384	41	23	32	3	22	54	300	4,063	B10/C6		
93PS-15 [20]	15	15	230/400	50/60	96%	99%	384	41	23	32	3	22	72	300	3,047	B10/C6		
93PS-20 [20]	20	20	230/400	50/60	96%	99%	384	54	30	50	3	29	72	300	3,047	B10/C6		
93PS-8 [15+15]	8	8	230/400	50/60	95%	98%	384	22	12	16	3	12	108	300	2,031	B16/C10		
93PS-8 [20+20]	8	8	230/400	50/60	95%	98%	384	22	12	16	3	12	144	300	1,524	B25/C10		
93PS-10 [15+15]	10	10	230/400	50/60	96%	99%	384	27	15	20	3	14	108	300	2,031	B16/C10		
93PS-10 [20+20]	10	10	230/400	50/60	96%	99%	384	27	15	20	3	14	144	300	1,524	B25/C10		
93PS-15 [15+15]	15	15	230/400	50/60	96%	99%	384	41	23	32	3	22	108	300	2,031	B16/C10		
93PS-15 [20+20]	15	15	230/400	50/60	96%	99%	384	41	23	32	3	22	144	300	1,524	B25/C10		
93PS-20 [15+15]	20	20	230/400	50/60	96%	99%	384	54	30	50	3	29	108	300	2,031	B16/C10		
93PS-20 [20+20]	20	20	230/400	50/60	96%	99%	384	54	30	50	3	29	144	300	1,524	B25/C10		
93PS-30 [15+15]	30	30	230/400	50/60	96%	99%	384	81	45	63	3	43	108	300	2,031	B16/C10		
93PS-30 [20+20]	30	30	230/400	50/60	96%	99%	384	81	45	63	3	43	144	300	1,524	B25/C10		
93PS-40 [20+20]	40	40	230/400	50/60	96%	99%	384	109	60	80	3	58	144	300	1,524	B25/C10		
9395P-250	250	250	230/400	50/60	95%	99%	480	548	381	500	3	362	760	300	0,289	klS **		
9395P-300	300	275	230/400	50/60	96%	99%	480	597	415	500	3	435	760	300	0,289	klS **		
9395P-500	500	500	230/400	50/60	96%	99%	480	1095	755	1000	3	725	1520	300	0,144	klS **		
9395P-600	600	550	230/400	50/60	96%	99%	480	1194	830	1000	3	870	1520	300	0,144	klS **		
9395P-750	750	750	230/400	50/60	96%	99%	480	1628	1132	1250	3	1087	2280	300	0,096	klS **		
9395P-900	900	825	230/400	50/60	96%	99%	480	1790	1245	1400	3	1304	2280	300	0,096	klS **		
9395P-1000	1000	1000	230/400	50/60	96%	99%	480	2170	1510	1600	3	1449	3040	300	0,072	klS **		
9395P-1200	1200	1100	230/400	50/60	96%	99%	480	2387	1661	2000	3	1739	3040	300	0,072	klS **		
93PM-30	30	30	230/400	50/60	96%	99%	432-480	73/65	46	63	3	43	170	400	1,291	B32/C16		
93PM-40	40	40	230/400	50/60	96%	99%	432-480	97/87	61	80	3	58	170	400	1,291	B32/C16		
93PM-50	50	50	230/400	50/60	96%	99%	432-480	121/109	76	100	3	72	170	400	1,291	B32/C16		
93PM-60	60	54	230/400	50/60	96%	99%	432-480	130/117	81	100	3	87	170	400	1,291	B32/C16		
93PM-80	80	80	230/400	50/60	96%	99%	432-480	193/173	121	150	3	116	345	400	0,636	B63/C32		
93PM-100	100	100	230/400	50/60	96%	99%	432-480	241/217	151	200	3	145	345	400	0,636	B63/C32		
93PM-120	120	120	230/400	50/60	96%	99%	432-480	290/260	181	200	3	174	510	400	0,430	g663		
93PM-150	150	150	230/400	50/60	96%	99%	432-480	362/326	226	315	3	218	510	400	0,430	g663		
93PM-160	160	160	230/400	50/60	96%	99%	432-480	386/347	241	315	3	231	670	400	0,327	g663		
93PM-200	200	200	230/400	50/60	96%	99%	432-480	483/434	301	400	3	289	670	400	0,327	g663		

* Vikavirtapiirin suurin sallittu impedanssin arvo mC, jolla saavutetaan invertterin oikosulkuvirran suuruus

** Tämä sulakkeen arvo on suuntaa antava, sähkösuunnittelijan pitää tarkastella tämä aina tapauskohtaisesti

Taulukko 6.2. Kaapeleiden impedanssit (Ω/km) johdinlämpötilalle $80\text{ }^\circ\text{C}$.

Johdinten poikkipinta A/mm^2	Kupari			Alumiini		
	Resistanssi r	Reaktanssi x	Impedanssi z	Resistanssi r	Reaktanssi x	Impedanssi z
$4 \times 1,5$	14,620	0,115	14,620			
$4 \times 2,5$	8,770	0,110	8,770			
4×4	5,480	0,107	5,480			
4×6	3,660	0,100	3,660			
4×10	2,244	0,094	2,246			
4×16	1,415	0,090	1,418	2,324	0,090	2,326
4×25	0,898	0,086	0,902	1,489	0,086	1,492
4×35	0,652	0,083	0,657	1,086	0,083	1,089
4×50	0,482	0,083	0,489	0,796	0,083	0,800
4×70	0,336	0,082	0,346	0,551	0,082	0,557
4×95	0,244	0,082	0,257	0,398	0,082	0,406
4×120	0,195	0,080	0,211	0,316	0,080	0,326
4×150	0,155	0,080	0,174	0,258	0,080	0,270
4×185	0,125	0,080	0,148	0,207	0,080	0,222
4×240	0,095	0,079	0,124	0,162	0,079	0,180
4×300	0,078	0,079	0,111	0,133	0,079	0,155

Usein käytännössä täytyy määrittää suurin sallittu johtopituus, kun suojalaitetta edeltävän verkon impedanssi Z_v tai oikosulkuvirta on tunnettu.

Sallittu johtopituus voidaan laskea käyttäen kaavaa

$$l = \frac{c \times U}{\sqrt{3} \times I_k} - Z_v \quad (6.2)$$

jossa

l = johtopituus (km)

c = kerroin 0,95

U = pääjännite (V)

I_k = oikosulkuvirta, joka aiheuttaa automaattisen poiskytkennän vaaditussa ajassa

Z_v = impedanssi ennen suojalaitetta

z = suojattavan johtimen impedanssi (Ω/km)

Sallittujen ryhmäjohtopituuksien määrittämiseen on olemassa taulukoita, joiden avulla voi suhteellisen nopeasti arvioida suojauksen toimivuutta (taulukot 6.6–6.9).

Suojausehtojen toteutuminen voidaan tarkastaa mittaamalla oikosulkuvirrat. Mittaamalla saatujen oikosulkuvirtojen tulee olla 25 % suurempia kuin suojalaitteiden toimintarajavirrat. Suojalaitteiden toimintarajavirrat ja vaadittavat mitatut oikosulkuvirrat käyvät ilmi taulukoista 6.3, 6.4 ja 6.5.

Taulukko 6.3. Vaaditut mitatut oikosulkuvirrat käytettäessä B- ja C-tyyppin johdonsuojakatkaisijoita.

Johdonsuojakatkaisijoiden pienimmät toimintavirrat ja vaaditut mitatut arvot				
Nimellisvirta	B-tyyppi 0,4 s ja 5,0 s	Vaadittu mitattu arvo	C-tyyppi 0,4 s ja 5,0 s	Vaadittu mitattu arvo
A	A	A	A	A
6	30	37,5	60	75
10	50	62,5	100	125
16	80	100	160	200
20	100	125	200	250
25	125	156,3	250	312,5
32	160	200	320	400
50	250	312,5	500	625
63	315	393,8	630	787,5
80	400	500	800	1000
125	625	781,3	1250	1562,5

