

# UPS-LAITTEET VIRRANSYÖTÖN VARMENTAJINA



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö  
Sähkö- ja automaatiotekniikka, insinööri (AMK)

kevät, 2023

Tuomas Tamminen

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Tekijä Tuomas Tamminen

Työn nimi UPS-laitteet virransyötön varmentajina

Ohjaaja Timo Väisänen

Tiivistelmä

Vuosi 2023

---

Tämän työn tarkoituksena oli tutustua UPS-laitteisiin, niiden keskeisiin komponentteihin ja toimintaperiaatteisiin. Erityisesti kiinnitettiin huomiota standardin SFS-EN 62040-3 kategorioimiin kolmeen UPS-laitteiden toimintatapaan, joita kutsutaan termeillä stand by -UPS, line-interactive-UPS ja online-UPS. Työn keskeisenä sisältönä on näiden laitetyyppien erojen kuvaaminen, jotta lukija saa käsityksen siitä, miten laitteet eroavat toiminnallisesti toisistaan ja millainen laite sopii mihinkäkin tarkoitukseen ja järjestelmään.

Työn alussa keskitytään siihen, mikä on UPS-laitteiden tarkoitus ja tyypillisimmät sovelluskohteet. Lisäksi paneudutaan UPSien mitoitukseen ja UPS-järjestelmien suunnittelussa huomioitaviin seikkoihin. Lopuksi ennen toimeksiantajalle tehdyn työn esittelyä, käydään lyhyesti läpi UPS-laitteisiin liittyvää huoltoa ja laitteiden elinkaarta.

Toimeksiantajalle tehtävässä suunnittelussa esitettiin vaihtoehto olemassa olevalle UPS-järjestelmälle. Vertailtavina vaihtoehtoina olivat nykyisen, uusimisen tarpeessa olevan laitteen, vaihtaminen uuteen vastaavaan ja täysin uudelleen suunniteltava järjestelmä, jossa saataisiin kustannussäästöjä sekä laitehankinnasta että tulevista huoltokustannuksista. Uuden suunnitelman keskeinen lähtökohta oli UPS-laitteen vaihtaminen pienempään ja sen vaatimat järjestelmämuutokset. Työssä todettiin, että järjestelmä on muutettavissa ilman, että sillä on merkittävää vaikutusta prosessin toiminnallisuuteen, ja että muutoksella saadaan aikaan huomattavia säästöjä. Toimeksiantaja päätti toteuttaa UPS-järjestelmän uusimisen tässä työssä esitetyllä tavalla.

Avainsanat Häiriösuojaus, UPS, varavoima, virtalähde

Sivut 35 sivua ja liitteitä 4 sivua

---

The purpose of this thesis was to examine UPS devices, their key components, and operating principles. Special attention was paid to the three modes of operation of UPS devices categorized by the standard SFS-EN 62040-3, which are called stand-by UPS, line-interactive UPS, and online UPS. The main purpose of the thesis is to describe the differences between these device types, so that the reader gets an idea of how the devices differ functionally from each other and what kind of device is suitable for which purpose and system.

In the initial part of the thesis, focus is on the purpose of the UPS devices and their most typical applications. In addition, the dimensioning of UPS systems and different aspects to be considered in the design of UPS systems will be discussed. Finally, before presenting the analysis commissioned by the client, the maintenance and life cycle of the UPS devices are briefly examined.

An alternative to the existing UPS system was presented in the design for the client. The comparable alternatives were the replacement of the current equipment in need of renewal with a new equivalent and a completely replanned system, which would result in cost savings from both device purchase and future maintenance costs. The central starting point of the new plan was changing the UPS device to a smaller one, and the system changes the switch requires. This thesis states that the system can be changed without having a significant effect on the functionality of the process, and that the change will result in considerable savings. The client decided to implement the plan of the UPS system as presented in this thesis.

Keywords Disturbance protection, power supply, reserve power, UPS

Pages 35 pages and appendices 4 pages

## Sisälllys

### Lyhenteet ja määritelmät

1	Johdanto .....	1
2	Tavanomaisia syitä UPSien hankintaan .....	2
3	UPS-laitteiden toiminta ja käyttö .....	4
3.1	Keskeiset komponentit .....	4
3.1.1	Tasasuuntaaja eli konvertteri.....	5
3.1.2	Vaihtosuuntaaja eli invertteri .....	7
3.1.3	Akusto.....	9
3.2	Eri laitetypit ja toimintaperiaatteet .....	12
3.2.1	Stand by -UPS .....	13
3.2.2	Line-interactive-UPS.....	14
3.2.3	Online-UPS .....	16
3.2.4	Laitetyyppien vertailu .....	17
3.3	Suunnittelussa huomioitavia seikkoja .....	19
3.4	Huolto ja elinkaari .....	22
4	Toimeksiantajan UPS-järjestelmän suunnittelu .....	23
4.1	Työn tarkoitus ja nykytilanteen kuvaus .....	23
4.2	Mitoituksen sekä laitemäärittelyn lähtökohdat ja työn rajaus.....	24
4.3	Tehon tarve .....	25
4.4	Järjestelmän toimivuuden tarkastelu .....	28
4.5	Taloudellinen tarkastelu .....	30
5	Yhteenvedo .....	31
	Lähteet.....	33

## Liitteet

Liite 1	UPS-laitteiden elinkaarimalli ABB:n mukaan
Liite 2	Automaatiokeskuksen johdotuspiirustus muutosohjeineen
Liite 3	Uuden varavoimakeskuksen pääkaavio

## Lyhenteet ja määritelmät

A	Ampeeri, virran voimakkuuden yksikkö.
AC	Vaihtovirta.
Aktiivisuodatin	Laite, joka poistaa yliaaltoja ja muita häiriöitä sähköjärjestelmästä.
AVR	Automaattinen jännitteensäätäjä.
DC	Tasavirta.
Konvertteri	Tasasuuntaaja. Elektroninen kytkentä, joka muuntaa vaihtovirran tasavirraksi.
Harmoninen kokonaissärö (THD)	Harmonisten yliaaltojen aiheuttama särö.
Harmoninen yliaalto	Sähköjärjestelmässä esiintyvä virtasignaali, joka on taajuudeltaan perustaajuuden (50 Hz) monikerta esimerkiksi 100 Hz tai 150 Hz.
Hz	Herzi, taajuuden yksikkö.
IGBT-silta	Insulated-gate bipolar transistor -silta eli eristyshilainen bipolaaritransistorisilta. IGBT-puolijohteisiin perustuva kytkentä, jolla vaihtovirta muunnetaan tasavirraksi tai päinvastoin.
Invertteri	Vaihtosuuntaaja. Elektroninen kytkentä, joka muuntaa tasavirran vaihtovirraksi.
I/O-kortti	Automaatiojärjestelmän komponentti, joka joko vastaanottaa tai lähettää tietoa (input/output).

Line-interactive-UPS	UPS-laite, jossa on automaattinen jännitteen korjaus.
Online-UPS	UPS-laite, joka jatkuvasti kaksoismuuntaa verkkovirran ensin tasavirraksi ja sitten uudelleen vaihtovirraksi.
PWM	Signaalin muunnoksessa käytetty tekniikka, jolla tasavirta muunnetaan pulsseiksi, jotka simuloivat vaihtovirtaa.
Resistiivinen kuorma	Ainoastaan pätötehoa kuluttava kuorma.
Stand by -UPS	UPS-laite, joka kytkeytyy päälle vasta verkkosyötön katkettua.
ST-kortisto	Sähkötieto ry:n julkaisema tieto- ja ohjekortisto.
Sähköhäiriö	Sähköjärjestelmässä esiintyvä poikkeama perustaajuudellisesta siniaallosta, esimerkiksi yliaalto.
Särö	Perustaajuuksisessa sinimuotoisessa virtasignaalisessa esiintyvä poikkeama.
Tasasuuntaaja	Kts. konvertteri.
Tyristori	Elektroniikassa käytetty puolijohdekomponentti.
Tyristorisilta	Tyristoreihin perustuva kytkentä, jolla vaihtovirta muunnetaan tasavirraksi.
UPS	Uninterruptible power supply, keskeytymättömään virransyöttöön tarkoitettu laite.

Yliaalto	Virtasignaali, jonka taajuus on suurempi kuin perustaajuus 50 Hz.
V	Voltti, jännitteen yksikkö.
VA	Volttiampeeri, näennäistehon yksikkö.
Vaihtosuuntaaja	Kts. invertteri..
VFD	UPS-laitekategoria, jossa UPSin tuottaman sähkönn jännite ja taajuus riippuvat suoraan syöttävän verkon sähköstä.
VFI	UPS-laitekategoria, jossa UPSin tuottaman sähkönn jännite ja taajuus eivät riipu syöttävän verkon jännitteestä ja taajuudesta.
VI	UPS-laitekategoria, jossa UPSin tuottaman sähkönn jännite ei riipu syöttävän verkon jännitteestä.

## 1 Johdanto

Monet yhteiskunnallisesti merkittävät toiminnot ovat riippuvaisia häiriöttömästä sähkösaannista. Sähkön tuotanto- ja jakeluyhtiöillä on pääasiallinen vastuu siitä, että sähköjakelu toimii moitteetta, mutta myös kuluttajalla on mahdollisuus vaikuttaa vähintäänkin sähkökatkosta aiheutuvien haittojen minimoimiseen.

Yhtenä ratkaisuna sähkösaannin varmistamiseksi ovat UPS-laitteet. Ne perustuvat yleensä akkuihin, joista saadaan tarvittava virta ulkoisen verkon katkettua. Akkujen kesto on yleensä laitekokonaisuudesta ja siihen liittyvästä kuormasta riippuen muutamista minuuteista muutamiin tunteihin. Tyypillisesti UPS-laitteilla ei kuitenkaan ole tarkoitus pitää esimerkiksi teollisuuslaitoksen tuotantoa yllä, mutta niistä saadaan tarvittava virta prosessin ja automaation hallittuun alasajoon, jolloin sähkökatkon aiheuttamat välittömät vahingot saadaan pidettyä mahdollisimman vähäisinä.

Tässä työssä keskitytään enintään 50 kVA:n kokoihin UPS-laitteisiin. UPS-laitteiden koko vaihtelee alle 1 kVA:sta yli megawatin laitteisiin (Eaton, 2023), mutta tässä työssä tarkastellaan UPS-laitteita toimeksiantajan näkökulmasta ja käsitteellä ”pieni” tarkoitetaan laitetta, jonka nimellisteho on enintään 3 kVA ja ”suuri” laitetta, jonka nimellisteho on vähintään 5 kVA.

UPS-laitteita toimittavan ABB:n mukaan UPS-laitteiden hinta ja huoltokulut kasvavat huomattavasti, kun siirrytään pienistä enintään 3 kVA:n laitteista suurempiin yli 5 kVA:n laitteisiin, joten UPS-laitteet kannattaa pitää pieninä, jos se vain on mahdollista (ABB, henkilökohtainen tiedonanto, 2022). Tässä työssä tarkastellaan kohdetta, jossa 8 kVA:n UPS on tullut elinkaarensa loppuun ja se halutaan vaihtaa pienempään ja edullisempaan laitteeseen.

Yleensä UPS-laite on alun perin mitoitettu ottamalla huomioon sen perässä olevat kuormat ja komponentit. Tämän vuoksi laitekoon pienentäminen ei yleensä onnistu pelkästään UPS-laitteen uusimisella vaan muutos pitää huomioida myös UPSin syöttämässä keskuksessa, kuormana olevissa virtalähteissä, johdonsuojissa jne. Työn tarkoituksena on tutkia, voisiko

toimeksiantaja säästää vaihtamalla UPS-laite pienemmäksi, ja tehdä muutossuunnitelmat siinä tapauksessa, että muutostyö osoittautuu kannattavaksi.

## 2 Tavanomaisia syitä UPSien hankintaan

Hyvä ja laadukas sähkö ei ole itsestäänselvyys. Sähkönkäyttäjän kannalta laadukas sähkö on toimitusvarmaa vaihtovirtasähköä, jonka jännite ja taajuus eivät poikkea merkittävästi 400 V:sta ja 50 Hz:stä (SFS-EN 50160:2022, s. 13). Lisäksi siinä ei saisi olla yliaaltoja tai muita merkittäviä häiriöitä. Valitettavasti yleensä tilanne ei ole näin ideaalinen. Sähköverkossa on lähes poikkeuksetta jonkin asteisia laatupoikkeamia, ja pahimmillaan sähkön toimitus voi katketa kokonaan.

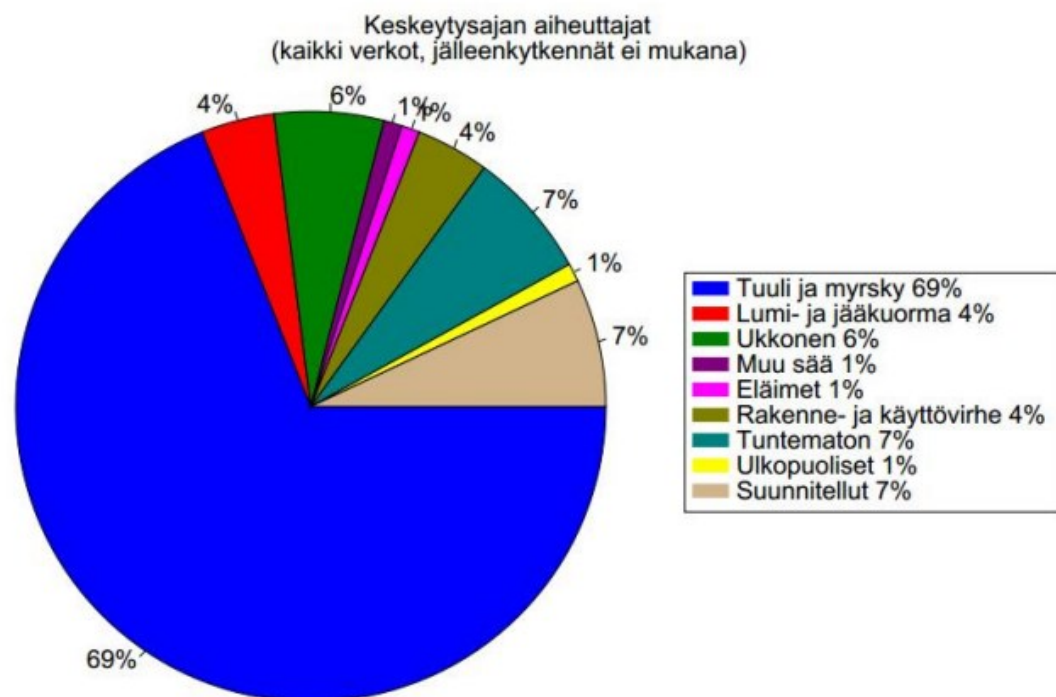
Teollisuudessa käytetään paljon toisaalta herkkiä laitteita, jotka voivat vaurioitua helposti, ja toisaalta sellaisia laitteita, joiden päällä pysyminen on ensiarvoisen tärkeää. Herkkiä laitteita ovat esimerkiksi turvavalvontalaitteet ja päällä pysymisen kannalta merkityksellisiä ovat erilaiset automaatio- ja tietoliikennejärjestelmät. Näihin järjestelmiin liittyvät laitteet ovat usein myös hyvin kalliita, joten niiden rikkoutuminen ei ainoastaan vaaranna valvontaa tai toimintoja vaan aiheuttaa myös merkittäviä suoria kustannuksia. Lisäksi varsinkin tietokoneiden hallitsematon sammuminen voi johtaa tiedon menetykseen tai ohjelmiston rikkoutumiseen.

UPS-laitteilla voidaan turvata sähkönsyöttö sähkökatkon sattuessa ainakin siksi aikaa, että laitteet saadaan sammutettua hallitusti. Mikäli UPS on niin sanottu online-laite, sillä pystytään myös suojautumaan tehokkaasti sähköverkon häiriöiltä, kuten jännitevaihteluilta ja yliaalloilta. Toisin kuin muut UPS-tyypit, online-UPS muuntaa jatkuvasti verkkovirran ensin tasavirraksi ja sen jälkeen uudestaan vaihtovirraksi, jolloin edellä mainitut häiriöt suodattuvat pois. UPS-laite tarjoaa siis sekä katkeamattoman sähkönsyötön järjestelmän hallitun alasajon ajaksi että suoja sähköverkon häiriöitä vastaan.

UPS-laitteita voidaan periaatteessa käyttää missä vain, mutta tyypillisesti ne liittyvät elinkeinon harjoittamiseen. Kotikäytössä niiden suosiota rajoittaa yksityishenkilön näkökulmasta korkeahko hinta, ja että niille ei juurikaan ole tarvetta, koska varsinkin

taajama-alueilla kotitalouksien sähkön laatu on pääsääntöisesti hyvää ja jakelu luotettavaa. Tähän on kannustanut vuonna 2013 säädetty sähkömarkkinalaki, joka edellyttää sähköyhtiöitä tekemään sellaisia investointeja, joilla taajama-alueen sähkökatkot saataisiin pysymään enintään 6 tunnin mittaisina. Koska suurin osa keskeytyksistä johtuu luonnonilmiöistä, käytännössä toimitusvarmuuden parantuminen on tapahtunut maakaapeloimalla sähköverkkoa. Kuvassa 1 on esitelty sähkökatkojen aiheuttajat vuonna 2013 eli ennen edellä mainitun lain vaikutusta. (Energiateollisuus, 2014, ss. 20-22)

Kuva 1. Sähkökatkojen aiheuttajat vuonna 2013 (Energiateollisuus, 2014, s. 22).



Teollisuudessa sähkökatkot ovat yleisempiä, sillä laitoksen oma toiminta saattaa välillä katkaista sähköt ainakin osasta prosessia. Kun katkos johtuu esimerkiksi rikkoutuneesta komponentista eikä ole suunniteltu, seurauksena voi olla merkittäviä kustannuksia joko tuotannon menetyksinä tai arvokkaiden laitteiden vaurioitumisena. Pahimmillaan toimintahäiriöt esimerkiksi huoltovarmuuskriittisillä toimijoilla voivat aiheuttaa merkittävää haittaa yhteiskunnalle.

Edellä mainittujen haittojen ehkäisemiseksi, UPS-laitteita voikin teollisuudessa suositella käytettäväksi matalalla kynnyksellä myös sellaisissa tilanteissa, joissa sähkön syötön

jatkuvuus ei ole kriittistä, mutta verkkosähkön häiriöt, kuten jännitepiikit, voivat aiheuttaa vahinkoa. Esimerkiksi tämän opinnäytetyön toimeksiantajalla on useita kohteita, joihin on asennettu käytössä olevan automaatiojärjestelmän komponentteja. Ne sijoittuvat maantieteellisesti erittäin suurelle alueelle, ja on sanomattakin selvää, että sähkön laatu ei aina ole täydellistä eikä keskeytyksiltä tai häiriöiltä voida välttyä. Toimeksiantajani kertoman mukaan automaatiojärjestelmän yksi I/O-kortti saattaa maksaa tuhansia euroja ja kortteja on kohteen mukaan vaihteleva määrä, mutta aina useita. Vaikka kohteet eivät olisi toiminnan kannalta kriittisiä, kyse on usein käytännössä siitä, että hankitaan 1500–3000 euroa maksava UPS-laite suojaamaan kymmeniä tuhansia euroja maksavia automaatiokomponentteja. (Toimeksiantaja, henkilökohtainen tiedonanto, 2023)

Prosessiteollisuudessa eri pumpput yms. vaativat usein niin paljon tehoa, että tässä työssä tarkasteltavan kokoluokan UPSeilla ei yleensä voida pitää yllä prosessia. Sen sijaan, jos esimerkiksi prosessin valvomo on eri paikassa kuin itse prosessilaitteet, sähkökatko saattaa kohdistua pelkkiin valvomotiloihin, jolloin valvomon toimintaedellytysten jatkaminen UPSin avulla mahdollistaa prosessin ylläpitämisen tarvittaessa pitkänkin aikaa. Toimeksiantajani tapauksessa kaikki valvomon koneet ja laitteet on liitetty UPS-syötön taakse, jolloin valvomo voidaan pitää sähkökatkon sattuessa toimintakunnossa sangen pitkään.

Edellä kerrotut tapaukset ovat toki vain esimerkkejä. Jokaisen toimijan tulee itse harkita tapauskohtaisesti, millaista suojaa tai toimintavarmuutta tarvitsee, ja mitoittaa UPS-laitteensa sen mukaan. Usein on järkevää kääntyä tunnetun laitevalmistajan puoleen ja pyytää heiltä tarpeiden mukainen tarjous soveltuvasta järjestelmästä.

### **3 UPS-laitteiden toiminta ja käyttö**

#### **3.1 Keskeiset komponentit**

Keskeisimmät komponentit UPS-laitteissa ovat tasasuuntaaja, vaihtosuuntaaja ja akusto. UPS-laitteissa on myös ohituskytkin, joka voi olla joko elektroninen, sisään rakennettu, kytkin tai ulkoinen fyysisesti operoitava kytkin. Lisäksi UPS-laitteissa on mallista riippuen erilaista säätö-, ohjaus- ja diagnostiikkaelektroniikkaa.

### 3.1.1 Tasasuuntaaja eli konvertteri

Tasasuuntaajan tehtävänä on muuttaa verkkovirta, joka on Suomessa joko yksivaiheista 230 V:n tai kolmivaiheista 400 V:n vaihtovirtaa, tasavirraksi, jolla voidaan ladata akustoa.

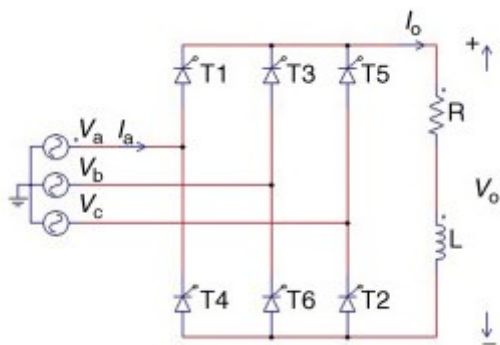
Tasasuuntaus sähkölaitteissa voidaan toteuttaa monella eri tavalla, mutta UPS-laitteissa tyypillisimmät tavat ovat 6-pulssinen tai 12-pulssinen tyristorisilta, johon voi olla liitettynä erilaisia suodattimia harmonisten yliaaltojen vähentämiseksi, tai niin sanottu IGBT-silta (Sudriá ym., 2005, s. 397). Pulssien määrällä viitataan kytkentään kuuluvien tyristoreiden määrään.

Kuvassa 2 on esitetty 6-pulssisen tyristorisillan kytkentäperiaate. 6-pulssisen sillan etuna on yksinkertainen rakenne ja halpa hinta. Merkittävä haitta 6-pulssisessa sillassa on sen aiheuttamat yliaallot ja säröt UPS-laitteeseen tulevaan verkkovirtaan. Mikäli järjestelmässä on paljon 6-pulssisella sillalla toteutettuja tasasuuntaajia, näitä voi UPSien lisäksi olla esimerkiksi taajuusmuuttajissa, voi olla tarpeen rakentaa erillisiä teknisiä ratkaisuja yliaaltojen suodattamiseksi (ABB, 2001, ss. 18–20). Näitä voivat olla esimerkiksi erilaiset suodattimet tai kompensointiparistot.

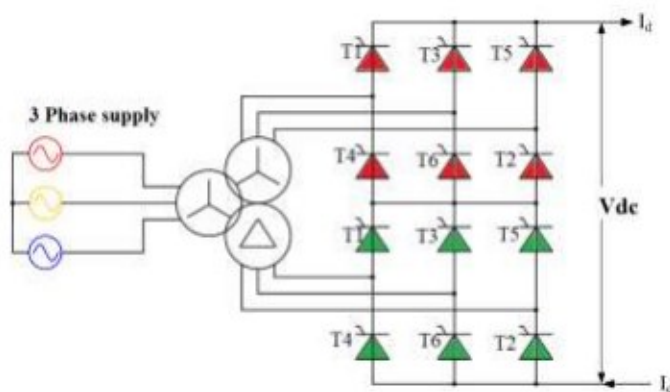
Kuvassa 3 kuvattu 12-pulssinen tyristorisilta on rakennettu kytkemällä kaksi 6-pulssista siltaa rinnakkain. 12-pulssinen silta vaatii verkkopuolelle erikoismuuntajan ja on muutenkin kalliimpi kuin 6-pulssinen silta. Toisaalta yliaaltojen muodostuminen on huomattavasti vähäisempää. (ABB, 2001, s. 19)

Tekniikan kehittyttyä ja elektronisten komponenttien tultua halvemmiksi, niin sanottujen IGPT-siltojen käyttö on tullut entistä yleisemmäksi. IGPT tulee sanoista insulated-gate bipolar transistor eli eristyshilainen bipolaaritransistori. Olkoonkin, että IGBT-sillat ovat edelleen kalliimpia kuin tyristorisillat, niiden kiistattomana etuna on, että ne eivät aiheuta juuri laisinkaan yliaaltoja (ABB, 2001, ss. 20–21). Kuvassa 4 on esitetty IGBT-sillan kytkentäperiaate.

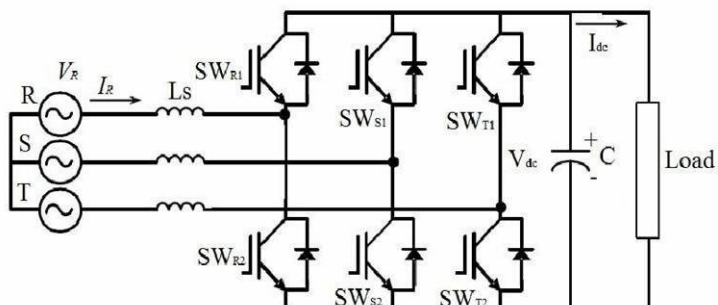
Kuva 2. 6-pulssinen tyristorisilta (Sivaraman & Sharmeela, 2021).



Kuva 3. 12-pulssinen tyristorisilta (Madhu ym., 2016).



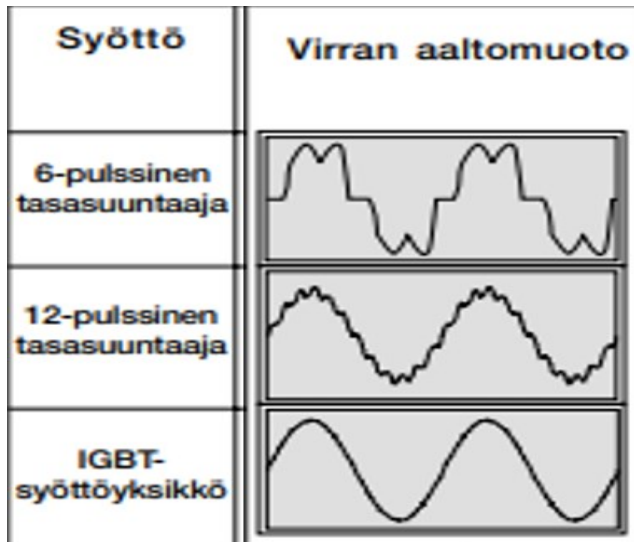
Kuva 4. IGBT-silta (Sinpower, 2021).



Kun vertaillaan eri tasasuuntaajarakaisujen vaikutusta verkkovirtaan, huomataan merkittäviä eroja yliaaltojen ja häiriöiden muodostumisessa. Kuvan 5 kuvaajat ovat suuntaa

antavia ja todelliset häiriötasot riippuvat aina käyttökohteesta. Tasasuuntaajien erilaisten toteutusratkaisujen väliset erot ovat kuitenkin selvästi havaittavissa. (ABB, 2001, s 20)

Kuva 5. Tasasuuntaajien vaikutus UPSia syöttävään virtaan (mukaiillen ABB, 2001, s. 20).



Varsinkin kotikäytössä ja muutenkin, jos järjestelmässä ei ole useita häiriötä tuottavia laitteita, tasasuuntaajan toteutustavalla ei ole kovinkaan suurta merkitystä. Tilanne on toinen esimerkiksi teollisuuslaitoksessa, jossa samassa sähköjärjestelmässä voi olla useita UPS-laitteita ja jopa kymmeniä taajuusmuuttajia, jolloin harmonisten häiriöiden määrä voi nousta niin suureksi, että se täytyy huomioida laitevalinnoissa. Tällöin IGBT-tekniikalla toteutetut tasasuuntaajat voivat korkeammasta hinnastaan huolimatta osoittautua kokonaistaloudellisesti parhaimmaksi ratkaisuksi, mikäli vaihtoehtona on esimerkiksi aktiivisuodattimen lisääminen järjestelmään.

### 3.1.2 Vaihtosuuntaaja eli invertteri

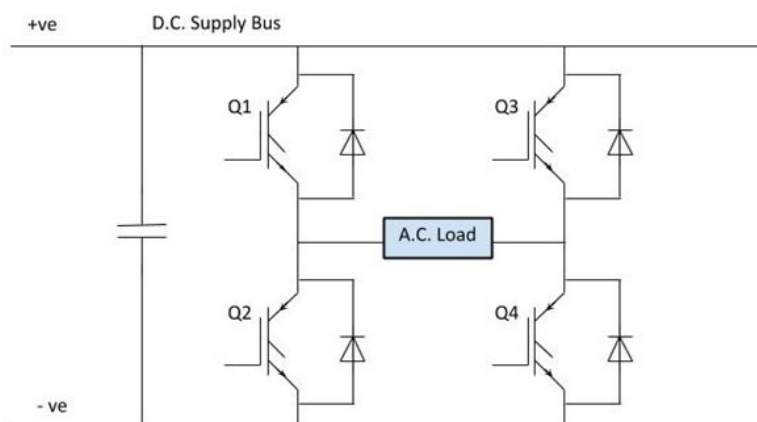
Vaihtosuuntaajan eli invertterin tehtävänä on muuntaa akuston tai tasasuuntaajan syöttämä tasavirta joko 230 V:n tai 400 V:n jännitteelliseksi sinimuotoiseksi vaihtovirraksi. Riippuen siitä, minkä tyyppinen UPS-laite on kyseessä, vaihtosuuntaaja voi olla joko jatkuvasti käynnissä tai se käynnistyy tarvittaessa. Jälkimmäisessä tapauksessa kyseessä on joko stand by - tai line-interactive-laite. Näissä vaihtosuuntaaja kytkeytyy päälle vasta siinä tapauksessa, jos verkkovirta katkeaa ja tehonsyöttö siirtyy akkujen varaan. Vaihtosuuntaajan

käynnistymisessä on pieni viive ja sen vuoksi edellä mainituissa laitteissa syntyy kytkentäviivettä. Online-laitteessa vaihtosuuntaaja on koko ajan päällä eikä siinä ole kytkentäviivettä.

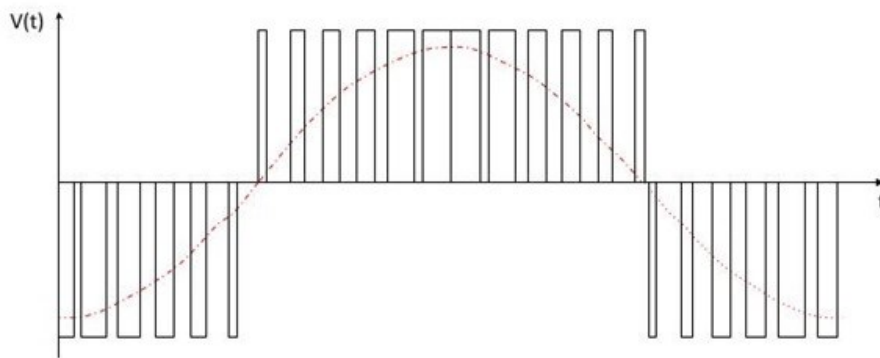
Kuten tasasuuntaajassa, myös vaihtosuuntaajassa on monia toteutustapoja. Mutta edelleen, kuten tasasuuntaajassa, myös vaihtosuuntaajassa tyypillisin tapa on käyttää IGBT-komponentteja (GNS Components, 2019). Yksinkertaisimmillaan vaihtosuuntaaja on kuvan 6 kaltainen, jossa Q1-Q4 viittaavat IGBT-komponentteihin. Kytkennän kondensaattori ei sinänsä ole välttämätön, mutta se parantaa tasavirran laatua. Mikäli ulostuloksi haluttaisiin kolmivaihevirtaa, käytettäisiin kuutta IGBT:tä. (McFadyen, 2014)

IGBT-vaihtosuuntaajat käyttävät niin sanottua PWM-tekniikkaa. Siinä tasajännitettä katkotaan vaihtelevan pituisiksi pulsseiksi, jolloin ulostulo muistuttaa kuvan 7 mukaisesti sinimuotoista jännitettä. Monet UPS-laittevalmistajat mainostavat online-laitteidensa, joissa vaihtosuuntaaja on koko ajan käynnissä, tuottavan sinikäyrän mukaista jännitettä, mutta tarkkaan ottaen, kuten kuvasta 7 nähdään, jännite on simuloitua sinijännitettä. On kuitenkin yleisesti hyväksytty, että jos harmonisten kokonaissäröjen (THD) määrä on alle 3 %, eli jos säröjen teho on alle 3 % perustaajuuden tehosta, voidaan puhua sinimuotoisesta käyrästä. Tämän määritelmän pohjalta laitevalmistajien mainostukset ovat perusteltuja. (McFadyen, 2014)

Kuva 6. Yksivaiheinen vaihtosuuntaaja, ns. H-silta (McFadyen, 2014).



Kuva 7. Sinikäyrä ja sen PWM-muunnos (McFadyen, 2014).



Vaihtosuuntaajassa tapahtuu tehohäviötä, jonka vuoksi on kehitetty myös sellaisia online-UPSeja, joissa virta syötetään normitilanteessa ohituksen kautta. Näissä laitteissa vaihtosuuntaaja pysyy sammuneena aina silloin, kun sähköverkko toimii normaalisti ja se käynnistetään ainoastaan silloin, kun virtaa halutaan ottaa akustosta. Hyvinä puolina tässä ratkaisussa on tehohäviöiden pieneneminen ja komponenttien ajallisen keston kasvaminen. Huonona puolena on kytkentäviive, joka syntyy siinä vaiheessa, kun verkkosähkö katkeaa ja vaihtosuuntaaja käynnistyy. Lisäksi on vaarana, että verkkovirran häiriöt pääsevät UPSin läpi vaurioittamaan sen perässä olevia laitteita ennen kuin UPS ehtii reagoimaan poikkeamaan. Tämä niin sanottu eco-mode on käyttäjän valittavissa laitteen asetuksista. (Banks, 2019)

### 3.1.3 Akusto

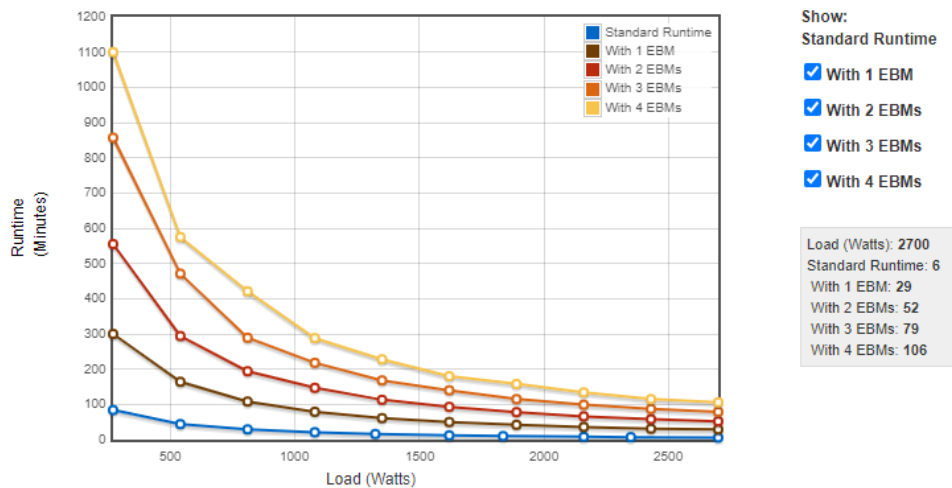
UPS-laitteen häiriötön virransyöttö perustuu akustoon, josta laite ottaa virtansa siinä tapauksessa, että verkkosähkössä esiintyy liikaa häiriöitä tai se katkeaa kokonaan. Akusto vaikuttaa keskeisesti siihen, miten pitkään UPS-laite pystyy tarjoamaan käyttövirtaa perässään oleville kuormille. Akkujen määrä vaihtelee suuresti laitevalmistajan ja UPSin tehon mukaan.

Vähimmillään pienissä 1 kVA:n laitteissa saattaa olla kolme akkua, mutta 10 kVA:n laitteissa akkujen määrä lähentelee helposti sataa (ABB, henkilökohtainen tiedonanto, 2022).

Tunnettu laitevalmistaja Eaton mitoittaa UPS-laitteen sisäisten akkujen määrän yleensä niin, että kuormitettaessa UPSia täydellä kuormalla, akut kestävät muutaman minuutin (Eaton,

n.d.). Tämä kuulostaa vähältä, mutta on yleensä riittävä aika esimerkiksi tietokoneiden hallittuun alasajoon. Lisäksi UPS-laitteita harvoin mitoitetaan niin, että ne käyvät täydellä kuormalla, jolloin akkujen kesto virtakatkoksen aikana pitenee huomattavasti. Mikäli lisääntymistä kuitenkin tarvitaan, UPS-laitteisiin voi yleensä kytkeä myös lisäakustoja. Kuvasta 8 nähdään kuormituksen ja lisäakustojen merkitys varakäyntiaikaan. Kuvan esimerkkilaitte on Eaton 9SX3000i, joka on sängen tavanomainen laite kohteissa, joissa riittää pieni, enintään 3 kVA:n UPS-laite. Kuvaaja on kuitenkin suuntaa antava myös muihin Eatonin laitteisiin. Harmaassa laatikossa esitetyt käyntiajat vastaavat kuormitusta täydellä kapasiteetilla.

Kuva 8. Eaton 9SX3000i akuston kesto eri lisäakustomäärillä (Eaton, n.d.)



Akuston keston voi vaikuttaa tietysti myös akkuvalinnalla. Akkujen koko määritetään yleensä ampeeritunteina (Ah). Tavanomaisissa käyttötarkoituksissa tämä on kuvaava suure ja kertoo siitä, kuinka kauan akussa riittää virtaa silloin, kun sitä kuormitetaan tasaisella kuormalla. Olkoonkin, että kyseessä on akun nimelliskapasiteetti, joka saavutetaan ainoastaan ihanteellisissa olosuhteissa. Käytännössä akun keston vaikuttaa merkittävästi muun muassa käyttöolosuhteet ja akun ikä.

Käyttöolosuhteista on syytä mainita erikseen lämpötila, jonka vaikutus akun keston voi olla hyvinkin merkittävä. Tänä päivänä UPSeissa käytetyt akut ovat tyypillisesti suljettuja lyijyakkuja, joihin ei tarvitse eikä voi lisätä nestettä. Tällaisten akkujen hyvä puoli on, että niitä ei tarvitse huoltaa, ne ovat turvallisia ja kohtuuhintaisia. Koska nestettä ei voi lisätä,

akun ikääntymiseen vaikuttaa merkittävästi, kuinka nopeasti akussa oleva neste haihtuu. Haihtumista kiihdyttää yleensä joko liian suuresta latausvirrasta tai liian korkeasta huonelämpötilasta johtuva akun lämpeneminen. UPS-laitteet kontrolloivat itse latausvirtaa, jolloin liian suuri latausvirta on epätodennäköinen. Sen sijaan varsinkin suurehkojen UPSien kohdalla huonetilan jäähdytykseen on syytä kiinnittää huomiota. Juha Tummavuori on esittänyt laatimassaan ST-kortissa lämpötilan vaikutusta akkujen elinikään taulukon 1 tavoin. Kuten taulukosta 1 huomataan, yli 20 asteen lämpötiloissa nyrkkisääntönä voidaan pitää eliniän putoamista puoleen aina kymmentä lisäästetta kohden. (Eaton, 2020, s. 30; Tummavuori, 2010, s. 9)

Taulukko 1. Lämpötilan vaikutus suljetun lyijyakun elinikään (Tummavuori, 2010, s. 9).

Ympäristön lämpötila	Akun elinikä
20 °C	X vuotta
30 °C	0,5 x X vuotta
40 °C	0,25 x X vuotta

UPS-laitteissa akun kapasiteetin määrittäminen ampeeritunteina ei aina ole paras mahdollinen tapa. Kuten edellä todettiin, UPS-laitteiston akut kestävät täydellä kuormituksella yleensä vain joitain minuutteja. Tällaisessa tapauksessa akkujen sähkövarauksen kokonaismäärää merkitsevämpää on, paljonko niitä saadaan purettua lyhyessä ajassa. Esimerkiksi tunnettu akkuvalmistaja CSB ilmoittaa UPS-laitekäyttöön tarkoitettujen akkujensa kapasiteetin tehon yksikkönä eli watteina esimerkiksi niin, kuinka paljon tehoa, eli kuinka monta wattia, akusta voidaan ottaa viiden minuutin ajan ilman, että jännite putoaa alle 9,60 voltin (CSB, n.d.).

Akkutyypin valinnassa on siis hyvä miettiä myös UPS-laitteen mitoitus. Edellä kerrotun perusteella voidaan ajatella, että mikäli laite on mitoitettu niin, että akut pystyvät normitilanteessa syöttämään UPS-laitteen takana olevaa kuormaa esimerkiksi tunnin ajan, purkauskapasiteetti ei muodostu pullonkaulaksi, ja akut voidaan valita sopivan ampeerituntilukeman mukaan. Jos taas UPS-laitteen syötön on tarkoituskin kestää akkukäytöllä vain muutamia minuutteja, toisin sanoen, UPS-laitetta kuormitetaan lähes maksimiteholla, voi olla järkevää kiinnittää huomio akusta saatavaan lyhyen ajan tehoon.

### 3.2 Eri laitetypit ja toimintaperiaatteet

UPS-laitteet voidaan jakaa toimintaperiaatteeltaan kolmeen päätyyppiin. Kulloinkin käytettävä laitetyyppi tulee valita tarpeen mukaan niin, että se on teknis-taloudellisesti järkevä.

UPSien yhtenä tärkeänä ominaisuutena varavoiman tuottamisen lisäksi on erilaisten sähköisten häiriöiden suodattaminen tai poistaminen. Tässä laitetypit on esitelty vaatimattomasta tasokkaampaan sen mukaan, kuinka paljon laitteella on vaikutusta sähkön laatuun. Samalla järjestys on myös pääsääntöisesti halvemmasta kalliimpaan.

ST-kortiston mukaan standardi SFS-EN 62040-3 luokittelee UPS-laitteet kolmeen kategoriaan sen mukaan, miten niiden ulostulon sähkön laatu riippuu laitetta syöttävästä sähköverkosta (Tummavuori, 2010, s. 1).

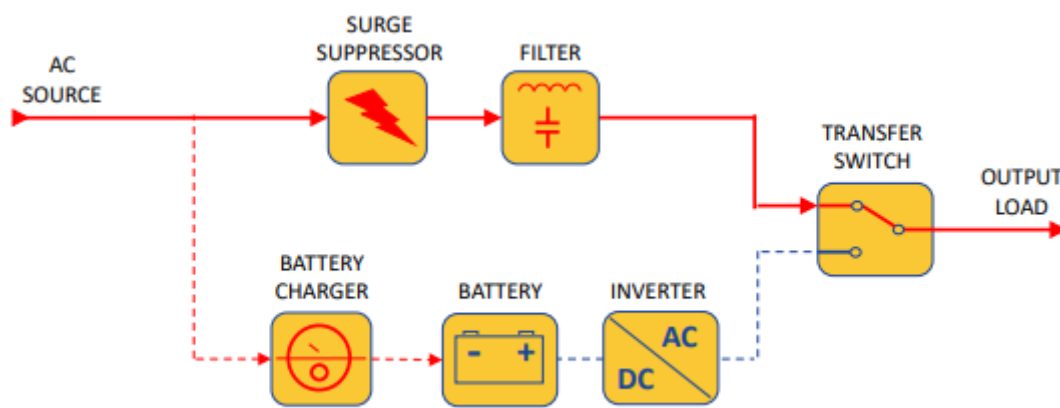
- VFD (output Voltage and Frequency Dependant from mains supply)
- VI (output Voltage Independent from mains supply)
- VFI (output Voltage and Frequency Independent from mains supply)

VFD tarkoittaa, että UPSin tuottaman sähkön jännite ja taajuus riippuvat suoraan syöttävän verkon sähköstä. Riippuvuus johtuu siitä, että normitilanteessa sähkö ikään kuin ohittaa UPSin ja UPS kytkeytyy päälle vasta, jos syöttävässä verkossa on raja-arvot ylittäviä poikkeamia. Hieman paremman häiriösuojauksen tarjoaa VI-kategorian laite, jossa on aktiivinen jännitteensäätäjä, joka pystyy kompensoimaan syöttöpuolen mahdollisia jännitteenvaihteluja. Poikkeamat syöttävän verkon taajuudessa heijastuvat kuitenkin UPSin lähtöön, mikäli poikkeama ei ole niin suuri, että UPS kytkeytyy akkusyötölle. Parhaimman suojan syöttävän verkon häiriöitä vastaan antaa VFI-kategorian laite, joka kaksoismuuntaa syöttävän verkon sähkön jatkuvasti ensin tasavirraksi ja jälleen takaisin vaihtovirraksi, jolloin käytännössä kaikki syöttävän verkon häiriöt suodattuvat ja ulostulovirta on häiriötöntä ja hyvälaatuista. (Tummavuori, 2010, ss. 1-4)

### 3.2.1 Stand by -UPS

Stand by -laitetta kutsutaan myös passiiviseksi UPS-laitteeksi tai offline-laitteeksi ja se kuuluu VFD-kategoriaan. Stand by -laite on nimensä mukaisesti valmiudessa ja vaihtosuuntaaja on sammuneena, kunnes laite havaitsee ongelman, joka voi olla esimerkiksi alentunut jännite tai syötön katkeaminen kokonaan. Havaittuaan ongelman, UPS katkaisee verkkosyötön ja alkaa ottaa virtaa akuista. Stand by -UPSin toimintaperiaate on esitetty kuvassa 9.

Kuva 9. Stand by -UPSin toimintaperiaate (Spitaels ym., 2021, s. 5).



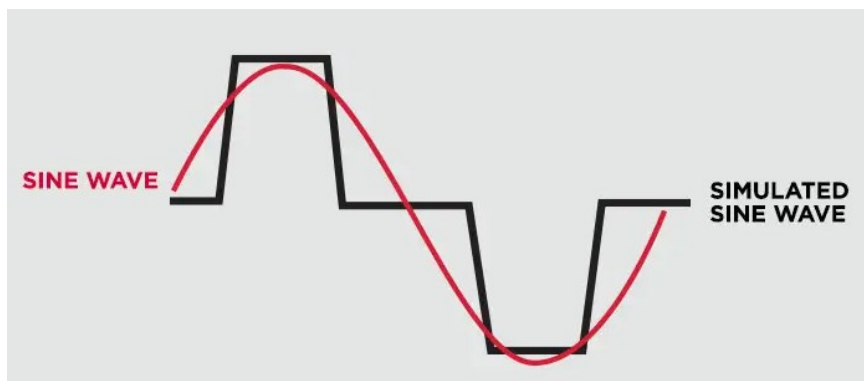
Stand by -UPS koostuu ylijännitesuojasta (surge suppressor), suodattimesta (filter), laturista (battery charger), akustosta (battery), vaihtosuuntaajasta (inverter) ja kytkimestä (transfer switch). Normaalisti UPSin takana olevat laitteet ovat suoraan kytkettyinä ulkoiseen verkkoon, ja samalla laturi pitää huolen siitä, että akusto on täyteen ladattu. Kun sähkösyöttö verkosta katkeaa tai jännite alenee määrätyn verran, yleensä noin 10 %:a, kytkin kytkee akuston syöttämään virtaa. Akuston tasavirta muutetaan vaihtosuuntaajassa vaihtovirraksi ja syötetään ulostuloon.

Stand by -laite edustaa edullisinta versiota UPS-laitteista. Vaikka stand by -laite pystyykin suojaamaan takanaan olevia laitteita pitkäkestoisilta jännitteenalennemilta, jännitepiikeiltä ja katkoilta, sen suojausteho on hyvin rajallinen. Koska UPSin syöttämä laite on normaalisti kytkettynä suoraan sähköverkkoon, vakavat häiriöt saattavat päästä läpi ennen kuin UPS katkaisee sähkösyötön. (Cyber Power Systems, 2018)

Siirtyminen verkkosyötöstä akkusyöttöön on hyvin nopea, mutta ei viiveetön. Laitteesta riippuen siirtymisaika voi olla muutamasta millisekunnista jopa 25 millisekuntiin, mikä voi olla herkille laitteille liikaa (Electronics Coach, 2023).

Edellä mainitun viiveen lisäksi edullisten stand by -laitteiden ongelmana on usein, että niiden tuottaman sähkön laatu akkukäytössä ei välttämättä ole hyvälaatuista siniaaltoa. Puhtaan siniaallon sijaan laite voi tuottaa huonosti simuloitua siniaaltoa, joka muistuttaa enemmän kanttiaaltoa. Kuvassa 10 on esitetty siniaallon (punainen) ja simuloitun siniaallon (musta) välinen ero. Kuvaajia voi verrata kuvassa 7 esitettyyn PVM-muunnokseen, joka edustaa laadukkaamman laitteiston tuottamaa ulostulojännitettä. Jotkin laitteet, esimerkiksi monet tietokoneet, eivät pysty toimimaan ja saattavat sammua, mikäli syötetty virta on kuvan 10 esittämää liian kantikasta simuloitua siniaaltoa. (Cyper Power Systems, 2018)

Kuva 10. Siniaallon ja simuloitun siniaallon vertailu (Cyper Power Systems, 2018).



Stand by -laitteet ovat edullisia, mutta niiden käyttöalue on sangen rajoittunut. Ne saattavat sopia joissain määrin kotikäyttöön tai kohteisiin, joissa ei tarvita kovin suurta suojausta sähköverkon häiriöitä vastaan. Ne suojaavat edellä kuvatulla tavalla joissain määrin häiriöiltä ja voivat mahdollistaa esimerkiksi hyvin häiriöitä sietävän järjestelmän hallitun alasajon sähkökatkon yhteydessä, mutta ei juuri muuta (Cyper Power Systems, 2018).

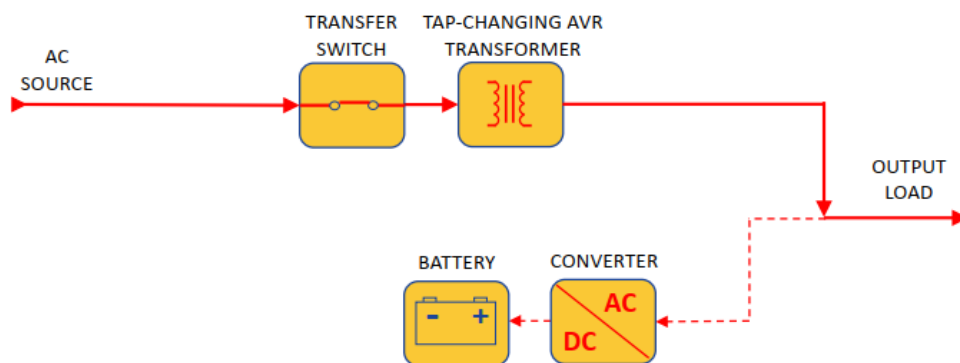
### 3.2.2 Line-interactive-UPS

Line-interactive-UPS on hieman kehittyneempi versio luvussa 3.2.1 esitellystä stand by -laitteesta ja se luokitellaan VI-kategoriaan. Merkittävin ero liittyy automaattiseen

jännitesäätäjään (AVR), jolla voidaan korjata tiettyjä verkkosyötön häiriöitä. Kuvasta 11 nähdään, että laite koostuu kytkimestä (transfer switch), jännitteensäätäjästä (tap-changing AVR transformer), tasa- / vaihtosuuntaajasta (converter) ja akustosta (battery). Niiden verkkohäiriöiden lisäksi, mitä stand by -laitteella pystytään korjaamaan, line-interactive-UPS pystyy korjaamaan myös ali- ja ylijännitteitä. (Spitaels ym., 2021, s. 6.)

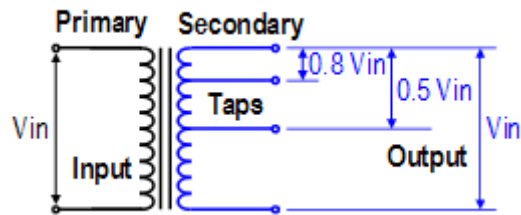
Kun verkkosyöttö toimii ilman suurempia häiriöitä, AVR korjaa mahdolliset pienet jännitepoikkeamat ja tasasuuntaaja lataa akustoa. Jos syöttävän verkon jännite putoaa alle määritetyn rajan tai katkeaa kokonaan, kytkin aukeaa, tasasuuntaaja alkaa toimia vaihtosuuntaajana ja UPS alkaa syöttää sähköä akustosta. Vaihtoviive on tyypillisesti 4–8 millisekuntia (Riello Elettronica, n.d.b).

Kuva 11. Line-interactive-UPS:n toimintaperiaate (Spitaels ym., 2021., s. 6).



Kuvassa 12 on esitetty tarkemmin AVR:n toimintaperiaate. Tavallisesti muuntajan ensiö- ja toisiopuolen käämissä on eri määrä kierroksia, jolloin jännite muuttuu. AVR:ssä muuntajan ensiö- ja toisiopuolella on yhtä monta kierrosta, mutta toisiopuolen käämin eri kohdista on otettu yhteitä (taps), jolloin niitä vaihtamalla voidaan vaikuttaa siihen, kuinka suuri toisiopuolen jännite on. (UST, 2023)

Kuva 12. Tap-changing AVR transformer (UST, 2023).



Line-interactive-UPS on monipuolisempi kuin stand by -laite, mutta kuitenkin kohtuuhintaisempi kuin online-UPS. Se sopii hyvin esimerkiksi herkkien, mutta vähemmän kriittisten laitteiden suojaamiseen. UPSin AVR-yksikkö suojaa tehokkaasti monilta sähkön laatuhäiriöiltä, mutta koska sähkökatkon yhteydessä UPSissa esiintyy vaihtoviivettä, vaikkakin vain muutaman millisekunnin ajan, se ei sovellu kriittisten laitteiden suojaamiseen.

### 3.2.3 Online-UPS

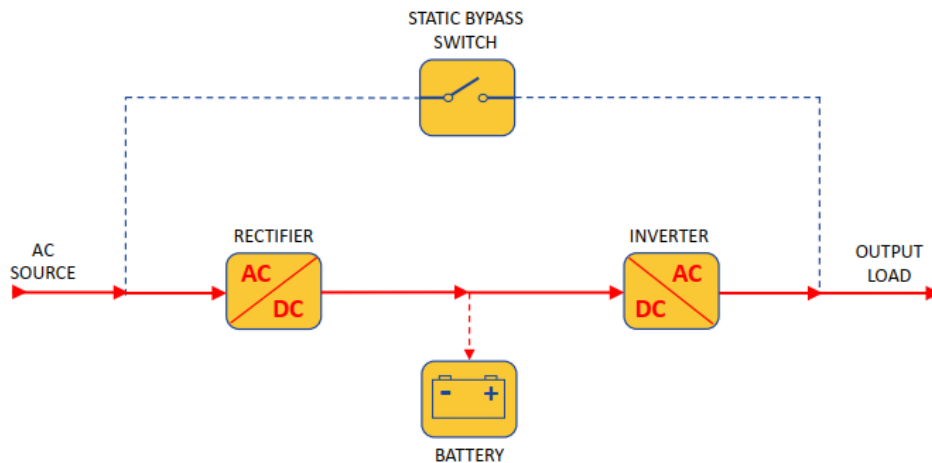
VFI-kategoriaa edustaa online-UPS, jota kutsutaan myös kaksoismuunnoslaitteeksi. Nimitys johtuu siitä, että näissä laitteissa sähkö muunnetaan kahteen kertaan; ensin verkon vaihtovirta muunnetaan tasavirraksi ja sen jälkeen takaisin vaihtovirraksi UPSin ulostuloon. Kaksoismuunnoksen etuna on, että se antaa UPSin perässä oleville laitteille tehokkaan suojan kaikenlaisia häiriöitä vastaan. Lisäksi verkkosähkön katketessa ainoastaan tulopuolen tasasuuntaaja sammuu, mutta sähkönsyöttö akuista laitteille jatkuu keskeytyksettä.

Kaksoismuunnoksen huonona puolena voidaan todeta akkujen nopeampi kuluminen. Tämä johtuu siitä, että toisin kuin esimerkiksi line-interactive-UPSeissa, akut ovat jatkuvasti kytkettyinä kuormaan, jolloin ne ikääntyvät nopeammin. Vaikka käyttöolosuhteet olisivat hyvät, akut suositellaan vaihdettavaksi viimeistään 5–7 vuoden välein (ABB, 2018, s. 2).

Kuvassa 13 on esitetty online-UPSin toimintaperiaate. Pienissä UPSeissa ohituskytkin (static bypass switch) on yleensä elektroninen ja kytkeytyy päälle lähinnä silloin, kun laite havaitsee vikaa akustossaan. Suuremmissa laitteissa on usein lisäksi mekaaninen ohituskytkin, joka

mahdollistaa erilaiset huoltotoimenpiteet kuten esimerkiksi akkujen tai tuulettimien vaihdon ilman, että UPSin syöttämien laitteiden sähkösaanti katkeaa huoltotöiden vuoksi.

Kuva 13. Online-UPSin toimintaperiaate (Spitaels ym., 2021, s. 7).

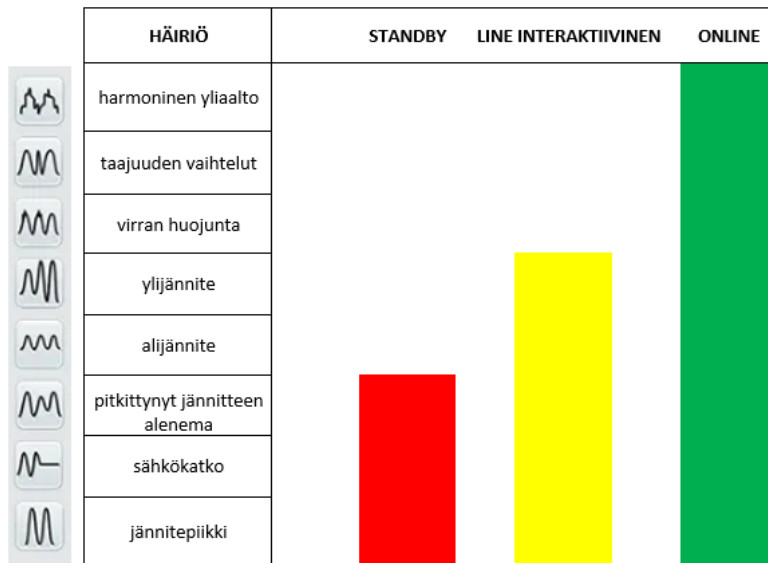


Normaalissa tilanteessa verkkosyöttö muunnetaan ensin tasasuuntaajassa (rectifier) tasasähköksi ja sen jälkeen uudestaan vaihtosuuntaajassa (inverter) vaihtosähköksi. Välissä tasavirtaa käytetään akkujen lataamiseen. Jos verkkosyöttö katkeaa, UPS jatkaa katkotta virran syöttöä akustostaan.

### 3.2.4 Laitetyyppien vertailu

Kuvassa 14 on esitetty eri UPS-laitetyyppien kyvyt suojata perässään olevia laitteita erilaisilta verkkosähkön häiriöiltä. Edullisimmat stand by -laitteet sopivat lähinnä sellaisiin kohteisiin, joissa sähkön laatu on lähtökohtaisesti hyvä, mutta katkon syntyessä UPSin syöttämät laitteet pitää pystyä ajamaan hallitusti alas. Sähkön laatuhäiriöitä vastaan stand by -laite on melko tehoton.

Kuva 14. Eri UPS-laitteiden kyky suodattaa häiriöitä (mukaiillen Cyper Power Systems, 2018).



Line-interactive-UPS pystyy joissain määrin suojaamaan syöttämiään laitteita myös laatuhäiriöitä vastaan. Esimerkiksi harvaan asutulla seudulla saattaa olla suuria paikallisia sähkökäyttäjiä, kuten esimerkiksi kasvihuoneita, joiden toiminta voi aiheuttaa hetkellisiä yli- tai alijännitteitä. Kun kasvihuone sytyttää valaistuksen, sähköverkon kuormitus kasvaa yhtäkkiä, mikä voi aiheuttaa hetkellisen jännitteen aleneman. Vastaavasti valaistuksen sammuttaminen saattaa aiheuttaa hetkellisen ylijännitteen. Line-interactive-UPS suojaa perässään olevia laitteita tehokkaasti tällaisilta häiriöiltä.

Teollisuudessa käytetään paljon koneita ja laitteita, jotka aiheuttavat yliaaltoja laitoksen sähköjärjestelmään ja sitä kautta myös UPS-laitteiden tulovirtaan. Tällaisia ovat esimerkiksi taajuusmuuttajat, joiden käyttö on halventuneiden hintojen vuoksi lisääntynyt voimakkaasti parin viime vuosikymmenen aikana. Tällaisessa teollisuusympäristössä online-UPS on lähes poikkeuksetta suositeltavin vaihtoehto. Se suojaa tehokkaasti kaikenlaisilta sähköhäiriöiltä. Koska UPSin syöttämät laitteet eivät ole missään vaiheessa suoraan kiinni verkkosähkössä, suuretkaan laatu- tai virtapiikit eivät vaurioita niitä. Poikkeuksena ovat kohteet, joissa pieni UPS on suoraan kiinni verkkovirrassa ilman, että välissä on erityisiä suojalaitteita. Tällöin esimerkiksi lähelle osuvat salamaniskut tai muut hyvin voimakkaat häiriöt voivat saada aikaan niin suuren jännite- tai virtapiikin, että se ”lyö läpi” koko UPS-laitteesta ja vaurioittaa

myös sen perässä olevia laitteita. Oman kokemuksen perusteella tällaiset häiriöt ovat mahdollisia mutta harvinaisia.

### 3.3 Suunnittelussa huomioitavia seikkoja

UPS-järjestelmän suunnittelussa ja mitoituksessa on huomioitava useita seikkoja, joista tässä käsitellään muutama oleellinen, mutta lista ei ole tyhjentävä. Huomiota pitää kiinnittää ainakin seuraaviin kysymyksiin:

- Tarvitseeko laitteen tuottaa kolmivaihevirtaa vai riittääkö yksivaiheinen UPS?
- Minkälainen UPS-laite toiminnallisesti valitaan?
- Toteutuuko järjestelmän selektiivisyys?
- Kuinka suurta tehoa UPSin pitää tuottaa?
- Kuinka pitkää varoaikaa vaaditaan?
- Millainen käyttövarmuuden taso vaaditaan?

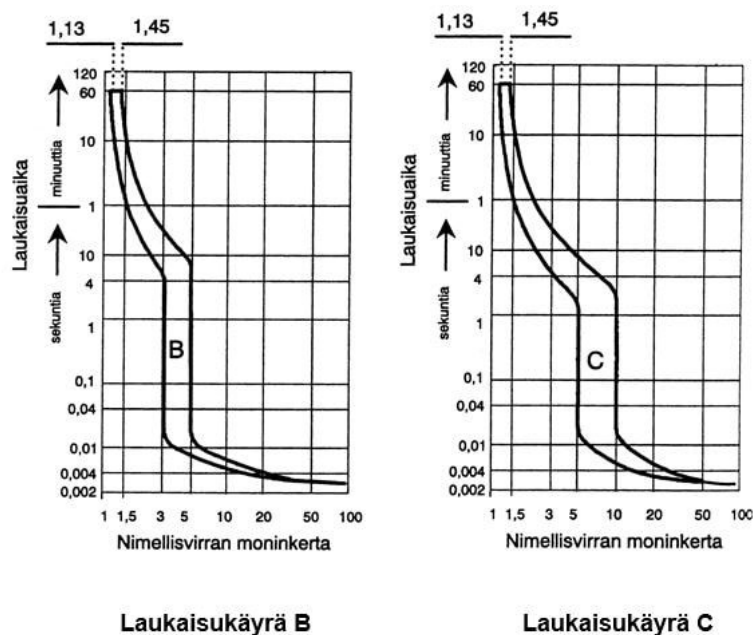
Jos UPSin pitää tuottaa kolmivaihevirtaa, laitevalinta kohdistuu väistämättä hieman suurempiin laitteisiin, koska pienemmät laitteet ovat yleensä yksivaiheisia. UPS-laitetyyppien toiminnallisia eroja käsiteltiin luvussa 3.2. Oleellista on ennen kaikkea huomioida, millaista häiriösuojasta UPS-laitteelta halutaan ja sallitaanko UPSin kytkeytyessä kytkentäviive.

Selektiivisyyttä pidetään tärkeänä sähköjärjestelmien ominaisuutena. UPS-laitteet syöttävät monesti jonkinlaista varavoimakeskusta, josta on johdonsuojalähtöjä eri laitteille tai keskuksille. UPS-laitteen perään kytkettyjen johdonsuojien tulee määräysten mukaan laueta myös akkukäyttötilanteessa. Suurin sallittu johdonsuoja määräytyy UPS-laitteen akkukäytöllä tuottaman oikosulkuvirran mukaan. Vikatilanteessa UPS-laite sammuttaa itsensä jonkin ajan kuluttua automaattisesti, joten oikosulkuvirran tulee pystyä laukaisemaan johdonsuoja ennen kuin UPS sammuu, sillä sammuminen johtaisi kaikkien UPSin perässä olevien laitteiden virrattomuuteen. (Poikonen, 2010, ss. 9–10)

Laitevalmistaja on rajoittanut invertterin läpi kulkemaa oikosulkuvirtaa suojataksaan UPS-laitteen sisäisiä komponentteja. Tämän vuoksi nimellisteholtaan samankokoistenkin laitteiden oikosulkuvirroissa on merkittäviä eroja eri valmistajien välillä. Tarvittaessa oikosulkuvirran suuruus on varmistettava laitevalmistajalta. Koska oikosulkuvirtaan vaikuttaa koko virtapiirin impedanssi, UPSin tuottama maksimioikosulkuvirta on ainoastaan suuntaa antava maksimiarvo, mutta se antavaa hyvän lähtökohdan johdonsuojien mitoitukselle.

Kuvasta 15 nähdään käytetyimpien B- ja C-tyyppisten johdonsuojien laukaisukäyrät. Kuten nähdään, C-tyyppin johdonsuojan varma ja nopea laukeaminen vaatii noin kaksinkertaisen oikosulkuvirran samankokoiseen B-tyyppin johdonsuojaan verrattuna. C-tyyppin johdonsuoja on tarkoitettu induktiivisille kuormille, ja se on varsinkin teollisuudessa ollut melko tavallinen siitä huolimatta, että monesti resistiivisille kuormille tarkoitettu B-tyyppin johdonsuoja riittäisi.

Kuva 15. B- ja C-tyyppin Johdonsuojakatkaisijoiden laukaisukäyrät (ABB, n.d., s. 138)



Akusto on keskeinen osa UPS-laitetta ja se määrää, kuinka pitkään ja kuinka suurella teholla laite pystyy syöttämään virtaa sähkökatkotilanteessa. Jos tarvitaan pidempiaikaista syöttöä, voidaan valita enemmän ampeeritunteja sisältävät akut. Pienimmissä UPSeissa akut ovat tyypillisesti laitteen sisällä, jolloin käytettävissä oleva tila asettaa rajoituksia akkuvalinnalle.

Tehon tarve tulee pystyä arvioimaan sen perusteella, mitä laitteita UPSilla on tarkoitus syöttää. Hyvin usein prosessiteollisuudessa UPSilla halutaan varmistaa jonkin automaatiokeskuksen tai vastaavan sähkönsyöttö, jolloin tehontarve voi olla melkein mitä vain alle sadasta watista useaan kilowattiin. UPSin tuottama pätöteho on tyyppillisesti noin 90 %:a laitteen nimellistehosta, eli esimerkiksi 3 kVA:n UPSin perässä olevien laitteiden yhteenlaskettu tehontarve saa olla enintään 2,7 kW.

Mikäli UPS-laite on mitoitettu niin, että tehontarve on lähellä laitteen nimellistehoa, pullonkaulaksi voi tulla akkujen kyky purkautua eli tuottaa hetkellisesti suurta tehoa. Mikäli tarvitaan suurta tehoa, on syytä valita erityisesti UPS-käyttöön suunnitellut akut, joiden purkautumiskyky on tavanomaisia akkuja parempi. Tällöin ei puhuta niinkään akun sisältämän ampeerituntien määrästä vaan sen kyvystä tuottaa tehoa esimerkiksi 500 wattia vähintään viiden minuutin ajan. (CSB, n.d.)

Varavoiman ajallinen riittävyys täytyy aina arvioida tapauskohtaisesti. Jos tarkoituksena on ainoastaan varmistaa tehon riittävyys UPS-laitteen syöttämien laitteiden turvalliseen alasajoon, monesti muutama minuutti on riittävä aika. Jos UPS-laitteen tarkoitus on varmistaa, että sähkökatkonkin aikana prosessista saadaan tiettyjä mittausarvoja, tarpeellinen aika saattaa olla useita tunteja. UPS-laitteen ajallinen kestävyys on suoraan verrannollinen akkukapasiteettiin. Joskus voi olla järkevää hankkia teholtaan ylimitoitettu UPS, jossa on valmiiksi enemmän akkukapasiteettia, tai laitteeseen voi hankkia lisäakustoja.

UPS-järjestelmää suunniteltaessa tulee miettiä myös käyttövarmuuden taso, joka halutaan saavuttaa. Voidaanko hyväksyä riski, että UPS hajoaa juuri sähkökatkon aikaan vai pitäisikö laite kahdentaa? Pitäisikö hankkia yksi isompi laite koko järjestelmää varten vai kaksi pienempää? Poikonen kuvaa järjestelmätyyppien luotettavuutta taulukon 2 mukaisesti. Järjestelmätyyppi kuvataan kahdella numerolla, joista ensimmäinen kuvaa tarvittavien laitteiden ja jälkimmäinen varalaitteiden lukumäärää. Lisäksi yksittäisen laitteen toimintavarmuudeksi on määritetty 80 % ja luotettavuuden laskenta perustuu binomitodennäköisyyslaskentaan. Poikonen muistuttaa, että luvut on tarkoitettu ainoastaan erilaisten järjestelmätyyppien keskinäiseen vertailuun ja ne ovat hyvin likimääräisiä. (Poikonen, 2010, s. 4)

Taulukossa on silmään pistävää, että laitteiden lisääminen ei automaattisesti tee järjestelmästä luotettavampaa. Kuten Poikonenkin huomauttaa, joissain tilanteissa yksi suurempi laite (järjestelmätyyppi 1+0), joka syöttää koko järjestelmää, voi olla luotettavampi kuin useampi pienempi, vaikka niillä olisikin yksi yhteinen varalaite, kuten järjestelmätyypeillä 4+1 ja 5+1.

Taulukko 2. UPS-järjestelmien luotettavuus (Poikonen, 2010, s. 4).

Järjestelmätyyppi	Luotettavuus
1+0	83
1+1	100
2+1	93
3+1	85
4+1	77
5+1	68
5+2	89

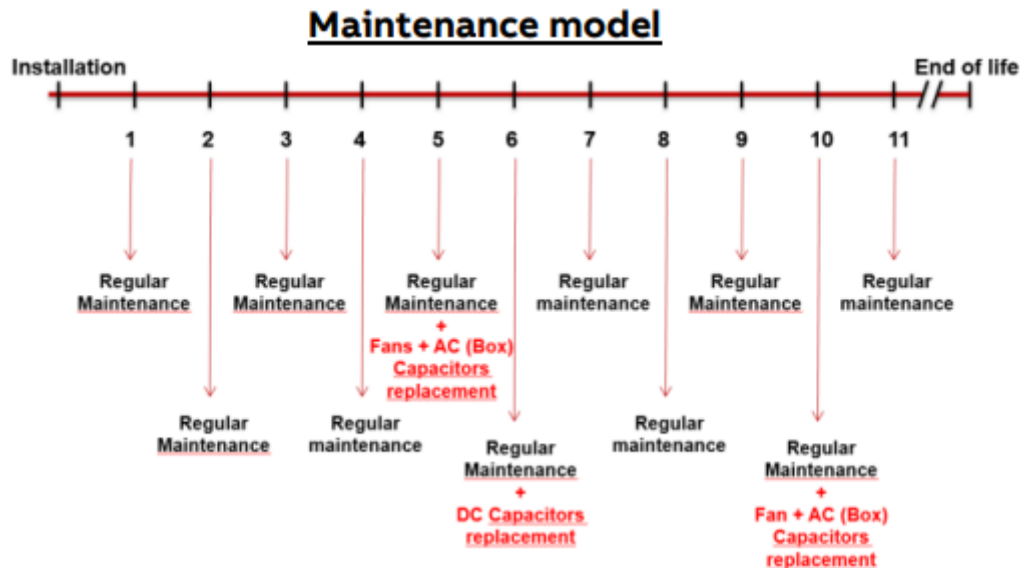
### 3.4 Huolto ja elinkaari

Lukuun ottamatta akuston vaihtoa määräajoin, pienet UPSit ovat melko huoltovapaita. Jos UPS on teholtaan alle 3 kVA, se on yleensä sen verran edullinen, että laitetta ei kannata huollattaa ulkopuolisella. Pienten UPSien akuston vaihto ei myöskään vaadi erityistä UPS-laitteiden asiantuntemusta, mutta vaihtotyössä on syytä muistaa, että akuston oikosulkuvirrat saattavat olla melko suuria ja tästä syystä vaihtotyössä on noudatettava tietyiltä osin jännitetyövaatimuksia (SFS6002:2015, s. 34). Hyvissä olosuhteissa laitteet ovat kuitenkin kestäviä eikä yli kymmenen vuoden käyttöikä ole ollenkaan tavaton.

Kun puhutaan hieman suuremmista yli 10 kVA:n laitteista, ABB suosittelee niille yleensä noin viiden vuoden välein tehtävää määräaikaishuoltoa. Huollon yhteydessä vaihdetaan akuston lisäksi esimerkiksi tuulettimet ja osa kondensaattoreista. Huolto maksaa yleensä uudet akut mukaan lukien muutamia tuhansia euroja (ABB, henkilökohtainen tiedonanto, 2022). ABB määrittelee laitteidensa elinkaaren liitteen 1 mukaisesti. Samaa luokittelua käytetään muistakin kuin UPSeista ja vaiheiden pituus riippuu laitteesta. Kuvasta 16 nähdään, että UPS-

laitteilla suurempi huolto kannattaa yleensä tehdä vielä noin kymmenen vuoden kuluttua käyttöönotosta, mutta sen jälkeen laite kannattaa yleensä seuraavan huollon sijaan vaihtaa uuteen. (ABB, 2018, s. 2)

Kuva 16. UPSeille elinkaaren aikana tehtävät huollot ABB:n mallin mukaan (ABB, 2018, s. 2).



## 4 Toimeksiantajan UPS-järjestelmän suunnittelu

### 4.1 Työn tarkoitus ja nykytilanteen kuvaus

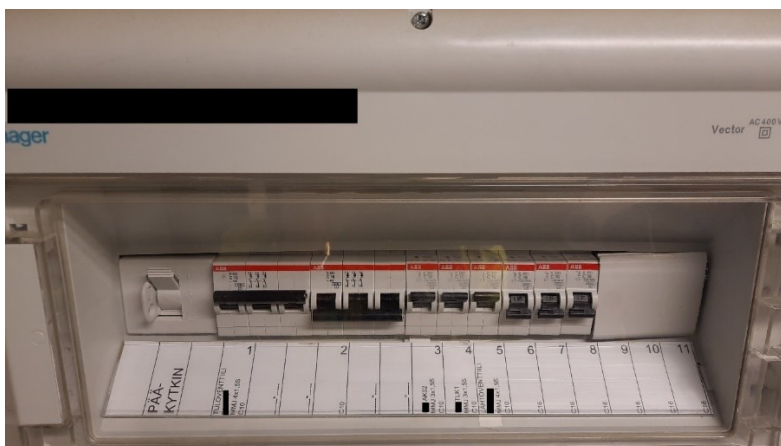
Toimeksiantajalla on käytössään yli sata erillistä UPS-järjestelmää. Suurin osa niistä on rakennettu vähän yli 10 vuotta sitten ja vanhimmat ovat selvästi tätäkin iäkkäämpiä. Järjestelmät on rakennettu oman aikansa tavalla, eivätkä ne välttämättä täytä enää käyttäjän vaatimuksia.

Tässä työssä tarkastellaan kohdetta, jossa UPS-laite on tullut elinkaarensa loppuun, ja toimeksiantajan pitää ratkaista, miten järjestelmä jatkossa toteutetaan. Toimeksiantajan kanssa käydyn keskustelun pohjalta päädyttiin siihen, että vaihtoehtoina ovat joko UPSin korvaaminen uudella vastaavalla laitteella tai järjestelmän muuttaminen sellaiseksi, että UPS-laitteen kokoa voidaan pienentää merkittävästi. Nykyinen laite on teholtaan 8 kVA:a ja tämän työn tarkoituksena on selvittää, onko laitekoko mahdollista pienentää 3 kVA:iin,

millainen varavoimakeskus pitäisi rakentaa ja millaisia muutoksia varavoimakeskuksen takana oleviin laitteisiin ja järjestelmiin on tarpeellista tehdä.

Kohteessa nykyisin oleva UPS-laite on malliltaan Eaton 9355-8-N-15. Laite on vanha, eikä siihen ole enää saatavilla huolto- tai korjausosia. UPS-laite syöttää varavoimakeskusta, jossa on johdonsuojilla varustettuja lähtöjä eri laitteisiin ja järjestelmiin. Varavoimakeskuksen kautta syötetään kahta venttiilitoimilaitetta (tuloventtiiliä ja lähtöventtiiliä) sekä tietoliikenne- että automaatiokeskusta. Kuvasta 17 nähdään, että käytetyt johdonsuojat ovat C10-tyyppiä. Keskuksesta löytyy jopa C16-johdonsuojia, mutta ne ovat varalla. Varavoimakeskus suunniteltiin uudestaan ja uuden varavoimakeskuksen pääkaavio on esitetty liitteessä 3.

Kuva 17. Kohteen nykyinen varavoimakeskus. Kuvasta on mustattu sijainnin paljastavat positiotiedot.



## 4.2 Mitoituksen sekä laitemäärittelyn lähtökohdat ja työn rajaus

Nykyisessä varavoimakeskuksessa on kolmivaihelähtö toimilaitteventtiilille SV-01. Pienissä UPS-laitteissa ei ole mahdollisuutta kolmivaihelähtöön, mutta toimeksiantajan kanssa käydyssä keskustelussa todettiin, että edellä mainitun venttiilin ei enää nykyisin tarvitse olla UPS-laitteen takana vaan sen syöttö voidaan siirtää toiseen sähkökeskukseen. Tämän perusteella voitiin vaihtoehtoisen UPSin tarkastelu ulottaa pieniin yksivaiheisiin laitteisiin. Kolmivaiheisen toimilaitteventtiilin syötön siirto on rajattu tämän työn ulkopuolelle.

Kuten aikaisemmin luvussa 3.3 todettiin, UPS-syötöissä tulee toteutua sähköjärjestelmän selektiivisyys vikatilanteessa myös silloin, kun ulkoinen sähköverkko on pois käytöstä ja UPS syöttää varavoimakeskusta akuston kautta. Oikosulkuutilanteessa UPS syöttää hetkellisesti suurta virtaa, mutta jännite romahtaa. Jos vika johtuu esimerkiksi venttiilitoimilaitteesta, jännitteen tulee palautua alle 20 ms:ssa, jotta automaatio- ja tietoliikennekeskuksissa olevat laitteet pysyvät päällä, sillä niiden hallitsematon uudelleenkäynnistyminen saattaisi aiheuttaa lisäongelmia. Vaikka henkilösuojauksen kannalta vaadittava johdonsuojan laukeamisaika on 400 ms:a, edellä mainitun vuoksi suojiin tulee olla huomattavasti nopeampia. Johdonsuojat tai vaihtoehtoisesti UPS on valittava niin, että UPSin oikosulkuvirta riittää laukaisemaan ne riittävän nopeasti.

Koska UPS-laitteiden hinta ja koko kasvavat ja saatavuus vaikeutuu huomattavasti, kun siirrytään kokoluokasta 3 kVA suurempiin laitteisiin, pyritään löytämään ratkaisu, joka mahdollistaisi pienen 3 kVA:n laitteen käytön. Koska UPSilla syötetään häiriöherkkiä automaatiolaitteita, laitevaihtoehdot rajattiin online-UPSeihin. Tämän kokoluokan laitteista selvitettiin kolmen tunnetun valmistajan (Eaton, ABB ja Socomec) ilmoittamat oikosulkuvirrat ja todettiin, että suurin oli Eatonin laitteella, ja jatkotarkasteluun valittiin Eaton 9SX3000i-malli. Mallin valintaan vaikutti myös se, että toimeksiantajalla on ennestään käytössä paljon 9SX-mallin laitteita ja laitekanta haluttiin pitää mahdollisimman yhdenmukaisena.

Eatonin 9SX3000i-mallin nimellisteho on 3 kVA ja oikosulkuvirta 57 A. Jotta riittävän nopea laukaisuaika toteutuisi, suurin mahdollinen johdonsuoja on B10. Kuvassa 15 esitetyistä johdonsuojien laukaisukäyristä nähdään, että 57 ampeerin oikosulkuvirta riittää laukaisemaan B10-johdonsuojan alle 20 ms:ssa, mitä voidaan edellä kerrotun perusteella pitää riittävänä. Vaikka nykyisellään kohteen varavoimakeskuksessa on käytetty C-tyyppin johdonsuojia, siihen ei ole erityistä tarvetta, joten johdonsuojan tyyppi voidaan vaihtaa.

### **4.3 Tehon tarve**

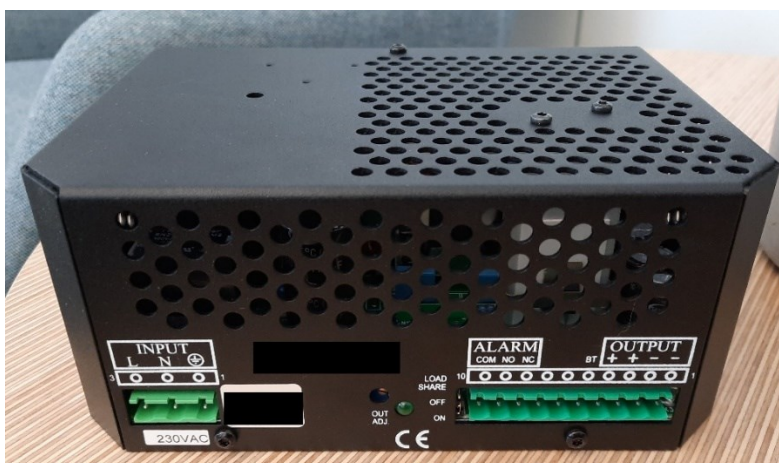
Uusittu varavoimakeskus syöttää automaatio- ja tietoliikennekeskusta sekä yksivaiheista venttiilitoimilaitetta. Tietoliikennekeskuksen laitteilla on omat pistotulppaliitännät

virtalähteensä ja niiden tehontarve on hyvin vähäinen automaatiokeskuksen kiinteäasenteisiin virtalähteisiin verrattuna. Jotta varavoimakeskukseen ei tulisi suotta monen kokoisia johdonsuojia, päätettiin näistä kahdesta tarkastella vain automaatiokeskusta ja valita samanlainen johdonsuoja myös tietoliikennekeskukselle. Lisäksi selvitettiin myös venttiilitoimilaitteen tehontarve. Vaikka venttiilitoimilaitteen tehontarve käyntivaiheessa ei ole kovin suuri, sillä on huomattavasti suurempi kytkentävirran tarve käynnistyshetkellä. Tarkastelussa tulee ennen kaikkea varmistaa, että B10-johdonsuoja, joka on suurin, jonka Eatonin 9SX3000i -UPSin perään voi kytkeä, on riittävä kaikkiin syöttöihin.

Automaatiokeskuksen tehontarve määräytyy pääosin prosessiasemasta ja I/O-korttien virransyötöstä. Automaatiojärjestelmän toimittajalta saadun tiedon mukaan prosessiaseman tehontarve on enintään 30 W ja I/O-korttien 80 W. Lisäksi keskuksessa on laajentamisvaraa I/O-korteille, jotka käyttöön otettaessa toisivat lisätehontarvetta noin 80 W. Arvot eivät ole aivan täsmällisiä, mutta antavat riittävän suuruusluokan. Tehontarve on siis tällä hetkellä noin 110 W ja tulevaisuudessa enintään 190 W.

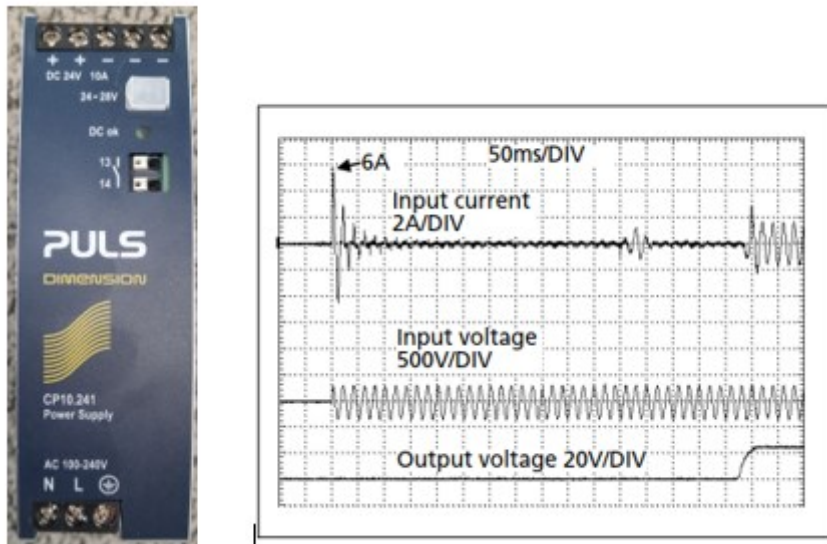
Automaatiokeskuksessa on neljä virtalähdettä, joista kolme syöttää edellä mainittuja komponentteja ja yksi kaappiin varalle rakennettuja sulakelähtöjä. Kaikki virtalähteet ovat kuvan 18 näköisiä ja tyypiltään ADC5483. Automaatiokeskuksen nykyinen johdotuskaavio muutosohjeineen on esitetty liitteessä 2.

Kuva 18. Pownet ADC5483 -teholähde. Kuvasta on mustattu automaatiotoimittajan tiedot.



Nykyisten teholähteiden ongelmaksi muodostuu niiden korkea käynnistysvirran tarve. Suomessa virtalähdettä myyvän Enedon julkaisemista tuotetiedoista nähdään, että käynnistysvirran tarve saattaa olla liki 35 ampeeria, jolloin varavoimakeskukseen suunniteltu enintään B10-tyyppin johdonsuoja ei olisi riittävä (Enedo, 2021). Ongelma päätettiin ratkaista vaihtamalla teholähteet kuvan 19 mukaisiin Puls CP10.241 -teholähteisiin, joiden nimellisteho on 240 W. Niiden käynnistysvirta riippuu lämpötilasta, mutta normaalissa huoneenlämmössä se on enintään 6 ampeeria, ja kuten kuvasta 19 nähdään, maksimivirran tarpeen kesto on vain joitain millisekunteja (PulsPower, 2023).

Kuva 19. Puls-teholähde ja sen käynnistysvirta (PulsPower, 2023).



Kuten aikaisemmin todettiin, automaatiokeskuksen kokonaistehontarve laajentamisvaratkin huomioiden on enintään 190 W. Näin ollen jo yksikin teholähde olisi riittävä. Päätettiin kuitenkin asentaa kolme teholähdettä, joista kaksi syöttäisi prosessiasemaa sekä I/O-kortteja ja kolmas syöttäisi kaapin sisäisiä sulakelähtöjä. Teholähteet ovat rinnankytkettyjä eli on olemassa mahdollisuus, että ne käynnistyvät samanaikaisesti ja ottavat hetkellisesti yhteensä 18 ampeeria käynnistysvirtaa. B10 johdonsuoja vaatii kuitenkin välittömään laukeamiseen vähintään 30 A:a eli käynnistysvirta ei laukaise suojaa.

Prosessin turvallisuuden kannalta on tärkeää, että UPSin takana oleva venttiili voidaan häiriötilanteessa sulkea nopeasti ja etänä myös sähkökatkon aikana. Käytössä oleva

venttiilitoimilaite on Auman valmistama ja laitetoimittajan internetsivujen kautta saadaan tilauskoodin avulla laitteen yksityiskohtaiset tiedot. Näistä tiedosta nähdään, että kyseisen toimilaitteen käynnistysvirta on 5,0 ampeeria eli B10-johdonsuoja riittää hyvin.

#### 4.4 Järjestelmän toimivuuden tarkastelu

Suunnitellun järjestelmän toimivuutta tarkasteltiin seuraavista näkökulmista:

- Löydettiinkö ratkaisu, joka mahdollistaa nykyistä pienemmän ja edullisemmän UPS-laitteen käytön?
- Toteutuuko varavoimakeskuksessa verkon selektiivisyys toivotulla tavalla ja ovatko johdonsuojat mitoitettut järkevästi?
- Onko UPS-laitteella saavutettu varokäyntiaika riittävä?

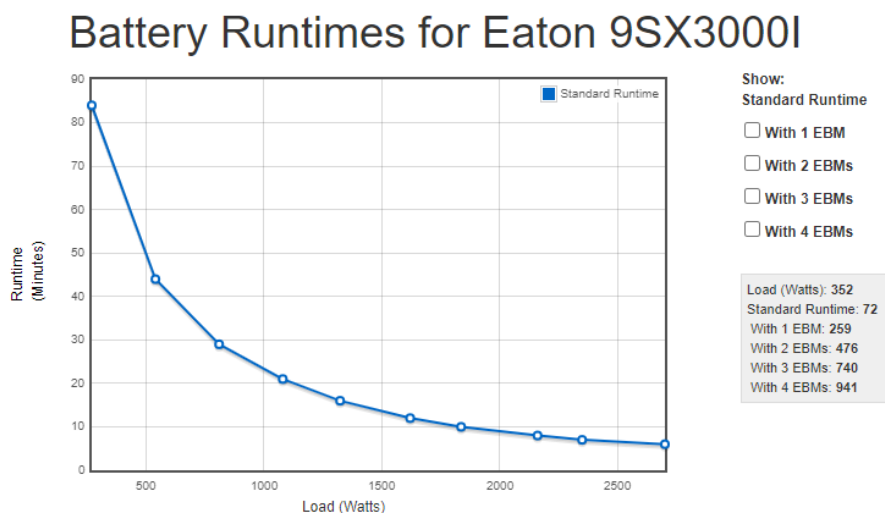
Varavoimakeskuksesta on kolme lähtöä: automaatiokeskukseen, tietoliikennekeskukseen ja venttiilitoimilaitteeseen. Kuten luvussa 4.3 todettiin, tietoliikennekeskuksen tehontarve on vähäinen eikä siellä ole sellaisia komponentteja, joiden virrankulutus tai käynnistysvirta tarvitsisi erikseen ottaa huomioon.

Edelleen luvussa 4.3 tarkasteltiin automaatiokeskuksen ja venttiilitoimilaitteen tarvitsemia käynnistysvirtoja ja todettiin molemmissa tapauksissa B10-tyypin johdonsuojan olevan riittävä. Johdonsuojat tulee valita toisaalta niin, että ne täyttävät sähköturvallisuuslain vaatimukset riittävän nopeasta poiskytkennästä vikatilanteessa ja toisaalta niin, että ne vastaavat toiminnallisia tarpeita. Sähköturvallisuuden kannalta olisi riittävä, jos johdonsuoja laukeaisi alle 400 ms:a. Järjestelmän toimivuuden kannalta tämä on kuitenkin liian pitkä aika, koska suunniteltu UPS-laite sammuttaa itsensä oikosulkutilanteessa jo 140 ms:n kuluttua, jolloin kaikki sen syöttämät laitteet jäävät ilman virtaa. Vikatilanteessa vika tulee siis saada eristettyä ennen kuin UPS-laite sammuu. Kuvassa 15 esitetystä laukaisukäyrästä nähdään, että valitun UPS-laitteen Eaton 9SX3000i tuottama 57 ampeerin oikosulkuvirta laukaisee B10-johdonsuojan alle 20 ms:ssa.

Automaatiokeskuksen prosessiaseman tarpeetonta sammumista edes hetkeksi tulee välttää. Mikäli UPSin syöttämässä laitteessa, esimerkiksi venttiilitoimilaitteessa, tapahtuu oikosulku, UPSin syöttöjännite romahtaa. Luvussa 4.3 esitelty Puls-teholähde pystyy tällaisessa tilanteessa syöttämään maksimikuormallakin tehoa vähintään 28 millisekunnin ajan. Lisäksi alle 20 millisekunnin katkos tehosityötössä ei vielä sammuta prosessiasemaa. Nämä huomioiden edellisessä kappaleessa todettu johdonsuojan laukeaminen alle 20 millisekunnissa on riittävän nopea.

Vaikka varavoimakeskuksen takana on myös venttiilitoimilaite, sitä ei normaalisti tarvita edes sähkökatkon aikana. Näin ollen UPS-laitteen kuormitus koostuu lähinnä tietoliikenne- ja automaatiokeskuksen tehontarpeista. Automaatiojärjestelmän toimittajalta saatiin arvio automaatio- ja tietoliikennekeskuksen tehontarpeista tällä hetkellä, ja ne ovat yhteensä noin 170 W. Jos kuvitellaan vielä tilanne, jossa venttiiliä olisi tarpeellista ajaa jatkuvasti, se lisäisi tehontarvetta 180 W, jolloin kaiken kaikkiaan tehontarve olisi noin 350 W. Kuvasta 20 näemme, että 352 W:n kuormallakin varoaika on noin 72 minuuttia. Vaikka edellä mainittuihin arvioihin sisältyy jonkin verran epätarkkuutta ja akkujen kesto vaihtelee muun muassa merkin, mallin, iän ja käyttölämpötilan mukaan, voidaan melko turvallisesti olettaa, että varoaika on vähintään tunnin luokkaa, mikä on jo täysin riittävä.

Kuva 20. Suunnitellun UPS-laitteen Eaton 9SX3000i varoaika (Eaton, n.d.)



Lisäksi on syytä ottaa huomioon, että käyttäjien kannalta ei ole ollenkaan yhdentekevää, paljonko laite painaa ja miten sitä pystytään käsittelemään. Vanhaa vastaava uusi laite painaa 190 kg, mutta suunniteltu pienempi laite vain noin 33 kg. Toisin sanoen, edellisen kuljettaminen ja siirtäminen vaatii erityisjärjestelyjä, mutta jälkimmäisen voi kantaa sylissään. Kaiken kaikkiaan voidaan todeta, että toiminnallisuuden ja käytön kannalta suunniteltu Eaton 9SX3000i on hyvä vaihtoehto nykyistä vastaavalle laitteelle.

#### **4.5 Taloudellinen tarkastelu**

Toimeksiantajalla on myös suurempia UPS-laitteita 8 kVA:sta aina 50 kVA:iin, ja ne ovat kaikki tunnetun laitevalmistajan toimittamia. Vertailun vuoksi tältä laitetoimittajalta pyydettiin tarjous nykyistä vastaavasta uudesta UPSista. Tarjouksen hinta oli noin 6 700 €. Lisäksi UPS-laitteille täytyy tyypillisesti viiden vuoden välein tehdä määräaikaishuolto, joka edellä mainittuun laitteeseen maksaisi tämän päivän hinnoilla noin 5 800 €. Viidentoista vuoden käyttöajalle hankinta ja huoltokulut olisivat vuoden 2022 hinnoilla yhteensä noin 18 300 €. Tämä on esitetty taulukossa 3 vaihtoehtona 1.

Toisena vaihtoehtona oli järjestelmän muuttaminen tässä työssä kuvatulla tavalla, jolloin järjestelmän uusiminen, mikä piti sisällään UPS-laitteen ja muut vaihdettavat komponentit mukaan lukien johdonsuojat ja virtalähteet, maksoi vuonna 2022 noin 2 700 €. Akuston uusiminen määräajoin on helppoa ja toimeksiantaja voi tehdä sen omana työnä, joten sille lasketaan hinnaksi ainoastaan akuston hinta. Jos laite kestäisi 15 vuotta niin, että siihen uusittaisiin ainoastaan akusto kahdesti, huoltojen hinnaksi tulisi yhteensä noin 640 €. Tämä on esitetty taulukossa 3 vaihtoehtona 2.0.

Pieniä laitteita ei yleensä kannata korjata, joten pahimmassa tapauksessa laite joudutaan uusimaan kokonaan esimerkiksi viiden vuoden välein eli 15 vuoden aikana joudutaan ostamaan kolme laitetta. Tällöin lisähankinnat viiden ja kymmenen vuoden kohdalla maksaisivat yhteensä noin 4 000 € eli elinkaarikulut olisivat alkuperäiset investoinnit huomioiden 6 700 €. Tämä on taulukossa 3 esitetty vaihtoehtona 2.1.

Vaihtoehdot 2.0 ja 2.1 antavat ikään kuin ylä- ja alaraja-arvot sille, mitä pienen laitteen käyttö tulee maksamaan 15 vuoden aikana. Taulukossa 3 esitellään eri vaihtoehtojen kustannukset ja vaihtoehtojen 2.0 ja 2.1 tuomat säästöt verrattuna vaihtoehtoon 1.

Taulukko 3. Vaihtoehtojen kustannukset ja säästöt.

Vaihtoehto	1 (uusi vastaava)	2.0 (akkujen uusinnat)	2.1 (laitteiden uusinnat)
Elinkaarihinta [€]	18300	3340	6700
Säästö elinkaaren aikana verrattuna vaihtoehtoon 1 [€]		14960	11600
Säästö / vuosi verrattuna vaihtoehtoon 1 [€]		997	773

Kuten taulukosta 3 nähdään, vaihtoehto 1 tulisi 2,7–5,5 kertaa kalliimmaksi kuin tässä työssä esitetty vaihtoehto. Summat ovat suuntaa antavia, koska ne on laskettu tämän päivän hintojen mukaan, ja tulevaisuudessa huoltokustannukset ja laitehinnat tulevat todennäköisesti nousemaan. Laskelma antaa siis vain suuntaa antavan kuvan eri vaihtoehtojen kustannusten suhteesta toisiinsa.

## 5 Yhteenveto

Tässä työssä tarkasteltiin vaihtoehtoja toimeksiantajan UPS-järjestelmän uusimiseksi kohteessa, jossa vanha UPS oli tullut elinkaarensa loppuun, ja vaihtoehtoina olivat sen korvaaminen uudella vastaavalla laitteella tai järjestelmän suunnitteleminen uudelleen. Tavoitteena oli löytää vaihtoehto, joka olisi edullisempi, mutta täyttäisi toimeksiantajan vaatimukset. Tarkastelussa lähdettiin kysymyksestä, voisiko nykyisen UPSin korvata huomattavasti pienemmällä laitteella ja sillä tavoin alentaa sekä hankintahintaa että ylläpitokuluja?

Luvussa 4.4 tarkasteltiin uuden suunnitelman mukaista järjestelmää toimivuuden kannalta. Siinä todettiin, että suunniteltu järjestelmä täyttää sekä sähkötekniset vaatimukset muun muassa turvallisuuden ja selektiivisyyden näkökulmasta että toimeksiantajan vaatimukset järjestelmän luotettavuuden ja häiriösiedon osalta.

Kuten luvusta 4.5 käy ilmi, järjestelmän toteuttaminen uuden suunnitelman mukaisesti tulee myös huomattavasti edullisemmaksi kuin pelkästään uuden vastaavan UPS-laitteen hankkiminen nykyisen tilalle. Viidentoista vuoden kuluessa säästöä voidaan arvioida saatavan 11 600–14 960 €. Merkittävä osa säästöistä tulee edullisemman laitehankinnan lisäksi siitä, että huolto- ja asennustyöt voi toimeksiantaja tehdä omana työnään niin järjestelmän muuttamisen kuin laitehuoltojen osalta koko UPSin elinkaaren ajan. Ero vaihtoehtojen välillä oli niin merkittävä, että toimeksiantaja päätti toteuttaa järjestelmän uusimisen tässä työssä esitetyllä tavalla.

## Lähteet

ABB. (n.d.). *Johdonsuojakatkaisijat [kuva]*. <https://tinyurl.com/2swwsupwf>

ABB. (2001). *Tekninen opas nro 6: Vaihtovirtakäyttöjen yliaalto-opas*.  
<https://tinyurl.com/2e58rwah>

ABB. (2018). *Maintenance Concept for ABB UPSs*. <https://tinyurl.com/2f72f9sc>

ABB. (2023). *Life Cycle Management*. <https://tinyurl.com/2p8rdmha>

Banks, S. (22.6.2019). *UPS Eco-mode: The Benefits and Risks*. <https://tinyurl.com/yncnihws>

CSB. (n.d.). *CSB Battery, UPS series*. <https://tinyurl.com/yc53fc7z>

Cyber Power Systems. (19.2.2018). *Choosing a UPS system 101: The Fundamentals*.  
<https://tinyurl.com/3554ab4f>

Eaton. (n.d.). *Battery Runtimes for Eaton 9SX3000I [kuva]*. <https://tinyurl.com/y7bsckeu>

Eaton. (2020). *Eaton UPS and power management Fundamentals handbook*.  
<https://tinyurl.com/bddbpm4z>

Eaton. (2023). *UPS-varavoimajärjestelmät*. <https://tinyurl.com/3c3z6ydv>

Electronic coach. (2023). *Off-line UPS*. <https://tinyurl.com/25buftyx>

Enedopower. (2021). *Datasheet ADC5000 Series*. <https://tinyurl.com/bded6kp6>

Energiäteollisuus. (17.11.2014). *Sähkötoimituksen laatu- ja toimitustapavirheen sovellusohje*. <https://tinyurl.com/hutnz869>

- GNS Components. (22.6.2019). *Application of IGBT In Uninterruptible Power Supply (UPS)*. <https://tinyurl.com/mvep9aw3>
- Madhu, B., Dinesh, M. & Hegde, N. (2016). *Design of twelve pulse rectifier used in HVDC systems [kuva]*. <https://tinyurl.com/36en9htr>
- McFadyen, S. (22.4.2014). *How do DC to AC Inverters Work*. MyElectrical. <https://tinyurl.com/4b9xzb92>
- Poikonen, P. (2010). *UPS-laitteella varmennetun sähkönjakelujärjestelmän suunnittelu ja toteutus*. ST-kortisto. ST 52.35.02. <https://www.sahkotieto.fi/>
- PulsPower. (2023). *Datasheet*. <https://tinyurl.com/3chmv36r>
- Riello Elettronica. (n.d.b). *What is a "Line interactive" UPS?* <https://tinyurl.com/y6jmtyp6>
- SFS-6002:2015. (2015). *Sähkötyöturvallisuus*. SFS Online
- SFS-EN 50160. (2022). *Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet*. SFS Online.
- Sinepower. (2021). *IGPT rectifier vs. 12 pulse rectifier [kuva]*. <https://tinyurl.com/ype5b5uw>
- Sivaraman, P. & Sharmeela, C. (2021). *Power Quality in Modern Power Systems*. Science Direct. <https://tinyurl.com/58yda2kp>
- Spitaels, J., Zhang, L., Lin, P. (28.5.2021). *The Different Types of UPS Systems*. Schneider Electric. <https://tinyurl.com/4zcmvys3>
- Sudriá, A., Jaureguialzo, E., Sumper, A., Villafáfila, R. & Rull, J. (2005). *High power UPS selection methodology and installation guideline for high reliability power supply*. ICREPQ. <https://tinyurl.com/ycy339an>

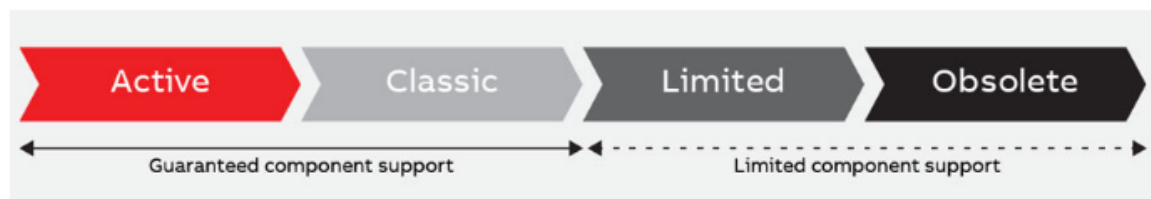
Tummauori, J. (2010). *UPS-laitteet ja -järjestelmät*. ST-kortisto. ST 52.35.01.

<https://www.sahkotieto.fi/>

UST. (2023). *AVR Guide: Tap Changing Voltage Regulator Operation*.

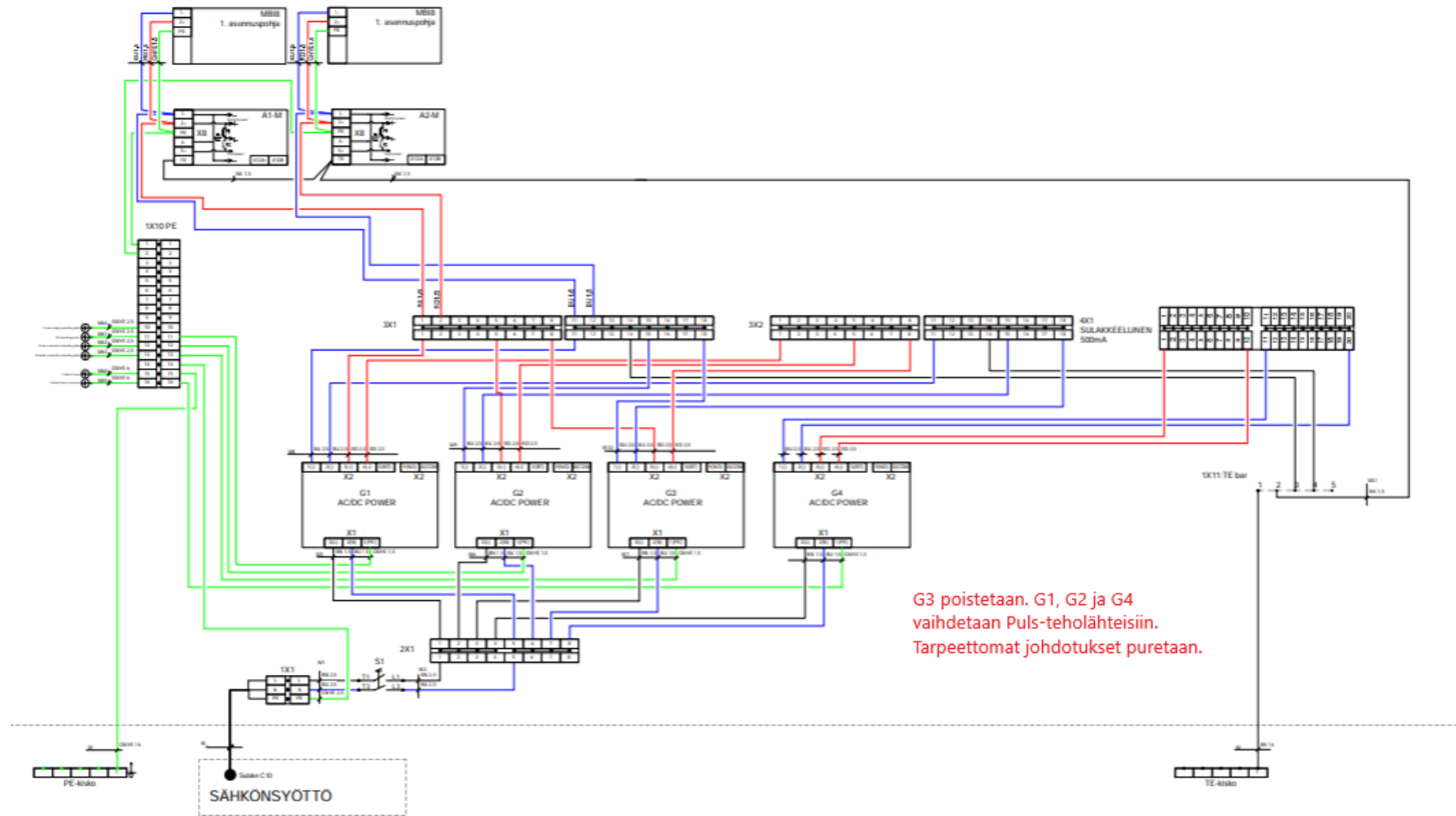
<https://tinyurl.com/27d9afvx>

## Liite 1: UPS-laitteiden elinkaarimalli ABB:n mukaan (ABB, 2023).



Active Phase	Classic Phase	Limited Phase	Obsolete Phase
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Available for sales.</li> <li>• Full manufacturing.</li> <li>• Actively promoted in assigned countries.</li> <li>• Available to all (authorized) customers.</li> <li>• Full technical and customer support available.</li> <li>• Periodically enhanced through R&amp;D and product improvements.</li> <li>• Full availability of all spare parts.</li> <li>• Extended warranty available for application.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Product is still available, but not extensively promoted (a substitution product will be identified with cross-reference in most cases).</li> <li>• Product's ownership moves to ABB Service team for support (not applicable to all products).</li> <li>• No further enhancements and developments.</li> <li>• Spare parts fully available.</li> <li>• There may be increases in price and/or lead-times.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Product is no longer actively promoted by the sales force.</li> <li>• Service support is ensured, including retrofit kits, spare parts and accessories.</li> <li>• Product is no longer manufactured or limited production might be available.</li> <li>• There may be increases in price and/or lead-times.</li> <li>• Life extension solutions may be available under "Customer Support Agreement".</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Product is withdrawn from sales.</li> <li>• No longer manufactured as a complete product.</li> <li>• Retrofit kits, where applicable, are available for most applications.</li> <li>• Spare parts availability may diminish over time with decrease in production volumes.</li> </ul>

Liite 2: Automaatiokeskuksen johdotuspiirustus muutosohjeineen (mukailten, toimeksiantaja, henkilökohtainen tiedonanto, 2022)





		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	
		KESKUS										RYHMÄ	OSOITE	TUNNUS	JOHDOTUS	kVA/kW	A / A	HUOM.					
D muutos E muutos F muutos	B																						
	C												Syöttö UPSilta		MMJ 3x2.5 S				Katkaisija 25 A				
	F											1	Automaatiokeskus	AK02	MMJ 3x1.5 S			B10					
	F											2	Tietoliikennekeskus	TLK	MMJ 3x1.5 S			B10					
	G											3	Venttiili	MV-01	MMJ 3x1.5 S			B10					
	J											4	Vara					B10					
A muutos B muutos C muutos	K											5	Vara					B10					
	L																						
	M																						
	N																						
	O																						
	P																						
	R																						
	S																						
											Varavoimakeskus												
											Tehty ohjelman opiskelijaversiolla												
										Suunn. IT /24.2023		Kokonaisuus Opinnöytetyö		Sähköpositio VVK		Työnumero							
										Piirt. IT		Lehti 2/2		Piiustusnumero		SÄH							
										Tark.													