

# **Loviisan voimalaitoksen MONU-UPS-laitteiden kuormitusten selvittäminen**

Christian Gustafsson

OPINNÄYTE	
Arcada	
Koulutusohjelma:	Informations- och medieteknik
Tunnistenumero:	3374
Tekijä:	Christian Gustafsson
Työn nimi:	Loviisan voimalaitoksen MONU-UPS-laitteiden kuormitusten selvittäminen
Työn ohjaaja (Arcada):	DI Kim Rancken
Toimeksiantaja:	Fortum Power & Heat Oy Ohjaaja: Insinööri Timo Rautio
<p>Tiivistelmä:</p> <p>Katkeamaton tehonsyöttöjärjestelmä on enenevässä määrin noussut esille tärkeänä osatekijänä muun muassa turvallisuusjärjestelmissä, jotka on pidettävä käynnissä turvallisuuden ylläpitämiseksi tai on suojattava sähköverkon häiriöiltä. Ydinvoimalaitokselta vaaditaan kaikissa olosuhteissa häiriötöntä toimintaa. Näin ollen kaikkien laitoksella olevien turvajärjestelmien on oltava katkeamattoman tehonsyöttöjärjestelmän takana. Yksi osatekijä tämän saavuttamiseksi on varmistaa että on olemassa useita, sekä sisäisiä että ulkoisia virtalähteitä jokaiselle kriittiselle kuormalle. Katkeamaton tehonsyöttöjärjestelmä eli UPS-järjestelmä suojaa siihen liitetyt laitteet yläaalloilta, sähkökatkoksilta ja taajuuden vaihteluilta. On olemassa kolme topologiaa kun puhutaan UPS-laitteista. Ne ovat ”Off-line UPS”, ”Line interactive UPS” sekä ”On-line UPS”, joista viimeinen on pisimmälle edistynyt ja antaa parhaan mahdollisen suojan. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on laskea Loviisan ydinvoimalaitoksen neljän MONU-UPS-laitteiden kuormia, jotta voidaan määrittää jos ne ovat ylikuormitettuja tai jos tulevaisuudessa on mahdollista lisätä laitteita jotka tarvitsevat katkeamatonta tehonsyöttöjärjestelmää.</p>	
Avainsanat:	UPS, MONU, ydinvoimalaitos, kuormitus
Sivumäärä:	30
Kieli:	Suomi
Hyväksymispäivämäärä:	12.5.2011

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Utbildningsprogram:	Informations- och medieteknik
Identifikationsnummer:	3374
Författare:	Christian Gustafsson
Arbetets namn:	Loviisan voimalaitoksen MONU-UPS-laitteiden kuormituksen selvittäminen
Handledare (Arcada):	DI Kim Rancken
Uppdragsgivare:	Fortum Power & Heat Ab Handledare: Ingenjör Timo Rautio
<p>Sammandrag:</p> <p>Avbrottsfri kraftförsörjning spelar en viktig roll i bland annat säkerhetssystem som skall hållas igång för säkerhetens skull eller för att skyddas från störningar i elnätet. Ett kärnkraftverk förväntas under alla omständigheter fungera störningsfritt. Därför bör alla de viktigaste säkerhetsutrustningarna som används på kraftverket ha en elmatning som är avbrottsfri. En bidragande faktor i kraftförsörjningen är att det finns många interna och externa strömförsörjningar till varje kritisk belastning. En avbrottsfri kraftförsörjare, det vill säga en UPS-enhet, är till för att skydda tillkopplade apparater från till exempel övertoner, strömavbrott samt frekvensväxlingar. Det finns tre topologier som man brukar tala om när det gäller UPS-enheter. De är "Off-line UPS", "Line interactive UPS" och "On-line UPS" varav den sistnämnda är den mest avancerade enheten som ger det bästa skyddet. Syftet med detta examensarbete är att beräkna Lovisa kärnkraftverkets fyra MONU-UPS-enheters belastningar för att kunna bestämma om de är överbelastade eller om man i framtiden kan lägga till utrustning som behöver avbrottsfri kraftförsörjning.</p>	
Nyckelord:	UPS, MONU, kärnkraftverk, belastning
Sidantal:	30
Språk:	Finska
Datum för godkännande:	12.5.2011

DEGREE THESIS	
Arcada	
Degree Programme:	Informations och medieteknik
Identification number:	3374
Author:	Christian Gustafsson
Title:	Loviisan voimalaitoksen MONU-UPS-laitteiden kuormitustuksien selvittäminen
Supervisor (Arcada):	M.Sc. Kim Rancken
Commissioned by:	Fortum Power & Heat Oy Advisor: B.Sc. Timo Rautio
<p>Abstract:</p> <p>Uninterruptible power supply plays an important role in protective systems that must be kept running for safety or to be protected from interference in the electrical grid. A nuclear power plant is expected to operate without disturbances under any circumstances. Because of this, all the most important safety equipments that are used at the power plant must have a power supply that is uninterruptible. A part in achieving this is that there are many internal and external power supplies to any critical load. The interruptible power supply in other words the UPS, has to protect the connected devices from overtones, power outages and frequency variations. There are three topologies when it comes to the UPS-unit. They are "Off-line UPS", "Line interactive UPS" and "On-line-UPS", of which the latter is the most advanced and gives the best protection. The aim of this thesis is to calculate the loads of the four MONU-UPS-units of Loviisa nuclear power plant to determinate if they are overloaded or if more electrical equipment that need uninterruptible power supply could be added in the future.</p>	
Keywords:	UPS, MONU, nuclear power plant, load
Number of pages:	30
Language:	Finnish
Date of acceptance:	12.5.2011

# SISÄLTÖ

<b>1</b>	<b>JOHDANTO .....</b>	<b>9</b>
1.1	Tavoite .....	9
1.2	Rajaus .....	9
<b>2</b>	<b>Loviisan ydinvoimalaitos .....</b>	<b>10</b>
2.1	Laitoksen yleiskuva .....	10
2.2	Rakennusperusteet ja laitostyyppi .....	11
2.3	VVER-440-painevesireaktori .....	12
2.4	Loviisan voimalaitoksen turvajärjestelmät .....	14
2.5	Säteilyturvakeskus ja YVL-ohjeet .....	14
<b>3</b>	<b>UPS-Järjestelmä .....</b>	<b>16</b>
3.1	UPS-laitteen topologiat .....	16
3.1.1	<i>Off-line UPS (Stand by UPS)</i> .....	17
3.1.2	<i>Line interactive UPS (Single conversion)</i> .....	18
3.1.3	<i>On-line UPS (Double conversion)</i> .....	19
3.2	UPS-laitteiden rinnankäynti .....	20
3.3	Päto-, lois- ja näennäisteho .....	21
3.4	Teho ja varakäyntiaika .....	22
3.5	Virta N-johtimessa .....	24
3.6	Suojalaitteiden selektiivisyys .....	25
3.7	UPS-laitteen akusto .....	27
3.7.1	<i>Lyijyakut</i> .....	27
3.7.2	<i>Nikkeli-kadmiumakkuja</i> .....	28
<b>4</b>	<b>Yhteenveto .....</b>	<b>29</b>
	<b>Lähdeluettelo .....</b>	<b>30</b>

## Kuvat

Kuva 1. Loviisan ydinvoimalaitos. /1/.....	11
Kuva 2. Painevesilaitoksen toimintakaavio. /2/ .....	13
Kuva 3. Off-line UPS:ien toimintaperiaate. ....	17
Kuva 4. Line interactive UPS:ien toimintaperiaate. ....	18
Kuva 5. On-line UPS:ien toimintaperiaate. ....	19
Kuva 6. Kahden UPS:in rinnankytkennän periaate. ....	21
Kuva 7. Induktiivisen kuorman osoitindiagrammi. /10/.....	22
Kuva 8. Virran muodostus nollajohtimessa. /8/ .....	24
Kuva 9. Verkko selvittää oikosulkutilanteen. /7/ .....	25
Kuva 10. Vaihtosuuntaaja syöttää oikosulkuvirran verkkokatkon aikana. /7/ .....	26

## Taulukot

Taulukko 1. Luotettavuus (vikaväli) eri UPS-ratkaisuissa. /7/.....	20
--	----

## ALKUSANAT

Tämä työ on tehty Fortum Power and Heat Oy:n Loviisan voimalaitoksella. Kiitän Fortumia mielenkiinnosta sekä haasteellisesta opinnäytetyön aiheesta, johon sain kaiken tarvitsemani tuen. Ennen kaikkea haluan kiittää ohjaajaani, sähkösuunnittelun jaospäällikkö Timo Rautiota, joka omalta osaltaan loi kannustavan ilmapiirin ja tarjosi mahdollisuuden työn tekemiselle. Haluan myös kiittää suunnitteluinsinööri Claus Helsingiä sekä vanhempi suunnitteluinsinööri Esko Luukkosta hyvistä nevoista.

Kiitos myös Arcada – högskolan puolesta työni valvojana ja tarkastajana toimineelle DI Kim Ranckenille kommentteista ja neuvoista.

Kiitos kaikille niille, jotka omalla panoksellaan ovat auttaneet minua opiskelujan läpi.

Loviisa 10.4.2011

---

Christian Gustafsson

## LYHENTEET

AEE	V/O Atomenergoexport, venäläinen ydinalan yritys
MONU	Voimalaitoksen säteilymittausjärjestelmä
MW <sub>e</sub>	Megawatt electrical, sähköteho megawateissa
MW <sub>th</sub>	Megawatt thermal, lämpöteho megawateissa
STUK	Säteilyturvakeskus
UPS	Uninterruptible Power Supply, katkeamattoman sähkönsyötön laite
YVL-ohje	Säteilyturvakeskuksen YVL-ohjeissa esitetään yksityiskohtaiset turvallisuutta koskevat vaatimukset

# 1 JOHDANTO

UPS, eli ”uninterruptible power supply”, on varmuusjärjestelmä joka varmistaa että siihen kytketyt laitteet eivät jää ilman sähköä. UPS-laitteita käytetään suojaamaan kriittisiä laitteita jotka voivat mennä rikki pikaisessa sähkökatkossa. UPS-laitteita käytetään myös esimerkiksi turvavalaistukselle. Niin kuin kaikki akulla käyvät laitteet, tyhjentyy akku nopeammin jos siihen kytkee lisää laitteita. Jotta varmistutaan siitä, että UPS-laitteiden akustot, eivät tyhjene liian nopeasti, ja että niitä ei kuormiteta liikaa. On se toivottavaa, että on olemassa laskelmia, kuinka paljon kuormaa löytyy jokaisen UPS-laitteen takaa. Tällä varmistetaan että kuormien lisäykset UPS-laitteille voidaan tehdä suunnitellusti.

## 1.1 Tavoite

Työn tarkoitus on laskea kuinka paljon Fortumin MONU-UPS-laitteet Loviisan voimalaitoksessa ovat kuormitettuja. Kuorman määrä on erittäin tärkeä tietää koska voimalaitoksessa löytyy kriittisiä laitteita joiden täytyy toimia sähkökatkon aikana. Tarkoitus on että laskelmia käytetään tulevaisuudessa sähkösuunnittelussa kun suunnitellaan uusia kuormia MONU-UPS-laitteille.

Toinen tärkeä osa työstä on huomioida jos nykyinen kuorma on liian suuri ja arvioida jos on tarpeellista tehdä muutoksia. Tarkoitus on esitellä UPS-laitteiden laskelmat ja sillä perusteella päätellä jos kuormitukset ovat sallittujen rajojen sisäpuolella. Työ sisältää kuormien arvokilpien lukemista ja tiettyjen kuormien mittaamista ja dokumentointia.

## 1.2 Rajaus

Jotta opinnäytetyöstä ei tulisi liian laaja, on se rajoitettu voimalaitoksen säteilymittauslaitteiden UPS-laitteisiin.

## **2 LOVIISAN YDINVOIMALAITOS**

Suomessa on sähköntuotannossa neljä ydinvoimalaitosyksikköä. Kaksi niistä on Eurajoen Olkiluodossa ja kaksi Loviisassa. Suomen viides ydinvoimalaitosyksikkö on rakenteilla Olkiluodossa. Lisäksi eduskunta teki periaatepäätöksen 1.7.2010, kahden uuden reaktorin rakentamisesta. Luvat myönnettiin Fennovoimalle sekä Teollisuuden Voimalle. /11/

### **2.1 Laitoksen yleiskuva**

Loviisan Hästholmenin saarella sijaitseva Loviisan voimalaitos on Suomen ensimmäinen ydinvoimalaitos (kuva 1). Se koostuu kahdesta painevesireaktorityyppisestä yksiköstä. Ydinvoimayksiköt Loviisa 1 ja Loviisa 2 ovat Fortum Power and Heat Oy:n omistamia, ykkösyksikkö otettiin kaupalliseen käyttöön toukokuussa 1977 ja kakkosyksikkö tammikuussa 1981. Noin kymmenen vuotta kestänyt Loviisan voimalaitoksen rakentaminen oli monikansallinen yhteistyö ja toteutettiin silloisen Imatran Voima Oy:n johdolla. /4/

Kaikkiaan Loviisan ydinvoimalaitos työllistää jatkuvasti noin 500 Fortumin työntekijää ja 150 muissa yrityksissä työskentelevää henkilöä. Vuosihuoltojen aikana laitoksella työskentelevien ulkopuolisten henkilöiden määrä nousee yleensä noin tuhanteen.



*Kuva 1. Loviisan ydinvoimalaitos. /1/*

## **2.2 Rakennusperusteet ja laitostyyppi**

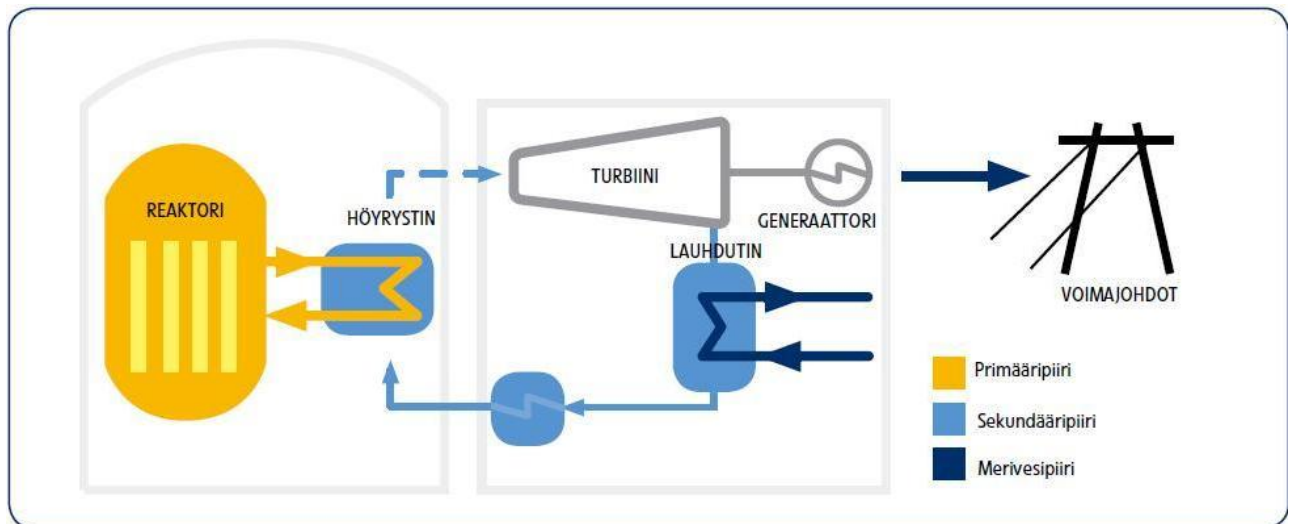
Ensimmäinen sopimus ydinvoimalaitoksen rakentamisesta Suomeen solmittiin vuonna 1969. Kahden VVER-440-tyyppisen painevesireaktorilla varustetun laitoksen toimituksesta vastasi neuvostoliittolainen V/O Atomenergoexport (AEE). Laitoksen perusmallina käytettiin Neuvostoliitossa sijaitsevaa Novo Voroneshin VVER-tyyppistä painevesireaktorilla varustettua laitosta. Uuden laitoksen turvallisuutta parannettiin perusmalliin verrattuna koska suomalaisviranomaiset edellyttivät turvallisuutta parantavia muutoksia. Parannuksiin kuuluivat reaktorin hätäjähdytysjärjestelmä sekä kaasutiivis suojarakenus. /4/

Loviisan ydinvoimalaitosta rakennettiin käyttäen korkeaa teknologiaa vaativia laitteita ja niitä tilattiin suoraan tunnetuilta länsimaisilta valmistajilta. Niihin kuuluivat muun muassa prosessitietokone, varoventtiilit ja suojarakennuksen eristysventtiilit. Instrumen-

tointi- ja säätöjärjestelmien toimitus tilattiin erikseen silloisesta Saksan Liitotasavallasta. Laskentaohjelmat suojarakennuksen suunnittelemiseksi ja tietotaito suunnitteluperusteeksi valittujen onnettomuuksien teoreettiseksi tutkimiseksi hankittiin USA:sta. /4/

### **2.3 VVER-440-painevesireaktori**

Loviisan ydinvoimalaitoksen erottaa tavanomaisesta höyryvoimalaitoksesta tapa, jolla se tuottaa lämpöä. Höyrykattilan sijaan, Loviisan molemmissa yksiköissä on painevesireaktori ja höyrystimet. Polttoaineena lämmöntuotannossa käytetään uraania. Painevesilaitoksen toimintakaavio käy ilmi kuvasta 2. Ydinreaktori tuottaa lämpöä ja syntyvä lämpö kuumentaa reaktorin jäähdytysveden noin 300-asteiseksi. Painevesireaktorissa korkean 123 baarin paineen takia vesi ei kuitenkaan kiehu. Reaktorista kuuma vesi siirretään höyrytimeen, jossa primääripiirin vesi kuumentaa sekundääripiirin vettä. Sekundääripiirin vesi alkaa kiehua koska paine on 46 baaria ja on huomattavasti primääripiirin painetta alhaisempi. Syntynyt höyry johdetaan sitten turbiineille jotka puolestaan pyörittävät generaattoria. Turbiinin jälkeen vesihöyry jäähdytetään meriveden avulla takaisin vedeksi, joka pumpataan esilämmittimen kautta takaisin höyrytimiin. Turbiinista tulevan höyryn jäähdyttämiseen tarvitaan 40 kuutiometriä merivettä sekunnissa. Kolmasosa reaktorissa syntyvästä lämmöstä saadaan muutetuksi sähköksi. Loppu siirtyy lauhduttimissa jäähdytysveteen ja sitä kautta mereen. Jäähdytykseen käytetty merivesi johdetaan takaisin mereen noin kymmenen astetta lämmentyneenä.



Kuva 2. Painevesilaitoksen toimintakaavio. /2/

Ydinreaktorin polttoaineena käytetään uraania. Laitosyksiköiden reaktoreissa on 313 polttoainenippua. Yksi polttoainenippu painaa 210 kiloa ja siinä on noin 120 kiloa uraania. Joka vuosi vaihdetaan kolmasosa polttoaineesta ja vaihdon yhteydessä siirretään vanhojen nippujen paikkoja reaktorisydämessä, jotta polttoaineesta saadaan mahdollisemman paljon energiaa. Käytetty polttoaine, noin 24 tonnia uraania/vuosi, säilytetään tilapäisesti vesialtaissa Loviisassa ennen kun polttoaine loppusijoitetaan Olkiluotoon Eurajoelle.

Vuotuinen sähkötuotanto per yksikkö on noin 3,8 TWh. Yhteensä yksiköiden tuotettu nettosähkömäärä vastaa noin 400 000 sähkölämmitteisen omakotitalon vuosikulutusta ja sillä katetaan kymmenesosa Suomen sähkölaitoksesta. Loviisan voimalaitoksen nykyinen sähköteho on noin 10 % alkuperäistä suurempi. Tehonkorotus on toteutettu vuosien 1997- 2002 aikana. Lämpöteho on nykyään noin 1500 MW<sub>th</sub>/yksikkö ja nettosähköteho noin 490 MW<sub>e</sub>/yksikkö. Sähkötuotanto jatkuu Loviisassa pitkälle tulevaisuuteen, sillä valtioneuvoston myöntämät käyttöluvat ovat voimassa ykkösyksiköllä vuoteen 2027 ja kakkösyksiköllä vuoteen 2030 saakka.

## 2.4 Loviisan voimalaitoksen turvajärjestelmät

Ydinvoimalaitosten turvajärjestelmien tehtävä on ehkäistä häiriö- ja onnettomuustilanteiden syntyminen sekä lieventää mahdollisen onnettomuuden seurauksia. Turvallisuustoimintoihin kuuluu reaktorin sammuttaminen, reaktorin jäähdytys ja jälkilämmön poisto. Nämä ovat ydinvoimalaitoksen tärkeimmät turvallisuustoiminnot. Onnettomuustilanteissa suojarakennuksen tehtävä on rajoittaa radioaktiivisten aineiden päästöjä. /4/

Normaalitilanteessa sisäiset sähköntarpeet hoidetaan laitoksen itsensä tuottamalla sähköllä omakäyttömuuntajien kautta. Vikatilanteissa ydinvoimalaitos tarvitsee laitoksen ulkopuolista sähköä turvallisuustoimintojen ylläpitämiseen, kun sen oma sähkötuotanto on pysähdyksissä esimerkiksi reaktorin pikasulun jälkeen. Laitoksen omat tasasähköjärjestelmät (tasasuuntaajat, akustot ja UPS-laitteet) takaavat kuitenkin sen, että tärkeimmät turvajärjestelmät eivät jää ilman sähkönsyöttöä kunnes varavoimadieselgeneraattorit käynnistyvät. Loviisan laitossyksiköiden sähkönsyöttö on varmennettu 400 kV ja 110 kV sähköverkkojen lisäksi erillisellä 20 kV linjalla läheiseltä Ahvenkosken vesivoimalaitokselta. Lisäksi varasähköjärjestelmän piiriin kuuluu neljä dieselgeneraattoria jotka sijaitsevat laitosalueella. /3/

## 2.5 Säteilyturvakeskus ja YVL-ohjeet

Säteilyturvakeskus (STUK) on turvallisuutta valvova viranomainen, tutkimuslaitos ja asiantuntijaorganisaatio. Sen toiminta-ajatus on ihmisten, yhteiskunnan, ympäristön ja tulevien sukupolvien suojelu säteilyn haitallisilta vaikutuksilta. Ydinturvallisuusvalvonnan kohteina ovat ydinvoimalaitokset, ydinmateriaalit ja ydinjätteet. STUK:in tehtävänä on asettaa ydinenergian käyttöä koskevat yksityiskohtaiset turvallisuusvaatimukset ja riippumattomalla valvonnalla varmistaa, että energiaa tuottavat voimayhtiöt toimivat vaatimusten mukaisesti. /5/

Säteilyturvakeskuksen antamat YVL-ohjeet koskevat ydinlaitosten turvallisuutta, ydinmateriaaleja ja ydinjätteitä, sekä ydinenergian käytön edellyttämiä turvajärjestelyjä ja valmiusjärjestelyjä. YVL-ohjeet ovat sääntöjä, joita yksittäisen luvanhaltijan tai muun kyseeseen tulevan organisaation on noudatettava, ellei STUK:ille ole esitetty muuta hyväksyttävää menettelytapaa tai ratkaisua, jolla YVL-ohjeessa esitetty turvallisuustaso saavutetaan. /6/

### 3 UPS-JÄRJESTELMÄ

Katkeamaton tehonsyöttöjärjestelmä (UPS) suojaa erilaisia herkkiä elektronisia laitteita, kuten tietokoneita, työasemia, kassapäätteitä, kriittisen tärkeitä mittaus- ja tietoliikennejärjestelmiä, prosessinohjausjärjestelmiä jne.. Järjestelmä suojaa myös heikkolaatuiseen verkkovirtaan liittyviltä ongelmilta ja täydellisiltä sähkökatkoksilta.

Herkät elektroniset laitteet on suojattava sähköisiltä häiriöiltä. Ulkoiset häiriöt, kuten salamaniskut, voimalaitosviat ja radiolähteet, ja sisäiset häiriöt, esimerkiksi sähkömoottoreiden, ilmastointikoneiden ja hitsauslaitteiden aiheuttamat, saattavat aiheuttaa häiriötä herkkien laitteiden sähkönsyöttöön käytettävässä vaihtovirtaverkossa. Tällaisia ovat verkkokatkokset, ali- tai ylijännitteet, hitaat jännitevaihtelut, taajuusvaihtelut, jännitteen ja virran yliaallot sekä transientti- ja muut häiriöjännitteet. UPS poistaa kaikki tällaiset häiriöt tulevasta sähkövirrasta ja pitää jännitteen tasaisena ja tarvittaessa erottaa syöttämänsä kuorman häiriölähteestä. Näin verkkosyötössä esiintyvät häiriöt eivät pääse kriittiseen järjestelmään, jossa ne voivat tuhota ohjelmistoja ja aiheuttaa laitteiden toimintahäiriöitä.

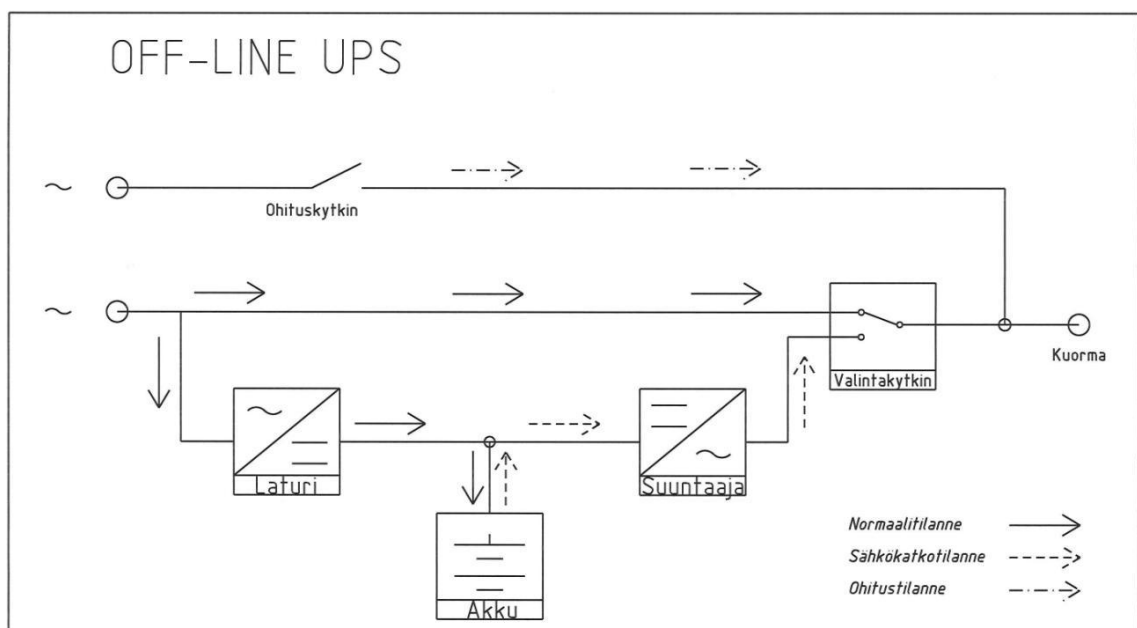
#### 3.1 UPS-laitteen topologiat

UPS-laitteita valmistetaan useilla erilaisilla ratkaisuilla eli topologioilla. Topologiat vaikuttavat UPS-laitteen ominaisuuksiin normaaleissa käyttötilanteissa. Yleisimmät UPS-topologiat ovat:

- Off-line UPS (Stand by UPS)
- Line interactive UPS
- On-line UPS

### 3.1.1 Off-line UPS (Stand by UPS)

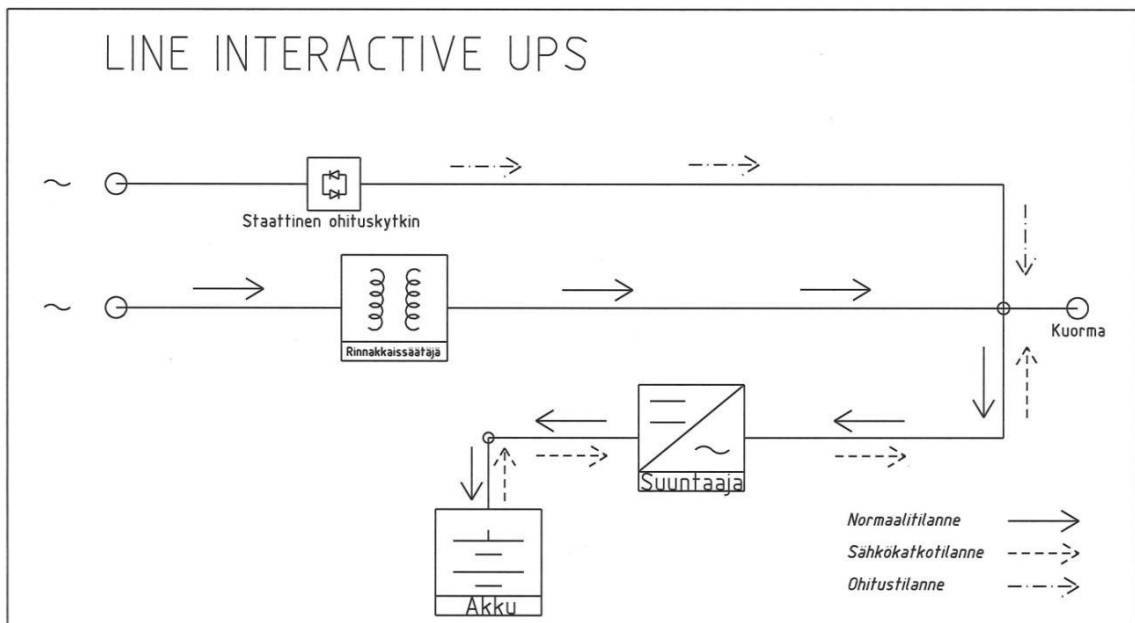
Off-line UPS soveltuu parhaiten PC-laitteiden, työasemien, kassapätteiden, kotimikrojen sekä pienten kuormien syöttöön. Etenkin Suomessa missä verkkojännite ei juuri vaihtele merkittävästi, on tällainen UPS-laite hyvä vaihtoehto kotikäyttöön. Normaali-tilanteessa kuorma syötetään suoraan verkosta. Sähkökatkon ja suurien jännitevaihteluiden aikana vaihtosuuntaaja käynnistyy ja syöttää kuormaa akusta saatavalla energialla vaihtosuuntaajan kautta. Tällaisen järjestelmän toimintaperiaate on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Off-line UPS:ien toimintaperiaate.

### 3.1.2 Line interactive UPS (Single conversion)

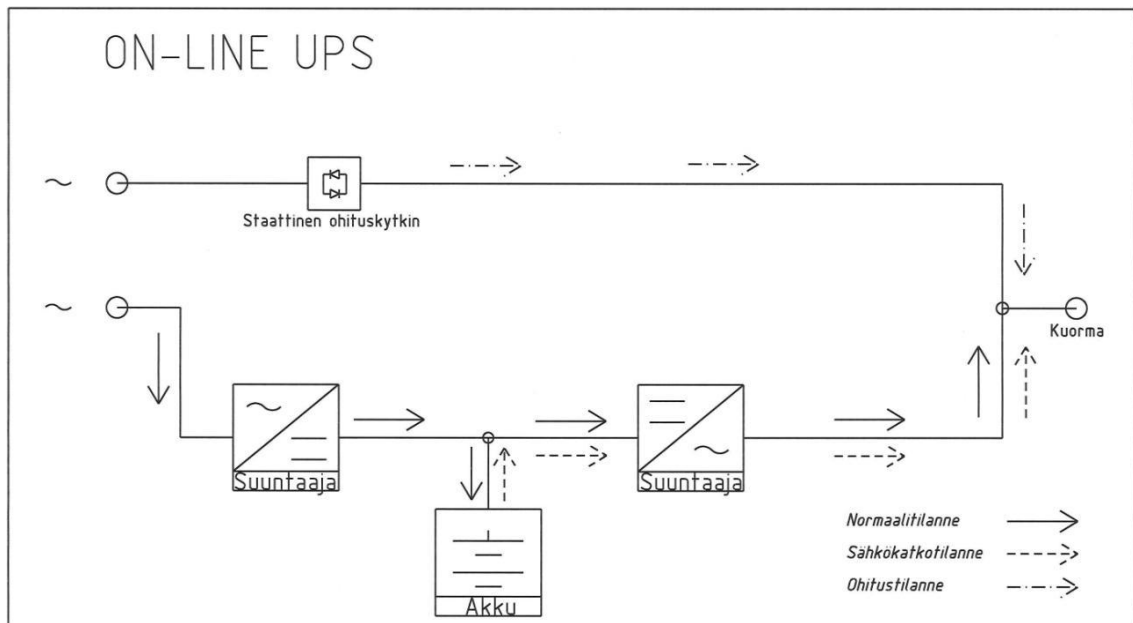
Line interactive UPS perustuu ratkaisuun, jossa syöttävän verkon rinnalla on rinnakkaissäätäjä. Normaalitilanteessa sähkö syötetään kriittisille kuormille suoraan verkosta suodattimien kautta. Jännitteen vaihdellaessa UPS:in lähtöjännitettä säädetään nimelliseksi rinnakkaissäätimellä vaihekulmaa muuttamalla. Taajuuden vaihtelua UPS ei pysty korjaamaan vaan siirtyy akkusyötölle ja katkaisee verkkosyötön. Taajuuden palattua sallittuihin raja-arvoihin, sähkönsyöttö siirtyy takaisin verkkosyötölle ja akkujen lataus käynnistyy. Tällaisen järjestelmän toimintaperiaate on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Line interactive UPS:ien toimintaperiaate.

### 3.1.3 On-line UPS (Double conversion)

Nimi "Double conversion UPS" eli kahden muunnoksen UPS johtuu siitä että sähkö syötetään tasasuuntauksen ja vaihtosuuntauksen kautta kuormalle. Toimintaperiaate takaa sen, että UPS-laitteen lähtöjännite on riippumaton syöttävän sähköverkon jännitteen vaihtelusta, jännitepiikeistä, taajuusvaihtelusta ja häiriöistä. Tästä syystä kahden muunnoksen UPS soveltuu kaikkien kriittisten kuormien sähkönsyötön varmistukseen. Suurelta jännite- ja taajuuspoikkeamat eivät siirrä UPS-laitetta akkusyötölle, vaan tasasuuntaaja kykenee syöttämään tarvittavan virran vaihtosuuntaajalle. Akusto pidetään jatkuvasti puskurivarauksessa ja se on heti valmis syöttämään vaihtosuuntaajaa, kun tasasuuntaaja pysähtyy. Ylikuormitus- tai vikatilanteissa kuorma siirtyy katkotta elektronisen ohituskytkimen kautta verkkosyötölle ja palaa takaisin vaihtosuuntaajan syötölle ylikuormituksen tasaannuttua tai häiriön poistuttua. Tällaisen järjestelmän toimintaperiaate on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. On-line UPS:ien toimintaperiaate.

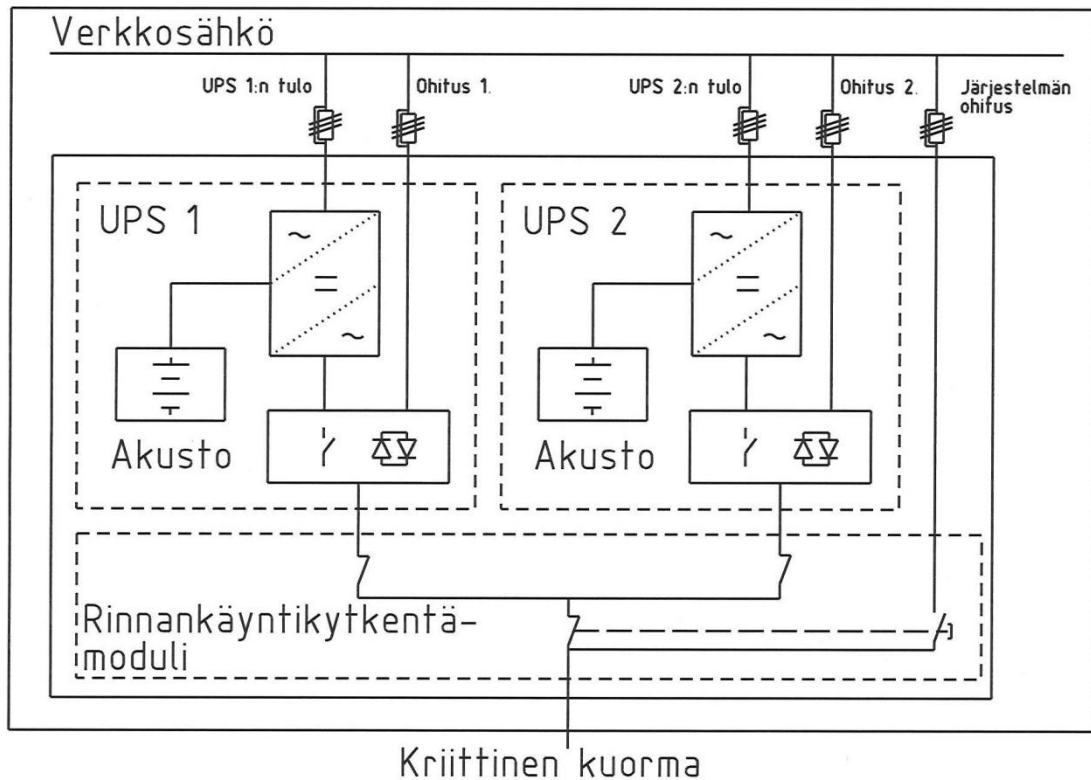
### 3.2 UPS-laitteiden rinnankäynti

Kytkemällä UPS-laitteita rinnakkain saadaan helposti ja kustannustehokkaasti järjestelmästä lisää tehoa. Taulukosta 1 ilmenee luotettavuuslukuista, että rinnankytketyillä UPS-laitteilla saavutetaan huomattavasti parempi luotettavuus. Lisäksi UPS-laitteen vikaantuessa tai ollessa huollossa, toinen UPS huolehtii kuorman syötöstä. Näin ollen järjestelmä ei kaadu yksittäisen vian vuoksi.

Taulukko 1. Luotettavuus (vikaväli) eri UPS-ratkaisuissa. /7/

<u>Järjestelmä</u>	<u>Luotettavuus</u>
<b>Yksittäinen UPS ilman staattista ohituskytkentä</b>	<b>43 000 tuntia = n. 5 vuotta</b>
<b>Yksittäinen UPS staattisella ohituskytkimellä</b>	<b>358 333 tuntia = n. 40 vuotta</b>
<b>Kaksi UPS:ia rinnakkain</b>	<b>1 979 708 tuntia = n. 235 vuotta</b>

Tällöin kummankin UPS-laitteen teho on mitoitettava maksimikuorman mukaan. Koko järjestelmä voidaan ohittaa erillisellä kytkimellä jolloin mahdolliset vikaantumiset tai laitehuollot voidaan toteuttaa molemmille UPS-laitteille samanaikaisesti sillä aikaa kun kuorma syötetään suoraan verkosta. On huomioitava että ohituskytkimen tulee samanaikaisesti irrottaa UPS-laitteiden lähdöt kuormapiiristä jotta ei aiheuteta vaaraa nk. takajännitteen muodossa. Kuvassa 6 näkyy kahden UPS-laitteen rinnankytkennän periaate.



Kuva 6. Kahden UPS:in rinnankytkennän periaate.

### 3.3 Pätö-, lois- ja näennäisteho

Vaihtovirtapiireissä, pätöteho  $P$ , on piirin todellisuudessa kuluttama teho. Pätöteho on varsinainen työtä tekevä teho. Jos vaihtovirran jännite  $U$  ja virta  $I$  eivät ole samassa vaiheessa, pätöteho on pienempi kuin näennäisteho. Pätötehon yksikkö on watti. Resistiiviset kuormat, kuten lämpöpatterit ja muut sähkövastukset kuluttavat vain pätötehoa.

Vaihtovirtapiireissä, loisteho  $Q$ , kuvaa jännitteen  $U$  ja sähkövirran  $I$  vaihe-erosta johtuvaa näennäistehon  $S$  ja pätötehon  $P$  eroavuutta. Loistehon yksikkö on vari. Loisteho voidaan laskea tehollisen jännitteen, tehollisen sähkövirran ja vaihe-eron sinin tulona.

Vaihtovirtapiirissä, näennäisteho  $S$ , on tehollisen jännitteen  $U$  ja tehollisen sähkövirran  $I$  tulo. Jos vaihtovirran jännite ja virta ovat samassa vaiheessa, näennäisteho on yhtä suuri kuin pätöteho  $P$ . Jos vaihe-ero on olemassa, näennäisteho on suurempi kuin todellisuudessa kulutettu teho. Näennäistehon yksikkö on voltiampeeri.

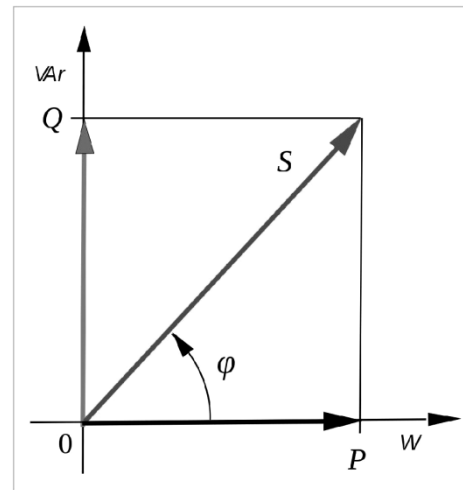
Kuvassa 7 on esitetty osoitindiagrammi, jossa näkyvät kuormien pätöteho ja peruslois-teho,  $\varphi$  on vaihekulma jännitteen ja virran välillä.

$$\cos(\varphi) = P/U * I = P/S$$

$$\text{Pätöteho} = P = U * I * \cos(\varphi)$$

$$\text{Loisteho} = Q = U * I * \sin(\varphi)$$

$$\text{Näennäisteho} = S = \sqrt{(P^2 + Q^2)}$$



Kuva 7. Induktiivisen kuorman osoitindiagrammi. /10/

### 3.4 Teho ja varakäyntiaika

Kilpiarvoista tai mittaamalla saadaan selville tarvittava teho, kun varmistetaan jo käytössä olevan kriittisen kuorman sähkönsyöttö. Mittaus on suoritettava tehollisarvoa mittaavalla virtamittarilla. Kun virta-arvo kerrotaan jännitearvolla saadaan teho näennäistehona eli VA:na.

Kilpiarvoista saadaan normaalisti esim. tietokoneen ja näytön teho W:na, VA:na tai virta A:na, Tehoja ei voi laskea suoraan yhteen, vaan ne on kaikki muunnettava joko W:si tai VA:si. Tämän jälkeen suoritetaan yhteenlasku.

Esimerkkinä mainittakoon että tietokoneiden tehokerroin on tyypillisesti 0,7, joten VA kerrottuna 0,7:llä antaa tuloksen W-määränä.

$$\text{Esimerkiksi: } 100 \text{ VA} * 0,7 = 70 \text{ W}$$

tai kääntäen

$$70 \text{ W} / 0,7 = 100 \text{ VA.}$$

Tietokoneen arvokilven tehot ovat yleensä ko. koneen teholähteen nimellisarvoja, joten todelliset tehot jäävät yleensä kilpiarvoja pienemmiksi. On huomattava että käytännössä lopullista UPS-laitteen tehoa määriteltäessä ei ole syytä unohtaa mahdollisesti tarvittavaa laajennusvaraa.

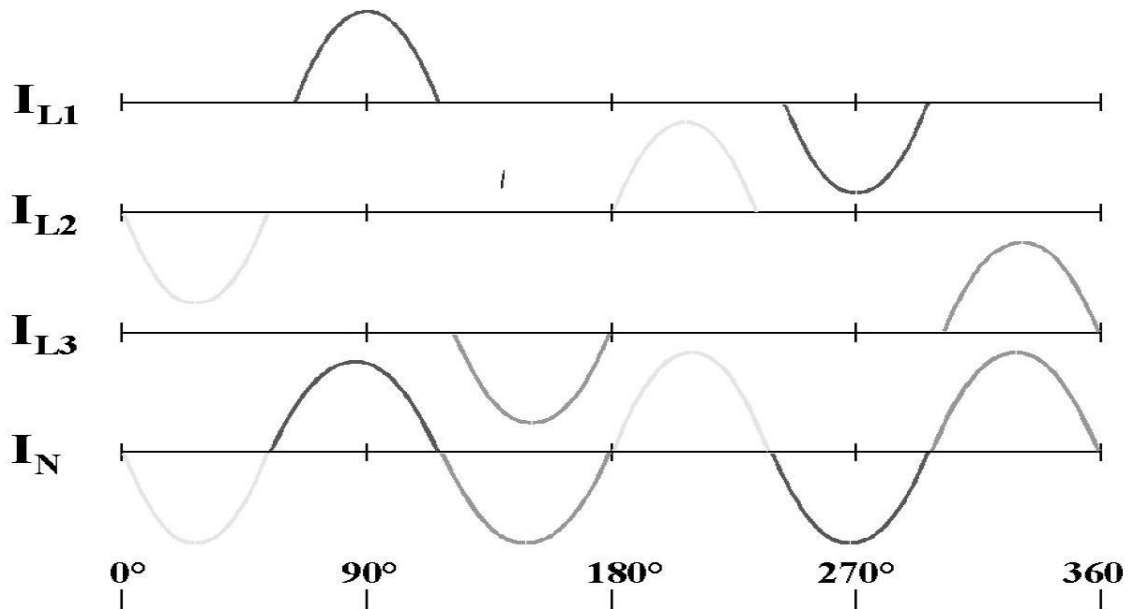
Varakäyntiaika on tyypillisesti joitakin kymmeniä minuutteja. Varakäyntiaika valitaan kunkin käyttökohteen erityisvaatimusten mukaan. Varakäyntiaikaa voidaan tarvita useita tunteja esim. prosessikäytössä, jotta varmistetaan, etteivät tärkeät prosessit sähkökatkoksissa jäisi ilman virtaa.

Pitkät varakäyntiajat ovat mahdollisia On-line UPS-laitteilla ja Line interactive UPS-laitteilla koska UPS-laitteille voidaan kytkeä lisäakustoja. Off-Line UPS:eihin ei voida kytkeä lisäakustoja ja näin ollen niiden varakäyntiaikoja on mahdotonta pidentää. /7/

### 3.5 Virta N-johtimessa

Viisijohtimisessa nollajohtimen johdinverkossa virta on yleensä vaihevirtojen summa, joka symmetriasystistä vaiheiden välillä tasaisesti jaetulla kuormituksella on nolla. Kun yksivaiheisia epälineaarisia kuormia liitetään kolmivaiheverkkoon vaiheen ja nollan välille, mitkään virran tasaukset eivät vähennä virtaa nollajohtimessa, kuten lineaarisilla kuormilla tapahtuu, vaan kolmas yliaalto summautuu nollajohtimeen.

Kuva 8 käsittelee tilannetta, jossa kaikki kolme vaiheyliaaltovirtaa ovat samansuuruisia ja niiden aaltomuoto on lähellä siniaallon puolijaksoa ja kestoaika 1/6 osa jaksosta. /7/



Kuva 8. Virran muodostus nollajohtimessa. /8/

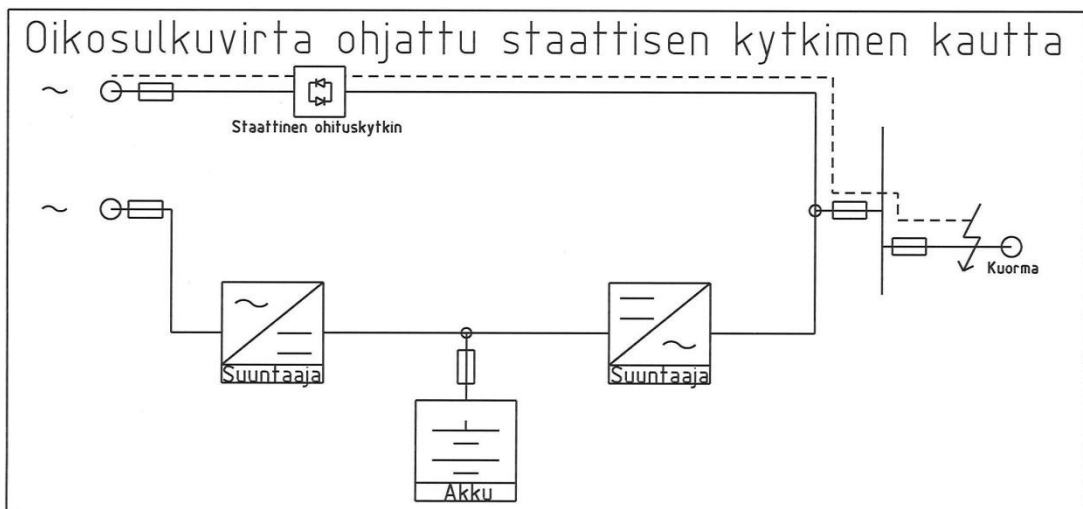
### 3.6 Suojalaitteiden selektiivisyys

Powerwaren julkaisema UPS-käsikirja toteaa: ”Selektiivisyydellä tarkoitetaan suojalaitteiden toimintaa siten, että ne oikosulku- tai ylikuormitusilanteessa erottavat käytöstä ainoastaan viallisen osan verkosta. Erottaminen pistorasiaryhmissä tulee tapahtua SFS 6000-4-41:n edellyttämässä, 0,4 sekunnissa.

Tavallisesti käytettävät suojalaitteet ovat:

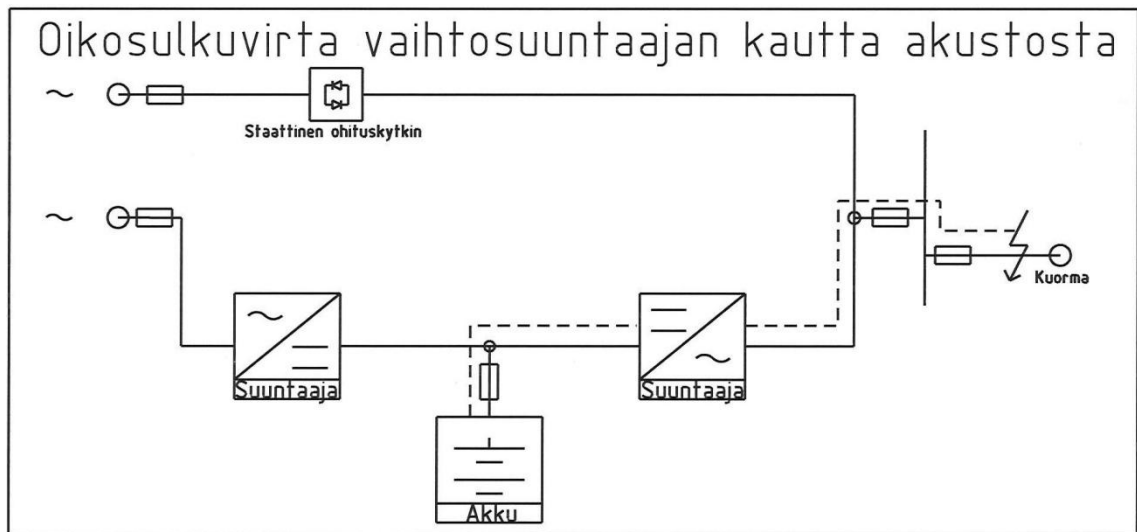
- sarjassa olevat sulakkeet
- sarjassa olevat johdonsuojakatkaisijat
- sulake ja johdonsuojakatkaisija sarjassa
- vikavirtasuojakytkimet”

Sarjassa olevien sulakkeiden selektiivisyys riippuu vikavirran suuruudesta. Tämä toimii oikein kun syöttävässä verkossa on riittävästi oikosulkukapasiteettia. Varmennetussa verkossa näin ei välttämättä ole koska oikosulkukapasiteetti on rajallinen UPS-laitteilla sekä varavoimageneraattoreilla. Ylivirta aiheuttaa silloin sen, että UPS-laite siirtyy verkkosyötölle staattisen kytkimen toimesta, jolloin verkon ylivirtasuojaus toimii (kuva 9). /7/



Kuva 9. Verkko selvittää oikosulkutilanteen. /7/

Verkkokatkoksen aikana UPS-laitteen vaihtosuuntaajan on selvitettävä tilanne, koska edellä mainittua mahdollisuutta ei ole. Vaihtosuuntaajassa on tavallisesti elektroninen virranrajoitus, joka sallii tietyn ajan jatkuvaa oikosulkuvirtaa. Rajoitetusta tehokapasiteetista huolimatta, oikein valitulla suojalaitteella verkon viallinen osa saadaan erotettua verkosta halutussa ajassa (kuva 10)./7/



Kuva 10. Vaihtosuuntaaja syöttää oikosulkuvirran verkkokatkon aikana. /7/

## 3.7 UPS-laitteen akusto

Akku eli akkumulaattori on laite, joka ladattaessa muuttaa sähköenergian kemialliseksi energiaksi, ja purettaessa takaisin sähköenergiaksi. Akkujen kapasiteetti esitetään ampeeritunteina. Teoreettisesti pystytään esimerkiksi 60 Ah akusta purkamaan 60 ampeeria virtaa tunnin ajan, mutta todellisuudessa akun ominaisuudet vaihtelevat purkauksen aikana. UPS-laitteissa käytetään suljettuja tai avoimia lyijyakkuja sekä nikkeli-kadmiuminakkuja.

### 3.7.1 Lyijyakut

Suljetun lyijyakun energiamäärä lyhyillä purkausajoilla on huomattavasti suurempi kuin avoimilla lyijyakuilla ja niitä käytetään eniten UPS-laitteissa joiden varakäyntiaika on luokkaa 10 minuuttia ja sinä aikana saadaan kaksinkertainen energiamäärä verrattuna avoimista lyijyakuista saatavaan energiamäärään. Tämä akkutyyppeä voidaan myös asentaa UPS-laitteen sisään tai omaan akkukaappiin, jolloin sijoittaminen on vapaampaa kuin avoimien akkujen.

Käytettävät akkutyypit ovat ns. ”5 vuoden akkuja” ja ”10 vuoden akkuja”. Näistä 5 vuoden akku on käytetyin ja 10 vuoden akkua käytetään silloin kun tarvitaan enemmän tehoa ja pitempiä varakäyntiaikoja. Lämpötilan vaikutus akun elinikään on huomioitava. Suositeltavin ympäristölämpötila on +20 °C. Jos lämpötila nousee 10 asteella, akun elinikä putoaa noin puoleen ja lämpötilan laskiessa energianluovutuskyky heikkenee.

Avoimien lyijyakkujen haittoina UPS-käytössä on suuri tilantarve, asennus erilliseen riittävästi tuuletettuun akkuhuoneeseen sekä huono lyhytaikainen purettavuus. Toisaalta avoimien akkujen etuna on pidempi käyttöikä jopa 20 vuotta. Avoimia lyijyakkuja käytetään vaihtoehtona suljetuille 10 vuoden akuille silloin kun tarvitaan useiden tuntien varakäyntiaikaa.

Avoimet akustot on sijoitettava erilliseen ilmastoituun akkutilaan avotelineille. Avotelinet on varustettava vuotoaltailla, niiden edellyttämän huollon ja elektrolyytin vuotoris-

kin takia. Akkujen pitkän käyttöiän turvaamiseksi akkutilan tulee olla kuiva ja lämpötilan alueella +15 ... 25 °C.

### **3.7.2 Nikkeli-kadmiumakkuja**

Nikkeli-kadmiumakut ovat omiaan lähinnä pitkää käyttöikää vaativiin tai suuria lämpötilavaihteluja kokeviin olosuhteisiin, käyttöikä on käytöstä riippuen jopa 20 vuotta ja akkujen käyttölämpötila-alue -50 ... + 70 °C. Nikkeli-kadmiumakut ovat periaatteessa huoltovapaita eikä niissä kehity ladattaessa vetykaasua. Tällöin ei akkutilalta vaadita esim. tuuletusta. Haittana näissä akuissa on suuri tilantarve sekä lyijyakkuja huomattavasti korkeampi hankintahinta.

## 4 YHTEENVETO

UPS-laite on yksi tärkeimmistä osatekijöistä kun halutaan suojata elektronisia laitteita erilaisilta häiriöiltä sähköverkosta. Syy tähän on sen monipuolisuus kun se pystyy suodattamaan tulevan virran, syöttämään akuista virtaa sähkökatkoksen aikana ja syöttämään normaalitilanteessa hyvälaatuista virtaa siihen kytketyille kuormille.

Tässä työssä selvitettiin Loviisan ydinvoimalaitoksen UPS-laitteiston nykyistä kuormitusta ja tarvittavia toimenpiteitä jos havaittavissa oli puutteita tai virheitä. Nykyinen kuorma jokaisessa UPS-laitteessa oli vain noin puolet siitä mitä se saisi maksimissaan olla, mikä tarkoittaa että siihen voi vielä lisätä elektronisia laitteita tulevaisuudessa. Loviisan ydinvoimalaitoksen varmennetun verkon takia on vain pieni mahdollisuus että kuormat jäävät ilman sähköä. Tätä on hyvin optimoitu sähköverkon loppupäässä tärkeille laitteille UPS-syötön ansiosta. On vielä hyvä mainita, että jotta häiriötön ja turvallinen toiminta on mahdollista, on UPS-laitteen aina toimittava.

Ydinenergialain 11.12.1987/990 nojalla työn yksityiskohtaista teknistä osuutta ei julkaista tässä yhteydessä.

## LÄHDELUETTELO

- /1/ Fortum Power and Heat Oyj. 2007. *Loviisan voimalaitoksen esite*.
- /2/ Fortum Power and Heat Oyj. 2009. *Loviisan voimalaitoksen esite*.
- /3/ STUK. *Loviisan turvajärjestelmät ja suojarakennus* [www]. Saatavissa: [http://www.stuk.fi/ydinturvallisuus/ydinvoimalaitokset/loviisa/fi\\_FI/loviisa\\_turvajarjestelmat/](http://www.stuk.fi/ydinturvallisuus/ydinvoimalaitokset/loviisa/fi_FI/loviisa_turvajarjestelmat/) Haettu 8.2.2011.
- /4/ STUK. *Loviisan voimalaitos* [www]. Saatavissa: [http://www.stuk.fi/ydinturvallisuus/ydinvoimalaitokset/loviisa/fi\\_FI/loviisa/](http://www.stuk.fi/ydinturvallisuus/ydinvoimalaitokset/loviisa/fi_FI/loviisa/) Haettu 7.2.2011.
- /5/ STUK. *STUK* [www]. Saatavissa: [http://www.stuk.fi/stuk/fi\\_FI/index/](http://www.stuk.fi/stuk/fi_FI/index/) Haettu 7.4.2011.
- /6/ STUK. *YVL-ohjeisto* [www]. Saatavissa: [http://www.stuk.fi/ydinturvallisuus/ydinvoimalaitokset/saannosto/fi\\_FI/yvl/](http://www.stuk.fi/ydinturvallisuus/ydinvoimalaitokset/saannosto/fi_FI/yvl/) Haettu 7.4.2011.
- /7/ Tummavuori, Juha. 2004, *UPS-laitteen valinta ja asennus (UPS-käsikirja)* [www]. Saatavissa: [http://lit.powerware.com/ll\\_download.asp?file=UPS\\_kasikirja.pdf](http://lit.powerware.com/ll_download.asp?file=UPS_kasikirja.pdf) Haettu 10.2.2011.
- /8/ Wikipedia. *Uninterruptible power supply* [www]. Saatavissa: [http://en.wikipedia.org/wiki/Uninterruptible\\_power\\_supply](http://en.wikipedia.org/wiki/Uninterruptible_power_supply) Haettu 3.2.2011.
- /9/ Wikipedia. *UPS* [www]. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/UPS> Haettu 3.2.2011.
- /10/ Wikipedia. *Växelström* [www]. Saatavissa: <http://se.wikipedia.org/wiki/Växelström> Haettu 14.4.2011.
- /11/ Wikipedia. *Ydinvoima Suomessa* [www]. Saatavissa: [http://fi.wikipedia.org/wiki/Ydinvoima\\_Suomessa](http://fi.wikipedia.org/wiki/Ydinvoima_Suomessa) Haettu 7.2.2011.