



*Leena Korpinen (toim.)*

## **WWW-KURSSI: SÄHKÖ, ELEKTRONIikka JA YMPÄRISTÖ**

*Tampere 2006*



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
Sähkötekniikka ja terveys -laboratorio



VAASAN YLIOPISTO



EUROOPAN YHTEISÖ  
Rakennerahastot

Leena Korpinen (toim.)

**WWW-kurssi: Sähkö, elektroniikka ja ympäristö**

ISBN 952-15-1629-1



## Esipuhe

### **Sähkö, elektroniikka ja ympäristö -kurssi johdattaa sinut tekniikan mielenkiintoiseen maailmaan**

Sähkö, elektroniikka ja ympäristö -kurssi voi olla alku tulevaisuuden urallesi tekniikan parissa. Lähde rohkeasti mukaan! Tekniikan alalla on paljon kiehtovaa tarjottavaa myös tytöille. Työt tekniikan alalla ovat monipuolisia ja työ on arvostettua ja hyvin palkattua.

Sähkö, elektroniikka ja ympäristö -kurssi on tarkoitettu ensisijaisesti lukion opiskelijoille. Kurssin tavoitteena on tutustua käytännönläheisesti sähköjärjestelmään ja elektroniikkalaitteisiin sekä näihin liittyviin terveys- ja ympäristökysymyksiin. Kurssi koostuu verkkoluennosta sekä niihin liittyvistä tehtävistä. Luentojen tukena käytetään tätä kirjaa.

Opiskelu on mielekästä ja havainnollista, opit käytännönläheisesti kokemusten ja toiminnan kautta. Ensin luet verkkoluennon materiaalin ja sitten vastaavan luvun tästä kirjasta. Sen jälkeen testaat oppimasi verkkoluennon yhteydessä olevien tehtävien avulla. Lisäksi tutustut aiheeseen käytännössä tekemällä kirjassa olevia tehtäviä. Jokaisen luennon päätteeksi voit antaa palautetta opiskelusi aikana heränneistä ajatuksista, tuntemuksista ja epäselvistä asioista täyttämällä verkossa olevaa palautepäiväkirjaa. Palautepäiväkirjassa annat vastaukset myös käytännön tehtäviin.

Kirja on tuotettu ryhmätyönä Tampereen teknillisessä yliopistossa (TTY). Työhön osallistuivat allekirjoittaneen lisäksi Marika Keskinen, Meri-Tuuli Kulmala ja Kirsi Virtanen sekä Tarja Kivimäki, Saini Sorsa, Matti Tuomi ja joukko oppilaita Pirkkalan yhteislukiosta. Myös Riitta Lehtelä ja Leena Luoma ovat auttaneet kirjan teossa. Kirjaan on otettu kuvia ja tekstejä TTY:n opintomonisteesta 1-2001: Sähkö- ja elektroniikkateollisuuden ympäristökysymykset. Kirjan muut kuvat on julkaistu Fingrid Oyj:n luvalla. Hankkeessa mukana olevien yritysten edustajat ovat myös kommentoineet kirjaa.

Verkkokurssi Sähkö, elektroniikka ja ympäristö on kehitetty TTY:ssa toteutettavassa E-Girls - Kohti tekniikkaa -hankkeessa, johon Vaasan yliopiston teknillinen tiedekunta on myös liittynyt mukaan. Kurssin pilottilukiona on ollut Pirkkalan yhteislukio. Mukana ovat olleet myös Pirkanmaalta Hatanpään ja Valkeakosken lukiot, Jalasjärven lukio Pohjanmaalta sekä Eurajoen lukio Länsi-Suomesta. Mukaan pyritään saamaan myös mm. Vaasan seudun lukioita. Hanketta rahoittavat Euroopan sosiaalirahasto (ESR), Etelä-Suomen lääninhallitus ja valtio. Yhteistyökumppaneita ovat Pirkkalan yhteislukio, Fingrid Oyj, Nicefactory Oy, Energiateollisuus ry, Teknologiateollisuus ry, eTampere, TTY:n opetuksen kehittämispalvelut ja TTY:n ylioppilaskunta.

Kiitos kaikille kirjan ja verkkokurssin tekoon osallistuneille.  
Ja lukiolaisille tervetuloa tekniikan kiehtovaan maailmaan!

Tampereella 1.8.2006

*Leena Korpinen*



## Sisällysluettelo

<b>1. Johdanto .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Tekniikan vaikutukset terveyteen.....</b>	<b>2</b>
2.1. Eri tutkimusmenetelmien esittely .....	2
2.2. Laboratoriossa tehtävät tutkimukset .....	3
2.3. Väestölle tehtävät tutkimukset.....	3
<b>3. Sähkölaitteiden käyttö.....</b>	<b>5</b>
3.1. Maadoitukset.....	5
3.2. Suojaus sähköiskulta.....	6
<b>4. Elektroniikkalaitteista syntyvä jäte ja sen vähentäminen .....</b>	<b>10</b>
4.1. Kotona syntyvä elektroniikkaromu.....	10
4.2. Elinkaarianalyysi ja ympäristömyönteinen tuotesuunnittelu.....	11
<b>5. Sähköjärjestelmät .....</b>	<b>13</b>
5.1. Kodin sähköjärjestelmä.....	13
5.2. Valtakunnan verkko .....	14
5.3. Sähkönsiirtoon liittyvän ympäristösuojelun osa-alueet .....	14
<b>6. Sähkön tuotanto ja siihen liittyvät päästöt.....</b>	<b>16</b>
6.1. Sähköntuotanto .....	16
6.2. Peruskuormalaitokset.....	16
6.3. Huippuvoimalaitokset.....	17
6.4. Sähköntuotannon ympäristövaikutukset .....	18
<b>7. Sähkömagneettiset kentät ja säteily .....</b>	<b>20</b>
7.1. Sähkö- ja magneettikentät.....	20
7.2. Sähkömagneettinen säteily ympäristökysymyksenä.....	21
7.3. Pientaajuiset sähkö- ja magneettikentät.....	21
7.4. Suurtaajuiset sähkö- ja magneettikentät .....	22
<b>Lähteet .....</b>	<b>24</b>



## 1. Johdanto

**Elämää ei voisi olla ilman sähköä ja siihen liittyviä ilmiöitä. Hermostojen toiminta perustuu sähköön ja monen maanpäällisen eliöstön kasvuedellytys on auringonvalo, joka taasen on sähkömagneettista säteilyä. Ihminen on osannut valjastaa sähköä aktiivisesti käyttöönsä vasta noin kaksisataa vuotta.**

Pahimmillaan ympäristöön kohdistuvat vaikutukset ovat globaaleja. Runsas fossiilisten polttoaineiden käyttö energialähteenä on johtanut kasvihuoneilmion kiihtyvään kasvuun. Energiantuotannosta ja liikenteestä vapautuvat päästöt aiheuttavat happamoitumista, joka vaikeuttaa eliöiden kasvua maaperässä. Osa teollisuudessa käytetyistä aineista on aiheuttanut otsonikatoa, joka lisää UV-säteilyn määrää maapallolla.

Ilmastopimuksilla pyritään vähentämään hiilidioksidipäästöjä ja siten estämään kasvihuoneilmion kehittyminen. Kuluttajien ympäristötietouden kasvaessa ympäristönäkökohtien huomioiminen on voimakkaasti mukana myös teollisuudessa. Valinnoissa pyritään kestävään kehitykseen, jolloin luonnonvaroja käytetään vain sen verran kuin uusiutumisen kannalta on mahdollista.

Tämän kirjan tarkoituksena ei ole perehtyä sähköön fysikaalisena ilmiönä, vaan tavoitteena on kertoa niistä ympäristövaikutuksista, joita sähköä käytöstä on aiheutunut. Käsiteltävinä aiheina ovat muun muassa sähkölaitteiden kierrätys ja käyttöturvallisuus, sähköverkkojen rakentamiseen liittyvät maisemalliset ongelmat sekä eri säteilylajien terveysvaikutukset. Pyrkimyksenä on, että kurssin aikana opiskelijalle muodostuu kattava kokonaiskuva siitä, millä tavalla osa-alueita sähköä käyttöön liittyy ja millaisia ympäristö- ja terveysvaikutuksia ne aiheuttavat.

**Käytännön tehtävä:**

**Pohdi, miten elät päivän ilman sähköä.**





## 2. Tekniikan vaikutukset terveyteen

Tekniikalla on merkittävä vaikutus ihmisten ja ympäristön hyvinvointiin. Hyvinvointia pyritään edistämään esimerkiksi lääketieteellisen tekniikan tai ympäristötekniikan avulla. Tekniikka heikentää hyvinvointia erilaisten ympäristöön pääsevien saasteiden muodossa. Muun muassa sähkön tuotannosta aiheutuu ympäristövaikutuksia. Ympäristöystävälliset sähkön tuotantomuodot, kuten vesi- ja tuulivoima aiheuttavat ympäristövaikutuksia hyvin vähän, kun taas kivihieillä tai öljyllä tuotettu sähkö on merkittävä ympäristön saastuttaja. Tekniikan terveysvaikutuksia voidaan tutkia useilla eri menetelmillä. Yleisin tapa tutkia saasteille altistumista on näytteiden kemiallinen analysointi. Väestön terveydentiloja ja sairauksien esiintyvyyttä voidaan tutkia myös epidemiologisten menetelmin.

### 2.1 Eri tutkimusmenetelmien esittely

#### Kemikaalialtistumisen arviointi

Ihmisen altistuminen ympäristön saasteille tapahtuu monen eri osa-alueen summana. Saasteille altistutaan tavallisesti ilman, ruuan ja juomaveden välityksellä. Altistumista voidaan tutkia analysoimalla kemiallisesti näytteitä esimerkiksi elintarvikkeista ja ympäristöstä. Tarkkojen tulosten saamiseksi on tunnettava kemikaalin esiintyminen ja ominai-

suudet. Tietoa vaaditaan myös kemikaalien imeytymisestä hengitysteissä ja ruuansulatuskanavassa. Kemikaaleja voidaan arvioida myös suoraan biologisista näytteistä. Biologisten vaikutusten selvittäminen antaa epäsuoraa tietoa ihmisen kemikaaleille altistumisesta, mutta terveysvaikutusten kannalta tieto voi olla merkittävää. (Mussalo-Rauhamaa & Jaakkola 1993)

#### Epidemiologiset menetelmät

Epidemiologia on tieteenala, joka tutkii ter-



veydentilojen ja sairauksien määreitä ja esiintyvyyttä väestössä. Epidemiologisia menetelmiä käytettäessä arvioidaan terveysvaikutuksia tutkimusaineiston avulla ja tehdään päätelmiä sairauksien esiintyvyydestä ja siihen vaikuttavista tekijöistä. Ympäristöepidemiologia selvittää empiirisiä (kokeellisia) metodeja käyttäen ympäristön terveysvaikutuksia.

## 2.2 Laboratoriossa tehtävät tutkimukset

### Ympäristönäytteiden kemiallinen analyysi

Ympäristönäytteiden kemiallisia analyysejä tehdään muun muassa ilmanäytteistä, elintarvikkeista ja juomavedestä. Tunnetuimmille ympäristömyrkyille on pääosin pystytty kehittämään kemiallinen määrittäminen. Kemiallisten aineiden terveysvaikutuksia arvioitaessa on tärkeää, että yksilöiden väliset herkkyserot otetaan huomioon, koska erilaisille ympäristössä esiintyvillä kemiallisilla aineille altistumisen yksilölliset erot ovat suuria. (Mussalo-Rauhamaa & Jaakkola 1993)

### Biologisten näytteiden kemiallinen analyysi

Biologisten näytteiden käyttäminen on joissakin tapauksissa hyvä, ja ehkä ainoa vaihtoehto tietyn kemikaalin määrittämisessä. Jos yhdiste on imeytynyt esimerkiksi ihon kautta, biologinen määrittäminen on ainoa keino arvioida altistumisen suuruutta. Myös onnettomuustilanteissa biologinen määrittäminen on usein paras

vaihtoehto, sillä altistumistilannetta ei aina kannata simuloida ja ilmamittauksia harvoin ehditään tehdä. Biologiset mittaukset sopivat erityisen hyvin myös silloin, kun altistumislähteitä on useita.

Suurin osa kemiallisesti mitattavista yhdisteistä voidaan määrittää biologisista näytteistä. Tulosten tulkinta edellyttää kuitenkin yhdisteiden ominaisuuksien tarkkaa tuntemista, mikä rajoittaa biologisten mittausten käyttöä kemikaalialtistumisen arvioinnissa. Esimerkiksi veri- ja virtsamittauksissa on näytteenottoajankohdalla suuri merkitys yhdisteitä tutkittaessa. Jos ihminen on altistunut esimerkiksi jollekin orgaaniselle yhdisteelle, jonka puoliintumisaika on elimistössä lyhyt, on näyte saatava nopeasti. Joissakin tapauksissa altistumisarvioita voidaan tehdä myös helposti saatavista kudoksenäytteistä, esimerkiksi seeleneä voidaan määrittää hiuksista ja kynsistä, lyijyä hampaista ja elohopeaa hiuksista. Nämä testit soveltuvat pitkän aikavälin altistumisen tutkimiseen. Altistumisen biologisten vaikutusten analysointiin on käytössä monia erilaisia menetelmiä. Biologisten näytteiden analysointi ja tulosten tulkitseminen on kuitenkin usein vaativaa ja työlästä. (Mussalo-Rauhamaa & Jaakkola 1993)

## 2.3 Väestölle tehtävät tutkimukset

### Epidemiologinen tutkimus

Epidemiologisen tutkimuksen päätavoite voi olla tutkimus tietyn altistumisen vaikutuksista sairastavuuteen, jolloin keskitytään paikallisten ongelmien selvittämiseen. Esimerkkinä



voisi olla sairastavuuden ja paikkakunnalla sijaitsevan tehtaan välisen yhteyden määrittäminen. Tavoite voi olla myös paikallisen tiedonhankinnan sijaan tieteellinen, joka tuottaa tietoa yleisemmällä tasolla ja antaa mahdollisuuden selvittää sekä paikallisten että yleisten ongelmien syitä. (Miettinen 1985)

Epidemiologinen tutkimus perustuu sairauksien esiintyvyyden ja tutkittavalle aineelle altistumisen välisen yhteyden selvittämiseen. Yhteyttä voidaan arvioida sekä kvalitatiivisesti että kvantitatiivisesti. Kvalitatiivinen tutkimus on laadullista tutkimusta. Kvalitatiivisesti tutkitaan esimerkiksi sitä, onko altistuksella yleensä ollenkaan vaikutusta jonkin sairauden esiintymiseen. Kvantitatiivinen tutkimus on määrällistä tutkimusta. Kvantitatiivisesti tutkitaan esimerkiksi sitä, kuinka moni on altistunut tutkittavalle aineelle, ja kuinka moni altistuneista on sairastunut. Kvantitatiivinen tutkimus vaatii huomattavia resursseja, ja tällä hetkellä vain yleisimpien ympäristösaasteiden vaikutuksia pystytään tutkimaan. Joskus esimerkiksi jonkun ympäristötekijän tunnistaminen terveydelle haitalliseksi on riittävää. Haitallinen aine voidaan poistaa ympäristöstä, esimerkiksi teollisuusprosesseja muuttamalla. Usein kuitenkin joudutaan valitsemaan tunnetuista terveydelle haitallisista aineista vaarattomin. Kvantitatiivinen seuranta on tällöin kansanterveydellisestä näkökulmasta tärkeää. (Mussalo-Rauhamaa & Jaakkola 1993)

### **Epidemiologiset tutkimusmenetelmät**

Epidemiologista tutkimusta suunniteltaessa altistuksen ja sairauden välisen yhteyden

määrittäminen on tärkeää. Tutkittava terveysvaikutus, tutkittava määre (esimerkiksi altiste), muovaavat tekijät ja sekoittavat tekijät on hahmotettava.

Jos terveysvaikutus vaihtelee jonkin tietyn tekijän suhteen, puhutaan muovaavasta tekijästä. Esimerkiksi mikäli ilmansaasteiden vaikutus hengitysteihin on voimakkaampi astmaa sairastavilla henkilöillä kuin muilla, astma on ilmansaasteen hengitysvaikutusta muovaava tekijä. Sekoittavat tekijät puolestaan vääristävät tutkimustuloksia. Esimerkiksi jos tutkitaan ilmansaasteiden vaikutusta hengitysteihin, on tupakointi mahdollinen sekoittava tekijä. (Mussalo-Rauhamaa & Jaakkola 1993, Korpinen ym. 1995)

### **Epidemiologisen tutkimuksen ongelmat**

Kun ympäristön saasteita tutkitaan epidemiologisesti, yksittäisten saasteiden vaikutuksesta on hankalaa saada tarkkoja tietoja. Yksilöiden herkkyys ympäristösaasteiden vaikutuksille saattaa vaihdella huomattavasti. Lisäksi usein altistutaan samanaikaisesti usealle saasteelle. Ympäristötekijöillä, esimerkiksi ilmansaasteilla, saattaa olla yhteisvaikutuksia, jotka vaikeuttavat tutkimusta ja sekoittavat tutkimustuloksia. (Mussalo-Rauhamaa & Jaakkola 1993)

#### **Käytännön tehtävä:**

**Pohdi, miten voisit tutkia tietokoneen käyttöön liittyviä terveysvaikutuksia.**





### 3. Sähkölaitteiden käyttö ja sähköturvallisuus

Vakavien sähkötapaturmien määrä Suomessa on vähentynyt viimeisten vuosikymmenten aikana jatkuvasti, vaikka sähkön käyttö on kasvanut runsaassa 60 vuodessa yli 70-kertaiseksi. Suomessa kuolee vuosittain keskimäärin 3 - 4 ihmistä sähkötapaturmissa. Yleisimmät syyt kuolemaan johtaviin tapaturmiin ovat varomattomuus ja omat viritykset. Tapaturmien ehkäisemiseksi on kehitetty useita teknisiä ratkaisuja. Näistä osalla pyritään estämään kosketus jännitteisiin osiin ja osalla pyritään rajoittamaan kosketusaikaa ja -jännitettä, jolloin vaara minimoituu. (Turvatekniikan keskus 2004)

#### 3.1 Maadoitukset

Maadoittaminen tarkoittaa jonkin virtapiirin osan tai sähkölaitteen johtavan osan yhdistämistä maahan maadoituselektrodin avulla. Maadoitus on tärkeä toimenpide, jolla sähkön jakelujärjestelmä voidaan tehdä käyttäjälle turvallisiksi. Maadoitukset voidaan jakaa käyttö- ja suojamaadoituksiin.

Käyttömaadoitus tarkoittaa virtapiiriin kuuluvan osan maadoittamista. Suojamaadoitus puolestaan tarkoittaa virtapiiriin kuulumattoman osan, kuten laitteen kuoren, yhdistämistä suojajohtimella maadoitusjärjestelmään (Aura

& Tonteri 1993)

Kojeen runkoon voi syntyä vaarallinen kosketusjännite sen eristyksen vioittuessa. Ihmisen koskettaessa suojamaadoittamattomassa järjestelmässä samaan aikaan viallista kojetta ja maapotentiaalissa olevaa kohdetta, esimerkiksi vesijohtoa, syntyy vikavirtapiiri, jossa ihmisen läpi kulkeva vikavirta voi olla jopa hengenvaarallinen. Suojamaadoituksen tarkoituksena on saada aikaan suljettu vikavirtapiiri, jossa vikavirta kulkee vikakohdan kautta suojajohtimen välityksellä verkon nol-lajohtimeen (joka on maapotentiaalissa), jolloin ihminen ei joudu osaksi vikavirtapiiriä.



Hyvät maadoitukset pienentävät myös kosketusjännitteitä vikatapauksissa.

### 3.2 Suojaus sähköiskulta

Sähkökäyttäjien suojaus sähköiskulta voidaan jakaa kahteen eri tapaan. Ensimmäisessä tavassa, eli kosketussuojauksessa, estetään kosketus jännitteiseen osaan ja toisessa tavassa, eli kosketusjännitesuojauksessa, rajoitetaan jännitteen ja virran vaikutusaika mahdollisimman lyhyeksi tai pidetään koskeltavissa oleva jännite niin pienenä, että vaaraa ei aiheudu. (Sähkötarkastuskeskus 1995)

#### Kosketussuojaus

Kosketussuojauksella yleisesti tarkoitetaan suojausta, joka estää ihmisiä joutumasta kosketuksiin jännitteisten osien kanssa sähkölaitteiden ollessa normaalissa tilassa (ei viallisia). (Sähkötarkastuskeskus 1995)

Kosketussuojaukseen käytettävät menetelmät voidaan jakaa kahteen luokkaan seuraavasti:

1. Suojaus jännitteiset osat eristämällä ja suojaus koteloinnin tai suojausten avulla ovat tapoja muodostaa täydellisin suoja. Tämän takia näitä menetelmiä voidaan käyttää kaikissa olosuhteissa.
2. Suojaus käyttämällä esteitä tai sijoittamalla jännitteiset osat kosketusetäisyyden ulkopuolelle antavat osittaisen suojan koskettamiselta

ja sen takia menetelmät tulevat kysymykseen vain erityistapauksissa. Yleensä näitä menetelmiä käytetään tiloissa, joihin on pääsy sähköalan ammattihenkilöillä.

#### *Suojaus eristämällä jännitteiset osat*

Tyypillisin esimerkki tästä suojaustavasta on johtimien eristäminen. Sähkölaitteen eristystason täytyy vastata asennuksen suurinta nimellisjännitettä. Useimmiten suojaus toteutuu standardien vaatimusten mukaisia tarvikkeita käyttämällä.

#### *Suojaus käyttämällä suojuksia ja kotelointia*

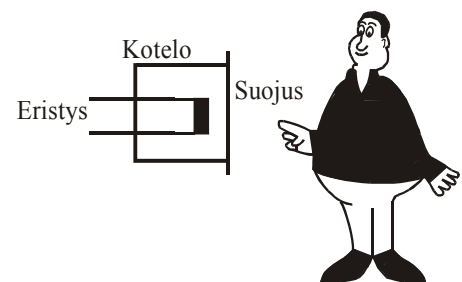
Kotelointia käytettäessä tulee koteloinnin olla vähintään luokkaa IP2X, mikä tarkoittaa, että kojeeseen ei voi työntää sormeja sisään. Usein käyttöolosuhteet kuitenkin asettavat suurempia vaatimuksia. Käyttötoimenpiteiden takia joissakin laitteissa ei voi olla täydellistä kosketussuojaa.

Päiväkodeissa ja muissa tiloissa, joissa lapset oleilevat, tulisi pistorasioiden olla turvapistorasioita, ellei niitä vaihtoehtoisesti ole sijoitettu siten, että lapset eivät pääse niihin käsiksi.

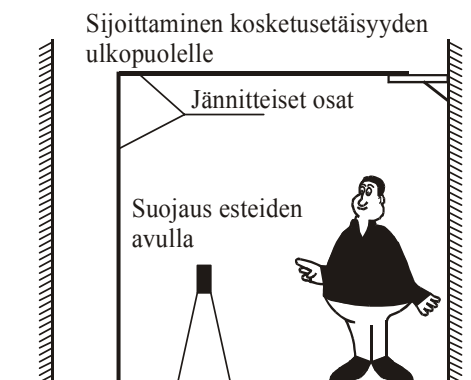
#### *Suojaus esteiden avulla*

Tätä suojaustapaa käytetään Suomessa rajoitetummin kuin kansainvälisesti. Sitä käytetään esimerkiksi tietyissä prosessiteollisuuden laitteistoissa. Sähkölaittekorjaamoissa, sähkölaboratoriossa sekä testauksilanteissa ei aina voida käyttää kotelointia tai eristystä,





*Suojaus kaikelta koskettamiselta*



*Suojaus tahattomalta koskettamiselta  
(Sähkötarkastuskeskus 1995)*

jolloin suojaus voidaan toteuttaa esteiden avulla. Tällaisiin tiloihin on pääsy yleensä ainoastaan sähköalan ammattihenkilöillä, joille on annettu tarvittavat lisäohjeet erikois-tiloissa työskentelyä varten.

#### *Suojaus sijoittamalla jännitteiset osat kosketusetäisyyden ulkopuolelle*

Tätä suojausmenetelmää käytetään esim. ilmajohdoissa. Muissa tapauksissa tämän suojausmenetelmän käyttö tulee kyseeseen vain erikoistapauksissa.

#### *Lisäsuojaus käyttämällä vikavirtasuojakytkintä*

Vikavirtasuojakytkin mittaa syöttö- ja paluujohtimen virtojen erotusta. Jos erotus on yli asetteluarvojen, katkaisee kytkin virtapiirin. On käynyt ilmi, että tavalliset kosketussuojamenetelmät voivat joskus pettää esimerkiksi puutteellisen huollon, eristeiden heikentymisen tai sähkölaitteen käyttäjien huolimattomuuden takia.

Näiden syiden aiheuttamaa sähköiskun vaaraa voi pienentää esimerkiksi nimellisvirraltaan korkeintaan 30 mA vikavirtasuojakytkimen käytöllä tietyissä asennuksen osissa. Vikavirtasuojakytkimen käyttöä lisäsuojana vaaditaan esimerkiksi ulkopistorasioita syöttävissä piireissä ja monissa erityistiloissa. Vikavirtasuojakytkimen lisäksi on käytettävä jotain aikaisemmin mainittua kosketussuojamenetelmää. (Sähkötarkastuskeskus 1995)

#### **Kosketusjännitesuojaus**

Kosketusjännitesuojauksella estetään ihmisiä tai kotieläimiä koskettamasta vian seurauksena jännitteellisiksi tulleita johtavia osia niin, että siitä aiheutuisi koskettajalle vaaraa. (Sähkötarkastuskeskus 1995)

#### *Syötön automaattinen poiskytkentä*

Suojaus syötön automaattisesti toimivan poiskytkennän avulla on yleisin asennuksissa



käytetty kosketusjännitesuojausmenetelmä. Aikaisemmin tämän menetelmän mukaisista suojaehdoista on yleisesti nimitetty “nollausehdoksi” ja on puhuttu “nollausehtojen toteutumisesta”. Kyseessä on kuitenkin ollut vaatimus nopeasta vian poiskytkennästä tai kosketusjännitteen rajoittamisesta.

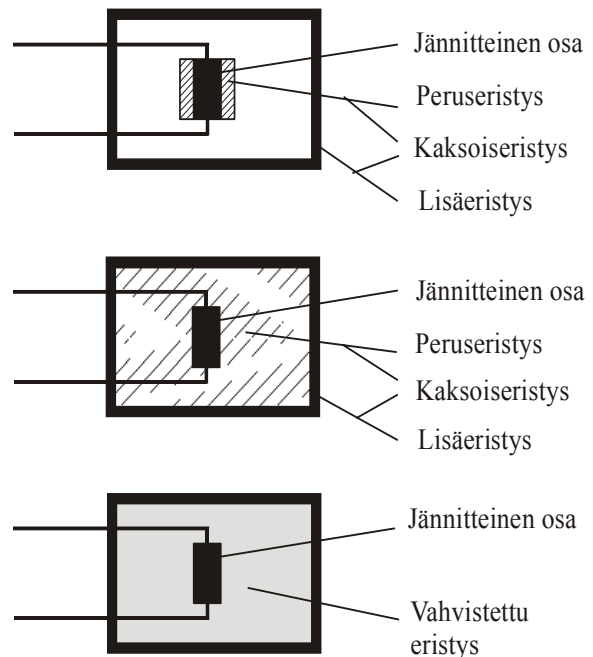
Eristysvian aiheuttama vikavirta ja syntyvä kosketusjännite on pystyttävä poistamaan niin nopeasti, ettei se aiheuta ihmiselle vaaraa. Kunnolla toimiakseen suojausmenetelmän on täytettävä kaksi ehtoa:

1. Virtapiirissä on oltava johtava yhteys - suunniteltu vikavirtapiiri - mahdollistaen vikavirran kulkemisen. Vikavirtapiiriin rakenne riippuu käytettävästä maadoitusjärjestelmästä. Jotta tämä ehto täytyisi, on kaikki asennuksesta syötettävien sähkölaitteiden jännitteelle alttiit osat yhdistettävä suojajohtimella maadoitusjärjestelmään niin, että syntyy vikavirtapiiri.

2. Vikavirta täytyy kytkeä pois sopivalla suojalaitteella. Poiskytkentäajan pituuden vaatimus riippuu eri tekijöistä, esim. kosketusjännitteestä. Sallittu kosketusjännitteen suuruus ja sen kestoaika perustuvat tehtyihin tutkimuksiin sähkövirran vaikutuksista ihmiseen.

#### *Suojaus käyttämällä suojaeristystä*

Tällä suojausmenetelmällä pyritään estämään vaarallisen kosketusjännitteen syntymisen käyttämällä sähkölaitteessa peruseristysen lisäksi lisäeristystä tai käyttämällä vah-

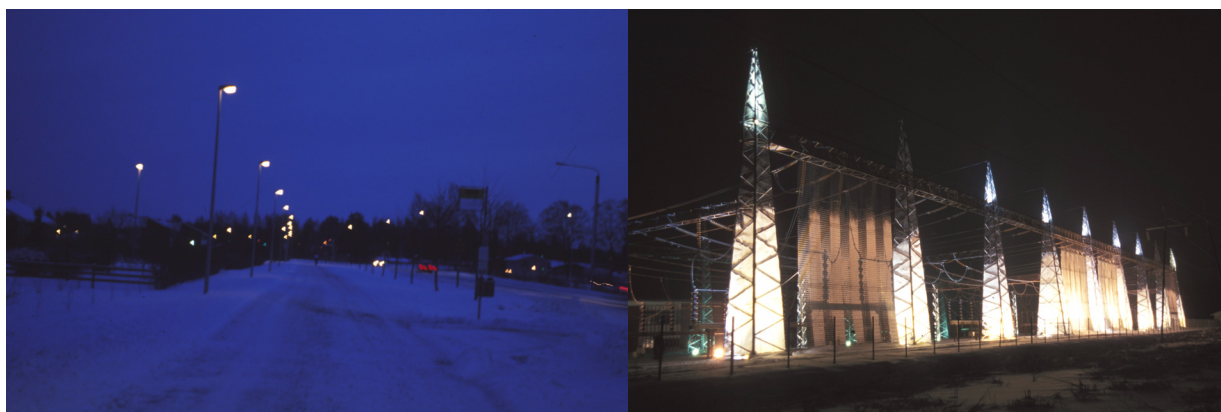


*Suojaeristysten käyttäminen (Sähkötarkastuskeskus 1995)*

vistettua eristystä. Suojaeristysten käyttö on vaihtoehtoinen suojausmenetelmänä esim. syötön nopealle poiskytkennälle.

#### *Eristävä ympäristö*

Tämä suojausmenetelmä on eräänlainen hätämenetelmä, jota voidaan käyttää vain erikoistapauksissa, kun muita menetelmiä ei voi käyttää. Suojausmenetelmän käyttöä vaikeuttaa vaatimus seinien eristävydestä sekä vaadittavista etäisyyksistä jännitteelle alttiiden osien ja muiden johtavien osien välillä. Järjestelyjen on oltava pysyviä, jolloin siirrettäviä laitteita ei voi kyseisissä tiloissa käyttää.



## *Suojaerotus*

Suojaerotuksen toimintaperiaate perustuu siihen, että sähkölaitetta syöttävä piiri erotetaan suojaerotusmuuntajalla syöttävästä verkosta eikä toisiovirtapiiriä maadoiteta. Näin estetään vianaikaisen kosketusjännitteen mahdollinen esiintyminen toisiopiirin jännitteelle alttiissa osissa. Suojaerotuksen avulla voidaan saavuttaa hyvä suojaustaso. Menetelmää käytetään tämän takia vaikeissa käyttöolosuhteissa, kuten esimerkiksi ahtaissa johtavissa tiloissa, märissä tiloissa, joissa käytetään työkaluja, sekä turvasyöttö- ja varavoimajärjestelmissä. Kaikissa tiloissa saa käyttää suojaerotusta. (Sähkötarkastuskeskus 1995)

## **Maallikolle sallitut sähkötyöt**

Sähkötöiden teko kuuluu pääosin alan ammattilaisille. Maallikollakin on lupa tehdä joi-takin sähkötöitä, mutta vain jos varmasti tietää osaavansa tehdä ne. Työt kannattaa teettää ammattilaisella, jos omista taidoista ei ole täysin varma, sillä virheellinen sähkötyö saattaa aiheuttaa hengen- ja palovaaran tekijän ollessa vastuussa tekemistään sähkötöistä

Maallikko voi tehdä seuraavia sähkötöitä: asunnon sulakkeen vaihtaminen, pistorasian ja valaisinkytkimen kannen vaihtaminen, sähkölaitteen rikkoutuneen pistotulpan ja johdon vaihtaminen, yksivaiheisen jatkojohdon valmistaminen ja korjaaminen, valaisinjohdon välilytkimen vaihtaminen, valaisimen kiin-

nittäminen sokeripalaan, sokeripalan korvaaminen valaisinliitinpistorasialla ja valaisinpistotulpan vaihtaminen.

Edellä mainittuja sähkötöitä saa siis tehdä vain, jos varmasti tietää osaavansa tehdä ne turvallisesti. Sähkö on joka tapauksessa aina katkaistava tai laite irrotettava verkosta ennen sähkötöiden alkua. Suojamaadoitetun jatkojohdon valmistuksessa ja korjaamisessa tulee olla varovainen, sillä väärin tehty jatkojohto voi olla hengenvaarallinen. Merkittävä osa sähkötapaturmista johtuu itse tehdyistä jatkojohdoista. Suojakosketinpistorasioilla varustetuissa tiloissa johdon on oltava 3-napainen ja pistotulpan sekä jatkopistorasian tulee olla varustettu suojakoskettimilla. Suojakosketinpistorasiaan sopiva, 2-napaisen liitäntäjohdon päähän kytketty pistotulppa on erittäin vaarallinen. Seuraukset saattavat olla kohtalokkaat, jos tällaiseen jatkojohtoon kytkettyyn suoja-maadoitettuun laitteeseen tulee eristysvika, koska suojamaadoituspiiri ei ole kunnossa. Toinen huomionarvoinen seikka on varmistaa, että 3-napaisen johdon johtimet on kytketty oikein. (Sähkötarkastuskeskus 1995)

### **Käytännön tehtävä:**

**Tutustu jonkin kotonasi olevan sähkö-laitteen käyttöohjeeseen.**





## 4. Elektroniikka-laitteista syntyvä jäte ja sen vähentäminen

Suomessa syntyy vuosittain noin 100 000 tonnia elektroniikkaromua, josta noin 10 % on ongelmajätettä. Suurimmat sähkö- ja elektroniikkatuotteiden valmistajat ovat ryhtyneet keräämään romua takaisin asiakkailtaan. Sähkö- ja elektroniikka-alan muutosten vuoksi jäteongelmaa on pyritty ratkaisemaan sekä lyhyellä että pitkällä tähtäimellä. Lyhyen tähtäimen ratkaisuissa pyritään luomaan korkean keräilyasteen saavuttavia keräily- ja hyödyntämisjärjestelmiä. Pitkällä aikavälillä puolestaan kiinnitetään huomiota koko tuotteen elinkaareen ja pyritään minimoimaan tuotteen elinkaaren aikainen ympäristörasitus. Elinkaariajattelu tarkoittaa jätteen synnyn ennaltaehkäisyä lisäksi uudelleenkäytön ja kierrätystekniikoiden kehittämistä, sekä ympäristömyönteisen tuotesuunnittelun kehittämistä.

### 4.1 Kotona syntyvä elektroniikkaromu

Kotona syntyy paljon sähkö- ja elektroniikkaromua (SE-romu), jota ei pidä heittää sekajätteen joukkoon. Tällaista romua ovat esimerkiksi televisiot, kylmälaitteet, matkapuhelimet, kahvinkeitin, silitysraudat ja tietokoneet. Kodin sähkö- ja elektroniikkaromu on helpointa palauttaa kunnalliseen romun vastaanottopisteeseen, tai toimittaa romua vastaanottavaan kodinkoneliikkeeseen. Useissa

kunnissa kiertävät myös romua vastaanottavat keräysautot. Pienempien kodin laitteiden antaminen kierrätykseen tai jätteenkäsittelyyn on usein ilmaista. Suuremmista laitteista kerätään pienimuotoinen käsittelymaksu. Kierrätyslaitokset ja kirpputorit ottavat vastaan ehjiä kodinkoneita. (Lassila & Tikanoja 2004, Tampereen kaupunki 2004)

Uudet EU-direktiivit ovat helpottaneet romun kierrätystä. Ne edellyttävät, että laitteiden maahantuojalla tai valmistajalla on velvollinen jär-



jestämään kierrätyksen SE-romulle. Direktiivien myötä kuluttaja on kuitenkin edelleen vastuussa siitä, että romu ei päädy kuluttajan toimesta kaatopaikalle sekajätteen joukossa, vaan se annetaan maahantuojalle tai valmistajalle kierrätystä tai tuhoamista varten.

Käytöstä poistuvat laitteet muodostavat materiaalisältönsä vuoksi ympäristöongelman. Siksi on erittäin tärkeää ratkaista käytöstä poistettujen laitteiden uusiokäyttömahdollisuudet. Laajempaan uusiokäyttöön ei aina ole taloudellisia perusteita, mutta ne voidaan luoda esimerkiksi lainsäädännön avulla käyttämällä erilaisia kannustimia. Direktiivit kieltävät myös eräiden erittäin haitallisten aineiden käytön sähkö- ja elektroniikkalaitteissa, mikä helpottaa laitteiden uusiokäyttöä ja kierrätystä sekä tekee niistä huomattavasti ympäristöystävällisempiä kaatopaikoillakin. Lisäksi ongelmajätteen määrä vähenee jätteenkäsittelylaitoksilla. (Lassila & Tikanoja 2004)

## 4.2 Elinkaarianalyysi ja ympäristömyönteinen tuotesuunnittelu

### Elinkaarianalyysi

Elinkaarianalyysi (LCA = Life Cycle Assessment) on menetelmä, jonka avulla arvioidaan tuotteen, prosessin tai toiminnon aiheuttamat ympäristövaikutukset koko sen elinkaaren aikana. Elinkaarianalyysijä voidaan tehdä monesta eri näkökulmasta. Ympäristövaikutusten arvioinnin lisäksi voidaan tarkastelu tehdä esimerkiksi taloudellisesta tai sosiaali-

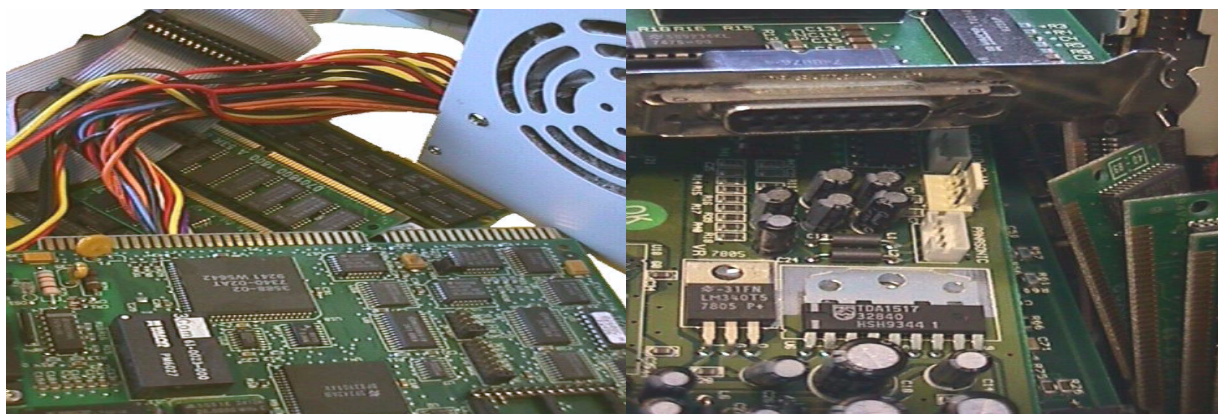
sesta näkökulmasta. Ensimmäiset elinkaarianalyysit on tehty jo 1960-luvulla.

Elinkaarianalyysi voidaan tehdä tutkimalla suppeammin yhtä tuotteen elinkaaren vaihetta tai sitten laajemmin tarkastelemalla koko tuotteen tai prosessin elinkaarta ja sen aiheuttamia ympäristövaikutuksia. Suppeammat analyysit antavat usein selkeitä vastauksia, mutta saattavat olla harhaanjohtavia kokonaisuutta ajatellen. Kokonaisvaltaisten analyysien teko on taas usein työlästä ja aikaa vievää, mutta antavat todennäköisesti luotettavampia lopputuloksia. (Lehtinen 1999)

### Elinkaarianalyysin tekotavat

Elinkaarianalyysi voidaan periaatteessa tehdä kahdella eri tavalla: tekemällä karkean tason elinkaariarviointi tai tarkemman tason arviointi. Perehdymme nyt tarkemmin karkean tason arviointiin. Taulukossa 4.1 on esimerkki karkean tason analyysistä. (Kärnä 2001)

Karkean tason elinkaarianalyysin avulla saadaan yleispiirteinen kuva ympäristövaikutuksista ja nähdään selvimmät asiat, joihin tulisi puuttua. Näin saadaan nopeasti tietoa mahdollisista ympäristövaikutuksista. Karkean tason elinkaarianalyysissä voidaan käyttää valmista tietoa sen sijaan, että kerättäisiin tuotekohtaista tietoa. Tarkemman tason analyysit ovat usein kvantitatiivisia. Siksi ne ovatkin usein huomattavasti tarkempia sisältöltään ja sen vuoksi suuritöisempiä. (Kärnä 2001, Kautto ym. 2002)



Taulukko 4.1 Esimerkki karkean tason analyysistä (MET-matriisi) kopiokoneelle (Kärnä 2001)

	<b>Materiaalin käyttö</b>	<b>Energiankulutus</b>	<b>Haitalliset päästöt</b>
<b>Valmistus</b>	Raaka-aineiden kulutus Tuotantojätteen kierrätys	Materiaalien energiasisältö Prosesseissa kuluva energia	Palonestoaineet
<b>Käyttö</b>	Paperin kulutus Käytetyt värikasetit	Energian kulutus Kuljetuksissa kuluva energia	Otsonipäästöt
<b>Käytöstä poisto</b>	Koneen kierrätys		Seleenirumpu

Elinkaariarvioinnin toteutus ja yksityiskoh-  
tien tarve mietitään aina tavoitteisiin sopi-  
viksi. Aina ei ole tarpeellista hankkia paljon  
kallista ja yksityiskohtaista tietoa tai tehdä  
täydellisiä teknisiä selvityksiä. Varsin yksin-  
kertaisellakin arvioinnilla saadaan selville  
tuotteiden ympäristönäkökohtiin liittyvät  
edut, haitat ja epävarmuudet. (Kautto ym.  
2002)

Ympäristövaikutusten karkean tason arvioin-  
tia varten on kehitetty useita menetelmiä, esi-  
merkkinä voidaan mainita MET-matriisi.  
MET-matriisi tehdään laatimalla taulukko  
ympäristöasioiden arviointikohteista jaka-  
malla ympäristövaikutukset kolmeen ryh-  
mään: materiaalien käyttöön (M), energian  
kulutukseen (E) sekä ympäristölle ja ihmi-  
selle haitallisiin päästöihin (T).

Materiaalien käytön tarkasteluun sisältyy  
mm. raaka-aineiden niukkuus ja uusiutumis-  
kyky, materiaalien uudelleenkäyttö ja kierrä-

tys, kierrätettävien materiaalien käyttö sekä  
tuotteen ja sen eri osien käyttöikä. Energian-  
kulutuksen osalta voidaan analysoida tuotan-  
toprosessien ja tuotteen käytön aikaista  
energiankulutusta sekä eri materiaalien val-  
mistukseen kulunutta energiaa. Päästöjen  
kohdalla listataan tuotteen elinkaaren eri vai-  
heissa syntyvät myrkylliset päästöt. (Kärnä  
2001)

Taulukossa 4.1 on esimerkki kopiokoneelle  
tehtävästä MET-matriisista. Sen ensimmäinen  
sarake voidaan jakaa niin tarkkoihin osiin  
kuin kulloinkin on tarpeellista. Tässä se on  
jaettu valmistukseen, käyttöön ja käytöstä  
poistoon. Lisäksi voidaan tarkastella esimer-  
kiksi kuljetusta ja pakkausta.

#### **Käytännön tehtävä:**

**Selvitä, miten omassa kotikunnassasi  
sähkölaitteita kierrätetään.**





## 5. Sähköjärjestelmät

Sähkön kuljettamiseen tuotantopaikoilta kulutuspaisteisiin tarvitaan laaja ja monimuotoinen sähköverkosto. Näkyvin osa sähköverkostoa on sähköjohdot, jotka voidaan jakaa kahteen ryhmään: kaapeleihin ja ilmajohtoihin. Sähköverkoston yhteispituus on useita satoja tuhansia kilometrejä, joten sen rakentamisella on ollut vaikutuksensa sekä luontoon että maisemaan. Uuden lainsäädännön avulla näitä vaikutuksia pyritään kuitenkin minimoimaan.

### 5.1 Kodin sähköjärjestelmä

Kotiin sähköverkko tulee pientalon pääkeskuksesta tai useamman asunnon talossa pääkeskuksen kautta asuntojen ryhmäkeskuksesta. Näistä sähkö jaetaan edelleen käyttöpaikkoihin eli esimerkiksi pistorasioihin sekä valaistuspisteisiin. Asunnon sähköpääkeskuksesta löytyvät pääsulakkeet sekä sulakkeet eri laiteryhmillä, suojalaitteita sekä pääkytkin. Pääkytkimellä voidaan kytkeä sähköt koko asunnosta pois esimerkiksi sähkötöitä tai sulakkeen vaihtoa varten. Sulakkeet suojaavat sähkötapaturmilta, jos sähkölaitteeseen tulee vaarallinen vika. Lisäksi sulakkeet suojaavat johtoja ylikuormituksilta, jotka voivat aiheuttaa liiallista lämpenemistä johdinmateriaalissa

ja edelleen tulipalovaaran. Jos sulake siis palaa tai automaattisulake laukeaa pois toiminnasta, ja uuden kytkennän jälkeen sama uusiutuu, on tarkistettava, onko vika sähköjärjestelmässä vai laitteissa. Mikäli vika esiintyy itse sähköjärjestelmässä, laukeaa sulake uudelleen ilman kuormitusta eli kun kaikki laitteet on kytketty pois. Mikäli näin ei tapahdu, voidaan laitteet kytkeä yksitellen sähköverkkoon ja tällöin sulakkeen laukeaminen osoittaa, mikä laite on viallinen. Viallinen laite on toimitettava huoltoon. Jos kuitenkin sulake ei laukea minkään yksittäisen laitteen ollessa kytkettynä, on kyseessä ollut todennäköisesti sulakkeen liiallinen kuormitus eli liian moni sähkölaitte on ollut kytkettynä ja käytössä samanaikaisesti. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto 2004)



## 5.2 Valtakunnan verkko

### Sähkön siirto- ja jakeluverkot

Sähköenergiaa tuottavien voimalaitosten sijoituspaikat määräytyvät suurimmalta osin ympäristötekijöiden perusteella. Vesivoimalaitokset on sijoitettava sopivien koskien varsilta. Suuret lämpövoimalaitokset puolestaan käyttävät suuria määriä lauhdevettä ja lämpöhäviöt on siirrettävä ympäristöön mahdollisimman vähän ympäristöä rasittavalla tavalla. Yleensä tällaiset sijoituspaikat eivät sijaitse lähellä kulutuspaikoita. Tällöin sähkön kulutus ja tuotanto on yhdistettävä toisiinsa sähköverkolla. Kaikki kuluttajat ja merkittävät voimalaitokset on yhdistetty Suomessa yhteiseen sähköverkkoon, jonka kokonaispituus on n. 375 000 km.

### Sähköjohdot

Sähköjohdot voidaan jakaa kaapeleihin ja ilmajohtoihin. Ilmajohdot on ripustettu kiinnikkeiden avulla pylväiden varaan. Kaapelit puolestaan sijoitetaan kaapelikanaviin, kaapelihyllyille tai lasketaan suoraan maahan tai veteen.

### Ilmajohdot

Suurin osa Suomen sähköverkosta, keskijännitteestä ylöspäin, on rakennettu päällystämättömillä avojohdoilla. Tämän etuna on edullisimmat rakennuskustannukset. Haittapuolia ovat suuri tilantarve ja huono soveltuvuus maisemaan. Johdinmateriaaleina on alumiinia, alumiiniseoksia ja terästä. Eristemateriaalina toimii ilma.

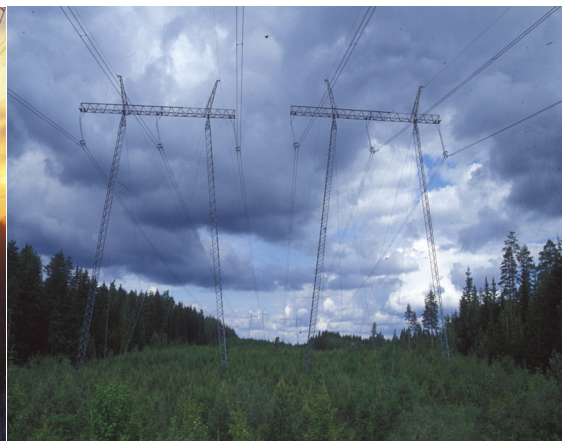
Pylväät valmistetaan joko puusta, teräksestä tai alumiiniseoksista. Puu on yleisin pylväsmateriaali pien- ja keskijännitteillä. Teräs- ja seosalumiinipylväitä käytetään suurimmilla jännitteillä sekä sellaisissa tilanteissa, joissa puupylvään korkeus tai lujuus ei ole riittävä. Suomi on edelläkävijämaa seosalumiinipylväiden käytössä.

### Kaapelit

Voimakaapeliksi kutsutaan johtoa, jossa on kosteutta ja korroosiota estävän ja mekaanista vahingoittumista kestävä vaipan sisällä yksi tai useampia toisistaan eristettyjä sähköenergian siirtoon tarkoitettuja johtimia. Kaapeleita käytetään sähköenergian siirtoon niissä tilanteissa, joissa avojohtoja ei voida käyttää. Esimerkiksi kaupunkien ja muiden taajamien jakeluverkot rakennetaan yleensä maakaapeleilla. Myös vesistöissä käytetään yleensä kaapeleita sähkönsiirtoon. Suomen ja Ruotsin välisistä yhteyksistä yksi on rakennettu n. 200 km pitkällä merikaapelilla.

## 5.3 Sähkönsiirtoon liittyvän ympäristönsuojelun osa-alueet

Sähkönsiirtoon liittyvät ympäristönsuojelun osa-alueet voidaan jakaa ekologisiin kysymyksiin ja maisemansuojelullisiin näkökohtiin. Ekologisiin kysymyksiin kuuluvat eläin- ja kasvilajien elinmahdollisuudet, elollisen luonnon elinympäristö sekä luonnon tasapainoinen biologinen kehitys. Maisemansuojelun haittatekijöiksi luetaan kaikki sellaiset toimenpiteet, jotka vaikuttavat maisema-



kokonaisuuteen. Esimerkiksi johtolinjojen raivaukset ja pylväiden rakentaminen ovat tällaisia toimenpiteitä.

### **Vaikutukset maankäyttöön, asutukseen sekä maa- ja metsätalouteen**

Eri voimajohdoilla voi olla eriasteisia vaikutuksia maankäyttöön, asutukseen sekä maa- ja metsätalouteen. Siirtolinja voi rajoittaa paikallisesti alueen maankäyttöä ja vähentää muuhun toimintaan tarvittavaa maa-alaa etenkin kyläalueiden läheisyydessä. Asuinympäristöön ja virkistysalueisiin kohdistuvat haitat eivät noudata tiettyä kaavaa vaan ovat hyvin tapauskohtaisia. Vaikutukset ovat yleensä kuitenkin pääasiallisesti esteettisiä.

Pylväsratkaisusta riippuu, kuinka leveä pylväskäytävä metsään on raivattava. Pylväät voivat lisäksi rajoittaa esimerkiksi viljelyyn käytettävien koneiden liikkumista johtoalueella ja aiheuttaa näin haittaa maataloudelle. Peltoalueisiin voimajohtolinjat vaikuttavat lähinnä viljelyalueiden menetyksenä pylväiden läheisyydessä. (Fingrid Oyj 1997)

### **Vaikutukset luontoon**

Voimajohdon ympäristövaikutuksia luontoon ja luonnonoloihin on myös tarkasteltava jo ennen johdon rakentamista. Tällöin suoritetaan arviointi, onko uudella johdolla mahdollisesti vaikutuksia paikallisesti arvokkaisiin luontokohteisiin tai esimerkiksi Natura 2000 -alueiden perusteina olevien luontotyyppien sekä lajien suotuisaan suojelutasoon. Siirto-

linjan vaikutusta on myös tarkasteltava kunkin alueen uhanalaisiin kasveihin. Aiheutuvat vauriot kasveille johtuvat lähinnä rakentamisen aikaisista toimista. (Fingrid Oyj 1997)

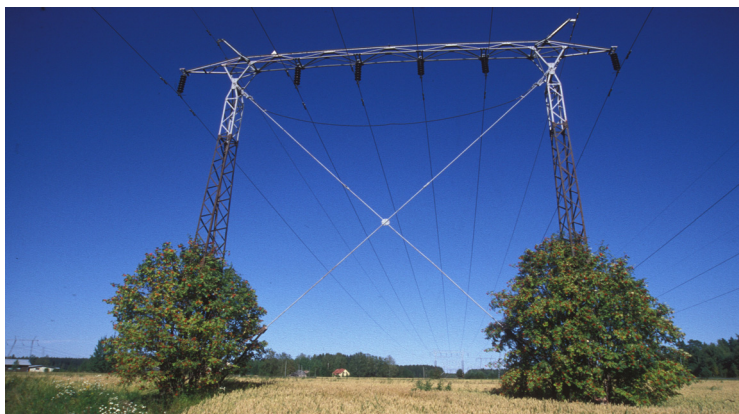
### **Vaikutukset maisemaan ja kulttuuriperintöön**

Voimajohdon maisemalliset vaikutukset ovat suurimmillaan avoimissa maisemissa, metsän reunavyöhykkeillä sekä asutuksen läheisyydessä. Haittoja, jotka kohdistuvat maisemaan, voidaan vähentää esimerkiksi sopivilla pylväsratkaisuilla sekä niiden harkitulla sijoittamisella. Kulttuuriperinnön säilyttämiseksi on jo suunnitteluvaiheessa tarkasteltava mahdollisia vaikutuksia. (Lakervi 1996)

Keski- ja pienjänniteverkossa hyviin maisemansuojelullisiin tuloksiin päästään jo melko yksinkertaisilla ja edullisilla periaatteilla. Näiden periaatteiden mukaan esimerkiksi rotkoa ei ylitetä sen syvimältä kohdalta, pitkien johtonäkymien syntymistä vältetään, avojohdot sijoitetaan mahdollisimman suurilta osin harjanteiden ja puiden taakse, pinnanmuodostuksen tarjoamaa luonnollista taustaa käytetään hyväksi eikä maanteitä ylitetä korkeissa paikoissa.

#### **Käytännön tehtävä:**

**Selvitä, missä on kotisi läheisin puisto- tai pylväsmuuntamo.**





## 6. Sähkön tuotanto ja siihen liittyvät päästöt

Sähköntuotannossa pyritään hyödyntämään ympärillämme olevaa energiaa. Sähköenergiaksi muunnetaan fossiilisia polttoaineita poltettaessa syntyvä lämpöenergia ja esimerkiksi tuuli- ja vesivoimassa liike-energia. Kaikkien näiden energiamuotojen valjastaminen kuitenkin kuluttaa ympäristöä. Tavoitteena olisikin löytää sellainen energialähteiden kombinaatio, jolla saataisiin turvattu riittävä energiansaanti mutta samalla minimoitua ympäristövaikutukset.

### 6.1 Sähköntuotanto

Kasvava sähkön tarve saadaan tyydytetyksi riittäväällä voimalaitosverkostolla. Tärkeimpiä voimalaitostyyppejä ovat Suomessa höyry- ja vesivoimalaitokset. Ydinvoiman osuus kokonaistuotannosta on noin neljännes ja vesivoiman noin viidennes. Sähköä on tuotettava joka hetki yhtä paljon, kuin sitä kulutetaan. Pääsääntöisesti tuotanto toteutetaan ajamalla peruskuormalaitoksia jatkuvasti täydellä teholla ja säätämällä vesivoiman tuotantoa, koska vesivoima on helposti säädettävissä. Kulutuksen huippuaikoina käynnistetään sähköntuotantoon myös huippuvoimalaitokset.

### 6.2 Peruskuormalaitokset

#### Vesivoimalaitokset

Vesivoimalaitos toimii muuttamalla virtaavan veden liike-energiaa turbiinin roottorin liikeenergiaksi, joka puolestaan muutetaan generaattorissa sähköksi. Vesivoimalaitosten hyötysuhde on pääsääntöisesti hyvä. Yleensä se vaihtelee 80-90 % välillä. Vesivoiman hyvinä puolina ovat sen käyttövarmuus ja hyvä säädettävyys. Verkkoon liitetyt vesivoimalaitokset huolehtivat yleensä tehonsäädöstä niin, että kulutus ja tuotanto pysyvät jatkuvasti tasapainossa.



Suomessa vesivoimalaitoksia on rakennettu lähinnä suurien jokien varrelle sekä isompien vesistöjen virtaaviin kapeikkoihin. Veden virtaaman ja määrän vaihtelua on pyritty tasoittamaan veden säännöstelyllä, jolloin yläjuoksuksella pidetään säännöstelyaltaan veden pinta sopivalla tasolla. Säännöstelyaltaaksi voidaan rakentaa myös tekoaltaita tai käyttää hyväksi olemassa olevia suuria järviä.

### **Höyryvoimalaitokset**

Höyryvoimalaitoksia ovat kaikki sellaiset voimalaitokset, joiden turbiinia pyörittää höyrystetty vesi. Voimalaitokset voidaan luokitella käytön mukaan lauhdevoimalaitoksiin ja vastapainevoimalaitoksiin. Voimalaitokset voidaan luokitella myös käytetyn polttoaineen mukaan, jolloin ne jaetaan ydin-, hiili-, turve- ja maakaasuvoimalaitoksiin.

#### *Lauhdevoimalaitokset*

Höyryvoimalaitoksen perusratkaisu on lauhdevoimalaitos. Näissä voimalaitoksissa polttoaine höyrystää palaessaan kattilan putkistoissa olevan veden. Tämä höyry ohjataan turbiinin läpi lauhduttimeen, jollaisena Suomessa toimii järvi tai meri. Niiden vaihtoehtona paikoissa, joissa ei ole vesistöjä, käytetään ilmajäähdytteisiä jäähdytystorneja. Lauhdevoimalaitoksissa käytetään usein polttoaineena hiiltä, mutta lämpöenergian lähteenä voi olla myös turve, polttoöljy tai hake.

#### *Vastapainevoimalaitokset*

Vastapainevoimaa käytettäessä saadaan lämpöä tarvitsevan teollisuusprosessin sivutuot-

teena sähköä. Vastapainevoimalaitoksessa höyryn lauhdutus tapahtuu höyryn kulkiessa tuotantoprosessin läpi, eikä perinteisessä lauhduttimessa. Vastapainelaitosten kokonaishyötysuhde nousee korkeaksi lähes 90 %, sillä lauhdutuksessa tapahtuvat häviöt jäävät kokonaan pois. Kokonaistehosta sähköä saadaan kuitenkin yleensä vain noin 20 %. Myös kaukolämpö on vastapainevoimaa. Tällöin teollisuusprosessin sijasta lauhduttimena toimii kuitenkin kaupungin kaukolämmitysverkko. Vastapainevoimalaitoksissa käytetään usein samoja polttoaineita kuin tavallisessa lauhdevoimalaitoksessa.

#### *Ydinvoimalaitokset*

Ydinvoimalaitokset toimivat höyryvoimalaitoksen periaatteella sillä erotuksella, että vesi höyrystetään fissioreaktion luovuttamalla lämpöenergialla. Polttoaineena käytetään uraanin isotooppia U235.

## **6.3 Huippuvoimalaitokset**

Huippuvoimalaitoksina käytetään usein kaasuturbiini- tai dieselvoimalaitoksia. Kaasuturbiinilaitoksissa pääpolttoaineena käytetään lähinnä maakaasua, joka poltetaan polttokammiossa ja johdetaan sitten savukaasuina kaasuturbiinin läpi. Dieselvoimalassa on puolestaan dieselmoottori, joka pyörittää generaattorin akselia. Moottorin polttoaineena voidaan käyttää kevyttä tai raskasta polttoöljyä. Dieselvoimalaitos voidaan käynnistää jopa kymmenessä sekunnissa ja se saadaan



toimintaan jo noin puolessa minuutissa. Kaasuturbiinivoimalaitostenkin käynnistäminen ja verkkoon kytkeminen onnistuu muutamassa minuutissa.

### **Muita sähkön tuotantotapoja**

Edellä kuvaillut sähkön tuotantotavat ovat osoittautuneet taloudellisuuden ja kulutuksen kannalta kannattaviksi. Tulevaisuudessa perinteiset tuotantomuodot eivät enää ole samassa asemassa kuin nyt, sillä varsinkin fossiilisten polttoaineiden riittävyys sekä ympäristöriskit asettavat omat reunaehdot. Nykyään on alettu panostaa tutkimukseen, joka tähtää uusien sähkön tuotantotapojen kehittämiseen.

#### *Aurinkoenergia*

Auringon säteilyteho maahan on monikertainen koko maapallon kulutukseen nähden. Ilmakehä suodattaa säteilytehosta kuitenkin noin 40 %. Aurinkoenergialla toimiva voimalaitos voi olla joko lämpövoimalaitos tai se voi muuttaa säteilyenergian suoraan aurinkokennossa sähköenergiaksi. Suurimmat nykyiset koelaitokset ovat lämpövoimalaitoksia. (Aura & Tonteri 1993)

#### *Tuulivoima*

Tuulienergian hyödyntäminen on vanha keksintö, sillä tuulimyllyjä on käytetty jo vuosisatojen ajan. Nykyään tuulivoimalaitoksilla pääasiallisesti tuotetaan sähköä ja tuulivoimalaitoksia on rakennettu maihin, joiden tuuli-

olosuhteet ovat edulliset. Tanskassa tuulivoimaloilla tuotetaan maan kokonaisenergiasta noin 1-1,5 %. Tuulivoimalaitoksen toimintaperiaate on yksinkertainen, tuuli pyörittää roottoria, jonka akseli on kytketty sähkögeneraattoriin.

## **6.4 Sähköntuotannon ympäristövaikutukset**

### **Vesivoima**

Vesivoiman suurimmat ympäristövaikutukset aiheutuvat patojen ja säännöstelyaltaiden rakentamisesta. Padot vaikeuttavat kalojen vaellusta ylävirtaan ja heikentävät näin virtakutuisten kalojen lisääntymismahdollisuuksia. Näitä haittoja voidaan kuitenkin lieventää rakentamalla kalateitä. Tekojärviä ja -altaita rakennetaan säännöstelyä varten. Tekojärvi jättää suuria maa-aloja veden alle, mikä aiheuttaa merkittäviä muutoksia mm. elinympäristöön ja biodiversiteettiin. Vesivoiman tuotannon aikaiset ympäristövaikutukset aiheutuvat suurimmilta osin säännöstelystä.

### **Lauhdevoima ja vastapainevoima**

Lauhdevoimalaitoksien ongelmana on fossiilisista polttoaineista poltettaessa aiheutuvat päästöt, joista merkittävimpana hiilidioksidipäästöt. Hiilidioksidin lisäksi fossiilisten polttoaineiden poltosta aiheutuu rikkipäästöjä, typpipäästöjä ja raskasmetallipäästöjä. Mikäli laitoksen kattilassa tapahtuva polttoaineen palaminen on epätäydellistä, syntyy lisäksi hiilivetypäästöjä. Edelleen voi syntyä hiukkaspäästöjä sekä erilaisia jätteitä.



Vastapainevoimalaitoksissa käytetään pääsääntöisesti samoja polttoaineita kuin lauhdevoimalaitoksissa, joten ympäristöön aiheutuvat päästöt ja ympäristövaikutukset ovat samankaltaisia kuin lauhdevoimalaitoksilla. Kulutettuun polttoainemäärään verrattuna päästöt ovat kuitenkin lauhdevoimalaitosta pienempiä paremman energiantuoton hyötysuhteen vuoksi.

### **Ydinvoima**

Jäähdytysvesi lämpenee laitoksen läpi kulkiessaan n. 10 astetta. Tällöin talvella veden ulostulopaikalla ei pääse muodostumaan pysyvää jäätikköä. Jäätikön puuttuessa aurionvalo pääsee vaikuttamaan veden ekosysteemiin pidemmän ajan vuodesta aiheuttaen siten rehevöitymistä. Ydinvoimalaitokseen liittyvä riski aiheutuu pääasiallisesti reaktorin polttoaineeseen käytön aikana kertyvistä radioaktiivisista aineista, joiden säteilyenergiasta saadaan lämpöä. Jos tätä lämpöä ei johdeta pois polttoaineesta reaktorin sydäntä jäähdyttämällä, riittäisi se sulattamaan polttoaineen kaasutiivit suojakouret sekä itse polttoaineen. Tällöin radioaktiivinen aine voisi vapautua reaktorista. Tällainen onnettomuus on pyritty estämään käyttämällä useita päällekkäisiä turvajärjestelmiä. Hiilidioksidipäästöt ydinvoimalaitosten käytöstä ei juurikaan aiheudu, mikä onkin ydinvoiman yksi suurimmista hyödyistä. Esimerkiksi Suomessa vuoden 1997 hiilidioksidipäästöt (16 miljoonaa tonnia) olisivat olleet 17 miljoonaa tonnia suuremmat, mikäli kaikki ydinvoimalla tuotettu sähkö oltaisiin tuotettu hiilellä. (Energia-alan keskusliitto ry 1999)

### **Aurinkoenergia**

Aurinkoenergian hyödyntämisestä aiheutuvat ympäristövaikutukset tulevat lähinnä aurinkokennojen suuresta tilantarpeesta. Tätä voidaan pienentää sijoittamalla kennostoja rakennusten katoille ja seiniin. Kennojen rakennusaineena olevien puolijohteiden valmistuksessa syntyy joitakin myrkyllisiä ja helposti syttyviä kaasuja.

### **Tuulivoima**

Tuulivoima on hyvin ympäristöystävällinen energiantuotantomuoto. Sähkön tuottamisesta tuulivoimalla ei aiheudu päästöjä ilmaan, veteen tai maaperään. Lisäksi laitos on helppo hävittää sen jättämättä jälkiä maastoon. Haitallisten aineiden päästöjä tulee kuitenkin josain määrin voimalan komponenttien valmistuksessa. Tuulivoimalaitoksilla on huomattavia maisemallisia vaikutuksia ympäristöön ja ne voivat vaikuttaa lintuihin. Lisäksi tuulivoimalasta syntyy melua mekaanisten osien liikkeestä sekä lapojen aiheuttamasta aerodynaamisesta äänestä. Yksittäisen tuulivoimalaitoksen aiheuttama ääni ylittää 40 dB:n rajan, joka on taajamissa meluohjearvona yöllä, 200-300 metrin etäisyydellä tuulen nopeuden ollessa 8 m/s.

#### **Käytännön tehtävä:**

**Perehdy kotisi sähkölaskuun. Mitä tietoa laskusta löytyy?**





## 7. Sähkömagneettiset kentät ja säteily

Säteily voidaan jakaa kahteen eri ryhmään, hiukkassäteilyyn ja sähkömagneettiseen säteilyyn. Hiukkassäteilyä on muun muassa ydinreaktiossa tapahtuva alfa- ja beta-säteily, kun taas auringonvalo on sähkömagneettista säteilyä. Sähkövirta luo aina ympärilleen magneettikentän, joten altistumista ei voi välttää. Kentän suuruuteen voidaan kuitenkin vaikuttaa teknisin keinoin ja lainsäädännöllä pyritäänkin estämään valmistajia tekemästä liian suuresti säteileviä laitteita.

### 7.1 Sähkö- ja magneettikentät

#### Sähkökenttä

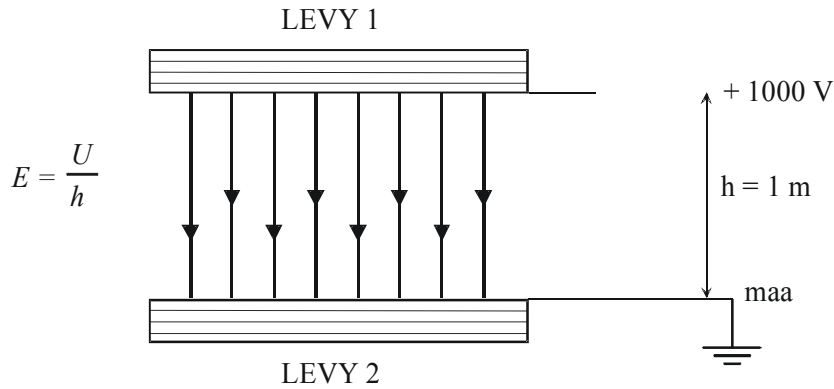
Sähkövaraus synnyttää ympärilleen sähkökentän. Kahden erilaisen varauksen aikaansaamat sähkökentät vuorovaikuttavat toisiinsa. Mitä suurempi on varausten potentiaaliero eli jännite, sitä voimakkaampi on sähkökenttä. Sähkökentän voimakkuuden yksikkönä käytetään voltteja metriä kohti (V/m), joten se on riippuvainen jännitteen lisäksi varausten välimatkasta toisiinsa nähden. Seuraavan sivun kuvassa on esimerkkinä levyjen välillä vallitseva sähkökenttä. Levyjen välinen etäisyys on 1 m ja niiden välinen jännite 1000 V. Tällöin sähkökentän voimakkuudeksi

tulee 1 kV/m. Sähkökentän voimakkuus on riippuvainen etäisyydestä. (Korpinen 2000)

#### Magneettikenttä

Sähkövirta, eli sähkövarausten liike, saa aikaan ympärilleen magneettikentän. Mitä suurempi sähkövirta on, sitä voimakkaampi magneettikenttä syntyy. Magneettikentän suuruutta kuvataan usein magneettivuon tiheydellä, jonka yksikkö on tesla (T). Käytännössä esiintyvien magneettivuon tiheydet ovat niin pieniä, että yleisesti käytetty yksikkö on mikrotesla ( $\mu\text{T}$ ). Magneettivuon tiheyden suuruus riippuu väliaineesta. Merkittäviä magneettikenttien lähteitä esiintyy elinympäristössämme enemmän kuin sähkökenttien lähteitä.





*Sähkökenttä levyjen välissä. (Korpinen 2000)*

## 7.2 Sähkömagneettinen säteily ympäristökysymyksenä

Sähkömagneettinen säteily on aaltoliikettä, joka etenee ilmassa, kudoksissa tai tyhjiössä. Säteily voidaan jakaa ionisoivaan ja ionisoimattomaan säteilyyn. Ionisoivaa säteilyä on esimerkiksi gammasäteily ja röntgensäteily. Ionisoimaton säteily jaetaan edelleen kolmeen alaluokkaan. Nämä luokat ovat pientaajuinen sähkömagneettinen säteily, suurtaajuinen sähkömagneettinen säteily sekä optinen säteily. (Pääkkönen & Kyttälä 2000) Sähkömagneettisen säteilyn lajit on esitetty sivulla 22 olevassa kuvassa. (Korpinen 2000)

Pientaajuisia kenttiä ovat kentät, joiden taajuus on alle 300 kHz. Pientaajuisia sähkö- ja magneettikenttiä syntyy lähinnä sähkön tuotannosta, siirrosta, jakelusta sekä käytöstä. Ne esiintyvät voimajohtojen ja sähkökaapeleiden sekä sähkökäyttöisten teollisuuslaitteiden, toimistolaitteiden ja kodinkoneiden ympärillä.

Suurtaajuisia sähkömagneettisia kenttiä puolestaan ovat taajuukseltaan yli 300 kHz:n kentät. Niitä synnyttävät muun muassa mikroaaltolähteet, matkapuhelimet, televisio- ja radiolähteet, mikroaaltouunit sekä tutkat. Optiseen säteilyyn luetaan ultraviolettisäteily, näkyvä valo sekä infrapunasäteily. (Pääkkönen & Kyttälä 2000, Maailman terveysjärjestö 2001)

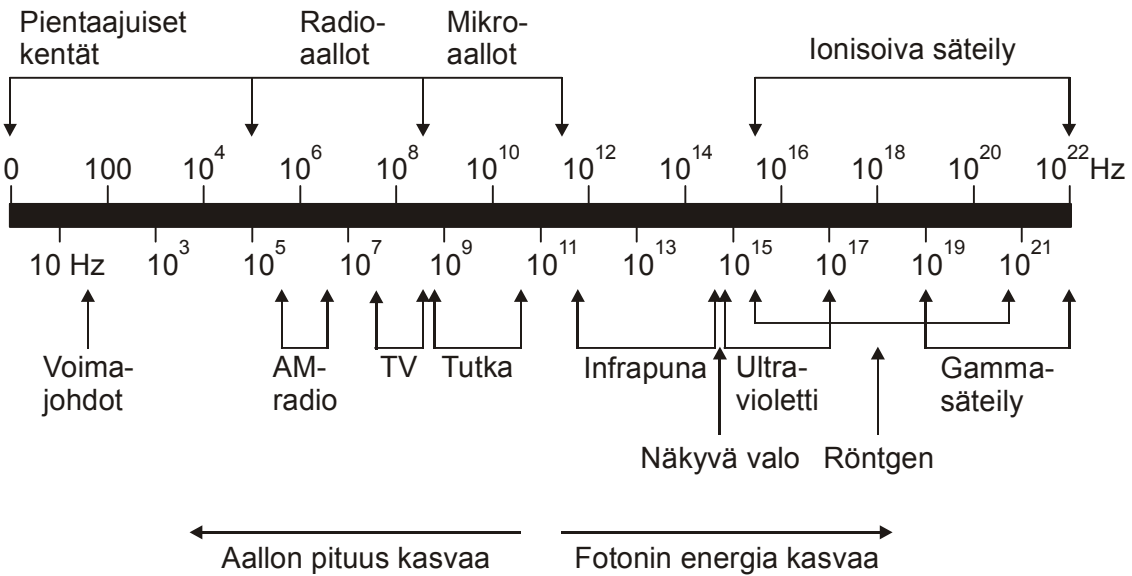
## 7.3 Pientaajuiset sähkö- ja magneettikentät

Euroopassa voimajohtojen taajuus on 50 Hz. Suurjännitevoimajohtot, paikalliset, pienemällä jännitteellä toimivat jakelujärjestelmät sekä kodin sähkölaitteet altistavat jatkuvasti ihmisiä pientaajuisille sähkö- ja magneettikentille. (Maailman terveysjärjestö 2001)

### Sähkön siirto ja jakelu

Suomessa sähkön siirrosta käytetään 110, 220 ja 400 kV:n jännitetasoja. Käytännössä





Sähkömagneettisen säteilyn lajit. (Korpinen 2000)

vain 400 kV:n voimajohtojen läheisyydessä voi esiintyä väestön altistumisen kannalta merkittäviä 50 Hz taajuisia sähkökenttiä. Sähköasemilla esiintyy voimakkaita sähkökenttiä, joille altistuminen koskee kuitenkin lähinnä vain sähköalan työntekijöitä. (Korpinen 2000)

### Kodin pientaajuiset sähkö- ja magneettikentät

Kodissa esiintyvät suurimmat magneettikentät syntyvät esim. partakoneesta, hiustenkuivaajasta, induktiokaittolevystä sekä sähkötaulusta.

Näiden synnyttämä pientaajuinen magneettikenttä voi olla jopa 1000-kertainen tietokoneen näyttöpäätteen aiheuttamaan kenttään verrattuna. Vaikka suurin osa kodin laitteiden aiheuttamista magneettikentistä onkin alle

1  $\mu\text{T}$ , on esimerkiksi jo parranajokoneen synnyttämä magneettikenttä suurempi kuin voimajohtojen alla esiintyvä kenttä. Kodinkoneiden aiheuttamat magneettikentät ovatkin yleensä ihmisten suurimpia altistajia. Toisaalta, mikäli tarkastelussa huomioidaan myös altistuksen ajallinen kesto, nousevat muut lähteet merkittävämmiksi, koska kodinkoneita käytetään kerrallaan yleensä vain vähän aikaa. (Korpinen 2000)

### 7.4 Suurtaajuiset sähkömagneettiset kentät

Suurtaajuiset sähkömagneettiset kentät ovat nykyään jokapäiväisiä altistajia. Suurtaajuisten sähkömagneettisten kenttien terveysvaikutukset ihmiseen ovat vielä huonosti selvillä, mutta uusia tutkimuksia tehdään jatkuvasti. Suurtaajuisia kenttiä aiheutuu mm.



radio- ja puhelinliikenteestä, mikroaaltouuneista, induktiouuneista sekä tutkista. (Pääkkönen & Kyttälä 2000)

### **Suurtaajuinen säteily ympäristössä**

Erilaiset elektroniset laitteet saattavat häiriintyä matkapuhelinten aiheuttamista sähkömagneettisista kentistä. Tällaisia laitteita ovat esimerkiksi jotkin lääkinälliset laitteet, sydämentahdistimet, kuulokojeet sekä joidenkin koneiden ja laitteiden ohjausjärjestelmät. Näistä laitteista pyritään tänä päivänä tekemään matkapuhelinten häiriöiltä suojattuja.

GSM-puhelimen (Global System for Mobile Communications) häiriöetäisyydeksi on määriteltä kotielektroniikan suhteen alle 1 m. Sydämen tahdistimen turvaetäisyys puolestaan on 10 cm. Kuulokojetta käyttävän henkilön voi olla hankala käyttää laisinkaan matkapuhelinta sen aikaansaamien häiriöiden vuoksi. Lentokoneissa matkapuhelinten käyttö on turvallisuussyistä ehdottomasti kielletty.

Matkapuhelinten tukiasema-antennit sijoitetaan yleensä korkeisiin maastonkohtiin asettuihin mastoihin kymmenien metrien korkeuteen. Kaupungeissa mastoja voidaan sijoittaa myös rakennusten katoille noin 20-45 m korkeuteen maahan nähden ja itse katosta 2-4 m korkeuteen. Tukiasema-antenneja voidaan asettaa myös jopa rakennusten sisätiloihin seinään tai kattoon, jolloin korkeuden lattiasta on oltava vähintään noin kaksi metriä. Kaupunkialueille on joitakin tukiasemia

rakennettu myös rakennusten ulkoseiniin. Väestölle asetettu etäisyyden ohjearvo ulkona sijaitsevasta tukiasema-antennista on noin 7 m ja sisäantennista vähän alle metrin. Käytännössä maaseudulla ohjearvot voivat ylittyä vain tukiasematornien läheisyydessä ja kaupungeissa kerrostalojen katoilla, joille ei ole yleensä vapaata pääsyä. (Pääkkönen & Kyttälä 2000)

### **Matkapuhelinten aiheuttamat suurtaajuiset sähkömagneettiset kentät**

Matkapuhelinten määrä on lyhyessä ajassa lisääntynyt suuresti, ja ihmiset altistuvat suurtaajuiselle säteilylle jatkuvasti yhä enemmän. Matkapuhelinten säteilyteho on pieni, mutta niitä käytetään lähellä päätä, jolloin säteilyä ei voi jättää huomiotta. (Jokela ym. 1999)

Matkapuhelimet lähettävät ja vastaanottavat signaaleja keskenään niiden suuritehoisten tukiasemien kanssa. Ennen matkapuhelinten yleistymistä ihmiset altistuivat suurtaajuisille sähkömagneettisille kentille lähinnä vain TV- ja radioasemien lähettämien heikkojen signaalien kautta kun taas nykyään matkapuhelimet altistavat ihmisiä huomattavasti suuremmille sähkömagneettisille kentille. Digitaalinen matkapuhelinverkko GSM toimii Suomessa 800 - 2000 MHz:n taajuuksilla.

#### **Käytännön tehtävä:**

**Etsi lehdestä tai internetistä uutinen, joka koskee sähkömagneettisia kenttiä.**





## Lähteet

- Aura L., Tonteri A.J.: Sähkölaitostekniikka, WSOY 1993, 433 s.
- Fingrid Oyj: Ympäristövaikutusten arviointiselostus 400 kV johtohankkeesta (Inkoo-Kynnär) 1997.
- Hyvä tietää ydinvoimasta, Energia-alan Keskusliitto ry Finergy 1999.
- Jokela K., Leszczynski D., Paile W., Salomaa S., Puranen L., Hyysalo P.: Radiation safety of handheld mobile phones and base stations, STUK-A161, Helsinki 1999, 76 s.
- Kautto P., Heiskanen E., Melanen M.: Pyrkimys ympäristömyötäisiin tuotteisiin, tapaustutkimus viidestä kansainvälisestä suomalaisyrityksestä, Suomen Ympäristökeskus, 2002, 89 s.
- Korpinen L., Hietanen M., Jokela K., Juutilainen J., Valjus J.: Voimajohtojen sähkö- ja magneettikentät ympäristössä. Kauppa- ja teollisuusministeriön tutkimuksia ja raportteja 89/1995, Helsinki 1995, 210 s.
- Korpinen L. (toim.): Ajankohtaista käyttötaajuisista sähkö- ja magneettikentistä ympäristössä. Tampereen teknillinen korkeakoulu, sähkövoimatekniikka, raportti 3-2000. Tampere 2000, 276 s.
- Korpinen L.: Työpaikkaselvitysmenetelmän kehittäminen korkeakoulun työterveyshuoltoa varten. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Konetekniikan osasto, Työsuojelu, raportti 44. Tampere 1987, 84 s.
- Miettinen O. S.: Theoretical epidemiology. Principles of occurrence research in medicine. John Wiley&Sons Inc, 1985
- Kärnä A. (toim.): Ympäristömyötäinen tuotesuunnittelu, Opas sähkö- ja elektroniikkateollisuuden yrityksille, Sähkö- ja elektroniikkateollisuusliitto SET, 2001, 199 s.
- Lakervi E.: Sähkönjakeluverkkojen suunnittelu, Otatieto, Helsinki 1996, 110 s.
- Lassila & Tikanoja, L&T. <http://www.lassila-tikanoja.fi/kierratysopas/ongelmajate.html#4>, viitattu 23.7.2004.
- Lehtinen V.: Elinkaarianalyysin vaikutukset suurmuuntajien ominaisuuksiin Suomen oloissa. Diplomityö. Tampere, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Sähkötekniikan osasto, 1999, 152 s.
- Maailman terveysjärjestö (Euroopan aluetuomioisto): Säteily: sähkömagneettiset kentät 2001. Paikallisviranomaiset, terveys ja ympäristö 2001, 32 s.
- Mussalo-Rauhamaa H. (toim.), Jaakkola J.J.K.: Ympäristöterveyden käsikirja. Jyväskylä 1993, 204 s.
- Pääkkönen R., Kyttälä I.: Säteilystä ja sähkömagneettiset kentät työympäristössä. Työterveyslaitos, Helsinki 2000, 71 s.
- Saari P., Skarp P., Korpinen L. (toim.): Sähkö- ja elektroniikkateollisuuden ympäristökysymykset. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Sähkötekniikka ja terveys, opintomoniste 1-2001. Tampere 2001, 118 s.
- Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto, STUL: Rakentajan ja remontoijan sähköopas, osa 7: Sähkön käyttö kotona. <http://www.stul.fi/kuluttaja/osa7.pdf>, viitattu 9.8.2004.
- Sähkötarkastuskeskus: Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. Sähkötarkastuskeskus, Helsinki 1995, 805 s.
- Tampereen kaupunki. <http://www.tampereenkaupunki.net/ekotallaaja/print.php?tulosta=koko>, viitattu 23.7.2004
- Turvatekniikan keskus, TUKES. <http://www.tukes.fi>, viitattu 23.7.2004