

BL10A1000 Kandidaatintyö ja seminaari

KANDIDAATINTYÖ

14.5.2007

Janne Eskelinen

Säte 4

## **Energiansiirtoketjun energiatehokkuus**

## **TIIVISTELMÄ**

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Sähkötekniikan osasto

Janne Eskelinen

### **Energiansiirtoketjun energiatehokkuus**

Kandidaatin työ

2008

33 sivua, 5 kuvaa, 4 taulukkoa, 1 liite

Tarkastaja: Professori Jarmo Partanen

Hakusanat: energiatehokkuus, energian muunto, energian siirto.

Tämän työn tavoitteena oli tarkastella energiansiirtoketjun kokonaisenergiatehokkuutta, alkaen polttoaineesta ja päättyen sähköenergian loppukäyttäjään. Tarkasteltava energiansiirtoketju alkaa polttoaineen tuotannosta ja siirrosta. Tämän jälkeen tulee sähköenergian tuottaminen, siirtäminen, jakelu ja loppukäyttö. Sähköntuotannon osalta tarkasteltiin myös vesivoimaa ja tuulivoimaa, jolloin energiansiirtoketjusta jää polttoaineen tuotannon ja siirron häviöt pois.

Työn pääpaino kohdistui sähköenergian tuotannon, siirron, jakelun ja loppukäytön energiatehokkuuksien tarkastelemiseen. Työssä selvitettiin myös tulevaisuuden näkymiä, miten hyötysuhteita saataisiin parannettua eri osa-alueilla uusilla tekniikoilla ja käyttötottumuksilla. Loppukäyttäjä saa polttoaineen energiasta hyödyksi noin neljänneksen. Suurimmat häviöt syntyvät sähköenergian tuotannossa, lukuun ottamatta vesivoimalaitoksia, joiden hyötysuhde on erittäin korkea.

## **ABSTRACT**

Lappeenranta University of Technology  
Department of Electrical Engineering  
Janne Eskelinen

### **Energy efficiency of the energy supply chain**

Bachelor's Thesis  
2008

33 pages, 5 figures, 4 tables and 1 appendix

Supervisor: Professor Jarmo Partanen

Keywords: energy efficiency, changing of energy, transferring of energy.

The aim of this Thesis was to find out the total energy efficiency of the energy supply chain. The energy supply chain contains producing and transferring of fuels, producing of electric power, electric power transmission, electric power distribution and end-user. This study includes also hydro power plants and wind power plants, where there are no fuel producing and transferring losses.

The work focused on energy efficiency of producing electric power, transferring electric power and electric distribution. How to increase energy efficiency using new technologies and changing habits of electric power consumption were also discussed. The end-user can use about 25 % from fuels energy. The biggest losses are produced in power plants, with the exception of hydro power plants, which have very high efficiency.

# SISÄLLYSLUETTELO

<b>KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET</b>	<b>5</b>
<b>1. JOHDANTO</b>	<b>7</b>
<b>2. ENERGIALÄHDE</b>	<b>8</b>
<b>3. SÄHKÖNTUOTANTO</b>	<b>9</b>
3.1 Lauhdevoimalaitokset	10
3.1.1 Vastapaine- ja kaukolämpövoimalaitokset	12
3.2 Kaasuturbiinit	13
3.3 Diesel-voimalat	14
3.4 Vesivoimalat	15
3.5 Tuulivoimalat	15
3.6 Hyötysuhde sähköntuotannossa	16
<b>4. SÄHKÖN SIIRTO JA JAKELU</b>	<b>16</b>
4.1 Siirtoverkko	17
4.1.1 Siirtohäviöt	17
4.2 Jakeluverkko	19
4.2.1 Jakeluhäviöt	19
4.3 Verkostohäviöiden kehitys	21
4.3.1 1 kV jänniteporras ja tasasähköyhteydet	22
<b>5. SÄHKÖN KÄYTTÖ</b>	<b>23</b>
5.1 Teollisuus	24
5.1.1 Energian säästö uudella tekniikalla	25
5.2 Pienasiakkaat	25
5.2.1 Tulevaisuus	27
<b>6. YHTEENVETO</b>	<b>27</b>
<b>LÄHDELUETTELO:</b>	<b>30</b>
<b>LIITTEET I Fingrid Oyj:n voimansiirtoverkko</b>	

## KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

### Lyhenteet

ABB	Asea Brown Boveri
DC	tasavirta
LVI	lämpö vesi ilma

### Muuttujat

$h$	entalpia
$I$	virta
$P$	pätöteho
$Q$	loisteho
$R$	resistanssi
$S$	näennäisteho
$U$	jännite
$X$	reaktanssi
$\eta$	hyötysuhde
$\varphi$	vaihekulma

### Yksiköt

bar	baari
C	celsius
GWh	gigawattitunti
kV	kilovoltti
$\Omega$	ohmi
°	aste

### Alaindeksit

h	häviö
n	nimellinen

pr	prosessi
1	tilapiste
2	tilapiste
3	tilapiste

## 1. JOHDANTO

Energiansiirtoketju alkaa energialähteestä ja päättyy loppukäyttäjään. Energialla voi olla ketjun aikana monia eri muotoja. Yleensä polttoaineen kemiallinen energia muutetaan välivaiheiden kautta tai suoraan kineettiseksi energiaksi, potentiaalienergiaksi, lämpöenergiaksi tai sähkömagneettiseksi säteilyksi, kuten valoksi.

Tämän työn tarkoituksena on selvittää energiansiirtoketjun kokonaisenergiatehokkuutta, jossa polttoaineen sisältämä energia muutetaan sähköenergiaksi ennen siirtoa loppukäyttäjälle. Pääpaino työssä on sähkön tuotannon, siirron ja jakelun, sekä loppukäyttäjän laitteiden hyötysuhteiden tarkastelu. Työssä selvitetään, mitkä asiat eri osa-alueilla hyötysuhteisiin vaikuttavat. Myös tulevaisuuden näkymiä tarkastellaan, miten hyötysuhteet voisivat parantua jatkossa.

Energiansiirtoketjun energiatehokkuudessa on paljon mahdollisia parannuskohteita. Materiaalit ja laitteet kehittyvät, jolloin hyötysuhteet energianmuuntoprosesseissa paranevat. Suurimmat häviöt muodostuvat voimalaitoksissa, mutta kokonaishyötysuhdetta voidaan parantaa tehokkaimmin kehittämällä kaikkia siirtoketjun osa-alueita. Myös kulutustottumusten muutoksilla ja energiatehokkailla laitevalinnoilla voidaan parantaa kokonaishyötysuhdetta.

## 2. ENERGIALÄHDE

Tarkasteltava energiansiirtoketju alkaa energialähteen eli polttoaineen tuotannosta. Polttoaineena voidaan käyttää mm. hiiltä, öljyä, maakaasua tai uraania. Ennen käyttöä ne pitää jalostaa sopivaan muotoon ja siirtää voimalaitoksille, jolloin tapahtuu aina häviöitä. Energialähteen tuotannon ja siirron häviöitä on tarkasteltu lyhyesti, koska ne vaihtelevat paljon polttoainekohtaisesti ja työn pääpaino on sähköenergian osa-alueella.

Polttoaineita tuotetaan maapallon kaikilla mantereilla. Suurin tuotanto ja kulutus eivät tapahdu samassa paikassa, joten siirtohäviöitä tulee. Esimerkiksi suurimmat öljykentät sijaitsevat Persianlahden alueella ja Saudi-Arabiassa, mutta suurin öljynkuluttajamaa on Yhdysvallat, jossa käytetään neljännes kaikesta tuotetusta öljystä. Maakaasun tuotannossa suurimmat maat ovat Venäjä ja Yhdysvallat. Hiilen suurimmat tuottajamaat ovat Kiina, Yhdysvallat, Intia, Australia ja Etelä-Afrikka. Suurimmat todetut uraanivarat taas sijaitsevat Australiassa, Pohjois-Amerikassa, Kazakstanissa, Venäjällä, Etelä-Afrikassa, Nigeriassa ja Namibiassa. (www.oil-gas.fi, www.worldcoal.org, Energiateollisuus 2006)

Maailman kokonaisenergiantarpeesta öljyllä tuotetaan noin 40 %, maakaasulla 25 % ja hiilellä 20 %. Pelkässä sähköntuotannossa hiilen osuus on noin kolmannes ja ydinvoimalla tuotetaan 16 %. Öljy on vielä tärkein energianlähteenme. Sähköntuotannon osalta osuus on selkeästi 40 %:ia pienempi. (www.energia.fi, www.oil-gas.fi)

Ensimmäiset häviöt energiansiirtoketjussa tapahtuvat, kun malmia louhitaan kaivoksilla, ja öljyä sekä kaasua pumpataan maan sisältä. Öljyä ja kaasua pumpataan maalla sijaitsevilla pumpuilla sekä merellä sijaitsevilla porauslautoilla. Kaivokset voivat olla avolouhoksia tai maanalaisia tunneleita. Maanalaiset kaivokset ovat avolouhoksia monimutkaisempia ja niissä kuluu enemmän energiaa suhteessa tuotetun polttoaineen energiamäärään (Stoner 2007). Noin 60 % maailman hiilikaivoksista on maanalaisia kaivoksia (www.worldcoal.org).



Tämän jälkeen polttoaineet siirretään jalostettavaksi, josta edelleen voimalaitoksille käytettäväksi. Häviöiden määrä suhteessa polttoaineen sisältämään energiaan vaihtelee suuresti eri polttoaineiden välillä. Esimerkiksi uraanitonni sisältää 100 000 kertaisen määrän energiaa verrattuna hiilitonniin, joten hiilen siirrossa tulee suhteellisesti energiahäviöitä huomattavasti enemmän. Uraanin energiasisällön määrää kuvaa, että nelihenkisen perheen vuodessa kuluttama sähkö saadaan tuotettua ydinvoimalassa viidellä tai kuudella noin 10 grammaa painavalla uraaninapilla (Energiateollisuus 2006). Lisäksi siirtohäviöihin vaikuttaa polttoaineen rakenne. Maakaasua tai öljyä voidaan kuljettaa putkessa, mutta hiilen kansainväliset kuljetukset joudutaan hoitamaan lähes kokonaan laivoilla. Tästä johtuen hiilen toimituskuluista 70 % voi koostua sen siirtokustannuksista ([www.worldcoal.org](http://www.worldcoal.org)).

Diesel-öljyn tuotannon ns. *well-to-tank* hyötysuhde on noin 90 % (Svensson 2005). Tämä tarkoittaa, että 10 % raakaöljyn energiasta häviää ennen voimalaitosta. Häviöitä syntyy mm. raakaöljyn tuotannossa, raakaöljyn siirrossa sekä öljynjalostuksessa ja jakelussa. Pienimmät häviöt ovat uraanilla suhteessa tuotetun polttoaineen energiamäärään.

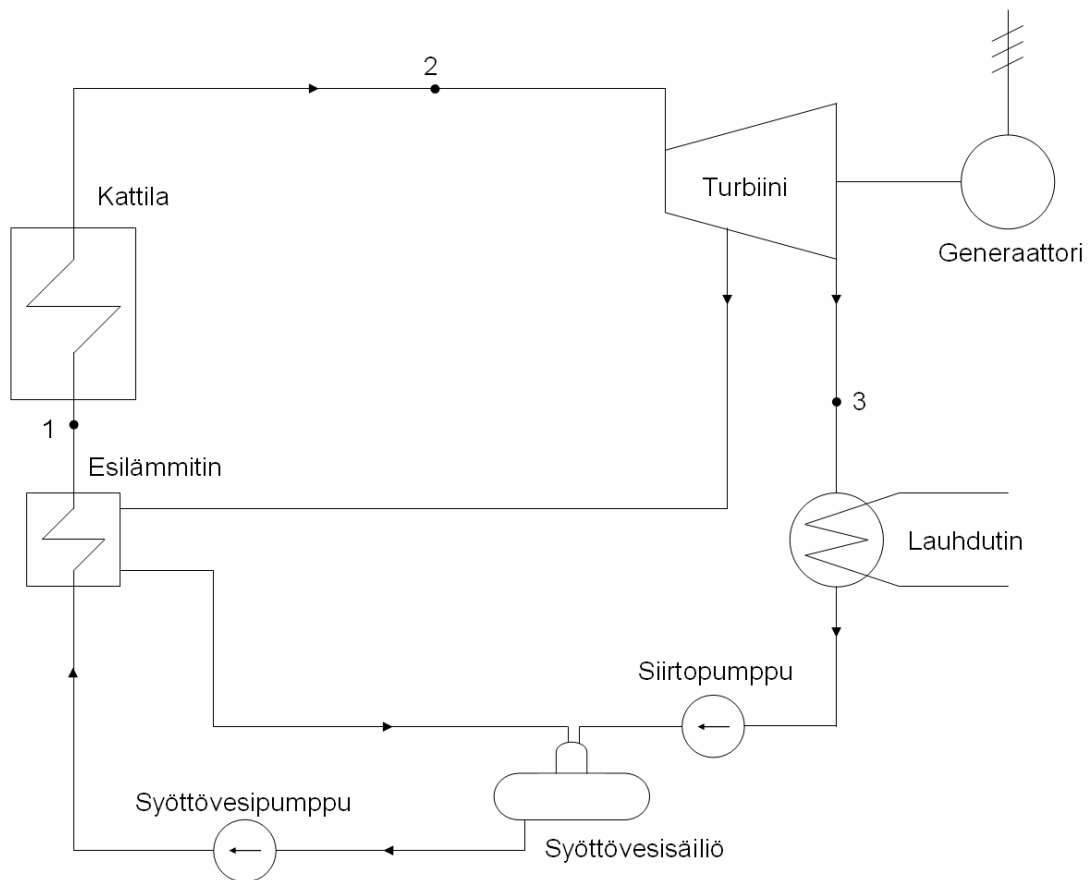
### **3. SÄHKÖNTUOTANTO**

Voimalaitoksissa energia muutetaan sähkön muotoon. Energiansiirtoketjussa voimalaitos on suurin yksittäinen häviöiden aiheuttaja. Parhaimmillaankin tuodusta energiasta saadaan muutettua hieman yli puolet sähköenergiaksi. Voimalaitosten kokonaishyötysuhde paranee, jos niillä tehdään sähkön lisäksi lämpöä. Tämä parantaa energiatehokkuutta Suomen kaltaisessa maassa, jossa lämpöenergiaa tarvitaan runsaasti.

Suurin osa sähköenergiasta tuotetaan erilaisilla lämpövoimakoneilla, jolloin hyötysuhde on riippuvainen prosessin korkeimman ja matalimman lämpötilan erotuksesta. Tämä luo nykyisille tekniikoille teoreettiset maksimit, koska materiaalit eivät kestä lämmön nousua loputtomiin.

### 3.1 Lauhdevoimalaitokset

Lauhdevoimalaitokset ovat yleisin voimalaitostyyppi. Niiden toiminta perustuu lämmitettävään nesteeseen, joka on yleensä vettä. Lämmittämisen seurauksena neste höyrystyy ja se johdetaan turbiinin läpi lauhduttimeen. Pyörivän turbiinin energia muutetaan generaattorissa sähköksi. Lauhdevoimalaitokset ovat yleisiä, koska nestettä voidaan kiehua hyvin erilaisilla lämmitysmenetelmillä biopolttoaineiden poltosta ydinenergiaan. Kuvassa 3.1 nähdään yksinkertaisen lauhdevoimalan toimintaperiaate.



Kuva 3.1 Yksinkertaisen lauhdevoimalaitoksen rakenne.

Kattilassa vesi höyrystetään, jonka jälkeen korkeassa paineessa oleva höyry johdetaan turbiiniin. Turbiinissa höyry laajenee ja kulkeutuu kohti matalammassa lämpötilassa ja paineessa olevaa lauhdutinta. Turbiinisissa on lukuisia siivekkeitä, joiden ansiosta se pyörii paisuvan höyryn voimasta. Lauhduttimessa höyry muuttuu takaisin vedeksi, josta se johdetaan pumpulla syöttövesisäiliöön ja sieltä edelleen syöttövesipumpulla

esilämmittimen kautta kattilaan. Syöttövesipumppu nostaa veden paineen korkealle ennen kattilaan menoa.

Kuvan 3.1 mukaisen prosessin hyötysuhdetta voitaisiin parantaa erilaisilla esilämmittimillä ja välitulistuksilla. Esilämmittimissä vettä lämmitetään ennen kattilaa turbiinin väliotosta saatavalla höyryllä. Välitulistuksessa turbiini on kaksi- tai jopa kolmeosainen. Kaksiosaisessa rakenteessa höyry paisuu ensin korkeapaineturbiinissa, minkä jälkeen se tulistetaan kattilassa uudelleen korkeaan lämpötilaan. Tulistettu höyry johdetaan edelleen matalapaineturbiiniin. Välitulistus parantaa hyötysuhdetta merkittävästi. Vaikka välitulistus lisää kattilassa kuluvaa energiaa, niin turbiinista saatava teho nousee tätä enemmän. Lisäksi välitulistuksen ansiosta höyry poistuu turbiinista kuivempana, mikä vähentää siipien kulumista.

Lauhdevoimalaitoksilla päästään noin 40 % hyötysuhteeseen sähköntuotannossa, mutta tällöin vain sähköenergia saadaan hyödyksi. Jos voimalaitoksella tuotetaan myös lämpöenergiaa, niin sähköntuotannon hyötysuhde tippuu. Suurin osa häviöistä on lauhdehäviöitä. Noin 50 % polttoaineen sisältämästä energiasta siirtyy lauhduttimen kautta ympäristöön. Merivedellä lauhdutetut voimalaitokset pitävät merenrannan talvella sulana suurelta alueelta. Lauhdevoimalaitosten hyötysuhteeseen vaikuttaa olennaisesti höyryn energiasisällön eli entalpien muutos turbiinissa. Prosessin hyötysuhde voidaan laskea karkeasti yhtälöllä

$$\eta_{\text{pr}} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}, \quad (3.1)$$

jossa  $\eta$  on hyötysuhde ja  $h$  on entalpia. Hyötysuhde tulee turbiinin entalpiaerosta suhteessa kattilan entalpiaeroon. Alaindeksien määrittämien tilapisteiden paikat näkyvät kuvassa 3.1. (Larjola 2006)

Höyryllä pitää olla mahdollisimman paljon energiaa ennen turbiinia ja mahdollisimman vähän energiaa turbiinin jälkeen. Painetta joudutaan pitämään korkealla, jotta veden kiehumispistettä saadaan nostettua. Esimerkiksi 70 bar paineessa veden kiehumispiste

on 286 °C. Turbiinin jälkeen olevassa lauhduttimessa pitää kiertää mahdollisimman kylmä vesi. (Larjola 2006)

Ydinvoimaloissa hyötysuhde on hieman alhaisempi verrattuna muihin lauhdevoimaloihin, koska niissä ei käytetä turvallisuussyistä tulistettua höyryä, joten lämpötila ennen turbiinia jää alhaisemmaksi.

Lauhdevoimalaitoksien kokonaishyötysuhdetta parannetaan lämmön ja sähkön yhteistuotannolla sekä yhdistämällä erilaisia voimalaitostyyppjä keskenään, kuten kaasuturbiini ja lauhdevoimalaitos. Kaasuturbiinin savukaasuilla voidaan kiehua nestettä lauhdevoimalan tarpeeseen. Kokonaishyötysuhde paranee, koska muuten savukaasujen energia menisi hukkaan. Lämmön ja sähkön yhteistuotannossa päästään hyvinkin korkeisiin hyötysuhteisiin, mutta suurin osa saadusta energiasta on lämpöenergiaa.

### **3.1.1 Vastapaine- ja kaukolämpövoimalaitokset**

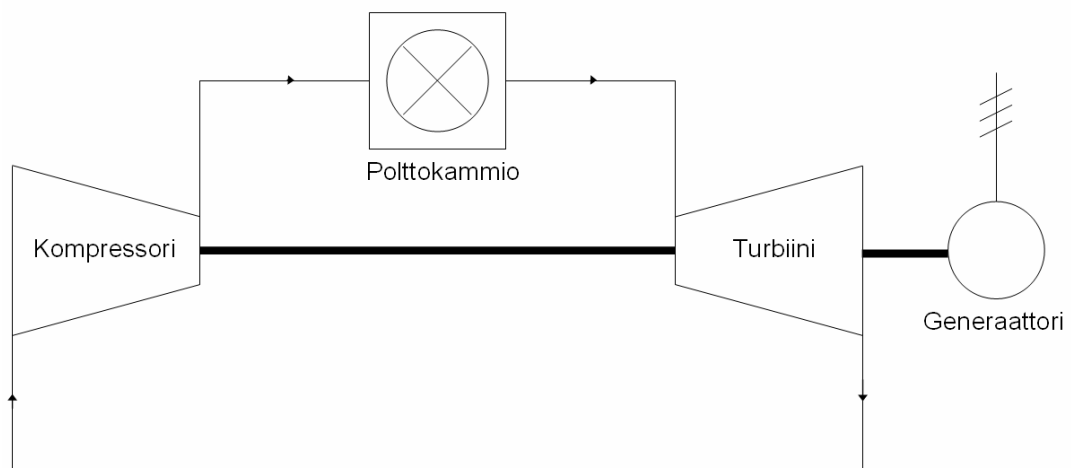
Vastapaine- ja kaukolämpövoimalaitoksilla yhdistetään sähkön ja lämmön tuotanto. Vastapainevoimalaitoksia käytetään teollisuudessa. Näissä laitoksissa lauhduttimen talteen ottama lämpöenergia johdetaan tehtaaseen, jossa se käytetään prosessin lämmöntarpeisiin. Nimensä mukaisesti lauhduttimessa on tavallista lauhdevoimalaitosta korkeampi paine, koska lauhduttimen lämpötila on korkeampi. Turbiinissa tapahtuva paisuntaprosessi joudutaan keskeyttämään aikaisemmin verrattuna normaaliin lauhdevoimalaan. Tästä johtuen laitoksen kokonaistehosta saadaan sähköksi vain noin 20 %, vaikka laitoksen kokonaishyötysuhde voi olla lähes 90 %. Laitoksia ajetaankin pääasiassa tarvittavan lämpömäärän perusteella. (Partanen 1997)

Myös kaukolämpövoimalaitoksen toiminta perustuu lauhdeveden lämpöenergian hyväksikäyttöön. Kaukolämpöveden lämpötila on huomattavasti matalampi kuin teollisuuden tarvitsema prosessihöyry, joten höyryn voidaan antaa paisua turbiinissa pidempään. Kokonaishyötysuhde molemmilla laitoksilla on samaa luokkaa, mutta

kaukolämpövoimalaitoksen sähköntuotanto on korkeampi. Sähköenergiaksi saadaan tuodusta energiasta noin 30 %. (Larjola 2006)

### 3.2 Kaasuturbiinit

Kaasuturbiinien käyttö sähköntuotannossa on selvästi vähäisempää kuin lauhdevoiman. Voimalaitostyyppiä käytetään pääasiassa, kun kulutus on korkeimmillaan, eikä muuta tuotantomenetelmää lisätehon saamiseksi enää ole. Lisäksi kaasuturbiinien tuottamaa varavoimaa voidaan käyttää, jos verkon muissa voimalaitoksissa on vikoja. Tällöin nopeasti käynnistettävillä kaasuturbiineilla saadaan paikattua verkon tehovajetta. Kaasuturbiinin toiminta perustuu siihen, että kylmän ilman puristaminen vaatii vähemmän energiaa kuin kuuma ilma luovuttaa paisuessaan. Kaasuturbiineilla päästään vain 25-35 % hyötysuhteeseen. Kuva 3.2 selventää toimintaa. (Larjola 2006)



Kuva 3.2 Yksinkertaisen kaasuturbiinin rakenne.

Ilmaa imetään kompressoriin, jossa sen painetta nostetaan. Korkeapaineinen ilma johdetaan polttokammioon, ja sen lämpötila nousee kaasun palamisen seurauksena. Kuuma korkeapaineinen ilma johdetaan turbiiniin, jossa se laajenee ja pyörittää turbiinia. Turbiini pyörittää akselien välityksillä sekä kompressoria että generaattoria.

Kaasuturbiinin hyötysuhteeseen vaikuttaa olennaisena osana painesuhde. Mitä suurempi ero paineilla on ennen ja jälkeen kompressorin, sitä parempi on prosessin hyötysuhde. Materiaalien on siis kestävä, paitsi suuria lämpötiloja, niin myös yhä

suurempia paineita. Pienillä kaasuturbiineilla on vaikeaa saavuttaa suurta painesuhdetta, joten niiden hyötysuhdetta on parannettava hieman monimutkaisemmilla lämmön talteenottorakenteilla. Suurin osa kaasuturbiinin häviöistä liittyy pakokaasuihin. Hyötysuhdetta pyritään parantamaan hyödyntämällä pakokaasujen sisältämää lämpöenergiaa. Savukaasuilla voidaan lämmittää esimerkiksi polttokammioon menevää paineistettua ilmaa, jolloin ilman lämmittämiseen tarvitaan vähemmän polttoaineen sisältämää energiaa. Kaasuturbiinien ja lauhdevoimalaitosten muodostamilla kombivoimaloilla päästään jopa 60 % hyötysuhteeseen, kun pakokaasuilla höyrystetään nestettä lauhdevoimalaitoksen tarpeisiin. Tämä on toistaiseksi korkein lämpövoimakoneilla saavutettu hyötysuhde sähköntuotannossa. (Larjola 2006)

### **3.3 Diesel-voimalat**

Diesel-voimala on polttomoottorivoimala, jolla päästään 42-50 % akselihyötysuhteeseen ([www.wartsila.fi](http://www.wartsila.fi)). Isoilla diesel-voimaloilla päästään nykyisin parempaan hyötysuhteeseen sähköntuotannossa kuin lauhdevoimalaitoksilla. Öljyn kallis hinta ja palamisesta aiheutuneet päästöt kuitenkin rajoittavat kyseisten voimaloiden käyttöä. Tämä laitostyyppi on Suomessa käytössä varavoimanlähteenä. Dieselit voidaan käynnistää nopeasti, joten niistä saadaan tarvittavaa varavoimaa nopeasti. Kehitysmaissa diesel-voimalaitoksia käytetään myös ensisijaisena voimanlähteenä.

Diesel-voimalaitoksen toimintaperiaate on tavallisen polttomoottorin kaltainen. Öljyn kemiallinen energia muutetaan mekaaniseksi energiaksi sylintereissä tapahtuvan palamisen avulla. Sylintereissä kasvava paine liikuttaa mäntää, jonka edestakainen liike muutetaan kampiakselilla pyöriväksi liikkeeksi. Monissa diesel-voimaloissa voidaan käyttää vaihtoehtoisena polttoaineena maakaasua.

Diesel-moottorin hyötysuhteeseen vaikuttaa olennaisesti puristussuhde, eli kuinka paljon sylinteriin imettyä ilmaa puristetaan kasaan. Suuremmalla puristussuhteella päästään parempaan hyötysuhteeseen. Myös diesel-voimalaitoksen

kokonaishyötysuhdetta voidaan parantaa käyttämällä hyväksi pakokaasujen sisältämää lämpöenergiaa. (Larjola 2006)

### **3.4 Vesivoimalat**

Vesivoima on uusiutuvaa ja halpaa energiaa. Energiansiirtoketjusta jää vesivoiman kohdalla energialähteen tuotannon ja siirron häviöt kokonaan pois. Vesivoimalaitoksissa käytetään veden potentiaalienergiaa pyörittämään turbiineja. Vettä saadaan voimalaitoksen yläpuolella olevista säännöstelyaltaista, jotka voivat olla luonnon omia vesistöjä tai erikseen patoamalla tehtyjä tekoaltaita. Vesistö padotaan niin, että saadaan mahdollisimman suuria putouskorkeuksia. Putouskorkeus vaikuttaa olennaisesti vesivoimalaitoksen hyötysuhteeseen. Mitä suurempi putouskorkeus on, sitä pienemmällä veden virtausmäärällä päästään samaan tehoon. Vesivoimalla päästään yli 90 % hyötysuhteeseen, virtaavan veden energiasta.

Vesivoimaloita käytetään hyvän säädettävyyden ansiosta verkon tehonsäätöön, tuotannon ja kulutuksen tasapainon ylläpitämiseksi. Tämän takia voimalaitokset pitää suunnitella siten, että ne toimivat mahdollisimman hyvällä hyötysuhteella koko tehoalueellaan. (Partanen 1997)

### **3.5 Tuulivoimalat**

Tuulivoima on vesivoiman ohella uusiutuvaa energiaa. Energialähteen tuottamiseen ei kulu energiaa lainkaan. Tuulivoimalan hyötysuhteeseen vaikuttavat teknisesti lapojen muodostama roottori ja generaattori. Generaattorin hyötysuhde on erittäin korkea, mutta tuulimyllyn lapojen roottorihyötysuhde on maksimissaan 50 % luokkaa. Tuulienergian hyödyntämiseen vaikuttaa erityisesti sopivien tuulien määrä. Tuulen tehosisältö on suoraan verrannollinen tuulen nopeuden kolmanteen potenssiin, mikä vaikuttaa hyötysuhteeseen merkittävästi. Liian suurella tuulen nopeudella tuulivoimala on kuitenkin lukittava paikoilleen vaurioiden välttämiseksi. Voimaloiden huipunkäyttöajat jäävät alhaisiksi. Tuulivoimaloiden tyypillinen huipunkäyttöaika on vain 2000-2800 tuntia vuodessa, mikä on selvästi vähemmän kuin millään muulla sähköenergian tuotantomenetelmällä voidaan saavuttaa. (Vartiainen 2002)

### **3.6 Hyötysuhde sähköntuotannossa**

Pelkässä sähköntuotannossa voimalaitosten tämän hetkisenä hyötysuhteiden keskiarvona voidaan pitää hieman alle 40 %, joka on lauhdevoimalaitosten hyötysuhde. Tämä laitostyyppi onkin kaikista yleisin ja sillä tehdään perusvoimaa, eli laitoksia ajetaan täydellä teholla ennalta määritellyn ajo-ohjelman mukaisesti. Suomessa sähköstä tuotetaan yli 40 % lauhdevoimalaitoksilla, kun otetaan huomioon, että ydinvoimalaitokset ovat lauhdevoimalaitoksia. Kombivoimaloissa on korkea sähköntuotantohyötysuhde, mutta niiden käyttöä rajoittaa laitosten korkeampi hinta verrattuna tavallisiin lauhdevoimalaitoksiin. Suomen kaltaisessa maassa, missä lämpöä tarvitaan runsaasti, sähkön ja lämmön yhteistuotanto on kokonaisyötysuhteeltaan kaikkein tehokkainta.

Voimalaitostekniikoissakin kehitystä tapahtuu jatkuvasti. Parannetuilla polttotekniikoilla ja kombivoimalaitoksilla on arvioitu hyötysuhteen kasvavan tulevaisuudessa merkittävästi. Jouko Hepola ja Esa Kurkela ovat arvioineet vuonna 2002, että vuoteen 2030 mennessä uusilla teknologioilla voidaan päästä hiilellä tuotetussa sähkössä yli 50 % hyötysuhteeseen. Kaikista korkeimpiin hyötysuhteisiin arvioidaan pääsevän polttokennohybrideillä, joissa korkealämpötilapolttokenno yhdistetään kaasuturbiiniin, polttomootoriin tai toiseen polttokennoon. Kyseisillä laitoksilla arvioidaan pääsevän yli 70 % sähköntuotannon hyötysuhteeseen. Laitosten tehot ovat kuitenkin pieniä. (Hepola 2002)

## **4. SÄHKÖN SIIRTO JA JAKELU**

Suurin osa voimalaitoksista on kytketty sähkönsiirtoverkkoon, jonka kautta energia siirretään eteenpäin. Suomessa siirtoverkosta vastaa Fingrid. Sähkö siirretään verkon kautta jakeluverkkoihin ja suoraan joillekin teollisuuden suurille asiakkaille. Jakeluverkoista vastaavat sähköverkkoyhtiöt ja niiden kautta sähkö siirtyy loppukäyttäjille. Sähköverkon häviöt johtuvat pääosin johtimista ja muuntajista.



## 4.1 Siirtoverkko

Sähkö siirretään Suomessa kantaverkossa, jonka jännitetasoina käytetään 400 kV, 220 kV ja 110 kV. Liitteessä I on Fingridin kuva koko Suomen voimansiirtoverkosta. Kuvasta nähdään, että suurin osa verkosta koostuu 400 kV ja 110 kV sähkölinjoista. Venäjälle on yhteys Kaakkois-Suomesta Yliskälän sähköaseman kohdalta. Ruotsiin on tasasähköyhteys merikaapelilla Rauman kohdalta sekä vaihtosähköyhteys Pohjois-Suomesta. Lisäksi Eestiin on rakennettu tasasähkölinkki. Siirtoverkko on rakenteeltaan silmukkamainen, jolloin verkon toiminta saadaan erittäin varmaksi useiden varayhteyksien ansiosta. ([www.fingrid.fi](http://www.fingrid.fi))

### 4.1.1 Siirtohäviöt

Sähkön siirtoverkon häviöt ovat pääasiassa johtimien reaktansseista johtuvia loistehohäviöitä. Siirtojohtimen resistanssin vaikutus siirtohäviöihin on niin paljon reaktanssia pienempi, että se jätetään usein kokonaan huomioimatta. Taulukosta 4.1 nähdään tyypillisiä siirtoverkon johtimien ominaisarvoja.

Taulukko 4.1 Johtimien tyypillisiä ominaisarvoja (Partanen 2006).

Johto	$R$ [ $\Omega/\text{km}$ ]	$X$ [ $\Omega/\text{km}$ ]
110 kV	0,05-0,2	0,4
400 kV	0,00-0,05	0,3

Johtimissa tapahtuvat pätötehohäviöt saadaan yhtälöllä

$$P_h = 3RI^2, \quad (4.1)$$

ja loistehohäviöt yhtälöllä

$$Q_h = 3XI^2, \quad (4.2)$$

joissa,  $R$  on resistanssi,  $X$  on reaktanssi ja  $I$  on virta. Verkossa kulkevan virran suuruus on riippuvainen siirrettävästä pätötehosta ja jännitteestä, seuraavan yhtälön mukaisesti

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}U \cos \varphi}, \quad (4.3)$$

jossa  $U$  on jännite ja  $\varphi$  vaihekulma. Siirtoverkon häviöt pyritään pitämään mahdollisimman alhaisina. Edellisistä yhtälöistä huomataan, että siirrettävän pätötehon kasvaessa on nostettava jännittä, jotta hyötysuhde olisi mahdollisimman hyvä. (Elovaara 1988)

Siirtohäviöihin voidaan vaikuttaa hyvällä verkon suunnittelulla. Johtimien poikkipinnat valitaan niin suuriksi kuin on taloudellisesti kannattavaa. Käytännössä tämä tarkoittaa häviötehon laskemista ja siitä aiheutuneiden kustannusten vertaamista johtimien investointikustannuksiin. Lisäksi verkko pitää suunnitella siten, että johtoja kuormitetaan tasaisesti. Siirtoverkko on malliltaan silmukkamainen, joten tehonlaskenta on tärkeää, ettei verkkoon muodostu ”pullonkauloja” tehonsiirron kannalta.

Siirtoverkon häviöihin vaikuttaa olennaisesti jännitteen ja loistehon säätö. Kun jännite on mahdollisimman tarkasti samansuuruinen joka puolella verkkoa, niin loistehoa siirretään mahdollisimman vähän. Tämän ansiosta häviöitä syntyy vähän. Jännitettä säädetään muuntajien käämikytkimillä sekä loistehon tuotannolla tai kulutuksella. Verkossa pyritään loistehotasapainoon, jolloin sitä kulutetaan ja tuotetaan yhtä paljon. Loistehoa voidaan säätää mm. tahtikoneiden magnetointeja muuttamalla, reaktoreilla ja kondensaattoreilla. Koska loistehon siirto aiheuttaa häviöitä, niin se pyritään tuottamaan esimerkiksi rinnan kytketyllä kondensaattorilla mahdollisimman lähellä kulutuskohdetta, jolloin loistehoa ei tarvitse siirtää pitkiä matkoja. (Mörsky 1994)

Sähkön siirtohäviöt ovat niin pienet, että on mahdollista tuottaa energiaa kaukana kulutuskohteesta, edullisimmassa ja tehokkaimmassa laitoksessa. Tämä lisää energiansiirtoketjun kokonaistehokkuutta, mikäli sähkö tuotetaan mahdollisimman hyvän hyötysuhteen omaavassa voimalaitoksesta. (Partanen 1997)

## 4.2 Jakeluverkko

Kantaverkosta sähkö siirtyy jakeluverkkoihin ja sen jännite muutetaan yleensä 20 kV:iin. Jakeluverkot ovat rakenteeltaan säteittäisiä ja niissä siirretään sähköenergiaa tavallisesti korkeintaan muutaman kymmenen kilometrin päähän. Haja-asutusseuduilla voi olla pidempiäkin 20 kV johtolähtöjä, mutta tällöin siirrettävän tehot ovat pieniä. 20 kV verkosta jännite muutetaan jakelumuuntajissa 400 V pienjännitteeksi. Näin alhaisella jännitteellä siirtomatkat rajoittuvat maksimissaan muutamiin satoihin metreihin. Tätä pidemmällä matkoilla jännite alenee liikaa johtimien resistanssien takia.

### 4.2.1 Jakeluhäviöt

Jakeluverkon häviöitä määritettäessä on otettava huomioon sekä resistiiviset- että reaktiiviset häviöt. Jakeluverkkojen osalta määräävässä asemassa ovat johtimien resistansseista johtuvat pätötehohäviöt. Taulukosta 4.2 nähdään jakeluverkon johtimien tyypillisiä ominaisarvoja.

Taulukko 4.2 Johtimien tyypillisiä ominaisarvoja (Partanen 2006).

Johto	$R$ [ $\Omega/\text{km}$ ]	$X$ [ $\Omega/\text{km}$ ]
0,4 kV ilmajohto	0,5-1,0	0,1
20 kV ilmajohto	0,2-1,0	0,4
20 kV kaapeli	0,2-1,0	0,1

Alemmasta jännitetasosta johtuen sähköjakeluverkon kuormitusvirrat ovat suuremmat kuin siirtoverkossa suhteessa siirrettyyn tehoon, kuten yhtälöstä (4.3) nähdään. Tästä johtuen myös häviötehot ovat suuremmat suhteessa siirrettyyn pätötehoon. Häviötehot saadaan laskettua yhtälöillä (4.1) ja (4.2).

Johtimen resistanssi on suoraan verrannollinen käytetyn materiaalin resistiivisyyteen ja pituuteen sekä kääntäen verrannollinen johtimen paksuuteen. Tästä johtuen suuremmilla tehonsiirroilla joudutaan käyttämään suurempia johtimien poikkipintoja. Johtimen poikkipinnan valintaan vaikuttaa aina sekä häviöt että johtimen investointikustannus. Pelkästään energiatehokkuuden kannalta kannattaisi valita aina mahdollisimman suuri poikkipinta. Energiahäviöiden kannalta jakeluverkkojakin

kannattaisi käyttää silmukoidusti. Suomessa jakeluverkkoa kuitenkin käytetään säteittäisenä. Tällaisessa verkossa häiriöiden rajoittaminen on helpompaa, oikosulkuvirrat ovat pienempiä ja jännitteensäätö sekä suojaus on helpompi toteuttaa verrattuna silmukoituun verkkoon. Keski-jänniteverkon rakenne on usein silmukkamainen, mutta renkaita käytetään avoimina. (Lakervi 2008)

Muuntajien kuormitushäviöt saadaan määritettyä, kun tiedetään valmistajan ilmoittama nimelliskuormitushäviö ja nimellisteho. Kuormitushäviöt muuttuvat muuntajan kuormituksen mukaan ja ne saadaan laskettua yhtälöllä

$$P_h = \left( \frac{S}{S_n} \right)^2 \cdot P_{h,n}, \quad (4.4)$$

jossa  $P$  on pätöteho ja  $S$  on näennäisteho. Kuormitushäviöiden lisäksi muuntajilla esiintyy tyhjäkäyntihäviöitä. Ne aiheutuvat magneettivuon vaihtelusta, mikä saa aikaan muuntajan sydämessä pyörrevirta- ja hystereesihäviöitä. Yhdysvalloissa 1989 tehdyn laskelman mukaan jakeluverkon häviöistä yli puolet voi koostua muuntajahäviöistä (Lakervi 2008, Grainger 1989).

Muuntajahäviöiden suuruus on kuitenkin riippuvainen verkon rakenteesta, koska muuntajien lukumäärä vaikuttaa suoraan tyhjäkäyntihäviöiden määrään. Esimerkiksi kaupunkiverkossa siirtomatkat ovat pieniä ja kaapelit paksuja, mutta muuntajat ovat isoja. Maaseudun verkossa johtolähdöt ovat pidempiä, joten johdinhäviöiden suhteellinen osuus on kaupunkimaista verkkoa suurempi.

Jakeluverkot pyritään suunnittelemaan siten, että syöttävät sähköasemat sijaitisivat mahdollisimman lähellä kulutuksen painopistettä. Tällöin siirrettävän tehon matka on mahdollisimman lyhyt jakeluverkossa. Lisäksi verkoista lasketaan tietyin väliajoin tehohäviöt, joiden mukaan arvioidaan optimaalinen jakeluverkon rakenne ja kytkentätilanne. (Elovaara 1988)

Jakeluverkon komponentteja uusitaan vanhenemisen ja kasvavan kuormituksen takia. Uusia investointeja arvioidaan mm. häviötehojen perusteella. Jos investoinnin annuiteetti, eli vuotuinen kustannus, on pienempi kuin vanhan rakenteen häviötehojen kustannus vuodessa, kannattaa investointi tehdä taloudellisesti.

### 4.3 Verkostohäviöiden kehitys

Sähkön siirto- ja jakeluhäviöt ovat pienet, mutta kasvavan sähkönkulutuksen ja sähkön hinnan myötä pienemmistäkin yksittäisistä parannuksista on suurempi hyöty. Sekä siirtotekniikassa että jakelutekniikassa on saatu hyötysuhdetta parannettua. Taulukosta 4.3 näkyy häviöiden kehitys.

Taulukko 4.3 Sähkön siirto- ja jakeluhäviöt Suomessa (www.energia.fi).

<b>Vuosi</b>	<b>1970</b>	<b>1980</b>	<b>1990</b>	<b>2000</b>	<b>2004</b>
Kokonaiskulutus [GWh]	21817	39921	62334	79158	87025
Siirtohäviöt [GWh]	600	1054	1203	906	1123
<b>Siirtohäviöt</b> [%]	<b>2,75</b>	<b>2,64</b>	<b>1,93</b>	<b>1,14</b>	<b>1,29</b>
Jakeluhäviöt [GWh]	911	1251	1622	1726	1836
<b>Jakeluhäviöt</b> [%]	<b>4,18</b>	<b>3,13</b>	<b>2,60</b>	<b>2,18</b>	<b>2,10</b>

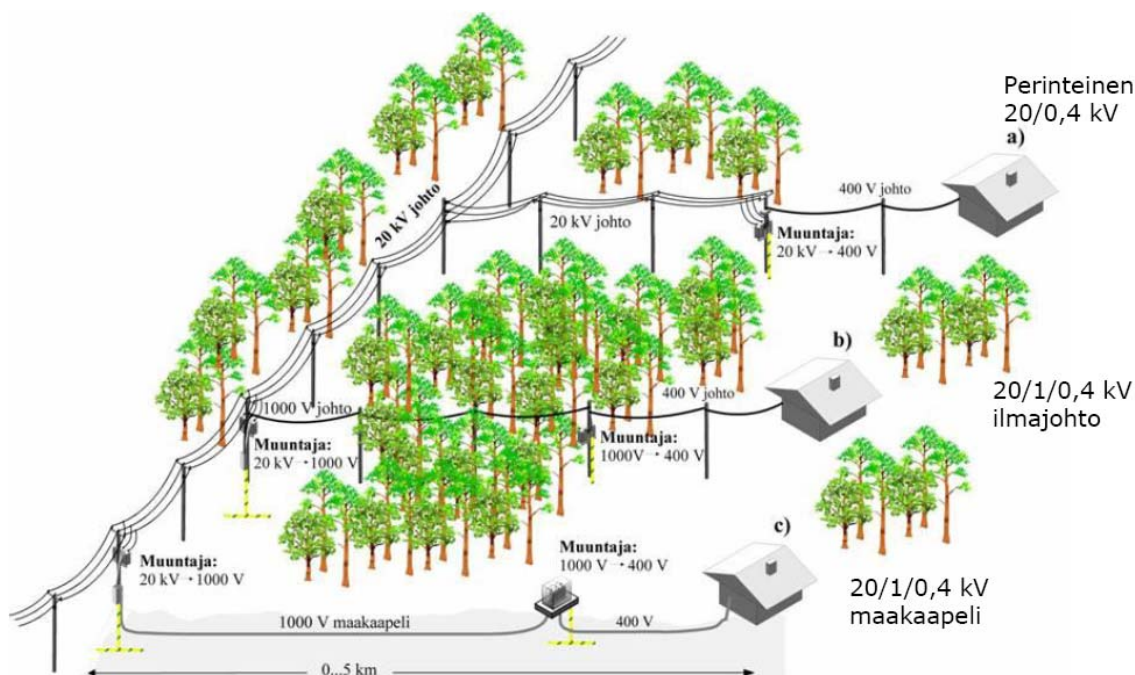
Tekniikan kehityksen myötä molempien häviöiden prosentuaalinen osuus on pudonnut noin puoleen vuoden 1970 häviöistä. Sähkön siirrossa ja jakelussa häviää nykyisin yhteensä noin 3-4 % voimalaitoksien tuottamasta sähköstä.

Verkoston hyötysuhteen paranemiseen on vaikuttanut verkoston kehitys. Tehonjakolaskelmat ovat entistä tarkempia, jolloin verkkoon ei jää pullonkauloja, vaan johtimet vaihdetaan tehon kasvun myötä paksumpiin. Lisäksi siirtoverkon entistä

nopeampi ja tarkempi säätö vähentää häviöitä. Tulevaisuudessa verkostohäviöitä saadaan pienennettyä entisestään uusilla tekniikoilla.

### 4.3.1 1 kV jänniteporras ja tasasähköyhteydet

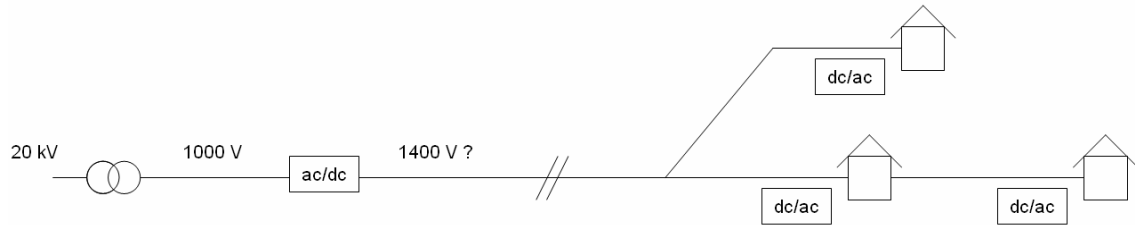
Tulevaisuuden sähkönjakelutekniikan osana on esitetty 1 kV jänniteporrasta, joka vaikuttaa erityisesti sähkön laatuun pienentäen vikakeskeytyksiä. 1 kV johtimien vaikutus sähkönjakelun hyötysuhteeseen on tapauskohtaista. Jos 0,4 kV pienjännitejohdin korvataan 1 kV johtimella, niin hyötysuhde paranee. Useimmissa tapauksissa 1 kV johtimella kuitenkin korvataan vikaherkkiä 20 kV avojohtoja, jolloin verkon kokonaishyötysuhde huononee. Lisäksi uusi jänniteporras lisää verkossa olevien muuntajien lukumäärää, mikä lisää hieman häviöitä. Kuvassa 4.1 näkyy esimerkki sähkönjakelusta, jossa on käytetty 1 kV jännitetasoa.



Kuva 4.1 Sähkönjakelua haja-asutusalueella käyttäen 1 kV jännitetasoa (Kumpulainen 2006).

Jakelutekniikan hyötysuhdetta voidaan parantaa tasasähköyhteyksillä. Tasasähkönjakelu vaatii paljon investointeja, koska tasajänniteportaan alkupäässä pitää olla tasasuuntaaja ja loppupäässä eli jokaisella sähkönkäyttäjällä täytyy olla vaihtosuuntaaja. Hyötysuhteeltaan suuntauslaitteet ovat erittäin hyviä, joten niistä ei

aiheudu suuria häviöitä. Kuvasta 4.2 nähdään esimerkkirakenne, jolla tasasähköjakelun voisi toteuttaa.



Kuva 4.2 Tasajännitejakelu (Kumpulainen 2006).

Vaihtosähköllä pienjännitteeksi sallitaan korkeintaan 1 kV, kun tasasähköllä kyseinen arvo on 1,5 kV. Tästä johtuen pienjänniteverkkoja voidaan syöttää korkeammalla jännitteellä käytettäessä tasasähköä. Tehonsiirtokyky paranee merkittävästi, koska tasasähköllä jännitteen huippuarvo on sama kuin sen tehollisarvo. Erityisesti pitkillä pienjännitehaaroilla häviöitä saadaan pienennettyä. (Kylkisalo 2007)

Toinen keino parantaa verkon energiatehokkuutta on kytkeä toimistorakennukset tasasähköjakelun piiriin. Suurin osa toimistoissa käytettävistä laitteista toimii tasasähköllä, jolloin laitekohtaiset tasasuuntaushäviöt jäävät pois. Laitteet kytketään DC-katkojalla sähköverkkoon. Myös valaistus ja LVI-toiminta on mahdollista toteuttaa tasasähköllä, joten niille ei tarvitsisi olla erikseen vaihtosähkösyöttöä. (Kylkisalo 2007)

Tulevaisuudessa tasasähköyhteydet voivat tulla kyseeseen, koska yhteyksiin tarvittavien tehoelektroniikan komponenttien hinnat ovat jatkuvasti laskussa ja toisaalta metallien hinnat nousevat. Tasasähköyhteyden parantunut tehonsiirtokyky voidaan käyttää tällöin hyödyksi valitsemalla pienemmät johdinpoikkipinnat. Tämä ei kuitenkaan kehitä verkon hyötysuhdetta.

## 5. SÄHKÖN KÄYTTÖ

Viimeiset häviöt energiansiirtoketjussa muodostuvat loppukäyttäjien laitteissa. Laitteiden hyötysuhteet paranevat tekniikan kehittymisen myötä, mutta myös

nykyisellä tekniikalla saadaan energiatehokkuutta parannettua selvästi, kun valitaan energiatehokkaita laitteita.

## **5.1 Teollisuus**

Teollisuuden energiankäytön tehokkuutta ohjaa energian kasvava hinta, mutta myös energiansäästösopimukset, joihin lukuisat yritykset ovat osallistuneet. Energiansäästösopimukseen liittyvillä yrityksillä seurataan energian kulutusta ja raportoidaan tulokset säännöllisesti. Näin saadaan luotua energiatehokkuutta lisääviä toimintamalleja ja investointeja. (Hietaniemi 2005)

Teollisuus käyttää Suomessa kulutetusta sähköenergiasta yli puolet (Energiateollisuus). Tästä energiamäärästä 65 % menee erilaisten sähkömoottorien pyörittämiseen. Teollisuuden suurin yksittäinen energiansäästömahdollisuus onkin tehokas moottorien käyttö. Taajuusmuuttajilla moottoreiden pyörimisnopeutta voidaan säätää energiatehokkaasti ja ABB:n mukaan voidaan säästää jopa 70 % energiankulutuksessa. Vaikka laitevalmistajan ilmoittama lukema olisikin optimistinen, niin puhutaan kuitenkin erittäin merkittävistä säästöistä. (Forsman 2006)

Taajuusmuuttajien ja moottoreiden hyötysuhteet ovat korkeat ja ne paranevat yhä. Teollisuudessa käytettävien isojen sähkömoottoreiden hyötysuhteet ovat yleensä yli 80 %. Parhaimmilla moottoreilla päästään yli 95 % hyötysuhteeseen. Taajuusmuuttajan hyötysuhde voi olla jopa 98 %, joten kokonaisuutenakin puhutaan melko pienistä häviöistä. (Mäenpää 2006)

Sähkömoottorien pyörimisnopeuden säädöllä saadaan parannettua energiatehokkuutta, koska sillä saadaan poistettua erilaisten vaihteistojen ja ennen kaikkea kuristussäädön tarve. Jos moottorin pyörimisnopeutta ei säädetä, niin erilaisissa pumppu ja puhallin sovelluksissa joudutaan käyttämään kuristussäätöä. Virtaamaa säädetään esimerkiksi venttiilin avulla. Tämä vastaa auton hidastamista käyttämällä pelkästään jarrua, ilman kaasun keventämistä. (Mäenpää 2006)



Teollisuuden energiatehokkuuden parantamisessa olennaisinta on energiatehokkaiden ratkaisujen lisääntyvä käyttö. Vuosituhannen alussa vasta 5 % Suomen teollisuuden oikosulkumoottoreista oli varustettu taajuusmuuttajalla. (Vacon 2000)

### 5.1.1 Energian säästö uudella tekniikalla

Uuden tekniikan käyttö mahdollistaa merkittäviä säästöjä energiankulutuksessa. Motiva Oy on selvittänyt taajuusmuuttajien jälkiasennuksen kannattavuutta energiavaltaisiin teollisuuden aloihin kuuluvissa energiansäästösopimusyrityksissä, vuosien 2003-2004 vaihteessa. Tutkimuksen mukaan taloudellisesti kannattava säästöpotentiaali on 300-700 GWh/a, mikä vastaa noin yhtä prosenttia vuoden 2007 teollisuuden käyttämästä kokonaissähkönkulutuksesta. (Hietaniemi 2005)

Tekniikan kehittymisen ohella pyritään lisäämään tietoa energiatehokkaista laitteista ja tekemään niiden valinnasta entistä helpompaa. Sähkomoottoreille on tehty hyötysuhdeluokat EFF1, EFF2 ja EFF3. Hyötysuhteeltaan parhaimmat moottorit ovat EFF1 luokassa. Vanhan moottorin vaihtaminen EFF1 luokan moottoriin tuo merkittävän vuotuisen säästön energiankulutuksessa. Taulukossa 5.1 on esimerkkilaskelma, jossa 80 % hyötysuhteella oleva moottori korvataan joko EFF1 tai EFF2 luokan moottorilla.

Taulukko 5.1 Esimerkki moottorin vaihdosta (Mäenpää 2006).

	<b>Vanha moottori</b>	<b>Uusi moottori EFF2</b>	<b>Uusi moottori EFF1</b>
<b>Teho [kW]</b>	5,5	5,5	5,5
<b>Hyötysuhde [%]</b>	80	86	89,40
<b>Käyntiaika [h/a]</b>	8000	8000	8000
<b>Häviöt [kWh/a]</b>	8800	6160	4664

Taulukosta selviää, että vanhan moottorin korvaaminen EFF1 luokituksen omaavalla moottorilla pienentää vuotuista häviöenergiaa 47 %.

## 5.2 Pienasiakkaat

Pienasiakkaiden energiatehokkuuteen täytyy vaikuttaa eri tavalla kuin teollisuudessa. Monissa laitteissa tehonkulutus on mainittu vain laitteen ohjekirjassa olevissa teknisissä

tiedoissa. Pienasiakkaiden kohdalla ei riitä, että laite on energiatehokas. Laitteen pitää olla myös muulla tavalla kiinnostava, jotta asiakas valitsee sen. Energiatietoutta lisäämällä saadaan ohjattua pienasiakkaita huomioimaan myös hankkimiensa laitteiden tehonkulutus. Esimerkiksi kodinkoneisiin on tullut energialuokituksia, joiden ansiosta laitteiden vertailu helpottuu.

Laitevalintojen lisäksi energiatehokkuutta saadaan lisättyä vaikuttamalla sähkön käyttötottumuksiin. Esimerkiksi laitteiden valmiustilojen kuluttama teho on keskimäärin 5-10 % kotitalouden käyttämästä sähköstä. Lukuun sisältyvät myös akkulaturit. ([www.motiva.fi](http://www.motiva.fi))

Kotitaloudet kuluttavat noin neljänneksen Suomessa käytettävästä sähköstä. Sähkölämmitteisissä pientaloissa noin puolet sähköstä menee lämmitykseen, ja veden lämmittäminen vie noin viidenneksen. Loput menevät valaistukseen ja muihin sähkölaitteisiin. Kerrostaloasunnossa suurimmat sähkönkuluttajat ovat valaistus sekä ruoan säilytys ja valmistus. ([www.motiva.fi](http://www.motiva.fi))

Jokainen pienasiakas pystyy vaikuttamaan energiatehokkuuteen valitsemalla oikeita laitteita. Yksi säästökohde on valaistus. Hehkulampun käyttämästä sähköstä noin 90 % muuttuu lämmöksi ja sen vaihtaminen energiansäästölamppuun kannattaa aina. 15 W energiansäästölamppu luo valotehoa enemmän kuin 60 W hehkulamppu. Jos valaisin on lämmittämättömässä tilassa tai ulkona, niin tehon tarve vähenee 45 W:lla. Lämmitetyissä tiloissa hehkulampun lämpökuormasta saadaan hyödynnettyä asunnon lämmitykseen noin 70 %. Tällöin lampun vaihdolla tuleva nettosäästö on noin 14 W. ([www.motiva.fi](http://www.motiva.fi))

Käytännön esimerkkinä voidaan laskea tilanne, jossa jokaisessa suomalaisessa kotitaloudessa vaihdetaan yksi 60 W hehkulamppu 15 W energiansäästölamppuun. Suomessa on noin 2,4 miljoonaa kotitaloutta. Oletetaan, että lampua poltetaan keskimäärin 3 tuntia päivässä, jolloin vuodessa säästyisi energiaa 118 GWh. Kun otetaan huomioon hehkulampun lämmittävä vaikutus, niin vuodessa säästynee 32 GWh. Tämä vastaa noin 1600 pientalon sähkölämmityksen viemää energiaa. ([www.motiva.fi](http://www.motiva.fi))

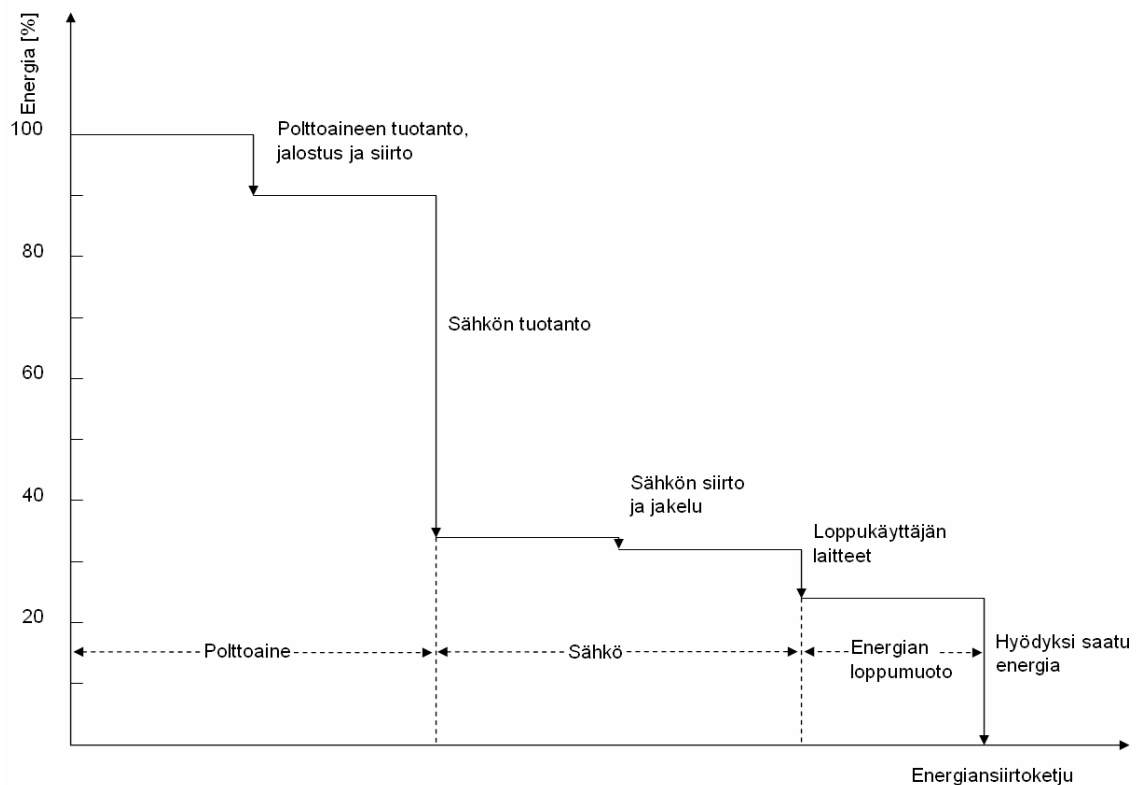
### 5.2.1 Tulevaisuus

Laitteiden paranevan hyötysuhteen lisäksi tulevaisuudessa voidaan vaikuttaa energiatehokkuuteen lisääntyvän automaation avulla. Pientaloon asennettavalla automaatiojärjestelmällä saadaan mukavuuden ja turvallisuuden lisäksi mahdollisuus vaikuttaa etenkin sähkölämmitteisen pientalon energiankulutukseen.

Pientalon lämmitys vie paljon energiaa ja kulutettavaan määrään vaikuttaa suoraan huoneiston lämpötila. Karkeasti arvioituna jokainen aste lämpötilassa ylöspäin lisää tehon tarvetta viidellä prosentilla ([www.motiva.fi](http://www.motiva.fi)). Tästä johtuen lämpötilan laskeminen säästää tehokkaasti energiaa. Automaatiojärjestelmällä lämpötilan säätö saadaan vaivattomaksi, jolloin se tapahtuu itsestään, kun käyttäjä ilmoittaa lähtevänsä asunnosta pois. Samalla järjestelmä voi katkaista virrat pois halutuista laitteista ja pistorasioista, jolloin laitteiden valmiustilat eivät kuluta energiaa.

## 6. YHTEENVETO

Energiansiirtoketjun kokonaisenergiatehokkuus vaihtelee todella paljon, riippuen mitä tarkasteltavaan siirtoketjuun kuuluu. Eriyisen merkittäviä tekijöitä ovat sähkön tuotantomenetelmä ja sähkön käyttö. Teoreettisesti parhaassa tapauksessa sähkö tuotetaan vesivoimalla ja käytetään energiatehokkaassa moottorissa, jota ohjataan taajuusmuuttajalla. Laskennallisesti tällaisessa tapauksessa virtaavan veden energiasta voidaan saada yli 75 % prosenttia loppukäyttäjälle hyödyksi. Todellinen tilanne on kuitenkin huomattavasti huonompi. Kuvassa 6.1 nähdään tyypillisen energiansiirtoketjun rakenne.



Kuva 6.1 Energiansiirtoketju.

Kuvasta nähdään, että loppukäyttäjä saa hyödyksi noin 25 % alkuperäisen polttoaineen sisältämästä energiasta. Suurimmat häviöt muodostuvat sähköntuotannossa, koska nykyisten lämpövoimakoneiden hyötysuhteet ovat varsin alhaiset. Loppukäyttäjän laitteiden hyötysuhteeksi on kuvaajassa otettu 80 %, joka tulee tyypillisen sähkömoottorikäytön hyötysuhteesta. Noin puolet kaikesta sähköstä kulutetaan sähkömoottoreissa ([www.ee.lut.fi](http://www.ee.lut.fi)).

Tulevaisuudessa sähköntuotannon hyötysuhde tulee paranemaan uusien materiaalien ja tekniikoiden myötä. Myös loppukäytön hyötysuhde paranee, koska energiatehokkaat moottorit ja taajuusmuuttajat lisääntyvät jatkuvasti. Myös muiden laitteiden energiatehokkuuksiin kiinnitetään huomiota. Pieniasiakkaatkin alkavat olla kiinnostuneita yhä kasvavassa määrin laitteiden energiatehokkuudesta. Tästä esimerkkinä ovat mm. kodinkoneiden energiamerkinnät, jotka helpottavat asiakkaiden laitevalintoja. Sähkön siirron ja jakelun osalta hyötysuhteet paranevat myös, mutta merkitys kokonaisyhyötysuhteeseen on selvästi pienempi, kuten kuvasta 6.1 nähdään. Polttoaineen tuotannon ja jalostuksen hyötysuhde saattaa kääntyä tulevaisuudessa

laskuun, koska polttoaineita joudutaan jalostamaan yhä huonommista raaka-aineista ja löydetyt esiintymät ovat yhä pienempiä.

**LÄHDELUETTELO:**

- (Elovaara 1988) Elovaara, J. Laiho, Y. 1988. Sähkölaitostekniikan perusteet. Helsinki, Otatieto. 487 s. ISBN 951-672-285-7
- (Energieateollisuus 2006) Energieateollisuus. 2006. Hyvä tietää uraanista. Erweko Painotuote OY. Saatavissa: [www.energia.fi/fi/julkaisut/hyvatietaa-sarja/Hyvatietaauraanista.pdf](http://www.energia.fi/fi/julkaisut/hyvatietaa-sarja/Hyvatietaauraanista.pdf).
- (Forsman 2006) Forsman Kimmo. 2006. Energieatekninen teollisuus ja T&K. Energia ja ympäristöseminaari 27.3.2006. ABB. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=49172&language=FI>
- (Grainger 1989) Grainger J.J., North Carolina State University, USA. Kendrew T.J., Electric Power Research Institute, USA. 1989. Evaluation of technical losses on electric distribution systems. IEEE publication number 1235.
- (Hepola 2002) Hepola Jouko, Kurkela Esa. 2002. Energiantuotannon tehostaminen fossiilisiin ja uusiutuviin polttoaineisiin perustuvassa energiantuotannossa. VTT tiedotteita 2155. Espoo.
- (Hietaniemi 2005) Hietaniemi Janne. 2005. Teollisuuden energiansäästösopimuksen vuosiraportti 2004. Helsinki, Motiva Oy.
- (Kumpulainen 2006) Kumpulainen L., Laaksonen H., Komulainen R., Martikainen A., Lehtonen M., Heine P., Silvast A., Imris P., Partanen J., Lassila J., Kaipia T., Viljainen S., Verho P., Järventausta P., Kivikko K., Kauhaniemi K., Långland H.,

- Saaristo H. 2006. Verkkovisio 2030. VTT tiedotteita 2361. Espoo. Saatavissa:  
<http://www.ee.lut.fi/fi/lab/sahkomarkkina/Verkkovisioesitykset.pdf>
- (Kylkisola 2007) Kylkisola Toni, Alanen Raili. 2007. Tasajännite taajaman sähköjälkelussa ja mikroverkoissa. VTT working papers 78, Espoo. Saatavissa:  
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2007/W78.pdf>
- (Lakervi 2008) Lakervi Erkki, Partanen Jarmo. 2008. Sähköjälkeluteknikka. Helsinki, Hakapaino. 285 s. ISBN 978-951-672-357-3.
- (Larjola 2006) Larjola Jaakko. 2006. Energianmuuntoprosessit-kurssin luentomateriaalit. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.
- (Mäenpää 2006) Mäenpää Aki. 2006. ABB:n ratkaisuja energiatehokkuuteen. EVTESS 12.6.2006. ABB. Saatavissa:  
[http://akseli.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/ohjelmat/ClimBus/fi/Dokumenttiarkisto/Viestinta\\_ja\\_aktivointi/Seminaarit/EVTESS\\_120606/Aki\\_Maenpaeae\\_ABB.pdf](http://akseli.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/ohjelmat/ClimBus/fi/Dokumenttiarkisto/Viestinta_ja_aktivointi/Seminaarit/EVTESS_120606/Aki_Maenpaeae_ABB.pdf)
- (Mörsky 1994) Mörsky Jorma. 1994. Voimalaitosten yhteiskäytön perusteet. Helsinki, Hakapaino. 299 s. ISBN 951-672-184-2.
- (Partanen 1997) Partanen Jarmo. 1997. Sähköenergiatekniikan perusteet. Opetusmoniste EN C-98. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. ISBN 951-764-123-0.
- (Partanen 2006) Partanen Jarmo. 2006. Sähkösiirtotekniikka-kurssin luentomateriaalit. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

- (Stoner 2007) Stoner Sherry, Olson Tim, Addy McKinley, Tuvell Ray, Shapiro Rosella, Blevins B.B. 2007. Full fuel cycle assessment well to tank energy inputs, emissions, and water impacts. California Energy Commission. CEC-600-2007-002-D. Saatavissa: [www.energy.ca.gov/2007publications/CEC-600-2007-002/CEC-600-2007-002-D.PDF](http://www.energy.ca.gov/2007publications/CEC-600-2007-002/CEC-600-2007-002-D.PDF)
- (Svensson 2005) Svensson Ann Mari, Møller-Holst Steffen, Glolöckner Ronny, Maurstad. Ola. 2005. Well-to-wheel study of passenger vehicles in the Norwegian energy system. Saatavissa: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com).
- (Vacon 2000) Vagon Oyj. 2000. Osavuosisikatsaus tammi-syyskuu 2000.
- (Vartiainen 2002) Vartiainen Eero, Luoma Päivi, Hiltunen Jari, Vanhanen Juha. HAJAUTETTU ENERGIANTUOTANTO: teknologia, polttoaineet, markkinat ja CO<sub>2</sub>-päästöt. Helsinki, Oy Edita Ab. ISBN 952-91-4465-2.

#### **Internet-lähteet:**

- ([www.ee.lut.fi](http://www.ee.lut.fi)) Lappeenrannan teknillisen yliopiston sähkötekniikan osaston internet-sivut. Viitattu 25.3.2008. [www.ee.lut.fi](http://www.ee.lut.fi).
- ([www.energia.fi](http://www.energia.fi)) Energiateollisuus ry:n internet-sivut. Viitattu 18.1.2008. <http://www.energia.fi>
- ([www.fingrid.fi](http://www.fingrid.fi)) Fingrid Oyj:n internet-sivut. Viitattu 10.1.2008. <http://www.fingrid.fi>
- ([www.motiva.fi](http://www.motiva.fi)) Motiva Oy:n internet-sivut. Viitattu 11.2.2008. <http://www.motiva.fi>.



- (www.oil-gas.fi) Öljy- ja kaasualan keskusliiton internet-sivut. Viitattu 18.3.2007. <http://www.oil-gas.fi>.
- (www.wartsila.fi) Wärtsilä Oy:n internet-sivut. Viitattu 4.1.2008. <http://www.wartsila.fi>.
- (www.worldcoal.org) World Coal Institute internet-sivut. Viitattu 18.3.2008. <http://www.worldcoal.org>.

# Fingrid Oyj:n voimansiirtoverkko

- 400 kV kantaverkko
- 220 kV kantaverkko
- 110 kV kantaverkko
- muiden verkko

