

Sähkön tuotanto ja kulutus



(Kuva: Kemijoki Oy)

Opintomoniste 2-99

Pekka Saari, Tommi Keikko, [Leena Korpinen](#)

[Tampereen teknillinen yliopisto](#)

TAMPERE 1999

1 SÄHKÖN TUOTANTO

1.1 Sähkön tuotanto Suomessa vuonna 1998

2 YDINVOIMA

2.1 Johdanto

2.2 Ydinreaktorin toimintaperiaate

2.3 Ydinreaktorityypit

2.3.1 Muut reaktorityypit

2.4 Ydinvoimalaitokset Suomessa ja lähialueilla

2.5 Ydinvoiman edut, haitat, riskit ja turvallisuus

2.5.1 Edut ja haitat

2.5.2 Riskit ja vaaratekijät

2.6 Radioaktiivisuus ja säteily

2.6.1 Säteily ja ihminen

2.7 Ydinvoima ja ympäristö

2.8 Uraanin riittävyys

2.9 Ydinjätehuolto

2.9.1 Ydinjätehuolto Suomessa

2.10 Ydinvoimalaitosten käyttöikä ja käytöstäpoisto

2.11 Ydinvoimalaonnettomuudet ja INES-asteikko

3 VESIVOIMA

3.1 Johdanto

3.2 Vesivoimalaitokset

3.3 Turbiinityypit

3.4 Vesivoimageneraattorit

3.4.1 Tahtigeneraattorit

3.4.2 Epätahtigeneraattorit

3.5 Pumppuvoimalaitos

3.6 Vesivoimalaitokseen liittyviä yhtälöitä

4 LAUHDEVOIMA

4.1 Lauhdevoimalaitoksen toimintaperiaate

4.2 Lauhdevoimalaitoksen käyttö

5 VASTAPAINVOIMA

5.1 Kaukolämpö

5.2 Kaukolämpövoima

5.3 Prosessivoima

5.4 Hyötysuhteet ja rakennusaste

6 KAASUTURBIINIVOIMA JA MOOTTORIVOIMALAITOKSET

6.1 Kaasuturbiinivoima

6.2 Moottorivoimalaitokset

7 UUSIUTUVAT ENERGIANLÄHTEET

7.1 Yleistä

7.2 Suomen tilanne

7.2.1 NEMO- ja NEMO 2-ohjelmat

7.2.2 Uusiutuvien energialähteiden edistämisohjelma

7.3 Maailmanlaajuinen tilanne

8 TUULIVOIMA

8.1 Tuulivoima energianlähteenä

8.2 Tuulivoimalaitokset

8.2.1 Potkurimallinen laitos

- [8.2.2 Savonius- ja kuppiroottori](#)
- [8.2.3 Darrieus ja Windside roottorit](#)
- [8.2.4 Megatuulivoimala](#)
- [8.3 Tuulivoimatekniikan perusteita](#)
- [8.4 Tuulivoimageneraattorit](#)
- [8.5 Tuulivoiman potentiaali Suomessa](#)
- [8.6 Tuulivoima Suomessa](#)
- [8.6.1 Kuivaniemen tuulivoimalaitos](#)
- [8.6.2 Esimerkki: Tuulivoimalla 10 % Suomen sähkötarpeesta](#)
- [8.7 Tuulienergia Euroopassa ja muualla maailmassa](#)
- [8.8 Tuulivoimatekniikan kehitystrendejä](#)
- [8.9 Tuulienergian markkinat, kustannukset ja taloudellisuus](#)
- [8.9.1 Markkinat](#)
- [8.9.2 Kustannukset](#)
- [8.10 Tuulivoima ja ympäristö](#)

9 AURINKOENERGIA

- [9.1 Yleistä](#)
- [9.2 Aurinko ja sen säteilyn jakautuminen maapallolle](#)
- [9.3 Aurinkoenergia](#)
- [9.4 Aurinkolämpö ja aurinkosähkö](#)
- [9.4.1 Aurinkolämpökeräimet](#)
- [9.4.2 Aurinkösähkö](#)
- [9.4.2.1 Aurinkovoimalämpölaitokset](#)
- [9.4.2.2 Valosähköiset kennot](#)
- [9.5 Aurinkoenergian potentiaali](#)
- [9.6 Aurinkosähkön kehitystrendejä](#)
- [9.7 Aurinkoenergian markkinat](#)
- [9.7.1 Aurinkolämpö](#)
- [9.7.2 Aurinkosähkö](#)
- [9.8 Aurinkoenergia ja ympäristö](#)

10 BIOENERGIA

- [10.1 Yleistä](#)
- [10.2 Perusteita bioenergian käyttöön](#)
- [10.3 Suomen bioenergian käyttö ja potentiaali](#)
- [10.4 Bionergiatuotannon tekniikkaa](#)
- [10.5 Energiaviljely](#)
- [10.5.1 Bioenergian tuotantoon soveltuvia peltokasveja](#)
- [10.6 Bioenergia ja ympäristö](#)
- [10.6.1 Bioenergia ja biodiversiteetti](#)

11 MUUT TEKNOLOGIAT

- [11.1 ORC-teknologia](#)
- [11.2 Polttokennot](#)
- [11.3 Sähkön varastointi](#)
- [11.4 Fuusio](#)

12 YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN ARVIOINTI (YVA) /1/

- [12.1 Johdanto](#)
- [12.2 Ympäristövaikutusten arviointimenettelyn vaiheet](#)
- [12.3 YVA-laatimisperiaatteet Energiasektorille](#)
- [12.3.1 Voimalaitoksen suunnitteluvaiheet ja ympäristövaikutusselvitykset](#)
- [12.3.2 Ympäristöselvitysten ajoittaminen voimalaitoshankkeessa](#)
- [12.3.3 Ympäristövaikutusten arviointiselostuksen \(YVS\) tavoitteet ja sisältö](#)

13 SÄHKÖN TUOTANNON YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

13.1 Polttoaineiden ominaispäästöt

13.1.1 Rikkipäästöt

13.1.2 Typen oksidit

13.1.3 Hiukkaspäästöt

13.1.4 Raskasmetallit

13.1.5 Hiilivetypäästöt

13.1.6 Hiilidioksidi ja hiilimonoksidi

13.1.7 Radioaktiiviset aineet

13.1.8 Jätteet

13.2 Ympäristövaikutukset

13.2.1 Rikkidioksidi ja typen oksidit

13.2.2 Hiilidioksidi

13.2.3 Raskasmetallit

13.2.4 Hiukkaspäästöt

13.2.5 Hiilivedyt

13.2.6 Radioaktiiviset aineet

13.3 Sähkön siirron ja jakelun ympäristövaikutukset

13.3.1 Sähkön siirron- ja jakelun sähkö- ja magneettikentät

13.3.2 Sähkö- ja magneettikenttien tekninen vähentäminen

14 ELINKAARIANALYYSI

14.1 Elinkaarianalyysi

14.2 Elinkaarianalyysin käyttö

14.3 Elinkaarianalyysin tekotavat

14.3.1 Karkean tason elinkaarianalyysi

14.3.2 Tarkemman tason elinkaarianalyysi

14.3.2.1 Määrittelyvaihe

14.3.2.2 Inventaarianalyysi

14.3.2.3 Vaikutusarviointi

14.3.2.4 Tulosten tulkinta

14.4 Elinkaarianalyysiin liittyviä ongelmia

14.5 Elinkaarianalyysimenetelmiä

14.5.1 EPS-menetelmä

14.5.2 Elinkaarianalyysimenetelmien vertailua

14.6 Elinkaarianalyysiohjelmistot

14.7 Elinkaarianalyysien tietokannat

14.7.1 Esimerkki: Energiatuotteiden elinkaaritietokanta

15 SÄHKÖN KULUTUS

15.1 Sähkön kulutus Suomessa

15.2 Tulevaisuuden sähkön käyttö

15.2.1 Lähtöoletukset

15.2.2 Kulutusskenaariot vuoteen 2025

15.3 Sähkön hankintaskenaariot

15.4 Hiilidioksidipäästöjen kehitys

16 ENERGIANSÄÄSTÖ

16.1 Yleistä

16.2 Suomen energiansäästöohjelma

16.2.1 Energiansäästön palvelukeskus Motiva

16.2.2 Energiakatselmusmenetelmät

16.2.3 Energiansäästösopimukset

16.3 Energiansäästö eri sektoreilla

[16.3.1 Kotitaloudet](#)

[16.3.2 Teollisuus ja energia-ala](#)

[16.3.2.1 Energiansäästösojpmusten toteuttaminen](#)

[16.3.3 Palvelut](#)

[16.3.3.1 Energy Star- ja TCO-merkki](#)

17 SÄHKÖVOIMAJÄRJESTELMIEN ERITYISKYSYMYKSIÄ

[17.1 Suomen sähköjärjestelmän rakenne](#)

[17.2 Valtakunnallinen tasevastuun hoito](#)

[17.2.1 Valtakunnallinen tasehallinta](#)

[17.2.2 Suomen tehotasapainon hallinta](#)

[17.3 Häiriötilanteet](#)

[17.3.1 Stabiilisuus](#)

[17.3.1.1 Staattinen stabiilisuus](#)

[17.3.1.2 Dynaaminen stabiilisuus](#)

[17.3.1.3 Transienttistabiilisuus](#)

[17.3.1.4 Jännitestabiilisuus](#)

[17.3.1.5 Stabiilisuuden parantaminen](#)

[17.4 Sähköjärjestelmän säätötarve](#)

[17.5 Reservivaatimukset](#)

[17.5.1 Taajuudensäätöreservi](#)

[17.5.2 Momentaaninen häiriöreservi](#)

[17.5.3 Nopea reservi](#)

[17.5.4 Hidas reservi](#)

[17.6 Vikatilanteet](#)

[17.6.1 Oikosulku](#)

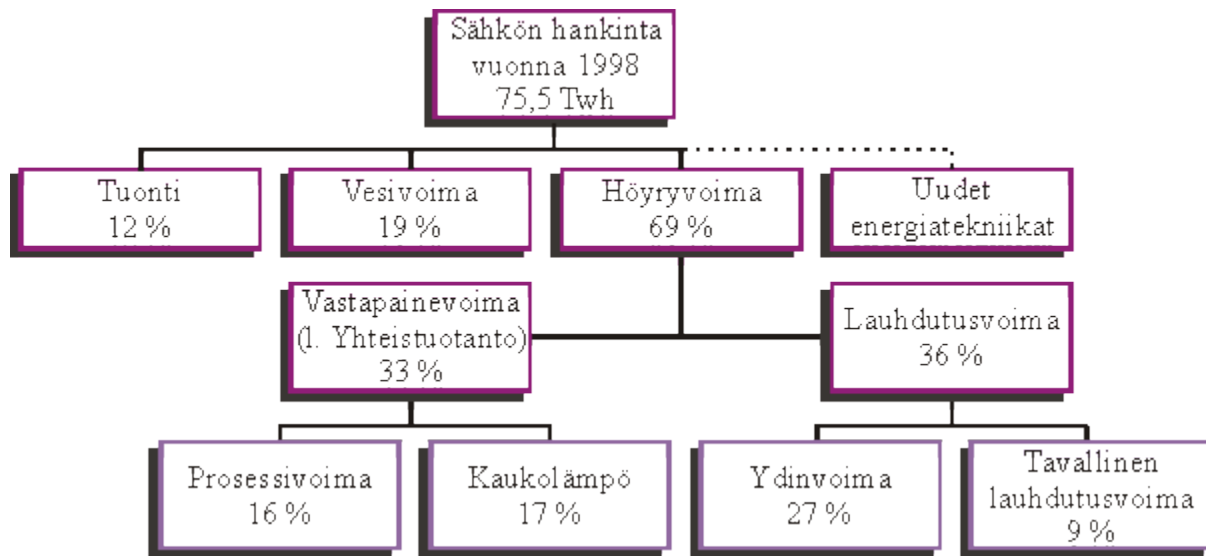
[17.6.1.1 Oikosulkuvirtojen laskeminen](#)

[Takaisin edelliselle sivulle](#)

1 SÄHKÖN TUOTANTO

Suomessa sähköä hankitaan monella eri tavalla. Kuvassa 1.1 on kuvattu sähkönhankinnan rakennetta sekä osuudet vuonna 1998. Höyryvoimaksi kutsutaan sellaista tuotantoa, jossa kuumalla vesihöyryllä pyöritetään turbiinia. Höyryvoima voidaan edelleen jakaa lauhdutusvoimaan ja vastapainetuotantoon. Lauhdutusvoimaa ovat ydinvoima ja tavallinen lauhdutusvoima, jossa polttoaineena käytetään esimerkiksi hiiltä, öljyä ja maakaasua. Vastapainevoimaa, eli sähkön ja lämmön yhteistuotantoa, ovat teollisuuden prosessihöyryn avulla saatava prosessivoima sekä kaukolämpövoima. Kaukolämpövoimaksi kutsutaan sellaista sähkön ja lämmön yhteistuotantoa, jossa lauhdevoimalaitoksen yhteyteen on rakennettu kaukolämpöverkko.

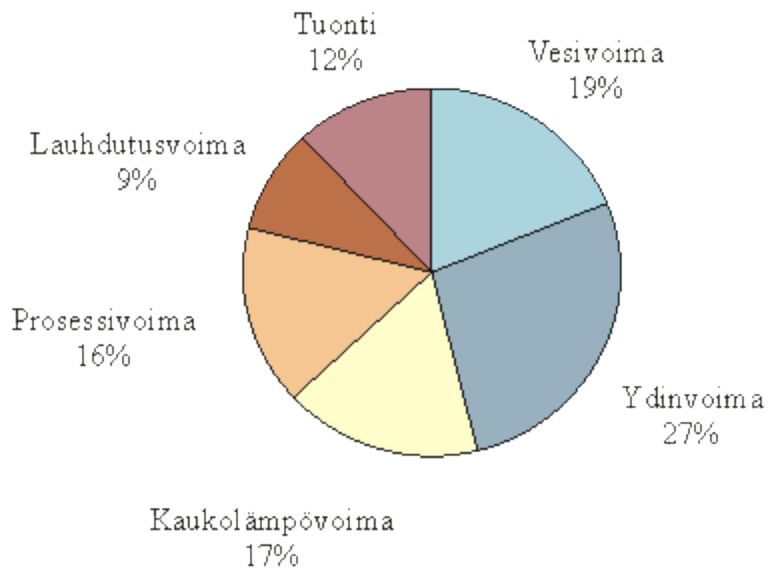
Höyryvoima kattaa tällä hetkellä Suomen sähkönhankinnasta lähes 70 %. Loppu katetaan pääosin vesivoimalla ja tuonnilla. Uusien energiatekniikoiden, kuten tuulivoiman ja aurinkovoiman, merkitys sähkönhankinnassa on vielä pieni, mutta tulevaisuudessa näiden teknologioiden osuuden odotetaan kasvavan.



Kuva 1.1. Suomen sähkönhankinnan rakenne. /1/

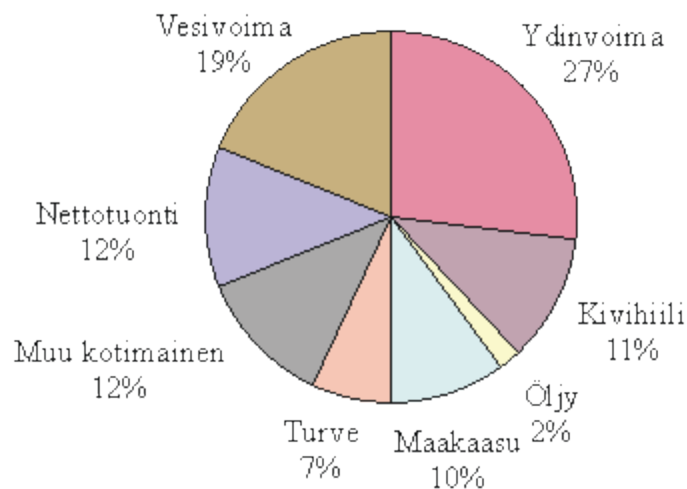
1.1 Sähkön tuotanto Suomessa vuonna 1998

Vuonna 1998 sähköä tuotettiin omissa voimalaitoksissamme 67,2 TWh. Kun tähän lisätään tuonnin osuus, oli vuoden 1998 koko sähköenergian hankinta yhteensä 76,5 TWh. Tästä määrästä hiukan vajaa kolmannes tuotettiin ydinvoimalla ja noin kolmannes vastapainevoimalla. Viidennes tuotettiin vesivoimalla ja loppu tarve tyydytettiin lauhdevoimalla ja nettotuonnilla. Kuvassa 1.2 on esitetty sähkön tuotannon jakautuminen tuotantotavoittain.



Kuva 1.2. Sähkön tuotanto tuotantotavoittain vuonna 1998. /2/

Sähkön tuotanto raakaenergiälähteittäin vuonna 1998 on esitetty kuvassa 1.3. Siitä nähdään, että lauhde- ja vastapainevoimalaitoksissa käytettävien fossiilisten polttoaineiden osuus on 22 % ja turpeen sekä muiden kotimaisten osuus 19 %.



Kuva 1.3. Sähkön tuotanto raakaenergiälähteittäin vuonna 1998. /3/

Merkittävää oli, että vesivoimaa tuotettiin 24 % enemmän kuin edellisvuonna 1997, sekä se, että sähkön nettotuonti oli verrattain suurta, mikä johtui runsasvetisestä vuodesta pohjoismaissa. Lisäksi lauhdevoiman osuus väheni edellisvuodesta 40 %. Sähköntuotannon käytettävissä oleva kapasiteetti kasvoi 610 MW, johtuen osaltaan mm. ydinvoimalaitoksiin tehdyistä tehonkorotuksista. Sähkön ja lämmön yhteistuotannossa maakaasu nousi tärkeimmäksi polttoaineeksi, mikä asema oli aikaisemmin kivihiilellä. Taulukossa 1.1 on esitetty ja vertailtu vuosien 1997 ja 1998 sähkönhankintaa. /1/

Taulukko 1.1. Sähkönhankinta vuosina 1997 ja 1998. /1/

	1997 TWh	1998 TWh	Muutos %	Osuus -97 %	Osuus -98 %
vesi- ja tuulivoima	11,8	14,6	24	16	19
ydinvoima	20,1	21,0	4	27	27
yhteistuotanto	23,2	25,1	8	32	33
lauhde yms.	10,9	6,5	-40	15	8
nettotuonti	7,7	9,3	21	10	12
YHTEENSÄ	73,6	76,5	4	100	100

LÄHTEET

/1/ Energiakatsaus 1/99, Kauppa- ja teollisuusministeriö 1999.

/2/ Energia Uutiset 1/99, Adato Energia Oy 1999.

/3/ Vuosikertomus 1998, Energia-alan Keskusliitto ry Finergy.

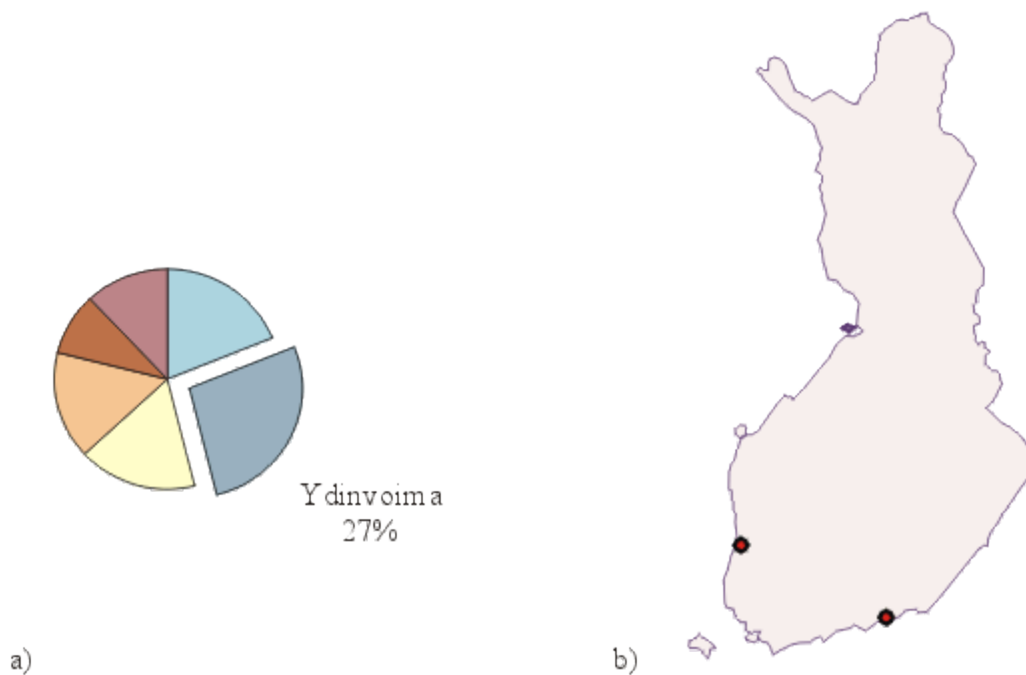
2 YDINVOIMA

2.1 Johdanto

Maailman energiatuotanto perustuu noin 80-prosenttisesti fossiilisten polttoaineiden, öljyn, hiilen ja maakaasun polttamiseen. Näiden käyttöön liittyy kuitenkin kasvavan huolen aiheena olevia ympäristövaikutuksia. Huolimatta savukaasujen puhdistusmenetelmien kehittymisestä, pääsee ilmaan rikki- ja typpiyhdisteitä sekä hiukkaspäästöjä. Nämä heikentävät ihmisten terveyttä ja luonnon hyvinvointia. Palamisessa syntyvästä hiilidioksidista on tullut suurin ympäristöhuoli kasvihuoneilmiön voimistumisen myötä.

Kaikilla mailla ei ole käytettävissä riittävästi kotimaisia fossiilisia polttoaineita. Ydinvoiman osuus energiantuotannossa onkin suuri etenkin teollistuneimmassa maissa, joissa fossiiliset polttoainevarannot ovat rajoitetut. Onkin perusteltua, että tällaiset maat kehittävät energiantuotantoon ratkaisuja, joilla voidaan turvata riippumattomuus kansainvälisistä polttoainemarkkinoista.

Sähkön kulutus Suomessa oli vuonna 1998 76,5 TWh, josta ydinvoimalla tuotettiin lähes kolmannes. Tämä esitetään kuvassa 2.1a. Tällä hetkellä Suomessa on kaksi ydinvoimalaitosta, toinen Loviisassa ja toinen Olkiluodossa (kuva 2.1b). Kolmannen ydinvoimalan rakentamisesta ollaan puhuttu jo hetken, mutta aiheen kiistanalaisuuden vuoksi rakentamispäätöstä ei olla vielä tehty. On kuitenkin selvää, että kasvava sähkönkulutus aiheuttaa paineita lisäsähkön tuottamiseen, joko sitten ydinvoimalla tai ilman.



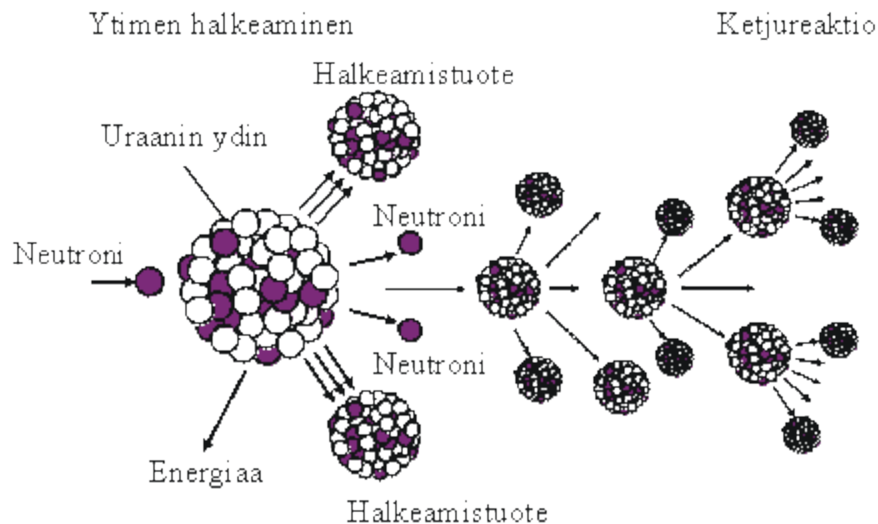
Kuva 2.1. a) Ydinvoimalla tuotetun sähkön osuus vuonna 1998./1/
b) Ydinvoimalaitostemme sijaintipaikat.

2.2 Ydinreaktorin toimintaperiaate

Sähköntuotannon perusprosessi on ydinvoimalaitoksissa samanlainen kuin perinteisissäkin

voimalaitoksissa. Ydinreaktori tuottaa lämpöä polttoaineena käytettävän uraanin atomiytimen haljetessa. Tästä saatavan lämmön avulla kiehutetaan vettä höyryksi, joka johdetaan turbiiniin. Pyörivän turbiinin akselille kytketty generaattori kehittää sähköä. /2/

Käytettävää urania pommitetaan neutroneilla, jotta uraaniytimet saadaan halkeamaan. Halkeamisen tuloksena syntyy yleensä kaksi atomiydintä ja 2-3 neutronia. Halkeamistuotteiden massa on hiukan pienempi kuin alkuperäisen uraaniytimen massa. Tämä erotus on muuttunut energiaksi, joka aluksi ilmenee halkeamistuotteiden liike-energiana, mutta muuttuu pian lämmöksi neutronien törmäillessä ympäröivien atomiytimien kanssa. Kuvassa 2.2 on esitettyä fissioreaktio. /3/



Kuva 2.2. Fissioreaktio. /3/

Reaktorin sydän muodostuu niputetuista polttoainesauvoista, joita reaktorissa on kymmeniätuhansia. Polttoainesauvat ovat kaasutiiviitä metalliputkia, joissa halkaisijaltaan ja pituudeltaan noin 1cm suuruiset uraaninapit ovat. Reaktorin sydän sijaitsee jäähdytysaineella täytetyssä paineastiassa. Polttoainesauvojen välitse virtaava jäähdyte kuljettaa lämmön reaktorista turbiinille. /4/

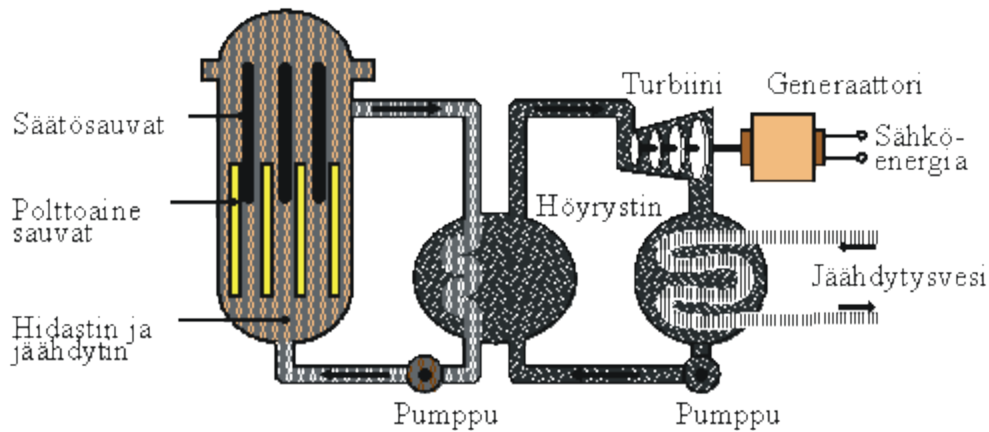
Reaktorin tehonsäätö tapahtuu ns. säätösauvoilla, jotka sisältävät esim. booria tai kadmiumia. Boori ja kadmium sitovat tehokkaasti uraaniytimiä halkaisevia neutroneja. Neutronien määrää säätelemällä saadaan uraaniytimien halkeamisen määrää ja samalla siis reaktorin tehoa ohjattua. /4/

Lisäksi reaktorissa tarvitaan hidastinaineita hidastamaan neutroneiden liikettä, sillä hitaammilla neutroneilla on parempi todennäköisyys saada uraaniydin halkeamaan. Parhaita hidastinaineita ovat raskas vesi ja grafiitti, joiden atomit ovat kevyitä. Neutroni menettää energiaansa parhaiten törmäillessään keveysiin kohteisiin. Tavallinen eli kevyt vesi on myös tehokas hidastinaine, joskin sillä on taipumus sitoa itseensä neutroneja. /4/

2.3 Ydinreaktorityypit

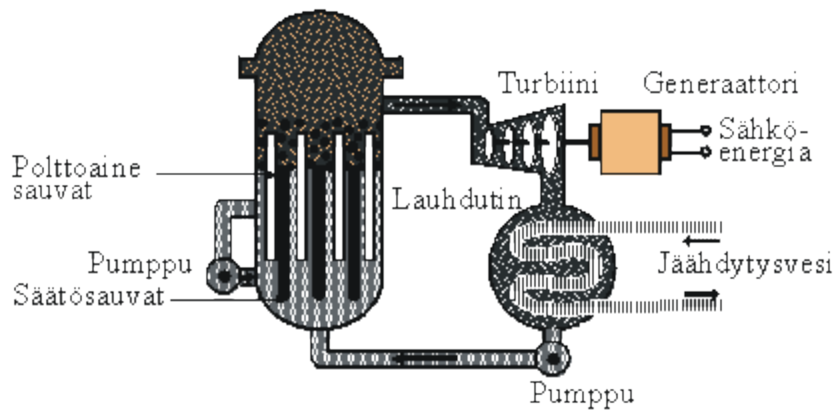
Yleisimmät reaktorityypit ovat kevytvesireaktoreita, joissa käytetään reaktion hidastusaineena ja jäähdytysaineena tavallista vettä. Vuonna 1997 maailman ydinvoimalaitoksista lähes 70 % oli kevytvesireaktoreita. Niitä on kahdenlaisia: painevesireaktoreita (PWR) ja kiehutusvesireaktoreita (BWR). /5/

Painevesireaktorissa (kuva 2.3) ylläpidetään niin korkeaa painetta (15 MPa), että vesi ei kiehu huolimatta noin 300 asteen lämpötilasta. Reaktorista kuuma neste pumpataan nesteenä lämmönvaihtimeen, jossa se luovuttaa lämpönsä lämmönvaihtimessa toisipuolella kulkevalle vedelle. Tämän veden paine on noin 7 MPa. Se kiehuu höyryksi, joka johdetaan turbiiniin. Lämmönvaihtimen ansiosta reaktorijärjestelmän ja turbiinijärjestelmän vedet ovat erillään, joten turbiinilaitoksen vesi ei ole radioaktiivista. /6/



Kuva 2.3. Painevesireaktion toimintaperiaate. /7/

Kiehumusvesireaktorissa paine on 7 MPa, joten vesi pääsee höyrystymään jo polttoainesauvojen välissä. Reaktorissa syntynyt höyry johdetaan suoraan turbiiniin. Turbiiniin johdettu höyry on nyt radioaktiivista, joten sen lähellä ei voi oleskella laitoksen ollessa käynnissä. Kiehumusvesireaktori on esitetty kuvassa 2.4. /6/



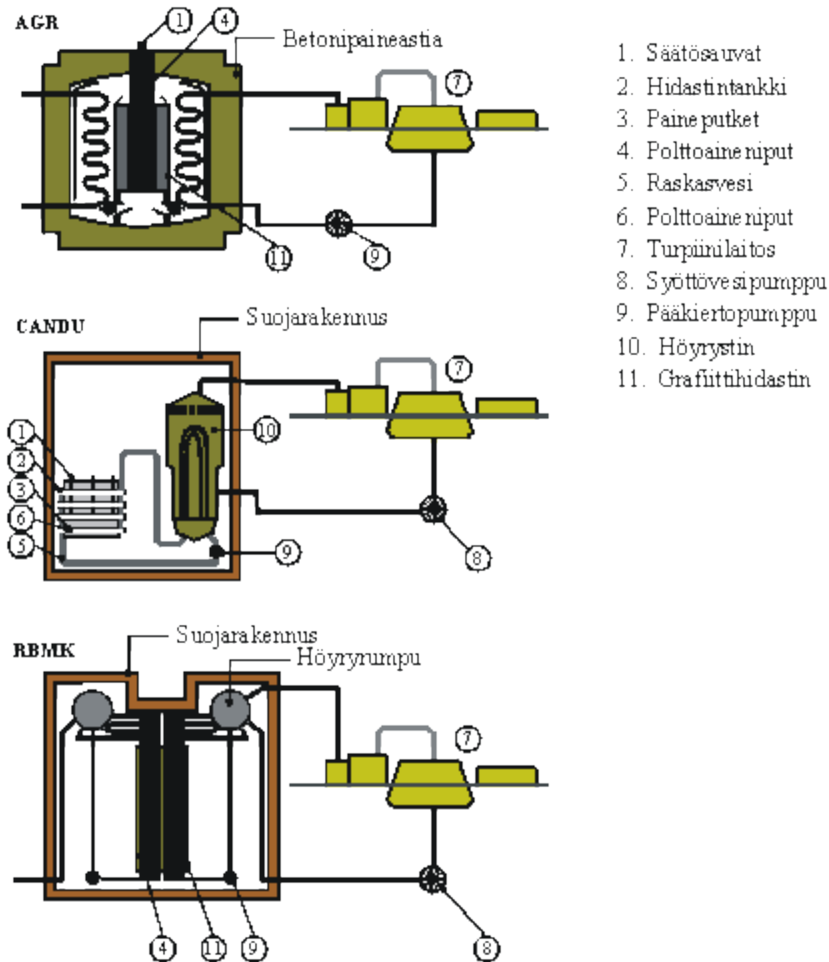
Kuva 2.4. Kiehumusvesireaktion toimintaperiaate. /7/

Suomessa on käytössä kumpikin reaktorityyppi. Loviisan ydinvoimalaitoksessa molemmat reaktorit ovat painevesireaktoreita, kun taas Olkiluodon kaksi reaktoria edustavat kiehumusvesitekniikkaa. /8,9/

2.3.1 Muut reaktorityypit

Painevesireaktoreista on lisäksi olemassa venäläisten kehittämä VVER ja kanadalaiskehittynyt

CANDU, joka käyttää jäähdytteenä ja neutronien hidastimena eli moderaattorina raskasta vettä D_2O . CANDU:un käy polttoaineeksi luonnonuraani. Lisäksi on kaasujäähdytteisiä reaktoreita, kuten Magnox ja AGR. Magnox:a rakennettiin ydinvoiman kaupallisen käytön alussa erityisesti Englantiin. Edelleen on olemassa RBMK-laitokset, jotka ovat periaatteessa kiehumisvesireaktoreiden (BWR) kaltaisia, mutta poikkeavat tavallisista BWR-laitoksista siinä, että niissä moderaattorina on grafiitti. Hyötöreaktorit (FBR) pystyvät hyödyntämään urania normaaleja reaktoreita huomattavasti paremmin. Niissä jäähdyttimenä on sulaa natriummetalli. Kuvassa 2.5 on esitetty AGR:n, CANDU:n ja RBMK:n toimintaperiaatteet. /3,5/



Kuva 2.5. AGR, CANDU ja RBMK reaktoreiden toimintaperiaatteita. /3/

2.4 Ydinvoimalaitokset Suomessa ja lähialueilla

Suomessa on toiminnassa, kuten edellä mainittiin, kaksi ydinvoimalaitosta, Loviisa ja Olkiluoto, joissa molemmissa on kaksi reaktoria. Ydinvoimaa käytettiin Suomen sähkön tuotantoon vuonna 1998 runsas 27 %.

Loviisan ydinvoimalaitoksen ensimmäinen reaktori valmistui vuonna 1977 ja toinen reaktori vuonna 1981. Reaktorit ovat 510 MW:n painevesireaktoreita (PWR). Laitoksen omistaa Fortum Oyj. Olkiluodon ydinvoimalaitoksen ensimmäinen reaktori valmistui 1978 ja toinen vuonna 1982. Reaktorit ovat nettoteholtaan 840 MW kiehumisvesireaktoreita (BWR). Olkiluodon laitoksen omistaa Teollisuuden Voima Oy, TVO. Molemmille laitoksille on jälkikäteen tehty

modernisointitöitä viime vuosina. Näiden ansiosta Olkiluodon reaktoreiden teho kasvoi yhteensä 260 MW ja Loviisassa noin 100 MW:lla. /8,9/

Ruotsissa on käytössä neljä laitosta ja yhteensä 12 reaktoria. Reaktoreista 9 on BWR-tyyppisiä ja loput PWR-tyyppisiä. Vanhimmat reaktorit ovat valmistuneet 70-luvun alussa ja suurin osa 80-luvulla. Ydinvoimalla Ruotsi kattaa noin puolet sähköntarpeestaan. Ruotsissa on tehty periaatepäätös ydinvoimasta luopumisesta. /3/

Venäjällä on tällä hetkellä käytössä 9 ydinvoimalaitoksella yhteensä 29 reaktoria, joilla se kattaa sähköntarpeestaan 13 %. Venäjän laitoksien käyttöasteet ovat huomattavasti muun maailman alapuolella johtuen mm. pitkistä huoltoseisokeista ja nykyään myös polttoainepulasta, sillä laitoksilla ei ole varaa ostaa polttoainetta. Tulevaisuudessa Venäjällä on kuitenkin suunnitelmassa lisätä ydinvoimakapasiteettia huomattavasti. On myös suunnitelmassa sulkea vanhimpia reaktoreita, joiden joukkoon kuuluu Suomea lähimpänä olevat reaktorit Kuolassa ja Sosnovyi Borissa. Kaiken kaikkiaan Venäjän ydinenergiaohjelman suurin huoli on taloudellisten resurssien puute. /3/

Liettuassa on käytössä yksi ydinvoimalaitos, Ignalina, jossa on kaksi reaktoria. Laitoksen nettosähköteho on yhteensä 2370 MW, jolla katetaan yli 80 % maan sähköntarpeesta. Tshernobylin ydinvoimalan reaktori oli samanlainen kuin Ignalinan ja ydinvoimalaonnettomuuden jälkeen Ignalinaan ollaankin tehty huomattavia turvallisuusparannuksia. Laitoksen sulkemisesta ollaan käyty neuvotteluja, mutta Liettualla ei ole tällä hetkellä taloudellisia resursseja korvaavien laitosten rakentamiseen. /3/

2.5 Ydinvoiman edut, haitat, riskit ja turvallisuus

2.5.1 Edut ja haitat

Suomessa ydinenergian hyvinä puolina voidaan pitää edullisuutta, energian hinnan vähäistä riippuvuutta polttoaineesta ja voimalaitosten korkeaa käytettävyyttä. Ydinvoimalla voidaan korvata sähköntuotannossa fossiilisia polttoaineita. Näin ydinvoiman käyttö ei tuota ilmakehää kuormittavia päästöjä. Ydinvoimaa voidaan käyttää jatkuvasti täydellä teholla ja näin pystytään takaamaan tasainen ja riittävä sähkön saanti. Laitoksissa on myös hyvät polttoaineverat. Polttoainetta lisätään laitoksiin vuoden tarvetta vastaava määrä ja lisäksi polttoainetta on aina seuraavan vuoden tarpeisiin. Polttoaineverastot vievät tilaa vain muutamia satoja kuutiometrejä. Heikkouksia puolestaan ovat voimalan vaatima suuri alkuinvestointi ja ydinjätteiden syntyminen. Lisäksi puutteellisesti suunnitelluissa ja valvotuissa voimalaitoksissa on ydinonnettomuuden riski. /3/

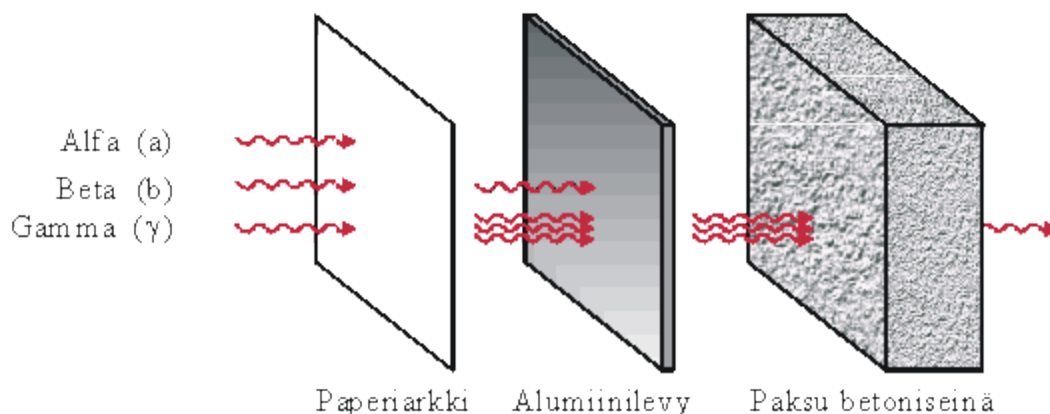
2.5.2 Riskit ja vaaratekijät

Ydinvoimalaitokseen liittyvä riski aiheutuu reaktorin polttoaineeseen käytön aikana kertyvistä radioaktiivisista aineista, joiden säteilyenergia kehittää lämpöä. Jos tätä lämpöä ei kuljetettaisi pois reaktorin sydäntä jäähdyttämällä, riittäisi se sulattamaan polttoaineen kaasutiiviit suojaakuoret ja itse polttoaineen. Tällöin radioaktiivisella aineella olisi mahdollisuus vapautua reaktorista. Radioaktiivisen aineen leviämisen ensimmäisenä esteenä on uraanioksidista tehty polttoainepelletti, joka pidättää itsessään syntyneitä halkeamistuotteita. Toisena suojana on polttoainesauvojen kuorena käytetty metalliputki ja kolmantena reaktorin paineastia. Viimeisenä esteenä on reaktoria ympäröivä kaasutiivis suojarakennus. Ydinvoimalaitoksen turvallisuus perustuukin useiden sisäkkäisten suojaakuorien periaatteeseen. /3/

Ulkoisia vaaratekijöitä ovat mm. erilaiset luonnonilmiöt, lentokoneen putoaminen, terrori-iskut ja sotatila. Luonnonilmiöihin, kuten maanjäristyksiin, ollaan varauduttu suunnitteluvaiheessa mitoittamalla laitteet ja rakenteet kulloisellekin maantieteelliselle alueelle sopivaksi. Esimerkiksi mahdolliseen lentokoneen putoamiseen ollaan varauduttu siten, että laitosalueen varavoimanlähteet on sijoitettu eri puolille aluetta, jolloin niiden yhtäaikainen vahingoittuminen ei ole mahdollista. Ydinvoimalaitos on jo sinällään rakenteellisten turvallisuustekijöittensä vuoksi vankka rakennelma, jonne mahdollinen hyökkääminen tai terrori-iskujen teko on vaikeaa. /3/

2.6 Radioaktiivisuus ja säteily

Radioaktiivisuudella tarkoitetaan atomiytimen ominaisuutta muuttua spontaanisti toiseksi ytimeksi. Muutoksen yhteydessä ytimestä voi poistua pieni määrä ainetta neutronin tai alfa- tai betahiukkasen muodossa tai pelkästään energiaa gammasäteilynä. Radioaktiivisuuden mitta on becquerel (Bq), joka ilmoittaa hajoavien ytimien lukumäärän sekunnissa. Puoliintumisajalla taas tarkoitetaan aikaa, jolloin puolet ytimistä on hajonnut ja toinen puoli on ennallaan. Hajoamisen yhteydessä radioaktiivisesta ytimestä sinkoutuvia hiukkasia ja energia-aaltoja nimitetään säteilyksi. Säteilystä siirtyy energiaa kohteeseen mutta kohde ei kuitenkaan muutu radioaktiiviseksi. Eri säteilylajit vaimenevat eri tavoin. Alfahiukkasen menettää nopeasti energiaansa ja näin ollen sen kantama on lyhyt. Beetahiukkasen massa on alfahiukasta pienempi, joten beetahiukkanen pystyy tunkeutumaan syvälle aineeseen. Gammasäteily pystyy tunkeutumaan paksujenkin ainekerrosten läpi johtuen sen aineettomasta olemuksesta. Kuvassa 2.6 on havainnollistettu eri säteilylajien vaimenemista. Puhuttaessa biologiset vaikutukset huomioonottavasta säteilystä, on säteilyannoksen mittana sievert (Sv). /10/



Kuva 2.6. Eri säteilylajien vaimeneminen. /11/

2.6.1 Säteily ja ihminen

Suurin osa ihmiseen kohdistuvasta säteilystä tulee maaperän radioaktiivisista aineista (radon), avaruuden kosmisesta säteilystä, joka tulee auringossa ja tähdissä tapahtuvista ydinreaktioista sekä ihmisen kehossa olevista radioaktiivisista aineista, mm. kaliumin radioaktiivisesta isotoopista sekä uraanista, toriumista ja radiumista. 15 % ihmisen säteilyannoksesta aiheutuu ihmisen toiminnasta (esim. lääketieteellinen käyttö) ja alle 0,1 % ydinvoimasta. /3/

Radioaktiivisten aineiden hajotessa ne lähettävät terveydelle vaarallista ionisoivaa säteilyä eli

gamma-säteilyä. Säteilyn biologiset vaikutukset perustuvat sen soluissa aiheuttamiin ionisaatioihin eli sähkövarattujen atomien syntymiseen. Ne voivat vahingoittaa soluja ja erityisesti tuman DNA-molekyylejä. /3/

Radioaktiivisten aineiden joutuessa ihmisen kehon sisään aiheuttavat ne sisäisen säteilyannoksen, jonka suuruuteen vaikuttavat mm. aineen määrä sekä mihin elimeen tai kudokseen radioaktiivinen aine kulkeutuu. Eri säteilyn lajeista alfa-aktiiviset aineet ovat kaikkein myrkyllisimpiä joutuessaan elimistöön. /3/

Säteilyn vaikutukset voidaan jakaa kahteen eri ryhmään: suoriin laajasta solutuhosta johtuviin vaikutuksiin ja tilastollisiin haittavaikutuksiin, jotka johtuvat satunnaisesta geneettisestä muutoksesta yhdessä solussa. Satunnaiset haitat tulevat ilmi vasta vuosien jälkeen altistumisesta. Jos sukusolussa tapahtuu säteilystä johtuva mutaatio ja juuri tästä solusta kehittyy uusi yksilö, mutaatio löytyy uuden yksilön jokaisesta solusta, joka saattaa aiheuttaa terveystahaittoja joko yksilölle itselleen tai sitten hänen jälkeläisilleen. /3/

Säteilyn ja syövän välistä yhteyttä selvittämissä tutkimuksissa ollaan havaittu leukemian, keuhko-, iho- ja kilpirauhassyövän lisääntyminen. Tutkimukset ovat koskeneet suuria säteilyannoksia saaneita (mm. Hiroshiman ja Nagasakin uhrit), joten pienten säteilyannosten aiheuttama vaikutusta on vaikea määrittää. Noin 1000 mSv:n annos on raja, jota pienemmät annokset eivät todennäköisesti aiheuta välittömiä oireita. Säteily aiheuttaa välittömiä oireita, jos henkilö saa yli 1000mSv:n annoksen lyhyessä ajassa, noin vuorokaudessa. Oireita ovat pahoinvointi ja kuume sekä myöhemmässä vaiheessa myös sisäiset verenvuodot. Annoksen kasvaessa henkilön toipumisen todennäköisyys huononee ja 6000 mSv:n annoksen saaneista toipuu vain pieni osa. /3/

Suomessa keskimääräinen säteilyannos on 3,7 mSv, josta ydinvoiman osuus on 0,001mSv. Suomessa on säteilyannosrajoiksi määritelty, että työssään säteilyn alaiseksi joutuvan henkilön vuotuinen annos ei saa ylittää 50 mSv:n rajaa eikä viiden vuoden annoksien summa saa olla yli 100 mSv. Säteilylähteen vaikutuspiirissä elävän henkilön vuotuinen annosraja on 1 mSv. Ydinvoimalaitoksen ympäristössä sovelletaan kuitenkin Säteilyturvakeskuksen ohjeen mukaan tiukempaa rajaa. Sen mukaan laitoksen päästöt eivät saa olla yli 0,1 mSv. Syy, miksi säteilytyöntekijän vuotuinen annosraja on suurempi, on siinä, että heidän saamiaan annoksia valvotaan henkilökohtaisesti. /3/

2.7 Ydinvoima ja ympäristö

Ydinvoimalaitosten suurin sallittu radioaktiivisten aineiden päästö ympäristöön on 0,1 mSv. Päästöt voivat tapahtua joko ilmastointipiipun kautta tai sitten jäähdytysveden mukana. Suomessa ydinvoimalaitoksien päästöt ovat olleet muutama prosentti sallitusta rajasta (0,001 mSv). /3/

Yleisimpiä kevytvesireaktoreista ilmaan pääseviä aineita ovat fissiossa syntyneet jalokaasut (xenon ja krypton), kaasumaiset aktivoitumistuotteet (hiili- 14) sekä halogeenit (jodit). /3/

Reaktorissa käytettävässä jäähdytysvedessä on korroosiotuotteita ja lisäaineita. Veden virratessa reaktorissa, saattavat nämä aineet aktivoitua. Myös reaktorin polttoaineesta peräisin olevia aktiivisia aineita saattaa joutua jäähdytysveteen. Näitä radioaktiivisia aineita poistetaan vedestä erillisellä puhdistuslaitoksella, jossa ns. ioninvaihtohartsit poistavat radioaktiivisuutta samalla itse aktivoituen. Aktivoituneet ioninvaihtohartsit loppusijoitetaan käytetyn uraanipolttoaineen tavoin. Suurimmat radioaktiiviset päästöt veteen aiheutuvat tritiumista, jonka poistaminen on käytännössä mahdotonta. /3/

Jäähdytysveden kulkiessa laitoksen läpi, lämpenee se n. 10 astetta. Tämä aiheuttaa talvella veden ulostulopaikalle jäätikön sulamista ja heikkenemistä sekä lisää purkualueen biologista toimintaa. Koska jäätikkö puuttuu, auringonvalo pääsee vaikuttamaan pidemmän ajan vuodesta aiheuttaen

näin rehevöitymistä. /3/

Hiilidioksidipäästöjä ydinvoimalaitosten käytöstä ei aiheudu, mikä onkin ydinvoiman yksi merkittävimpiä hyötyjä. Esimerkiksi Suomessa vuoden 1997 hiilidioksidipäästöt (16 miljoonaa tonnia) olisivat olleet 17 miljoonaa tonnia suuremmat, mikäli ydinvoimasähkö oltaisiin tuotettu hiilellä. /3/

2.8 Uraanin riittävyys

Maankuoressa on uraania keskimäärin noin 4 tonnia. Nykysin hyödynnetään kuitenkin vain rikkaita uraanimalmeja, joilla pitoisuus on jopa kymmeniä kiloja tonnissa. Suurimmat tunnetut uraanivarat ovat Kazakhstanissa, Australiassa, Etelä-Afrikassa, Namibiassa, Kanadassa, Brasiliassa, Venäjällä, USA:ssa, Ukrainassa ja Nigeriassa. /12/

Maankuoren uraanivarat voidaan jakaa kahteen ryhmään: tunnetut varat, joiden sijainti on tiedossa sekä arvioidut lisävarat, joiden määrä on päätelty tilastollisesti geologisen tietämyksen perusteella. Tunnettuja varoja oli vuoden 1997 alussa noin 4,3 miljoonaa tonnia. Lisäksi arvioidaan, että tunnettujen esiintymien alueelta löytyy lisää noin 2,3 miljoonaa tonnia uraania. Vaikeasti ja kalliimmin hyödynnettäviä uraanivaroja arvioidaan lisäksi olevan 10 miljoonaa tonnia. /12/

Uraanin riittävyttä on mahdollista lisätä ottamalla käyttöön paremmin uraania hyödyntäviä reaktoreita. Nykyiset kevytvesireaktorit tuottavat yhdestä uraanikilosta 36 000 kWh sähköenergiaa. Jälleenkierättämällä käytetty polttoaine uuden polttoaineen valmistukseen, voidaan energiaa saada noin 30 % enemmän. Edelleen parannukset kevytvesireaktoreissa voivat lisätä saatavaa sähkön määrä 10-20 %. /12/

Maailman tämänhetkinen uraanikulutus on noin 60 000 tonnia vuodessa, joten nykykulutuksellakin tunnetut uraanivarat riittävät kymmeniksi vuosiksi. Hyötöreaktorin käyttöönotto lisäisi kuitenkin uraanin riittävyttä monikymmenkertaiseksi. Hyötöreaktori muuttaa luonnonuraanissa olevaa uraani-238 isotooppia halkeamiskelpoiseksi plutonium-239 isotoopiksi. Koska luonnonuraanissa on runsaat 99 % uraani 238:aa, kasvaisi uraanista saatava sähkömäärä huomattavasti. Tällä hetkellä on maailmassa käytössä muutama hyötöreaktori, mutta toistaiseksi niillä tuotetun sähkön hinta ei ole kilpailukykyistä. /3/

2.9 Ydinjätehuolto

Radioaktiiviset jätteet luokitellaan matala- ja keskiaktiivisiin voimalaitosjätteisiin sekä runsasaktiiviseen käytettyyn ydinpolttoaineeseen. Voimalaitosjätteitä ovat keskiaktiiviset prosessiveden puhdistusmassat sekä matala-aktiiviset, pääosin huolto- ja korjaustöissä syntyvät muut voimalaitosjätteet. Voimalaitosjätteiden radioaktiivisuus on vain murto-osa verrattuna käytettyyn polttoaineeseen. /13/

Käytetyn ydinpolttoaineen jatkokäsittely jakaantuu kolmeen eri vaihtoehtoon: jälleenkäsittelyyn, suoraan loppusijoitukseen ja transmutaatioon. Jälleenkäsittelyssä otetaan talteen jäljelle jäänyt uraani ja plutonium ja näitä käytetään uuden polttoaineen valmistuksessa. Jälleenkäsittely ei kuitenkaan poista kokonaan jätehuoltotarvetta, sillä jäljelle jää kuitenkin aina radioaktiivisia jätteitä. Loppusijoitus on ydinjätteen sijoittamista pysyvästi syvälle maan alle esim. peruskallioon. Transmutaatio on terveydelle haitallisten atomien tuhoamista. Käytännössä tälläkään tavalla ei pystytä hävittämään kaikkia radioaktiivisia aineita siten, että loppusijoitukselta vältyttäisiin. Lisäksi transmutaatio vaatii vielä vuosikymmenien kehitystyön ennen kuin siitä todella olisi hyötyä. /13/

2.9.1 Ydinjätehuolto Suomessa

Vuoden 1995 lopulla voimaan astunut ydineergialain muutos lopetti vuoden 1996 lopulla käytetyn ydinpolttoaineen viennin Suomesta. /5/

Matala-aktiiviset voimalaitosjätteet, kuten työkalut, suojamuovit ja -vaatteet sekä pyyhkeet pakataan tynnyreihin tai teräslaatikoihin. Nestemäiset keskiaktiiviset vedenpuhdistusmassat kiinteytetään ensin bitumiin, jonka jälkeen ne valetaan 200 litran tynnyreihin. Lopulta nämä loppusijoitetaan voimalaitosalueelle 70-100 metrin syvyydelle louhittuihin kallioluoliin. Olkiluodossa loppusijoitus on alkanut jo vuonna 1992 ja Loviisassa vuonna 1998. /3/

Runsasaktiivisen käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituspaikkoja ollaan tutkittu laitoksien rakentamisvaiheesta lähtien. Suomessa käytetyn polttoaineen paras sijoituspaikka on seismisesti vakaa kallioperä. Vaihtoehtoisiksi paikoiksi on valittu Eurajoen Olkiluoto, Kuhmon Romuvaara, Äänekosken Kivetty ja Loviisan Hästholmen. Päätös loppusijoituspaikkakunnasta tehdään vuoteen 2000 mennessä. Tarkoitus olisi, että loppusijoitus voisi alkaa vuonna 2020. Loppusijoitustila muodostuu 500 metrin syvyyteen peruskallioon louhittuun tunneliverkostoon, jonne käytetty polttoaine eristetään kupariteräskapseleissa. Kapselit sijoitetaan tunneliston lattiaan porattuihin reikiin ja ympäröidään bentoniittisavella. Lopuksi tunnelit täytetään bentoniitin ja hiekan seoksella ja alas johtavat kuilut suljetaan. /3/

Käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitukseen liittyvästä tutkimuksesta ja aikanaan tilojen rakentamisesta ja käytöstä huolehtii Suomessa Posiva Oy. /14/

2.10 Ydinvoimalaitosten käyttöikä ja käytöstäpoisto

Laitoksien suunnitteluvaiheessa ollaan ajateltu, että teoriassa niiden käyttöikä olisi 30-40 vuotta. Lopullinen käyttöikä on laitoskohtainen ja riippuu suoritetuista huolloista ja modernisointitoista sekä turvallisuusvaatimusten täyttymisestä.

Tekninen käyttöikä määräytyy laitteiden ja rakennelmien vanhenemisesta ja kulumisesta. Laitoksen käytön aikana kuntoa seurataan erilaisin tarkastuksin ja kokein, joilla saadaan viitettä siitä, milloin ollaan lähestymässä laitoksen teknisen käyttöiän päättymistä. Erityisesti reaktorin paineastian käyttöikä voi olla määräävä tekijä koko laitoksen iän kannalta. Paineastian suuri koko, paino ja korkea säteilytaso vaikeuttavat vanhan paineastian poistoa ja uuden asennusta. /3/

Suomessa ei ole määritelty ydinvoimalaitoksien sulkemisajankohtaa. Käyttöä jatketaan edellyttäen, että laitoksien todetaan olevan turvallisuusvaatimuksien mukaiset sekä taloudellisesti kannattavat.

Ydinvoimalaitosten käytöstäpoisto alkaa polttoaineen ja muun voimakkaasti radioaktiivisen aineen poistamisella ja laitoksen prosessijärjestelmien sulkemisella. Tämän vaiheen kesto on muutamia vuosia. Turvallisuuden kannalta on edullista säilyttää laitosta tässä tilassa muutamia vuosikymmeniä, jolloin radioaktiivisuus ehtii alentua murto-osaan alkuperäisestä. Tällöin lopulliset purkutoimenpiteet helpottuvat ja tulevat turvallisemmiksi. Laitos pystytään purkamaan myös välittömästi käytön lopettamisen jälkeen. Tällöin joudutaan käyttämään kauko-ohjattuja laitteita purkutoimenpiteisiin. Voimalaitoksien purkujätteet sijoitetaan maan alle tehtyihin kallioluoliin, aivan kuten muukin ydinjäte. /15/

2.11 Ydinvoimalaonnettomuudet ja INES-asteikko

INES-asteikko (International Nuclear Event Scale) kuvaa ydinvoimalaitosten onnettomuuksien ja

tapahtumien vakavuutta. Luokkia on yhdestä setsemään (1-7), joista luokat 1-3 kuvaavat laitosturvallisuutta heikentäneitä tapahtumia ja luokat 4-7 onnettomuuksia, joista voi aiheutua säteilysuojatoimenpiteitä vaativia päästöjä ympäristöön. /3/

Suomessa tapahtumat ovat olleet pääosin luokassa yksi (1) ja jokunen luokassa kaksi (2). Tapahtuma luokitellaan alle kolmen, mikäli työntekijöille ei ole aiheutunut välitöntä terveyshaittaa eivätkä laitoksen radioaktiiviset päästöt ylitä viranomaisten hyväksymiä päästörajoja. /3/

Vakavin koskaan sattunut ydinvoimalaonnettomuus sattui huhtikuussa 1986 Tshernobylin voimalaitoksessa entisessä Neuvostoliitossa. INES-asteikolla onnettomuus kuuluu ylimpään luokkaan (7). Onnettomuus johtui perimmiltään laitoksella käytössä olleen RBMK-reaktorityypin ominaisuudesta, jossa reaktoria ajettaessa alhaisella teholla sen teho pyrkii nousemaan jäähdytysveden höyrypitoisuuden lisääntyessä. Tehon nousu taas lisää höyrypitoisuutta ja näin syntyy itseään kiihdyttävä tehon kasvu. Laitoksella oli käynnissä tuolloin koe, joka johti tapahtuneeseen. Lisäksi laitoksen henkilökunta oli kytkenyt suurimman osan reaktorin suojalaitteista pois päältä. Voimakas tehonkasvu ja samalla lämpötilan nousu aiheutti reaktorin paineen räjähdysmäisen nousun ja lopulta suojakaasuvaipan räjähtämisen. Räjähdyksestä syntyneet tulipalot saatiin sammutettua muutamien tuntien kuluessa, mutta reaktorissa olleen grafiitin palo kesti viikon, jona aikana levisi huomattavia määriä radioaktiivisia aineita ympäristöön. Tuhoutunut reaktorirakennus suljettiin massiiviseen betonibunkkeriin, jonka käyttöäksi suunniteltiin 30 vuotta. Sen rakenteessa on kuitenkin jo havaittu halkeamia. Onnettomuudessa kuoli 31 ihmistä, jotka olivat laitosalueella työskennelleitä pelastusmiehiä. Lisäksi 145 laitosalueen henkilöä sairastui säteilytautiin. Ympäristön asukkaista 135 000 jouduttiin evakuoimaan 30 kilometrin säteellä. Koko Euroopan alueella onnettomuus vaikutti kymmeneen miljooniin ihmisiin. Säteilyn myöhäisvaikutuksien kautta sairastuneiden henkilöiden määrää on vaikea arvioida. /3,16/

LÄHTEET

/1/ Energia Uutiset 1/99, Adato Energia Oy 1999.

/2/ Tieteen maailma, Energia ja liikenne, 1992.

/3/ Hyvä tietää ydinvoimasta, Energia-alan Keskusliitto ry Finergy 1999.

/4/ Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus, Ydinvoimatekniikan peruskurssi, Julkaisu 1-73, Helsinki 1973.

/5/ VTT Energia, Energia Suomessa, Oy Edita Ab 1999, 368 s.

/6/ Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus, Ydintekniikan perusteet: reaktoritekniikka, Julkaisu 46-74, Helsinki 1974.

- /7/ Aura L. & Tonteri A.J, Sähkölaitostekniikka, WSOY 1993, 433 s.
- /8/ <http://www.fortum.fi>
- /9/ <http://www.tvo.fi>
- /10/ Seppänen H., Ympäristötekniikan perusteet, Otatieto, Helsinki 1991, 244 s.
- /11/ Nikkola J. & Viljanmaa L. & Virtanen T., Laaja fysiikka III, Kirjayhtymä 1991.
- /12/ Forsström J. & Pirilä P. & Tamminen E., Maailman energiavarat, Kauppa- ja teollisuusministeriön tutkimuksia ja raportteja 18/1997, Oy Edita Ab, 78 s.
- /13/ Voimayhtiöiden ydinjätetoimikunta, Ydinjätehuolto, 1984, 64 s.
- /14/ <http://posiva.fi>
- /15/ Voimayhtiöiden ydinjätetoimikunta, Yhteenveto Olkiluodon voimalan käytöstäpoiston suunnitelmasta, Helsinki 1993.
- /16/ Aulio K., Ilman saastuminen ja ilmastomuutokset, Ihminen ja ympäristö 1, Ympäristöliike, Kaarina 1990, 223 s.

3 VESIVOIMA

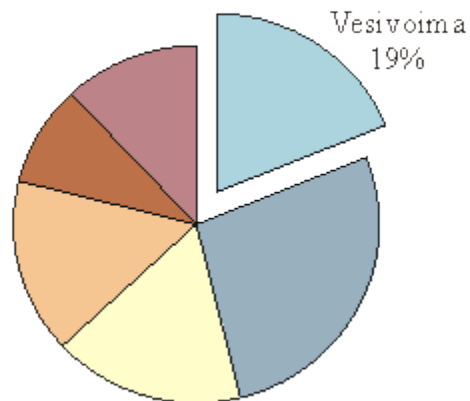
3.1 Johdanto

Vesivoima on puhdas ja uusiutuva energiantuotantomuoto. Sillä on ollut perinteisesti Suomen sähköntuotannossa suuri merkitys. Suomen vesivoimalaitosten rakentamisen pääkausi sijoittuu 50- ja 60- luvuille, jolloin rakennettiin yli 60 laitosta, joista suurin osa sijaitsee Pohjois-Suomessa (kuva 3.1). Nykyään koskia ei enää merkittävästi pystytä valjastamaan sähkövoiman tuotantoon, vaan tuotannon lisäämiseen on käytettävä muita menetelmiä. Tästä johtuen vesivoiman rooli onkin muuttunut perusvoiman tuottamisesta yhä enemmän säätövoiman tuottajaksi. Suomen suurin vesivoimalaitos sijaitsee Imatralla. Laitoksen teho on 168 MW. [/1,2,3/](#)



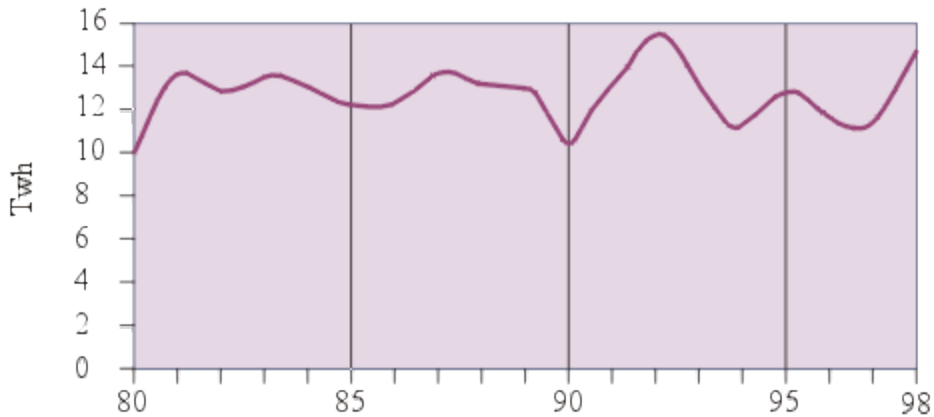
Kuva 3.1. Vesivoimalaitosten sijainti Suomessa. /3/

Vuonna 1998 Suomen sähköhankinnasta 19 % katettiin vesivoimalla (kuva 3.2).



Kuva 3.2. Vesivoiman osuus vuoden 1998 sähköhankinnasta /4/

Kuvassa 3.3 on esitetty Suomen vesivoimalla tuotettua sähköä vuosina 1980-1998. Siitä voidaan havaita, että viimeisen parinkymmenen vuoden ajanjaksona hankinta on ollut melko tasaista. Pienet heilahtelut johtuvat kulloisenkin vuoden vaihtelevista vesitilanteista. Tasaisuus kertoo siitä, että lisäkapasiteettia ei olla merkittävästi enää rakennettu, vaan nykyään olemassa oleva peruskapasiteetti on ollut käytössä jo kauan.



Kuva 3.3. Vesivoimalla tuotettu sähkö Suomessa vuosina 1980-1998. /5/

Vesivoimalaitoksen etuina ovat pienet käyttökustannukset ja hyvä säädettävyys. Vesivoimaloilla voidaan helposti toteuttaa sähkötehon tuotannon säätö nopeiden hetkellisten tehontarpeen vaihteluiden sekä viikko- ja vuorokausivaihteluiden mukaan. Lisäksi polttoaine on ilmaista ja laitokset voidaan rakentaa kauko-ohjattaviksi, jolloin säästetään kuluissa. Haittana on rakennusvaiheen melko suuret kustannukset, jotka aiheutuvat laitoksen, padon ja altaan rakennus- ja hankintakustannuksista. /6,7/

3.2 Vesivoimalaitokset

Vesivoimalaitoksen toimintaideana on muuttaa virtaavan veden liike-energiaa roottorin rotaatioenergiaksi, joka edelleen muutetaan generaattorilla sähköksi. Suomessa vesiputouksien korkeudet ovat pieniä, mutta vastaavasti virtaamat ovat yleensä suuria. Tämän vuoksi ollaankin patojen ja ruoppaamisten avulla pyritty keskittämään tietyn jokijakson putous yhteen paikkaan. Näin vesivoimavarat pyritään hyödyntämään mahdollisimman tarkkaan. /8/

Vesivoimalaitoksia voidaan jaotella eri tyypeihin säännöstely- ja käyttötavan, rakenteellisen ratkaisun tai putouskorkeuden mukaan. /1/

Säännöstely- ja käyttötavan mukaisessa jaottelussa voimalaitokset jaetaan jokivoimalaitoksiin, säännöstelyvoimalaitoksiin, pumppulaitoksiin ja vuorovesilaitoksiin. Jokivoimalaitoksessa altaan muodostaa ainoastaan laitoksen oma pato, kun taas säännöstelyvoimalaitokset on rakennettu säännöstelyaltaan yhteyteen. Pumppulaitoksissa vettä pumpataan halvemmalla yöenergialla voimalaitoksen yläaltaaseen ja vuorovesilaitoksissa vesi nousee altaaseen vuorovesi-ilmiön vaikutuksesta. Suomessa on vain joki- ja säännöstelyvoimalaitoksia. /1/

Rakenteellisen ratkaisun mukaisessa jaottelussa laitokset jaetaan patolaitoksiin, paineputkilaitoksiin ja tunnelilaitoksiin. Patolaitoksissa koneasema toimii padon osana, paineputkilaitoksissa koneasema on sijoitettu padon taakse ja tunnelilaitoksissa koneasema on kokonaan kallion sisällä. /1/

Putouskorkeuden mukainen jaottelu perustuu eri turbiinityyppien käyttöalueisiin. Jaottelu putouskorkeuden mukaan ei kuitenkaan ole täysin tarkka, sillä eri turbiinityyppien alueet menevät osittain päällekkäin ja muuttuvat kehityksen mukana. /1/

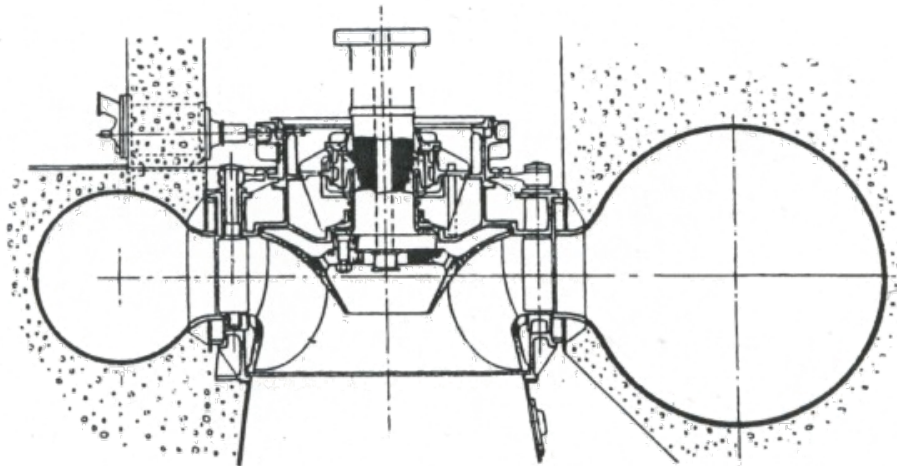
3.3 Turbiinityypit

Generaattorin akselia voidaan pyörittää monilla eri turbiinityypeillä. Nämä voidaan jakaa kahteen

eri pääryhmään: ylipaine- ja suihkuturbiineihin. Ylipaineturbiinit soveltuvat pienille veden putouskorkeuksille ja vastaavasti suihkuturbiinia käytetään suurilla putouskorkeuksilla. /6/

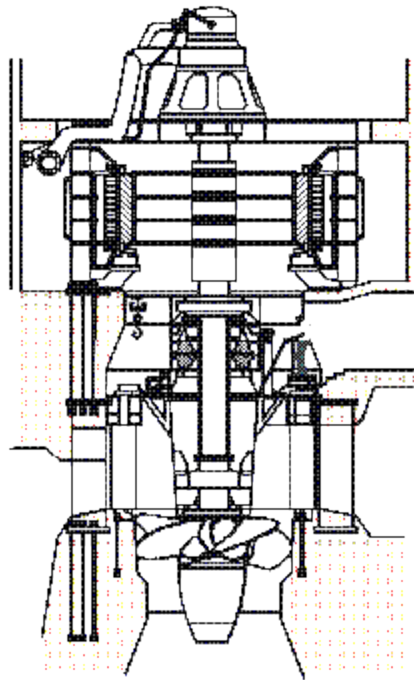
Ylipaineturbiineja ovat Francis- ja Kaplan-turbiinit sekä viimeksi mainitun muunnokset potkuriturbiini ja putkiturbiini. Näille turbiineille on ominaista, että vain osa veden energiasta muutetaan liike-energiaksi. /9/

Francis-turbiinit soveltuvat pienistä putouskorkeuksista aina noin 700 metriin saakka. Turbiinit ovat radiaalisia ja kiinteälappaisia lappojen määrän ollessa 16-21 kpl. Tehoa saadaan säädeltyä johtosiipien avulla. Niiden avulla säädetään turbiinin läpi virtaavan veden määrää. Hyötysuhteeksi turbiinille tulee n. 90 %, suuremmilla koneilla jopa hiukan ylikin. Turbiinit voivat olla niin vaaka- kuin pysty akselisiä. Nykyään hitaasti pyöriviä Francis-turbiineja ei enää yleisesti käytetä, vaan niitä on korvattu nykyaikaisilla potkuriturbiineilla. Francis-turbiini on esitetty kuvassa 3.4. /2,9/



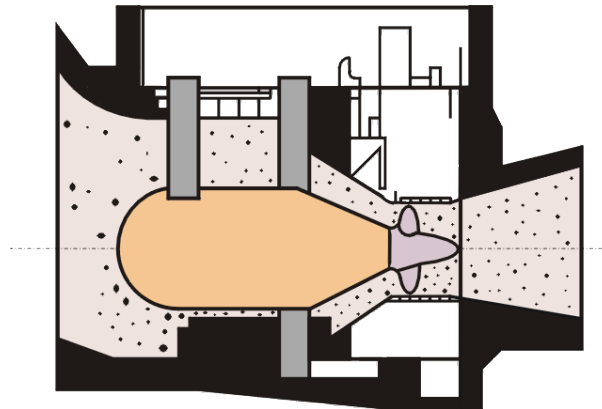
Kuva 3.4. Francis-turbiini. /9/

Kaplan-turbiinit ovat aksiaalisia ja niiden juoksupyörän lappojen (3-6 kpl) kulmaa muuttamalla voidaan turbiinin tehoa säätää käynnin aikana. Tämän lisäksi turbiinissa on radiaalinen johtopyörä, jolla virtaavan veden määrää voidaan säädellä. Suomessa valmistettujen koneiden juoksupyörän halkaisija vaihtelee välillä 0,85-6,75 m. Kaplan-turbiinia voidaan käyttää pienillä putouskorkeuksilla aina 70 metriin saakka. Siksi se onkin Suomen yleisin turbiinityyppi. Sen hyötysuhde on hyvä, 91-95 %. Turbiinin vahvuus on siinä, että hyötysuhde pysyy korkeana putouskorkeuden suuristakin muutoksista huolimatta. Esimerkiksi putouksen muutos 100 prosentista 50 prosenttiin alentaa hyötysuhdetta vain noin 5 %. Kuva 3.5 esittää Kaplan-turbiinia. /2,6,9/



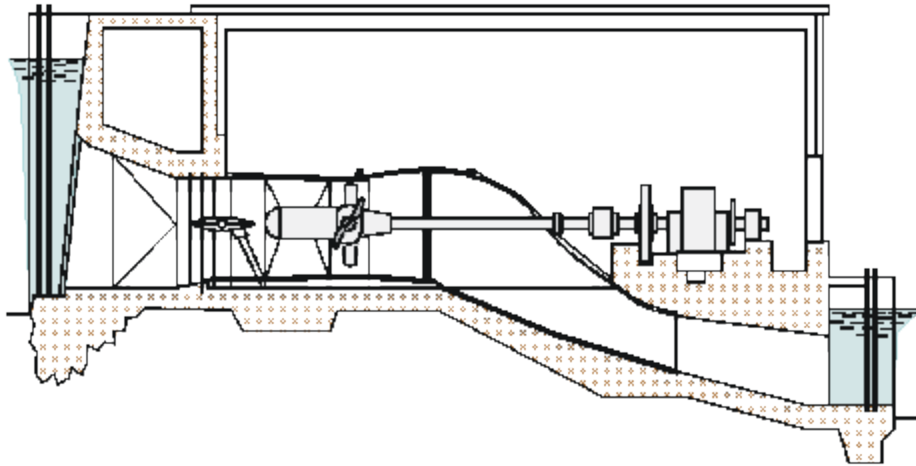
Kuva 3.5. Kaplan-turbiini. /9/

Potkuriturbiini on esitetty kuvassa 3.6. Se eroaa Kaplanista siinä, että sen juoksupyörää ei pystytä säätämään käynnin aikana, vaan se on joko kiinteä tai koneen seistessä säädettävä. Muilta ominaisuuksiltaan potkuriturbiini on Kaplan-turbiinin kaltainen. /9/



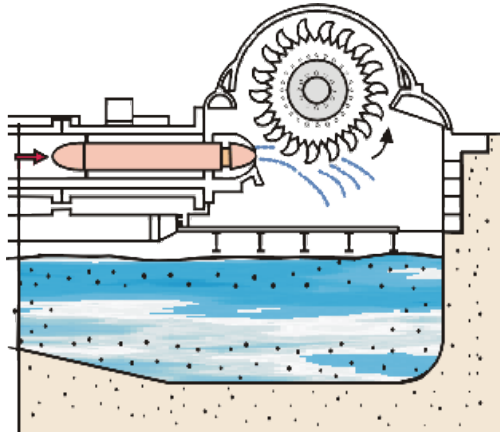
Kuva 3.6. Potkuriturbiini. /10/

Putkiturbiini on Kaplan-turbiinin muunnos, jossa virtaus myös johtopyörässä ja putkimaisissa vesiteissä on aksiaalinen. Putkiturbiinin eräs rakenteellinen ratkaisu on esitetty alla olevassa kuvassa 3.7. /9/



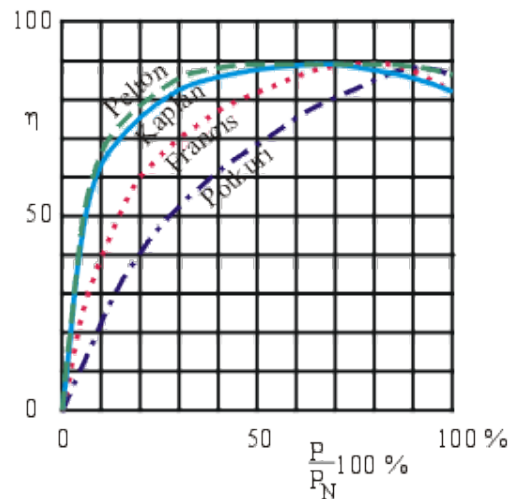
Kuva 3.7. Putkiturbiini. /9/

Pelton-turbiini on edellisistä poiketen suihkuturbiini, joka soveltuu maihin, jossa on suuria vesiputouksia (Norja, Sveitsi). Pelton-turbiini on kuvassa 3.8. Siinä juoksupyörään vaikuttaa pääasiallisesti veden liike-energia paineen sijasta. Turbiinia käytetäänkin suurissa putoukskorkeuksissa aina 2000 metriin asti. Peltonin ideana on, että suuttimista purkautuva vesisuihku ohjataan juoksupyörässä oleviin kuppeihin, jolloin veden liike-energia muuttuu juoksupyörän rotaatioenergiaksi ja tämä edelleen turbiinin akselilla olevan generaattorin avulla sähköenergiaksi. Suomessa ei ole niin korkeita putouksia, että Pelton-turbiinia kannattaisi käyttää. /2,6/



Kuva 3.8. Pelton-turbiini. /10/

Eri turbiinityyppien hyötysuhteet ovat siis varsin hyviä. Ajettaessa osatehoilla erot turbiinien välillä alkavat näkyä. Kaplan- ja Pelton-turbiinien hyötysuhteet ovat vielä hyvät ajettaessa viidenneskuormalla, mutta Francis- ja potkuriturbiinien hyötysuhteet laskevat nopeasti kuorman pienetessä. Tätä on havainnollistettu kuvassa 3.9.



Kuva 3.9. Turbiinien hyötysuhteet eri kuormilla. Vaaka-akselilla on turbiinin antaman tehon suhde sen nimellistehoon P_N . /6/

3.4 Vesivoimageneraattorit

Vesivoimaa hyödynnettiin aluksi siirtämällä turbiinista saatu energia suoraan mekaanisesti kulutuskoneille (esim. tuulimyllyt ja sahat). Vuosisadan vaihteen jälkeen mekaanista energiaa alettiin muuttamaan generaattoreiden avulla sähköksi. Nykyisin vesivoimalaitosten tuottama energia muutetaan käytännössä katsoen kokonaan sähköenergiaksi. /2/

Ensimmäiset vesivoimalaitoksiin kytketyt generaattorit olivat tasavirtageneraattoreita, mutta vaihtovirtatekniikan kehitys syrjäytti tasavirtakoneet nopeasti. Nykyään on käytössä vaihtovirtageneraattoreista pääosin tahtigeneraattoreita, joskin pienissä voimalaitoksissa on mahdollista käyttää myös epätahtigeneraattoria. /2/

3.4.1 Tahtigeneraattorit

Generaattorin roottorissa on tasavirralla magnetoidut navat. Roottorin liikkeen johdosta generaattorissa muodostuu pyörivä magneettikenttä. Tämän magneettikentän kulkiessa koneen staattoriin asennettujen käämien läpi, muodostuu käämeihin vaihtojännite.

Syntyneen jännitteen taajuus f on

$$f = np,$$

missä n on pyörimisnopeus (1/s) ja p on napapariluku.

Generaattorin nopeus ja siten jännitteen taajuus eivät riipu kuormituksesta.

Koska Suomessa vaihtovirtajärjestelmän taajuus on 50 Hz (1/s), generaattorin napapariluvuksi p tulee:

$$p = 50/n.$$

Tahtigeneraattoria, eli synkronigeneraattoria, käytetään yli 1 MW tehoalueella. Vesivoimalaitoksissa käytettävien tahtigeneraattoreiden nimellisjännite on tyypillisesti 6 kV - 20 kV ja suurimpien asennettujen yksiköiden teho on yli 800 MW. Suomessa yleisimmät generaattorijännitteet ovat 6,3 kV ja 10,5 kV ja tehot vaihtelevat muutamasta kilowatista Imatran 168 MW vesivoimalaitokseen. /1,2,3/

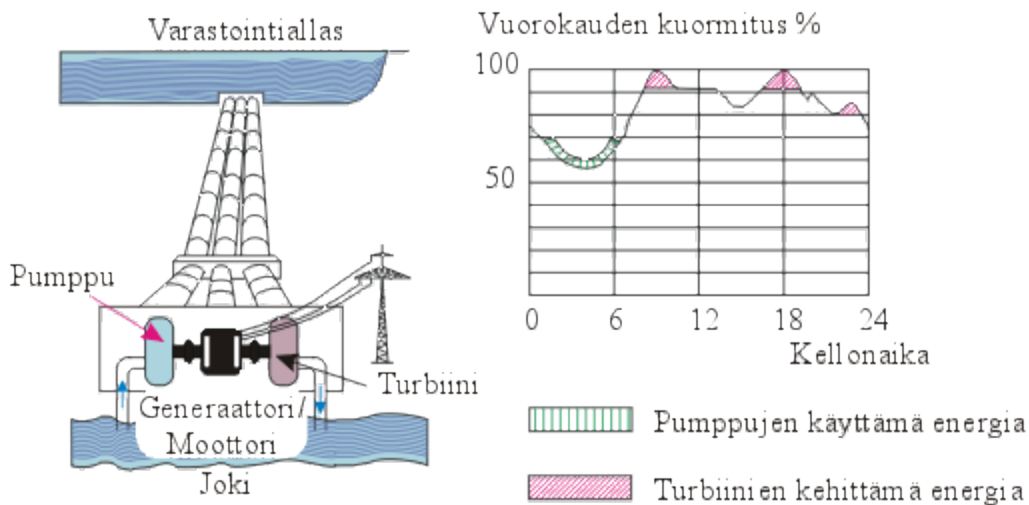
Vesiturbiinien pyörimisnopeuden ollessa pieni ja taajuuden ollessa vakio, nähdään yhtälön (2) avulla, että napapariluku kasvaa suureksi. Kaplan- ja Francis-turbiinien pyörimisnopeudet ovat tyypillisesti 88-214 r/min, jolloin napapariluvuksi tulee 68-28 kpl. Suuri napamäärä kasvattaa roottorin ja koko generaattorin fyysistä kokoa. Tällöin kannattaa käyttää avonapaista rakennetta. Pienitehoisissa laitoksissa voidaan turbiinin ja generaattorin väliin asentaa vaihteisto pyörimisnopeuden nostamiseksi. /2/

3.4.2 Epätahtigeneraattorit

Epätahti- eli asynkronigeneraattoreita käytetään alle 1 MW tehoalueella. Epätahtigeneraattorina käytetään oikosulkumootoria, jota on modifioitu vahvistamalla sen roottori turbiinin ryntäysnopeutta vastaavaksi ja tarkistamalla laakerointi. Generaattorin etuina on yksinkertainen rakenne ja halpa hinta. Haittana on, että säätöominaisuuksia ei juurikaan ole sekä se, että kone tarvitsee magnetointitehonsa ulkopuolisesta verkosta. Generaattori ei siten voi toimia itsenäisesti, joka on estänyt sen laajemman käyttöönoton. /1,8/

3.5 Pumppuvoimalaitos

Pumppuvoimalaitoksen (kuva 3.10) ideana on, että yöllä, sähkönkulutuksen ollessa vähäisempää, pumpataan vettä ylempänä olevaan altaaseen ja kulutuksen huippuaikoina päästetään vesi virtaamaan turbiinin läpi. Suomessa ei ole käytössä yhtään pumppuvoimalaitosta.



Kuva 3.10. Pumppuvoimalaitoksen periaate. /10/

3.6 Vesivoimalaitokseen liittyviä yhtälöitä

Vesivoimalaitoksen teho P saadaan yhtälöstä:

$$P = \eta \rho g Q h$$

missä η on laitoksen hyötysuhde
 ρ on veden tiheys (kg/m^3)

g on putoamiskiihtyvyyys

Q on turbiinin läpi virtaava vesimäärä (m^3/s)

h on korkeus (m)

Putouskorkeuden muuttuminen huomioidaan siten, että jos turbiinin pyörimisnopeus on n korkeudella h , niin saman turbiinin pyörimisnopeus n_1 korkeudella h_1 saadaan yhtälöstä /11/:

$$n_1 = n (h_1/h)^{1/2}$$

Tällöin muuttuu myös turbiinin läpi menevä vesimäärä Q . Putouskorkeutta h_1 vastaava vesimäärä Q_1 on /11/:

$$Q_1 = Q (h_1/h)^{1/2}$$

Laitoksen teho P muuttuu siten, että putouskorkeutta h_1 vastaava teho P_1 on /11/:

$$P_1 = P (h_1/h)^{3/2}$$

LÄHTEET

- /1/ Kuivalainen J. 1996. Vesivoimalaitoksen sähkö- ja automaatiojärjestelmien kehittämismahdollisuudet. Diplomityö. Tampere, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Automaatiotekniikan osasto. 95 s.
- /2/ Koski E. 1999. Vesivoimalaitoksen prosessisimulaattori. Diplomityö. Tampere, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Automaatiotekniikan osasto. 57 s.
- /3/ VTT Energia, Energia Suomessa, Oy Edita Ab 1999, 368 s.
- /4/ Energia Uutiset 1/99, Adato Energia Oy 1999.
- /5/ Energiakatsaus 1/99, Kauppa- ja teollisuusministeriö 1999.
- /6/ Korpinen L., Sähkövoimatekniikka, TTKK 1998, 176 s.
- /7/ Partanen J., Sähkövoimatekniikan perusteet, LTTK 1995, 187 s.
- /8/ Viherto H., 1992. Vesivoimalaitoksen säädön tutkiminen simulointimallin avulla. Diplomityö. Tampere, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Sähkötekniikan osasto. 57 s.
- /9/ Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus INSKO, Vesivoimalaitokset, Insinööritieto Oy 1978,

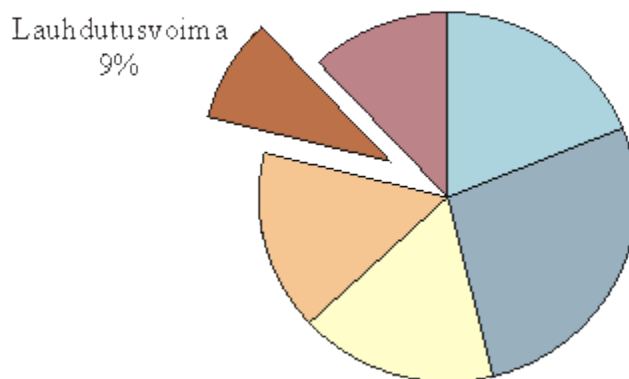
Julkaisu 45-78, 386 s.

/10/ Aura L. & Tonteri A.J, Sähkölaitostekniikka, WSOY 1993, 433 s.

/11/ Yleinen koneoppi, Tietomies, Helsinki.

4 LAUHDEVOIMA

Lauhdevoimalaitokset käyttävät polttoaineenaan fossiilisia polttoaineita ja ovat tarkoitettu yksinomaan sähköntuotantoon. Näillä perusteilla myös ydinvoima on lauhdevoimaa. Ydinvoimaa on kuitenkin käsitelty omassa luvussaan johtuen sen merkittävästä osasta Suomen sähkön tuotannossa. Vuonna 1998 tavallisella lauhdevoimalla katettiin 9 % Suomen sähkönhankinnasta (kuva 4.1).

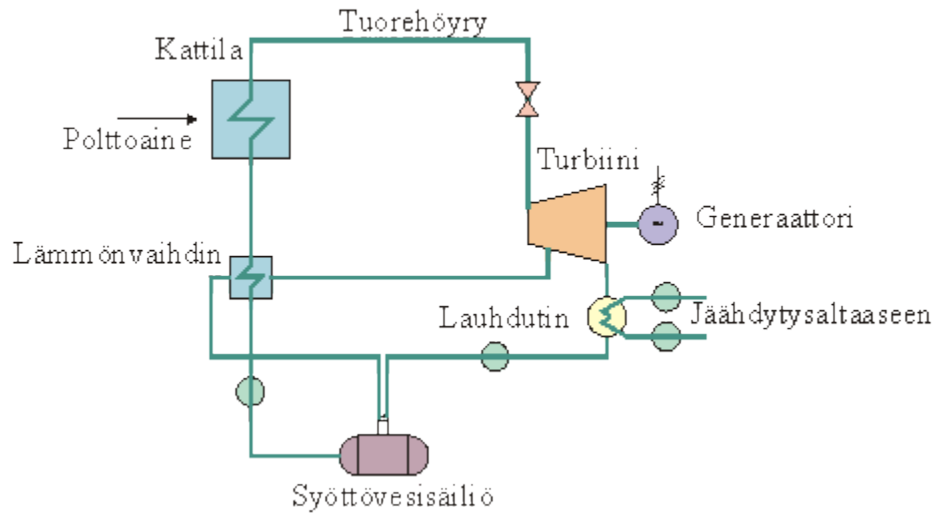


Kuva 4.1. Vuonna 1998 lauhdevoimalla tuotetun sähkön osuus. /1/

4.1 Lauhdevoimalaitoksen toimintaperiaate

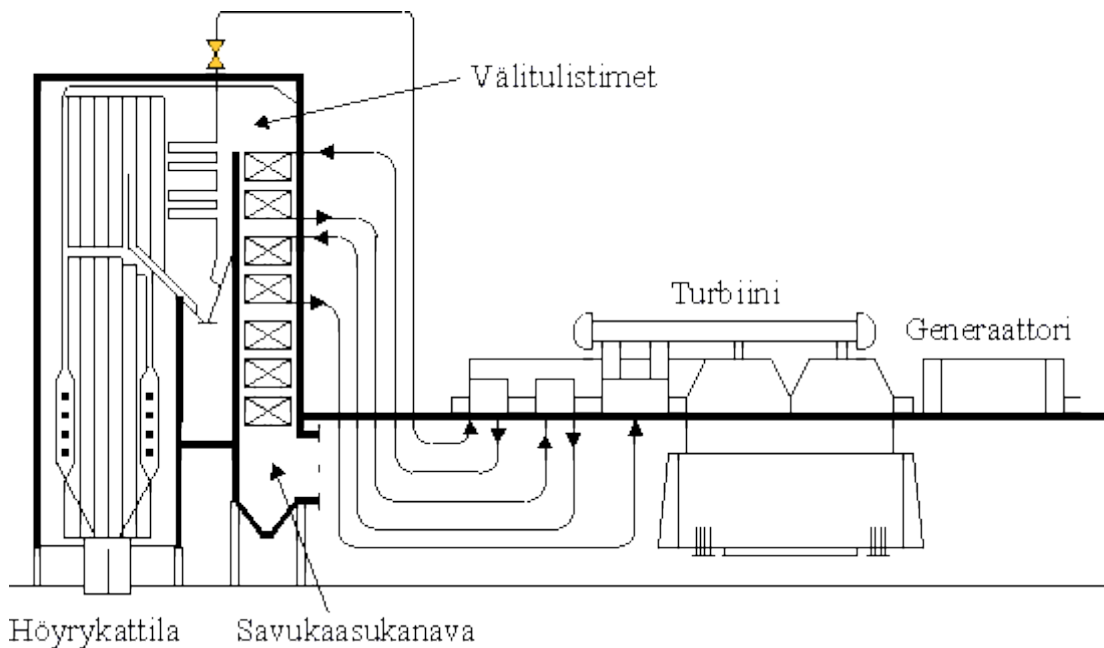
Lauhdevoimalaitoksien toimintaperiaate on yksinkertainen. Kuvassa 4.2 esitetään laitoksen prosessi. Voimalaitoksen polttoaineen palaessa vapautuvalla lämpöenergialla höyrystetään vettä, joka johdetaan turbiiniin. Turbiiniin kytketyn generaattorin avulla saadaan rotaatioenergia muutettua sähköenergiaksi. Turbiinin läpi virrannut höyry menee paineen ja lämpötilan vaikutuksesta lauhduttimeen. Lauhduttimina käytetään yleensä järviä tai merta. Lauhduttimina

voidaan käyttää myös suuria ilmajäähdytteisiä jäähdytystorneja, joita on käytössä Keski-Euroopassa. Lauhdevoimalaitoksien polttoaineena käytetään tavallisimmin hiiltä, mutta lämpöenergian lähteenä on usein myös turve, polttoöljy ja hake. /2/



Kuva 4.2. Lauhdevoimalaitoksen toimintakaavio. /3/

Lauhdevoimalaitoksen hyötysuhde jää melko alhaiseksi, noin 40 %:iin, johtuen lauhdehävioistä. Hyötysuhdetta ja samalla saatavan sähkön määrää voidaan parantaa ns. välitulistuksella. Välitulistuksessa turbiinista otetaan höyryä takaisin kattilaan, josta se johdetaan uudelleen turbiiniin (kuva 4.3).



Kuva 4.3. Lauhdevoimalaitoksen toimintaperiaate. /4/

Korkeamman hyötysuhteen saavuttamisen edellytyksenä on, että kehitettävä höyry on mahdollisimman kuumaa ja korkeapaineista sekä se, että höyryn lauhdutuslämpötila on mahdollisimman alhainen. Tällöin terminen eli Carnot-hyötysuhde saadaan mahdollisimman korkeaksi. Carnot-hyötysuhde η_t saadaan laskettua suureyhtälöstä

$$\eta_t = 1 - T_2 / T_1,$$

jossa T_2 on turbiinista lähteneen höyryn lämpötila ja T_1 turbiinin menevän höyryn lämpötila.

Kun tunnetaan laitoksen kattilan hyötysuhde η_k , voidaan laskea koko lauhdutusvoimalaitosprosessin hyötysuhde η /5/:

$$\eta = \eta_t \eta_k,$$

Kokonaishyötysuhde kuvaa laitosta jo melko hyvin, mutta tämän käänteisarvo eli *lämmönkulutus* q on myös hyödyllinen käsite. Se saadaan lausekkeesta /5/:

$$q = 1 / \eta = 1 / \eta_t \eta_k.$$

4.2 Lauhdevoimalaitoksen käyttö

Peruslauhdevoimalaitokset ovat tarkoitettu taloudelliseen ja toimintavarmaan sähkön tuotantoon. Niillä pyritään ajamaan jatkuvasti tasaista kuormaa, sillä ne eivät sovellu nopeaan tehonsäätöön. Laitoksille ominaisia piirteitä ovat, että sen yksikkökoko on tyypillisesti suuri ja kytkennät laitoksen eri osien välillä voivat olla mutkikkaita. Tämä johtuu osaltaan siitä, että normaalisti laitoksissa on yksi- tai kaksivaiheinen välitulistus hyötysuhdetta parantamassa. Myös hyvään käyttövarmuuteen pääseminen, joka on ensiarvoisen tärkeää peruskuormalaitokselle, mutkistaa laitoksen rakennetta. Jos käytetään laitosta huippukuormalaitoksena, voidaan hyötysuhteesta ja käytettävyydestä tinkiä, sillä sen käyttö on vähäistä peruskuormalaitoksiin verrattuna. /6/

Lauhdevoimalaitoksen tarvitseman jäähdytysveden määrä on suuri. Tämä on huomioitava laitoksen sijoittamista suunniteltaessa. Lisäksi lauhdevoimalaitokset toimivat usein tuontipolttoaineen, etupäässä hiilen, varassa, jolloin on sijoituspaikka valittava esim. hiilivataman viereen. Suomen lauhdevoimalaitosten sijainti on esitetty kuvassa 4.4. Siitä huomataan, että laitokset ovat rannikolla, satamien läheisyydessä. Lauhdevoimalaitoksien ongelmana ovat polttoaineista aiheutuvat päästöt, joista merkittävimpänä ovat hiilidioksidipäästöt. /6/



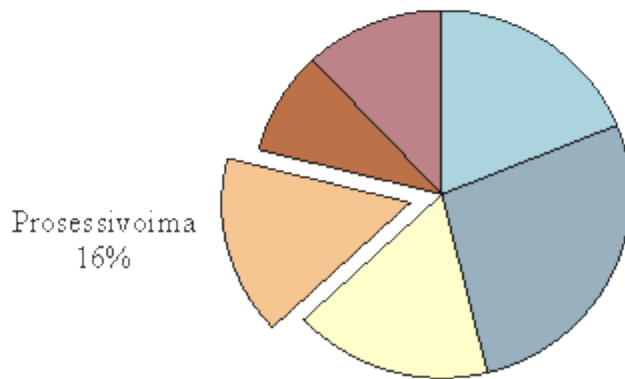
Kuva 4.4. Lauhdevoimalaitoksien sijainti. /7/

LÄHTEET

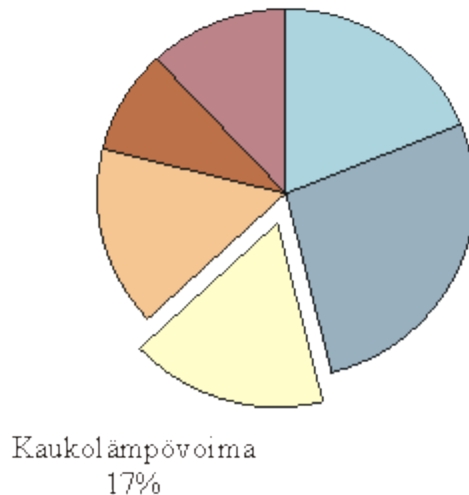
- /1/ Energia Uutiset 1/99, Adato Energia Oy 1999.
- /2/ Korpinen L., Sähkövoimatekniikka, TTKK 1998, 176 s.
- /3/ Elovaara J. & Laiho Y., Sähkölaitostekniikan perusteet, Otatiето 1988, 487 s.
- /4/ Aura L. & Tonteri A.J., Sähkölaitostekniikka, WSOY 1993, 433 s.
- /5/ Ahonen V., Höyrytekniikka I, Otakustantamo 1978, 132 s.
- /6/ Partanen J., Sähkövoimatekniikan perusteet, LTTK 1995, 187 s.
- /7/ VTT Energia, Energia Suomessa, Oy Edita Ab 1999, 368 s.

5 VASTAPAINENOIMA

Vastapainevoimalaitokselle tyypillinen piirre on sähkön ja lämmön yhteistuotanto. Vastapainevoimalla tuotettu sähkö voidaan jakaa kahteen eri osaan: kaukolämpövoimaan ja prosessivoimaan. Prosessivoima on teollisuuden prosessihöyryllä tuotettua sähköä. Sillä tuotettiin vuonna 1998 sähköä 12 TWh, eli 16 % (kuva 5.1a). Kaukolämpövoimalla katettiin Suomen sähkötarpeesta vuonna 1998 13 TWh, eli 17 % (kuva 5.1b).



Kuva 5.1a. Prosessivoimalla tuotetun sähkön osuus vuonna 1998. /1/



Kuva 5.1b. Kaukolämpövoimalla tuotetun sähkön osuus vuonna 1998. /1/

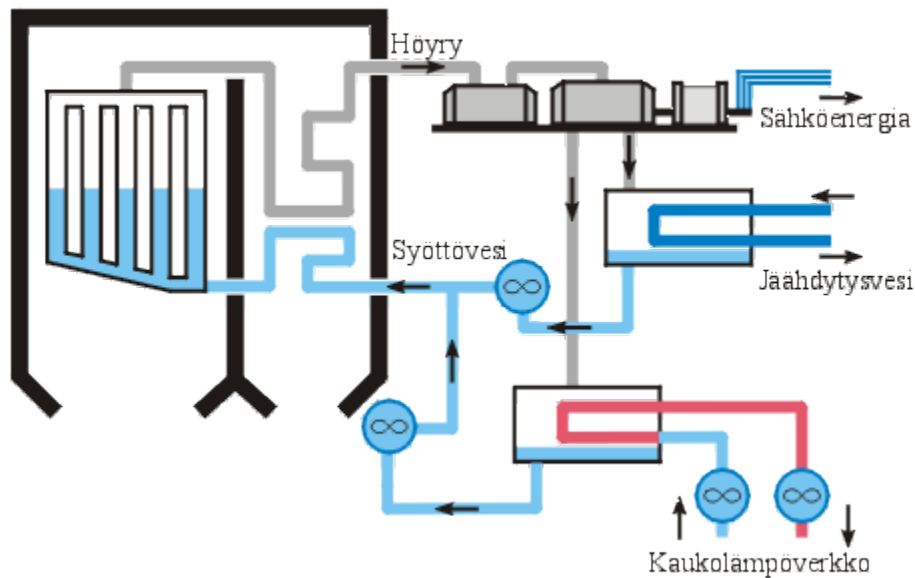
5.1 Kaukolämpö

Kaukolämpö on rakennusten ja käyttöveden lämmittämiseen, teollisuusprosesseihin yms. tarvittavan lämmön keskitettyä tuotantoa ja jakelua yleiseen kulutukseen laajalle alueelle, kaupunginosille tai koko kaupungille. Suomessa kaukolämmitys alkoi vuonna 1940 Helsingin olympiakylässä. Varsinaisen kaukolämpöverkon rakentaminen alkoi Helsingissä 50-luvun lopulla. Vuonna 1997 kaukolämmön 30 TWh:n tuotannosta noin 77 % tuotettiin yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa. /2/

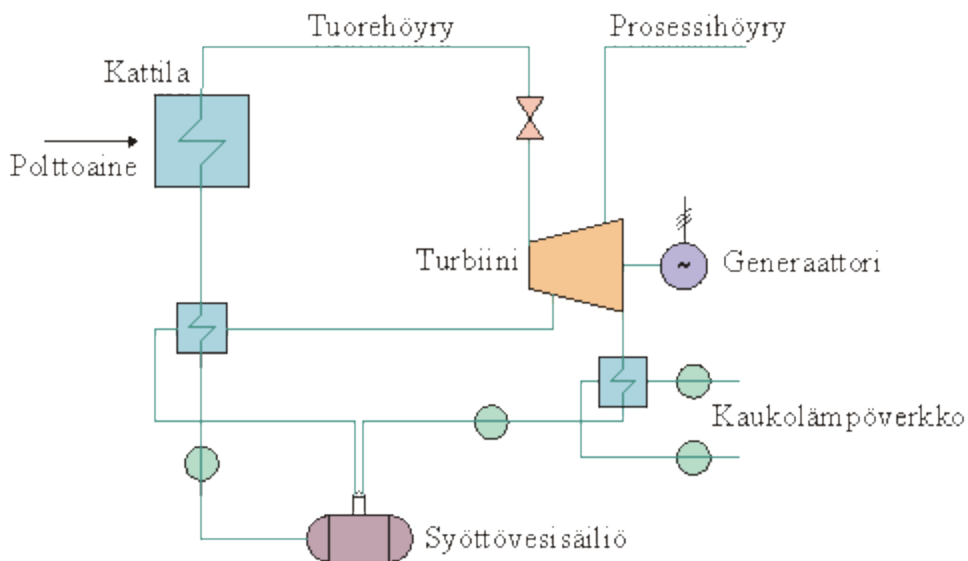
5.2 Kaukolämpövoima

Lauhdevoimalaitoksissa hyötysuhde jää aina melko alhaiseksi, koska lämpöenergiaa siirretään lauhduttimen kautta ympäristöön häviölämmöksi. Sen sijaan, että päästetään tätä lämpöenergiaa

ympäristöön, voidaan sitä käyttää mm. rakennusten lämmittämiseen. Tällöin puhutaan kaukolämpölaitoksesta. Kaukolämpölaitokset voidaan jakaa *väliottolaitoksiin* ja *vastapainelaitoksiin*. Väliottolaitoksessa kaukolämpöverkkoon syötettävä lämpöenergia otetaan turbiinin väliulosotosta. Muuten laitos toimii normaalina lauhdevoimalaitoksena. Kun lauhdevoimalaitoksen lauhdutin korvataan kokonaan kaukolämpöverkolla, puhutaan vastapainelaitoksesta. Kuvassa 5.2a on esitettyä väliottolaitoksen toimintaperiaate ja kuvassa 5.2b vastapainelaitoksen prosessikaavio. /3,4/



Kuva 5.2a Väliottolaitos. /3/



Kuva 5.2b. Vastapainelaitos. /5/

Kaukolämmityksen varaan rakennettua vastapainevoimalaitosta kutsutaan lämmitysvoimalaitokseksi. Sillä saadaan tuotettua sähköä, jonka määrä on riippuvainen tuotetun lämmön määrästä. Laitoksen koko määräytyy lämmöntarpeen mukaan. /4/

5.3 Prosessivoima

Teollisuus tuottaa prosesseihin tarvitsemansa lämpöenergian useimmiten tehdaslaitoksien yhteydessä. Tehtaiden lämmöntarve on usein kasvanut niin suureksi, että lämpöenergian tuotantoon on ollut kannattavaa liittää myös sähköenergian tuotantoa. Tätä kautta teollisuudesta on muodostunut merkittävä sähköenergian tuottaja Suomessa. Etenkin metsäteollisuudessa tarvitaan höyryä tuotantoprosessin ylläpitämiseen. Tuotettu höyry johdetaan ensin turbiineihin, jonka jälkeen se johdetaan prosesseihin. Tätä sähkön ja prosessihöyryn yhteistuotantoa kutsutaan prosessivoimaksi. Prosessivoima on pääasiassa vastapainevoimaa. /2,3/

Yli 50 % teollisuuden energiantuotantoon tarvittavista polttoaineista on prosessien yhteydessä syntyviä sivutuotteita, kuten prosessikaasuja ja muita jätemateriaaleja. Metsäteollisuuden prosesseissa polttoaineena käytetään mustalipeää, kuorintajätettä ja muuta puujätettä. Sivutuotteiden osuus käytetyistä polttoaineista on metsäteollisuudessa yli 65 %. /2/

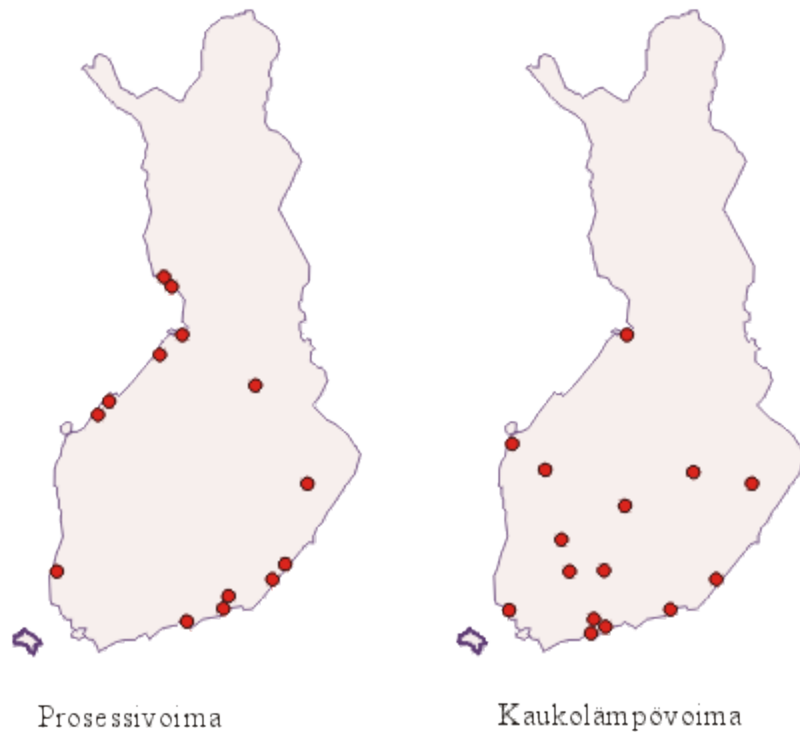
5.4 Hyötysuhteet ja rakennusaste

Vastapainelaitoksien kokonaishyötysuhde on korkea, noin 85 %, sillä lauhdutinhäviöt jäävät kokonaan pois. Sähköä saadaan kokonaistehosta 25-30 %. Suomessa on tällä hetkellä hyödynnetty käytännössä katsoen kaikki vastapainelaitokselle potentiaaliset tuotantoprosessit. /2,6/

Vastapainevoimalaitoksia kuvataan tyypillisesti ns. rakennusasteella, joka on sähkön ja lämmön tuottosuhte (sähköteho/lämpöteho). Kaukolämmitysvastapainevoimalaitoksilla eli lämmitysvoimalaitoksissa rakennusaste on tyypillisesti noin 0,5 ja teollisuuden prosessivoimalla luokkaa 0,3-0,4. /6/

Verrattaessa lauhdutusvoimalaitoksen ja vastapainevoimalaitoksen käyttöä keskenään, voidaan todeta, että vastapainevoima on korkeamman kokonaishyötysuhteen vuoksi taloudellisempaa. Sähkön ja lämmön yhteistuotannon taloudellisuuden edellytyksenä on riittävän suuri ja tasainen lämpökuorma. Vastapainevoima soveltuu erityisen hyvin Suomen olosuhteisiin, sillä sekä sähkön että lämmön suurin tarve ajoittuu talveen.

Vastapainevoimalaitoksissa käytetään tavallisesti polttoaineena hiiltä, kaasua, turvetta ja raskasta polttoöljyä tavallisen lauhdevoimalaitoksen tavoin. Kuvassa 5.3 on esitetty prosessivoiman ja kaukolämpövoiman tuotantopaikkoja Suomessa. Niistä voidaan havaita, että prosessivoima on keskittynyt pääosin rannikolle teollisuuden yhteyteen. Kaukolämpövoima on sen sijaan levittäytynyt myös sisämaahan, jolloin kaukolämmön jakaminen tasaisemmin laajemmalle alueelle on mahdollista. /2/



Kuva 5.3. Prosessivoiman ja kaukolämpövoiman tuotantopaikkoja. /2/

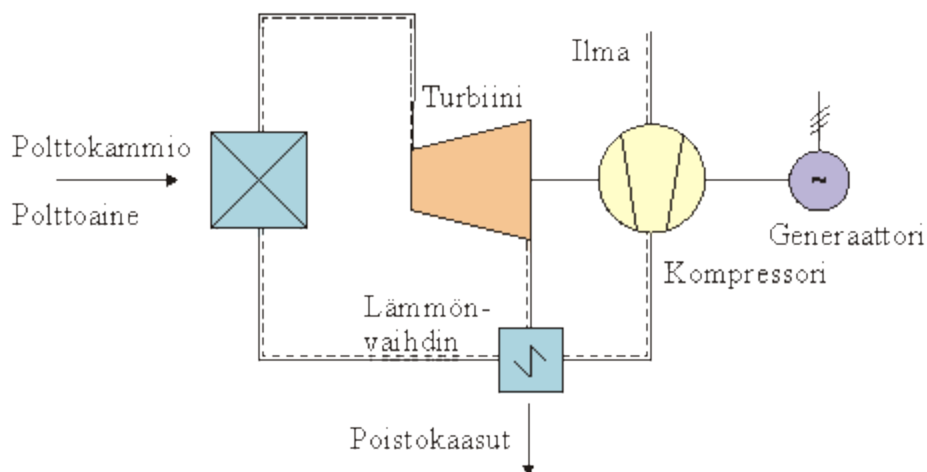
LÄHTEET

- /1/ Energia Uutiset 1/99, Adato Energia Oy 1999.
- /2/ VTT Energia, Energia Suomessa, Oy Edita Ab 1999, 368 s.
- /3/ Aura L. & Tonteri A.J., Sähkölaitostekniikka, WSOY 1993, 433 s.
- /4/ Ahonen V., Höyrytekniikka I, Otakustantamo 1978, 132 s.
- /5/ Elovaara J. & Laiho Y., Sähkölaitostekniikan perusteet, Otatiето 1988, 487 s.
- /6/ Korpinen L., Sähkövoimatekniikka, TTKK 1998, 176 s.

6 KAASUTURBIINIVOIMA JA MOOTTORIVOIMALAITOKSET

6.1 Kaasuturbiinivoima

Kaasuturbiinit on alunperin kehitetty lentokonekäyttöön 1930-luvulla, mutta 1950-luvulta alkaen niitä on alettu käyttää myös sähköntuotantoon. Yksinkertaisessa kaasuturbiiniprosessissa on kolme päävaihetta: palamisilman paineistus kompressorissa, polttoaineen ja palamisilman palaminen polttokammiossa sekä turbiiniosa, jossa palamiskaasut paisuvat lähelle ilmanpainetta. Turbiini antaa kompressorille puristukseen tarvittavan energian ja sillä saadaan tuotettua mekaanista energiaa, joka edelleen voidaan muuttaa sähköenergiaksi generaattorin avulla. Prosessi on esitetty kuvassa 6.1. /1/



Kuva 6.1 Kaasuturbiinilaitos. /2/

Koko prosessi noudattaa ns. Brayton-kiertoprosessia, jossa hyötysuhteen kannalta on tärkeää, että turbiiniin tulevilla palamiskaasuilla on korkea lämpötila. Kaasut ovat normaalisti 900-1400 asteisia. Tavoitteena on nostaa palamiskaasujen lämpötila tulevaisuudessa 1500 asteeseen käyttämällä keraamisia materiaaleja, jäädytystä ja erilaisia päällysteitä. /1/

Kaasuturbiinin polttoaineeksi sopivat parhaiten kaasumaiset ja nestemäiset polttoaineet, kuten maakaasu, öljy, biokaasu ja teollisuuden prosessikaasut, jotka ovat tarpeeksi puhtaita eivätkä likaa tai vaurioita turbiinia. Kiinteiden polttoaineiden käyttöä kaasuturbiineissa pölyksi jauhattuna on

myös kokeiltu, mutta niiden käyttö on vielä hyvin pientä. /1/

Kaasuturbiinien hyötysuhteet sähköntuotannossa ovat luokkaa 25-35 %. Lisäksi osakuormilla ajettaessa hyötysuhde laskee nopeasti. Alhainen hyötysuhde johtuu siitä, että pakokaasut poistuvat kuumina. Tämä voidaan todeta alla olevasta yhtälöstä, joka kuvaa prosessin hyötysuhdetta η_t .

$$\eta_t = 1 - T_2 / T_1,$$

jossa T_2 on turbiinista lähteneen kaasun lämpötila ja T_1 turbiinin menevän kaasun lämpötila.

Hyötysuhdetta voidaan kasvattaa yhdistämällä kaasu- ja höyryturbiiniprosessit kombikytkennällä. Kombivoimalaitoksen peruseräite on, että kaasuturbiinin kuumat pakokaasut johdetaan lämmönvaihtimeen, josta lämpöenergia siirtyy veteen höyrystäen tämän. Höyry johdetaan sitten suoraan lisähöyryksi turbiiniin. Tällä tavoin hyötysuhteeksi on saatu noin 55 %. /1/

Suomessakin on muutamia kombilaitoksia, mm. Lappeenrannan Mertaniemellä, Tampereen Lielahdessa, Helsingin Vuosaarella ja Kotkan Hovisaarella. /3/

Tulevaisuudessa on suunnitteilla isoja kombivoimalaitoksia mm. Tampereen Naistenlahteen. Lähivuosikymmeninä onkin syytä odottaa, että kaasuturbiinilaitokset ovat eniten rakennettu voimalaitostyyppi, sillä maakaasun käyttö on ympäristösyistä johtuen lisääntymässä. Suurimmat yksikkökoot sähkön tuotannossa ovat tällä hetkellä 250 MW ja pienimmät alle 1 MW. Kaasuturbiineita käytetään edelleen myös runsaasti huippuvoimalaitoksina. Kaasuturbiinilaitosta voidaan myös käyttää yhdistetyssä sähkön- ja lämmöntuotannossa. Tällaista laitosta kutsutaan CHP-laitokseksi. /1/

6.2 Moottorivoimalaitokset

Moottorivoimalaitoksien periaatteena on, että polttomoottorilla pyöritetään generaattoria, jonka avulla saadaan sähköä. Moottorivoimalaitosta voidaan käyttää myös yhdistettyyn sähkön ja lämmön tuotantoon. Erityisen hyvin ne soveltuvat huippu- ja varavoimalaitoksiksi, sillä ne pystytään käynnistämään tarvittaessa nopeasti. /1/

Moottorivoimalaitoksien etuja ovat lyhyt rakennusaika, korkea sähköhyötysuhde ja laaja polttoainevalikoima. Useimmat moottorivoimalaitokset toimivat edelleen dieselillä tai raskaalla polttoöljyllä, mutta maakaasu on yleistymässä. Muita mahdollisia polttoaineita ovat mm. biokaasu, prosessien hiilivetyperusteiset sivutuotteet sekä kasviöljyt ja pyrolyysiöljyt. Moottorivoimaloiden koko vaihtelee muutamasta kymmenestä kilowatista yli sataan megawattiin. /1/

Moottorivoimalaitoksesta on esimerkkinä käsitelty *dieselvoimalaitosta*. Dieselvoimalaitos on hyvin varavoimaksi soveltuva voimalaitostyyppi varsinkin pienemmille tehon tarpeille, sillä laitos pystytään käynnistämään muutamassa kymmenessä sekunnissa. Dieselvoimalan peruseräiteena on, että dieselmoottori pyörittää generaattorin akselia. Polttoaineena on kevyt tai raskas polttoöljy. Hyötysuhteeksi saadaan jopa 40 %. Hyötysuhdetta voidaan parantaa ottamalla moottorin kuumista pakokaasuista lämpöenergia talteen. Saatu lämpö johdetaan kaukolämpöverkkoon. /4/

LÄHTEET

- /1/ VTT Energia, Energia Suomessa, Oy Edita Ab 1999, 368 s.
- /2/ Elovaara J. & Laiho Y., Sähkölaitostekniikan perusteet, Otatieto 1988, 487 s.
- /3/ <http://www.energielehti.fi>
- /4/ Korpinen L., Sähkövoimatekniikka, TTKK 1998, 176 s.

7 UUSIUTUVAT ENERGIANLÄHTEET

7.1 Yleistä

Uudet uusiutuvat energialähteet ovat olleet tutkimuksen ja kehityksen kohteena öljykriisistä lähtien, mutta varsinaisesti energiatalouden kannalta ne ovat alkaneet muodostua kiinnostaviksi vasta viime vuosien aikana yhtäältä ympäristösyistä ja toisaalta teknistaloudellisista parannuksista johtuen. Tehty kehitystyö on ollut tuloksellista ja tätä kautta uusien energiatekniikoiden kustannukset ovat pudonneet huomattavasti. Kustannuserot perinteisiin energiantuotantomuotoihin ovat kaventuneet ja näin ollen niiden kilpailukyky on oleellisesti parantunut. Yleisesti ottaen uudet ratkaisut ovat energiahuollon kannalta, ainakin vielä, perinteisiä ratkaisuja kalliimpia ja niiden markkinaosuus on energiantuotannossa varsin pieni. Uudet energialähteet ovat kuitenkin vasta lähestymässä energiatalouden markkinoita ja ovat täten vielä kehityksensä alkutaipaleella. /1/

7.2 Suomen tilanne

Suomessa uusia energiantuotannon muotoja on tutkittu virallisesti kahden NEMO-ohjelman avulla. Näiden ohjelmien jälkeen Kauppa- ja teollisuusministeriö on käynnistänyt uuden uusiutuvien energialähteiden edistämishojelman.

7.2.1 NEMO- ja NEMO 2-ohjelmat

Uusien uusiutuvien energialähteiden julkinen tutkimustoiminta käynnistyi Suomessa varsinaisesti vasta vuonna 1988 kauppa ja teollisuusministeriön (KTM) NEMO-ohjelman myötä. Tätä ennen Suomessa oli ainoastaan muutamia alan tutkijoita, yksittäisiä projekteja ja vähäistä yritystoimintaa. NEMO-tutkimusohjelman tavoitteena oli selvittää uusien energiatekniikoiden mahdollisuudet Suomen tulevassa energiahuollossa, kehittää korkeateknologisia tuoteideoita ja pyrkiä lisäämään asiaan liittyvää perustietämystä. Ohjelmassa oli mukana seuraavat teknologiat: uudet energialähteet (tuulivoima, aurinkoenergia), energian varastointi ja siirto sekä vetyteknologia [/2,3/](#)

Uusien energiamuotojen ja -teknologioiden tutkimusohjelma NEMO 2 käynnistyi vuonna 1993 NEMO-ohjelman päättyessä. NEMO 2-ohjelma perustuu edeltävän NEMO-ohjelman päätuloksiin. NEMO 2-ohjelmalle tehtiin runkosuunnitelma vuosille 1993-1998, jossa tavoitteiksi asetettiin suomalaisen alan teknologian kehittämisen tukeminen, alan teknologiaviennin edistäminen sekä tuuli- ja aurinkoenergian käytön lisääminen Suomessa. Ohjelmassa tutkimustoiminnan painoalueeksi asetettiin aurinko- ja tuulienergia ja sitä täydennettiin näitä alueita tukevilla ja täydentävillä energian varastoinnin ja muun pienimuotoisen sähköntuotannon teknologioilla. NEMO 2-ohjelman tutkimusalueet ovat Euroopan unionin energia- ja energiatutkimuspolitiikan keskipisteessä. [/2/](#)

NEMO 2-ohjelman merkittävämpänä energiataloudellisena tuloksena on tuulivoiman tuominen Suomeen. Tuulivoimatekniikan osalta tärkein tulos on lapalämmitysjärjestelmän kehittäminen. Järjestelmä estää tuulivoimalan lapojen jäätymistä. [/2/](#)

Aurinkoenergian osalta kehitettiin rakennuksiin integroitavia aurinkosähköpaneeleita sekä laskentamenetelmiä aurinkoenergian käytön optimoimiseksi rakennuksissa. [/2/](#)

Vetyteknologian osalta rakennettiin 1 kW:n aurinkovetyjärjestelmä sekä kehitettiin simulointiohjelma H2PHOTO, jolla voidaan suunnitella ja optimoida aurinkovetyjärjestelmiä. [/2/](#)

7.2.2 Uusiutuvien energialähteiden edistämishojelma

NEMO-ohjelmien päätyttyä Kauppa- ja teollisuusministeriö asetti vuoden 1998 lopulla työryhmän, jonka tehtävänä on antaa näkemys edistämishojelmaan sisällytettävistä asioista. Työryhmän lausunnon antamisen takarajana on 31.10.1999. Edistämishojelma kattaa kaikki Suomen olosuhteissa kyseseen tulevat energialähteet, joista merkittävimmät ovat tuulivoima, vesivoima, aurinkoenergia, bioenergia ja lämpöpumput. [/4/](#)

7.3 Maailmanlaajuinen tilanne

Uudet energiatekniikat ovat maailmanlaajuista tekniikkaa, joten sen tutkimusalueet ovat hyvin kansainväliset. Se on yksi nopeiten kasvavia energiateknologian alueita maailmassa. Sen energiavaikutus on vielä pieni, mutta tulevaisuuden mahdollisuudet ovat suuret. Esimerkiksi Shell Internationalin skenaarioissa ennustetaan, että aurinko- ja tuulienergia saavuttavat vuonna 2020 hinnallisen ylliotteen, joka johtaisi vuoteen 2050 mennessä noin 30 prosentin markkinaosuuteen.

Uuden energiatekniikan maailmanmarkkinat kasvavat yli 20 prosentin vuosivauhtia. /2/

LÄHTEET

/1/ Lund P., Uusien energiantuotantomuotojen asema energiataloudessa -tilannekatsaus, Kauppa- ja teollisuusministeriön tutkimuksia ja raportteja 14/1997, Energiaosasto, Oy Edita Ab 1997, 74 s.

/2/ Tekes, Energiateknologian tutkimusohjelmat 1993-1998, teknologiaohjelmaraportti 8/98, 1998, 197 s.

/3/ Ekono Oy, Uudet Energiajärjestelmät, Tutkimusohjelma-NEMO, Pienimuotoinen sähköntuotanto, Taustamuistio I - Teknillinen tausta, 1990, 89 s. ja 40 liitesivua.

/4/ <http://www.vn.fi>

8 TUULIVOIMA

8.1 Tuulivoima energianlähteenä

Aurinko lämmittää maan pintaa ja samalla ilmaa. Lämmennyt ilma kohoaa ylöspäin, aiheuttaen

alempana matalapaineen, joka pyrkii täyttymään kylmällä ilmalla. Tästä ilmassojen liikkeestä syntyy tuuli.

Tuulivoima on monessa mielessä oiva energialähde. Se tuottaa puhdasta, uusiutuvaa ja kotimaista energiaa. Tuulivoiman heikkoutena ollaan pidetty tekniikan riittämättömästä kehityksestä johtuvaa alhaista sähkötehoa ja saatavan energian kalleutta. Edelleen ilmastolliset olosuhteet ovat rajoittaneet tuulivoiman laajempaa käyttöönottoa. /1/

Öljykriisi käynnisti monissa maissa tuulienergian tutkimusohjelmia, joissa etenkin Tanska on ollut merkittävänä edelläkävijämaana. Viimeisten 15 vuoden aikana tuulivoimateknologian voimakas kehittyminen onkin johtanut siihen, että investointi- ja tuotantokustannuksien vähentyessä niiden kilpailukyky on parantunut merkittävästi. Tuulivoiman hyödyntäminen energiahuollossa on edennyt yksittäisten tuulivoimaloiden rakentamisesta suurempiin tuulipuistoihin, joissa saattaa olla jopa satoja tuulivoimaloita. Näin ollaan saatu yksikkökoot suuriksi, joka on osaltaan parantanut tuulivoiman kilpailukykyä. /2/

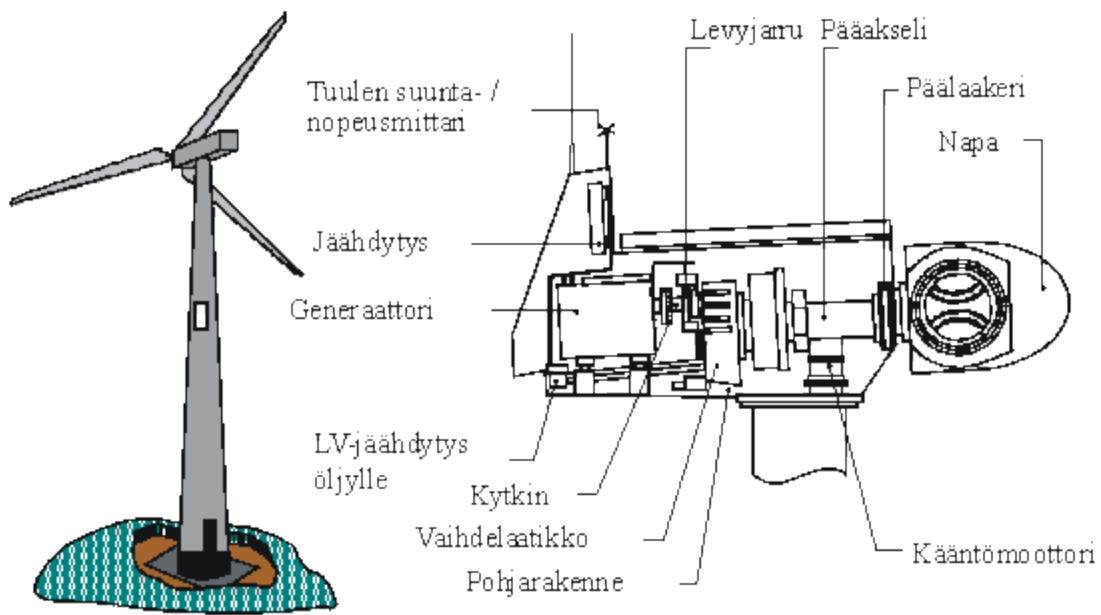
8.2 Tuulivoimalaitokset

Tuulivoimalaitoksen toimintaideana on, että tuulen liike-energia muutetaan pyörimisliikkeeksi ja edelleen generaattorin avulla sähköksi, jota syötetään sähköverkkoon.

Tuulivoimalatyyppinä on periaatteessa useita. Eniten käytettyjä malleja ovat kolmilapaiset vaakakseliset (potkurimalliset) laitokset. Lisäksi on olemassa mm. kuppuroottori, Savonius-roottori, Windside-roottori ja vispilämäisellä Darrieus-roottorilla varustettu pystyakselinen laitos. Näistä ainoastaan potkurimallisilla voimaloilla on nykyään käytännön merkitystä laajemmassa sähköntuotannossa.

8.2.1 Potkurimallinen laitos

Potkurimalliset laitokset (kuva 8.1) ovat syrjäyttäneet muut laitostyyppit ja ovatkin selvästi yleisimpiä laitosmalleja tuulienergiantuotannossa. Laitoksissa vaihteisto ja generaattori sijaitsevat ylhäällä, joka vaikeuttaa huoltotöitä, mutta toisaalta potkuri sijaitsee korkealla, useamman kymmenen metrin korkeudessa, jossa tuulennopeudet ovat suurempia kuin maanpinnalla. Potkurin merkittävin etu on, että se peittää pyöriessään omaan pinta-alaansa nähden huomattavan suuren alan, ja kykenee tuottamaan omaan painoonsa nähden huomattavan paljon tehoa. Tässä laitosmallissa tarvitaan kääntöjärjestelmä, joka huolehtii, että roottori on jatkuvasti suunnattuna tuulta vasten. Roottorin pyörimisnopeutta saadaan säädettyä aktiivisesti lapakulmia säätämällä tai kiinteälapakulmaisessa laitoksessa passiivisesti sakkaussäädöllä. Kolmilapaiset laitokset ovat syrjäyttäneet yksi- ja kaksilapaiset laitokset tasapainoisemman pyörimisensä vuoksi. Teoriassa potkurimallisella laitoksella päästään lähimmäksi ihanteellista hyötysuhdetta. /3,4/



Kuva 8.1. Potkurimallinen tuulivoimalaitos. /5,6/

Tuulivoimalaitos tarvitsee käynnistyäkseen noin 3-5 m/s tuulennopeuden, jonka jälkeen tehontuotto kasvaa nopeasti. Alueella 15-25 m/s tehoa rajoitetaan ja tuulen ollessa yli 25 m/s, laitos pysähtyy automaattisesti laiterikkojen ja ylikuormitusten estämiseksi. /7/

Nykyään eniten myydyt tuulivoimalaitokset ovat nimellisteholtaan 500-750 kW, mutta suurempien, 1000-1650 kW:n laitosten markkinaosuus on vahvassa kasvussa. Taulukossa 8.1 on esitetty tuulivoimalaitoksen koon kasvaminen nimellistehon kasvaessa. /7/

Taulukko 8.1 Tuulivoimalaitosten tyypillisiä mittoja. /7/

Nimellisteho	Tornin korkeus	Roottorin halkaisija	Kokonaispaino
500-750 kW	35-50 m	37-48 m	50-70 tonnia
1000 kW	50-70 m	50-55 m	100-140 tonnia
1500-1650 kW	60-80 m	57-67 m	150-220 tonnia

Tuulivoimalaitokset ovat teknisesti luotettavia. Lisäksi laitokset ovat automatisoituja ja kauko-ohjattuja, joten niiden käyttö ei vaadi miehitystä. Laitoksen käyttöikä on noin 20-25 vuotta. /7/

8.2.2 Savonius- ja kuppiroottori

Savonius-roottori on suomalaiskehittöinen pysty akselinen tuuliroottori, joka kehitettiin 1930-luvulla. Sen parhaita puolia on riippumattomuus tuulen suunnasta sekä kohtuullisen hyvä hyötysuhde. Ongelmana on nykivä käynti ja roottorin asennosta riippuvainen käynnistysmomentti. Tätä voidaan pienentää asentamalla kaksi roottoria 90° kulmaan päällekkäin. Savonius-roottorissa on voimakkaita poikittaisvoimia, jotka rasittavat tukirakenteita ja laakereita, joten suurten laitosten kohdalla siitä muodostuu ongelmia. Savonius-roottori on esitetty kuvassa 8.2. /3/

Kuppiroottori (kuva 8.2) muodostuu pyörivällä kehällä olevista kupeista. Tämä soveltuu kuitenkin erittäin huonosti sähkögeneraattorin pyörittämiseen pienen tehonsa ja pyörimisnopeutensa vuoksi. /3/

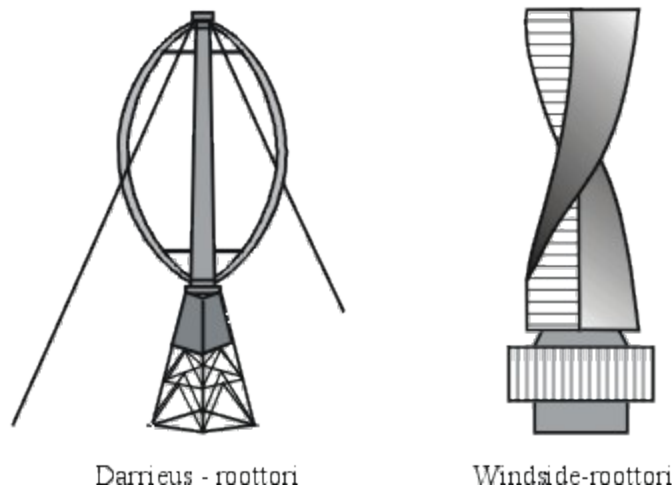


Kuva 8.2. Erilaisia roottoreita. /3/

8.2.3 Darrieus ja Windside roottorit

Pystyaksellisessa Darrieus-roottorissa (kuva 8.3) generaraattori ja vaihteisto sijaitsevat alhaalla maanpinnan tasolla, jolloin huoltotyöt helpottuvat. Lisäksi laitos on riippumaton tuulen suunnasta, jolloin erillistä kääntöjärjestelmää ei tarvita. Darrieus-roottorin käyntiinlähtökyky on huono ja se tarvitseekin alkunopeuden saavuttamiseksi jonkin apulaitteen, esimerkiksi sähkömoottorin. Tätä mallia ei enää juurikaan käytetä kaupallisissa sovellutuksissa, sillä roottorin suurimpana ongelmana on ollut mekaaninen kestävyys. Roottorin pyöriminen aiheuttaa rakenteeseen erittäin suuria väsytysoimia. /3,4/

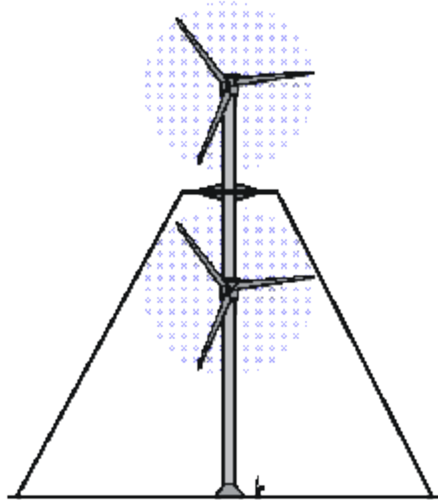
Kierreruuvinen Windside-roottori on Savonius-roottorin kehittelmä. Roottori on suomalaisen Windside Oy:n patentoima. Savoniukseen verrattuna tässä roottorissa ei ole käynnistysmomenttiin ja epätasaiseen käyntiin liittyviä ongelmia. Roottori on kaupallisessa valmistuksessa ja sitä on myyty jo 16 eri maahan. Turbiineja voidaan käyttää mm. vedennostossa, talojen valaistuksessa, ilmastoinnissa, veneissä, mittausjärjestelmissä sekä signaalilaitteistossa. Roottori on esitetty kuvassa 8.3. /3,8/



Kuva 8.3. Erilaisia roottoreita. /9, 8/

8.2.4 Megatuulivoimala

Megatuulivoimalat (kuva 8.4) edustavat tuulivoimalaitoskehityksen uutta, tulevaa sukupolvea. Siinä perusideana on, että tuulivoimalan torniin on sijoitettu kaksi roottoria, joilla saadaan hyödynnettyä tuulta tehokkaammin perinteisiin, yksiroottorisiin malleihin verrattuna. Mikäli megatuulivoimalat toteutuvat tulevaisuudessa, oletetaan, että tuulivoimaa pystytään niiden avulla tuottamaan huomattavasti enemmän kuin nykyisillä tuulivoimaloilla. Megatuulivoimaloiden laitostehoksi ollaan kaavailtu noin 3,5 MW, joka tarkoittaisi nykyisten laitostehojen kolminkertaistamista. Voimalan prototyypin korkeudeksi ollaan ajateltu noin 120 metriä. /10/



Kuva 8.4. Megatuulivoimala

8.3 Tuulivoimatekniikan perusteita

Vaaka-akseliselle (potkurimalliselle) tuulivoimalalle saadaan vapaasti virtaavan tuulen antama teho P_a tuulivoimalan roottorille yhtälöstä:

$$P_a = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 v^3 c_p,$$

missä ρ on ilman tiheys (kg/m^3), R roottorin ulkosäde (m), v tuulen nopeus (m/s) ja c_p roottorin tehokerroin.

Vuonna 1926 Betz [/11/](#) esitti teorian, jonka mukaan tuulivoimalan ideaalinen roottori pystyy hyödyntämään tästä tehosta maksimissaan $16/27$ ($\sim 0,593$), mutta käytännössä tuulen turbulentsisuudesta ja epähomogeenisuudesta johtuen tehokertoimen c_p arvoksi on saatu $0,47$. [/12/](#)

Kärkinopeussuhteella λ (laaduton suure) tarkoitetaan roottorin lavan kärjen kehänopeuden v_t ja tuulen nopeuden v suhdetta:

$$\lambda = v_t / v.$$

Koska $v_t = \omega_t R$, jossa ω_t on roottorin kulmanopeus ja R roottorin lavan säde, saadaan edelliseen yhtälöön sijoittamalla:

$$\lambda = \omega_t R / v.$$

Jos pyörimisnopeus on ilmoitettu muodossa r/min, saadaan siitä kulmanopeus seuraavasti:

$$\omega_t = 2\pi n / 60 (\text{rad/s}).$$

Sijoittamalla tämä edelliseen, saadaan:

$$\lambda = \pi n R / 30 v.$$

Momenttikerroin c_t määritellään tehokertoimen c_p ja kärkinopeussuhteen λ suhteena:

$$c_t = c_p / \lambda.$$

Momenttikerroin kuvaa roottorin kykyä muuttaa tuulen kineettistä energiaa mekaaniseksi

vääntömomentiksi T_a .

Vääntömomentin T_a ja tehon P_a sitoo toisiinsa suureyhtälö:

$$P_a = T_a / \omega_t.$$

Käyttämällä edellä esitettyä kaavaa P_a ja ratkaisemalla tästä T_a , saadaan:

$$T_a = \frac{1}{2} \rho \pi R^3 v^2 c_t.$$

Potkurihyötysuhde $\eta_p = c_p / 0,593$ kuvaa tuulipotkurin kykyä hyödyntää saatavaa tuulienergiaa. / [11,12/](#)

8.4 Tuulivoimageneraattorit

Tuulivoimalaitoksen roottorien pyörimisnopeus on luokkaa 20-40 r/min. Tämän vuoksi tarvitaan vaihteisto, joka muuttaa pyörimisnopeuden generaattorille sopivaksi. Yleisesti käytetään nelinapaista generaattoria, jolle pyörimisnopeus on 1500 r/min. Vaihteisto aiheuttaa häviöitä, huonontaa luotettavuutta sekä lisää huoltotarvetta ja painoa. Tämän vuoksi on lisäksi kehitelty vaihteeton tuulivoimageneraattori sekä hydraulinen voimansiirto roottorilta generaattorille.

Hydraulista voimansiirtoa käyttämällä päästään näistä komponenteista eroon. Ideana on, että roottori pyörittää hydraulipumppua, joka on sijoitettu laitoksen tornin nokkaan. Teho siirtyy alas paineisena nestevirtana. Roottorin muuttuva pyörimisnopeus näkyy nesteen virtausmäärän vaihteluina. Nyt hydraulimoottori pyörittää alhaalla olevaa generaattoria vakionopeudella. Nestevirtauksen vaihtelut näkyvät hydraulimoottorin tehossa. Hydraulisella säädöllä saadaan systeemi toimimaan halutulla tavalla. Yksi etu on se, että huoltotoiminpiteet voidaan nyt suorittaa maanpinnalla. Hydraulisten laitteiden hyötysuhteet ovat mekaanisia laitteita hiukan alemmat, mutta kuitenkin uskotaan, että hydraulisen voimansiirtoratkaisun muut edut voittavat hyötysuhde-eron. / [13/](#)

Ilman vaihteistoa toimivassa suoravetoisessa rakenteessa generaattorin napalukua pitäisi päästä kasvattamaan hyvin suureksi, joka tavanomaisissa generaattoreissa on vaikeaa. Ratkaisuna on aksiaalisesti kestopagneoitu säteittäisrakennettu tahtigeneraattori. Kestomagneetti on tehty neodyymi-rauta-boorista, jonka magneettiset ominaisuudet ovat selvästi aikaisempia materiaaleja paremmat. Tällainen generaattori mahdollistaa suuren napaluvun kasvattamisen helposti. Napaluku onkin luokkaa 50. /[14/](#)

Generaattoritoimittajista ABB:llä on 25 % osuus maailmanmarkkinoista ja onkin maailman johtava yritys alallaan. /[7/](#)

8.5 Tuulivoiman potentiaali Suomessa

Suomi on metsäinen maa, jossa laajoja, tasaisia ja avoimia laidun- ja peltomaita on harvassa. Taloudellisesti kannattavaa tuulivoiman tuottaminen onkin siten rannikolla meren rantaviivan välittömässä läheisyydessä ja sisämaassa korkealle kohoavien tunturien ja vaarojen huipuilla (lapin tunturit).

Yleisesti ottaen parhaimmat tuuliolosuhteet Suomessa ovat Ahvenenmaalla ja Varsinais-Suomen saaristossa ja heikkenevät vähitellen itää ja pohjoista kohti. Kokkolan ja Oulun välisellä avoimella rannikolla on hieman paremmat tuuliolosuhteet kuin Merenkurkussa tai Perämeren pohjukassa. Sisä-Suomessa ratkaiseva tekijä on kohteen korkeus ympäröivästä maastosta. Taulukossa 8.2

esitellään Suomen tuuliolosuhteita ja tuotantopotentiaaleja eri puolilla maata.

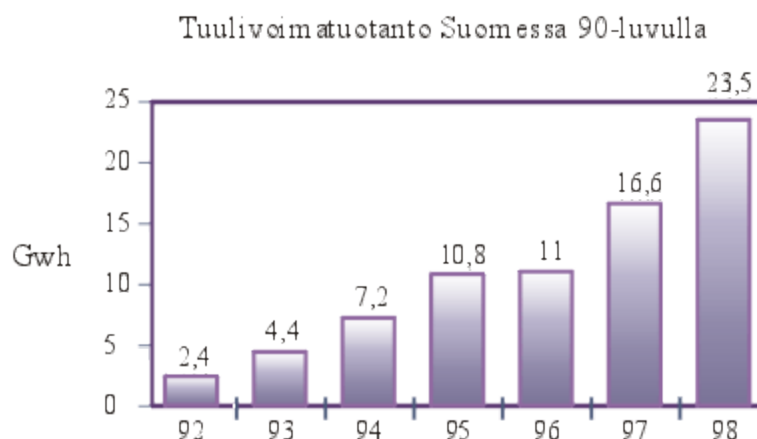
Taulukko 8.2 Suomen tuuliolosuhteita eri puolilla maata ja tuulienergian tuotantopotentiaaleja. /7/

Alue	Tuulen keskinopeus m/s	Tuulienergia-potentiaali TWh/a
Lapin tunturit	7-9,5	13-15
Saaristo	6-7,5	10
Rannikko	6-6,5	4
Merialueet	7,5-8	3
Sisämaa	4,5-5,5	ei ole laskettu

Teoreettista potentiaalia siis olisi ainakin lapin tuntureilla. Tätä potentiaalia vähentävät kuitenkin monet tekijät. Sähkö- ja tieverkon ollessa harva monet alueet ovat liian kaukana ollakseen taloudellisesti toteutuskelpoisia. Lisäksi monet tunturialueet kuuluvat kansallispuistoihin ja luonnonsuojelu- tai erämaa-alueisiin, jotka asettavat omat esteensä. Edelleen tekniset seikat pienentävät teoreettista potentiaalia. Tunturialueiden käytännön tuulivoimapotentiaaliksi onkin laskettu 10-15 vuoden aikavälillä 250 MW, mikä vastaa noin 0,5-0,6 TWh vuosituotantoa. /7/

8.6 Tuulivoima Suomessa

Vuonna 1998 Suomessa tuotettiin sähköä tuulivoimalla 23.5 Gwh. Tämä on koko sähkönhankinnasta noin 0,3 promillea. Kuvassa 8.5 esitetään tuulivoimatuotannon kehitystä Suomessa 1990 luvulla. /15/



Kuva 8.5 Tuulivoimatuotannon kehitys Suomessa 1990 luvulla. /15/

Asennettu tuulivoimakapasiteetti Suomessa heinäkuussa 1999 oli 26 MW. Maassa oli vuoden 1998 lopulla kolmisenkymmentä tuulivoimalaa, jotka oltiin kytketty valtakunnan sähköverkkoon. Tuulipuistoja on lisäksi suunnitteilla mm. Kotkaan (2-4 yksikköä), Ahvenanmaalle (7 yksikköä) ja Pohjanmaalle. /15,16/

8.6.1 Kuivaniemen tuulivoimalaitos

Suomeen Kuivaniemelle pystytettiin vuonna 1998 kolme 750 kW:n tuulivoimalaa. Laitokset rakennutti Vapo Oy tyydyttääkseen omat tuotantokohteensa sähköenergiatarpeet. Tästä kolmen tuulivoimayksikön tuulipuistosta saadaan sähköenergiaa noin 4,0-4,5 GWh vuodessa, riippuen tuuliolosuhteista. Yhden yksikön korkeus on 50 metriä ja roottorin halkaisija 44 metriä. Voimalat ovat tanskalaisvalmisteisia, niiden roottori on ylätuulussa ja sen jälkeen on konehuone. Roottorin voima viedään konehuoneessa olevan akselin kautta vaihteistolle, jossa roottorin kierrosluku muutetaan generaattorille sopivaksi kierrosluvuksi 1500 r/min. /14/

Generaattorit ovat tuplakäämittyjä ja 2-nopeuksisia, hiljaista ja nopeaa tuulta varten. Tällä päästään parempaan kokonaishyötysuhteeseen kuin yksinopeuksisella vaihtoehdolla. Laitoksen käytännön hyötysuhde on hieman yli 40 %. Generaattorit ovat nestejäähdytteisiä ja niiden jännite on 690 voltia, joka muutetaan verkkon siirrettäväksi 20 kV:iin. /14/

8.6.2 Esimerkki: Tuulivoimalla 10 % Suomen sähköntarpeesta

Suomen nykyisestä sähköntuotannosta 10 %, eli noin runsas 7 TWh, voitaisiin tuottaa rakentamalla 3500 MW tuulivoimakapasiteettia. 1 MW laitoksia tarvittaisiin siis 3500 kpl. Yhdelle neliökilometrille voitaisiin rakentaa noin 15 MW tuulivoimaa, joten runsaan 7 TWh vuosituotantoon tarvittavien laitosten viemä maa- ja merialueiden tila olisi alle 0,07 % Suomen pinta-alasta. On muistettava, että itse laitokset, perustukset, tiet ja muuntamot vievät tästä alasta 1-2 % ja loppuosa on edelleen käytettävissä muihin tarkoituksiin. /7/

8.7 Tuulienergia Euroopassa ja muualla maailmassa

Tuulienergiakapasiteettia oli Euroopassa vuoden 1998 lokakuun lopulla 5400 MW, josta Suomen osuus oli 17 MW. Eniten kapasiteettia oli Saksassa, 2390 MW ja Tanskassa, 1259 MW. /7/

Euroopan tuulivoimayhdistys EWEA asetti 1990-luvun alussa tavoitteet Euroopan tuulivoimakapasiteetille tulevaisuudessa. Koska kasvuvauhti oli ennakoitua suurempaa, oli EWEA:n tarkistettava tavoitteitaan. Vuonna 1997 esitettiin uudet tavoitteet, jotka on esitetty taulukossa 8.3.

Taulukko 8.3 EWEA:n tavoitteet tuulivoimakapasiteetin kasvattamiselle Euroopassa. /7/

Vuosi	Asennettu kapasiteetti
2000	8 000 MW
2010	40 000 MW
2020	100 000 MW

Euroopan maista Saksa, Tanska, Espanja ja Iso-Britannia ovat maailman johtavia tuulivoimamaita. Eurooppalaiset ovat myös markkinajohtajia laitosvalmistajina; niiden osuus markkinoista oli vuonna 1997 noin 80 %. Vuosisadan vaihteen tienoilla asennettava kapasiteetti kasvaa noin 1400 MW vuodessa, jonka jälkeen rakennusvauhdin oletetaan kasvavan edelleen. /7/

Vuoden 1999 huhtikuussa maailman tuulivoimakapasiteetti ylitti 10 000 MW:n rajan. Vuoden 1998 aikana kaikki maailman tuulivoimalat tuottivat sähköä 20 TWh. Suurimmat tuulivoiman käyttäjämaat ovat Saksa, Yhdysvallat, Tanska, Intia ja Espanja. /7/

8.8 Tuulivoimatekniikan kehitystrendejä

Maailmanlaajuisesti ajatellen suurimmat odotukset energiantalouden kannalta kohdistuvat selvästi tuulivoimaan, joka niin teknologiansa kuin taloutensa kautta on muuttunut energiamarkkinoita kiinnostavaksi uudeksi teknologiaksi. Lisäksi julkinen tuki on auttanut merkittävästi markkinoiden kasvua. Myös suurempien kansainvälisten rahoituslaitosten kiinnostus tuulivoimaan heijastaa siihen liittyvien mahdollisten taloudellisten riskien väistymistä. /2/

Teollisuus on siirtymässä suurempiin 750-1500 kW laitostyyppeihin, mikä vastaa energiayhtiöiden tarpeita. Valmistusteknologisten parannusten vaikutus tuulivoiman hintaan arvellaan lähivuosina olevan noin 15-20 %. Vaikka tuulivoima alkaa olla lähellä kilpailukykyistä tuotantohintaa, tarvitaan vielä määrätty julkinen tuki (avustus, verohelpotus, hyvityshinta, yms.), joka kompensoi eron perussähkön hintaan. Esim. Tanskassa arvioidaan tuulivoiman hinnan putoavan luonnollisen kehityksen kautta tasolle 17-18 p/kWh vuoteen 2020 mennessä ja jopa alle 15 p/kWh, mikäli teknologian kehittämiseen panostetaan vielä. /2/

8.9 Tuulienergian markkinat, kustannukset ja taloudellisuus

8.9.1 Markkinat

Tuulienergian, kuten muidenkin uusien energiantuotantomuotojen, luonnollisina markkinarakoina voidaan ajatella olevan syrjäseutujen ja erämaa-alueiden energianhuolto, pientalojen tai loppukäyttäjien energiajärjestelmät, kalliin energian tai tehohuippujen korvaaminen sekä soveltaminen vanhan tekniikan yhteydessä. /2/

Tuulivoima on luontaisen tehonvaihtelunsa vuoksi lähinnä täydentävää energiantuotantoa, eikä sitä siksi voi, ainakaan vielä, pitää perusenergiantuottajana. Uusista energiantuotantomuodoista tuulivoima on kuitenkin selvästi lähimpänä energiahuollon laajempia sovelluksia, vaikkakin sen osuus sähköhuollossa onkin vielä marginaalinen. Esimerkiksi OECD-maiden sähköenergian tuotannossa tuulivoimaa on noin 0,1 %. /2/

Yhdeksänkymmentäluvun aikana tuulivoimakapasiteetti on kolminkertaistunut ja kasvutrendi on hyvin voimakas. 1980-luvulla tuulivoiman ehdoton ykkösmaa oli USA, mutta 90-luvulla tilanne on muuttunut täysin. Eurooppa on nyt selvästi tuulivoiman vahvinta kasvualuetta ja esimerkiksi Saksassa on enemmän tuulivoimaa kuin Kaliforniassa. Aasian markkinat ovat myös heräämässä. /2/

8.9.2 Kustannukset

Investointikustannukset ovat viime vuosina laskeneet voimakkaasti suurempien laitostyyppien tultua markkinoille. Tuulivoimalaitoksen kokonaisinvestointikustannukset ovat 5000-6000 mk/kW riippuen mm. laitostyyppistä ja rakennettavan tuulipuiston koosta. Tällöin esimerkiksi 1 MW laitoksen kohdalla puhutaan 5-6,5 miljoonan markan kustannuksista. /7/

Tuulivoimassa käyttö- ja ylläpitokustannukset ovat vain murto-osa investointikustannuksista. Tyypillisesti ne ovat vuosittain luokkaa 100-150 mk/kW, eli noin 1,5-2,5 % kokonaisinvestoinneista. 1 MW laitoksen käyttökustannuksiksi tulisi näin ollen 100 000-150 000 mk/a. /7/

Edellä esitetyt luvut ovat keskimääräisiä vuosikustannuksia. Käytännössä kulut voivat vaihdella

huomattavasti vuodesta toiseen, sillä suurempi laiterikko saattaa aiheuttaa satojen tuhansien markkojen kertakustannuksen. /7/

Sähkön tuotantokustannuksiksi ilman tukea tulee edullisissa tuuliolosuhteissa noin 24-27 p/kWh ja tuella n. 16-19 p/kWh. Kehityksestä kertoo se, että 1980-luvun lopun tuotantokustannusten arvioitiin olevan 50-80 p/kWh. /7/

8.10 Tuulivoima ja ympäristö

Tuulivoima on kaikin puolin varsin ympäristöystävällinen energiantuotantomuoto. Sillä ei ole haitallisten aineiden päästöjä, se ei vaikuta ilmastoon ja vanhat laitokset voidaan poistaa niiden jättämättä jälkiä maastoon. Sen sijaan tuulivoimaloiden eri komponenttien valmistuksessa tulee haitallisten aineiden päästöjä, jotka ovat samanlaisia kuin vastaavan metalliteollisuuden. Materiaaleista tarvitaan eniten betonia ja terästä. Toisaalta suurten tuulivoimaloiden on todettu aiheuttavan huomattavaa melua ja ne saattavat häiritä lähietäisyyksillä radio- ja televisioyhteyksiä, mikä voidaan kuitenkin estää laitoksien sopivalla sijoittamisella viestintäjärjestelmiin nähden. /1/

Merkittävää haittaa kuitenkin aiheutuu maankäytöstä. 1 MW laitos tarvitsee noin 0,1 km² pinta-alan, mikä on huomattavan paljon verrattuna muiden voimalaitostyyppien maapinta-alatarpeisiin. Tuulelle suotuisat paikat ovat usein rannikolla, missä esim. turismi ja vapaa-ajan vietto saattavat kilpailla tilasta. Merelle sijoitettavat laitokset taas vaikuttavat merenkulkuun ja kalastukseen. Lentoliikenteelle voimalaitokset eivät sen sijaan aiheuta kovinkaan suurta haittaa. /1/

LÄHTEET

/1/ Ekono Oy, Uudet Energiajärjestelmät, Tutkimusohjelma-NEMO, Pienimuotoinen sähköntuotanto, Taustamuistio I - Teknillinen tausta, 1990, 89 s. ja 40 liitesivua.

/2/ Lund P., Uusien energiantuotantomuotojen asema energiataloudessa -tilannekatsaus, Kauppa- ja teollisuusministeriön tutkimuksia ja raportteja 14/1997, Energiaosasto, Oy Edita Ab 1997, 74 s.

/3/ Tuulensilmä 3/1994, Suomen tuulivoimayhdistys ry 1994.

/4/ <http://solis.wwnet.fi>

/5/ Aura L. & Tonteri A.J., Sähkölaitostekniikka, WSOY 1993, 433 s.

/6/ VTT Energia, Energia Suomessa, Oy Edita Ab 1999, 368 s.

- /7/ <http://www.tuulivoimayhdistys.fi>
- /8/ <http://www.windside.com>
- /9/ Spera, D.A., Wind Turbine Technology, Asme Press 1994, 638 s.
- /10/ <http://www.indikaattori.fi>
- /11/ Tuulensilmä 3/1996, Suomen tuulivoimayhdistys ry 1996.
- /12/ Vihriälä H., 1998. Control of Variable Speed Wind Turbine. Lisensiaattityö. Tampere, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Sähkötekniikan osasto. 66 s. ja 8 liitesivua.
- /13/ Tekes, Uusien energiamuotojen ja -tekniikoiden tutkimus Suomessa, NEMO 2 -vuosikirja 1994-1995, NEMO-raportti 27, 1996.
- /14/ Söderlund L., Vaihteeton tuulivoimageneraattori, loppuraportti, Tampereen teknillinen korkeakoulu 1998.
- /15/ <http://www.vtt.fi>
- /16/ Energia Uutiset
- /17/ Energia 9/1998

9 AURINKOENERGIA

9.1 Yleistä

Aurinkoenergian hyödyntäminen siirtyi kaupalliselle tasolle jo 1970-luvun alun erikoissovellutuksissa (mm. avaruussovellutukset). Nykyään aurinkoenergia kuuluu vakiintuneimpiin uusista energiateknologioista. Aurinkoenergian kiistattomia etuja ovat saasteettomuus, lähteen pysyvyys sekä sen tarjoama kestävä vaihtoehto maapallon perinteisiä energiaresursseja kuluttaville energiantuotantomenetelmille. /1/

Puolijohdetekniikan kehittymisen myötä aurinkoenergian muuttaminen sähköksi vauhdittui 1970-luvulla. Aurinkoenergian hyödyntäminen on voimakkaasti riippuvainen kohteen maantieteellisestä sijainnista. Parhaimmat edellytykset ovat ns. aurinkovyöhykkeellä, leveysasteilla 25° - 30° päiväntasaajan molemmin puolin. /1/

Etenkin kehitysmaissa aurinkoenergia on käyttökelpoinen, koska hajautettu

energiantuotantjärjestelmä on muutenkin varsin käyttökelpoinen verkkosähköistyksen alhaisen tason ja pitkien siirtoetäisyyksien vuoksi. Teollistuneissa maissa energiantuotanto tapahtuu keskitetysti isoissa yksiköissä, jolloin aurinkosähkölle asetettavat taloudelliset vaatimukset ovat tiukat. Pohjois-Euroopassa vaikeutena on lisäksi aurinkosäteilyn vuodenajanmukainen vaihtelevuus. /1/

9.2 Aurinko ja sen säteilyn jakautuminen maapallolle

Aurinko on keskikokoinen tähti, kaasupallo, jonka ulkokuoren muodostavat pääosin vety (75 %) ja helium (23 %). Loppuosa on magnesiumia, nikkeliä, bariumia, kuparia, typpeä ja hiiltä. Auringon säde on $6,96 \cdot 10^8$ m, joka on noin 110-kertainen verrattuna maapallon ($6,37 \cdot 10^6$ m) säteeseen. /2/

Aurinkoenergia perustuu fuusioon, jossa kaksi vety-atomin ydintä, protonia ja kaksi neutronia yhtyy heliumatomin ytimeksi, jolloin vapautuu valtava määrä energiaa. Yhden vetygramman fuusiosta saatava energia vastaa 27 tonnin hiilimäärän energiaa eli noin 0,18 TWh. Fuusio tarvitsee onnistuakseen noin kymmenen miljoonan asteen lämpötilan. /3/

Auringonsäteily koostuu näkyvistä valonsäteistä, infrapunalämpösäteistä ja ultraviolettisäteistä. Auringon keskimääräinen säteilyteho maapallolle on noin 1370 W/m^2 . Tällöin maapallolle tulee säteilytehoa 170 000 TW. Heijastukseen tästä kuluu 30 %, eli noin 50000 TW. Lämmöksi jää loput 70 %. Tästä 47 % menee ilmakehän sekä maan ja meren lämmittämiseen. Loppu 23 % osallistuu haihduttamiseen. Tuuleen, aaltoihin ja merivirtoihin menee 0,2 % ja fotosynteesiin 0,02 %. Auringonsäteilyn jakautuminen on esitetty kuvassa 9.1.



Kuva 9.1. Auringonsäteilyn jakautuminen maapallolle. /4/

Ilmakehän molekyylit, vesihöyry sekä saasteet ja pöly vähentävät maanpinnalle tulevaa säteilyä olennaisesti. Heijastuksen (30 %) ja ilmakehän lämpeämiseen (10 %) menevän energian jälkeen maanpinnalle tulee noin 60 % alkuperäisestä säteilystä. Tästä on sekä haittaa että hyötyä. Hyvä puoli on, että UV-säteilyn määrä pienenee ja huono puoli se, että aurinkoteho vähenee. Ilmakehän vaikutuksen johdosta maanpinnalle tuleva säteily voidaan jakaa suoraan auringonsäteilyyn, haja (diffuusiseen) auringonsäteilyyn sekä ilmakehän vastasäteilyyn. /3/

Suoralla auringonsäteilyllä (*IA*) tarkoitetaan suoraan ilmakehän läpi tullutta auringonsäteilyä. Ilmakehän molekyylien, pilvien, pölyn yms. vuoksi suuntaansa muuttanutta säteilyä kutsutaan hajasäteilyksi (*ID*). Ilmakehän vastasäteily (*IV*) johtuu vesihöyrystä, hiilidioksidista ja otsonista, jotka säteilevät lämpöä takaisin maanpinnalle. /3/

Näiden kolmen säteilyn summa on maanpinnalle tuleva kokonaissäteilyenergia. Tästä täytyy vielä vähentää pinnan avaruuteen takaisin heijastama pitkäaaltoinen säteily (*IU*), jotta saadaan selville pinnalle jäävä teho (*I*).

$$I = IA + ID + IV - IU \quad /3/$$

Suomessa auringon keskimääräiseksi vuotuiseksi kokonaissäteilymääräksi on mitattu Helsingissä 950 kWh/m^2 , Jyväskylässä 880 kWh/m^2 ja Sodankylässä 800 kWh/m^2 . /3/

9.3 Aurinkoenergia

Aurinkoenergia voidaan jakaa suoraan aurinkoenergiaan, epäsuoraan aurinkoenergiaan sekä varastoituneeseen aurinkoenergiaan. *Suoraa aurinkoenergiaa* voidaan käyttää aurinkokennojen avulla muuttamalla säteilyenergiaa suoraan sähköenergiaksi tai sitten aurinkolämpövoimalaitoksissa, jossa auringon lämmöllä höyrystetty vesi johdetaan turbiiniin, josta saadaan edelleen sähköä. *Epäsuoralla aurinkoenergialla* tarkoitetaan uusiutuvaa energiaa, kuten vesivoimaa, tuulienergiaa ja aaltoenergiaa, sillä nämäkin ovat alkujaan auringosta "peräisin" olevaa energiaa. *Varastoitunut aurinkoenergia* voidaan jakaa kahteen eri osa-alueeseen: lyhytaikaiseen ja pitkäaikaiseen. Lyhytaikaista energiaa ovat kasvit, puu ja turve eli ns. bioenergia ja pitkäaikaista energiaa ovat fossiiliset polttoaineet eli hiili, öljy ja kaasu. /2/

9.4 Aurinkolämpö ja aurinkosähkö

Auringosta säteilynä saatava aurinkoenergia voidaan käyttää kahdella eri tavalla. Käytettäessä aurinkoenergiaa lämmitykseen, on saatu säteilyenergia hyödyllistä muuttua suoraan lämmöksi. Toisaalta voidaan saatu säteily muuttua aurinkokennojen avulla suoraan sähköksi, jolloin puhutaan aurinkosähköstä. /5/

9.4.1 Aurinkolämpökeräimet

Aurinkolämpöä käytetään yleensä kesäaikana pienten lämmitystarpeiden tyydyttämiseen, esimerkiksi käyttöveden lämmitykseen. Aurinkolämpökeräimen vuosituotto on parantunut yli 50 % 1970-luvulta nykypäivään. Samalla investointikustannukset ovat puolittuneet. Tärkeimmät teknologiset parannukset ovat olleet selektiiviset absorptiopinnat, joita käyttämällä lämpöhäviöt pienenevät, keräinten koestus- ja suorituskykystandardit, joilla pystytään valvomaan laatutekijöitä sekä suuret keräinratkaisut eli kattointegroidut keräimet ja isokokoiset keräinkentät. Nykypäivän aurinkokeräimillä voidaan tuottaa 60-80°C lämpöä melko hyvällä hyötysuhteella. /5/

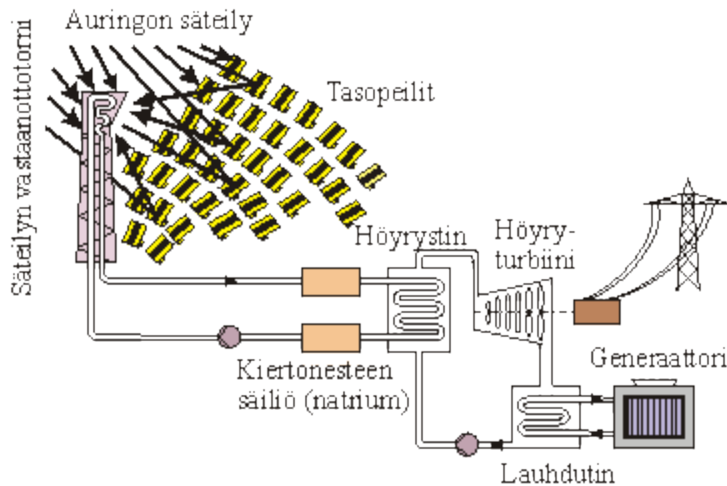
9.4.2 Aurinkosähkö

Aurinkosähköä tuotetaan nykyään aurinkolämpövoimalaitoksissa ja valosähköisillä kennoilla. /1/

9.4.2.1 Aurinkolämpövoimalaitokset

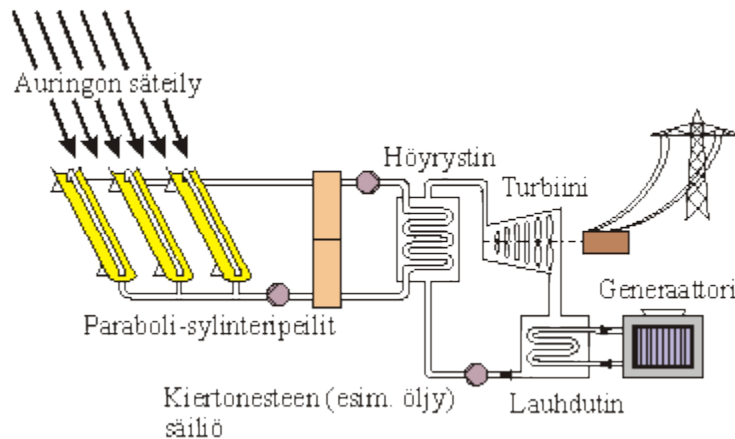
Aurinkoenergialla toimivia voimalaitoksia on kahdenlaisia. Joko lämpövoimalaitoksena toimiva laitos, jossa aurinkoenergia muutetaan lämmöksi, ja se korvaa tavallisen höyryvoimalaitoksen polttoaineen, tai sitten aurinkoenergia muutetaan aurinkokennoilla suoraan sähköksi. Suurimmat nykyiset koelaitokset toimivat lämpövoimalaitosperiaatteella ja aurinkokennoista on valmistettu pienehköjä koelaitoksia. Lämpövoimalla toteutetut aurinkovoimalaitokset voidaan jakaa kahteen päätyyppiin: torni- ja farmityyppisiin.

Tornityyppisessä voimalaitoksessa (kuva 9.2) auringon säteily kerätään peileillä yhteen pisteeseen, tornin huipussa olevaan lämpövarastoon, jossa säteily kuumentaa joko erikoisnestettä, joka lämmönvaihtimen välityksellä höyrystää veden ja näin saatu höyry johdetaan turbiiniin, tai sitten kuumennetaan suoraan vettä, joka höyrystetään turbiiniin. Tornityyppinen voimalaitos toimii teknisesti melko moitteetta, mutta sen taloudellisuus ei ole hyvä. /4,6/



Kuva 9.2. Tornityyppinen aurinkovoimalaitos. /4/

Farmityyppisessä voimalaitoksessa (kuva 9.3) auringonsäteet heijastetaan parabolisen peilin polttopisteessä olevaan putkeen, jossa virtaava neste höyrystyy ja näin saatu höyry johdetaan turbiiniin. Sähköenergian hinta muodostuu tälläkin tuotantotavalla kalliiksi. /4/



Kuva 9.3. Farmityyppinen aurinkovoimalaitos. /4/

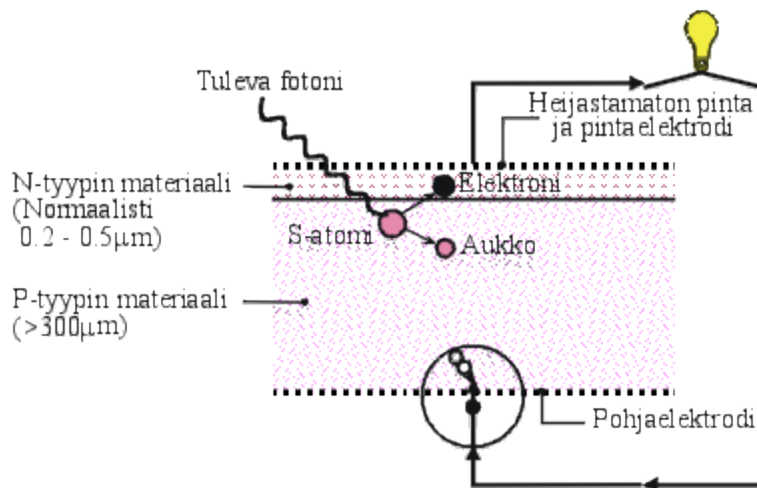
9.4.2.2 Valosähköiset kennot

Aurinkokenno- eli PV-teknologia (photovoltaics) on alunperin lähtöisin avaruussovelluksista, sillä kennoja kehitettiin satelliittien voimanlähteiksi. Öljykriisin jälkeen 1970-luvulla ryhdyttiin tutkimaan kennojen käyttömahdollisuuksia myös maanpäällisissä sovelluksissa. /5/

Valosähköiset kennot on tehty puolijohdeista ja nykyään hallitsevana puolijohdemateriaalina on pii, joko kiteisenä tai amorfisena. Kiteinen pii voidaan vielä jakaa erilliskiteiseen ja monikiteiseen. Kiteiseen piihin perustuvilla aurinkokennoilla on saavutettu parhaat hyötysuhteet. Parhaat kaupalliset piiaurinkokennot muuttavatkin auringon säteilyenergiaa sähköksi noin 15-16 % hyötysuhteella lopun muuttuessa lämmöksi. Kennojen teoreettinen hyötysuhde on runsas 30 %. Muita valosähköteknologian menetelmiä ovat ohutkalvoteknologia ja konsentroivat järjestelmät. Ohutkalvomenetelmä ja amorfisen piin käyttö tuottavat sähköä huonommalla hyötysuhteella, mutta ovat hinnaltaan edullisempia. Peileihin ja linssihin perustuvat konsentroivat järjestelmät antavat kaikkein parhaimmat hyötysuhteet, mutta monimutkaisen rakenteensa ansiosta ovat usein hyvin kalliita. /1,5,6/

Valokennojen valmistukseen käytetään puolijohdeista eniten piitä. Puhdistetun piin kiderakenne on kuutiollinen. Pii-atomin uloimmalla radalla olevilla elektroneilla on tarkka paikka kiderakenteessa, jolloin vapaita elektroneja käytännössä ei ole. Tällöin pii on huono johde. Elektroniikan sovelluksissa piitä voidaankin käyttää, kun siihen on lisätty pieniä määriä jotain muuta alkuainetta. Lisäämällä piihin fosforia saadaan aikaan kiderakenne, jossa muutamilla elektroneilla ei ole omaa paikkaa. Näitä elektroneja kutsutaan negatiivisiksi tai N-tyypin varauksen kuljettajiksi. Fosforilla seostettua piitä kutsutaan näin ollen N-tyypin piiksi. Kun piitä seostetaan boorilla, kiderakenteessa ei ole vapaita elektroneja, vaan aukkoja, joissa puhtaassa piissä olisi elektroneja. Nyt elektronit voivat täyttää aukon ja jättää tyhjän aukon jälkeensä sille paikalle, josta se lähti. Jokaisella aukolla on positiivinen varaus ja täten boorilla seostettua piitä kutsutaankin P-tyypin eli positiivisen tyypin piiksi.

Aurinkokennon toiminnan edellytyksenä on, että kennomateriaalissa on sisäinen sähkökenttä, joka ajaa syntyvät elektronit ja aukot liikkeelle. Kun käytetään N-tyypin piitä ja P-tyypin piitä kennomateriaalina, saadaan niiden liitosrajapintaan syntymään sähkökenttä. Kun fotoni tunkeutuu puolijohdemateriaaliin, lyö se elektronin pois paikaltaan piin kiderakenteesta. Tällöin syntyy aukko-elektronipari. Hyvin pienen ajan kuluttua elektroni kuitenkin liikkuu takaisin alkuperäiselle paikalleen. Tätä ilmiötä kutsutaan rekombinaatioksi. Valokennossa P- ja N-tyypin puolijohdemateriaalien rajalla oleva sähkökenttä vetää syntyneitä aukkoja ja elektroneja erilleen ja näin estää rekombinaation. Nyt elektronit liikkuvat sähkökentän ajamana N-tyypin piikerrokseen ja siitä tulee negatiivinen napa. P-tyypistä tulee vastaavasti positiivinen napa. Näiden välillä on nyt jännite-ero, joka saa aikaan sähkövirran. Aurinkokennon toimintaperiaate on esitetty kuvassa 9.4.



Kuva 9.4. Aurinkokennon toimintaperiaate. /7/

Aurinkokennot tuottavat tasasähköä, joka varastoidaan akkuihin ja muutetaan puolijohdevaihtosuuntaajassa vaihtosähköksi. Vaihtosuuntaus tuo mukanaan omat ongelmansa. Ensinnäkin laite lisää kustannuksia ja toisaalta vaihtosuuntaaja pienentää entisestään systeemin hyötysuhdetta. Edelleen vaihtosuuntaajan antama teho ei ole tarkkaan sinimuotoista, vaan se sisältää jonkin verran yliaaltoja. Tämä lisää loistehon määrää verkossa ja heikentää sähkön laatua. /8/

Valosähköteknologian odotetaan kehittyvän neljän perättäisen vaiheen kautta. Ensimmäisenä vaiheena on sähköverkosta erillään olevat systeemit, toisena hajautetut esimerkiksi talokohtaiset verkkoon kytketyt systeemit, kolmantena kulutushuippuja palvelevat järjestelmät ja viimeisenä vaiheena perusenergiantuottoon soveltuvat järjestelmät.

Sähköverkosta erillään olevat systeemit ovat nykyään monin paikoin taloudellisesti kannattavia, tosin vain heikkovirtasovelluksissa, kuten valaistuksessa ja elektroniikassa. Tällaisten erikoissovellutusten määrällinen potentiaali on kuitenkin sen verran pieni, ettei mahdollista

valosähköteknologian massatuotantoa. /6/

Hajautettujen, sähköverkkoon kytkettyjen systeemien idea olisi siinä, että ne käyttäjän lähelle tuotuna mahdollistaisivat siirto- ja jakelukulujen alenemisen verrattuna keskitettyyn voimantuotantoon. /6/

Kulutushuippujen tasaamiseen aurinkosähköä luonnollisesti voitaisiin käyttää vain kesäaikaan, lähinnä jäähdystarpeesta johtuvaan energiankulutuksen kasvun tyydyttämiseen. /6/

Viimeisenä vaiheena olisi perusenergiantuotto valosähkötekniikalla. Tämä vaihe on kuitenkin vielä kaukana, ja onkin syytä kehittää tekniikkaa askel askeleelta, pienistä sovelluksista vähitellen laajempiin edeten. /6/

9.5 Aurinkoenergian potentiaali

Auringon maapallolle säteilemä teho riittäisi tyydyttämään maapallon energiatarpeen 20000-kertaisesti. Teoreettista potentiaalia siis olisi, mutta käytännön potentiaali pienenee murto-osaan teoreettisesta potentiaalista. /4/

Sähköntuotantomenetelmänä aurinkoenergia ei toistaiseksi ole kilpailukykyinen perinteisten tuotantomuotojen kanssa. Aurinkoenergian ongelmana on myös säteilyenergian määrän vaihtelevuus vuorokauden, vuodenaikojen ja sääolosuhteiden mukaan. Sähkön varastointiin ei ole vielä käytössä suurimittaisempaa menetelmää. Eräs ratkaisu olisi hajottaa vettä aurinkosähkön avulla vedyksi ja hapeksi. Vedyn varastointi ja jakelu olisi teknisesti toteutettavissa ja vetyä pystyttäisiin käyttämään monissa käyttötarkoituksissa saasteettomana polttoaineena. Menetelmän esteenä on kuitenkin erittäin korkea hinta. /9/

9.6 Aurinkosähkön kehitystrendejä

Ajatellen laajempia energiatalouden sovelluksia, aurinkosähkö on vielä kaukana niistä. Hintakehitystä ei ole enää 90-luvun puolestavälistä tapahtunut, vaikka kilpailu on koventunut. Nykyään maailmassa toimii 50 aurinkokennoa valmistavaa yritystä, mutta alan tervehtymisen kannalta yrityksiä pitäisi olla 6-7. /5/ Kiinnostavin aihe tulee olemaan aurinkokennojen käyttö ja integrointi rakennuksien ulkopintoihin. Tämä vaatii kuitenkin vielä voimakasta teknologiatukea. /5/

Aurinkokennojen hallitsevana valmistusmateriaalina käytetyn kiteisen piin saatavuus aiheuttaa rajoitteita. Piin tulisi olla erittäin puhdasta, joten sen tuottaminen on kallista. Ohutkalvotekniikassa tarvittavan piin määrä on vain muutaman prosentin kiteisen piin tekniikkaan verrattuna, joten raaka-ainetta tarvittaisiin huomattavasti vähemmän. Ohutkalvotekniikassa on heikkoutena sen huonompi hyötysuhde verrattuna kiteisiin piikennoihin. Energiataloudessa aurinkosähkön laajempi käyttöönotto edellyttäisikin, että ohutkalvoteknologiassa tapahtuisi läpimurto. /5/

9.7 Aurinkoenergian markkinat

9.7.1 Aurinkolämpö

Koko maailman aurinkokeräimistä, joita 1990-luvun puoleen väliin mennessä oltiin rakennettu noin 35 milj.m² eli energiassa mitattuna 15 TWh/a, pääosa on rakennettu aurinkovyöhykkeelle. Euroopan unionin osuus tästä on 20 %. Euroopan markkinoiden kasvu on viimeisten viiden vuoden aikana ollut 20-25 % vuodessa. Euroopassa merkittävimpiä maita aurinkolämpömarkkinoilla ovat Saksa, Itävalta ja Hollanti. /5/

9.7.2 Aurinkosähkö

1996 vuoden loppuun mennessä maailmassa oli aurinkokennoja rakennettu keskiteholtaan noin 200 MW:n edestä. USA:lla on koko aurinkosähkö- eli PV(photovoltaics)-teollisuudesta 40 %, Japanilla 20 % ja EU:lla 24 %. Viimeisten kymmenen vuoden aikana aurinkosähkön markkinat ovat kasvaneet runsaat 10 % vuodessa. /5/

Aurinkosähkön hinta estää vielä sen ottamisen laajempaan käyttöön energiantuotannossa. Pääosin sen sovellusalueena on sähköverkkojen ulkopuolinen käyttö eli syrjäseutujen sähköistys. /5/

Viime vuosina kiinnostus käyttää aurinkosähköä rakennuksissa tai sen ympäristössä on kasvanut Euroopassa, Yhdysvalloissa ja Japanissa. Näissä tapauksissa aurinkopaneelit asennetaan osaksi rakennusta, esimerkiksi kattoon tai ulkoseiniin, ja näin korvaavat muita rakennemateriaaleja. /5/

9.8 Aurinkoenergia ja ympäristö

Aurinkoenergian tuottamisesta aiheutuvat ympäristövaikutukset liittyvät lähinnä aurinkokennojen suureen tilantarpeeseen. Tätä haittaa voidaan estää sijoittamalla kennostoja rakennusten katoille ja seiniin. Kennojen rakennusaineena olevien puolijohteiden valmistuksessa syntyy myrkyllisiä kaasuja, esimerkiksi AsH₃, PH₃, SiF₄ ja helposti syttyviä kaasuja, kuten H₂ ja CH₄. Syntyvä jätevesi saattaa sisältää mm. kadmiumia ja arsenikkia. /1/

LÄHTEET

/1/ Ekono Oy, Uudet Energiajärjestelmät, Tutkimusohjelma-NEMO, Pienimuotoinen sähköntuotanto, Taustamuistio I - Teknillinen tausta, 1990, 89 s. ja 40 liitesivua.

/2/ <http://solis.wwnet.fi>

/3/ <http://www.avenet.fi>

/4/ Aura L. & Tonteri A.J., Sähkölaitostekniikka, WSOY 1993, 433 s.

/5/ Lund P., Uusien energiantuotantomuotojen asema energiataloudessa -tilannekatsaus, Kauppa- ja teollisuusministeriön tutkimuksia ja raportteja 14/1997, Energiaosasto, Oy Edita Ab 1997, 74 s.

/6/ Hannus S., Uudet energiantuotantoteknologiat, yhteenveto, Kauppa- ja teollisuusministeriö, katsauksia B:104, Energiaosasto, 1992.

/7/ VTT Energia, Energia Suomessa, Oy Edita Ab 1999, 368 s.

/8/ Aurinkosähkö jo tänään, Suomen yhdeksäs aurinkoenergiapäivä 19.5.1989, Aurinkoteknillinen yhdistys ry.

/9/ Lakervi E., Sähkönjakeluverkkojen suunnittelu, Otatieto 1996.

10 BIOENERGIA

10.1 Yleistä

Biomassoiksi kutsutaan eloperäisiä, fotosynteesin kautta syntyneitä kasvimassoja. Biomassoista tuotettuja polttoaineita kutsutaan *biopolttoaineiksi*. Biopolttoaineen käytöstä saatavaa energiaa sanotaan *bioenergiaksi*. /1/

Kiinnostus bioenergian käyttöön on maailmanlaajuinen. Maailman bioenergiakäytön osuus koko primäärienergiakäytöstä on noin 14 % (1996), johtuen siitä, että kolmansissa maissa puun käyttö energianlähteenä on edelleenkin merkittävää. EU:ssa bioenergian osuus on noin 4 % (1996). Teollisuusmaista Suomi, Ruotsi ja Itävalta ovat bioenergian johtavia käyttäjämaita. /1/

Suomen bioenergiavarat ovat runsaat. Turpeen vuotuinen käyttö on ainoastaan pieni osa kokonaisvaroista ja metsien vuosikasvu on suurempi kuin käyttö. Biomassoja Suomessa ovat polttopuu ja polttoturve, teollisuuden jätetee ja hake, jäteliemet, yhdyskuntajätteet sekä energiametsät, Suomessa esimerkiksi energiapajuviljelmät. /1,2/

Polttoaineiden ikä vaihtelee paljon. Lyhytikäisimpiä ovat pelloilla tuotettavat energiakasvit ja -puut, joiden ikä on muutamasta kuukaudesta muutama vuoteen. Puubiomassan ikä Suomessa on muutamasta vuodesta yli sataan vuoteen, mutta joidenkin ulkomaalaisten puiden ikä voi olla jopa useita satoja vuosia. Turve on Suomen biomassoista pitkäikäisin, iältään sadoista vuosista tuhansiin.

10.2 Perusteita bioenergian käyttöön

Yleisiä perusteita bioenergian käytön lisäämiseen on useita. Ensinnäkin bioenergiaa käyttämällä saadaan energiantuotannon hiilidioksidipäästöjä (CO₂) ja rikkipäästöjä alennettua. Toiseksi bioenergian käyttöä lisäämällä voidaan luoda ensiharvennuspuulle taloudellisesti kannattavaa lisäkäyttöä ja auttaa metsänhoidon ongelmia. Edelleen bioenergiaa käyttämällä saadaan parannettua energiantuotannon omavaraisuutta ja luotua edellytyksiä uudelle yritystoiminnalle ja paremmalle työllisyydelle. Lisäksi saadaan vahvistettua alan teknologia- ja laitevientiä. /3,4/

Yhdyskuntajätteiden sijoittaminen alkaa olla ongelma ympäri maailmaa. Jätteillä onkin tärkeä osa bioenergian hyödyntämisessä. Käyttämällä jätteitä biopolttoaineena, helpottuu samalla jätteiden sijoittamiseen liittyviä ongelmia. Tätä voidaan pitää yhtenä perusteena bioenergian käyttöön.

10.3 Suomen bioenergian käyttö ja potentiaali

Suomessa bioenergian osuus on 20 % (1996). Viimeisten parin vuosikymmenen aikana eniten on lisääntynyt polttoturpeen käyttö, lähes 300 % kasvulla. Seuraavaksi tulevat jäteliemet (67 % kasvu) ja teollisuuden jätepuu (45 % kasvu). Polttopuun käyttö alkoi vähentyä 1970-luvun lopulla, mutta on taas kääntynyt nousuun uudestaan 1990-luvulla. /1/

Suomessa puun ja turpeen energiakäyttö on tuotantopotentiaalin perusteella mahdollisuus kaksinkertaistaa ja muidenkin biopolttoaineiden käyttöä lisätä merkittävästi. Taulukossa 10.1 on esitetty biopolttoaineiden tuotantopotentiaaleja. /1/

Taulukko 10.1 Yhteenveto sähkön- ja lämmöntuotantoon käytettävien biopolttoaineiden tuotantopotentiaalista, Mtoe/a. (Mtoe = miljoona ekvivalenttista öljytonnia). /1/

	Teoreettinen Mtoe/a	Käytännössä Mtoe/a
Turve Tuotantomahdollisuus 60 vuoden aikana		
• tuottajien hallussa olevat suot, 121 000 ha	1,74	1,74
• muut tuotantokelpoiset suot	2,93	2,31
YHTEENSÄ	4,67	4,05
Puut		
• hakkuutähteet	1,9	0,65
• harvennuspuut	0,9	0,61
• kuori kemiallisesta teollisuudesta	0,7-1,1	0,7-1,1
• puujäte saha-, vaneri- ja levyteollisuudesta	0,3-0,4	0,3-0,4
• jäteliemet	2,2-3,8	2,2-3,8
• polttopuu kiinteistössä	1,6	1,2

	YHTEENSÄ	8-10	5,6-7,8
Pellot			
<ul style="list-style-type: none"> • ruokohelpi, energiapaju • olki 	0,65 0,7	0,13 0,14	
Jätteet			
<ul style="list-style-type: none"> • pakkausjätteet, puuperäiset jätteet, biokaasut, lietteet 	yli 1,0	0,5	
	KAIKKI YHTEENSÄ	15-17 Mtoe/a	10,5-12,5 Mtoe/a

Suomessa turvealasta on käytössä noin puolen prosentin verran. Kun otetaan huomioon kaikki tulevaisuuden aluevarauksetkin, on soista turvetuotannossa noin 1 %. /5/

Tulevaisuudessakin suurimman osan, yli 60 %, biopolttoaineista käyttää runsaasti energiaa kuluttava metsäteollisuus. /1/

10.4 Bionergiatuotannon tekniikkaa

Bioenergiantuotannossa biomassaa hyödynnetään suoraan polttamalla ja polttoaineiden valmistukseen. Muutettaessa biomassaa lämmöksi tai polttoaineeksi, käytössä on kuusi erilaista tekniikkaa.

Suorassa poltossa käytetään polttoaineena yleensä puuta. *Pyrolyysissä*, eli biomassan kuumentamisesta ilmattomassa tilassa, saadaan kiinteätä koksia sekä nestemäisiä ja kaasumaisia tuotteita. *Suorassa nesteytyksessä* biomassaa muutetaan korkeassa paineessa ja lämpötilassa nestemäisiksi hiilivedyiksi. *Kaasutuksessa* biomassasta muodostetaan vesihöyryä ja hapen kanssa synteesikaasua, mikä on ensimmäinen vaihe valmistettaessa alkoholipolttoaineita (mm. metanolia) ja ammoniakkaa. *Korkeapainehydrauksessa* materiaali lietetään prosessin kiertoöljyyn. Liette kuumennetaan, paineistetaan ja johdetaan reaktoriin, missä reaktio tapahtuu vedyn läsnäollessa. *Biokemiallisia konversioita* on kahta eri tyyppiä. Anaerobisessa hajotuksessa tietty bakteerikanta ilmattomassa tilassa hajottaa orgaanisen aineen yksinkertaisiksi neste- ja kaasumolekyyleiksi (metaani). Tällainen, bakteerien avulla hajoitettava biomassaa voi olla esimerkiksi jäte. Hydrolyysissä puun hemiselluloosa ja selluloosa pilkotaan sokeriksi. /2,6/

10.5 Energiaviljely

Energiaviljelyllä ymmärretään nopeasti kasvavan biomassan viljelyä energiatalouden tarpeisiin. Energiaviljelyn periaatteita nopeakasvuisilla ja helposti viljeltävillä puulajeilla on suuri istutustiheys (10 000 - 20 000 kpl/ha), voimakas vesoaminen, kasvun keskittyminen ensimmäisiin vuosiin ja sitä kautta lyhyt kiertoaika. Puulajeilta edellytetään lisäksi hyvää kestävyttä tuhonaiheuttajia, kuten hyönteisiä, sieniä, myyriä ja hirviä vastaan. /7/

10.5.1 Bioenergian tuotantoon soveltuvia peltokasveja

Korsiviljoja on käytetty Suomessa pääasiassa vain joko ihmisravinnoksi tai eläinten rehuksi. Kiinnostus korsiviljojen ns. non food-käyttöä kohtaan on kuitenkin kasvanut. On selvitetty mahdollisuuksia ohran ja vehnän jyvien käyttöä raaka-aineeksi etanolin ja tärkkelyksen valmistuksessa sekä korsiviljojen oljen käyttämistä polttamalla energiaksi. /4,5/

Öljykasveista puristettavia kasviöljyjä voidaan käyttää ravintoöljyksi, teknisiin tarkoituksiin lähinnä biodieseliksi vaihtoehdoksi dieselöljylle tai sitten voitelu- ja hydraulioöljyksi. Öljykasveja ovat rypsi, rapsi, pellava ja sinappi. Biopolttonesteiden laajemman käytön esteenä on niiden korkea hinta. /4,5/

Suomessa viljeltävistä kasveista juurikasvit, sokeri- ja rehujuurikas, tuottavat suurimmat hehtaarisadot. Juurikkaat soveltuvat sisältämänsä sokerin takia etanolin tuotantoon hyvin. Juurikkaista, kuten myös perunasta, tuotetaan myös biokaasua. Palkokasvien vahvuutena on se, että ne pystyvät juurinystybakteriensa avulla käyttämään ilmakehän tyyppiä, joten kallista typpilannoitusta ei tarvita. Palkokasveja ovat esim. herne, vuohenherne ja lupiini. /4,5/

Eri heinä- ja lyhytkiertoisten puulajien viljely energiantuotantotarkoituksiin on ollut viime vuosina tutkimuksen aiheena monissa maissa, joissa itsellä ei ole fossiilisia polttoaineita (esimerkiksi Suomessa Kopparnäsin energiapajuviljelmät). Pajulajeista koripaju on osoittautunut parhaiten peltoenergiatuotantoon sopivaksi. Ruotsalaisten tutkimusten mukaan pajuviljelmän tuotantoajaksi oletetaan 20-30 vuotta, sato korjataan 3-5 vuoden välein ja keskimääräinen tuotanto on noin 12000 kg. Energiapajun viljelyssä ongelmana ovat kalliit perustamiskustannukset, sillä pellot pitää varata useaksi kymmeneksi vuodeksi, jotta viljely olisi tuottavaa. /4,5/

Energiaheiniksi sopivat ruokohelpi, rehukattara sekä ruokoheven ja timotein seos. Ruokohelpiä esiintyy kaikkialla Suomessa. Parimetriseksi korreksi kasvavan ruokohelmin tuotantoaika on noin 10 vuotta. Se korjataan kuivana, silputaan ja poltetaan turpeen joukossa. /4,5/

Muista kasvilajeista voidaan mainita järviruoko ja hamppu. Järviruoko on yksi maailman levinneimmistä kasveista. Suomessakin se on levinnyt koko maahan. Isokokoisena kasvina järviruoko sitoo itseensä runsaasti energiaa ja on sen vuoksi mielenkiintoinen bioenergian kannalta. Se vaatii kostean kasvupaikan, mm. vesistöjen rannat ja suopellot. Hamppu on myös kookkaana kasvina mielenkiintoinen kasvilaji bioenergian kannalta. Hampusta on saatu jalostettua alkaloidittomia lajikkeita, joka on aiheuttanut sen, että sitä on ruvettu tutkimaan myös Suomessa. /4/

10.6 Bioenergia ja ympäristö

Bioenergian ympäristövaikutukset ovat oleellisesti riippuvaisia käytetyistä tuotanto- ja muuntotekniikoista. Polttotekniikoiden päästöjä voidaan tehokkaasti rajoittaa savukaasujen puhdistusmenetelmillä. Tarkastellaan seuraavaksi bioenergian käytöstä aiheutuvia päästöjä lähinnä puun ja turpeen osalta. /2/

Biomassoista puun polttamisesta ei aiheudu rikkidioksidipäästöjä. Turpeen rikkipitoisuus riippuu käytetystä tuotantoalueesta. Rikkipitoisuudet eivät sinänsä ole keskimäärin kovin korkeita. Puun ja turpeen käytöllä saataisiin kuitenkin vähennettyä rikkidioksidipäästöjä aiheuttavien raskaan polttoöljyn ja kivihiiilen käyttöä. /8/

Puun ja turpeen poltosta syntyy typen oksidien päästöjä. Päästöjä pystytään vähentämään käyttämällä poltossa uutta tekniikkaa tai sitten puhdistamalla päästöjä teknisillä keinoilla. Useissa eri tyyppisissä laitoksissa puun ja turpeen poltossa syntyvät typen oksidien päästöt ovat kuitenkin pienemmät kuin vanhoissa öljy- ja hiiltä käyttävissä laitoksissa. /8/

Puun lisäkäyttö helpottaisi hiilidioksidipäästöjen vähentämistä. Turpeen käytöstä aiheutuvat hiilidioksidipäästöt ovat taas riippuvaisia käytetyn turpeen tuotantoalueista. /8/

10.6.1 Bioenergia ja biodiversiteetti

Luonnon monimuotoisuus eli biodiversiteetti tarkoittaa elävän luonnon kaikenlaista vaihtelua: erilaisten elinympäristöjen määrää, lajien lukumäärää ja lajinsisäistä perinnöllistä vaihtelua. Biodiversiteetin kaventuminen on nykyään maapallolla yksi kaikkein vaikeimmista ympäristöongelmista. Maa- ja metsätalouden viljelytapojen ja maankäytön muuttuminen sekä teiden, sähkölinjojen ja voimalaitosten rakentaminen ovat ympäristön arkipäiväistä muokkaamista, jotka vaikuttavat luonnon monimuotoisuuteen, biodiversiteettiin. Bioenergian tuotannossa onkin otettava huomioon, miten ja mistä biomassaa otetaan polttoaineeksi. Esimerkiksi metsien monimuotoisuuden säilyminen voidaan taata suosimalla lehtipuita, jättämällä lahoava puuaines luontoon ja kulottamalla. On myös muistettava, että kaikkia tähteitä ei kannata kerätä biopolttoaineiksi, vaan osa tähteistä olisi jätettävä metsään. Tärkeintä on, että metsien hyödyntämisaste ja -tapa vaihtelevat alueittain metsätyypin mukaan. /4/

LÄHTEET

/1/ Asplund D., Bioenergian asema ja kehitysmahdollisuudet energiataloudessa, Kauppa- ja teollisuusministeriön tutkimuksia ja raportteja 21/1997, Energiaosasto, Oy Edita Ab 1997, 101 s.

/2/ Ekono Oy, Uudet Energiajärjestelmät, Tutkimusohjelma-NEMO, Pienimuotoinen sähköntuotanto, Taustamuistio I - Teknillinen tausta, 1990, 89 s. ja 40 liitesivua.

/3/ Tekes, Energiateknologian tutkimusohjelmat 1993-1998, teknologiaohjelmaraportti 8/98, 1998, 197 s.

/4/ BIOENERGIA 94 -seminaari 1.11.1994, Suomen Bioenergiayhdistys ry.

/5/ Energia 8/97, Energiafoorumi ry 1997.

/6/ Hannus S., Uudet energiantuotantoteknologiat, yhteenveto, Kauppa- ja teollisuusministeriö, katsauksia B:104, Energiaosasto, 1992.

/7/ Seppälä M., Inkoon Kopparnäsin energiapajuviiljelmit, tutkimusraportteja - IVO-yhtiöt, 1995, 44 s.

/8/ Bioenergian edistämishjelma, Kauppa- ja teollisuusministeriö, Energiaosasto, julkaisu A:2,

11 MUUT TEKNOLOGIAT

11.1 ORC (Organic Rankine Cycle) teknologia

Perinteisesti lämmön muuttaminen sähköenergiaksi perustuu höyryprosessiin, ns. Rankine-kiertoon. Syntyneellä lämmöllä höyrystetään vettä ja saatu höyry ohjataan turbiiniin. Tämän jälkeen höyry tiivistetään lauhduttamalla taas vedeksi ja ohjataan takaisin kiertoon taas höyrystettäväksi. Käytettäessä vettä kiertoprosessissa, on käytettävä korkeita lämpötiloja hyvän hyötysuhteen saavuttamiseksi.

Kun toimitaan matalissa lämpötiloissa, on veden tilalle löydettävä jokin toinen kiertoaine. Sopivia kiertoaineita löytyy orgaanisista yhdisteistä, kuten hiilivedyt. Hiilivetyjä käytetään yleensä kloorattuina tai fluorattuina. Toisena vaihtoehtona on ammoniakki. Kun käytetään edellä mainittuja kiertoaineita, puhutaan ORC-tekniikasta. ORC:n ideana on muuttaa matalat lämpötilaerot sähköksi. /1/

Tavallisessa ORC-ratkaisussa aksiaaliturbiini pyörittää normaalinopeuksista generaattoria vaihteiston välityksellä. Järjestelmässä tarvitaan lisäksi erillinen syöttöpumppu, tyhjöpumppu, voitelujärjestelmä ja useita akselitiivisteitä. Tällaiset ORC-laitokset ovat rakenteeltaan monimutkaisia ja ne vaativat huoltoa. Ongelmien välttämiseksi on kehitetty ORC-järjestelmä, jossa turbiini, generaattori ja syöttöpumppu on rakennettu yhdeksi kokonaisuudeksi, joka voi pyöriä suurella nopeudella. Järjestelmässä ei tarvita kuluvia tiivisteitä, sillä se on hermeettinen kokonaisuus. /2/

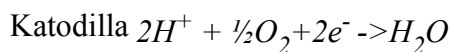
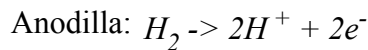
ORC-tekniikan mahdolliset ympäristöhaitat aiheutuvat kiertoaineen (halogenoitu hiilivety, ammoniakki) pääsystä ympäristöön. /1/

11.2 Polttokennot

Polttokennon pääperiaatteen esitti brittiläinen tutkija William Grove jo vuonna 1839. Varsinainen polttokennoteknologia on peräisin sukellusveneiden ja avaruusalusten voimanlähteistä. Varsinaisiin energiatalouden tarkoituksiin sitä on kehitetty 1980-luvun puolivälistä saakka. /3/

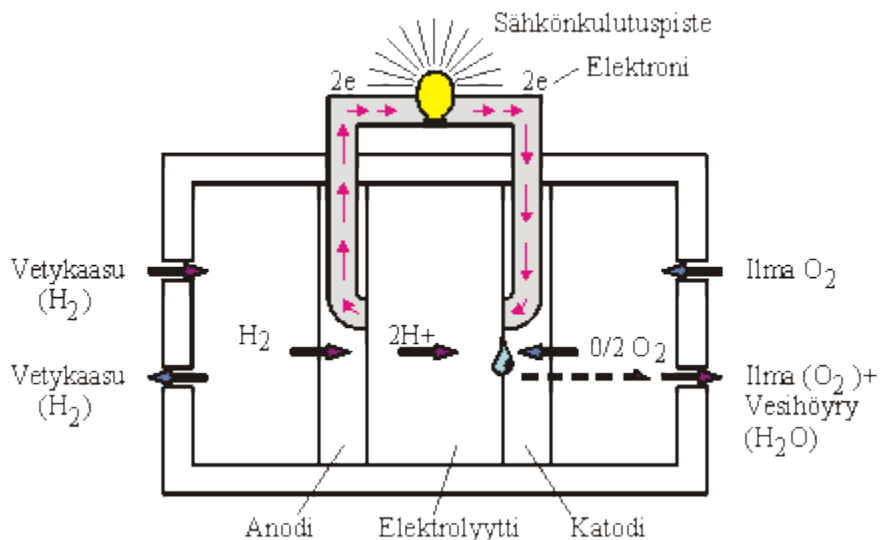
Polttokenno on sähkökemiallinen laite, jossa polttoaineen kemiallinen energia muutetaan sähköksi sähkökemiallisten reaktioiden avulla. Teknologia perustuu samaan ilmiöön kuin sähköparisto, mutta tässä reaktio jatkuu niin kauan kuin polttoainetta ja happea toimitetaan elektrodeille. Polttoaineena käytetään puhdasta vetyä tai polttoainetta, joka on esiprosessoitu vety-rikkaaseen muotoon. Esimerkiksi maakaasusta saadaan tuotettua polttoaineeksi kelpavaa vetyä, samoin kuin biomassasta voidaan tuottaa nestemäisiä hiilivetyjä ja alkoholeja. /3/

Kenno koostuu anodista, katodista ja niiden välissä olevasta elektrolyytistä. Anodille syötetään vetyä (H_2), joka pilkotaan katalyytin avulla vetyatomeiksi (H^+) ja elektroneiksi. Vetyatomit johdetaan katodille, jonne syötetään happea (O_2). Katodilla elektronit, vetyionit ja happi reagoivat keskenään muodostaen vettä. Vapaat elektronit kulkeutuvat ulkoista virtapiiriä pitkin anodilta katodille ja saavat näin aikaan sähkövirran. Kennon elektrodeilla tapahtuvat siis seuraavat reaktiot:



Reaktiossa vety toimii pelkistäjänä ja happi hapettajana. Reaktiotuotteena saadaan vettä. /4/

Polttokennon toimintaperiaate on esitetty kuvassa 11.1.



Kuva 11.1. Yleisen polttokennon toimintaperiaate. /4/

Yksi kenno tuottaa noin 1,2 voltin jännitteen. Haluttu jännitetaso saadaan aikaan, kun kytketään useampi polttokenno sarjaan. Polttokennoista saatava energia on pääosin sähköenergiaa, mutta jonkin verran myös lämpöenergiaa. Jos kennoissa käytetään polttoaineena esimerkiksi metaania tai metanolia, syntyy reaktiotuotteena hiilidioksidia. Kuitenkin polttokennoa voidaan sanoa käytännössä saasteettomaksi. /3/

Polttokennot voidaan jakaa viiteen pääteknologiaan riippuen käytettävästä elektrolyytistä.

1. Fosforihappokennot (Phosphoric acid fuel cell, PAFC)
2. Sulakarbonaattikennot (Molten carbonate fuel cell, MCFC)
3. Kiinteäoksidipolttokenno (Solid oxide fuel cell, SOFC)
4. Alkalikenno (Alkaline fuel cell, AFC)
5. Kiinteäpolymeerikenno (Solid polymer fuel cell, SPEFC) /1,2,3/

Fosforihappokenno on ainoa polttokennotyyppi, joka on kehittynyt kaupalliseksi. Niihin perustuen on rakennettu jo megawattiluokan laitoksia. Se pystyy tuottamaan sähköä 40 %:n hyötysuhteella ja parhaimmillaan jopa 85 %:n kokonaishyötysuhteella, kun reaktiossa muodostunut höyry johdetaan

turbiiniin. Toimintalämpötila on runsas 200°C. Laajempaan voimalaitoskäyttöön tällaiset polttokennot sopivat huonosti, sillä ne vaativat katalyytiksi kallista platinaa. /3/

Sulakarbonaattikennolla on korkea hyötysuhde toimiessaan hiilikaasuttimen kanssa. Kenno ei vaadi kovinkaan puhdasta polttoainetta, vaan pystyy käyttämään jopa hiiliyhdisteitä polttoaineena. Kennon toimintalämpötila on noin 650°C. /3/

Kiinteäoksidipolttokennoissa elektrolyytinä on kiinteää keraamista materiaalia, minkä ansiosta lämpötila voi nousta lähelle 1000°C ja hyötysuhde lähelle 60 %:ia. Tulevaisuudessa sitä voitaneenkin käyttää suurissa ja paljon voimaa vaativissa sovelluksissa. /3/

Alkalipolttokenno on vakiinnuttanut asemaansa avaruussovelluksissa. Elektrolyytinä käytetään useimmiten kaliumhydroksidia. Polttoaineena on erittäin puhdasta vetyä (yli 99,99 %), mikä asettaa kovat vaatimukset polttoaineen puhdistukselle. Kennolla pystytään saavuttamaan jopa 70 %:n hyötysuhde sähköntuotannossa, jonka vuoksi se on mielenkiintoinen vaihtoehto liikennesovellutuksissa. /3/

Kiinteäpolymeerikennot toimivat suhteellisen alhaisessa lämpötilassa, vain hieman yli 90°C:ssa. Elektrolyytinä on polymeerikalvo, joka on kahden platinalla katalysoidun elektrodin välillä. Tätä kokeillaan jo avaruus- ja vedenalaissovellutuksissa. Lisäksi tämä teknologia tulee erityisesti kysymykseen liikennesovelluksissa (autot) ja pienissä energiajärjestelmissä (akut). /2,3/

Kaiken kaikkiaan polttokennoteknologiaa pitää vielä tutkia ja kehittää paljon, ennenkuin se voitaisiin ottaa laajemmin huomioon energiahuollossa. Rakennuskohtaisiin energiajärjestelmiin voisi ajatella maakaasu- polttokenno- yhdistelmää. Samoin kennojen kehittäminen autoteollisuuteen on yksi käyttömahdollisuus. Kennojen hinnat pitää kuitenkin saada kilpailukykyisemmiksi, sillä esim. polttokennoauton hinta on noin satakertainen tavalliseen verrattuna. /3/

11.3 Sähkön varastointi

Sähkön varastoinnista on tullut yhä keskeisempi aihealue puhuttaessa uusista uusiutuvista energiantuotantomuodoista. Varastoinnilla pystyttäisiin lisäämään ajallisesti vaihtelevien, kuten tuuli- ja aurinkoenergian, energiantuotantomuotojen osuutta energianhankinnassa.

Perinteisiä keinoja sähkön varastointiin ovat kuivaparit ja märkäakut. Akuista tunnetuin lienee autoissa käytettävä lyijy Akku. Akkuteknologiaan ollaan panostettu ja kehitystyötä on tapahtunut, mutta varsinaista läpimurtoa, joka mahdollistaisi laajemman sähkön varastoinnin energianhankintaa ajatellen, ei ole tapahtunut. /3/

Energian varastoinnin ollessa verrattain hankalaa itse sähkön muodossa, onkin pyritty käyttämään muita keinoja varastoimiseen. Yksi perinteinen tapa on vesivoima, jota voidaan varastoida pumppuvoimalla potentiaalienergiaksi. Pumppuvoimalaitoksen toimintaideana on palauttaa vesivoimalaitoksen läpi virrannut vesi pumppaamalla yläaltaaseen, josta se voidaan laskea uudelleen turbiinin läpi. Suomessa ei ole toiminnassa yhtään pumppuvoimalaitosta. /3/

Edelleen on mahdollista tehdä varastointi mekaanisesti mm. vauhtipyöriä tai paineilmaa hyväksi käyttäen, mutta käytännössä niillä ei ole laajempaa merkitystä kuin korkeintaan joissain erikoissovellutuksissa. Vauhtipyörän käytössä on ajatuksena, että pyörivään vauhtipyörään sitoutunut rotaatioenergia voitaisiin muuttaa sähköksi. Paineilmalaitoksen perusideana on, että varastoitua paineilmaa päästetään turbiiniin, jonka avulla saadaan sähköä. Paineilmavarastoa ladataan kompressorilla, kun sähkön kulutus on alhaista ja puretaan huippukulutustilanteissa. /3/

Uutena sähkön varastointikeinona on suprajohtavuuteen perustuvat sähkövarastot. Suprajohteeksi kutsutaan sähköäjohtavaa materiaalia, jolla ei ole ohmista vastusta tai se on lähes nolla. Suprajohtevien sähkövarastojen ideana on varastoida kelaan sähkömagneettista energiaa,

sähkövirtaa. Ohmisen vastuksen ollessa likimain nolla, ei kelassa tapahdu häviöitä ja näin ollen kelassa kiertävä virta ei häviä. Suprajohtavuuteen perustuvalla sähkövarastolla on seuraavia monia etuja; varaston häviöt ovat lähes olemattomat, varastolla on nopea kuormitusvaste (muutama millisekunti) sekä korkea energiatiheys. Edelleen, sähköä ei tarvitse muuntaa toiseen energiamuotoon varastoitaessa. Lisäksi varaston rengasmuodon takia hyvin hallittavat magneettikentän haitat. /3/

Riittävän alhaiseen lämpötilaan päästään käyttämällä johtimen jäähdyttämiseen nestemäistä heliumia noin 4 K:n lämpötilassa. Nestemäinen helium on kuitenkin hyvin kallista. 1980-luvulla ja sen jälkeen on löydetty materiaaleja, joiden kriittinen piste on n. 100 K (ns. kuumat suprajohteet), joka on nestemäisen tyypin kiehumispisteen yläpuolella. Nestemäinen tyyppi on huomattavasti halvempaa kuin helium. Suprajohteiden kaupallista läpimurtoa odotetaan 2000-luvun ensimmäisillä vuosikymmenillä. Tällä hetkellä potentiaalisin johde on kolminkertaisella vismuttikuorella suojattu hopeajohdin, jonka suprajohtava tila saavutetaan jo 110 K:n lämpötilassa. Kunhan suprajohteiden sähköinen toimivuus saavutetaan ja hinta asettuu kilpailukykyiseksi, löytyy niille runsaasti erilaisia sovellutuksia. VTT Energian julkaisun Energia Suomessa mukaan tällaisia ovat sähkön siirto suprajohdelinjoilla, sähkömoottorit, sähkölaitteiden ja prosessien keskeytymättömän saannin varmistaminen sekä sähkövarastot. /3/

Tulevaisuuden ratkaisuihin on esitetty myös sähköenergian varastointia vedyn muodossa. Tällöin veden sähkökemialliseen hajottamiseen vedyksi ja hapeksi käytettäisiin esimerkiksi säteilyenergiaa. Tämänhetkinen tekniikka ei kuitenkaan mahdollista laajempien sovellusten käyttöönottoa. /3/

Taulukossa 11.1 esitetään erilaisten energiavarastojen energiasisältöä. Niistä huomataan, että vedyllä on potentiaalia varastointimuotona.

Taulukko 11.1 Energiavarastojen vertailu. /3/

Varasto	Energiasisältö
Maakaasu	10 kWh/m ³ (0°C, 1000 mbar)
Lyijyakku	0,04 kWh/kg
Vety nesteytettyinä ^[1]	2698 kWh/m ³
Vedyn painevarasto	648 kWh/m ³
Vety metallihybridinä	2090 kWh/m ³
Vety	3,24 kWh/m ³ (+15°C, 1013 mbar)
Vauhtipyörä, teräs	0,05 kWh/kg
Vauhtipyörä, hiilikuitu	0,2 kWh/kg
Vauhtipyörä, sulautettu pii	0,9 kWh/kg
Paineilmavarasto	2,0 kWh/m ³

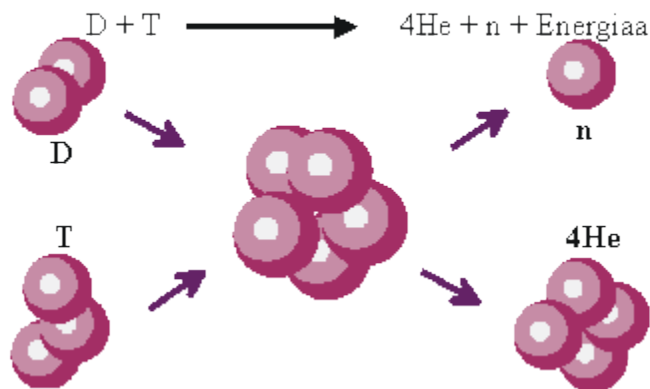
[1] varastointihäviöt merkittävät; nesteytysprosessi n. 30 % varaston energiamäärästä, haihtuminen n. 1 %/vrk.

11.4 Fuusio

Fuusioenergian valjastamiseksi energiantuotantoon on ponnisteltu jo 1950-luvulta lähtien. Fuusiossa energian tuotanto perustuu kahden kevyen atomiytimen yhdistymiseen, jossa samalla

vapautuu runsaasti energiaa. Auringon ja muiden tähtien lämmöntuotto perustuu fuusioreaktioihin.

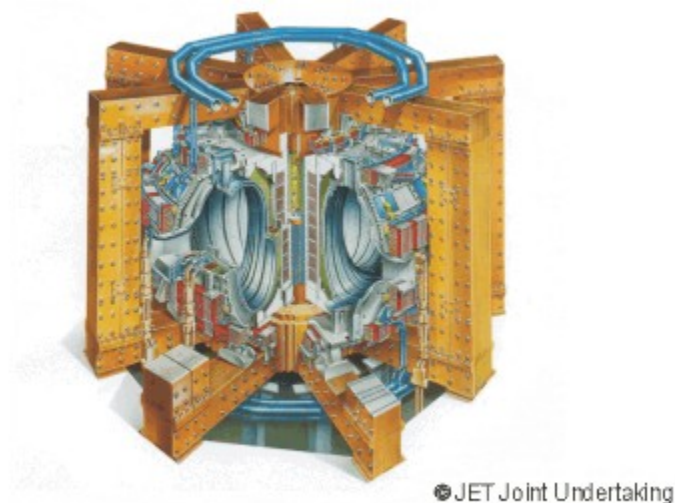
Energiantuotannon kannalta käyttökelpoisin reaktio on raskaiden vetyisotooppien deuteriumin (D) ja tritiumin (T) välinen reaktio. Reaktio on esitetty kuvassa 11.2. Siinä deuterium- ja tritiumytimet yhdistyvät muodostaen heliumytimen ja neutronin. Samalla vapautuu suuri määrä energiaa. Yhdestä grammasta DT-polttoainetta saadaan jopa 95 MWh energiaa. Suurin osa vapautuvasta energiasta siirtyy neutronien liike-energiana fuusioreaktoria ympäröivälle vaipalle, jossa neutronit hidastuvat ja niiden liike-energia muuttuu lämmöksi. Syntynyttä lämpöä käytetään höyryn tuottamiseen ja sitä kautta sähköntuotantoon turbiinin avulla. /5/



Kuva 11.2. Fuusioreaktio. /5/

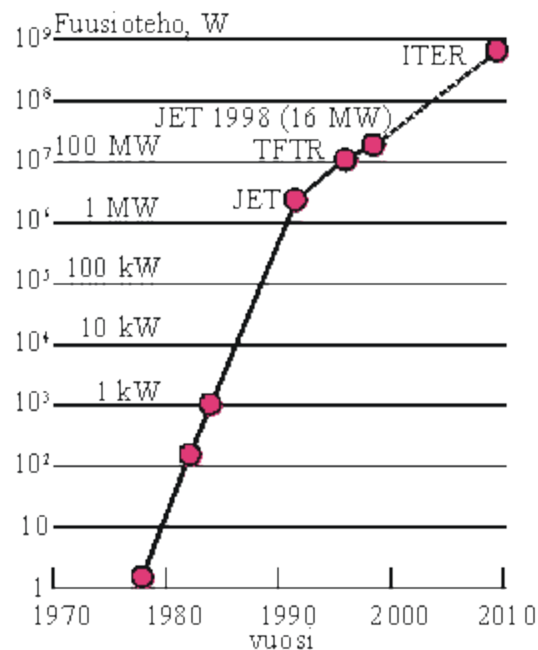
Fuusioreaktion käynnistäminen vaatii deuterium- ja tritiumytimiltä riittävää liike-energiaa, jotta positiivisesti varattujen ytimien välinen poistovoima saadaan ylitettyä. Helpoin tapa on nostaa lämpötila niin korkeaksi, jotta termien energia voittaa sähköisen poistovoiman. Polttoaineen keskellä lämpötila onkin noin 100 miljoonaa astetta ja ulkoreunalla noin 2000 astetta. Tässä lämpötilassa polttoaine on ns. plasmatilassa, jota voidaan pitää aineen neljäntenä olomuotona. Korkea lämpötila on kuitenkin yksi fuusioenergian hyödyntämisen suurista ongelmista, sillä se asettaa käytettäville materiaaleille hyvin suuria vaatimuksia. /5/

Kuvassa 11.3 on tämän hetken maailman suorituskykyisin, tokamak-tyyppinen fuusiokooreaktori JET (Joint European Torus) /<http://www.jet.efda.org/>, joka sijaitsee Culhamissa Englannissa. Tokamakit ovat yleensäkin eniten käytettyjä fuusiokooreaktoreita. Niissä plasma pidetään koossa erittäin voimakkaiden magneettien avulla. /5/



Kuva 11.3. Fuusiokooreaktori JET. /5/, / <http://www.energia.fi/finergy/>

Toinen päävaihtoehto on ns. inertiaalifuusio, jossa polttoaine puristetaan kokoon voimakkaan laservalon tai hiukkassuihkujen avulla. Seuraava kehitysaskel on kansainvälisen fuusiokoereaktorin, ITER:n (International Thermonuclear Experimental Reactor) rakentaminen. Fuusiotehon kehitystä fuusiokoelaitteistoissa on esitetty kuvassa 11.4. /5/



Kuva 11.4. Fuusiotehon kehitys fuusiokoelaitteistossa. /3/

Fuusioenergian hyvinä puolina ovat polttoaineen saatavuuden lisäksi sen turvallisuus ja ympäristöystävällisyys. Polttoaineena käytettävää deuteriumia on lähes loputtomasti esimerkiksi valtamerissä. Fuusiossa “reaktion karkaaminen” ei ole mahdollista eikä se tuota radioaktiivista käytettyä polttoainetta. Ainoastaan reaktorin sisäosien materiaalit aktivoituvat fuusioreaktiossa vapautuvien neutroneiden pommituksissa, ja ne on käsiteltävä kuten muukin radioaktiivinen jäte. Fuusioreaktori ei myöskään tuota kasvihuonekaasu- tai muita päästöjä ilmakehään. /5/

Fusion saaminen kaupalliseen energiantuotantoon on arvioiden mukaan kuitenkin vielä noin 50 vuoden päässä. /5/

LÄHTEET

- /1/ Ekono Oy, Uudet Energiajärjestelmät, Tutkimusohjelma-NEMO, Pienimuotoinen sähköntuotanto, Taustamuistio I - Teknillinen tausta, 1990, 89 s. ja 40 liitesivua.
- /2/ Tekes, Uusien energiamuotojen ja -tekniikoiden tutkimus Suomessa, NEMO 2 -vuosikirja 1994-1995, NEMO-raportti 27, 1996.
- /3/ VTT Energia, Energia Suomessa, Oy Edita Ab 1999, 368 s.
- /4/ Korpinen L., Sähkövoimatekniikka, TTKK 1998, 176 s.
- /5/ Hyvä tietää ydinvoimasta, Energia-alan Keskusliitto ry Finergy 1999.

12 YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN ARVIOINTI (YVA)

Aluksi tarkastellaan ympäristövaikutusten arviointiin liittyviä käsitteitä.

Ympäristövaikutuksella tarkoitetaan hankkeen (esimerkiksi rakennushankkeen) tai sen toiminnan aiheuttamia vaikutuksia ihmisen terveyteen ja elinoloihin, eliöihin, kasvillisuuteen, maaperään, ilmaan ja veteen sekä näiden vuorovaikutussuhteisiin ja luonnon monimuotoisuuteen sekä rakennuksiin, maisemaan ja kulttuuriperintöön.

Ympäristövaikutusten arviointimenettely (YVA-menettely) on menettely, jossa selvitetään ja arvioidaan hankkeen ympäristövaikutuksia ja kuullaan viranomaisia sekä tahoja, joiden oloihin hanke mahdollisesti vaikuttaa.

Ympäristövaikutusten arviointiohjelma on hankkeesta vastaavan laatima suunnitelma tarvittavista selvityksistä sekä YVA-menettelyn järjestämisestä. Arviointiohjelma siis tehdään ensimmäisenä YVA-menettelyn alkaessa.

Ympäristövaikutusten arviointiselostus (YVS) on asiakirja, jossa esitetään tiedot hankkeesta ja sen vaihtoehtoista sekä esitetään arvio näiden ympäristövaikutuksista.

Hankkeesta vastaava on toiminnanharjoittaja tai se, joka muuten on lain mukaan vastuullinen tarkoitettun hankkeen toteuttamisesta.

Yhteysviranomainen on se viranomainen, joka huolehtii siitä, että hankkeelle tehdään ympäristövaikutusten arviointi eli YVA.

12.1 Johdanto

Nykyään ympäristöasioista ollaan kiinnostuneempia ja valistuneempia kuin aikaisemmin. Halu alkaa huolehtia ympäristöstä on saanut aikaan tiukempia ympäristösäädöksiä ja lakeja, joilla pyritään ympäristöä vähemmän kuormittavaan suuntaan. Tiukemmat ympäristömääräykset eivät ainoastaan tarkoita päästöjen pienentämistä, vaan laaja-alaisempaa ympäristön huomioonottamista. On huomioitava maankäytön vaikutuksia luonnon monimuotoisuuteen eli biodiversiteettiin, on tarkasteltava sosiaalisia näkökohtia ja on huomioitava koko kultturiympäristöön aiheutuvia vaikutuksia.

Tällaiseen laaja-alaiseen, kokonaisvaltaiseen tarkasteluun on alettu käyttää ympäristövaikutusten arviointimenettelyä (YVA). YVA-menettely on saanut alkunsa Yhdysvalloista, jossa tätä koskeva laki säädettiin vuonna 1969. Tämän jälkeen siitä on tullut globaali käytäntö, jota ollaan toteutettu Australiassa, Euroopassa ja monissa kehitysmassa.

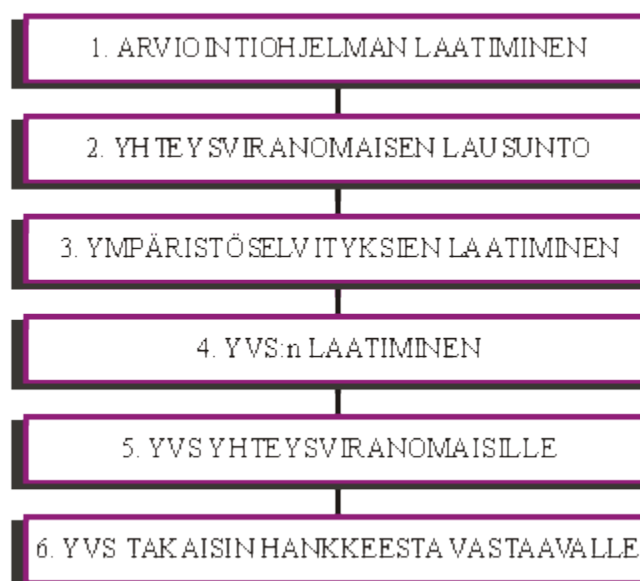
Ympäristövaikutusten arvioinnilla (YVA) tarkoitetaan suunnittelu- ja päätöksentekoprosessia, jonka avulla selvitetään erilaisten rakentamistoimien vaikutusta luontoon, rakennettuun ympäristöön ja yhteiskuntaan sekä esitetään haitallisten vaikutusten estämis- ja lieventämiskeinot. YVA-menettelyyn sisältyy viranomaisten ja muiden tahojen kuulemista, joiden etuihin tai oloihin hanke saattaa vaikuttaa. Pääosa prosessin tuottamasta aineistosta kootaan päätöksentekoa varten ympäristövaikutusten arviointiselostukseksi. Selostuksessa annetaan kokonaiskuva rakennettavasta hankkeesta, sijoituspaikasta ja lähiympäristöstä, päästöistä ja niiden ympäristövaikutuksista, haittojen ehkäisemis- ja pienentämistoimista sekä haittojen seuraamisesta ja hallitsemisesta.

Suomessa alettiin 1990-luvun alkupuolelta lähtien selvittää lainsäädännön uudistamista koskien ympäristövaikutusten arviointia. Prosessi johti siihen, että YVA-laki ja -asetus tulivat voimaan 1.9.1994.

YVA:n tavoitteena on edistää ympäristövaikutusten arviointia ja yhtenäistä huomioonottamista suunnittelussa ja päätöksenteossa teknisten ja taloudellisten asioiden rinnalla sekä lisätä kansalaisten tiedonsaantia ja osallistumismahdollisuuksia.

12.2 Ympäristövaikutusten arviointimenettelyn vaiheet

Ympäristövaikutusten arviointimenettely on kokonaisuudessaan esitetty kuvassa 12.1.



Kuva 12.1. Ympäristövaikutusten arviointimenettely (YVS) vaiheittain

1. *Arviointiohjelman laatiminen*

Ensimmäisenä tehtävänä on arviointiohjelman laatiminen. Ohjelman laatii hankkeesta vastaava henkilö. Ohjelmassa on suunnitelma, mitä selvityksiä on tehtävä sekä miten YVA-menettely kokonaisuudessa järjestetään.

Ohjelma sisältää seuraavia asioita:

1. Tietoa hankkeesta ja sen tarkoituksesta, sijainnista, maankäytöstä ja liittymisestä muihin hankkeisiin sekä hankkeesta vastaavasta.
2. Ohjelmasta tulee käydä ilmi hankkeen toteuttamisvaihtoehdot, joista yhtenä vaihtoehtona on toteuttamatta jättäminen.
3. Tietoa hankkeen toteuttamiseen liittyvistä suunnitelmista, luvista, ympäristövaikutuksia koskevista laadituista ja suunnitelluista selvityksistä sekä ehdotus, miten vaikutusalue rajataan.
4. Ohjelmassa pitää olla suunnitelma tiedottamisen järjestämisestä sekä arvio hankkeen suunnittelu- ja toteuttamisaikataulusta sekä arviointiselostuksen (YVS) valmistumisajankohdasta.

Ohjelman ollessa valmis se luovutetaan yhteysviranomaiselle.

2. *Yhteysviranomaisen lausunto*

Yhteysviranomainen antaa arviointiohjelmasta oman lausuntonsa. Lisäksi yhteysviranomainen hoitaa hankkeesta ja arviointimenettelystä tiedottamisen.

3. *Ympäristöselvityksien laatiminen*

Hankkeesta vastaavan saatua yhteysviranomaisen lausunnon, voidaan alkaa laatia ympäristöselvityksiä arviointiohjelman ja lausunnon pohjalta.

4. *YVS:n laatiminen*

YVS laaditaan tehtyjen ympäristöselvitysten perusteella. Selostuksessa on esitettävä tarpeellisissa määrin arviointiohjelman kolmen ensimmäisen kohdan tiedot tarkistettuina. YVS:ssä pitää olla selvitys hankkeen ja sen vaihtoehtojen suhteesta maankäyttösuunnitelmiin sekä luonnonvarojen käyttöön ja ympäristönsuojelullisiin suunnitelmiin ja ohjelmiin. Selostuksessa esitetään hankkeen teknisiä ratkaisuja, kuvaus toiminnasta kuten tuotteista, tuotantomääristä, raaka-aineista, liikenteestä, materiaaleista ja arvio jätteiden ja päästöjen laadusta ja määristä.

Edelleen esitetään arvioinnissa käytetty keskeinen aineisto sekä selvitys ympäristöstä sekä arvio hankkeen ja sen vaihtoehtojen ympäristövaikutuksista, käytettyjen tietojen mahdollisista puutteista ja epävarmuustekijöistä mukaan lukien arvio mahdollisista ympäristöonnettomuuksista ja niiden seurauksista. On oltava selvitys hankkeen ja sen vaihtoehtojen toteuttamiskelpoisuudesta sekä ehdotus toimista, joilla haitallisia ympäristövaikutuksia pystytään rajoittamaan tai ehkäisemään. Lisäksi on esitettävä ehdotus seurantaohjelmasta sekä yleistajuinen ja havainnollinen yhteenveto kaikista edellisistä kohdista.

5. *YVS toimitetaan yhteysviranomaiselle*

YVS toimitetaan yhteysviranomaiselle, joka huolehtii tiedottamisesta hankkeen vaikutusalueella sekä siitä, että YVS:sta pyydetään tarvittavat lausunnot ja varataan mahdollisuus mielipiteiden esittämiseen. Yhteysviranomainen liittyy YVS:ään omat lausuntonsa sekä muut selostuksesta annetut lausunnot ja esitetyt mielipiteet.

6. *YVS:n toimitus takaisin hankkeesta vastaavalle*

Yhteysviranomaisen palautettua YVS hankkeesta vastaavalle, on arviointimenettely päättynyt ja siirrytään päätöksentekovaiheeseen.

Päätöksentekovaiheessa otetaan huomioon YVS:ssä kerrotut arviot, joiden pohjalta viranomainen

tekee päätöksen. Viranomaisen ei voi myöntää lupaa hankkeen toteuttamiseen ennen kuin se on saanut käyttöönsä YVS:n ja yhteysviranomaisen siitä antaman lausunnon. Lupapäätöksestä on käytävä ilmi, miten arviointiselostus ja siitä annettu yhteysviranomaisen lausunto on otettu huomioon.

12.3 YVA-laatimisperiaatteet Energiasektorille

Energiasektorilla YVA-menettelyä on lain mukaan sovellettava mm. kattila- ja voimalaitoksiin, joiden suurin polttoainetehto on yli 300 MW, yhdyskuntajätteiden polttolaitoksiin, yli 50 000 m³ tilavuisiin öljyn, petrokemian tuotteiden ja kemiallisten tuotteiden varastoihin, vähintään 400 kV:n voimajohdoille sekä ydinvoimalaitoksille ja muille ydinreaktoreille.

12.3.1 Voimalaitoksen suunnitteluvaiheet ja ympäristövaikutusselvitykset

YVA-menettely on siis kaksiosainen. Ensimmäisessä vaiheessa laaditaan ympäristövaikutusten arviointiohjelma, jossa on suunnitelmat tarvittavista selvityksistä ja arviointimenettelyn järjestämisestä. Arviointiohjelmasta saatujen lausuntojen ja selvityksien perusteella tehdään ympäristövaikutusten arviointiselostus (YVS). Se on asiakirja, jossa esitetään tiedot hankkeesta ja sen vaihtoehdoista sekä arvio näiden ympäristövaikutuksista.

Seuraavaksi esitellään voimalaitoksen suunnittelun eteneminen ja sen eri vaiheisiin liittyvät ympäristöselvitykset ja päätökset. Ympäristöselvityksiin pohjautuen tehdään sitten YVS, josta seuraavassa luvussa. Ympäristöselvitysten tarpeellisuus ja taso tulee harkita kulloisenkin hankkeen kohdalla aina erikseen.

Taulukon 12.1 yläosassa kuvataan, mitä laitostietoja on käytettävissä ja mitä päätöksiä tehdään eri suunnitteluvaiheiden jälkeen. Alaosassa kerrotaan, mitä laitostietoja tarvitaan eri ympäristöselvitysten tekemiseen.

Taulukko 12.1. Eri suunnitteluvaiheiden jälkeen saatavilla olevat ja ympäristöselvityksissä tarvittavat tiedot

Suunnitteluvaiheen jälkeen käytettävissä olevat tiedot laitoksesta Suunnitteluvaihe	Sijointuspaikka	Laitoksen koko, pääpolttoline, alustava tekniikka ja päästöt	Vaihtoehdon valinta	Perustekniikka ja päästöt	Yksityiskohtaiset tekniset ratkaisut
Strategiaselvitykset	?	?	-	-	-
Kannattavuusselvitykset	OK	+	+?	?	-
Esisuunnittelu	OK	OK	OK	OK	+
Toteutussuunnittelu	OK	OK	OK	OK	OK
Ympäristöselvitys	Ympäristöselvitykseen tarvittavat laitoksen tiedot				

□					
Ympäristön nykytilaselvitys (1)	+	-	-	-	-
Alustavat ympäristövaikutusarviot	+	+	?	-	-
Ympäristövaikutusarviot	OK	OK	?	OK	-
Ympäristövaikutukset	OK	OK	OK	OK	*

Käytettävissä oleva tieto:

- kyseistä tietoa ei ole tai selvitystä tai päätöstä ei ole vielä tehty
- ? vaihtoehtoisia ratkaisuja voi olla useita
- + pääperiaatteet selvillä, selvitykset tai päätökset alustavia
- OK asia tiedossa, päätökset ja selvitykset tehty
- * tarvitaan käyttökokemuksia ja seuranta

1) ympäristön nykytilaselvitystarpeeseen vaikuttaa myös laitoksen koko ja tyyppi

Ympäristöselvitykset voidaan jakaa kahteen eri osaan: ympäristön nykytilaselvityksiin ja ympäristövaikutusarvioihin.

Ympäristön nykytilaselvityksissä selvitetään rakennetun ja luonnon ympäristön nykytilaa. Rakennetulla ympäristöllä ymmärretään tässä mm. alueella olevaa väestöä, heidän elinkeinonsa ja harrastustoimintaansa sekä rakennuksia ja rakennelmia. Luonnon ympäristö on sen sijaan ilma, vesi, maaperä sekä eläimistö ja kasvisto. Nykytilan selvittäminen perustuu tehtyihin kenttätutkimuksiin ja suoritettuun seurantaan.

Ympäristövaikutusarviossa pyritään selvittämään voimalaitoksen rakentamisesta ja käytöstä aiheutuvia ympäristövaikutuksia niin rakennettuun kuin luonnon ympäristöön. Vaikutusarviointi perustuu nykytilakuvauksiin sekä laitoksen rakentamisesta ja käytöstä aiheutuneisiin muutoksiin. Arviointiin tulee ottaa huomioon myös muiden laitosten päästöt sekä alueen muut suunnitelmat. Lopullisia vaikutuksia on käytännössä mahdotonta sanoa aivan tarkkaan etukäteen, vaan ne selviävät vasta laitoksen ollessa toiminnassa. Ympäristövaikutusten arviointiselostuksessa, YVS:ssä, esitetään ja perustellaan tärkeimpiä vaikutuksia.

Strategiaselvitys on pitkän aikavälin energianhuoltosuunnitelma, jossa esitetään, millä vaihtoehtoilla tulevaisuuden energiantarve voidaan tyydyttää (esimerkiksi polttoaineet ja laitostyyppit). Tässä vaiheessa selvitetään lisäksi sijoituspaikkavaihtoehdot ja annetaan ehdotus sijoituspaikasta. Lisäksi kuunnellaan ympäristön asukkaita, joilla on mahdollisuus antaa hankkeesta oma näkökantansa lausuntona.

Koska tässä vaiheessa hankkeeseen liittyvät tiedot ovat vielä karkeita ja laitostyyppejäkin voi sijoituspaikkavaihtoehtojen kanssa olla useita, selvityksetkin ovat vielä yleisluontoisia.

Kannattavuusselvityksessä selvitetään eri energianhankintavaihtoehtoista toteuttamiskelpoisimmat. Vaihtoehtoina voi olla esimerkiksi energian osto, pelkän lämmön tuotanto, yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto, polttoainevaihtoehdot ja erilaiset tekniset perusratkaisut. Voimalaitosvaihtoehtoista määritetään alustavasti tontille sijoitus, pääpolttoaineet, laitoksen koko ja suoritusarvot, ympäristöpäästöt, investointi- ja käyttökustannukset sekä energianhankinnan kustannukset.

Kannattavuusselvityksen kanssa olisi suositeltavaa, mikäli samalla tehtäisiin alustava ympäristöselvitys. Näin ollen YVA-lain tavoitteiden mukaan ympäristövaikutuksia tulisi otettua huomioon jo suunnitteluvaiheessa. Alustavassa ympäristöselvityksessä voi olla mm. kuvaus eri

voimalaitoshankkeista, yhteenveto eri vaihtoehtojen päästöistä ja ympäristövaikutuksista, yhteenveto eri vaihtoehtojen ympäristömääräyksistä, alustava aikataulu projektista ja haettavista luvista sekä yhteenveto sijoituspaikan ympäristökuvauksesta.

Kannattavuusselvityksen yhteydessä tai sen jälkeen laaditaan YVA-ohjelma ja hankitaan siitä viranomaislausunnot. Selvityksen pohjalta tehdään alustava päätös toteuttamiskelpoisista energianhankintavaihtoehdoista. Selvityksen perusideana on, että investointivaihtoehtojen määrä saataisiin mahdollisimman pieneksi, mielellään yhteen.

Kannattavuusselvityksen ollessa valmis, on suositeltavaa pitää hankkeesta tiedotustilaisuus, johon kutsutaan viranomaisia ja alueen asukkaita sekä muita etujärjestöjä kuulemaan eri vaihtoehtoista ja niiden kannattavuudesta ja ympäristövaikutuksista.

Esisuunnittelu painottuu selvitysvaiheen toteuttamiskelpoisimman investointivaihtoehdon teknis-taloudelliseen suunnitteluun. Lisäksi esisuunnittelussa tarkennetaan vielä muiden toteuttamiskelpoisten energian hankintavaihtoehtojen kustannuksia.

Tässä vaiheessa laaditaan riittävän tarkka investointi- ja käyttökustannusarvio lopullista toteutuspäätöstä varten. Esisuunnittelun tehtävänä on perusmitoitus, teknisen tason määrittäminen, määrälaskenta, päälaitteiden hankintasuunnittelu, kokonaisuajataulun laatiminen, esisopimusten valmistelu, rahoitus- ja kannattavuuslaskelmat, ympäristövaikutusten arviointi sekä lupa-asiakirjojen valmistelu.

Esisuunnitteluvaiheessa tiedetään laitoksen tekniikka jo niin hyvin, että pystytään tekemään melko tarkkoja määrällisiä ympäristövaikutusarvioita. Ympäristövaikutusten arviointiohjelman ja siitä saatujen lausuntojen avulla saadaan tietoa, mitä ympäristöselvityksiä tulee laatia arvioinnin aikana hankkeen suunnittelun ja YVS:n toteuttamiseksi. Arvioinnin toteuttamisen aikana ollaan avoimessa yhteydessä viranomaisten lisäksi alueen etujärjestöjen edustajiin.

Kansalaisille voidaan järjestää alustavasta arviointiselostuksesta tiedotustilaisuus. Esisuunnittelun valmistuttua voidaan ympäristövaikutusten arviointiselostusta täydentää ja se voidaan kuuluttaa.

Esisuunnittelun jälkeen voidaan toimia jonkun seuraavan vaihtoehdon mukaan:

1. Päätetään olla rakentamatta mitään.
2. Siirtää toteutuspäätös myöhempään ajankohtaan.
3. Tehdä alustava toteutuspäätös lisäselvityksiä varten.
4. Tehdä toteutuspäätös, jolloin rakentamisprojekti käynnistyy.

Esisuunnitteluvaiheessa on saatu laitteiden toimittajilta tarjouksia sekä tekniikasta, suoritusarvoista ja hinnoista ollaan neuvoteltu. Eri laitetoimittajilla saattaa olla eroja tekniikoissa ja sitä myöten päästöissä. Päästöt voidaankin esittää tarkemmin vasta, kun laitteet on käytännössä tilattu. Toteutussuunnittelussa voidaankin joutua täydentämään esisuunnittelun perusteella tehtyjä ympäristöselvityksiä.

Laitetilausten jälkeen aloitetaan yksityiskohtainen laite- ja rakennussuunnittelu ja apulaitteiden hankintasuunnittelu. Valitaan laitetoimittajat ja rakennusurakoitsijat. Suunnittelun ja laitevalintojen edetessä täsmentyvät tekniikka ja päästöt. Lopullinen tieto päästöistä saadaan luonnollisesti vasta laitoksen ollessa käytössä.

12.3.2 Ympäristöselvitysten ajoittaminen voimalaitoshankkeessa

Ajoittamisessa on kaksi tärkeää seikkaa. Ensiksikin, laitoksen suunnittelun tulee olla edennyt niin pitkälle, että tarvittavat tiedot laitoksesta ympäristöselvityksiä varten ovat olemassa. Toiseksi riippuu suunnitteluvaiheesta kuinka monta energianhankintavaihtoehtoa on selvittelyn alla eli kuinka monesta vaihtoehdosta joudutaan tekemään ympäristöselvityksiä.

Voimalaitoksen suunnitteluvaiheet ovat aikajärjestyksessä (ks. taulukko 11.1) strategiaselvitykset, kannattavuusselvitykset, esisuunnittelu ja toteutussuunnittelu. Riippuu aina suunnitteluvaiheesta, kuinka paljon tietoa ympäristöselvityksiä varten on saatavilla. Mitä pidemmällä suunnittelu on, sitä enemmän tietoa on saatavilla.

Voidaan esittää kolme periaatteellista vaihtoehtoa ympäristöselvitysten ajoittamiselle ja lupiasiakirjojen valmistelulle. Vaihtoehtoja ovat perinteinen tapa, selvittävä tapa sekä viivytetty tapa.

Perinteisessä tavassa YVA-ohjelma laaditaan esisuunnitteluvaiheessa ja ympäristöselvitykset ja lupahakemukset tehdään vasta toteutussuunnittelun käynnistyttyä.

Selvittävässä tavassa ympäristöselvitykset ja muut lupahakemukset paitsi rakennuslupa tehdään esisuunnittelun aikana ja toteutussuunnittelu käynnistetään vasta kun lupapäätökset ja lausunto YVS:stä on saatu.

Viivytetyssä tavassa ympäristöselvitysten teko ja lupahakemusten jättö tapahtuu vasta esisuunnittelun valmistuttua. Kun lupapäätökset ja lausunto YVS:stä on saatu, aloitetaan toteutussuunnittelu.

Perinteisessä tavassa otetaan riski siitä, että lupapäätöksissä esitetään toiminnalle ehtoja, joihin ei suunnittelussa oltu varauduttu. Mitä aikaisemmassa vaiheessa ympäristövaikutusten selvittäminen otetaan suunnitteluun mukaan ja hoidetaan yhteydet viranomaisiin, sitä vähemmän on odotettavissa “yllätyksiä” toiminnalle asetettavissa ehdoissa.

Selvittävässä tavassa ympäristövaikutusselvityksiä tehdään muita tapoja useammista vaihtoehdoista. Tällöin myös kustannukset saattavat nousta muita tapoja jonkun verran korkeammiksi. Aloitettuja selvityksiä täydennetään hankesuunnittelun edetessä, jolloin sellaiset vaihtoehdot, joita ei varmasti tulla toteuttamaan voidaan jatkossa jättää ympäristöselvityksissä käsittelemättä.

Perinteisessä ja viivytetyssä tavassa ympäristöselvitykset aloitetaan niin myöhäisessä vaiheessa, että vaihtoehtojen määrä on minimissään. Tällöin voidaan saavuttaa kustannussäästöjä selvittävään tapaan nähden, mutta toisaalta päätöksenteossa ei ole tietoa ympäristövaikutuksista.

Suosittelavana tapana pidetään selvittävää tapaa, jossa YVA-lain hengen mukainen menettely toteutuu todennäköisesti parhaiten.

12.3.3 Ympäristövaikutusten arviointiselostuksen (YVS) tavoitteet ja sisältö

YVS:n tavoitteena on antaa monipuolinen kokonaiskuva hankkeesta, sen päästöistä ja ympäristövaikutuksista sekä sijoituspaikasta ja lähiympäristöstä. Selostuksessa perustellaan niin valittu rakennusvaihtoehto kuin poisrajatutkin vaihtoehdot. Siinä esitetään kaavoitus- ja lupatilanteiden päätökset ja mitä lupia hanke vaatii sekä mitä asioita luvissa käsitellään. YVS:ssä annetaan tiedot hanketta koskevista määräyksistä, normeista ja ohjeistoista. Selostus sisältää voimalaitoksen kuvauksen ja päästöt. Siinä kerrotaan sekä voimalaitoksen sijoittuminen ympäristöön että siellä olevista erikoiskohteista, kuten luonnonsuojelualueista, uhanalaisista eläimistä ja sairaaloista. YVS:ssä selvitetään, onko alueella tehty esimerkiksi kenttätutkimuksia ja mitkä ovat niiden johtopäätökset sekä arvioidaan mihin rakennettavalla hankkeella ja sen käytöllä voi olla vaikutuksia. Rakennettavaan ympäristöön kohdistuvista vaikutuksista selvitetään mm. vaikutukset rakennuksiin sekä maa- ja vesialueisiin, polttoaineiden varastoinnin ja kuljetuksen järjestäminen, hankkeen työllistävät vaikutukset sekä mahdolliset vaikutukset alueen virkistys- ja viihtyvyyseikkoihin. Hankkeen teknisiä- ja polttoainevaihtoehtoja vertaillaan ja valittuja vaihtoehtoja perustellaan. Voimalaitoksen kuvauksessa esitetään syntyvät jäähdytys- ja jätevesipäästöt alustavien suunnitelmien perusteella sekä tehdään alustava arvio vesistövaikutuksista. Jätehuollon osalta esitetään voimalaitoskuvauksen yhteydessä syntyvät jätteet, niiden määrät ja niiden sijoituspaikka.

YVS:n sisällön syvyys riippuu, missä vaiheessa suunnittelua se tehdään. Mitä myöhemmin YVS laaditaan, sitä enemmän on tietoa hankkeen ympäristövaikutuksista ja tällöin analyysi on syvällisempi. Myöhään laaditun YVS:än heikkoutena on kuitenkin se, että kansalaisten vaikutusmahdollisuudet pienenevät.

LÄHTEET

/1/ Seppälä, R., Energiantuotantolaitosten ympäristövaikutusten arviointi, Kauppa- ja teollisuusministeriö, tutkimuksia ja raportteja 86/1995, 100 s.

13 SÄHKÖN TUOTANNON YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

Energian ja sähkön tuotantoon käytettävien orgaanisten polttoaineiden, esimerkiksi kivihiihlen, öljyn, maakaasun ja turpeen, polttaminen synnyttää päästöjä. Merkittävimpiä päästöjä ovat rikin oksidit, typen oksidit, erilaiset hiukkaspäästöt ja metallit, hiilivedyt, radioaktiiviset aineet sekä hiilimonoksidi ja hiilidioksidi, joka on tällä hetkellä maapallon vaikein päästöongelma. Päästöjen suuruus riippuu monesta seikasta, joten niiden tarkka laskeminen on usein vaikeaa. Käytetyn polttoaineen määrän lisäksi päästöjen määrään vaikuttavat polttoaineen hiili- ja rikki- pitoisuudet, käytettävät polttoprosessit ja -tekniikat sekä puhdistusmenetelmät. Tulevaisuudessa uusilla energiantuotantomuodoilla odotetaan olevan yhä suurempi merkitys päästöjen vähentäjinä. /1/

13.1 Polttoaineiden ominaispäästöt

13.1.1 Rikkipäästöt

Rikkipäästöjä (SO_x) syntyy lähinnä fossiilisten polttoaineiden poltosta. Tärkeimmät lähteet ovat hiili, turve ja öljy. Rikkidioksidipäästöjä syntyy polton yhteydessä polttoaineen sisältämien rikkiyhdisteiden hapettuessa rikkidioksidiksi. Suurin osa rikistä on savukaasuissa ja pieni osa jää poltossa syntyvään tuhkaan. Rikkiä voidaan poistaa savukaasuista teknisin keinoin esimerkiksi syöttämällä kalkkia prosessiin. Poistamiseen voidaan käyttää myös varsinaisia rikinpoistolaitoksia. Taulukossa 13.1 on esitetty sähkötuotannossa syntyvät rikkipäästöt vuosina 1990-1997. /2/

Taulukko 13.1 Sähkön tuotannon rikkipäästöt vuosina 1990 - 1997. /3/

Vuosi	SO_x -päästöt / 1000 t
1990	52,1
1991	40,3
1992	25,8
1993	27,5
1994	27,0
1995	21,6
1996	28,1
1997	25,7

13.1.2 Typen oksidit

Typen oksidien (NO_x) muodostuminen riippuu vain osittain käytetystä polttoaineesta. Ennen kaikkea se riippuu käytettävästä polttotekniikasta. Merkittävimmät päästölähteet ovat hiili-, turve- ja sekapolttokattilat. Energiantuotannon savukaasuissa typen oksideja esiintyy lähinnä typpimonoksidina NO ja typpidioksidina NO_2 . Tyypillisissä kattiloissa NO osuus NO_x -päästöistä on noin 95 %. Taulukossa 13.2 on esitetty sähköntuotannon typen oksidien päästöt vuosina 1990-1997. /4/

Taulukko 13.2 Typen oksidien päästöt sähköntuotannossa vuosina 1990 - 1997. /3/

Vuosi	NO_x -päästöt / 1000 t
1990	37,8
1991	40,0

1992	31,2
1993	33,0
1994	35,3
1995	24,6
1996	32,6
1997	29,3

13.1.3 Hiukkaspäästöt

Hiukkaspäästöjä syntyy lähinnä kiinteitä polttoaineita poltettaessa. Ne muodostuvat pääosin polttoaineen sisältämästä tuhkasta. Polttotekniikasta riippuen poltossa tulee päästönä myös palamatta jäänyttä polttoainetta. Hiukkaspäästöt hallitaan melko hyvin. Voimalaitoksissa hiukkaspäästöjä vähennetään sähkösuodattimien avulla. /3/

13.1.4 Raskasmetallit

Energian tuotannon raskasmetallien kokonaispäästöt eivät ole kovin suuret verrattuna esimerkiksi teollisuuden metallipäästöihin. Hiilen, raskaan polttoöljyn, turpeen sekä yhdyskunta- ja teollisuusjätteiden polton yhteydessä vapautuu metalleja kuten elohopeaa (Hg), kadmiumia (Cd), lyijyä (Pb), nikkeliä (Ni) ja sinkkiä (Zn) ja kromia (Cr). Raskasmetallit säilyvät luonnossa hajoamattomina pitkään ja näin aiheuttavat terveydellisiä riskejä. /5/

13.1.5 Hiilivety-päästöt

Hiilivety- ja polyaromatitiset hiilivety-päästöt (PAH) syntyvät epätäydellisessä palamisessa. Nämä päästöt ovat yleensä sitä pienempiä mitä suuremmasta laitoksesta on kysymys, käytettiinpä polttoaineena sitten kivihiiltä, turvetta tai öljyä. PAH-yhdisteiden muodostuminen on vähäistä, jos polttoaineen ja ilman sekoittuminen on tehokasta, polton ilmaylimäärä on riittävän suuri, palamislämpötila riittävän korkea ja palamiskaasuilla on riittävän pitkä viipymisaika kattilassa. Pienkattiloissa päästöjen määrät ovat suuret juuri epätäydellisen palamisen vuoksi. /4/

13.1.6 Hiilidioksidi ja hiilimonoksidi

Kaikkien fossiilisten polttoaineiden poltossa syntyy hiilidioksidia (CO₂). Energiatuotannossa suurimmat päästölähteet ovat hiili ja öljy. Myös maakaasun poltossa syntyy hiilidioksidipäästöjä, mutta ne ovat noin puolet pienempiä kuin hiilellä ja öljyllä tuotettua energiaa yksikköä kohden. Hiilidioksidipäästöjen vähentäminen ympäristön kannalta olisi ensiarvoisen tärkeää. Se on kuitenkin erittäin vaikeaa, sillä maailman energianhuolto perustuu pääosin fossiilisiin polttoaineisiin. /2/

Hiilimonoksidia (CO) syntyy polttoaineen epätäydellisessä palamisessa. Nopean muodostumisen jälkeen hiilimonoksidi hapettuu edelleen hitaasti hiilidioksidiksi riittävän suuressa ilmaylimäärässä

ja korkeassa lämpötilassa. Suurissa, hyvin toimivissa voimalaitoksissa hiilimonoksidipäästöt ovat 10-100 kertaa pienemmät kuin pienissä kattiloissa. /2/

13.1.7 Radioaktiiviset aineet

Radioaktiivisien aineiden päästöjä syntyy ydinvoimalaitoksissa. Myös mm. kivihiili- ja turvevoimalaitokset aiheuttavat jossain määrin radioaktiivisten aineiden päästöjä kuten luonnon hajoamissarjojen isotooppeja. Voimaloiden normaalissa toiminassa nämä päästöt ovat pieniä ja ne peittyvät luonnon taustasäteilyn vaihteluihin. Lähes kaikki ydinvoimalaitoksissa syntyvät radioaktiiviset aineet kerätään talteen ja eristetään ympäristöstä. Pieni osa niistä pääsee kuitenkin jäähdytysvesien ja ilmanvaihdon kautta ympäristöön. Ilmakehään joutuu erittäin pieniä määriä fissiona syntyneitä jalokaasuja, kaasumaisia aktivoitumistuotteita, tritiumia, halogeeneja ja kiinteitä hiukkasia. Veteen siirtyy tritiumia, fissiotuotteita ja aktivoituneita korroosiotuotteita. Suurin osa ympäristöön leviävistä radionuklideista on lyhytikäisiä ja niiden vaikutus rajoittuu vain laitosten ympäristöön ja lähialueille. Säteilyturvakeskus on määrännyt Suomessa laitoksille päästöarvot siten, että päästöistä ei saa aiheutua henkilölle enempää kuin 0,1 mSv suuruinen säteilyannos vuodessa. Tämä arvo on parin prosentin luokkaa suomalaisten muista syistä saamasta keskimääräisestä vuotuisesta säteilyannoksesta. /2/

Normaalissa toiminnassa päästöt ovat siis pienet. Mahdollisissa ydinvoimala-onnettomuuksissa radioaktiivisten aineiden päästöt saattavat kuitenkin olla hyvinkin suuret ja aiheuttaa luonnolle ja ihmisille erittäin suuria haittoja.

13.1.8 Jätteet

Jätteitä syntyy polttoaineiden jalostusprosesseissa ja energiantuotannossa. Pääsääntöisesti suurimmat jätemäärät syntyvät kiinteiden polttoaineiden louhinnassa ja hankinnassa sekä jalostuksessa. Merkittävimmät jätteiden synnyttäjät ovat kivihiili ja turve. Energiantuotannon jätteiksi lasketaan myös välillisesti syntyvät kuten energiantuotannon materiaalien valmistuksen ja käytöstä poiston yhteydessä syntyvät jätteet. Näin jätteitä synnyttävät myös yleisesti puhtaaksi ajatellut energialähteet kuten vesi, tuuli ja aurinko. /4/

Itse tuotannosta syntyvät jätteet ovat pääosin erilaisia tuhkia. Niiden lisäksi syntyy myös erilaisia jäteliemiä. Jätteitä pyritään hyödyntämään mahdollisimman tehokkaasti. Esimerkiksi tuhkaa voidaan käyttää rakennusaineteollisuuden raaka-aineena, tienrakennusaineena ja maanparannusaineena. Loppuen lopuksi jää kuitenkin aina jätettä, jota ei voida hyödyntää. Se sijoitetaan kaatopaikoille tai varastoidaan siten, ettei haitallisia aineita pääse leviämään ympäristöön, ilmaan, maaperään tai pinta- ja pohjavesiin. /4/

13.2 Ympäristövaikutukset

Energiantuotannon- ja käytön yhteydessä syntyy aina niiden aiheuttamien päästöjen kautta haitallisia vaikutuksia ympäristöön. Hyvin erilaisten ympäristövaikutusten keskinäinen vertailu on vaikeaa. Mutta selkeä yksimielisyys vallitsee siitä, että vakavimmat ympäristöhaitat aiheutuvat fossiilisten polttoaineiden käytöstä.

Eri päästöjen vaikutukset kohdistuvat eri alueille kuten ilmaan, veteen, maaperään, ihmisen terveyteen yms. Päästöt eivät rajoitu maan rajoihin vaan niitä kulkeutuu mm. tuulien mukana muualta. Siksi pyrkimys päästöjen vähentämiseen onkin maailmanlaajuinen ongelma.

13.2.1 Rikkidioksidi ja typen oksidit

Rikkidioksidi (SO_2) ja typen oksidit (NO_x) aiheuttavat happamoitumista. Happamoitumisella tarkoitetaan happaman laskeuman aiheuttamia muutoksia vesissä ja maaperässä. Joutuessaan ilmakehään rikin oksidit reagoivat ilman sisältämien eri aineiden kanssa muodostaen happamia yhdisteitä, happoja. Syntyneet hapot laskeutuvat maaperään ja vesistöihin mm. sateiden mukana. /2/

Happamoituminen vaikuttaa kasvien ja eliöiden elinolosuhteisiin. Sitä tarkasteltaessa on vaikutukset maaperään avainasemassa. Maassa on runsaasti kasvillisuudelle välttämättömiä positiivisia ioneja kuten kalsiumia. Happamoitumisen seurauksena vetyionien määrä maaperässä nousee ja ne syrjäyttävät ravinneionit hiukkasten pinnalta. Irronneet ravinneionit huuhtoutuvat veden mukana maaperässä kasvien juurten ulottumattomiin ja näin kasvien ravinnetasapaino järkkyy. Hapot voivat liuottaa maaperästä myös alumiinia, joka normaalioloissa on sinne sitoutuneena muodossa, joka ei vahingoita kasvillisuutta. Irronneina alumiini-ioneina se kuitenkin muodostaa yhdisteitä maaperän fosforin kanssa. Tällöin kasveille välttämättömän fosforin saanti vaikeutuu. /2/

Hapan laskeuma voi myös syövyttää suoraan puiden neulasia ja lehtiä ja liuottaa niistä tärkeitä aineita kuten magnesiumia ja kalsiumia. Vesistöihin joutuessaan happamat laskeumat ja maaperästä liuenneet haitalliset aineet lisäävät veden happamuutta ja heikentävät kasvien ja eliöiden elinolosuhteita. Pahimmassa tapauksessa veden happamoituminen kadottaa vesistöstä lähes kaiken kasvillisuuden ja eliölajit. /2/

13.2.2 Hiilidioksidi

Hiilidioksidi on yksi merkittävimmistä kasvihuonekaasuista. Kasvihuoneilmiö saa aikaan ilmaston lämpenemisen maapallolla. Kasvihuoneilmiötä ja siitä seuraavaa ilmaston muutosta pidetään nykyään pahimpana ympäristöuhkana. Kasvihuoneilmiön vaikutuksista esitetään monenlaisia mielipiteitä. Ne perustuvat erilaisiin ennustuksiin ja oletuksiin. Varmaa kuvaa vaikutuksista on vaikea saada, sillä ilmastonmuutoksiin liittyy monia vastakkaisia ilmiöitä. Esimerkiksi ilmaston lämpenemisestä johtuvat valtamerien lämpeneminen ja napa- ja alppialueiden sulaminen sitovat lämpöä ja täten hidastavat kasvihuoneilmiön aiheuttamaa lämpötilan nousua. /1/

13.2.3 Raskasmetallit

Hiilen, turpeen ym. polton yhteydessä vapautuu pieniä määriä metalleja. Metalleja kulkeutuu ympäristöön mm. ilman kautta. Niiden pitoisuuksien mittaaminen suoraan ilmasta on vaikeaa, sillä niiden määrät ovat kuitenkin pienet. Ilman kautta metallit joutuvat laskeumina maaperään, vesiin ja maalla viljeltäviin kasveihin. Sitä kautta ne kulkeutuvat edelleen ravinnon mukana eläimiin ja ihmisiin, aiheuttaen elimistöön kertyessään terveydellisiä haittoja. Esimerkiksi ihmisen keskushermosto on altis alumiinin haitallisille vaikutuksille ja kadmium taas kertyy ihmisen maksaan ja munuaisiin. Raskasmetallipäästöjä voidaan vähentää käyttämällä sellaisia raaka-aineita, joiden raskasmetallipitoisuus on mahdollisimman alhainen sekä vähentämällä raskasmetallien käyttöä prosesseissa. Tähän tavoitteeseen voidaan päästä teknisillä ratkaisuilla, puhdistustekniikoilla ja prosessimuutoksilla. /4,5/

13.2.4 Hiukkaspäästöt

Ongelmallisimpia kiintoainepäästöjä ovat kaikkein pienimmät hiukkaset. Haitallisten aineiden hiukkaset ovat vaaraksi ihmisen terveydelle, koska ne pääsevät usein helposti kulkeutumaan hengitysilman mukana keuhkoihin ja sieltä edelleen elimistöön. Elimistöön kulkeutuneet hiukkaset saattavat olla mm. karsinogeenisia tai mutageenisia. /4/

13.2.5 Hiilivedyt

PAH-yhdisteet leviävät ilman kautta maaperään. Ilmassa PAH-yhdisteet hajoavat UV-valon vaikutuksesta. Maassa ne absorboituvat eloperäiseen aineeseen. Niiden on todettu hajoavan maassa, tosin suhteellisen hitaasti. Maan humuspitoisuus edistää PAH-yhdisteiden kulkeutumista kasveihin. Ihmisiin PAH-yhdisteet kulkeutuvat mm. perunoista ja porkkanoista, joista on löydetty suurimpia pitoisuuksia. PAH-yhdisteet samoin kuin niiden hajoamistuotteet ovat karsinogeenia tai mutageeneja. /4/

13.2.6 Radioaktiiviset aineet

Käsitykset säteilyn aiheuttamista terveyshaitoista vaihtelevat eri tutkijoiden arvioissa ja säteilyn haittavaikutuksia on hyvin vaikea yksiselitteisesti tunnistaa. Ionisoivan säteilyn terveysvaikutuksista tunnetuin on sen aiheuttama syöpävaara. Valtaosan säteilyaltistuksesta ihminen saa ravinnon, juomaveden ja hengitysilman kautta, kun hajotessaan ionisoivaa säteilyä tuottavia aineita kulkeutuu ihmisen elimistöön. Ihmisten aiheuttamien radioaktiivisia isotooppeja ja niiden vaikutuksia ovat mm. cesium-137, jonka kertyminen lihaksiin ja maksaan lisää syöpäriskiä, jodi-131, joka kulkeutuu kilpirauhaseen ja aiheuttaa syöpää 20-30 vuoden kuluttua sekä strontium-90, joka varastoituu luustoon ja aiheuttaa leukemiaa. /2/

Radioaktiivisten laskeumien voimakas lisääntyminen esimerkiksi voimalaonnettomuuden johdosta aiheuttaa mutaatioita luonnon- ja viljelykasveissa. Myös eläimille saattaa syntyä epämuodostuneita jälkeläisiä.

13.3 Sähkön siirron ja jakelun ympäristövaikutukset

Sähkön kulutus on kasvanut voimakkaasti viime vuosikymmeninä. Sen seurauksena sähköjohtoja on rakennettu yhä lisää. Siirtojohdoissa siirretään yhä suurempia tehoja, joten johtojen virrat ovat kasvaneet. Tämän seurauksena myös magneettikentät ovat kasvaneet. Sähkökenttien osalta asiaan vaikuttaa uudet ICNIRP:in (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) raja-arvot ja EU:n komission ICNIRP:in esitykseen pohjautuvat raja-arvot. /6,7/

Kaikki ympäristössä olevat virralliset sähköjohdot synnyttävät ympärilleen magneettikentän ja vastaavasti jännitteiset johdot synnyttävät sähkökentän. Siirtojohtojen sähkökentät ovat jakelujohtojen kenttiä suuremmat, koska siirtojännitteet ovat jakelujännitteitä huomattavasti suurempia. Myös magneettikentät ovat olemassa olevilla siirtojohdoilla yleensä suuremmat kuin jakelujohdoilla, joskin syy siihen on lähinnä johtojen geometriassa. Maakaapeleilla ei synny ympäristöön juurikaan sähkökenttää ja magneettikentän vaikutus rajoittuu pienelle alalle.

Vaikka jakelujohtojen kentät ovat siirtojohtojen kenttiä pienemmät, on niiden vähentäminen tärkeää, koska johdot sijaitsevat lähellä asutusta ja työympäristöä. Vähentämiseen voidaan kuitenkin käyttää

samoja periaatteita sekä jakelu- että siirtojohdoilla.

Uusien johtojen rakentamisen yhteydessä kenttiin voidaan vaikuttaa pienemmin kustannuksin kuin vanhoja johtoja muutettaessa. Siksi on tärkeää tuntea kenttiin vaikuttavat asiat ja suunnittelunäkökohdat.

13.3.1 Sähkön siirron- ja jakelun sähkö- ja magneettikentät

Sähkövaraus (sähkövirta) synnyttää ympärilleen sähkökentän (magneettikentän). Kolmivaiheisen järjestelmän vaihejännitteet (vaihevirratt) vaihtelevat sinimuotoisesti ja niiden summa on nolla. Jokaisen vaiheen aiheuttama kenttä vaihtelee sinimuotoisesti. Maksimiarvot ovat kuitenkin eri vaiheilla eri aikaan. Kun lisäksi vaiheet sijaitsevat erillään, ei niiden aiheuttama summakenttä saa (tarkasti) arvoa nolla millään ajanhetkellä; siksi summakenttää kutsutaankin usein elliptisesti polarisoituneeksi. Elliptisesti polarisoituneesta kentästä ei suoraan voi sanoa, milloin se saa maksimiarvonsa.

Sähköjohdoilla johtimien vaiheväliin vaikuttaa huomattavasti pylvästyppi ja jännitetaso. 400 kV ja 220 kV verkoissa käytetään yleisimmin metallista harustettua portaalipylvästä. Jonkin verran käytetään myös vapaasti seisovia tannenbaum-pylväitä. 110 kV verkoissa yleisimmin käytetään puista harustettua portaalipylvästä ja tiheän asutuksen lähellä vapaasti seisovaa tannenbaum-pylvästä. Jakelujännitteillä käytetään yleisesti puisia I-pylväitä. /8/

Koska kentät vaihtelevat voimajohtojen läheisyydessä huomattavasti, riippuen tarkasteluetaisyydestä, on tarkoituksenmukaista esittää sekä mittaus- että laskentatulokset etäisyyden funktiona.

Sähkökenttä

Sähkökenttään vaikuttavat tekijät: tarkastelupiste, johdon jännite, pylvään dimensiot (johdinten sijainti), deformaivot esteet (pylväät, puut, rakennukset, sähkökenttää mittaava henkilö), johdon muoto (kaksoisjohdoilla vaihejärjestys, johdintyyppi, nippujohdolla johdinten lukumäärä) ja usean johdon yhteisvaikutus.

Sähköjohtojen aiheuttamat sähkökentät ovat suoraan verrannollisia jännitteeseen. Siirtojännitteinä käytetään 110 kV, 220 kV ja 400 kV jännitetasoja. Koska jännitteet vaihtelevat ajallisesti vain vähän, 400 kV johdoilla alle 5 % ja 110 kV ja 220 kV johdoilla alle 11 %, ovat sähkökentän vaihtelut pieniä. /9/

Sähkökenttää deformaivot esteitä ovat materiaalit, joilla suhteellinen permittiviteetti ϵ_r poikkeaa arvosta yksi. Toisin sanoen kaikki esteet, jotka ovat kentän aiheuttajan ja tarkastelupisteen välissä tai niiden läheisyydessä, muuttavat sähkökenttää.

Suurimmat sähkökentät esiintyvät paljaiden jännitteisten johtojen tai pintojen läheisyydessä. Suomessa suurimmat sähkökentän arvot ovat johtimien pinnassa 400 kV jännitetasolla. 400 kV siirtojohdoilla yhden metrin mittauskorkeudella on mitattu 1,0 - 9,3 kV/m suuruisia sähkökenttiä. Pienemmillä jännitetasoilla saattaa elinympäristössä esiintyä suurempia sähkökenttiä, koska jännitteisten osien etäisyys vaikuttaa merkittävästi kenttiin.

Magneettikenttä

Magneettikenttiin vaikuttavat tekijät: tarkastelupiste, virta, johdinten sijainti, johdon muoto, paluuvirta ja siirtojohdoilla ukkosjohtimet ja usean johdon yhteisvaikutus.

Sähköjohtojen aiheuttamat magneettikentät ovat suoraan verrannollisia johdon virtaan. Virta vaihtelee tehonsiirtotarpeesta riippuen huomattavasti, ollen 400 kV jännitetasolla alle 1200 A ja 110 kV jännitetasolla alle 600 A. Siten magneettivuon tiheys vaihtelee huomattavasti kuormituksesta riippuen. /10/

Magneettikenttää deformatioivat materiaalit, joilla suhteellinen permeabiliteetti μ_r on paljon arvoa yksi suurempi. Tällaisia ovat ferromagneettiset materiaalit, kuten rauta, koboltti ja nikkeli, sekä näistä seostamalla saatavat valurauta, μ -metalli ja sähkölevy. Voimajohtojen läheisyydessä ei siis juurikaan esiinny magneettikenttien deformatumista.

Maassa kulkevan paluuvirran vaikutus on lähes merkityksetöntä. Samoin ukkosjohtimiin induoituvien virtojen on todettu vaikuttavan vain vähän, 400 kV portaali johdolla (virta 1000 A) vaikutus on vain $0,2 \mu$ suurimpaan magneettivuon tiheyden resultanttiarvoon (noin 23μ).

Magneettikentän suurimmat arvot esiintyvät paikoissa, joissa siirretään suuri virta. Esimerkki tällaisesta paikasta on muuntamon pienjännitteinen kisko- tai kaapelisilta. Tällainen kisko- tai kaapelisilta ei kuitenkaan ole yleensä sellaisessa paikassa, johon väestön on mahdollista päästä, joten altistuminen ei usein liity näiden aiheuttamiin kenttiin. Kiinteistömuuntamoiden lähitiloissa on suurimmat mitatut magneettivuon tiheydet (13 esimerkkimittausta) olleet välillä $0,4 - 12,5 \mu$ yhden metrin mittauskorkeudella yläpuolisen tai sivulla olevan tilan lattiasta. Suurimmat magneettikentät saattavatkin esiintyä paljon tavallisempien laitteiden, kuten kodinkoneiden käyttämisen yhteydessä.

13.3.2 Sähkö- ja magneettikenttien tekninen vähentäminen

Sähkö- ja magneettikenttien tekninen vähentäminen perustuu geometrisiin muutoksiin, joilla vaikutetaan kenttien muodostumiseen, tai keinoihin kompensoida kenttää. Tekniset vaihtoehdot kenttien pienentämiseksi ovat: suojaus, johtorakenteiden parantaminen, virtapiirin jakaminen ja vaihejärjestyksen optimointi.

Kenttien pienentämisestä aiheutuvat kustannukset huomioiden vanhoihin rakenteisiin on vaikeampi rakentaa käyttökelpoinen kenttien pienennys kuin uusiin rakenteisiin. Sitä vastoin suunnitteluvaiheessa on mahdollista pyrkiä pienikenttäisiin ratkaisuihin

LÄHTEET

/1/ Wahlström E. & Reinikainen T. & Hallanaro E-L., Ympäristön tila Suomessa, Vesi- ja ympäristöhallitus, 1992, 364 s.

/2/ Aulio K., Ilman saastuminen ja ilmastomuutokset, Ihminen ja ympäristö 1, Ympäristöliike, Kaarina 1990, 223 s.

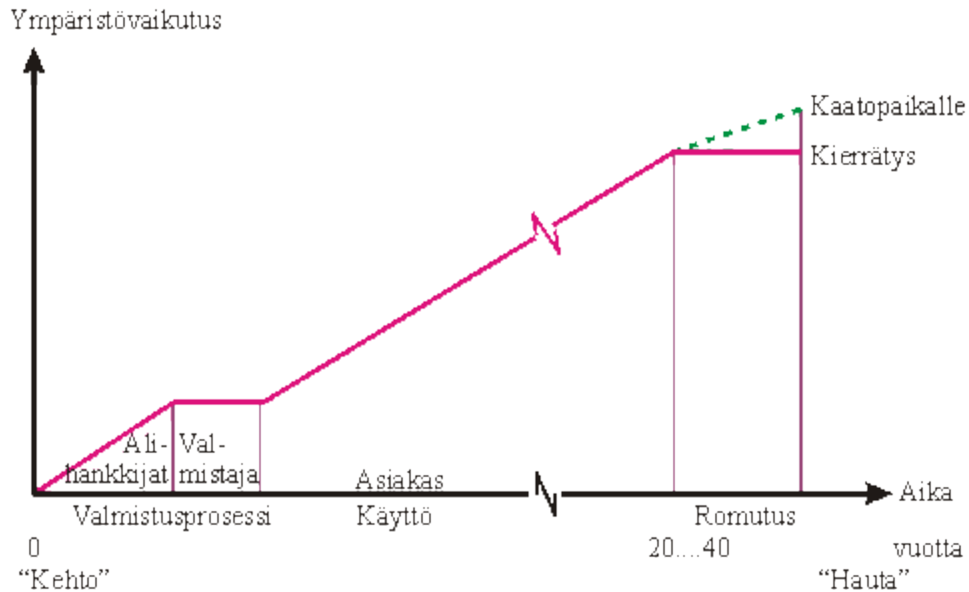
/3/ Energia ja ympäristö, Energia-alan keskusliitto ry Finergy 1998.

- /4/ Seppänen H., Ympäristötekniikan perusteet, Otatiето, Helsinki 1991, 244 s.
- /5/ Aunela L. & Larjava K., Raskasmetallipäästöt Suomessa, VTT, Espoo 1990.
- /6/ ICNIRP, "Guidelines for Limiting Exposure to Time-varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (Up to 300 GHz)", Health Physics, Vol. 74, no. 4, pp 494-522, 1998.
- /7/ Euroopan Unionin Neuvosto. 1999. Neuvoston suositus väestön sähkömagneettisille kentille (0 Hz – 300 GHz) altistuksenaltistumisen rajoittamisesta (1999/519/EY). Euroopan yhteisöjen virallinen lehti L199, 12.7.1999, s. 59 – 70.
- /8/ Elovaara J. & Laiho Y., Sähkölaitostekniikan perusteet, Otatiето 1988, 487 s.
- /9/ Hongisto, M. & Valjus, J. 1993. Magneettikenttäaltistus 110-400 kV johtojen läheisyydessä. Vantaa, Imatran Voima Oy, Raportti IVO-05/93. 141 s.
- /10/ Korpinen, L., Hietanen, M., Jokela, K., Juutilainen, J. & Valjus, J. 1995 Voimajohtojen sähkö- ja magneettikentät ympäristössä. Helsinki, Kauppa- ja teollisuusministeriö, Energiaosasto, Raportti 89/1995. 210 s.

14 ELINKAARIANALYYSI

14.1 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 sosiaalisesta näkökulmasta. Ensimmäiset elinkaarianalyysit on tehty jo 1960-luvulla. Kuvassa 14.1 on esitetty tuotteen elinkaari “kehdestä hautaan” ja sen eri vaiheissa syntyneet ympäristövaikutukset. /1,2/



Kuva 14.1. Tuotteen elinkaaren eri vaiheissa syntyneet ympäristövaikutukset. /2/

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 saattaavat olla harhaanjohtavia kokonaisuutta ajatellen. Kokonaisvaltaisten analyysien teko on taas usein työlästä ja aikaa vievää, mutta antavat todennäköisesti luotettavampia lopputuloksia. /2/

14.2 Elinkaarianalyysin käyttö

Elinkaarianalyysiä voidaan käyttää moniin erilaisiin tarkoituksiin. Yrityksen johto voi tehdä päätöksiä sen perusteella esimerkiksi yrityksen toimintatavoista ja uusien prosessien käyttöönotosta. Elinkaarianalyysin tuloksia voidaan käyttää tarkasteltaessa yrityksen asemaa tai tuotteita kilpailumarkkinoilla. Yrityksen sisällä tuloksia voidaan käyttää tuotekehityksessä, käytettävien tuotantoprosessien vertailussa, markkinoinnissa ja yleisesti parantamaan yrityksen toimintaa ympäristöystävällisempään suuntaan. /3/

14.3 Elinkaarianalyysin tekotavat

Elinkaarianalyysi voidaan periaatteessa tehdä kahdella eri tavalla: tekemällä karkean tason elinkaariarviointin tai tekemällä tarkemman tason arviointin. /4/

Karkean tason elinkaarianalyysi on usein kvalitatiivinen. Sen avulla saadaan yleispiirteinen kuva ympäristövaikutuksista ja nähdään selvimmät asiat, joihin tulisi puuttua. Näin saadaan nopeasti tietoa mahdollisista ympäristövaikutuksista. Tarkemman tason analyysit ovat usein kvantitatiivisia. Tämän vuoksi ne ovatkin usein huomattavasti tarkempia sisällöltään ja sen vuoksi suuritöisempiä. /4/

14.3.1 Karkean tason elinkaarianalyysi

Ympäristövaikutuksia voidaan karkealla tasolla tehdä esimerkiksi laatimalla taulukko ympäristöasioiden arviointikohteista tai sitten tekemällä ns. MET-matriisi (selitetään myöhemmin).

IEC (International Electrotechnical Commission) on antanut suosituksen, mitä tietoja taulukossa tulisi olla ympäristövaikutusten arvioinnin tekemiseksi. Nämä on esitetty taulukossa 14.1.

Taulukko 14.1. IEC:n suositus karkean tason elinkaarianalyysin taulukkoon sisällytettävistä asioista, joita tulisi tarkastella ympäristövaikutusten arvioinnissa. /4/

TUOTE	Tuotteen sisältämät kemialliset yhdisteet Mahdollisesti kumuloituvat kemikaalit Akut ja paristot (tyyppi, paino, materiaalkoostumus, määrä) Kuluvat osat Huoltojärjestelmän toimivuus ja varaosien saanti Pakkauksissa ja kuljetuksissa käytettävät materiaalit
VALMISTUKSEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET	Valmistusprosessin eri vaiheiden kuluttama energian ja palveluiden määrä Valmistuksen päästöt (ilmaan, veteen kiinteä jäte) ja mahdollisuudet niiden poistamiseen / vähentämiseen / kontrollointiin Päästöjen mittaaminen ja arviointi
KULJETUKSET VARASTOINTI KIERRÄTYS TUOTTEEN HÄVITTÄMINEN	Valmistuksessa käytettävät materiaalit, esim. - kierrätettävät materiaalit - ongelmajätteet: suunnitelma niiden käsittelemiseksi ja niiden määrän vähentämiseksi Mahdollisesti kumuloituvat terveys- / ympäristövaikutukset Yrityksen sisäinen ohjeistus pakkaus- ja kuljetusmateriaalien käytöstä Tuotantoprosessissa tarvittavien kuljetuspakkausten ja pakkaamisen määrän uudelleenarviointi Ohjeistus myyntipakkausmateriaalien vähentämisestä, uudelleenkäytöstä, kierrätyksestä ja loppusijoituksesta Kuljetus-, varastointi-, uudelleenkäyttö-, kierrätys- ja hävittämisohjeistus kulutustuotteille Uudelleenkäytettävien ja kierrätettävien osien identifiointi, jätteenkäsittelyvaihtoehdot
TUOTTEEN KÄYTTÖ JA TOIMINTA	Energiankulutus ja muiden resurssien kulutus käytön aikana Tuotteesta lepotilassa ja normaalissa käyttötilassa aiheutuvat fyysiset ja kemialliset vaikutukset; mahdollisuudet niiden vähentämiseen / kontrolloimiseen / poistamiseen

Toinen tapa oli tehdä ns. MET-matriisi. Siinä ympäristövaikutukset jaetaan kolmeen ryhmään: materiaalien käyttöön (M), energiankulutukseen (E) sekä ympäristölle ja ihmisille haitallisiin päästöihin (T).

Materiaalien käytön tarkasteluun sisältyy mm. raaka-aineiden niukkuus ja uusiutumiskyky, materiaalien uudelleenkäyttö ja kierrätys, kierrätettävien materiaalien käyttö sekä tuotteen ja sen eri osien käyttöikä. Energiankulutuksen osalta voidaan analysoida tuotantoprosessien ja tuotteen käytön aikaista energiankulutusta sekä eri materiaalien valmistukseen kulunutta energiaa. Päästöjen kohdalla listataan tuotteen elinkaaren eri vaiheissa syntyvät myrkylliset päästöt. /4/

Kuvassa 14.2 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.

	MATERIAALIEN KÄYTTÖ	ENERGIAN KULUTUS	HAITALLISET PÄÄSTÖT
VALMISTUS	raaka-aineiden kulutus tuotantojätteen kierrätys	materiaalien energiasisältö prosesseissa kuluva energia	palonestoaineet
KÄYTTÖ	paperin kulutus käytetyt värikasetit	energiankulutus kuljetuksissa kuluva energia	otsonipäästöt
KÄYTÖSTÄ POISTO	koneen kierrätys		seleenirumpu

Kuva 14.2. MET-matriisi kopiokoneelle. /4/

Karkean elinkaarianalyysin avulla ei aina pystytä löytämään tai päättämään, mitkä tekijät ovat merkittävimpiä ympäristön kannalta. Silloin on yritettävä hyödyntää mahdollisesti aikaisemmin tehtyjä elinkaaritutkimuksia, käyttää asiantuntijoita apuna tai tehdä perusteellisempi tarkemman tason analyysi.

14.3.2 Tarkemman tason elinkaarianalyysi

Tarkemman tason eli kvantitatiivisessa elinkaarianalyysissä arvioidaan tuotteen, prosessin tai toiminnan ympäristövaikutukset koko elinkaaren ajalta sisältäen raaka-aineiden hankinnan, komponenttien ja lopputuotteen valmistuksen, kuljetuksen ja jakelun, käytön, kierrätyksen sekä lopulta käytöstä poiston. /4/

Tässä analyysimallissa on neljä päävaihetta: määrittelyvaihe, inventaarioanalyysi, vaikutusarviointi ja tulosten tulkinta.

14.3.2.1 Määrittelyvaihe

Määrittelyvaiheessa päätetään arvioinnin tavoite ja laajuus. Siinä täsmennetään, millaisiin asioihin halutaan kiinnittää huomiota ja millaisiin kysymyksiin halutaan vastaus. Lisäksi määritellään mikä on toiminnallinen yksikkö. Toiminnallinen yksikkö voi olla esimerkiksi jokin laite tai laitteen osa kuten esimerkiksi televisio tai sen kuvaputki. /1/

Analyysin suorittaminen täydessä laajuudessaan ei aina ole mahdollista esimerkiksi rajallisten resurssien vuoksi. Muutenkin on järkevää rajata pois tuotantoprosessiin välillisesti kuuluvat, epäolennaiset asiat kuten työpaikkaruokailu, vaikka sitä epäilemättä tarvitaankin tuotteen aikaansaamiseksi. /1/

Tässä voidaan valita myös erilaisia lähestymistapoja ja näkökulmia, kuten ympäristönäkökulma, taloudellisuusnäkökulma tai sosiaalinen näkökulma.

14.3.2.2 Inventaarianalyysi

Inventaarianalyysissä tutkittava systeemi jaetaan pienempiin osasysteemeihin, vaiheisiin, jotka liittyvät toisiinsa (esimerkiksi kaivos, kuljetus, tuotteen kokoonpano). Tällöin tiedon kerääminen ja hallitseminen helpottuvat. Tämän jälkeen kullekin vaiheelle tehdään oma inventaarioanalyysi, jossa lasketaan vaiheeseen käytetyt raaka-aineet ja energiankulutus sekä päästöt ilmaan veteen ja maaperään. Inventaariossa on varmistettava, että kaikki elinkaarivaiheet ovat mukana ja tietoyksityiskohtia on riittävästi aiottua tarkoitusta varten. /2/

14.3.2.3 Vaikutusarviointi

Vaikutusarvioinnin tarkoituksena on arvioida ympäristövaikutusten merkittävyyttä inventaarioanalyysin tuloksien avulla. Vaikutusarviointi voidaan jakaa kolmeen osaan: luokitteluun, kvantifiointiin ja arvottamiseen. /4/

Luokittelussa inventaarioanalyysissä kerätyt tiedot jaetaan ryhmiin eli luokitellaan sen mukaan, millaisia vaikutuksia niillä on ympäristöön. Vaikutusluokkia voisi olla ainakin tärkeimmät ympäristöongelmat, kuten kasvihuoneilmiö, otsonikato, happamoituminen, rehevöityminen, terveysvaikutukset, ympäristömyrkyt ja maankäytön vaikutukset esimerkiksi biodiversiteettiin. Kvantifiointissa eli vaikutusvoimakkuuden määrittämisessä määritetään, kuinka suuria vaikutuksia ympäristöön kohdistuu. Arvottamisessa eri ympäristöongelmia verrataan toisiinsa esimerkiksi antamalla erilaisille ongelmille erisuuruisia painoarvoja. Nämä voivat olla joko lukuja tai sanallisia perusteluja. /4/

14.3.2.4 Tulosten tulkinta

Tulosten tulkinnassa inventaarioanalyysin ja vaikutusarvioinnin tulokset yhdistetään asetettujen tavoitteiden mukaisesti. Tässä vaiheessa esitetään tulkinta koko elinkaarianalyysin tuloksista yleensä johtopäätöksinä ja toimenpidesuosituksina. /4/

On muistettava, että jokainen elinkaarianalyysi tehdään tapauskohtaisesti. Elinkaarianalyysiä tehtäessä ei välttämättä tarvitse käydä läpi kaikkia vaiheita vaan selvitykset ja tutkimukset voidaan lopettaa, kun on saatu selville haluttu tieto.

14.4 Elinkaarianalyysiin liittyviä ongelmia

Elinkaariperiaatteeseen perustuva tuotteen ympäristövaikutusten arviointimalli on voimakkaasti yleistynyt viime vuosina. Yhtenä syynä on ollut toteamus siitä, että tuotteen yksittäiset ominaisuudet eivät anna riittävästi tietoa sen ympäristövaikutuksista. Siitä huolimatta, että elinkaariarvioinnin edistämiseksi ja analyysimallien parantamiseksi on tehty paljon työtä, ei ole löydetty tarkkoja yhteisiä pelisääntöjä, millä elinkaarianalyysi tulisi tehdä. /1/

Ympäristövaikutusten selvittäminen ja arviointi on pitkäjänteistä ja vaativaa tutkimusta. Ongelmina ovat mm. käytettävän tiedon subjektiivinen valinta tiettyyn käyttötarkoitukseen, suuren tietomäärän vaikea hallinta, tietojen yhteismitattomuus ja se, että eri menetelmillä lasketut tulokset eivät välttämättä ole vertailukelpoisia. /1/

Elinkaarianalyysin keskeisin ongelma on ympäristövaikutusten alueellisuus. Esimerkiksi vesistöjä rehevöittävien päästöjen osalta voidaan luokitella hyvin eritasoisia kriittisiä kuormia. Tulevaisuuden suuntauksena voisikin olla erilaisten alueellistamismallien kehittäminen. /1/

14.5 Elinkaarianalyysimenetelmiä

Useissa tutkimuksissa jätetään inventaariovaihetta seuraava tulkintavaihe tekemättä. Tällöin tulkinta jää yksin tutkimuksen lukijalle, jolloin voidaan saada virheellinen kokonaiskäsitys. Tätä tulkintavaihetta varten on kehitetty erilaisia tulkintamalleja ja -menetelmiä, joista käsitellään hieman lähemmin EPS:ää.

14.5.1 EPS-menetelmä

EPS (Environmental Priority Strategies) -menetelmän avulla arvioidaan tuotteen koko elinkaaren aikana syntyvät ympäristövaikutukset. Tällaisiksi ympäristövaikutuksiksi katsotaan vaikutukset biologiseen monimuotoisuuteen, ihmisten terveyteen, luonnon tuotantokykyyn ja esteettisiin arvoihin. Menetelmä antaa yhdestä luvusta koostuvan lopputuloksen, ympäristökuormitusluvun ELU (Environmental Load Unit). Yksi ELU vastaa yhtä ECU:a. Tämän arvon periaatteena on se, kuinka paljon yhteiskunnassa ollaan valmiita maksamaan tietyn ympäristövaikutuksen aiheuttajan poistamiseksi tai vähentämiseksi tehtävistä turvatoimista ja sitä kautta vaikutuksesta ympäristön parantamiseen. /2/

14.5.2 Elinkaarianalyysimenetelmien vertailua

Elinkaarianalyysimenetelmiä on olemassa useita. Taulukossa 14.2 esitetään yleisimpien elinkaarianalyysimenetelmien huomioon ottamia asioita.

Taulukko 14.2 Elinkaarianalyysimenetelmien vertailu. /2/

	EPS	ET	ECO	Tellus
Energiaresurssit	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Ei
Materiaaliresurssit	Kyllä	Osittain	Ei	Ei

Maankäyttö	Kyllä	Osittain	Ei	Ei
Päästöt ilmaan/CO ₂ ,NO _x ,So _x	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Päästöt ilmaan / metallit	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Päästöt maahan / metallit	Ei	Kyllä	Ei	Kyllä
Päästöt vesistöihin / metallit	Ei	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Orgaaniset päästöt	Osittain	Kyllä	Osittain	Kyllä

EPS = Environmental Priority Strategies
 ET = Environmental theme

Menetelmät eroavat toisistaan lähinnä siinä, mitä vaikutuksia ne ottavat huomioon. Esimerkiksi Tellus -menetelmä keskittyy yksinomaan päästöihin, kun taas EPS -menetelmässä keskeisellä sijalla ovat resurssit ja niiden käyttö. /2/

14.6 Elinkaarianalyysiohjelmistot

Kvantitatiivisiin eli tarkemman tason elinkaarianalyysien tekoon on olemassa erilaisia kaupallisia laskentaohjelmia ja tietokantoja. Ohjelmistoja on Euroopassa erityyppisiin elinkaarianalyysihin kaiken kaikkiaan markkinoilla jo ainakin 50. Taulukossa 14.3 on esitetty eniten elinkaarianalyysihin käytettyjä tietokoneohjelmia. /4/

Taulukko 14.3 Yleisimpiä elinkaarianalyysiohjelmistoja. /4/

MALLI	KEHITTÄJÄ / MAA
SimaPro	PRé / Hollanti
Boustead-malli I	Boustead ja Open University / Iso-Britannia
KCL-ECO Oy	Keskuslaboratorio / Suomi
LCA Inventory Tool	Chalmers Industri-teknik / Ruotsi
PEMS	PIRA / Iso-Britannia

14.7 Elinkaarianalyysien tietokannat

Elinkaarianalyysiä varten tehtävässä tiedon keruussa ongelmana on tietolähteiden luotettavuus. Usein saatavien tietojen luotettavuutta ei tarkisteta riittävästi eikä lähdetietojen yleistettävyyttä tarkastella. Näitä ongelmia vähentämään on Suomessakin alettu kehittää elinkaarianalyysiä varten erilaisia tietokantoja. /1/

Yksi elinkaarimenetelmien keskeinen kysymys on siinä käytettävien lähtötietojen laatu. Mitä luotettavammat ovat lähtötiedot, sitä parempi on uskottavuus ja suurempi merkitys elinkaarianalyysillä on päätöksenteossa. Tämän vuoksi onkin olemassa useita elinkaaritietokantoja. Laadultaan verifioitu ja laajaan aineistoon perustuva tietokanta antaa yksittäisten yritysten omia tietokantoja uskottavamman pohjan elinkaarianalyysille. /1/

14.7.1 Esimerkki: Energiatuotteiden elinkaaritietokanta

KTM:n ja TEKES:in ohjaaman, Suomen energiatuotannon elinkaaritiedot- projektin (SEEP) avulla on pyritty parantamaan elinkaarianalyysien energiatietoja sekä lisäämään suomalaisten yritysten ympäristölaadun hallinnan valmiuksia. SEEP-tietokantaan on koottu tietoja kaikista energiatuotteiden elinkaaren päävaiheista lukuunottamatta energian käyttöä. Kanta sisältää tietoja polttoaineiden hankinnasta ja jalostuksesta, niiden varastoinnista ja kuljetuksista sekä loppuenergian tuotannosta, siirrosta ja jakelusta. Energiatuotteiden elinkaareen kuuluvat lisäksi kaikki materiaalien valmistusketjut kuljetuksineen, jätehuoltojärjestelmät, materiaalien kierrätys sekä sivutuotteiden ja käytöstä vapautuvien tuotteiden uudelleenkäyttö. /5/

SEEP-tietokanta rajoittuu loppuenergian tuotannon osalta Suomessa tapahtuvaan teolliseen tuotantoon, jonka tehorajana on pidetty 1 MW. Uusiutuvista energiamuodoista ovat mukana vesivoima, aurinkosähkö ja -lämpö sekä tuulivoima. Polttoaineiden hankinta- ja jalostusvaiheiden tietoja on tietokannassa kivihielestä, raskaasta ja kevyestä polttoöljystä, maakaasusta sekä uraanista. Energian siirrosta ja jakelusta kannasta löytyvät arviot sähkön, kaukolämmön ja maakaasun siirtojärjestelmien toiminnasta. /5/

LÄHTEET

/1/ Lokka M. & Hänninen H., Elinjaksokustannus- ja elinkaarianalyysi ja niiden soveltaminen materiaalinvalinnassa. TKK, Materiaalitekniikan laboratorio. Julkaisu MTR 2/94, Espoo 1994.

/2/ Lehtinen V., 1999. Elinkaarianalyysin vaikutukset suurmuuntajien ominaisuuksiin Suomen olosuhteissa. Diplomityö. Tampere, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Sähkötekniikan osasto, 152 s.

/3/ Tonteri H. & Kuuva M., Elinkaarianalyysi, Metalliteollisuuden Kustannus Oy, 1995.

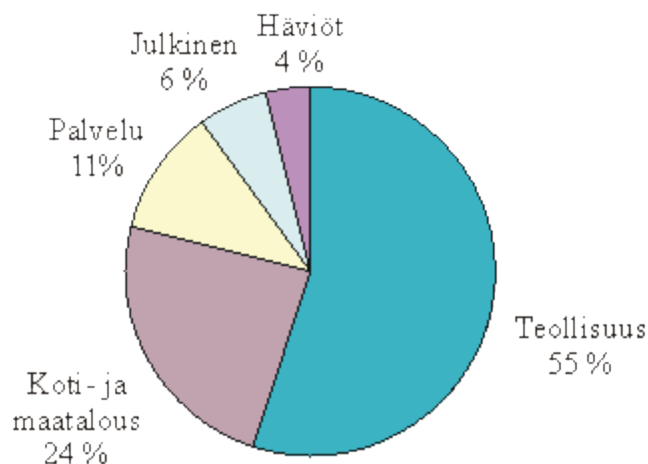
/4/ Sähkö- ja elektroniikkateollisuusliitto, Kärnä A., Ympäristömyötäinen tuotesuunnittelu, Helsinki 1997, 116 s.

/5/ Virtanen Y. & Askola R. & Junttila V., Kenttäsuuntautunut elinkaaritietojen hankintamenetelmä, Suomen energiatuotannon elinkaaritietokanta – SEEP Osa I, VTT, Espoo 1996.

15 SÄHKÖN KULUTUS

15.1 Sähkön kulutus Suomessa

Vuoden 1998 sähkönkulutus (kuva 15.1) oli 76,5 TWh, joka oli 4 % suurempi kuin edellisvuonna. Sähkönkulutuksesta teollisuuden osuus oli yli puolet, 55 %. Kotitalouksien osuus oli noin viidennes (21 %) ja loppu jakautuu palveluiden, julkisen kulutuksen, maatalouden ja häviöiden kesken. Henkeä kohden laskettuna kulutettiin sähköä noin 15 000 kWh/henkilö. /1,2/



Kuva 15.1. Sähkön kulutuksen jakautuminen Suomessa vuonna 1998. /1/

Suhteellisesti eniten, yli 4 %, kasvoi julkisen sektorin ja palvelusektorin sähkön kulutus. Teollisuus käytti vuoteen 1997 verrattuna vajaat 4 % enemmän sähköä kuin vuonna 1998. Metsäteollisuuden osuus koko teollisuussektorin kulutuksesta oli lähes kaksi kolmasosaa. Koti- ja maatalouksien sähkönkäyttö lisääntyi 3 %.

15.2 Tulevaisuuden sähkön käyttö

15.2.1 Lähtöoletukset

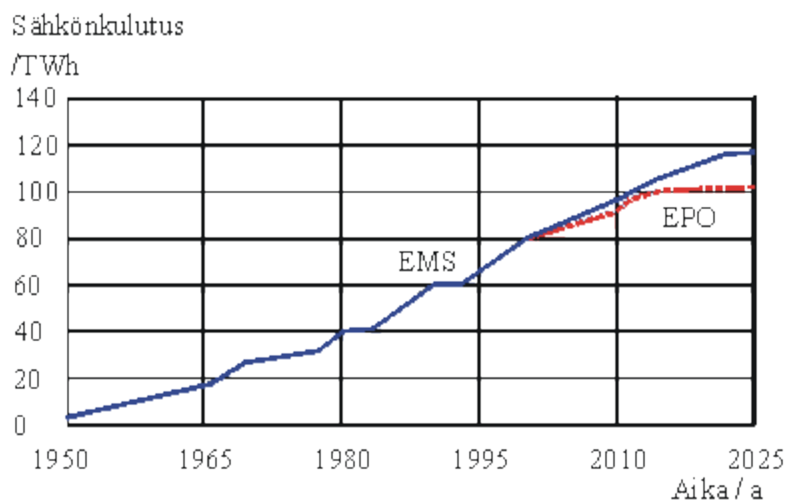
Energian, ja samalla sähkön, kysyntään vaikuttavat tärkeimmät tekijät ovat väestönkasvu, talouden kasvu ja sen rakenne, energian hinnan kehitys sekä energiateknologiassa ja ihmisten

kulutuskäyttäytymisessä tapahtuvat muutokset. Suomen energiaskenaarioissa ollaan oletettu, että vuoteen 2005 asti talouskasvu on keskimäärin 3 % vuodessa, jonka jälkeen kasvun on oletettu hidastuvan keskimäärin 2 %. Teollisuuden osalta ollaan oletettu, että nopeimmin kasvavia aloja olisivat metallituote- ja konepajateollisuus sekä sähköteknisten tuotteiden valmistus. Paljon energiaa kuluttavan prosessiteollisuuden toimialojen kasvu jatkuisi huomattavasti hitaampana kuin viimeisten parinkymmenen vuoden aikana on ollut. Palvelujen oletetaan noudattavan koko talouden keskimääräistä kasvua. Rakennustoiminnan odotetaan olevan varsin alhaisella tasolla keskittyen pääosin peruskorjaukseen. Näillä talouskasvuoletuksilla bruttokansantuote, BKT, kasvaisi yli kaksinkertaiseksi vuoteen 2025 mennessä. /5/

15.2.2 Kulutusskenaariot vuoteen 2025

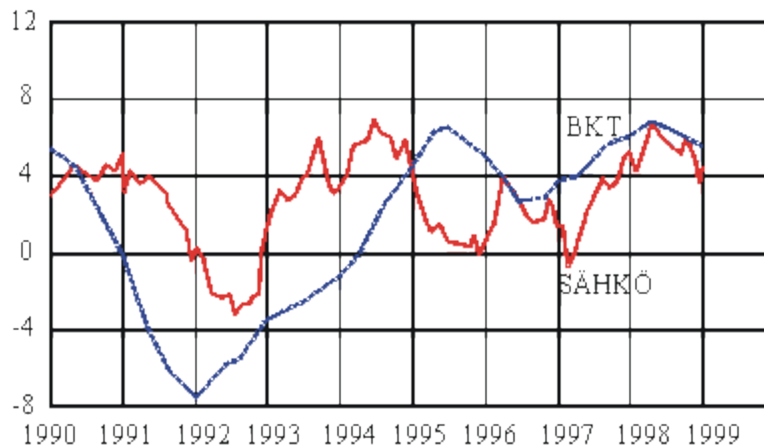
Kauppa- ja teollisuusministeriön selvityksessä “Energiatalous 2025 - Skenaariotarkasteluja”, on Suomen tulevaisuuden energiankulutusta ja hiilidioksidipäästöjä tarkasteltu eri skenaarioilla. Korostettakoon, että skenaario ei ole ennuste, vaan paremminkin hahmotelma, jonka tavoitteena on valaista energiatalouden ja muun yhteiskunnan kehityksen välistä riippuvuutta. Skenaarioita on kaksi: *energiamarkkinaskenaario* (EMS) ja *energiapolitiikkaskenaario* (EPO). /5/

Energiamarkkinaskenaarion (EMS) lähtökohtana on, että energiatalous kehittyy markkinalähtöisesti ilman, että poliittisilla keinoilla pyritään vaikuttamaan sen kehitykseen. Energiapolitiikkaskenaariossa (EPO) ideana taas on, että hiilidioksidipäästöjä ja energian kysyntää pyritään rajoittamaan poliittisin keinoin tehostamalla nykyisiä ohjauskeinoja kuten energia- ja ympäristöverotusta. EPO:ssa tarkastellaan kahta vaihtoehtoa. Toisessa energian lisäkysyntää katetaan yhä enemmän puulla ja kaasulla (EPO1) ja toisessa rakennetaan lisää ydinvoimaa (EPO2). Kuvassa 15.2 esitetään Suomen sähkönkulutuksen kehittymistä viime vuosikymmenien aikana sekä EMS- että EPO-skenaariot vuoteen 2025 asti. /5/



Kuva 15.2. Sähkön kulutus EMS- ja EPO-skenaarioissa. /5/

Kummankin skenaarion peruslähtökohtana on se, että vuosien saatossa ollaan havaittu bruttokansantuotteen (BKT) ja sähkön kulutuksen kulkevan “käsikädessä” (kuva 15.3).



Kuva 15.3. Bruttokansantuotteen ja sähkön kulutuksen muutokset, %. /4/

Sähkön kulutus kasvaa edelleen sekä EMS-skenaariossa että EPO-skenaariossa. EPO:ssa kasvu on hitaampaa, sillä siinä sähkönkäyttöä ohjattaisiin verojen korotuksilla. Lisäksi oletetaan, että teknologia kehittyä ja uuden teknologian käyttöönotto nopeutuu.

Molemmissa skenaarioissa energian kulutuksen kasvu on hidastumassa, mutta sähkönkulutus puolestaan kasvaa muuta energian käyttöä enemmän. Alla olevassa taulukossa 15.1 on esitelty EMS- ja EPO-skenaarioiden keskeisimpiä kulutuslukuja.

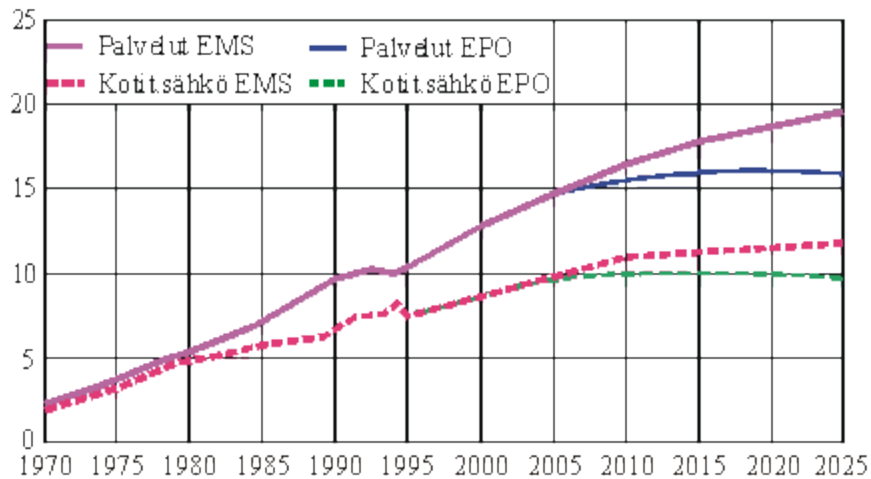
Taulukko 15.1 Energian kulutus energiamarkkina- ja energiapolitiikkaskenaarioissa. /5/

	1995	2010		2025	
		EMS	EPO	EMS	EPO
BKT:n määrä (1995 <-> 100 %)	100	156	156	210	210
Primäärienergia, Mtoe	31,7	39	37	44	37
Sähkö, Twh	68,9	96	92	118	102

Taulukosta voidaan havaita, että bruttokansantuote ja sen kasvu on oletettu kummassakin skenaariossa yhtä suureksi. Sähkön kulutuksen kannalta on oleellista huomata, että EMS:ssä sähkönkulutus on vuonna 2025 lähes 120 TWh, kun taas EPO:ssa kulutus olisi 100-105 TWh.

Teollisuuden sähkön käyttö kasvaisi EMS:ssä varsin voimakkaasti, joskin siten, että teollisuuden tuotanto olisi suhteessa sähkön käyttöä suurempaa. Tähän asti tilanne on ollut päinvastainen. Selityksenä tälle on teollisuuden oletettu rakennemuutos. /5/

Palvelujen ja kotitalouksien sähkönkäyttö kasvaa selkeästi EMS:ssä. Väestökehitys ja tekniikan edistyminen aiheuttavat kuitenkin sen, että kasvu hidastuu aikaisempaan verrattuna. Kulutusta pitää osakseen yllä se, että henkilöä kohden laskettu asuinpinta-ala arvioidaan kasvavan tarkastelukaudella nykyisestä 34 m²:stä lähelle 50 m²:iin. Palvelujen ja kotitalouksien kulutusskenaariot on esitetty kuvassa 15.4. /5/



Kuva 15.4. Kotitaloussähkön ja palveluiden kulutusskenaariot. /5/

EPO-skenaariossa hintojen nousu ja niiden aiheuttama teknologian ja käyttötottumusten muutos hidastavat kasvua aikaa myöten tehokkaammin. EPO:ssa oletetaan lisäksi, että esimerkiksi EU:n laajuisilla kattavilla normeilla ohjataan uusien laitteiden sähkönkulutusta. /5/

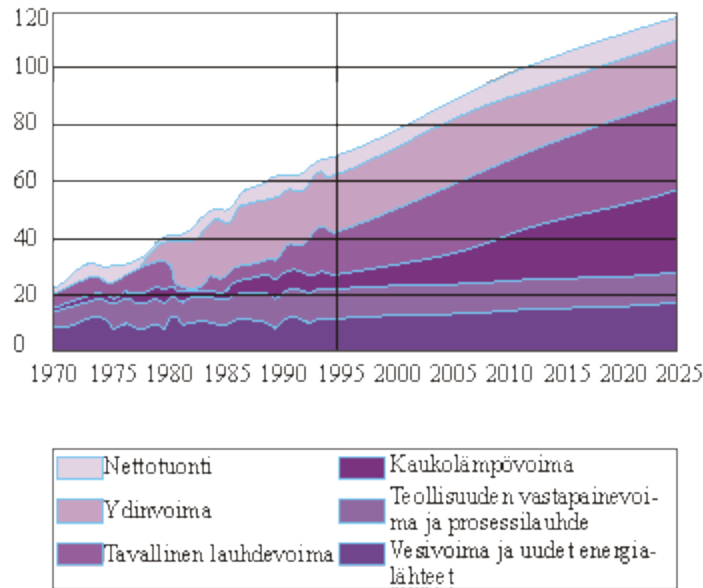
On huomattava, että Kauppa- ja teollisuusministeriön energiastrategia ei ota kantaa vuoden 2025 jälkeiseen aikaan, jolloin Suomen molemmat käytössä olevat ydinvoimalat poistuvat käytöstä.

15.3 Sähkön hankintaskenaariot

Energiamarkkinaskenaarion mukaan sähkön kulutus kasvaisi lähes 120 TWh:iin vuoteen 2025 mennessä. Kun otetaan huomioon, että vuonna 1998 sähköä tuotettiin kotimaassa runsaat 67 TWh ja tuotiin ulkomailta noin 9,5 TWh, täytyy sähkön tuotantokapasiteettia huomattavasti lisätä, mikäli EMS:n mukainen sähkön tarve pystytään tyydyttämään.

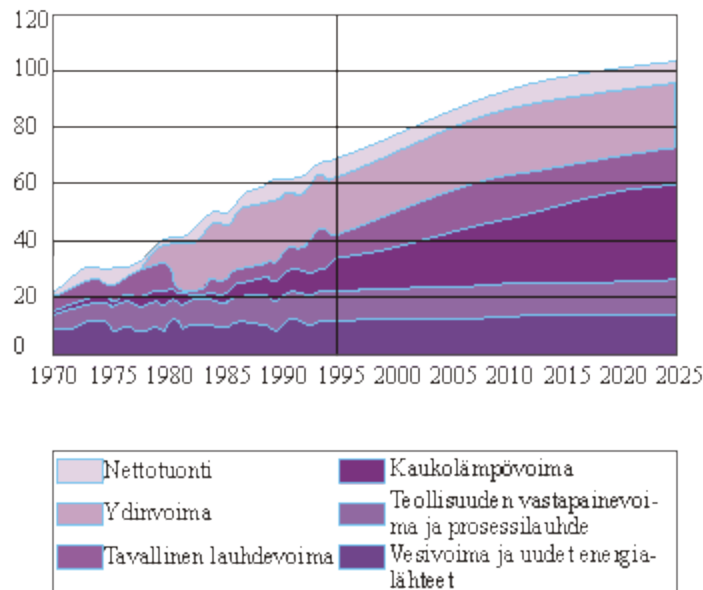
EMS:n tapauksessa sähkön tuonnin on arvioitu jatkuvan nykytasolla. Lisäksi on oletettu, että vanhenevaa koneistoa korvataan uusilla laitoksilla poistuman tahdissa. Sähkön tuotantokyky on vuonna 2025 vajaa 90 TWh, mikäli uusia rakentamispäätöksiä ei tehdä. Tällöin tuotanto jäisi 30 TWh vajaaksi, joka pitäisi täyttää uusilla voimalaitoksilla. EPO:ssa vastaava lisärakentamistarve olisi vain noin 10 TWh. Käytännössä lisärakentamistarve olisi kummassakin tarkastelutapauksessa suurempi, sillä vanhentuvia lämpövoimalaitoksia jouduttaisiin korvaamaan uusilla ennen tarkastelukauden loppua eli vuotta 2025. /5/

Osa lisätehon tarpeesta voidaan toteuttaa uusilla teollisuuden vastapainevoimalaitoksilla (prosessivoimalla) ja yhdyskuntien lämmitysvoimalaitoksilla (kaukolämpövoimalla). EMS-skenaariossa tarvittaisiin lisäksi kuitenkin lauhdutusvoimaa 2500-3000 MW, joka olisi pääosin hiilivoimaa. Kuvassa 15.5 on esitetty EMS:n mukaista sähkön hankintaa. /5/

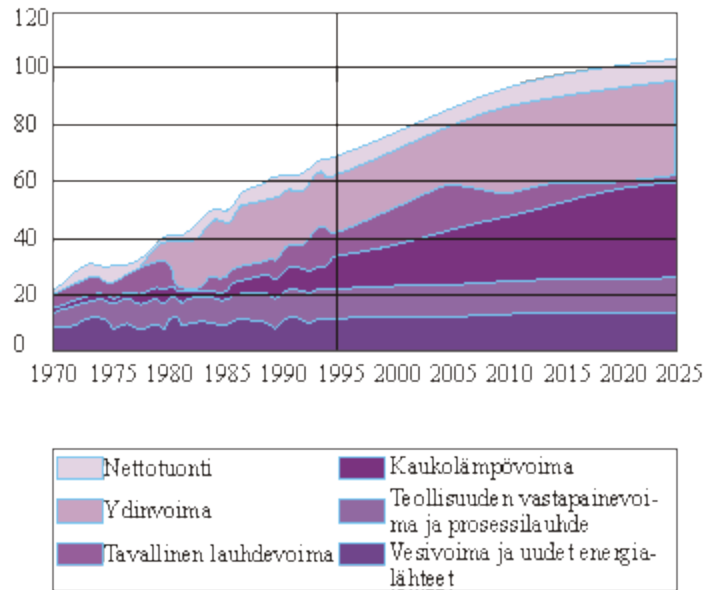


Kuva 15.5. Sähkön hankinta tuotantotavoittain, EMS, TWh. /5/

EPO-skenaariossa taas oletetaan kaasun käytön lisääntyvän kilpailukyvyyn paranemisen myötä. Kaasua käyttämällä saadaan vastapainelaitoksien rakennusaste eli sähkötehon ja lämpötehon suhde kasvamaan, jonka myötä taas niiden tuotanto kasvaa. Näin lauhdevoiman tuotannolle jäisi EPO:ssa pienempi osuus. Ilman lauhdevoiman lisärakentamista ei tosin EPO:ssakaan pärjättäisi. Lauhdevoiman polttoaineena oletetaan EPO1:ssä olevan maakaasu. Kaasulauhteen tuotanto voisi näin ollen nousta 15 TWh:iin vuodessa. EPO1:n ja EPO2:n mukaista sähkönhankintaa ollaan esitetty kuvassa 15.6a ja 15.6b. /5/



Kuva 15.6a. Sähkön hankinta tuotantotavoittain, EPO1, TWh. /5/



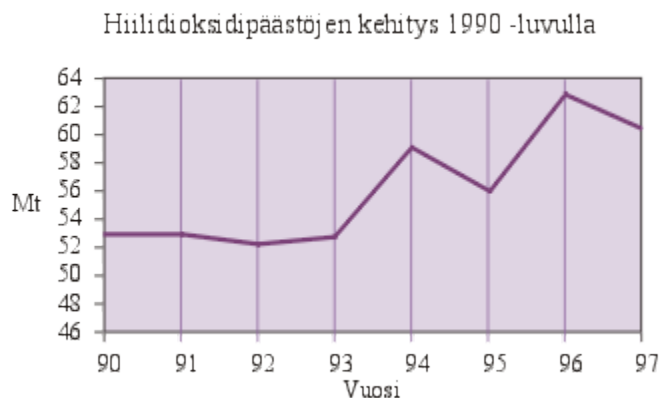
Kuva 15.6b. Sähkön hankinta tuotantotavoittain, EPO2, TWh. /5/

Turpeen käytöstä lauhdesähkön tuotannossa on tarkoitus luopua sekä EMS- että EPO-skenaariossa. EPO:ssa luopuminen tapahtuisi jonkin verran nopeammin. /5/

Tuulivoiman tuotanto kasvaa voimakkaasti erityisesti EPO:ssa, mutta sen osuus kokonaistuotannosta jäisi edelleen pieneksi, noin 0,5 %. Vuonna 1998 tuulivoimalla tuotettiin sähköä noin 0,04 % kokonaistuotannosta. /5/

15.4 Hiilidioksidipäästöjen kehitys

Energian tuotannosta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt ovat kasvaneet Suomessa vuosien 1970 ja 1995 välillä noin 40 %. 1970- ja 1980-lukujen taitteessa päästöissä on selvä vähentyminen johtuen ydinvoimalaitosten käyttöönotosta ja sähkön tuonnin aloittamisesta. Sitten hiilidioksidipäästöt ovat olleet melko tasaisessa kasvussa. Vuoteen 1997 mennessä päästöt olivat 60,5 miljoonaa tonnia. 1990-luvun hiilidioksidipäästöjen kehitystä ollaan tarkasteltu kuvassa 15.7. /3/



Kuva 15.7. Hiilidioksidipäästöjen kehitys 1990-luvulla. /3/

Hiilidioksidipäästöjä ollaan tarkasteltu molempien skenaarioiden osalta. Nämä on esitetty kuvassa 15.8. Markkinaohjautuvassa tilanteessa hiilidioksidipäästöt kasvaisivat vuoteen 2025 mennessä noin

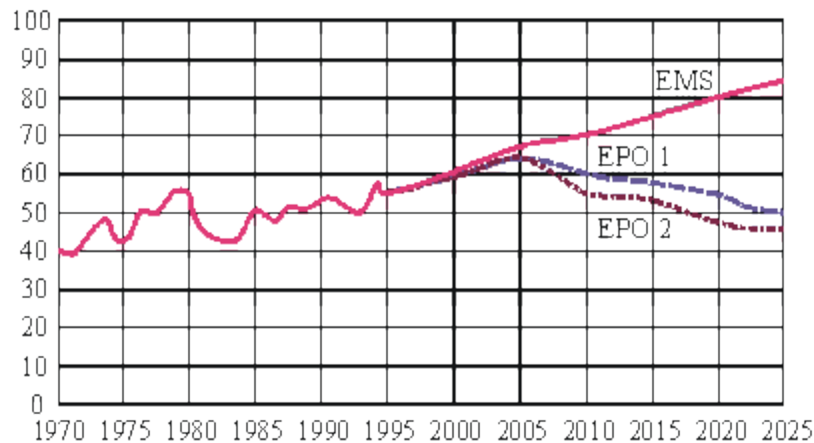
84 miljoonaa tonniin eli 1,6-kertaiseksi verrattuna vuoden 1990 päästöihin. Suurin hiilidioksidipäästöjen lähde olisi kivihiili, jonka käytöstä aiheutuisi vuonna 2025 yli 40 % päästöistä. Puun ja kaasun käyttö lisääntyisivät varsin maltillisesti.

Jos EMS:n kasvava sähkön kulutus katettaisiin lisäydinvoimalla ja kaasulla korvattaisiin hiiltä ja turvetta, olisi mahdollista, että CO₂-päästöt putoaisivat vuoteen 2025 mennessä välille 55-60 miljoonaa vuodessa. Näihin lukuihin pääseminen edellyttäisi puun käytön merkittävää lisäämistä lämmitysvoimalaitoksissa ja teollisuudessa. /5/

EPO:ssa kehitys olisi toisenlainen. Energiankäytön tehostuminen sekä siirtyminen hiilestä, öljystä ja turpeesta kaasuun ja puuhun sekä jossain määrin tuulivoimaan päädyttäisiin lopuksi tilanteeseen, jossa hiilidioksidipäästöt kasvaisivat aluksi ensimmäisen kymmenen vuoden aikana, vuoteen 2005 asti, jonka jälkeen ne kääntyisivät lievään laskuun. /5/

EPO1-skenaariossa vuoden 2025 arvioidut päästöt olisivat suunnilleen samaa luokkaa kuin vuonna 1990 eli runsas 50 miljoonaa tonnia. /5/

Mikäli hiilidioksidipäästöjä on tulevaisuudessa tarvetta alentaa vielä EPO1:stäkin, täytyisi sähkön hankinta perustua yhä enenevässä määrin ydinvoimaan. EPO2:ssa onkin oletettu, että uutta ydinvoimaa rakennetaan 2000 MW lisää. Tässä skenaariossa vuoden 2025 hiilidioksidipäästöt jäävät selvästi alle 50 miljoonan tonnin. /5/



Kuva 15.8. Hiilidioksidipäästöjen kehitys vuoteen 2025. /5/

Ilman ydinvoimaakin on mahdollista päästä vuoden 1995 päästöjen tasolle, mutta se edellyttää kulutuksen rajoittamista, puun energiakäytön merkittävää lisäämistä, kaasun tuonnin nelinkertaistamista ja sähköntuotannon jatkamista nykytasolla. Lisäksi hiilen käytöstä tulisi luopua kokonaan. /6/

LÄHTEET

/1/ Energia Uutiset 1/99, Adato Energia Oy 1999.

/2/ VTT Energia, Energia Suomessa, Oy Edita Ab 1999, 368 s.

/3/ <http://www.stat.fi>

/4/ Energiakatsaus 1/99, Kauppa- ja teollisuusministeriö 1999.

/5/ Energiatalous 2025, Skenaariotarkasteluja, Kauppa- ja teollisuusministeriö, julkaisuja 3/1997, Oy Edita Ab 1997, 95 s.

/6/ <http://www.vn.fi/ktm>

16 ENERGIANSÄÄSTÖ

16.1 Yleistä

Energiansäästöä alettiin puhua vuosina 1973-1974 olleen öljykriisin jälkeen, jolloin oli tarpeen vähentää öljynkulutusta välittömästi. Kriisin jälkeen kohonnut öljyn hinta jatkoi tarvetta kulutuksen pienentämiseen. Toinen keskeinen peruste energiansäästölle oli energiahuollon varmuuden parantaminen. 1980-luvun alussa ollut öljykriisi korosti taloudellisia näkökohtia. Tultaessa 1990-luvulle alkoivat energian tuotannosta ja kulutuksesta aiheutuvat ympäristöhaitat nousta keskeisempään rooliin. Nykyään hiilidioksidipäästöjen vähentäminen on keskeisin tavoite energiansäästön toteuttamisessa.

16.2 Suomen energiansäästöohjelma

Suomi pyrkii aktiivisesti hillitsemään energian tuotannosta ja kulutuksesta aiheutuvia haitallisia ympäristövaikutuksia ottaen huomioon kansainväliset sopimukset ja kestävä kehityksen periaatteet. Ohjelman keskeisenä tavoitteena on estää hiilidioksidipäästöjen lisääntyminen siten, että Suomen päästöt ovat vuonna 2010 samat kuin vuonna 1990. Tähän pyritään energiatehokkuuden parantamisella ja uusiutuvien energialähteiden lisäkäytöllä. /1/

Suomen energiansäästöohjelman tavoitteena on tehostaa energiankäyttöä 10-20 % vuoteen 2010 mennessä. Tarkoituksena on saada sama tuote tai palvelu aikaan yhä pienemmällä energiapanoksella. Lisäksi on tavoitteena pysäyttää primäärienergian kulutuksen kasvu. /1/

Energiansäästöä pyritään edistämään mm. taloudellisin ohjaukeinoin sekä säädöksin ja määräyksin. Näitä toteutetaan ja kehitetään sovitettuna kansainväliseen ja etenkin Euroopan unionin piirissä tapahtuvaan kehitykseen. Taloudellisista ohjaukeinoista verotuksella on tärkeä osuus. Muita taloudellisia ohjaukeinoja ovat rahoitustuet mm. uuden teknologian kehittämiseen, kaupallistamiseen ja käyttöönnottoon. /1/

16.2.1 Energiansäästön palvelukeskus Motiva

Motiva on voittoa tavoittelematon, puolueeton, pääosin kauppa- ja teollisuusministeriön (KTM) budjettivaroin toimiva yksikkö. Motiva hankkii rahoitusta myös muista lähteistä. Sen toimintaa ohjaa KTM:n energiaosasto sekä eri sidosryhmistä koottu taustaryhmä. Taustaryhmään kuuluu energia-alan asiantuntijoita. Motivan päätehtävänä on toteuttaa Suomen energiansäästö-ohjelmaa motivoimalla yrityksiä ja yksityisiä kuluttajia entistä tehokkaampaan energiankäyttöön. Motivan tarkoituksena ei ole siis keksiä kieltoja ja rajoituksia, vaan lisätä tietoa taloudellisesta ja ympäristöystävällisestä toiminnasta turhan energiankäytön vähentämiseksi. Motiva tukee energiansäästötoimintaa tuottamalla ja jakamalla tietoa, kokoamalla ja käynnistämällä yhteistyöhankkeita sekä ohjaamalla taloudellista tukea yhteistyöhankkeisiin. /2/

16.2.2 Energiakatselmusmenetelmät

Energiakatselmus on jostain yrityksestä tai kiinteistöstä tehty kokonaisvaltainen energiaselvitys, joka on tehty kauppa- ja teollisuusministeriön sekä Motivan ohjeiden ja vaatimusten mukaisesti. Energiakatselmuksessa otetaan huomioon tarkasteltavan kohteen lämmön, sähkön ja veden käyttö sekä näiden säästämähallisuudet. /2/

Energiakatselmuksia on jaettu kolmeen luokkaan. *Kiinteistökatselmus* on palvelusektorin rakennusten energiakatselmus, jossa kartoitetaan rakennusten ja rakenteiden energiansäästämähallisuudet. *Teollisuuden energiakatselmus* on teollisuussektorin suppeampi energiakatselmus, jossa kartoitetaan Kiinteistökatselmuksen lisäksi tuotantoa tai prosessia palvelevien käyttöhyödykejärjestelmien energiansäästämähallisuudet. *Teollisuuden energia-analyysi* on teollisuussektorin laajempi energiakatselmus, jossa kartoitetaan Teollisuuden energiakatselmuksen laajuuden lisäksi kaikki prosessin tai tuotannon energiansäästämähallisuudet. /2/

16.2.3 Energiansäästösopimukset

Suomen energiajärjestelmä on nykyisellään jo varsin tehokas, mutta mahdollisuuksia energian tehokkaampaan käyttöön on silti olemassa. Rahan säästö ja Kioton ilmastokokouksessa tehdyt päätökset kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisestä ovat kaksi tärkeintä perustetta energiatehokkuuteen. Suomessa tähän pyritään mm. energiansäästösopimuksilla. Energiansäästösopimukset ovat yleisesti hyväksytyjä ja käytettyjä menetelmiä useissa eri maissa. /2/

Kauppa- ja teollisuusministeriö (KTM) on tehnyt energiansäästösopimuksen teollisuuden, kuntien, energia-alan ja kiinteistö- ja rakennusalan kanssa. Sopimusten yleisenä tavoitteena on energian

kulutuksen pienentäminen. Sopimukset ovat vapaaehtoisia, mutta tehty sopimus velvoittaa osapuolet toimimaan aktiivisesti yhä energiatehokkaampaan suuntaan. /2/

Teollisuuden energiansäästösopimukseen liittyneet yritykset edustavat lähes 75 % Suomen teollisuuden energian käytöstä. Energia-alasta voimalaitosalan säästösopimuksiin liittyneet yritykset tuottavat sähköstä noin 74 %. Kaukolämpöalan säästösopimuksiin liittyneet yritykset edustavat 44 % Suomessa myydystä kaukolämmöstä. Energiansäästösopimuksen on tehnyt tähän mennessä myös 15 kuntaa. /2/

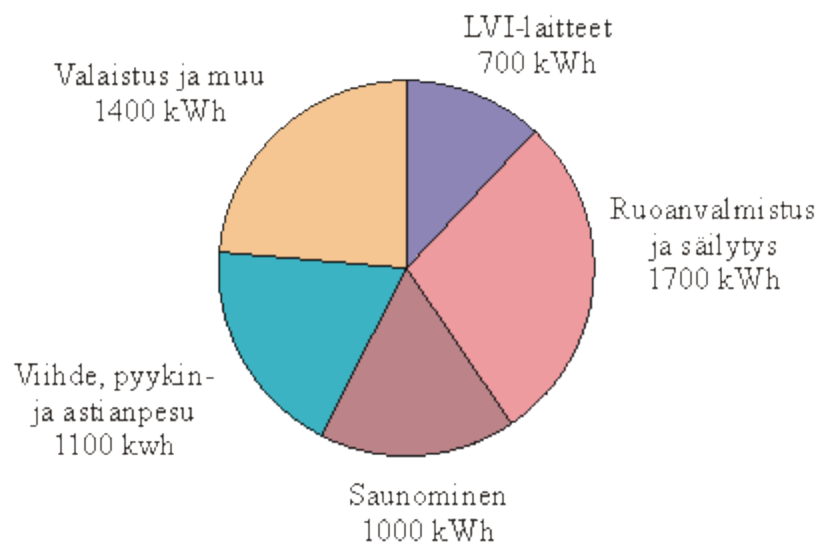
16.3 Energiansäästö eri sektoreilla

Seuraavaksi tarkastellaan energiansäästön mahdollisuuksia kotitalouksissa, palveluissa, teollisuudessa ja energia-alalla.

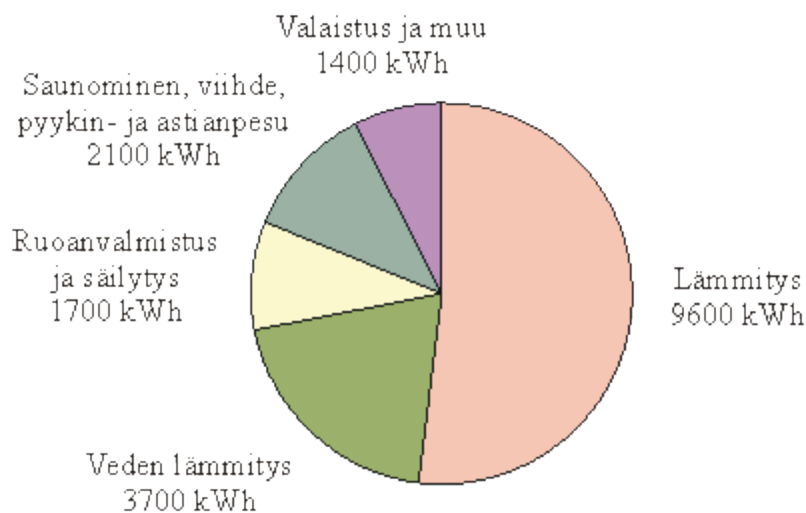
16.3.1 Kotitaloudet

Koti- ja maataloudet käyttivät 24 % kaikesta tuotetusta sähköstä vuonna 1998. Se tekee noin 18,4 TWh. Kaikesta asumiseen käytettävästä energiasta sähkön osuus on 27 %. /3/

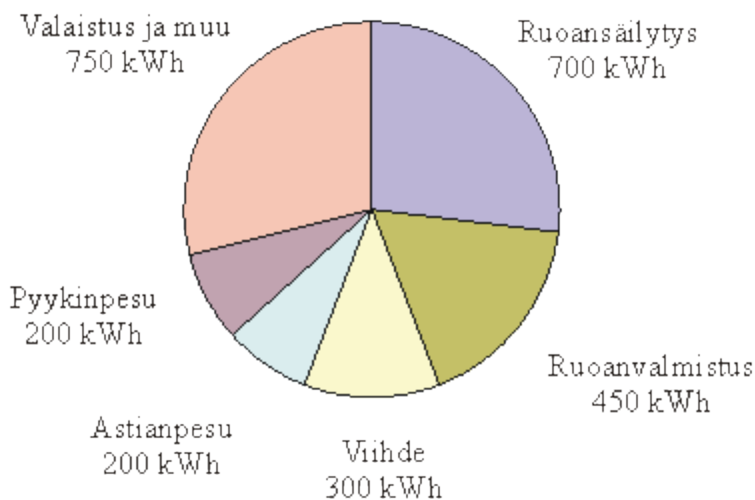
Sähkönkäyttö jakaantuu lisäksi moneen eri osa-alueeseen, kuten ruoan säilytykseen ja valmistukseen, valaistukseen, pyykinpesuun ja -kuivaukseen sekä viihde-elektroniikan käyttöön. Edelleen sähkölämmitteisissä taloissa lämmitykseen kuluu selvästi eniten sähköä. Seuraavissa kuvissa esitetään muutamia esimerkkejä sähkönkulutuksesta erityyppisissä kotitalouksissa.



Kuva 16.1. Sähkön kulutuksen jakauma kaukolämmitteisessä omakotitalossa (4 henkilöä, 120 m²). /2/



Kuva 16.2. Sähkön kulutuksen jakautuminen sähkölämmitteisessä omakotitalossa (4 henkilöä, 120 m²). /2/



Kuva 16.3. Sähkön kulutuksen jakautuminen kerrostalossa (3 henkilöä, 75 m²). /2/

Alla olevassa taulukossa 16.1 on esitetty yleisimpien kodin laitteiden sähkönkulutuksia.

Taulukko 16.1 Eri laitteiden sähkönkulutuksia. /2/

LAITE	KULUTUS
Kylmälaitteet	
- Jääkaappi	0,8 kWh/vrk
- Jääkaappi-pakastin	1,7 kWh/vrk
- Pakastin	1,2-1,8 kWh/vrk riippuen koosta
Pesu- ja kuivauslaitteet	
- Astianpesukone	
* kylmävesiliitännällä	1,5 kWh/kerta
* lämminvesiliitännällä	0,8 kWh/kerta
- Pyykinpesukone	
* valkopesu (90°)	1,8 kWh/kerta

* kirjopesu (60°)	1,3 kWh/kerta
* hienopesu (40°)	0,8 kWh/kerta
- Kuivausrumpu	3 kWh/kerta
- Kuivauskaappi	4,5 kWh/kerta
Ruoanvalmistuslaitteet	
- Sähköliesi	1-2 kWh/vrk
- Mikroaaltouuni	0,2 kWh/10 min.
- Kahvinkeitin	0,1 kWh/10 min.
- Leipäkone	0,3 kWh/leipä
Viihdelaiteet	
- Radio	0,02 kWh/tunti
- Televisio	0,1 kWh/tunti
- Videonauhuri	0,03 kWh/tunti
- Kotitietokone	0,1 kWh/tunti

Sähkölasku määräytyy käytettyjen kilowattituntien ja perusmaksujen mukaan. Taulukossa 16.2 on esitetty sähkön keskilowattihinta kuluttajatyypeittäin 1.1.1999.

Taulukko 16.2 Sähkön keskihinta kulutustyypeittäin. /4/

Kotitaloudet	
- Kerrostaloasunto	57,7 p/kWh
- Pientalo	51,3 p/kWh
Maatilatalous	48,2 p/kWh
Sähkölämmitys	
- Suora	38,6 p/kWh
- Varaava	33,1 p/kWh
Teollisuus	
- Pieni	38,7 p/kWh
- Keskisuuri (2 GWh/a)	31,7 p/kWh
- Suuri (10 GWh/a)	31,2 p/kWh

Asumisen sähkön käyttöön vaikuttavat niin omat käyttötottumukset kuin hankitut kodinkoneet. Laitteiden valinnalla, niiden oikealla sijoituksella ja käytöllä on merkittävä vaikutus lopulliseen sähkönkulutukseen. Televisioiden, videoiden, radioiden, tietokoneiden ja mikroaaltouunien valmiustilat käyttävät sähköä silloinkin, kun niitä ei aktiivisesti käytetä. Myös verkkolaturi (matkapuhelimen laturi) kuluttaa sähköä silloinkin kun akku on jo täynnä tai kun laturi on kytketty tyhjänä pistorasiaan.

Energiaa säästävien laitteiden hankinnalla voidaan vähentää asumisen energiakustannuksia. Tällaisten laitteiden hankintaa helpottamaan on kehitetty energiamerkki, joka kertoo laitteen energiankulutuksesta. Se luokittelee kodinkoneet eri energiatehokkuusluokkiin. Merkki on olemassa ja pakollinen kodinkoneista mm. kylmälaitteille, kuivausrummulle, pesukoneelle ja astianpesukoneelle. Energiamerkin tarkoituksena on ohjata kuluttajia valitsemaan vähän energiaa kuluttavia laitteita ja kannustaa laitevalmistajia energiaa säästävien kotitalouskoneiden kehittämiseen. Seuraavaksi tarkastellaan esimerkkinä kylmälaitteen energiamerkkiä.

Kylmälaitteille energiamerkintä tuli pakolliseksi Suomessa vuonna 1995 ja se jakaa kylmälaitteet seitsemään eri luokkaan. A-luokan laitteet kuluttavat energiaa vähiten ja G-luokan laitteet eniten.

Taulukossa 16.3 on esitetty eri energiankulutusluokat.

Taulukko 16.3 Kylmälaitteiden kulutusluokat. /5/

Energiatehokkuusluokka	Sähkönkulutus keskitasoon verrattuna
A	yli 45 % vähemmän
B	25-45 % vähemmän
C	10-25 % vähemmän
D	0-10 % vähemmän
Keskitaso EU-maissa	
E	0-10 % enemmän
F	10-25 % enemmän
G	yli 25 % enemmän

Energiamerkissä on kulutusluokan lisäksi kerrottu kylmälaitteen valmistaja tai tavaramerkki ja laitemalli. Merkissä on kylmälaitteen vuotuinen sähkönkulutus, joka on laboratorio-olosuhteissa mitattu. Todellinen kulutus riippuu laitteen käyttötavoista ja sijoituksesta. Edelleen merkistä käy ilmi säilytysosien yhteinen tilavuus sekä mahdollisesti myös laitteen käyntiäänänen voimakkuus, jota ei ole kuitenkaan pakko ilmoittaa. Esimerkki kylmälaitteiden energiamerkistä on esitetty kuvassa 16.4.



Kuva 16.4. Esimerkki kylmälaitteiden energiamerkinnästä. /5/

Kylmälaitteet kannattaa sijoittaa viileään paikkaan, erilleen liedestä, astianpesukoneesta, lämpöpattereista ja takasta. On huolehdittava, että vapaata ilmankiertotilaa on laitteen ympärillä tarpeeksi. Komeroon sijoitetun kylmälaitteen sähkönkulutus on 10 - 30 % suurempi kuin vapaasti sijoitetun. Jääkaapin suositeltava keskilämpötila on +5°C ja pakastimella -18°C.

Pesukoneisiin energiamerkki tuli vuonna 1996. Energiankulutus ilmoitetaan 60°C:en ohjelmasta, esimerkiksi 1,2 kWh/ohjelma. *Pesutulos* ilmoitetaan asteikolla A-G. A on paras arvosana ja G on huonoin. *Linkoustulos* näkyy asteikolla A-G kuten pesutulos. Lisäksi kerrotaan rummun pyörimisnopeus. *Täyttömäärä* tarkoittaa kuivaa pyykkiä. *Vedenkulutus* on koko kirjopesuohjelman käyttämä vesimäärä. *Äänitason* ilmoittaminen on vapaaehtoista. Pesukoneen yhden pesuohjelman

sähkönkulutus on 0,8-2 kWh, jolloin sähkön osalta pesu maksaa noin 30-90 penniä.

16.3.2 Teollisuus ja energia-ala

Teollisuus käyttää noin 50 % Suomen koko energiasta. Teollisuussektorin energiankäyttöön on siten kiinnitettävä erityistä huomiota. Teollisuuden toiminnan ja kilpailukyvyn kannalta kolme tärkeintä seikkaa ovatkin energian ja raaka-aineiden tehokas käyttö sekä päästöjen minimointi. /6/

Teollisuudelle on olemassa suppeampia ja laajempia energiakatselmuksia. Suppeampaa kutsutaan nimellä Teollisuuden energiankatselmus ja laajempaa nimellä Teollisuuden energia-analyysi.

Teollisuuden energiakatselmuksissa kartoitetaan kohteen tehdaspalvelujärjestelmien, talotekniikan ja rakenteiden energiansäästömahdollisuuksia. Varsinaista tuotantoprosessia ei tarkastella yksityiskohtaisesti. Tämä katselmuksmalli sopiikin aloille, joissa varsinainen tuotannon energiankulutus on vähäistä tai sellaista, jossa säästömahdollisuudet ovat pienet. Katselmuksessa perehdytään rakennusten ja prosessien energiankäyttöön, selvitetään niiden tehostamismahdollisuuksia ja arvioidaan kannattavat säästöinvestoinnit. Energiakatselmuksia on tehty vuosien 1992-1997 aikana teollisuudessa yhteensä noin 350. /6/

Teollisuuden energia-analyysissä otetaan huomioon Teollisuuden energiankatselmuksen lisäksi tuotantoprosessin energiansäästömahdollisuudet. Energia-analyysiä onkin tarkoituksenmukaista käyttää toimialoilla, joissa tuotantoprosessin energiankulutus on suuri tai jos tuotantoprosessiin vaikuttamalla voidaan päästä merkittäviin energiasäästöihin. Energia-analyysijä on tehty tähän mennessä parikymmentä. /6/

Tehtyjen energiankatselmusten ja energia-analyysien perusteella voidaan todeta, että keskimääräiset säästömahdollisuudet ovat lämmön osalta 17 %, sähkön 6 % ja veden 12 %. /6/

Kauppa- ja teollisuusministeriö (KTM) ja Teollisuuden ja Työnantajain Keskusliitto (TT) allekirjoittivat marraskuussa 1997 sopimuksen energiansäästön edistämiseksi teollisuudessa. Sopimus on voimassa vuoteen 2005 saakka. Vuoden 1999 syksyyn mennessä sopimukseen on liittyneet yritykset edustavat lähes 75 % koko teollisuuden energiankäytöstä. /2/

Energia-ala on myös mukana energiansäästösopimuksissa. Vuoden 1997 marraskuussa Kauppa- ja teollisuusministeriö ja Energia-alan Keskusliitto ry Finergy, Sähköenergialiitto ry Sener sekä Suomen Kaukolämpö Sky ry allekirjoittivat sopimuksen energiansäästön edistämiseksi sähkön tuotannossa, siirrossa ja jakelussa sekä kaukolämpöalalla. Energiansäästösopimus velvoittaa energiayhtiöt niin oman energiakäytön tehostamiseen kuin asiakkaiden energiansäästön edistämiseen. Sopimus on voimassa vuoteen 2005 ja on vapaaehtoinen. /7/

Voimalaitosalan sopimukseen on liittynyt noin 74 % sähköntuotannosta. Sähkön siirto- ja jakelualan yritykset ovat lähteneet liikkeelle hitaammin. Tämän alan yrityksistä kuitenkin noin 54 % on mukana sopimuksessa. Kaukolämpöalan sopimusten kattavuus on noin 45 %. /2/

16.3.2.1 Energiansäästösopimusten toteuttaminen

Energiansäästösopimuksen vaiheet ovat pääpiirteittäin samanlaiset niin teollisuudelle kuin energia-alallekin. Seuraavassa käydään läpi tärkeimpiä vaiheita.

Kun yritys on liittynyt sopimukseen, siltä edellytetään sen jälkeen

- 1) Energiankäytön tilanneselvityksiä

- 2) Energiankulutuksen katselmointia ja analysointia
- 3) Tehostamissuunnitelman laatimista
- 4) Suunnitelman mukaisia tehostamistoimenpiteitä
- 5) Vuosittaista raportointia Teollisuuden ja Työntekijöiden Keskusliitolle TT:lle. /6,7/

KTM puolestaan sitoutuu tukemaan energiakatselmus- ja analyysitoimintaa sekä energiansäästöön tähtääviä investointeja.

Energiankäytön tilanneselvityksessä kartoitetaan yrityksen energiankäytön ja tuotannon nykytilaa ja lähihistoriaa. Siinä selvitetään energian käyttö- ja tuotantotiedot, päätetään alustava aikataulu tehtävälle energiakatselmukselle tai -analyysille sekä nimetään energiavastuuhenkilö, joka toimii yhteyshenkilönä energiankäyttöön ja energiansäästösopimuksiin liittyvissä asioissa. /6,7/

Energiankulutuksen katselmoinnit ja analysoinnit ovat toimipaikkakohtaisia energiankäytön tehostamisselvityksiä, joissa kartoitetaan energian tuotantoa ja käyttöä, selvitetään näiden tehostamismahdollisuuksia sekä toiminnasta aiheutuvia kustannuksia ja saavutettavia säästöjä. /6,7/

Tehostamissuunnitelmassa kerrotaan taloudellisesti toteutettavat investoinnit sekä muut tehostamistoimenpiteet. Lisäksi esitetään investointien toteutusaikataulu. /6,7/

Varsinaisessa *toteutusvaiheessa* toteutetaan suunnitellut investoinnit, otetaan huomioon energiatehokkuus myöhemmissä investoinneissa ja hankinnoissa, seurataan kulutusta, koulutetaan henkilöstöä ja huolehditaan sisäisestä ja ulkoisesta viestinnästä. /6,7/

Raportointivaiheessa yritys toimittaa yhteenvedon TT:lle energian käyttö- ja tuotantotiedoista, toteutuneista tehostamistoimenpiteistä sekä arvion muista energiatehokkuuteen vaikuttavista toimenpiteistä. /6,7/

Energian käytön tehostamisella pyritään pienentämään yrityksen tuotantokustannuksia ja parantamaan kilpailukykyä. Pitkäjänteisellä ja suunnitelmallisella energiatehokkuuden parantamisella voidaan myös vaikuttaa ympäristöpäästöihin. Edelleen energiatehokkuuteen panostamalla yrityksellä on mahdollisuus parantaa yrityskuvaansa, joka on varsinkin nykyään varsin merkittävä kilpailutekijä. /6,7/

16.3.3 Palvelut

Julkinen ja yksityinen palveluala käyttävät lähes viidenneksen kaikesta energiasta. Julkiseen palveluun kuuluvat mm. kunnat ja kuntayhtymät. Tälle sektorille laadittiin vuonna 1997 energiansäästösopimus, jonka tavoitteena on parantaa kuntien energiatehokkuutta. Sopimuksen solmivat Kauppa- ja teollisuusministeriö ja Suomen Kuntaliitto. Yksityisellä palvelualalla tarkoitetaan palveluyrityksiä, joita tällä sektorilla on lähes 150 000. /2/

Koko palvelusektorin rakennuksien lämmittämiseen kuluu vuodessa noin 16 000 GWh. Sähköä rakennuksissa käytetään vuodessa noin 8500 GWh, joka on koko maan sähkönkulutuksesta 11 %, joten ei ole yhdentekevää, miten tämän sektorin järjestelmiä ja laitteita käytetään. Liikerakennukset (myymälä-, majoitus- ja ravitsemusrakennukset) käyttävät noin 40 % sähköstä. Toimistorakennusten osuus on toiseksi suurin, noin 17 %. Seuraavaksi tarkastellaan lähemmin, miten voidaan vaikuttaa toimiston sähkönkulutukseen. Ohjeet pätevät tietenkin kaikkialla, missä toimistolaitteita käytetään. /2/

Toimistokoneiden lisääntymisen myötä toimistojen sähkönkulutus kasvaa nopeasti. Seuraavassa esitetään vinkkejä ja neuvoja, kuinka sähkönkulutukseen voidaan vaikuttaa alentavasti. Vaikka voidaan ajatella, että esiteltävien keinojen vaikutukset ovat merkityksettömiä, on syytä muistaa, että pienistä palasista syntyy suuri kokonaisuus.

Tietokoneet oheislaitteineen kuluttavat noin kolmanneksen koko toimiston sähköstä. Onkin

perusteltua sammuttaa tietokone aina käytön jälkeen ja opetella käyttämään virransäästöautomaatiikkaa, mikäli koneessa sellainen on. Tietokoneverkkoa, esim. useampi kone yhdellä tulostimella, käyttämällä saadaan aikaan säästöä sähkössä ja kustannuksissa. Edelleen, jos mahdollista, kannattaa suosia pienellä sähköteholla toimivia kannettavia tietokoneita. /8/

Näytöt perustuvat tavallisesti katodisädeputkien toimintaan. Katodisädeputkitekniikalla toteutettujen näyttöjen virrankulutus on kuitenkin verrattain suurta verrattuna toiseen vaihtoehtoon, nestekidenäyttöön. Nestekidenäyttöjä käytetään kannettavissa tietokoneissa, joskin nestekidetekniikkaan perustuvat näytöt tekevät tuloaan muihinkin koneisiin. Näyttöjen sähkönkulutus kasvaa niiden koon myötä, joten onkin tarpeellista harkita, minkä kokoista kuvaruutua ja erottelukykyä tarvitaan kulloisenkiin työskentelyyn. On lisäksi suositeltavaa, että näytön virransäästö on asennettu toimintaan. Tämä säästää sähköä lisäksi kuvaputkea pidentäen sen ikää. /8/

Kirjoittimien osalta kannattaa harkita yhteiskäyttöä ja mahdollisuutta tulostaa paperin molemmille puolille. Mahdollinen virransäästöjärjestelmä on hyvä olla kytkettynä päälle. Käyttämällä ohjelmien esikatselutoimintoja vältetään turhia tulostuksia. Samoin sähköpostin käytöllä vähennetään tulostusta. /8/

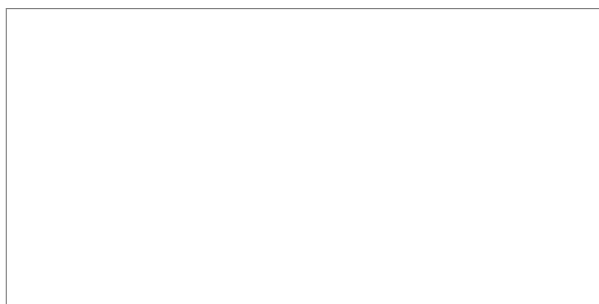
Kopiokone on hyvä mitoittaa työpaikan tarpeiden mukaan. Ottamalla kaksipuolisia kopioita säästetään sähköä, paperia ja konetta. Virransäästö-toimintaa käyttämällä ja työpäivän jälkeen kone sammuttamalla saadaan aikaan säästöjä. On myös syytä keskittää kopiointityöt. Joka kerta kun kone lämpenee lepotilasta aktiivitilaan sähkönkulutus kasvaa. /8/

Faksit kannattaa yhdistää suoraan tietokoneeseen. Näin tiedostot voidaan lähettää suoraan koneesta, mikä vähentää työhön kuluvaan aikaan ja pienentää paperinkulutusta. Lisäksi tietokoneeseen kannattaa liittää toiminto, joka kerää tulevat faksit muistiin talteen. Markkinoilla on tarjolla mm. lämpö-, mustesuihku- ja laserfakseja. Näiden väliset kulutuserot on hyvä selvittää jo hankintavaiheessa. Faksit ovat päällä ympäri vuorokauden, mutta ovat käytössä vain pari prosenttia kokonaisuajasta. On olemassa lisälaite, joka kytkee faksiin virran käytön ajaksi ja katkaisee sen automaattisesti lähetyksen loputtua. Laite perustuu siihen, että se tunnistaa jännitteen nousun, joka syntyy puhelinlinjalle puhelimen soidessa. Faksien osalta kannattaa myös harkita, voisiko saman asian hoitaa sähköpostilla. /8/

Valaistus aiheuttaa noin kolmanneksen koko toimiston sähkönkulutuksesta. Yhtenä merkittävänä keinona tämän asian muuttamiseen olisi luonnonvalon tehokkaampi hyödyntäminen. Monesti rakennustekniset ratkaisut kuitenkin estävät luonnonvalon hyödyntämistä. Loisteputket kuluttavat vain noin neljänneksen verrattuna tavalliseen hehkulamppuun. Lisäksi loisteputken ikä on kahdeksankertaa niin suuri kuin hehkulamput. Tyhjään huoneeseen ei ole syytä jättää lamppeja palamaan. Lamppejen sammuttaminen ei vaurioita loisteputkivalaisimia eikä aiheuta kulutuspiikkejä syytettäessä. Valaistus on syytä mitoittaa järkevästi kunkin työtehtävän mukaan. /8/

16.3.3.1 ENERGY STAR®- ja TCO®-merkki

ENERGY STAR® -merkki (kuva 16.5) kertoo, että atk-laitteessa on virranhallintajärjestelmä eli laitteet siirtyvät lepotilaan automaattisesti, kun niitä ei käytetä. Lepotilan sähkönkulutuksen yläraja on esimerkiksi näyttöpäätteille, keskusyksiköille ja normaaleille kirjoittimille 30 W. ENERGY STAR® -merkki on tullut kaikkiin keskeisimpiin toimiston atk-laitteisiin, kuten tietokoneisiin, näyttöihin, kirjoittimiin, kopiokoneisiin ja fakseihin. ENERGY STAR® -ohjelman on alkuaan käynnistänyt yhdysvaltalainen EPA (US Environmental Protection Agency).



Kuva 16.5. ENERGY STAR® -merkki. /8/

TCO®-ympäristömerkki kertoo näyttöjen ja tietokoneiden ergonomiasta, energiansäästöstä sekä laitteiden aiheuttamasta elektromagneettisesta säteilystä ja ympäristöystävällisyydestä. TCO'92® -merkki kertoo ainoastaan näyttöpäätteiden ominaisuuksista, mutta se laajeni vuonna 1995 TCO'95® -merkiksi (kuva 16.6), joka käsittää näyttöjen lisäksi koko tietokoneen näppäimistöineen. TCO'95® asettaa vaatimuksia myös laitteen valmistusprosessin aikana syntyville päästöille. TCO® -merkki on ruotsalaiskehitteinen. /9/



Kuva 16.6. TCO'95® -merkki. /9/

LÄHTEET

/1/ <http://www.vn.fi>

/2/ <http://www.motiva.fi>

/3/ Energia Uutiset 1/99, Adato Energia Oy 1999.

/4/ Energiakatsaus 1/99, Kauppa- ja teollisuusministeriö 1999.

/5/ Energiamerkintäopas kylmäsäilytyslaitteille, esite, Motiva.

/6/ Teollisuuden vapaaehtoinen energiansäästösopimus, esite, Motiva.

/7/ Energia-alan vapaaehtoinen energiansäästösopimus, esite, Motiva.

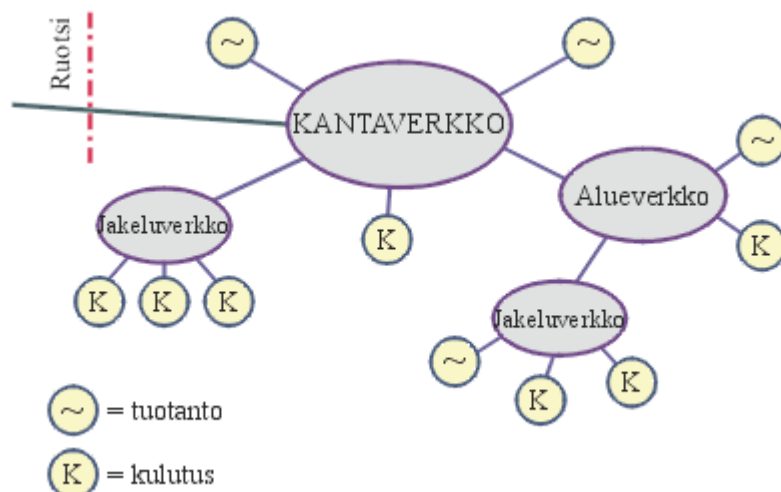
/8/ Vaikuta toimistosi sähkönkulutukseen, esite, Motiva.

/9/ <http://www.tco-info.com>

17 SÄHKÖVOIMAJÄRJESTELMIEN ERITYISKYSYMYKSIÄ

17.1 Suomen sähköjärjestelmän rakenne

Suomen sähköjärjestelmä koostuu yksinkertaisesti esitettynä voimalaitoksista, kuormituksista sekä näiden välisestä siirtoverkosta, johon katsotaan kuuluvaksi myös yhdysjohdot naapurimaihin. Sähköverkko voidaan edelleen jakaa kolmeen eri osaan: kantaverkkoon, alueverkkoon ja jakeluverkkoon. Jakeluverkko liittyy yleensä alueverkkoon, mutta se voi liittyä myös suoraan kantaverkkoon. Kantaverkon omistaa Fingrid Oyj. Suomen sähköjärjestelmä kuuluu pohjoismaiseen yhteiskäyttöjärjestelmään, jonka puitteissa on yhteisesti sovittu periaatteet käyttövarmuuden ylläpitämiseksi ja voimajärjestelmän käytön hoitamiseksi. Suomen sähköjärjestelmä osakokonaisuutena on esitelty kuvassa 17.1.

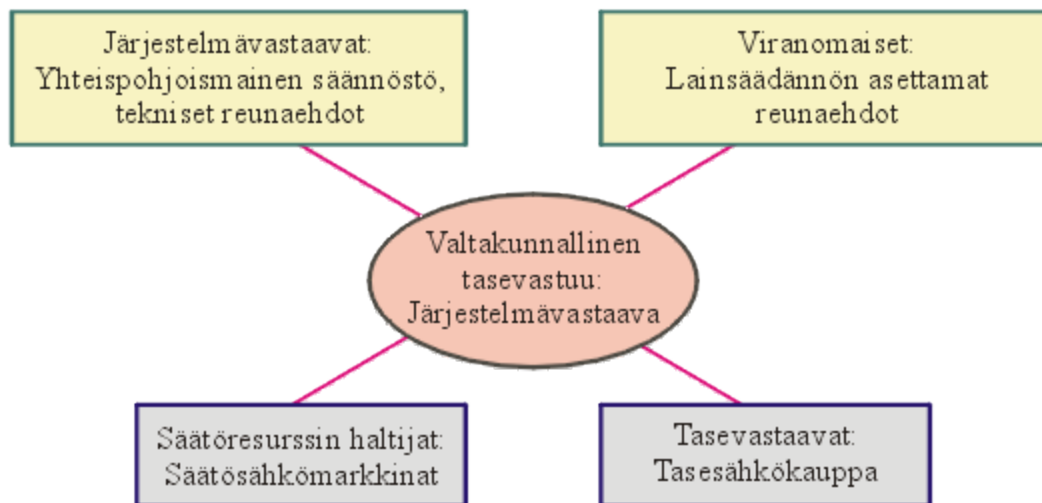


17.2 Valtakunnallinen tasevastuun hoito

Sähkön tuotanto ja kulutus täytyy olla tasapainossa, jotta verkon taajuus pysyy tasapainossa. Valtakunnallisella tasevastuulla tarkoitetaan vastuuta koko valtakunnan sähkön tuotannon ja kulutuksen tasapainon ylläpidosta kunkin tunnin aikana sekä valtakunnallisen taseselvityksen tekemistä. Taseselvitys on käyttötunnin jälkeen tapahtuvaa toteutuneiden sähkökauppojen selvittämistä. /1/

1.9.1998 voimaantulleen sähkömarkkinalain muutoksen mukaisesti valtakunnallisen tasevastuun hoito siirtyi Suomen Voimatase Oy:ltä (SVT) Fingrid System Oy:n (FGS) tehtäväksi 1.1.1999 alkaen. FGS on Fingrid Oyj:n (ennen 1.1.1999 Suomen Kantaverkko Oy) omistama tytäryhtiö, joka vastaa järjestelmävastuun operatiivisesta toteutuksesta kokonaispalveluna emoyhtiölleen. /1/

Suomen sähköjärjestelmässä valtakunnallisesta tasehallinnasta ja taseselvityksestä vastaavalla yhtiöllä on keskeinen asema ja tästä syystä sen toiminnan tulee olla syrjimätöntä ja tasapuolista. Valtakunnallisen tasevastuun hoitoon suoranaisesti osallistuvat osapuolet on esitetty kuvassa 17.2.

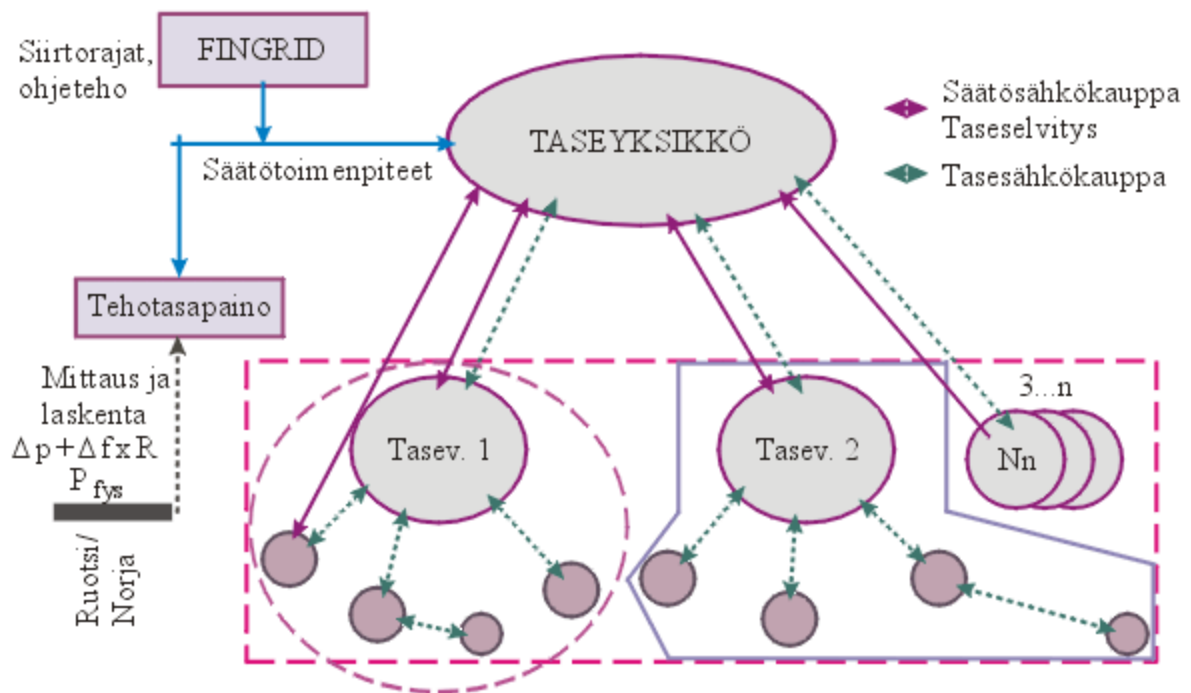


Kuva 17.2. Valtakunnallisen tasevastuun toimintaympäristö. /1/

FGS vastaa varsinaisen tasevastuun toteuttamisesta. Tarvittavat sopimukset Fingrid tekee muiden maiden järjestelmävastaavien kanssa ja ostaa palveluna FGS:ltä tasevastuun operatiivisen toteutuksen.

17.2.1 Valtakunnallinen tasehallinta

Koko valtakunnan sähkön tuotannon ja käytön välisen tasapainon ylläpitoa kutsutaan valtakunnalliseksi tasehallinnaksi. Suomen sähköjärjestelmän tehotasapainon ylläpito perustuu taseyksikön määrittämään Suomen ja muiden Pohjoismaiden välisen sähkökaupan perusteella saatavaan ohjetehtoon. Valtakunnallista tasehallintaa on esitetty kuvassa 17.3. /1/



Kuva 17.3. Valtakunnallinen tasehallinta. /1/

Kuvassa 17.3 on esitetty taseyksikkö, jonka tehotasapainoa säädetään. Sähkökaupan ohjetehto saadaan laskemalla kaikki Suomen ja Pohjoismaiden väliset sähkökaupat etumerkkeineen yhteen. Ohjetehosta, hetkellisestä taajuusvirheestä ja Ruotsin ja Norjan rajajohtojen reaaliaikamittauksista lasketaan asetteluvirhe, jonka perusteella tuotantoa tai kulutusta säädetään joko ylös tai alas.

17.2.2 Suomen tehotasapainon hallinta

Käyttötunnin aikaisen jatkuvan tehotasapainon hallinta perustuu Suomen ja Ruotsin välillä laskettuun asetteluvirheeseen, jossa on mukana rajajohtoilla mitatun taajuuspoikkeaman mukainen komponentti. Taajuuspoikkeamalla otetaan huomioon automaattisen taajuudensäädön vaikutus taseeseen. FGS:än hallitsemilla säätökapasiteeteilla tehtävillä tuotannonmuutoksilla tase säädetään sallitun raja-arvon sisään. Päävastuu taajuuden ylläpidosta on Ruotsilla ja Norjalla. Pohjoismaihin nähden asetteluvirhe (I) muodostetaan seuraavasti:

$$I = P_{mit} - P_0 + \Delta f R,$$

jossa I on asetteluvirhe

P_{mit} on Suomen ja Pohjoismaiden välisiltä yhteysjohtoilta mitattu tehosumma

P_0 on sovittu sähkönsiirto Suomen ja Pohjoismaiden välillä

Δf on taajuuspoikkeama

R on maan taajuudensäätövoiman velvoite

Nykyään on Suomen asetteluvirheen suurimmaksi sallituksi tuntiarvoksi sovittu ± 125 MWh. Suomen hetkellisen asetteluvirheen suurin sallittu arvo on vastaavasti ± 200 MW. Asetteluvirheen osoittama poikkeama on säädettävä pois viimeistään 15 min kuluessa. /1/

17.3 Häiriötilanteet

Sähkövoimajärjestelmässä pyritään jatkuvasti pitämään tasapaino tuotetun ja kulutetun sähkötehon välillä. Järjestelmässä tapahtuu kuitenkin jatkuvasti pieniä kuormituksen muutoksia, jonka vuoksi sen vakaan tilan toimintapiste vaeltaa jonkin verran koko ajan. Suurempia muutoksia toimintapisteeseen aiheuttavat mm. vika siirtoverkossa, johdon irtikytketyminen, sähkölaitteen virhetoiminta, äkkinäinen kuorman lisäys tai pudotus ja voimalaitoksen irtoaminen verkosta. Häiriön jälkeen tapahtuvan tasaantumisilmiön (transientin) kautta siirrytään uuteen tasapainotilaan. Järjestelmän stabiilisuuden varmistamiseksi uusi tasapainotila on saavutettava ennen kuin yksikään generaattori putoaa tahdistista. Kaikki edellämainitut häiriöt aiheuttavat muutoksia generaattoreiden roottoreiden tehokulmissa toisiinsa nähden. Kun tutkitaan näiden kulmien muuttumista sekä suurissa että pienissä häiriötilanteissa, puhutaan järjestelmän stabiilisuustarkastelusta. /2/

17.3.1 Stabiilisuus

Vaihtosähkövoimajärjestelmän stabiilisuudella tarkoitetaan järjestelmän kykyä ylläpitää jännitetaso ja tahtikoneiden yhteiskäyttö. Stabiilisuusongelmat jaetaan yleensä kahteen eri luokkaan häiriön suuruuden ja kestoajan perusteella. Kun häiriöt ja kuormituksen muutokset ovat pieniä ja tapahtuvat hitaasti, puhutaan staattisesta stabiilisuudesta. Vastaavasti dynaamisesta stabiilisuudesta on kyse silloin, kun tarkastellaan suuria ja nopeita häiriöitä ja kuormituksen muutoksia. Tällöin tarkastelussa on huomioitava myös pyörivien koneiden ja muun verkon dynaamiset ominaisuudet. /3/

17.3.1.1 Staattinen stabiilisuus

Staattisen stabiilisuuden tapauksessa tutkitaan usein yksittäisen generaattorin ja jäykän verkon välistä tehonsiirtoa. Tällöin voidaan olettaa, että tarkasteltavan koneen ilmiöt eivät vaikuta merkittävästi muun verkon toimintaan. Lisäksi verkon sisäinen impedanssi voidaan olettaa nolllaksi tai sisällyttää yhdysjohdon reaktanssiin. Jäykän verkon jännitteen voidaan olettaa olevan riippumaton tarkasteltavan koneen tapahtumista. /2/

Koneen verkkoon syöttämä sähköteho P noudattaa tehokulmayhtälöä

$$P = U E / (X_d + X_j) \sin \delta,$$

missä U on verkon jännite

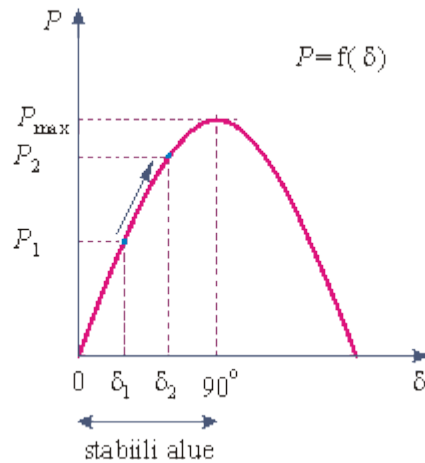
E on generaattorin smv

δ on jännitteiden U ja E välinen tehokulma

X_d on generaattorin tahtireaktanssi

X_j on yhdysjohdon reaktanssi.

Yhtälöstä nähdään, että generaattorin verkkoon syöttämä teho on suurimmillaan (P_{max}) silloin, kun kulma δ on kasvanut 90° suuruisiksi. Mikäli voimakoneen tehoa vielä tästä lisätään, alkaa generaattorin verkkoon syöttämä teho pienentyä. Seurauksena on koneen jatkuva kiihtyminen ja se putoaa tahdistista. Asiaa kuvaava tehokulmakäyrä on esitetty kuvassa 17.4.



Kuva 17.4. Generaattorin ja jäykän verkon välistä tehonsiirtoa kuvaava tehokulmakäyrä. /2/

Yksittäisen generaattorin stabiilisuusehto voidaan siis ilmaista epäyhtälöllä:

$$dP/d\delta > 0.$$

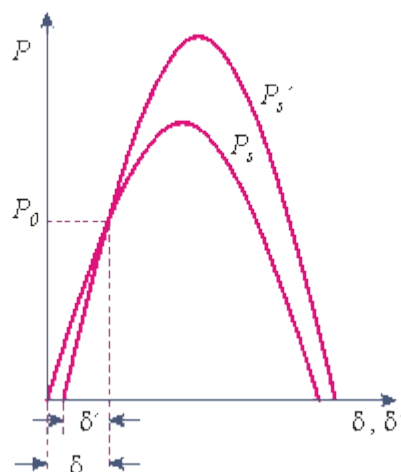
Kulman kasvamisesta aiheutuvan tehonmuutoksen on oltava positiivinen staattisen stabiilisuuden säilyttämiseksi.

17.3.1.2 Dynaaminen stabiilisuus

Dynaamista stabiilisuutta tarkastellaan silloin, kun järjestelmää tarkastellaan suuren häiriön tai sen jälkeisen tasaantumisilmiön aikana. Tarkasteluaika on yleensä noin 20-30 s. /2/

Suuren häiriön sattuessa, jollainen on esimerkiksi kolmivaiheinen oikosulku lähellä generaattoria, ei generaattorin antama teho P' enää noudata tehokulmayhtälöä. Uutta käyrää määritettäessä on generaattorin lähdejännite E ja reaktanssi X_d korvattava muutostilaa kuvaavilla suureilla E' ja X_d' .

Koska generaattorin muutosreaktanssi on oleellisesti tahtireaktanssia pienempi, on dynaaminen rajateho staattista rajatehoa suurempi. Tätä havainnollistetaan kuvassa 17.5.

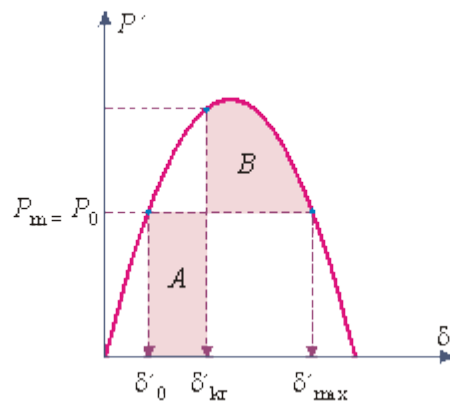


Kuva 17.5. Generaattorin staattinen ja dynaaminen tehokulmakäyrä. /2/

Kuvassa P_s on koneen tehokulmakäyrä ja P_s' on muutostilan tehokulmakäyrä, δ on tehokulma ja δ' on muutostilan tehokulma ja P_0 on koneen verkkoon syöttämä teho.

Kun verkossa syntyy vika, generaattorin tehokulma kasvaa. Kriittinen tehokulman arvo voidaan

pyrkii ratkaisemaan pinta-alakriteerion mukaan. Suurin häiriön kesto aika, jolla stabiili tila säilyy, johtaa pinta-alojen yhtäsuuruuteen. Kuvassa 17.6 on kuvattu pinta-alakriteerioon liittyvät pinta-alat A ja B.



Kuva 17.6. Pinta-alakriteerio. /4/

Kuvassa P_m on voimakoneen mekaaninen teho. Tehokulman suurin sallittu arvo (δ'_{max}) on pisteessä, jossa sähköteho on yhtä suuri kuin mekaaninen teho eli kuvassa pinta-ala A on yhtä suuri kuin pinta-ala B. Tästä saadaan:

$$\delta'_{max} = 180^\circ - \delta'_0.$$

Kriittinen tehokulma on siis kohdassa, jossa kuvan 17.6 viivoitetut alueet A ja B ovat yhtäsuuria. Kun pinta-ala B on suurempi kuin A, järjestelmä on dynaamisesti stabiili. Jos pinta-ala A on suurempi kuin B, generaattorin kiihdyttävä teho on suurempi kuin jarruttava teho, joten generaattori putoaa tahdistasta.

17.3.1.3 Transienttistabiilisuus

Termiä transienttistabiilisuus käytetään tarkasteltaessa alle 1 s kestäviä vikailmiöitä. Näissä tilanteissa järjestelmä siirtyy yleensä nopeasti uuteen tasapainotilaan tai menettää nopeasti stabiilisuutensa. /4/

Tarkastelussa keskitytään usein tutkimaan yhtä generaattoria tai voimalaa sen lähellä syntyvän vian aikana. Huomioon otettavia seikkoja ovat generaattorin ominaisuudet sekä sen tehon- ja jännitteensäätö. Muuta verkkoa voidaan kuvata yksinkertaistaen, mutta sen dynamiikkaa ei yleensä tutkita. Transienttistabiilisuustarkastelu tehdäänkin usein uusien generaattoreiden suunnittelun osana. /4/

17.3.1.4 Jännitestabiilisuus

Jännitetason epästabiilisuus voi muodostua ongelmaksi, kun vakiotehon ottava kuorma saa tehonsa heikon sähköisen yhteyden kautta (tehon siirtotiellä suuri impedanssi). Tällöin jännitteen lasku kuorman navoissa lisää tehon tuottamiseksi tarvittavaa virtaa. Tämä taas kasvattaa siirtoyhteyden jännitehäviöitä ja laskee siten kuorman saamaa jännitettä. Ilmiön seurauksena jännite saattaa romahtaa. Vakiotehon (muuttuva impedanssi) ottavia kuormia ovat esimerkiksi epätahtikoneet. Tilanne on sitä pahempi, mitä pienemmällä tehokertoimella tällainen kuorma toimii. Vakioimpedanssisen kuorman, esimerkiksi lämmityskuorman, ottama teho sen sijaan laskee jännitteen myötä, ja tilanne vältetään. /4/

Jännitestabiilisuus yhdistetään ilmiönä usein myös staattiseen stabiilisuuteen ja jätetään käsittelemättä erikseen.

17.3.1.5 Stabiilisuuden parantaminen

Tärkein stabiilisuuden vaikuttava tekijä on suojausjärjestelmän nopea ja oikea toiminta vikatilanteissa. Vikakohtaan nopea paikallistaminen ja irtikytkennän joustavuus mahdollistavat verkon jatkuvan ja stabiilin käytön. /2/

Pientämällä siirtojohdon impedanssia joko rinnakkaisjohdon tai sarjakondensaattorin avulla saadaan johdon staattinen rajateho suuremmaksi. Sarjakondensaattorin käyttö varsinkin pitkällä siirtoväleillä parantaa myös dynaamista stabiilisuutta. Rinnakkaisreaktoreita käytetään puolestaan siirtoverkon kapasitiivisen virran kompensoinnissa varsinkin tyhjäkäyntitilanteissa. Näitä reaktoreita käytetään pääasiassa verkon jännitteen säätöön mutta niillä on vaikutusta stabiilisuuteen. /2/

Nopean turbiinin tehonsäädön avulla voidaan pienentää generaattoria kiihdyttävää tehoa. Tämä toteutetaan voimalaitoksella ohjaamalla turbiinin venttiili nopeasti kiinni häiriön sattuessa. /2/

Periaatteessa generaattorin stabiilisuutta voidaan parantaa myös nostamalla generaattorin sisäistä smv:tä, pyöriivien osien hitausvakioita suurentamalla sekä lisäämällä verkkoon jarrutusresistansseja tai vastaavaa sähkökuormaa vikapaikan lähelle lyhyeksi ajaksi. Tässä yhteydessä mainitut stabiilisuuden parannuskeinot ovat tosin hyvin teoreettisia. /2/

17.4 Sähköjärjestelmän säätötarve

Sähkön kulutus vaihtelee huomattavasti tunnin, vuorokauden, viikon ja vuoden eri aikoina. Tarkasteltaessa mielivaltaista verkon pistettä, johon on liittyneenä useita kuormituksia, eri suuntiin tapahtuvat samanaikaiset kuormituksen muutokset tasoittavat pisteen kokonaiskulutuksen vaihtelua. Laajennettaessa tarkastelu koskemaan koko sähköjärjestelmää, kuormitusvaihtelut pienenevät edelleen. Tasoittumisesta huolimatta sähköjärjestelmässä kulutus on kuitenkin aina muutostilassa. Koska sähköä ei voida suuria määriä varastoida, on tuotannon oltava joka hetki likimain kulutuksen suuruinen. Näin ollen tuotantoa on säädeltävä kulutuksen mukaan, jotta koko järjestelmän tasapaino säilyisi. /1/

Huolimatta siitä, että tuotantoa säädetään kulutuksen mukaan, vallitsee järjestelmässä silti jatkuva epätasapaino näiden välillä. Epätasapaino näkyy taajuuspoikkeamana järjestelmän nimellisestä 50 Hz taajuudesta. Tuotannon ollessa pienempi kuin kulutus, on sähköjärjestelmässä alitaajuutta ja päinvastoin. Suomen sähköjärjestelmässä taajuuspoikkeaman aktiivinen automaattinen tuotannon säätö toteutetaan osana yhteispohjoismaista primäärisäätöä. Sen avulla huolehditaan epätasapainon jatkuvasta hienosäädöstä. /1/

Taajuuspoikkeaman lisäksi toisena säädön kriteerinä ovat tehopoikkeamat. Näitä tasoitetaan käsiohjauksilla tai osin automaattisesti toteutettavilla tuotantomuutoksilla. Säätöä joudutaan tekemään kaikilla eri tasoilla eli niin eri maiden järjestelmissä kuin pienemmissä osajärjestelmissäkin. Tätä säätöä kutsutaan sekundäärisäädöksi. /1/

Primäärisäätöä ja sekundäärisäätöä on havainnollistettu kuvassa 17.7.



Kuva 17.7. Esimerkki primäärin säädön ja sekundäärin säädön vaikutuksesta. /1/

17.5 Reservivaatimukset

Sähköjärjestelmän hallinnasta vastaavalla on oltava riittävästi säätö- ja reservitehoa käytettävissä järjestelmän luotettavaan hallintaan. Sähkömarkkinakehityksen myötä sähkön tuottajien tarve omaan nopeaan reservikapasiteettiin on vähenemässä ja Suomessa tämän kapasiteetin tärkeimmäksi tarvitsijaksi on tullut järjestelmävastuun hoitajana Fingrid Oyj. Kaasuturbiinikapasiteetin hallintaan ja ylläpitoon on perustettu Fingrid Varavoima Oy, jolla on käytössä noin 600 MW kaasuturbiinikapasiteettia. /1/

Tekniset tuotantoreservit ovat pätö- ja loistehoreservejä, joilla turvataan voimajärjestelmän tekninen toimivuus sekä taataan jännitteelle ja taajuudelle sovittu laatu sekä normaali- että häiriötilanteissa. Teknisiä tuotantoreservejä ovat taajuudensäätöreservi, hetkellinen häiriö-reservi, nopea reservi sekä hidas reservi. Hetkellinen häiriöreservi voidaan edelleen jakaa lois- ja pätötehoreserviin.

17.5.1 Taajuudensäätöreservi

Taajuudensäätöreservi vastaa tuotannon joka hetkisestä hienosäädöstä kulutusvaihteluiden mukaisesti. Pohjoismaisessa yhteiskäyttöjärjestelmässä vaaditaan 600 MW:n taajuudensäätöreservi, joka kokonaisuudessaan oltava käyttövalmiina 2-3 minuutin kuluessa, jos taajuus laskee arvoon 49,9 Hz. Taajuudensäätöreservin mitoituksen määräävät järjestelmän tekniset ominaisuudet ja sähkön laadulle asetettavat vaatimukset. /1/

Taajuudensäätöreservi on vesivoimakoneiden, lämpövoimakoneiden ja tasasähkösiltojen reservissä olevaa kapasiteettia. Tämän reservin ylläpitovastuu jaetaan nykyään Pohjoismaiden kesken maiden vuotuisen energiankulutuksen mukaisissa suhteissa. Suomen osuus on tällä hetkellä 125 MW. /1/

17.5.2 Momentaaninen häiriöreservi

Momentaaninen häiriöreservi on automaattisesti taajuuden muutoksista aktivoituvaa pätötehoreserviä, jonka avulla katetaan tuotannon vajuus, joka syntyy häiriötilanteissa. On olemassa vaatimus, jonka mukaan järjestelmän on selviydyttävä häiriöistä, jotka esiintyvät useammin kuin kerran kolmessa vuodessa. Tämä vaatimus johtaa mitoitusperiaatteeseen, jonka mukaan verkossa on tuotantovalmiina reservikapasiteettia minkä tahansa tuotantoyksikön tehon tai minkä tahansa siirtoyhteyden tehon verran. Häiriötilanteissa reservit tulevat tilalle ja takaavat sähkön toimituksen

jatkumisen. Tätä tehoa kutsutaan momentaaniseksi häiriöreserviksi. /1/

Momentaaniseksi häiriöreserviksi hyväksytään teho, joka taajuuden laskiessa arvoon 49,9 Hz saavuttaa puolet täydestä tehostaan 5 sekunnin kuluessa ja täyden tehon 30 sekunnin kuluessa. /1/

17.5.3 Nopea reservi

Nopea reservi käsitellään kaksijakoisesti käyttötarkoituksen mukaan. Pohjoismaisessa yhteiskäytössä ollaan sovittu, että kussakin maassa ylläpidetään nopeaa häiriöreserviä maan suurinta laukeavaa tehoa vastaava määrä, joka Suomen osalta tarkoittaa yleensä 850 MW. /1/

Nopea häiriöreservi on varattuna järjestelmän käyttöön, jotta käyttövarmuus voitaisiin ylläpitää kaikissa olosuhteissa. Reservi käynnistetään joko kokonaan tai osittain häiriöiden tapahduttua. Tämän reservin käynnistämällä palautetaan tuotantohäiriöiden yhteydessä tehotasapaino naapurimaihin nähden ja pienennetään sähkön siirtoa, jos siirtorajat ovat ylittyneet. Nopealla reservillä palautetaan myös aktivoitunut taajuudensäätöreservi ja mahdollisesti aktivoitunut häiriöreservi. /1/

Toisen käyttötarkoituksen nopealle reserville muodostaa mm. ennustevirheistä ja säädön hitaudesta aiheutuvien epätasapainotilojen korjaaminen järjestelmän normaalitilassa. Reserviä kutsutaan nopeaksi ennustereserviksi. Nopeaksi reserviksi hyväksytään vesivoimakoneet, kaasuturbiinit ja lämpövoimakoneista se teho, joka on lisättävä 15 minuutin kuluessa. /1/

17.5.4 Hidas reservi

Järjestelmässä on hidasta reserviä palauttamassa ajallisesti pitkävaikutteisten häiriötilojen jälkeisen käyttövarmuuden. Hitaan reservin käynnistysaika vaatimus on 15 min - 4 h. Pohjoismaisessa yhteiskäytössä on katsottu tarpeelliseksi, että järjestelmä vastaavat pitävät käyttövarmuussyistä hidasta reserviä, jonka tulisi vastata pohjoismaissa käynnissä olevaa suurinta tuotantoyksikköä. /1/

17.6 Vikatilanteet

Voimansiirtojärjestelmän suunnittelussa on otettava huomioon mahdolliset vikatilanteet, kuten oikosulut maasulut ja ylikuormien seurauksena syntyvät komponenttien laukeamiset. Vikatilanteiden aiheuttajia ovat esimerkiksi ilmastollinen ylijännite eli salamanisku, laitteiden toimintahäiriö tai virhetoiminta, inhimillinen erehdys tai ylikuormitus. Vika saattaa johtaa häiriöön, mikä ilmenee sähkön jakelun osittaisena tai täydellisenä katkeamisena. Tietyt viat, esimerkiksi 1-vaiheiset maasulut, ovat niin tavallisia, että voimansiirtojärjestelmä on mitoitettava siten, ettei vika johda edes tilapäiseen sähkön toimituksen keskeytymiseen. /3/

Pahimpia vikatapauksia ovat oikosulut. Kolmivaiheinen oikosulku on symmetrinen vika ja kaksivaiheinen oikosulku tai maasulku ovat epäsymmetrisiä vikoja, joita syntyy esimerkiksi salaman osuessa johtoihin. Symmetrisiä häiriötilanteita ovat myös esimerkiksi johdon tai muuntajan laukeaminen sekä suuren tuotantoyksikön äkillinen irtoaminen verkosta /3/. Symmetrisiä vikatilanteita voidaan käsitellä yksivaiheisen sijaiskytkennän avulla. Epäsymmetristen vikatilanteiden laskenta perustuu symmetristen verkon komponenttien käyttöön. Verkon epäsymmetriset vaihevirratt ja jännitteet voidaan esittää kullekin suurelle kolmella symmetrisillä komponentilla. Tarkasteltava verkko puolestaan voidaan laskentaa varten jakaa kolmeen verkkoon, joden avulla suureet lasketaan. Verkko voidaan esittää myötä-, vasta- ja nollaverkkona, joista

lasketaan kuhunkin vikatilanteeseen liittyvän kytkennän avulla vikaan liittyvä impedanssi. Kolmivaiheinen oikosulku on symmetrinen vikatilanne ja siinä esiintyy vain myötäimpedansseja eli kolmivaiheverkon komponenttien tavallisia oikosulku-impedansseja.

Viat saavat aikaan voimansiirtojärjestelmässä normaalista poikkeavia jännitteitä ja virtoja ja näin ollen määräävät tavallisesti koko järjestelmän ja sen komponenttien mitoituksen. Vika syntyy verkossa muutosilmiönä, jonka jälkeen seuraa staattinen tila. /3/

17.6.1 Oikosulku

Oikosulku tarkoittaa pienen impedanssin kautta olevaa yhteyttä kahden potentiaaliltaan erisuuruisen tai erivaiheisen johtimen tai rakenteen välillä. Oikosulun seurauksena käyttötaajuinen virta saavuttaa ainakin kertalukua suurempia arvoja kuin kyseisen virtapiirin nimellisvirta. /5/

Kolmivaihejärjestelmän oikosulku voi käsittää kaikki vaiheet (3-vaiheinen oikosulku), kaksi vaihetta (2-vaiheinen oikosulku) tai maadoitetussa verkossa vaiheen ja maan välillä (1-vaiheinen oikosulku). Oikosulun tavallisimpina aiheuttajina ovat avojohdoilla puun oksat tai linnut. Lisäksi eristeiden likaantumiset ja kostumiset lisäävät oikosulun riskiä. Edelleen ylijännitteet sekä virheelliset tai epätarkoituksenmukaiset kytkennät saattavat aiheuttaa oikosulun. /5/

Oikosulun välittömät vaikutukset ovat oikosulkuvirran aiheuttamina mekaanisia ja termisiä. Mekaaniset vaikutukset koostuvat erilaisista sähkölaitteisiin vaikuttavista voimista. Termisiä vaikutukset ovat esimerkiksi johtimien ja eristimien lämpenemistä ja lämpölaajenemista. Välillisistä vaikutuksista voidaan mainita valokaari-ilmiöt. Normaalitylanteessa oikosulkuvirran vaikutukset eivät ylitä laitteiston oikosulkulujuutta. Suojauksen toimiessa oikein vikapaikka eroaa nopeasti muusta verkosta ja näin ollen paikalliset vaikutukset yleensä jäävät vähäisiksi. Laajempaa seurauksena on käyttöhäiriö, jonka aikana vika paikallistetaan ja erotetaan terveestä verkosta. Riippuu verkon rakenteesta, saadaanko vikapaikan takana olevalle verkon osalle toimitettua sähköä vian aikana. Itse vikapaikka jää aina hetkeksi aikaa pois käytöstä. Sähkön jakelun keskeytymisen lisäksi oikosulku aiheuttaa jänniteheilahteluja rinnakkaisissa ja ylemmissä verkoissa ja siten sähkön laadun huononemista. Jänniteheilahtelut voivat aiheuttaa haittoja mm. moottorikäytössä ja valaistuksessa. Erityisen voimakas oikosulku siirtoverkoissa saattaa aiheuttaa häiriötä myös viestiverkoille. /5,6/

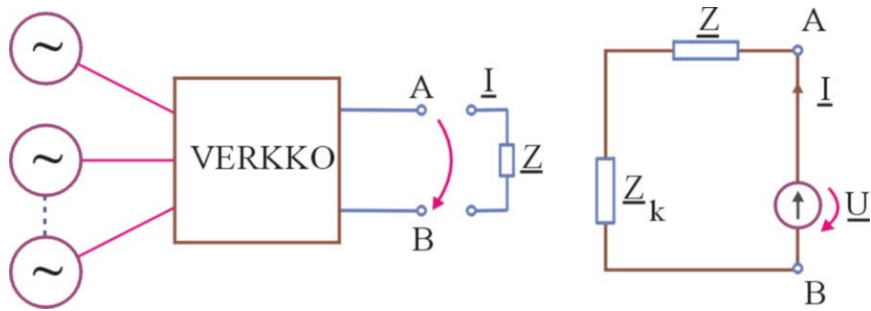
Mikäli oikosulkuvirta aiheuttaa muitakin vaurioita kuin itse alkuperäisessä vikapaikassa, on kyseessä oikosulkulujuuden ylittyminen. Jos tällainen tapahtuu, on se merkki siitä, että suunnittelussa tai sen toteutuksessa on tapahtunut virhe tai, että suunnittelun pohjalla olevat lähtötiedot eivät pidä paikkaansa. Oikosulkulujuuden ylittyessä oikosulun seurausten luonne muuttuu merkittävästi. Oikosulkuvirta voi siinä tapauksessa aiheuttaa vaurioita hyvinkin kaukana alkuperäisestä vikapaikasta. Tästä seuraa häiriöiden laajeneminen ja niiden keston lisääntyminen erityisesti paikallistamisvaikeuksien vuoksi. Näin syntyvät laitevauriot ovat usein vaikeasti korjattavia. Vaurioita ovat tyypillisesti katkaisimien tuhoutuminen, virtamuuntajan tai erottimen vaurioituminen, avojohtojen köysijatkosten aukeaminen ja kaapeleiden huononeminen. Usein edellisiin vaurioihin liittyy riski henkilöturvallisuuden huononemisesta. /5/

Oikosulkulujuuden ylittyminen saattaa aiheuttaa vaaran myös henkilöturvallisuuden kannalta. Tavallinen oikosulkulujuuden ylittymisen syy on laitoksen kasvusta johtuva liian suurien muuntajien käyttö. Toiseksi oikosulkuvirta kasvaa verkkojen laajenemisen ja konetehon lisääntymisen seurauksena. Muuntajien rinnankäyttö lisää myös oikosulkuvirtoja. Rinnankäytöllä pyritään parantamaan sähkön laatua. /5/

17.6.1.1 Oikosulkuvirtojen laskeminen

Oikosulun vaikutukset ovat verrannollisia oikosulkuvirran neliöön. Tämän vuoksi oikosulkuvirtojen mahdollisimman tarkka tunteminen on tärkeää. Oikosulkuvirtojen laskemiseen voidaan käyttää Theveninin teoreemaa. Oikosulkuvirtojen suuruus riippuu suuresti verkon kytkentä- sekä kuormitusilanteesta sekä vikatapauksesta. Nämä kaikki on otettava huomioon laskettaessa verkon suojauksessa ja mitoituksessa tarvittavia oikosulkuvirtoja. /6/

Theveninin teoreeman nojalla voidaan kaikkien oikosulkulähteiden sähkömotoriset voimat korvata yhdellä ainoalla sähkömotorisella voimalla, joka sijoitetaan vikapaikkaan. Kuvassa 17.8 esitetään ekvivalenttisen verkon muodostaminen tutkittavasta verkosta.



Kuva 17.8. Verkon yksinkertaistaminen Tutkittava Ekvivalenttiverkon Theveninin teoreemalla verkko sijaiskytkentä

Kun navat A ja B yhdistetään impedanssilla \underline{Z} , kulkee piirissä virta

$$\underline{I} = \underline{U} / (\underline{Z}_{sv} + \underline{Z})$$

missä \underline{U} on napojen A ja B välinen jännite ennen impedanssin \underline{Z} kytkemistä

\underline{Z} on vikaimpedanssi

\underline{Z}_{sv} on vikapaikan jänniteportaaseen redusoitu verkon impedanssi.

Laskettaessa vikapaikkaan redusoitua verkon impedanssia \underline{Z}_{sv} , korvataan kaikki oikosulkulähteet sekä verkon muut komponentit oikosulkuimpedansseillaan.

Vikapaikkaan sijoitetun ekvivalenttgeneraattorin yli oleva jännite saadaan yhtälöstä

$$\underline{U}_N = c \underline{U}_N / \sqrt{3}$$

missä \underline{U}_N on vikapaikan nimellispääjännite

c on kerroin, jolla huomioidaan sähkömotoristen voimien ja verkon nimellisjännitteiden ero

Kun lasketaan suurinta oikosulkuvirtaa, oletetaan, että vikaimpedanssi \underline{Z} on nolla ja kertoimelle c käytetään arvoja

$$c \text{ on } 1,1 \text{ kun } \underline{U}_N \geq 1 \text{ kV}$$

$$c \text{ on } 1,05 \text{ kun } \underline{U}_N \leq 1 \text{ kV.}$$

Vastaavasti pienintä oikosulkuvirtaa laskettaessa käytetään kertoimelle c seuraavia arvoja

$$c \text{ on } 1,0 \text{ kun } \underline{U}_N \geq 1 \text{ kV}$$

$$c \text{ on } 0,95 \text{ kun } \underline{U}_N \leq 1 \text{ kV.}$$

Seuraavassa on esitetty kolmivaiheverkossa esiintyvien vikatilanteiden, kolme-, kaksi- ja

yksivaiheisten (maasulku) oikosulkujen laskentaa varten johdetut yhtälöt. Kaksi viimeksi mainittua vikatilannetta ovat epäsymmetrisiä vikoja, joissa joudutaan käyttämään symmetrisiä komponentteja. Verkon eri osille joudutaan muodostamaan myötäimpedanssin lisäksi vasta- ja nollaimpedanssit.

Kolmivaiheinen oikosulkuvirta voidaan laskea yhtälöllä

$$I_{k3} = I_k = \underline{U} / \underline{Z}_1 = c \underline{U}_N / \sqrt{3} \sqrt{R_1^2 + X_1^2}$$

missä \underline{Z}_1 on oikosulkupiirin myötäimpedanssi

R_1 on oikosulkupiirin myötäresistanssi

X_1 on oikosulkupiirin myötäreaktanssi.

Muilla termeillä on sama merkitys kuin aikaisemmissa yhtälöissä.

Kaksivaiheinen oikosulkuvirta saadaan yhtälöstä

$$I_{k2} = \sqrt{3} \underline{U} / (\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2) = c \underline{U}_N / \sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (X_1 + X_2)^2}$$

missä \underline{Z}_1 on oikosulkupiirin vastaimpedanssi

R_2 on oikosulkupiirin vastaresistanssi

X_2 on oikosulkupiirin vastareaktanssi.

Mikäli oikosulkupiirin myötä- ja vastaimpedanssit ovat yhtäsuuret, sievenee yhtälö muotoon

$$\begin{aligned} I_{K2} \\ = \\ (\sqrt{3} / \\ 2) \\ (\underline{U} / \\ \underline{Z}_1) \\ = \\ (\sqrt{3} / \\ 2) \\ I_{K3} \end{aligned}$$

Yksivaiheinen oikosulkuvirta tulee yhtälöstä

$$I_{k1} = 3 \underline{U}_N / (\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2 + \underline{Z}_0)$$

missä \underline{Z}_0 on oikosulkupiirin nollaimpedanssi.

Verkon kannalta pahin vikatilanne on se, jossa on suurin virta. Oikosulkuvoimien kannalta pahin tilanne voi esiintyä kiskoston tapauksessa kolmivaiheisessa oikosulussa ja kaapelilla kaksivaiheisessa oikosulussa, jossa oikosulku on vierekkäisten johtimien välillä. Rakenteiden tulee kestää oikosulkutilanteet, joten oikosulkukestoisuus on yksi suunnittelukriteeri.

LÄHTEET

- /1/ Suna J., 1999. Valtakunnallisen tasevastuun hoito Suomen sähköjärjestelmässä. Diplomityö. Tampere, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Sähkötekniikan osasto. 76 s, 1 liitesivu.
- /2/ Mäki T., 1991. Sähkövoimajärjestelmän stabiilisuusohjelmiston käyttöönotto. Diplomityö. Tampere, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Sähkötekniikan osasto. 88 s, 3 liitesivua.
- /3/ Elovaara J. & Laiho Y., Sähkölaitostekniikan perusteet, Otatieto 1988, 487 s.
- /4/ Jyrinsalo J., 1989. Tampereen sähkövoimajärjestelmän käyttäytyminen tehonvajaustilanteissa. Diplomityö. Tampere, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Sähkötekniikan osasto. 95 s, 3 liitesivua.
- /5/ Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus INSKO, Oikosulkukysymykset, 1973, Julkaisu 36-73.
- /6/ Pirttilä V., Enson Kotkan tehtaiden sähköverkon oikosulku- ja maasulkusuojaus. Diplomityö. Tampere, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Sähkötekniikan osasto. 182 s, 47 liitesivua.