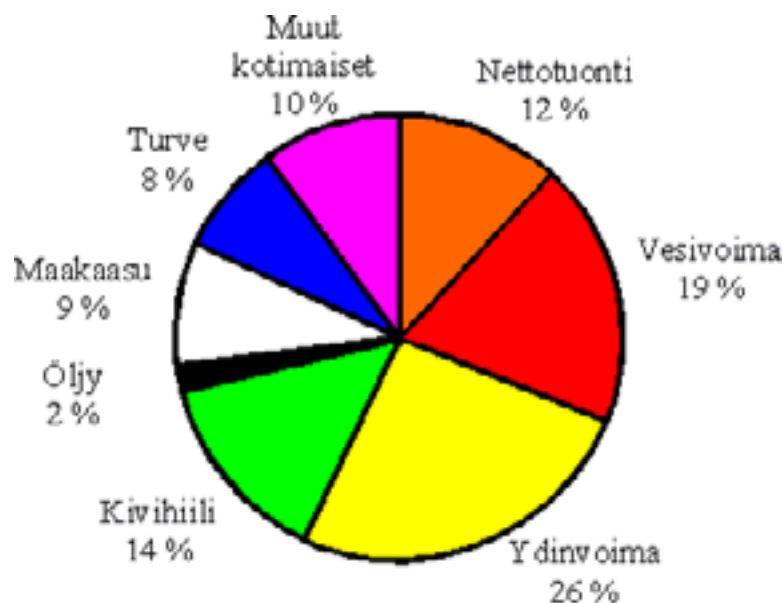


# 2 SÄHKÖN KULUTUS JA TUOTANTO

## 2.1 Yleistä sähkön tuotannosta

Vuonna 1996 Suomessa käytettiin sähköä yhteensä 70 TWh. Maamme sähkön tarpeesta ylivoimaisesti suurin osa tuotetaan kotimaassa. Tuonnin osuus vaihtelee vuosittain riippuen mm. Ruotsin ja Norjan vesitilanteesta. Vuonna 1996 sähköä tuotiin noin 5% tarpeesta, mutta vuotta aiemmin tuonnin osuus oli noin 12%. Tuotanto on hajautettu ympäri maata erilaisille voimalaitoksille. Suurin yksikkö on Olkiluodon ydinvoimalaitos, jonka kahden reaktorin yhteisteho on 1420 MW. /1,5/

Sähkön tuotannon jakautuminen eri energialähdetyyppeihin vuonna 1995 on esitetty kuvassa 2.1. Siitä nähdään, että ydinvoiman osuus kokonaistuotannosta on noin neljännes ja vesivoiman noin viidennes. Nämä arvot ovat keskimääräisiä, mutta pääsääntöisesti ydinvoimalla ajetaan koko ajan täydellä teholla, kun taas kaasuturbiinit ja dieselvoimalat käynnistetään kulutuksen huippuaikoina. Tämän perusteella näitä kutsutaan usein huippukuormalaitoksiksi ja muita peruskuormalaitoksiksi.



Kuva 2.1 Sähköntuotannon jakautuminen. /1/

## 2.2 Voimalaitokset

Kasvava sähkön tarve tyydytetään riittävällä voimalaitosverkostolla. Tärkeimmät voimalaitostyyppit ovat höyry- ja vesivoimalaitokset. Näiden kahden päätyypin lisäksi käytetään kaasuturbiini- ja dieselvoimalaitoksia kattamaan sähkön tarve kulutuksen huippuhetkinä, sillä sähköä on tuotettava joka hetki yhtä paljon, kuin sitä kulutetaan.

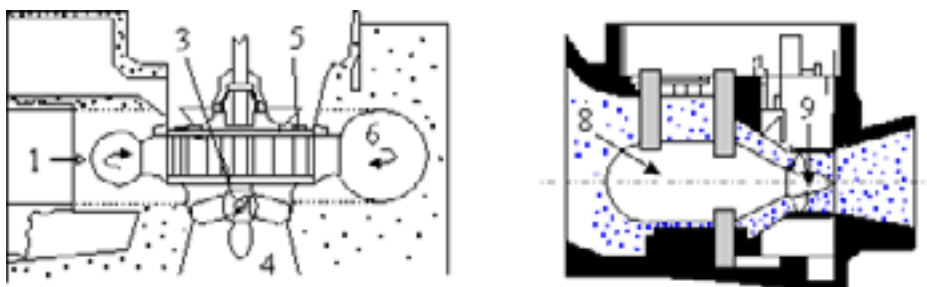
Pääsääntöisesti tuotanto toteutetaan ajamalla peruskuormalaitoksia koko ajan täydellä teholla ja säätämällä vesivoiman tuotantoa. Kulutuksen huippuaikoina käynnistetään lisäksi tätä tilannetta varten olevat huippuvoimalaitokset.

## 2.3 Vesivoimalaitokset

Vesivoimalaitoksen toimintaperiaate on muuttaa virtaavan veden liike-energia generaattorin roottorin liike-energiaksi, joka generaattorissa muutetaan sähköksi. Generaattorin akselia pyöritetään useilla turbiiniratkaisuilla. Nämä voidaan jakaa kahteen pääryhmään: ylipaine- ja suihkuturbiineihin. Turbiinin valintaan vaikuttaa pääsääntöisesti veden putouskorkeus. Putouskorkeuden ollessa pieni käytetään ylipaineturbiinia ja vastaavasti suurilla putouskorkeuksilla käytetään suihkuturbiinia.

Ylipaineturbiineja ovat Francis-, potkuri- ja Kaplan-turbiinit. Näissä turbiineissa mahdollisimman suuri osa veden liike-energiasta siirretään turbiinin roottorin lapaan. Virtaukseen jäänyttä energiaa käytetään, kun vesi virtaa imuputken kautta tunnelista ulos.

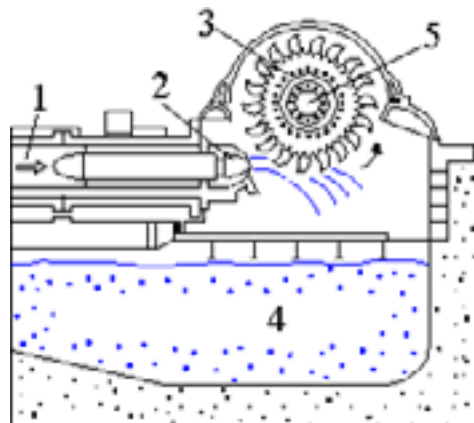
Francis-turbiinit ovat radiaalisia ja niissä on kiinteät lavat. Näitä turbiineja voidaan käyttää pienistä putouskorkeuksista aina 500 metriin saakka. Turbiinin virtaamaa ja tehoa säädetään johtosiipien avulla. Näiden tarkoituksena on säädellä turbiinin läpi virtaavan veden määrää. Nykyään Francis-turbiineja ei enää käytetä yleisesti, vaan ne on korvattu nykyaikaisimmilla potkuriturbiineilla. Kaplan- ja potkuriturbiinit (kuva 2.2) ovat aksiaalisia ja niissä on säädettävät siivet, joilla voi lavan kulmaa muuttamalla säätää turbiinin tehoa. Tämän lisäksi myös näissä turbiineissa on johtosiivet, joilla voidaan säätää virtaavan veden määrää. Kaplan- ja potkuriturbiineja voidaan käyttää pienistä putouskorkeuksista aina 70 metriin asti ja niillä on hyvä hyötysuhde vielä osatehoillakin. Näin ne ovatkin yleisiä Suomen vesivoimalaitoksissa.



Kuva 2.2 a) Kaplan-turbiini b) Potkuriturbiini. 1 tuloputki, 3 juoksupyörä, 4 poistokanava, 5 turbiinin akseli, 6 spiraalikammio, 7 johtopyörä, 8 generaattori, 9 potkuri. /3/

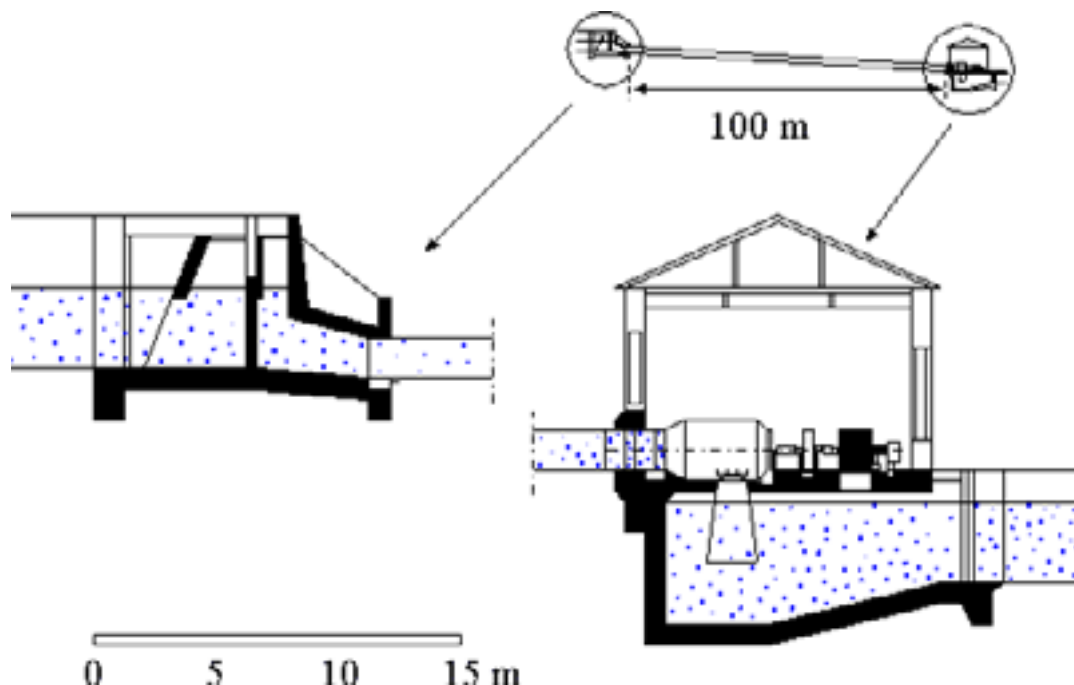
Putki- tai suihkuturbiinilaitoksia käytetään maissa, joissa on erittäin suuria putouskorkeuksia aina 2000 metriin asti. Näitä laitoksia on yleisesti käytössä Norjassa ja Sveitsissä, mutta Suomessa on vain pieniä putkivoimalaitoksia. Turbiinina käytetään yleensä radiaalista Pelton-turbiinia (kuva 2.3), jossa vesimassa suihkutetaan suuttimista

juoksupyörään. Tämä pyörä on kiinni generaattorin akselissa ja näin saadaan veden potentiaalienergia muutettua roottorin liike-energiaksi.



Kuva 2.3 Pelton-turbiini. 1 tuloputki, 2 johtosuutin, 3 juoksupyörä, 4 poistokanava, 5 turbiinin akseli. /3/

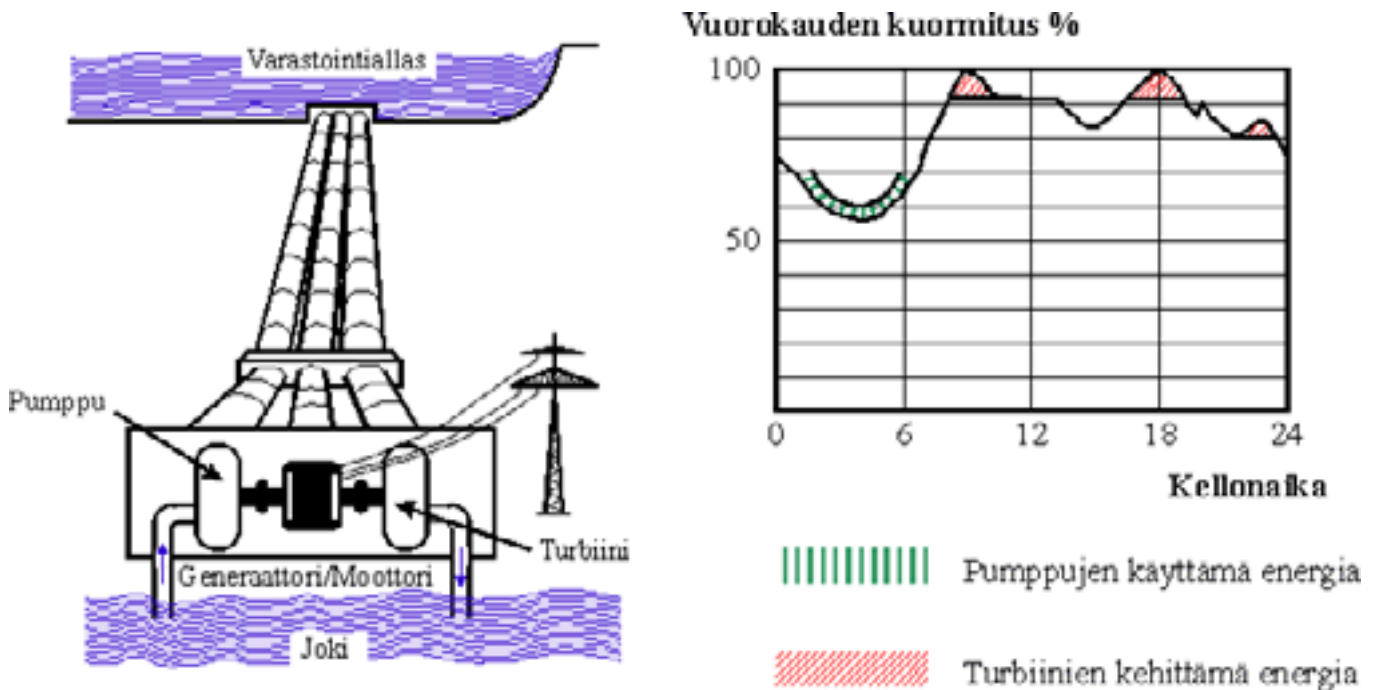
Suomessa olevat putkivoimalat on toteutettu niin, että vesi johdetaan padon läpi tai ohi menevän putken kautta turbiinille. Kuvassa 2.4 on esitetty Paatsjoen Kirakkakönkään putkivoimalaitos Inarissa, jossa putken pituus on 100 m. Siinä veden korkeuseroa vastaava potentiaalienergia muuttuu liike-energiaksi, joka pyörittää turbiinia ja generaattorin roottoria. /3/



Kuva 2.4 Kirakkakönkään putkivoimalaitos, teho 1,2 MW. Putouskorkeus 14 m. /3/

Yhtenä vesivoimalaitosten erikoisuutena voidaan mainita pumppuvoimalaitos (kuva 2.5), jonka tarkoituksena on tasata kulutusta. Tämä toteutetaan niin, että yöllä, kun

kulutus on vähäisempää, pumpataan ylempänä altaaseen vettä ja kulutuksen huippuajoina se ohjataan turbiinin läpi takaisin. Suomessa ei ole käytössä yhtään pumppuvoimalaitosta, sillä vesistöjemme altaat ovat toistaiseksi riittäneet kohtuulliseen kuormitusten tasoitukseen.



Kuva 2.5 Pumppuvoimalaitos. /3/

Vesivoimalaitoksen teho  $P$  riippuu hyötysuhteesta, veden tiheydestä, putoamiskiihtyvyydestä, veden virtauksesta ja korkeudesta  $h$ :

$$(2.1) \quad P = \eta \rho g Q h$$

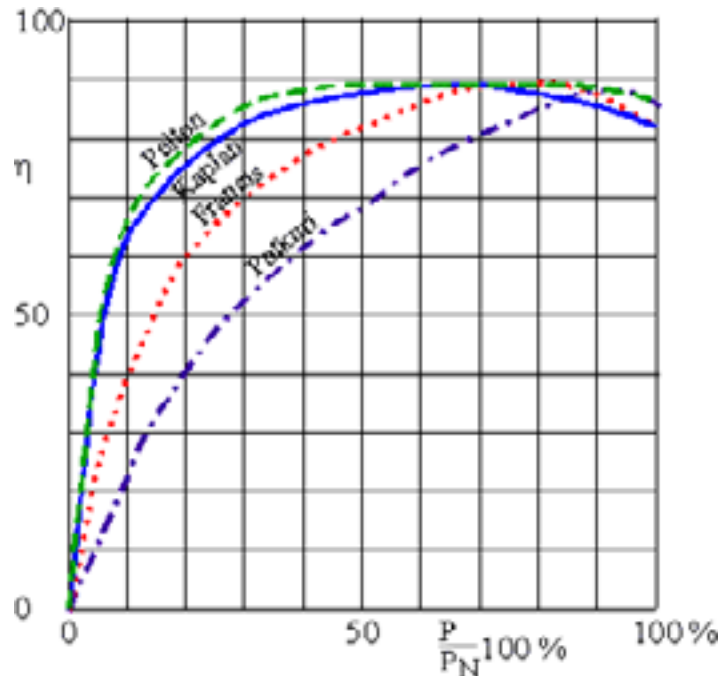
missä

- $\eta$  on laitoksen hyötysuhde
- $\rho$  on veden tiheys
- $g$  on putoamiskiihtyvyys
- $Q$  on veden virtaama (tilavuus/aika)
- $h$  on putouskorkeus.

Vesivoimalaitosten hyötysuhde on yleensä hyvä. Se vaihtelee 80—90% välillä. Turbiinin malli vaikuttaa hyötysuhteen muutokseen, kun ajetaan osatehoilla. Kaplan- ja Pelton-turbiinien hyötysuhteet ovat vielä hyvät ajettaessa viidenneskuormalla, kun taas Francis- ja potkuriturbiinien hyötysuhteet laskevat nopeasti kuorman pienentyessä (kuva 2.6).

Suomessa vesivoimalaitoksia on rakennettu pääsääntöisesti suuriin jokiin ja isojen vesistöjen virtaaviin kapeikkoihin. Veden määrä ja virtaama vaihtelee vuodenaikojen mukaan. Tätä luonnollista muutosta on pyritty tasoittamaan säännöstelyllä, jolloin

juoksutuksella pidetään säännöstelyaltan veden pinta sopivalla tasolla. Säännöstelyaltaaksi voidaan rakentaa tekoaltaita (Lokka, Porttipahta) tai käyttää hyväksi olemassa olevia suuria järviä (Saimaa, Oulujärvi, Kemijärvi). Säännöstelylle asetetaan rajoituksia johtuen tulvista, uitoista, kalastuksesta ja virkistyskäytöstä.



Kuva 2.6 Turbiinien hyötysuhteet eri kuormilla. Vaaka-akselilla on turbiinin antaman tehon  $P$  suhde turbiinin nimellistehoon  $P_N$ . /4/

Voimalaitoksista vesivoimaloiden kustannukset ovat pääsääntöisesti kiinteitä kustannuksia, jotka nousevat voimalaa rakennettaessa melkoisen suuriksi. Nämä aiheutuvat voimalaitoksen, padon ja altaan rakennus- ja hankintakustannuksista. Voimalaa ajettaessa muuttuvat kustannukset ovat melko pieniä. Polttoaine on ilmaista ja nykyään laitokset rakennetaan kauko-ohjattaviksi, jolloin voidaan säästää kustannuksissa. Tällöin muuttuvina kustannuksina ovat oikeastaan vain siirtohäviöt, jotka aiheutuvat laitoksen syrjäisestä sijainnista.

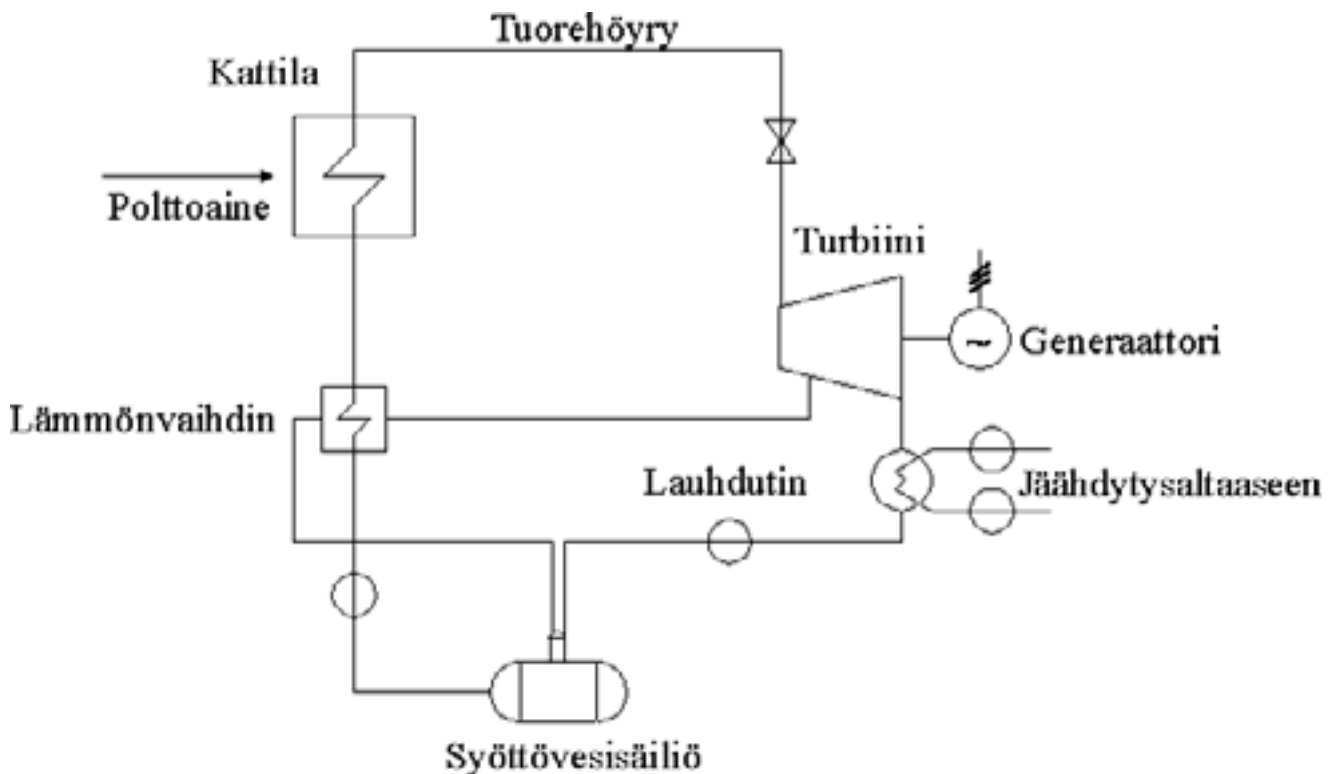
Vesivoiman muina hyvinä puolina ovat sen käyttövarmuus ja säädettävyys. Verkossa olevat vesivoimalaitokset huolehtivat yleensä tehonsäädöstä niin, että kulutus ja tuotanto pysyvät koko ajan tasapainossa. Höyryvoimalaitosten tehonsäätöä rajoittaa vesihöyryn lämpötilan muutosnopeus, joka pitää tehonmuutosnopeutta 2—10%/min rajoissa. Tästä johtuen näitä laitoksia ajetaan lähes koko ajan samalla teholla.

## 2.4 Höyryvoimalaitokset

Höyryvoimalaitoksia ovat kaikki ne voimalaitokset, joiden turbiinia pyörittää kuuma vesihöyry. Nämä voidaan luokitella käytön mukaan lauhdevoimalaitoksiin ja vastapainevoimalaitoksiin. Käytetyn polttoaineen mukaan höyryvoimalaitokset voidaan luokitella ydin-, hiili-, turve- ja maakaasuvoimalaitoksiin.

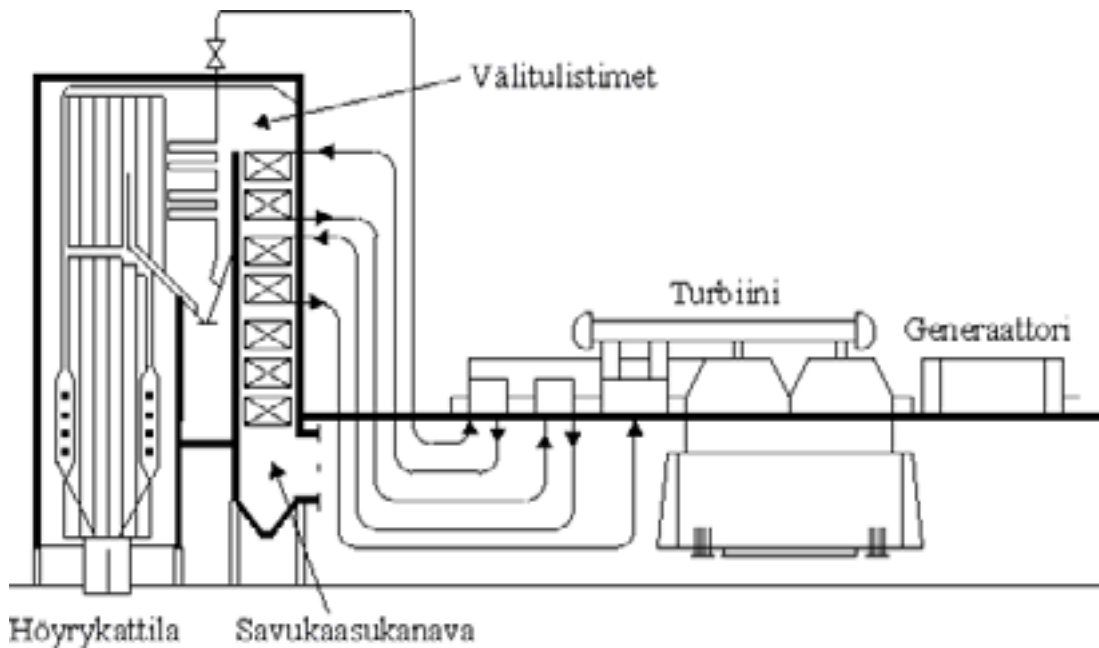
## 2.4.1 Lauhdevoimalaitokset

Höyryvoimalaitoksen yksinkertainen perusratkaisu on lauhdevoimalaitos. Näissä voimalaitoksissa polttoaine luovuttaa palaessaan lämpöenergiaa, joka höyrystää kattilan putkistoissa olevan veden. Tämä höyry imetään paineen ja lämpötilan vaikutuksesta turbiinin läpi lauhduttimeen (kuva 2.7). Lauhduttimena käytetään Suomessa järviä tai merta. Niiden vaihtoehtona ovat suuret ilmajäähdytteiset jäähdytystornit, joita on käytössä Keski-Euroopassa. Lauhdevoimalaitoksissa käytetään yleisesti polttoaineena hiiltä, mutta lämpöenergian lähteenä voi olla myös turve, polttoöljy tai hake.



Kuva 2.7 Lauhdevoimalaitoksen toimintakaavio. /3/

Turbiinin termien eli nk. Carnot-hyötysuhde riippuu turbiinin tulo- ja lähtöhöyryn lämpötilaerosta. Tämän vuoksi on järkevää kehittää mahdollisimman kuumaa ja korkeapaineista tulohöyryä ja johtaa se mahdollisimman alhaiseen lauhdutuslämpötilaan. Hyötysuhdetta voidaan merkittävästi parantaa tekemällä turbiiniin väliulosottoja eli välitulistamalla. Höyryn jo luovutettua osan energiastaan turbiinin liike-energiaksi se johdetaan tulistuksessa uudelleen kattilan välitulistimiin. Väliulistimista höyry johdetaan takaisin turbiiniin (kuva 2.8).



Kuva 2.8 Lauhdevoimalaitos välitulistimilla. /3/

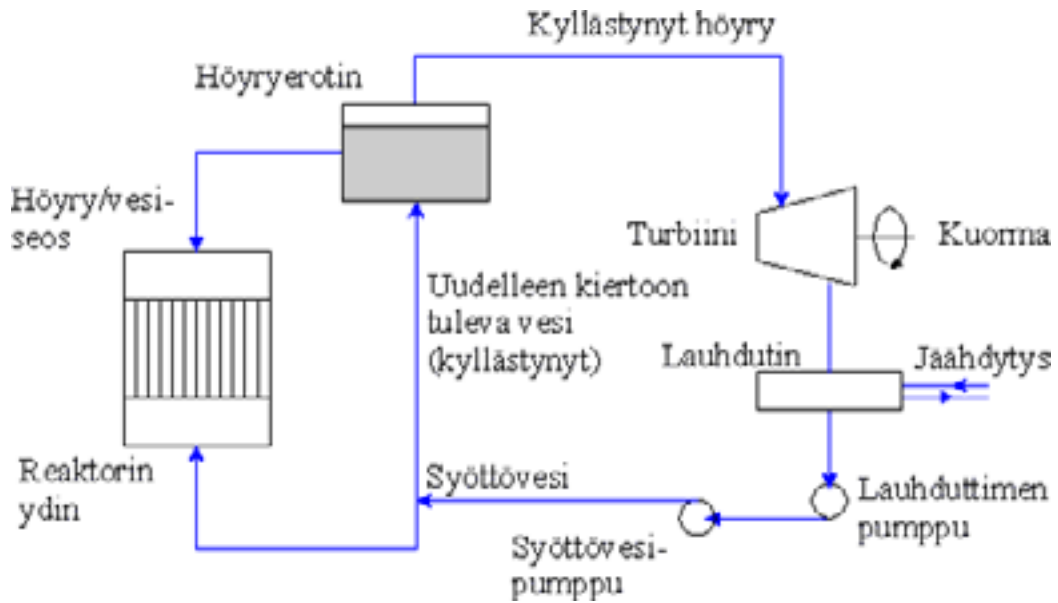
## 2.4.2 Ydinvoimalaitokset

Ydinvoimalaitokset ovat periaatteessa höyryvoimalaitoksia, joissa vesi höyrystetään fissioreaktion luovuttamalla lämpöenergialla. Näissä reaktioissa polttoaineena käytetään uraanin isotooppia  $U^{235}$ . Yleisimmin ydinvoimalaitoksissa käytetään kevytvesireaktoreita. Vesi hidastaa uraanista vapautuvien neutronien nopeutta, jotta se olisi sopivan pieni fission aiheuttamiseen. Lisäksi reaktoreissa käytetään esimerkiksi kadmiumista valmistettuja säätösauvoja, jotka sitovat neutroneja. Näillä säädellään reaktionopeutta ja estetään hallitsematon ketjureaktio.

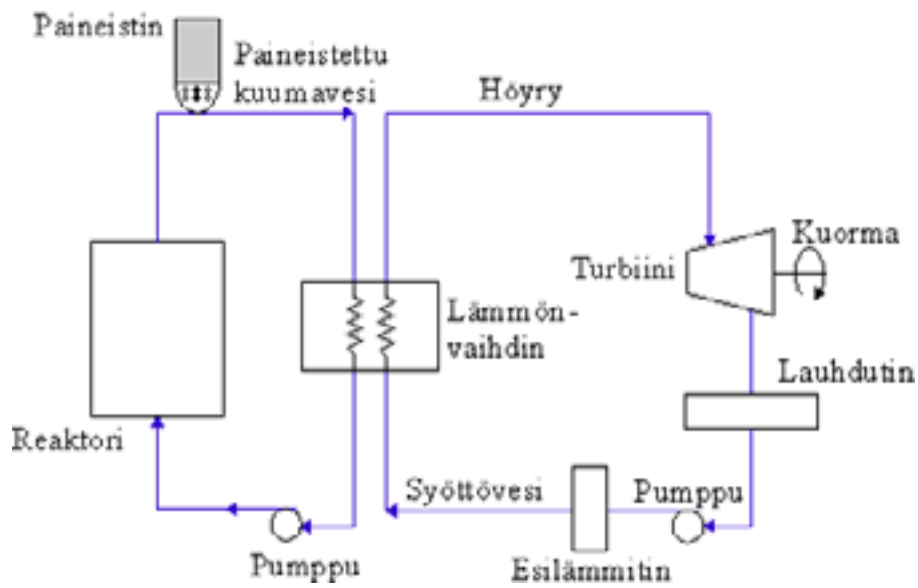
Kevytvesilaitokset voidaan jakaa kahteen luokkaan: kiehutus- ja painevesireaktorit. Kiehutusvesireaktorissa höyry johdetaan suoraan reaktorista turbiiniin, kun taas painevesilaitoksessa reaktorin vesi, ei siis höyry, johdetaan lämmönvaihtimeen, jossa se höyrystää sekundääripiirin veden. Kiehutusvesireaktorissa vesi päästetään höyrystymään reaktorissa, josta se höyryn kuivauksen jälkeen johdetaan turbiiniin ja sieltä lauhduttimen kautta uudellen reaktoriin (kuva 2.9). Painevesilaitoksessa reaktorivesi on suljetussa järjestelmässä ja turbiinin läpi virtaava höyry on oma järjestelmänsä (kuva 2.10).

Suomessa on käytössä molempia reaktorityyppejä. Olkiluodossa Teollisuuden Voima Oy:llä (TVO) on kaksi kiehutusvesireaktoria, joiden yksikköteho on 710 MW. Näiden reaktorien tehoa on tarkoitus nostaa kesän 1998 vuosihuollon yhteydessä 830 MW:iin, jolloin Olkiluodon yhteisteho olisi 1660 MW. Loviisassa on Imatran Voima Oy:llä (IVO) kaksi painevesireaktoria, joiden yksikkötehot ovat 480 MW. Koko laitoksen

yhteisteho on siis 960 MW, mutta molempien Loviisan yksikköjen tehoja ollaan nostamassa syksyllä 1997. Tehon nosto ei tarkoita ydinprosessin kiihdyttämistä, vaan tämä hoidetaan generaattorin, turbiinin ja muiden järjestelmän osien hyötysuhdetta parantamalla. /5,6/



Kuva 2.9 Kiehuvesireaktori. /10/



Kuva 2.10 Painevesireaktori. /10/

Ydinvoimalaitoksen kiinteät kustannukset ovat suuret, sillä laitoksen rakentaminen kestää useita vuosia (jopa 8 vuotta). Käyttökustannukset ovat taas pienet, sillä polttoainetta kuluu vähän ja sen hinta on alhainen. Kuluja tuovat jätteen varastointi ja laitoksen myöhempää purkamista varten tehtävät varaukset. Kiinteiden kustannusten takia ydinvoimalaitokset rakennetaan yleensä mahdollisimman suuriksi. Yksikkökoon

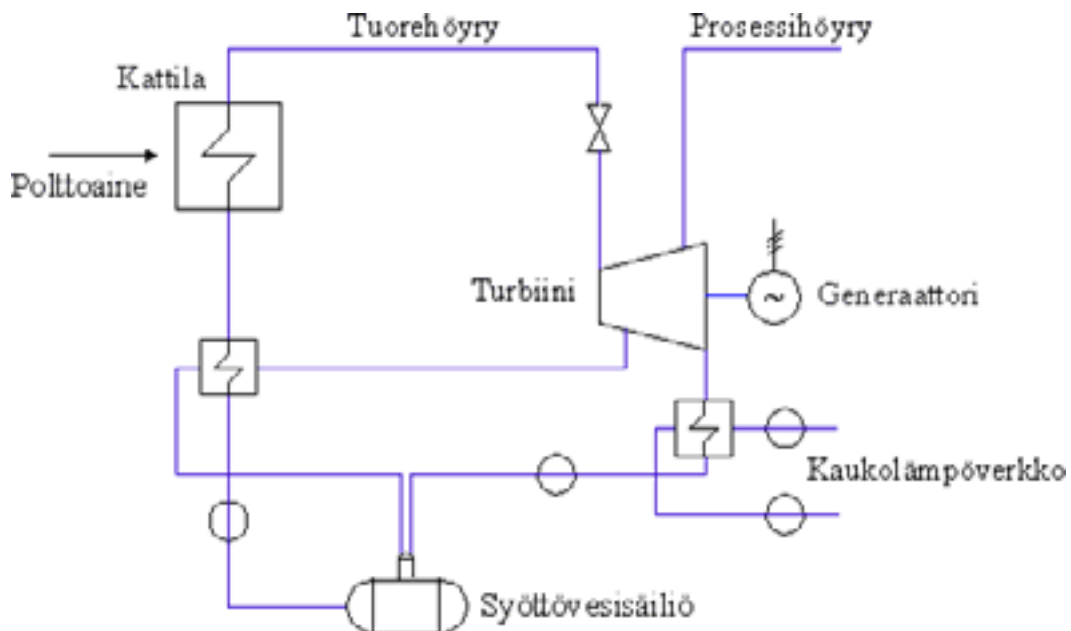


suuruutta rajoittaa materiaalin kuljetusmahdollisuudet, tehoreservin tarve ja häiriöriski laitoksen irrotessa äkillisesti verkosta.

## 2.5 Vastapainevoimalaitos

Metsäteollisuudessa tarvitaan yleensä höyryä jo pelkästään tuotantoprosessin ylläpitämiseen. Näiden prosessien höyryä ei puhalleta suoraan höyryverkkoon, vaan tuotettu höyry ajetaan ensin turbiinin läpi, kuten kuvassa 2.11. Tällöin saadaan teollisuusprosessin sivutuotteena sähköä.

Vastapainelaitosten kokonaishyötysuhde on korkea, lähes 90%, sillä lauhdutinhäviöt jäävät kokonaan pois. Kokonaistehosta saadaan sähköä kuitenkin ainoastaan noin 20%. Vastapainelaitoksen investointikustannukset eivät ole korkeat, sillä turbiinin suurikokoista ja kallista matalapaineosaa ei tarvita ollenkaan. Suomessa on hyödynnetty lähes kaikki vastapainelaitokselle potentiaaliset tuotantoprosessit. Yli 90% vastapainevoimasta Suomessa tulee metsäteollisuuden prosesseista.



Kuva 2.11 Vastapainevoimalaitoksen prosessikaavio. /3/

Teollisuusprosessien lisäksi kaukolämpövoimalaitoksissa hyödynnetään vastapainetekniikkaa. Kaukolämpövoimalaitoksissa höyryyn sitoutunut lämpöenergia siirretään lämmönvaihtimen avulla kaukolämpöverkon kiertoveteen. Vastapainevoimalaitoksessa kaukolämpöverkko toimii ikäänkuin teollisuusprosessina, jolloin turbiinista johdetaan höyry kaukolämpöverkon lämmönvaihtimeen. Hyötynä tässä on se, että höyryä pidetään turbiinissa pidempään, ja lämmönvaihtimeen ohjattava höyry on matalapaineisempaa. Sähköä saadaan tällöin suhteessa enemmän. Haittana on se, että lämmön kulutus kaukolämpöverkossa on kesäisin vähäisempää, jolloin lauhdutettavaa höyryä on liikaa. Tällöin tarvitaan apulauhdutin, joka toimii

keinotekoisena lämmönkuluttajana. Tilanne on sama, jos sähköä halutaan talvisin tuottaa enemmän kuin lämmönkulutus edellyttää.

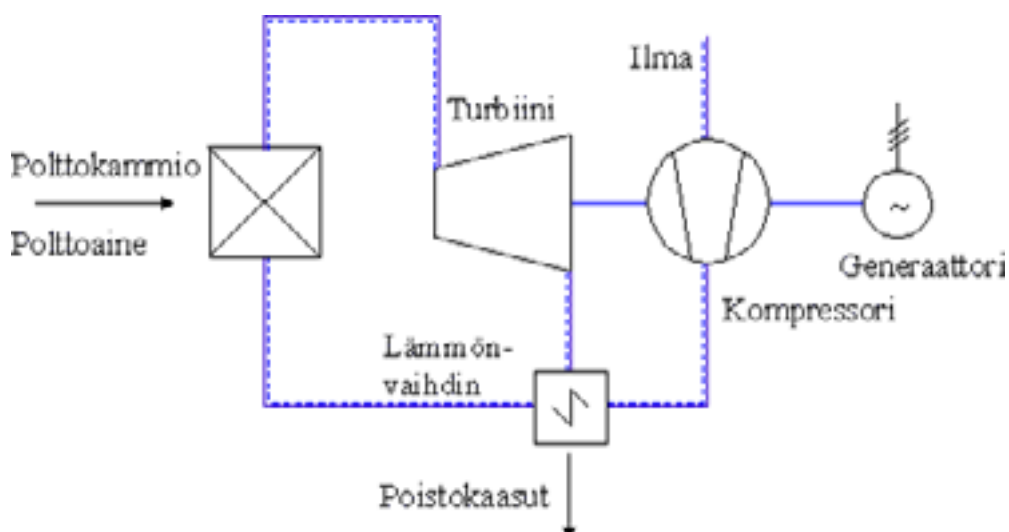
Vastapainevoimalaitosta kuvataan hyötysuhteen lisäksi rakennusastearvolla. Tämä ilmoittaa laitoksen sähkötehon suhteen lämpötehoon. Yleensä tämä arvo prosessiteollisuudessa on 0,3—0,4. Lämmitysvoimaloissa rakennusarvo on noin 0,5; sillä näissä voidaan antaa höyryn paisua pidemmälle turbiinissa.

Vastapainevoimalaitoksissa voidaan käyttää useita eri polttoaineita. Tavallisimmat ovat hiili, kaasu, turve ja raskas polttoöljy. Metsäteollisuuden prosesseissa polttoaineena käytetään usein kuorta ja mustalipeää sisältävää puuainesta. Muissa teollisuusprosesseissa voidaan käyttää prosessikaasuja tai muuta jätteenä jäävää palavaa materiaalia.

## 2.6 Kaasuturbiinilaitos

Kaasuturbiinilaitoksia käytetään yleensä huippu- ja varavoimalaitoksina. Niiden rakennuskustannukset ovat pienet, mutta käyttökustannukset ovat suuret. Pääpolttoaineena niissä käytetään maakaasua, mutta varaenergiälähteenä on usein kevyt polttoöljy. Näiden voimalaitosten käynnistäminen ja verkkoon kytkeminen onnistuu muutamassa minuutissa ja näin ne soveltuvat erinomaisesti huippuvoimalaitoksiksi.

Kaasuturbiinilaitoksen rakenne on hyvin yksinkertainen. Sen pääosat ovat kompressori, polttokammio ja turbiini. Prosessikaavio on esitetty kuvassa 2.12. Turbiinin kehittämästä liike-energiasta kaksi kolmasosaa kuluu kompressorin käyttämiseen ja vain yksi kolmasosa menee generaattorille. Palokaasut poistuvat kuumina, mistä johtuen kaasuturbiinilaitoksen hyötysuhde jää ainoastaan noin 20% tasolle. Kaasuturbiinilaitosten tehoalue on 15—100 MW.



Kuva 2.12 Kaasuturbiinilaitoksen prosessikaavio. /11/

## 2.7 Kombivoimalaitokset

Kombivoimalaitoksen toiminta perustuu lämmön talteenottoon, sillä kaasuturbiinien pakokaasut sisältävät vielä runsaasti lämpöenergiaa. Tämä energia voidaan ottaa talteen lämmönvaihtimissa. Täältä se voidaan johtaa suoraan höyryturbiiniin lisäenergiaksi. Tällöin kombivoimala on ikäänkuin kaasuturbiinilaitoksen ja vastapainelaitoksen yhdistelmä, jossa laitokset on kytketty sarjaan. Periaatteena on, että kaasuturbiinilaitoksen poistokaasut johdetaan lämmönvaihtimeen, josta lämpöenergia siirtyy veteen höyrystäen tämän. Höyry johdetaan sitten suoraan lisähöyryksi höyryturbiiniin. Vastapainetuotannossa voidaan päästä yhtä suuriin sähkön ja lämmön tuotantoihin ja kokonaishyötysuhde on noin 85%. Lauhdelaitoskäytössä hyötysuhde on parhaimmillaan noin 45%.

Suomessakin on muutamia kombilaitoksia, joista Lappeenrannan Mertaniemen laitos on yksi ensimmäisistä Euroopassa. Tampereella Lielahden voimalaitos on kombivoimalaitos. Erikoisuutena voidaan pitää laitosta, jossa kaasuturbiinin jätelämpöä käytetään kaukolämmön tuottamiseen. Tällöin puhutaan yhteistuotantolaitoksesta eli CHP-laitoksesta tai "cogeneration" laitoksesta.

## 2.8 Dieselvoimalaitokset

Dieselvoimalaitos on kaasuturbiinilaitoksen tavoin hyvin varavoimaksi soveltuva voimalaitostyyppi varsinkin pienemmille tehon tarpeille. Dieselvoimalaitos voidaan käynnistää kymmenessä sekunnissa ja se saadaan täyteen kuormaan noin puolessa minuutissa, varsinkin jos käytetään esilämmitystä. Dieselvoimalan sydän on dieselmoottori, joka pyörittää generaattorin akselia. Polttoaineena dieselmoottorissa voidaan käyttää kevyttä tai raskasta polttoöljyä. Höytysuhteeksi näille voimaloille saadaan jopa 40%. Kokonaishyötysuhdetta voidaan kasvattaa, mikäli dieselmoottorista otetaan talteen hukkaan menevä lämpöenergia. Lämpöenergiaa saadaan talteen tyypillisesti pakokaasuista, moottorin jäähdytysvedestä sekä öljyn ja ahtoilman jäähdytyksestä. Tällöin nykyaikaisen voimalaitoksen, jossa on yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto, kokonaishyötysuhteeksi saadaan jopa 85%.

## 2.9 Muita sähkön tuotantotapoja

Edellä kuvatut sähkön tuotantotavat ovat osoittautuneet yhteiskunnassamme taloudellisuuden ja kulutuksen kannalta kannattaviksi. Tulevaisuudessa nämä eivät enää ole samassa asemassa kuin nyt, sillä polttoaineen riittävyys ja ympäristöriskit asettavat omat reunaehkonsa. Osaksi tästä ja osaksi muista syistä on alettu panostaa tutkimukseen, joka tähtää uusien sähkön tuotantotapojen kehittämiseen. Seuraavaksi on esitelty muutamia tuotantotapoja, jotka eivät vielä pärjää kilpailussa nykyisille. Aurinkoenergian, tuulienergian ja polttokennon lisäksi on olemassa muitakin vaihtoehtoja, kuten geotermien energia, valtamerten energia ja bioenergia.

## 2.9.1 Aurinkoenergia

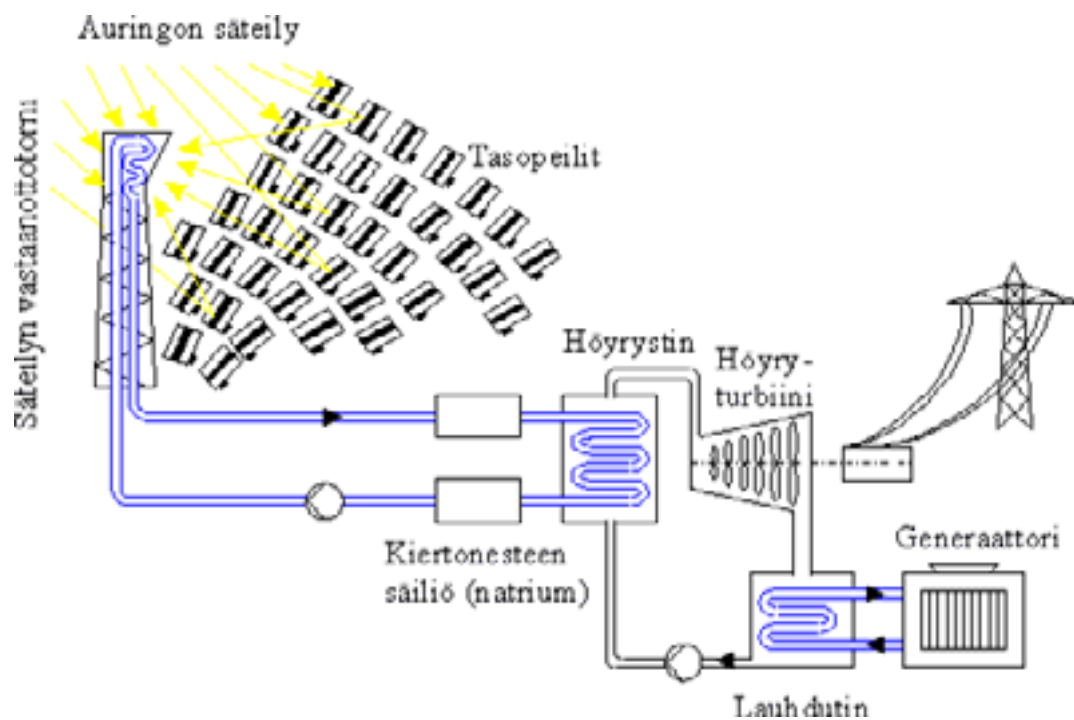
Auringon säteilyteho Maahan on monikertainen koko maapallon teollisuuden ja lämmityksen tarvitsemaan tehoon nähden. Ilmakehän ulkopuolella säteilyteho on vaakatasossa olevaan pintaan noin  $1,37 \text{ kW/m}^2$ , mutta ilmakehä suodattaa siitä noin 40%. Suomessa kirkkaana päivänä vaakatasossa olevaan pintaan kohdistuva säteilyteho on keskimäärin  $0,5\text{—}0,6 \text{ kW/m}^2$  noin 1600—1700 tuntia vuodessa. Tällöin vuosienergia on keskimäärin  $900 \text{ kWh/m}^2$ . Vuosienergia vaihtelee keskimääräisesti alla olevien esimerkkien mukaisesti:

<b>Paikka</b>	<b>Vuosienergia [<math>\text{kWh/m}^2</math>]</b>
Helsinki	950
Sodankylä	800
Keski-Eurooppa	1300
Afrikka (päiväntasaaja)	2500

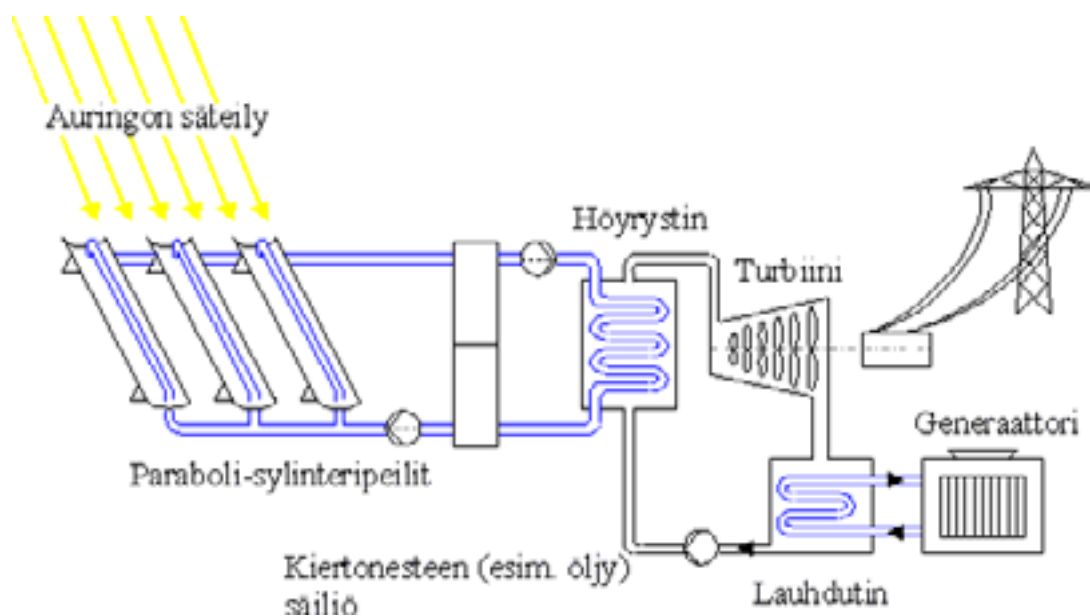
Aurinkoenergialla toimiva voimalaitos voi olla joko lämpövoimalla toimiva tai se voi muuttaa säteilyenergian suoraan aurinkokennossa sähköenergiaksi. Suurimmat nykyiset koelaitokset on toteutettu lämpövoimalaitosperiaatteella. /3/

## 2.9.2 Aurinkolämpövoimalaitokset

Aurinkovoimalaitoksia, jotka on toteutettu lämpövoimalla, on kahta päätyyppiä: torni- ja farmityyppiset. Tornityyppisessä, kuvassa 2.13, säteily kerätään peileillä yhteen pisteeseen, jossa lämpösäteily kuumentaa putkessa olevan erikoisnesteen. Neste johdetaan lämmönvaihtimeen, jossa se luovuttaa lämpöenergian höyrystyvälle vedelle. Vesi johdetaan normaalisti turbiiniin tai asunnon keskuslämmityskanavaan. Farmityyppisissä, kuva 2.14, säteily heijastetaan parabolipinnalta peilin polttopisteessä olevaan putkeen, joka sisältää nestettä. Tämä neste johdetaan eteenpäin prosessissa.

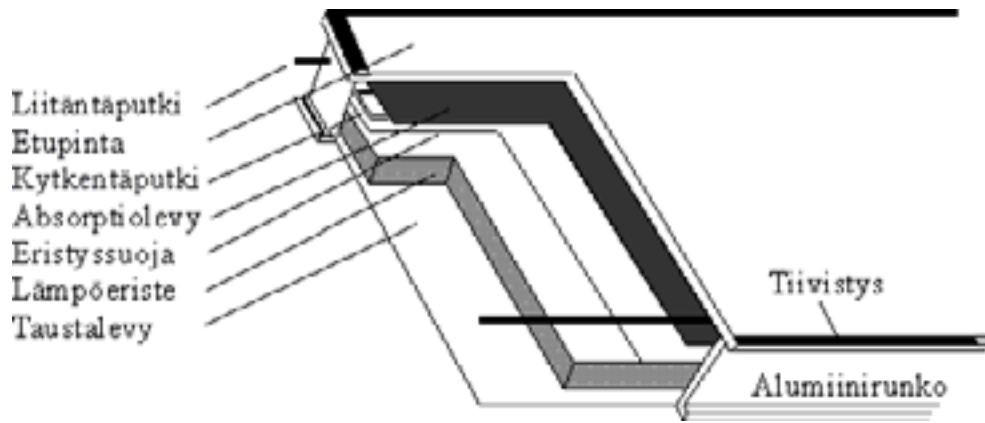


Kuva 2.13 Tornityyppinen aurinkovoimala. /3/

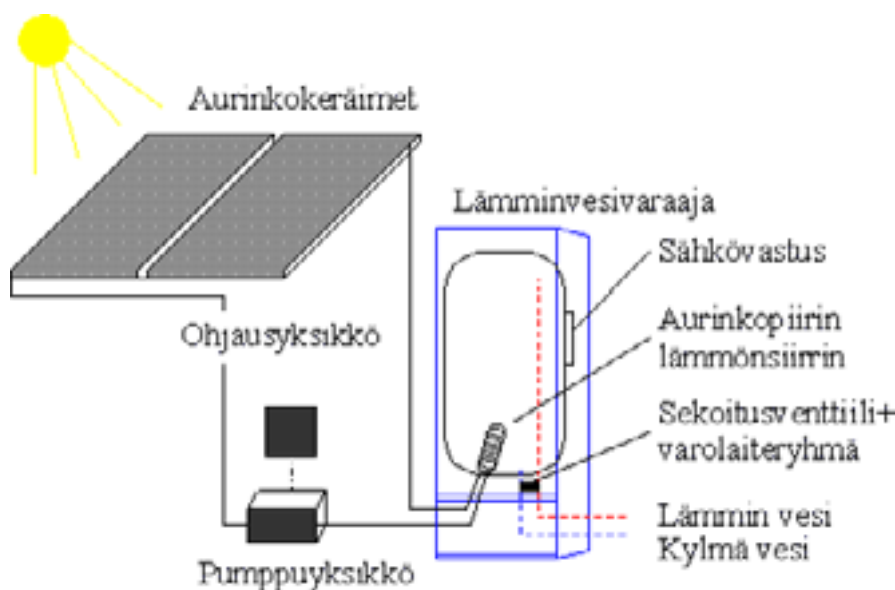


Kuva 2.14 Farmityyppinen aurinkovoimala. /3/

Edellämainitut voimalaitostyytit soveltuvat isompiin kohteisiin, mutta suomalainen Neste Advanced Power Systems (NAPS) on kehittänyt pienemmän järjestelmän, joka soveltuu pienempiin kohteisiin, kuten omakotitaloihin, kesämökkeihin jne. Kuvassa 2.15 nähdään aurinkokeräin ja kuvassa 2.16 on esitetty sen toimintaperiaate osana talon lämpöjärjestelmää.



Kuva 2.15 Aurinkokeräin. /9/



Kuva 2.16 Aurinkokeräimellä toteutettu lämpöjärjestelmä. /9/

### 2.9.3 Aurinkokennot

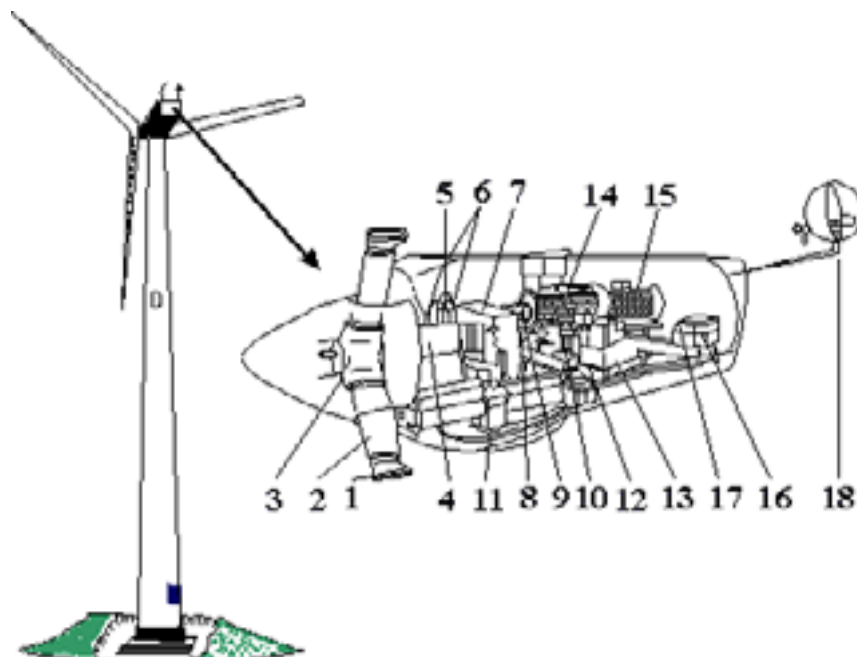
Aurinkokenno, joka tuottaa suoraan säteilystä sähköä, koostuu puolijohdediodien sarjaan ja rinnan kytkennöistä. Sen pinnalle tulevasta auringon säteilyenergiasta saadaan muutettua noin 44% sähköksi, loppu muuttuu lämmöksi. Kennostot rakennetaan yleensä kiteisestä piistä, mutta viime aikoina suuntaus on ollut kohti amorfista piitä, joka on halvempaa ja helpompi valmistaa. Käytännön hyötysuhteeksi on parhaimmillaan saatu jopa 20%, mutta käytännössä se vaihtelee 10—15% välillä. Amorfisella piillä toteutetun kennoston hyötysuhde on alhaisempi, noin 8%. Aurinkokennovoimalaitos on periaatteessa yksinkertainen, sillä kennojen kehittämä tasasähkö varastoidaan akustoon tai syötetään suoraan vaihtosuunnattuna verkkoon.

Maailmassa on rakennettu useita aurinkokennovoimaloita. Saksassa oleva Pellwormin laitos, jossa kennoston pinta-ala on 4500 m<sup>2</sup>, on teholtaan 300 kW ja siitä on saatu vuosienergiaksi 274 000 kWh. Suomessa IVO:lla on Inkoon Kopparnäsissa koelaitos, jossa kennoston pinta-ala on 300 m<sup>2</sup> ja siitä saatu maksimiteho on 30 kW. Tämä laitos on kuitenkin rakennettu koelaitokseksi, jossa on mm. mahdollista tehdä tutkimusta eri kennorakenteilla. /3,6/

Suomessa aurinkokennostoja on markkinoitu kotitalouksille ja varsinkin kesämökeille. Lisäksi kennoja on käytetty syrjässä sijaitsevien pienkohteiden sähköistykseen. Esimerkiksi tunturialueella olevien eräkämppeiden hätäpuhelimien akkujen lataus voidaan järjestää aurinkokennoilla samoin kuin merellä olevien väyläloistojen.

## 2.9.4 Tuulivoimalaitos

Tuulienergian hyödyntäminen on vanha keksintö, sillä tuulimyllyjä on käytetty jo useita vuosikymmeniä. Nykyään tuulivoimalaitokset ovat osa sähköntuotantoa ja tuulivoimalaitoksia on rakennettu maihin, joissa tuuliolosuhteet ovat edulliset. Tanskassa tuulivoimaloiden tuottama energia maan kokonaisenergiasta on 1—1,5%. Tuulivoimalaitoksen toimintaperiaate on yksinkertainen. Kuvassa 2.17 on esitetty poikkileikkaus tuulivoimalasta. Tuuli pyörittää yksi- tai useampilapaista roottoria, jonka akseli on kytketty sähkögeneraattoriin.



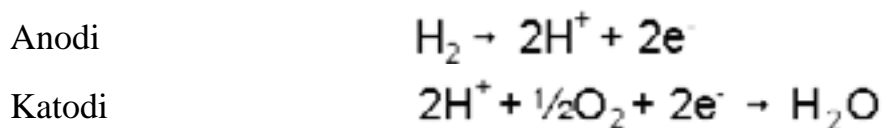
Kuva 2.17 Tuulivoimalaitoksen poikkileikkaus. 1 säädettävä lavan kiinnitys, 2 laakeriputki, 3 kiinnitysnapa, 4 pääakseli ja laakeri, 5 levyjarru, 6 jarrukengät, 7 vaihteisto, 8 hydraulikkasyylinteri ja asentoanturi, 9 joustava kytky ja luistokytkin, 10 kääntömoottori ja jarru, 11 kääntökehä, 12 konealusta, 13 hydraulikkakeskus, 14 suuri generaattori, 15 pieni generaattori, 16 hätäpysäytys, 17 sähköliitännäkotelo, 18 tuulensuunta-anturi ja tuulimittari. /3/

Tuulivoimalaitoksen roottori voi olla vakionopeudella pyörivä tai muuttuvanopeuksinen. Vakionopeudella tarkoitetaan sitä, että roottori pyörii tuulen nopeudesta riippumatta vakionopeudella, nopeus määräytyy verkon taajuudesta (50 Hz), vaihteistosta sekä generaattorin napaluvusta. Vakionopeuden ylläpito tuulen nopeuden kasvaessa toteutetaan lisäämällä generaattorin magnetointia ja muuttamalla lapakulmia, jolloin saatu teho kasvaa ja tuulen nopeuden laskiessa vakionopeuden ylläpito toteutetaan vastaavasti toisinpäin. Tällöin maksimihyötysuhde saadaan vain tietyllä tuulen nopeudella. Uusissa muuttuvanopeuksisissa tuulivoimalaitoksissa roottorin pyörimisnopeutta säätelee tuulen nopeus, jolloin saatua sähköä ei voida syöttää suoraan verkkoon, koska taajuus poikkeaa 50 Hz:stä. Tavallisesti tuotettu vaihtosähkö muutetaan tasasuuntaajilla tasasähköksi, jonka jälkeen tasasähkö vaihtosuunnataan verkkotaajuudelle.

Suomessa on muutamia tuulivoimaloita käytössä rannikkoseudulla, Ahvenanmaalla ja Lapin tunturialueella. Teholtaan suurin tuulivoimala Suomessa on Enontekiössä sijaitseva Lammasoavin tuulivoimapuisto. Se koostuu kahdesta yksiköstä, joiden yhteisteho on 900 kW.

## 2.9.5 Polttokennolaitos

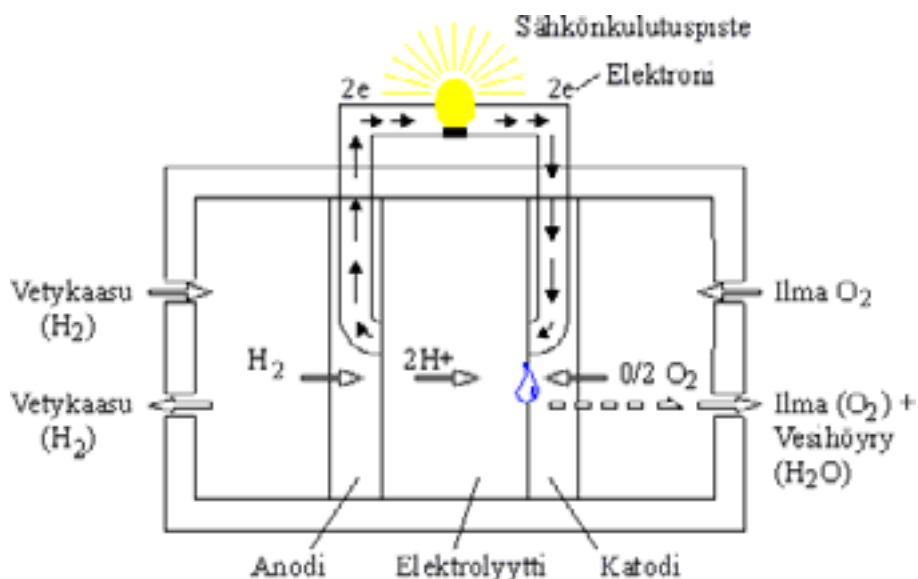
Polttokennon periaate on kehitetty jo yli 150 vuotta sitten, mutta ensimmäiset sovellutukset otettiin käyttöön vasta 1950-luvulla. National Aeronautics and Space Administration (NASA) kehitti nämä sovellutukset osaksi avaruusteknologiaa, mutta nykypäivänä ne ovat yleistyneet muuallakin. Polttokenno on sähkökemiallinen laite, jossa polttoaineen kemiallinen energia muutetaan sähköksi sähkökemiallisten reaktioiden avulla ilman liekillistä palamista. Tyypillisesti polttokennoissa käytetty polttoaine on vety. Polttoaine johdetaan polttokennon anodille ja hapetin johdetaan katodille. Hapettimena käytetään normaalia happipitoista ilmaa. Elektrodeilla tapahtuvat seuraavat reaktiot:



Anodilla vapautuvat elektronit johdetaan jonkin kulutuspisteen kautta katodille, kuten kuvassa 2.18 on esitetty. [/8/](#)

IVO on rakentanut Hämeenlinnaan Vanajan kombivoimalaitoksen yhteyteen erillisen polttokennolaitoksen, jossa tutkitaan polttokennon mahdollisuuksia tulevaisuuden energialähteenä. Tämän laitoksen teho on 200 kW. Lähitulevaisuudessa polttokennon sovelluskohde avaruuslaitteiden lisäksi voisi olla sähköauton energialähteenä.





Kuva 2.18 Yleisen polttokennon toimintaperiaate. /8/

## 2.10 Suomen sähkön kulutus ja kulutusennusteet

Sähkön kokonaiskulutus Suomessa vuonna 1996 oli noin 70 TWh. Kulutus on jakautunut eri kuluttajaryhmien kesken kuvan 2.19 mukaisesti. Siitä nähdään, että suurin kuluttajaryhmä, teollisuus, kuluttaa noin puolet ja koti- sekä maataloudet neljänneksen kokonaiskulutuksesta. Siirto- ja jakeluhäviöihin kului noin 4% eli 2,8 TWh energiaa.



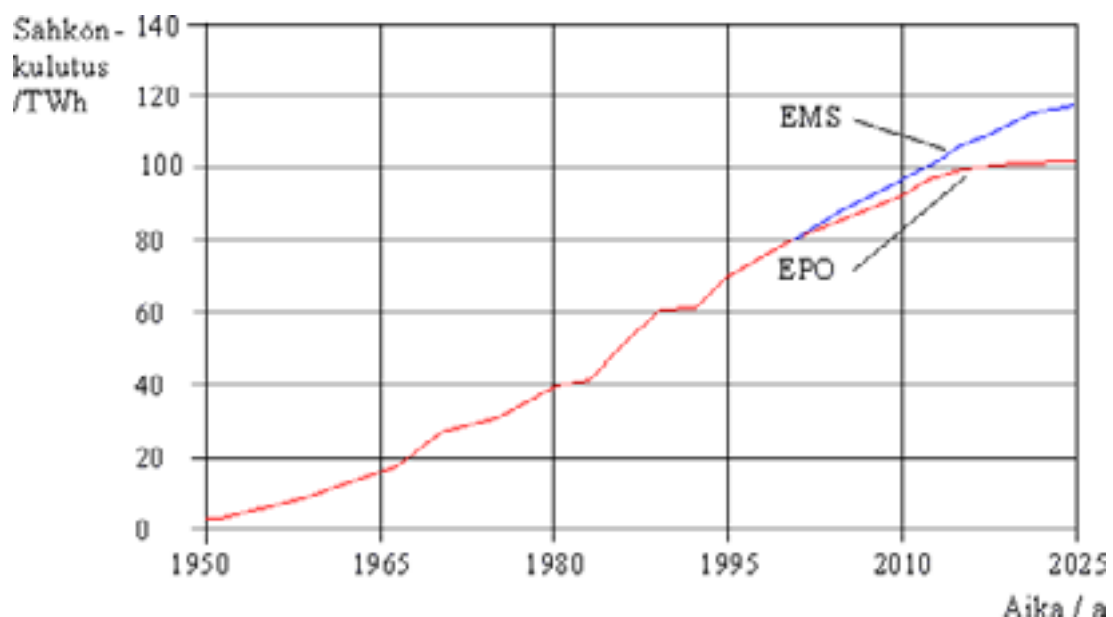
Kuva 2.19 Sähkönkulutuksen jakautuminen. /1/

Kauppa- ja teollisuusministeriön (KTM) ennusteiden mukaan vuoteen 2025 mennessä vuosittainen sähkönkulutus on 100—120 TWh. Historian saatossa ollaan havaittu, että

bruttokansantuotteen ja sähkönkulutuksen kasvu kulkevat "käsikädessä". KTM:n lähtöoletuksena on, että Suomen BKT kasvaa noin kaksinkertaiseksi vuoteen 2025 mennessä. Tämä tarkoittaa siis noin 2,5%:n vuotuista kasvua koko jaksolle. KTM:n Energiatalous 2025 -selvityksessä Suomen energiatulevaisuutta on tarkasteltu kahden eri ennusteen kautta. /12/

Energiamarkkinaennusteessa (EMS) lähdetään siitä, että energiatalous kehittyy markkinalähtöisesti. Poliittisilla toimilla ei pyritä vaikuttamaan kehitykseen nykyistä enempää vaan annetaan markkinoiden vapaasti kehittyä. EMS:ssä energian käyttöteknologia kehittyy ja hyötysuhteet nousevat tasaisesti. /12/

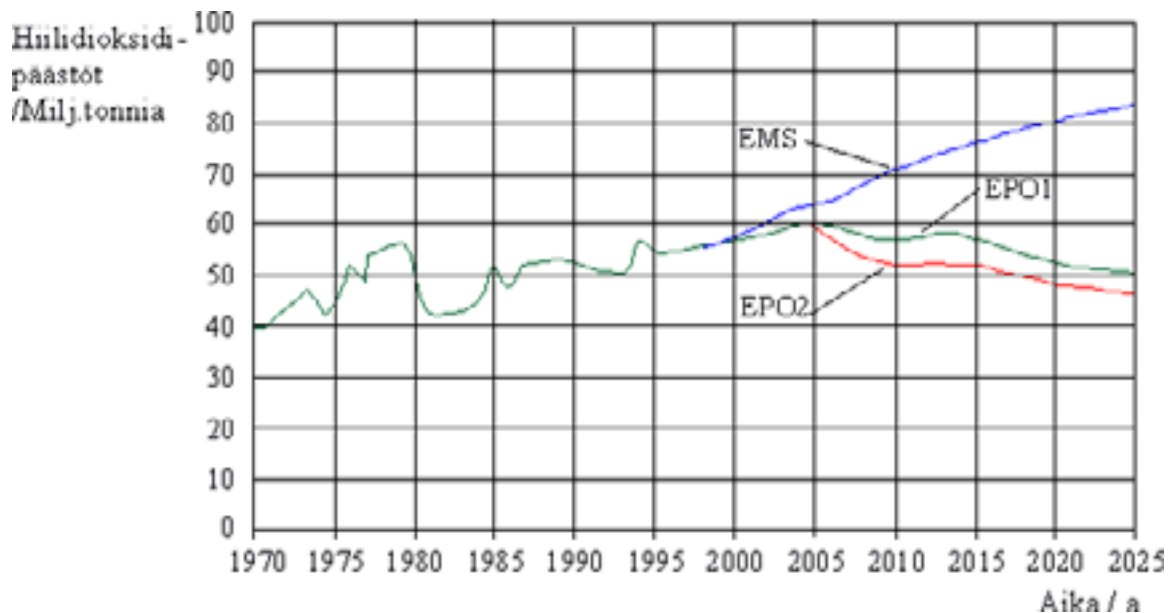
Energiapolitiikkaennusteessa (EPO) merkittävänä lähtökohtana ovat hiilidioksidipäästöjen ja energiankulutuksen hillintä tehostamalla nykyisiä ohjauskeinoja: energiaverotusta, ympäristöverotusta jne. EPO:ssa tarkastellaan kahta vaihtoehtoa. Toisessa lisäkysyntä katetaan yhä enemmän puulla ja kaasulla (EPO1) ja toisessa rakennetaan lisää ydinvoimaa (EPO2). Uutta perusvoimakapasiteettia tarvitaan energiaennusteissa 2500—3000 MW, mikä vastaa noin neljän ydinvoimalayksikön tuottamaa tehoa. Kuvassa 2.20 on esitetty Suomen sähkönkulutuksen kehittyminen 1950—1996 ja molemmat ennusteet sekä EMS, että EPO vuoteen 2025 asti. Molemmissa ennusteissa ollaan toiveikkaita siitä, että sähkönkulutuksen kasvu hidastuu. /12/



Kuva 2.20 Suomen sähkönkulutuksen ennuste vuoteen 2025. /12/

Sekä EPO1 että EPO2 ennusteissa hiilidioksidipäästöt saavuttavat huippunsa vuoden 2005 vaiheilla, jonka jälkeen päästöt alkavat laskea. Kuvassa 2.21 on esitetty KTM:n hiilidioksidipäästöennusteet kaikilla kolmella eri ennusteella. Erityisen selkeä olisi hiilidioksidipäästöjen aleneminen, mikäli Suomeen rakennettaisiin EPO2:n mukaisesti 2000 MW uutta ydinvoimaa. Ilman ydinvoimaakin voidaan päästä vuoden 1995

päästöjen tasolle, mutta vasta vuoden 2020 vaiheilla. Tämä kuitenkin vaatisi kulutuksen rajoittamisen ohella puun energiakäytön huomattavaa kasvua, kaasun tuonnin nelinkertaistamista ja sähköntuonnin jatkumista nykytasolla. Hiilen käytön sähköntuotannossa tulisi loppua kokonaan. Energia-alan yrittäjät uskovat kuitenkin hiilen osuuden säilyvän ennallaan, mutta usko kaasunkäytön kasvuun on vahva. /12/



Kuva 2.21 Hiilidioksidipäästöennusteet 2025. /12/

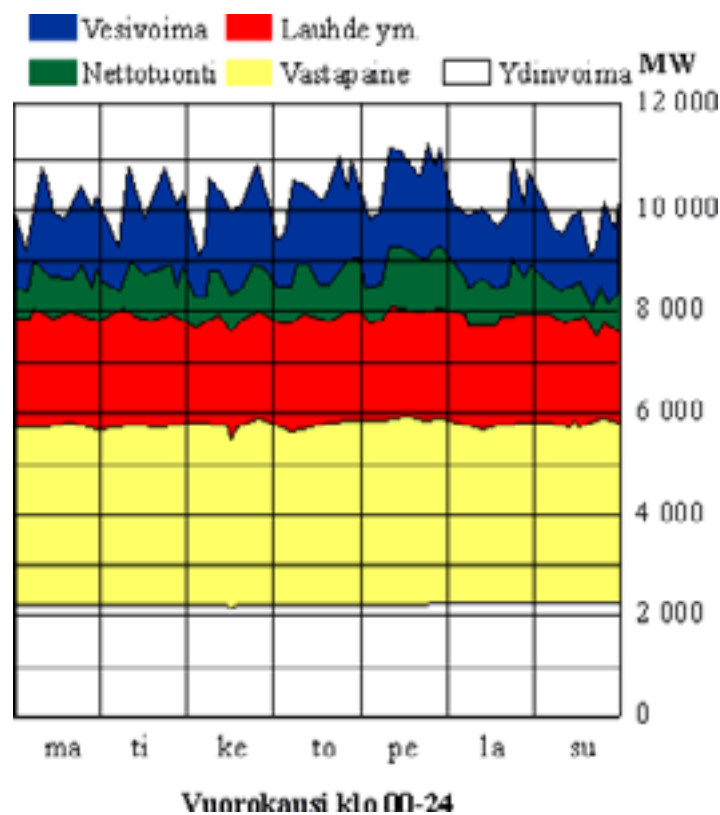
KTM:n ennusteita on kritisoitu siltä osin, etteivät ne ota kantaa vuoden 2025 jälkeiseen aikaan, jolloin nykyisin käytössä olevat Olkiluodon ja Loviisan ydinvoimalat poistuvat käytöstä. Pessimistisimpien arvioiden mukaan KTM:n ennusteet ovat sähkönkulutuksen ja hiilidioksidipäästöjen suhteen yltiöoptimistisia.

Sähkön kulutusta kuvataan kuormituskäyrillä, jotka osoittavat sähkön kulutuksen suuren vaihtelun. Tämä on todettavissa vuodenajan, viikonpäivän ja vuorokaudenajan mittaisista aikaperiodeista. Kulutusvaihtelut aiheuttavat sähkön tuotantoon samanlaiset muutokset, koska sähköä ei voida käytännössä varastoida eli sitä on tuotettava koko ajan kulutuksen (sähkön käyttö + häviöt) verran. Kulutuksen ja tuotannon ero havaitaan verkossa taajuuden muutoksena. Verkon taajuus laskee normaalista 50 Hz:stä, jos tuotantoteho on pienempi kuin kulutusteho. Päinvastaisessa tilanteessa verkon taajuus alkaa vastaavasti nousta. Käytännön tilanteissa aikavaste tuotannon ja kulutuksen muutosten välillä on muutamia kymmeniä sekunteja. Suurempi häiriötilanne aiheutuu ison tuotantolaitoksen äkillisestä putoamisesta verkosta, jolloin verkon tasapainotila häiriintyy. Järjestelmä on rakennettu kestämaan mahdolliset häiriöt ja sen on pystyttävä palautumaan häiriötilanteesta normaalitilaan.

Kuvasta 2.22 nähdään miten suomalaiset käyttivät sähköä yhden viikon aikana vuonna 1994. Tämä kuva on nykyäänkin lähes samanlainen, sillä suomalaisten kulutustottumukset eivät ole vuosien aikana muuttuneet. Kulutuksen määrä on vain

kasvanut muutaman prosentin. Kuvasta 2.22 on havaittavissa, että arkipäivisin kulutus kasvaa aamusta aina puoleenpäivään saakka, jonka jälkeen se alkaa taas laskea. Toinen huippu saavutetaan illalla, jolloin laitetaan ruokaa, pestään pyykkiä ja saunotaan. Raskaan teollisuuden suuri sähkönkulutus näkyy peruskuormassa, sillä yleensä näitä teollisuusprosesseja ajetaan ympäri vuorokauden. Tällöin keskipäivän huipun saa aikaan liike-elämä, palvelu ja pienteollisuus, kun taas illan pienempi huippu aiheutuu kotitalouksista.

Lisäksi kuvasta 2.22 nähdään, millä sähkö on tuotettu. Ydinvoimalaitoksia ja teollisuuden vastapainelaitoksia ajetaan koko ajan täydellä teholla. Sääto hoidetaan vesivoiman sekä tuonnin avulla. Suomen hetkellistehonsäätö toteutetaan Kemi- ja Oulujokien vesivoimalaitoksilla, jotka on kytketty valtakunnalliseen automaattiseen tehonsäätöjärjestelmään.



Kuva 2.22 Sähkön tuotanto Suomessa viikolla 6/94. /7/

## **LÄHTEET**

- /1/ Energia Uutiset 1/97, Sähköenergialiitto ry. SENER 1997.
- /2/ Energia 2/97, Energiafoorumi ry. 1997.
- /3/ Aura L. & Tonteri A.J., Sähkölaitostekniikka, WSOY 1993, 433 s.
- /4/ Sähkövoimatekniikka, Kurssimoniste TKK 1996.
- /5/ <http://www.tvo.fi/>
- /6/ <http://www.ivo.fi/>
- /7/ Partanen J., Sähkövoimatekniikan perusteet, LTTK 1995, 187 s.
- /8/ Levänen E. & Mäntylä T., Polttokennot, TTKK 1993.
- /9/ Neste NAPS, Mainoseseite
- /10/ El-Wakil M.M., Powerplant Technology, McGraw-Hill, USA 1984.
- /11/ Elovaara J., Laiho Y., Sähkölaitostekniikan perusteet, Otakustantamo 1988, 487 s.
- /12/ <http://www.vn.fi/ktm/>