



Matti Isokangas

Vesivoimalla tuotettu sähköenergia

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

1.9.2021

Tiivistelmä

Tekijä:	Matti Isokangas
Otsikko:	Vesivoimalla tuotettu sähköenergia
Sivumäärä:	84 sivua + 4 liitettä
Aika:	1.9.2021
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma
Ammatillinen pääaine:	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat:	Lehtori Osmo Massinen

Tämän opinnäytetyön aiheena oli ”Vesivoimalla tuotettu sähköenergia”, ja opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää Suomessa olevien vesivoimalaitoksien toimintaperiaatetta, rakennetta sekä tekniikkaa. Opinnäytetyö tehtiin Metropolia AMK:lle kartoittamaan tämän päivän tilannetta siitä, miksi vesivoimalat ovat niin tärkeä osa säätövoimaa.

Opinnäytetyöstä tehtiin tutkielma, jossa käsiteltiin Suomessa olevia vesivoimalaitoksia kokonaisuutena. Opinnäytetyössä käsiteltiin myös sitä, miten vesivoimalaitokset ovat kehittyneet vuosisatojen aikana nykyisten kaltaisiksi vesivoimalaitoksiksi. sekä tästä työstä käy ilmi myös se, minkälaisia vesivoimalaitostyyppisiä on olemassa ja miksi, sekä työstä käy ilmi Suomessa olevien vesivoimalaitosten teknisten laitteistojen rakenne sekä syy, miksi ne ovat vesivoimalaitoksessa. Työssä käsiteltiin myös lähinnä vesivoimalaitoksilla, tuotetun sähköenergian määrää, erilaisia tuotantotapoja, tuotantolaitosten teknisiä ominaisuuksia rakenteineen sekä sitä, miksi vesivoima on tärkeä tuotantotapa, mitä haasteita vuodenaikojen kanssa on sekä miten vesivoimalat vaikuttavat jokien kalakantoihin. Tässä opinnäytetyössä käydään myös se läpi, kuinka paljon vesivoimalat tuottavat sähköä valtakunnan sähköverkkoon ja paljonko tuotanto on koko Suomen sähköntuotantokapasiteetista, voidaanko vesivoimaa säädellä, ja onko siitä apua silloin, kun Suomessa tarvitaan paljon sähköenergiaa.

Opinnäytetyössä tietolähteinä oli vesivoimalayhtiöiden asiantuntijat ja ammattilaiset, eri viranomaistahot sekä puolueettomat asiantuntijat niin puhelimitse sekä painetun ja sähköisen tiedon avulla. Työn tuloksena opinnäytetyöstä tuli varsin kattava selvitys 2000-luvun vesivoimalaitosten tilasta sekä siitä, miten vesivoimalaitokset toimivat. Työn tuloksiin voidaan laskea myös se, että minkälainen laitteisto on vesivoimalaitoksen sisällä ja se, minkälaisiksi asiantuntijat odottavat vesivoimalaitoksien tulevaisuuden muuttuvan.

Avainsanat: vesivoima, vesivoimalaitos, sähkö, uusiutuva energia

Abstract

Author: Matti Isokangas
Title: Hydropower producer electrical energy in Finland
Number of Pages: 84 pages + 4 appendices
Date: 1 September 2021

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Electrical and Automation Engineering
Professional Major: Electrical power engineering
Instructors: Osmo Massinen, Senior Lecture

The subject of this thesis was “Electric energy produced by hydropower”, and the aim of the thesis was to find out the operating principle, structure and technology of hydropower plants in Finland. The thesis was done for Metropolia University of Applied Sciences to map today's situation as to why hydropower plants are such an important part of control power.

A thesis was written on the thesis, which dealt with the hydropower plants in Finland as a whole. The thesis also dealt with how hydropower plants have developed over the centuries into existing hydropower plants. and this work also shows what types of hydropower plants exist and why, and the structure of the technical equipment of hydropower plants in Finland and the reason why they are in the hydropower plant. The work also dealt mainly with hydropower plants, the amount of electricity produced, the different production methods, the technical characteristics of production plants and their structure, why hydropower is an important production method, the challenges of the seasons and how hydropower affects river fish stocks. This thesis also examines how much electricity is generated by hydropower plants in the national electricity grid and how much of the production is from Finland's electricity generation capacity, whether hydropower can be regulated, and whether it helps when Finland needs a lot of electricity.

The sources of information in the thesis were experts and professionals from hydropower companies, various authorities and impartial experts, both by telephone and with the help of printed and electronic information. As a result of the thesis, the thesis became a fairly comprehensive study of the state of hydropower plants in the 21st century and how hydropower plants operate. The results of the work can also include what kind of equipment is inside the hydropower plant and what the experts expect the future of hydropower plants to change.

Keywords: hydropower, hydropower plant, electricity, renewable energy

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Vesivoimalla tuotettu sähköenergia	2
3	Vesivoimalaitos	4
3.1	Vesivoiman historia Suomessa ja kohti nykyisiä vesivoimalaitoksia	4
3.2	Vesivoimalaitostyypit	8
3.2.1	Jokivesivoimala	8
3.2.2	Allasvesivoimala eli säännöstelyvesivoima	10
3.2.3	Vuorovesivoima	11
3.2.4	Aaltovoima	13
3.3	Vesivoimalaitosten rakenne	15
3.3.1	Turbiinit	15
3.3.2	Generaattorit	20
3.3.3	Muuntajat	25
3.4	Vesivoimalaitosten koot Suomessa	31
4	Vesivoimalla tuotettu sähkö	34
4.1	Vesivoimalla tuotettu sähköenergian määrä koko Suomen kapasiteetista	34
4.2	Vesivoimalaitoksella tuotetun sähköenergian käyttökohteet	40
4.3	Vesivoimalla tuotettu sähköenergia reservissä	44
4.4	Haasteet vesivoiman tuotannossa	47
4.5	Vesivoimaloiden huollot	48
5	Vesivoima ja luonnonsuojelu	51
5.1	Luonnonsuojelu	51
5.1.1	Vesilaki (VesiL)	52
5.1.2	Ympäristönsuojelulaki (YSL)	53
5.1.3	Luonnonsuojelulaki (LSL)	53
5.1.4	Laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä (YVAL)	55
5.1.5	Koskiensuojelulaki (KSL)	57
5.1.6	EU:n direktiivi 2000/60/EY	57

5.2	Vesivoima ja kalajoet	57
5.2.1	Vesivoimalayhtiöiden laillinen velvollisuus kalankasvatukseen	64
6	Vesivoiman merkitys sähköntuotantotapana	65
6.1	Vesivoiman vakaus	65
6.2	Vesivoiman tuotanto vuodenaikojen mukaan	67
7	Yhteenveto	71
	Lähteet	72

Liite 1: Vesivoimalaitosten sijainnit paikkakunnittain.

Lyhenteet

- Alavesi:** Alavesi on voimalaitoksen alapuolisen vedenpinnan korkeus.
- Ampeeri:** SI-järjestelmän suure, joka on sähkövirran yksikkö. Yksikön tunnus on A (iso A-kirjain)
- CHP:** Tuotantolaitos, joka tuottaa sähköä ja lämpöä yhteistuotannossa.
- Energia:** On kyky tehdä työtä, yksikkönä joule (J). Vesivoimalaitosten alalla käytetään yksikkönä kWh ja sen kerronnaissuureet ovat MWh, GWh tai TWh. $1 \text{ MJ} \approx 0,288887 \text{ kWh}$ tai $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}(10^6\text{J})$
- Generaattori:** Sähkötekniinen kone, jossa turbiiniakseliin kytkettynä mekaaninen energia muunnetaan sähköenergiaksi.
- Hyötysuhde:** Energian hyödyntämisen tehokkuutta mittaava prosenttiluku. Vesivoima-alalla hyötysuhde monesti määritellään jakamalla turbiinin akselilta tuottama teho, taikka sähköteho, koskien teoreettisella teholla. Vesivoimaturbiineilla on tunnetusti korkea hyötysuhde, joka on suurilla ja laadukkailla yli 90 %, ja parhaimmillaan 94 %.
- Imuputki:** Vesiturbiiniin juoksupyörän alapuolelta alaveteen johtava kaareva tai suora putkiosa, jolla pienennetään veden virtausnopeuksia siten, että putken poikkipinta-ala kasvaa mentäessä kohti imuputken ulosvirtauksen suuntaan.
- Jokivoimalaitos:** Nimensä mukaisesti jokivoimalaitos on rakennettu jokeen. Laitoksen oman padon avulla aikaansaatu allas pystyy hoitamaan vain lyhytaikaisen tehon säädön, enintään muutamia tunteja. Suurin osa Suomen vesivoimalaitoksista on jokivoimalaitoksia.

- Juoksupyörä:** On akseliin kytkettynä ja se on ympäri pyörivä turbiiniosa, jossa veden liike-energia muutetaan mekaaniseksi energiaksi.
- Johtosiipirengas:** On turbiiniosa, jossa osa energiasta otetaan talteen suuntaamalla virtaus juoksupyörään.
- Kavitaatio:** On turbiineissa, pumpuissa, venttiileissä ja harvemmin muiden vesirakenteiden virtausteissä syntyvä alipaineilmiö, jonka aikaansaamat kaasukuplat rikkoontuvat korkeamman paineen alueella. Ilmiö aiheuttaa sen, että esiintymispaikan pintamateriaalin rikkoutumista ja se ilmenee värähtelynä, terävänä äänenä ja vesiturbiinin tehon alenemisena.
- Kilo:** Kerrannaissuure, joka on tuhatkertainen perusmittayksikköön nähden, jonka merkki on k (pieni k-kirjain). Tällöin esimerkiksi 1 kilometri on 1 000 metriä, ja sähkötekniikassa yleisesti käytetty voltti (V) on silloin kilovoltti, kV, arvoltaan 1 000 volttia.
- Keskivirtaama (MQ):** On tietyn ajanjakson (kuukausi, vuosi tai useita vuosia) virtaamien keskiarvo
- Luukku:** On padon avattava osa, joka voi olla monentyyppinen ja monista materiaaleista tehty.
- Mega:** Kerrannaissuure, joka on miljoonakertainen perusmittayksikköön nähden, jonka merkki on M (iso M-kirjain). Sähkötekniikassa käytetty yleensä tehon (W), kerrannaissuureena. Eli 1 megawatti, MW, on tällöin 1 000 000 wattia.
- Muuntaja:** On sähkötekniinen laite, jossa muunnetaan generaattorissa tuotetun sähköön verkkojännite sopivaksi.
- Pumppuvoimalaitos:** Sijaitsee kahden vesialtaan välissä. Pumppuvoimalaitos voi tarvittaessa tuottaa sähköä tai kuluttaa sähköä taikka olla

reservissä. Sähköä tuotettaessa juoksetetaan vettä yläaltaasta turbiinin läpi ala-altaaseen. Halvan sähkön aikana vettä pumpataan takaisin yläaltaaseen, jolloin kulutetaan halpaa sähköä. Pumppuvoimalaitoksen hyötysuhde on noin 75 %. Pumppuvoimalaitoksia ei ole Suomessa.

Pato: On voimalaitokseen kuuluva rakenne. Rakennusmateriaalina voi olla betoni, kivimuuraus, maa, louhe, puu ja muu erikoismateriaali. Voimalatalouden kannalta tärkeät patotyytit palvelevat pääasiassa vedenpintojen säännöstelyä tai vesivarastojen muodostamista. Patojen rakentaminen, käyttö ja niiden turvallisuuden ylläpito on Suomessa säädelty paloturvallisuuslaissa.

Putouskorkeus: on vesivoimalaitoksen ylävedenpinnan ja alavedenpinnan ero H [m]. Nettoputouskorkeus H_n lasketaan bruttoputouksesta huomioiden vesitiehäviöt.

Spiraali: On joidenkin turbiinien rakenneosia (teräs tai betoni), jossa tulovirtaama ohjataan tasaisesti turbiinienjuoksupyörän tulopuolen kehälle.

Säännöstelyvoimalaitos: Eli allasvoimalaitos on rakennettu suuren vuosisäännöstelyaltaan yhteyteen ja sen juoksetuksella säännöstellään allasta. Näitä ovat esimerkiksi Porttipahdan ja Lokan tekoaltaiden alapuolella sijaitsevat vesivoimalaitokset

Teho: SI-järjestelmässä, kuten myös sähkötekniikassa, teho on tehdyn työn tai käytetyn energian määrä jossakin aikamäärässä. Tehon yksikkö on watti, jonka tunnus on w (pieni w -kirjain)

Tera: Kerrannaissuure, joka on miljardikertainen perusmittayksikköön nähden, jonka merkki on T (iso T -kirjain). Sähkötekniikassa käytetty yleensä tehon (W), kerrannaissuureena. Eli 1 terawatti, TW , on tällöin 1 000 000 000 wattia.

- Voltti:** Sähkötekniikan jännitteen perusyksikkö, joka on johdettu suoraan SI-järjestelmästä. Yksikkönä V (iso V-kirjain). SI-järjestelmässä voltti muodostuu siten, kun johteessa muodostuu 1 watin tehohäviö kun siitä kulkeutuu läpi 1 ampeerin virta.
- Virtaama:** On uoman tai vesivoimalaitoksen virtaustien poikkileikkauksen läpi kulkevan vesimäärän tilavuuden aikayksikössä Q [m^3/s].
- Vuorovesivoimalaitos:** On jokilaitoksen kaltainen, se on sijoitettu voimakkaan vuorovesivaihtelun alueelle lahteen rakennetun padon yhteyteen ja toimii yleensä molempiin suuntiin vuorovesijakson (n. 6 h) mukaan. Vuorovesivoimalaitos voi myös toimia osittain pumppuvoimalaitokseksi. Näitä ei ole Suomessa.
- Välppä:** On voimalaitoksen ylävedenpuolelle rakennettuun sisääntulorakenteeseen asennettu teräsrilä, jolla estetään roskien pääsy turbiineihin. Välppä voidaan puhdistaa käsin, mutta on kehitetty lukuisia erilaisia välppäpuhdistuslaitteita.
- Ylävesi:** On voimalaitoksen yläpuolisen vedenpinnan korkeus.
- Watti:** SI-järjestelmän tehon yksikkö. Teho on yksi watti, kun voimakone tuottaa tai kuormakone joulun energiaa sekunnissa.
- Joule:** SI-järjestelmässä työn ja energian yksikkö. Yksi joule on työ, joka tehdään, kun yhden newtonin suuruinen voima siirtää kappaletta yhden metrin matkan voiman suuntaan.

1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö on tehty tutkielmamuodossa aiheesta ”Vesivoimalla tuotettu sähköenergia”, ja opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia ja selvittää Suomessa toimivien vesivoimalaitosten toiminta, laitteisto sekä tekniikka millä vesivoimalaitokset toimivat. Opinnäytetyö tehdään Metropolia Ammattikorkeakoululle, ja opinnäytetyö tullaan selvittämään se, miksi vesivoima on tärkeä uusiutuvan energian tuotantomuoto. Tässä opinnäytetyössä tulen käsittelemään vesivoimalaitoksia varsinkin sähköntuottajina, ja työssä käyn läpi mitä on vesivoima ja mitä asioita ja ratkaisuja se vaatii vesivoimalaitoksilta.

Tässä opinnäytetyössäni tulen tarkastelemaan etenkin sitä, miten Suomessa tuotetaan sähköenergiaa, joka on vesivoimalla tuotettu. Työn tarkoituksena on tutustua vesivoimalaitostyyppisiin sekä vesivoimaloiden rakenteisiin ja tekniikkiin laitteisiin, ja niissä varsinkin tutustua turbiineihin, generaattoreihin ja muuntajiin. Opinnäytetyössäni tulen käymään myös läpi vesivoimalaitosten sijainteja sekä niiden kokoja ja kokoluokkia, sekä vesivoimalla tuotetun sähkön määrää Suomen sähkönkäyttökapasiteetista, paljonko vesivoimaa on ”reservissä”, mitä haasteita vesivoimaloilla on vesivoiman tuotannossa sekä huolto-ohjelmia, mitä vesivoimaloilla on olemassa. Myöskin tulen tutkimaan vesivoimaloita luonnon-suojelun näkökulmasta ja miten vesivoimalat vaikuttavat kalajokiin sekä niiden kalakantoihin. Tutkielmassani tulen käymään myös läpi sitä, miten vakaa tuotantomuoto on tuottaa vesivoimaloilla, sekä miten vuodenajan vaikuttavat vesivoimaloilla tuotetun sähköenergian määrään. Vesivoima on aurinko- ja tuulivoiman ohella yksi uusiutuvan energian muoto biomassassa ja maalämmön ohella.

2 Vesivoimalla tuotettu sähköenergia

Vesivoimalla valjastetussa joessa tuottaa vesivoimalan lähialueella puhdasta, paikallisesti tuotettua sähköä ympäri vuorokauden. Koska vesi kierrättyä jatkuvasta olomuodosta toiseen, se tekee vedestä uusiutuvan energiamuodon, eli uusiutuvan luonnonvaran, joten vettä voidaan käyttää yhä uudestaan ja uudestaan. Uusiutuvat energiamuodot ovat tärkeitä, sillä ne ovat aina käytettävissä ja hyvin hyödynnettävissä, eikä ne synnytä varsinkaan ilmakehään saasteita, sillä vesivoimalla tuotettu energia on lähes täysin 100 % hiilidioksidivapaata. [1, s.4–5.]

Vesivoimaloiden ympäristövaikutukset muodostuvat pienelle alueelle, ja suurimmat osat päästöistä muodostuu juurikin vesivoimalaa ja sen patoa rakentaessa, sekä säännöstelyaltaita muodostaessa. Niissäkin paikallisen veden luonnonmukaisuudessa, kalakannassa sekä maisemassa. Vesivoimalaitoksen valmistuksen jälkeen vesivoimalaitoksen päästöt ovat vähäisiä, sillä niitä pääsääntöisesti tulee esimerkiksi vuosihuolloista; sielläkin esimerkiksi öljynvaihtoista ja voitelu- töistä. Vesivoimalla tuotettu 1 kWh saastuttaa alle 100 grammaa CO²-päästöjä. Vesivoimalaitoksen läpi kulkeva vesi ei likaannu eikä saastu, ja vesivoimalaitok- sessa tuotettu sähköenergia ei tuota kiinteää jätettä. [1, s.4–12; 2.]

Vesivoima on energiaa, joka on tuotettu vesivoimalaitoksessa. Vesivoima on tehokas ja vakaa energianlähde, jonka avulla sähköntuotantoa on helppo ja nopea säädellä. Vesivoiman kiertokulku alkaa, kun vesi haihtuu esimerkiksi ja muun muassa vesistöistä, ja sataa takaisin maahan vetenä taikka lumena. Ilmastomuutoksen takia sateet lisääntyvät ja tulvariskit kasvavat. Keräämällä tulvavedet takaisin vesivoimalaitosten yläpuolisiin altaisiin, voidaan tulvia torjua tehokkaasti. Lisäksi veden pintaa, sekä virtaavan veden määrää säädellä tehokkaasti ihan tarvittavan sen hetkisen sähkönkulutuksen mukaan. Altaaseen kerättyinä, tulvavesien suuri energiamäärä voidaan hyödyntää talvella, jolloin sähköntarve on suurinta, koska sähköenergiaa kuluu silloin varsinkin asuntojen lämmityksiin. Vesivoimalla voidaan tehokkaasti tasapainottaa sähkönkulutuksen

ja tuotannon väliä. Sähköntuotannon ja kulutuksen pitää tapahtua samanaikaisesti, sillä sähköä ei juurikaan pystytä varastoimaan. [1; s. 5,13–14.]

Vesivoimaa pystytään tuottamaan ympäristöystävällisesti, tehokkaasti, taloudellisesti ja omavaraisesti Suomessa ilman yhteiskunnan taloudellista tukea. [3 s.234.]

Myös vesivoimalaitosten osuus sähköjärjestelmän stabiiliudessa on huomattava, koska se on niin tärkeä osa yhteiskäyttöisen sähköjärjestelmän toimintaa. Koska stabiilius on tärkeää sähköverkossa tärkeää, Findgrid määrittelee järjestelmävastuiden nojalla järjestelmille sekä muille laitteistoille vaatimukset Suomessa oleville ja Suomen sähköverkkoon kytkettäville voimalaitoksille. Nämä tekniset vaatimukset koskevat vain niitä voimalaitoksia, joiden teho on vähintään 0,8 kW. Näissä vaatimuksissa on eroja liittymistavan, voimalaitoksen mitoitustehon ja liittymispisteen jännitteen osalta. Aina tämän hetkiset ja yksityiskohtaiset vaatimukset on esillä kokonaan ja yksityiskohtaisesti tahtikonevoimalaitoksille sekä muun tyyppisille voimalaitoksille Findgridin Voimalaitosten järjestelmätekniisissä vaatimuksissa. [4; s.208.]

Suomessa on tällä hetkellä 134 kpl vähintään 1 MW:n vesivoimalaitosta sekä hieman alle 100 kpl alle 1 MW:n vesivoimalaitosta. Suomen lainsäädäntö velvoittaa ilmoittamaan kaikki vähintään 1 MW:n voimalaitokset Energiaviraston Voimalaitos - rekisteriin, ja vähintään 1 MW:n vesivoimalaitosten yhteenlaskettu teho määrä on noin 3 200 MW. Koska alle 1 MW:n voimalaitoksia ei tarvitse ilmoittaa Energiaviraston voimalaitos - rekisteriin, vesivoimaloiden tarkkaa määrää eikä tehoa tiedetä. [5.]

Vesivoimalaitoksista yli 150 kpl on nimellisteholtaan alle 5 MW:n voimalaitoksia. Kaikkien Suomen vesivoimalaisten tuotetusta tehosta vajaa 70 % voidaan tällä hetkellä käyttää sähkökulutuksen tasapainotukseen säätövoimana. [6.]

3 Vesivoimalaitos

Nykymuotoisilla vesivoimalaitoksilla ja niiden rakentamisella on pitkät perinteet Suomessa. Vesivoimalaitokset tunnetusti rakennetaan virtaavan veden äärelle; paremmin sanottuna katkaisemaan virtaava vesi, jolloin virtaava vesi kulkeutuu vesivoimalaitoksen läpi siten tuottaen veden liike-energiallaan sähköenergiaa. Mitä suurempi vesimäärä virtaa vesivoimalaitoksen läpi, sitä suurempi liike-energia saadaan veden tuottamana turbiineille, sitä enemmän sähköenergia siitä saadaan. Vesivoima on myös nykyään sähkön myynnissä yksi ”Vihreän sähkön” tuotantomuoto, joka edistää kestävästä kehitystä, ja mahdollisuus ostaa ”Vihreää sähköä” saattaa saada ihmiset ajattelemaan myös enemmän ekologisuutta. [1 s. 14–15, 26.]

3.1 Vesivoiman historia Suomessa ja kohti nykyisiä vesivoimalaitoksia

Vesivoimalla pyörivät vesimyllyt tulivat jo 1300-luvulla Suomeen, joista vanhin varma tieto myllystä oli vuodelta 1352, Aurajoen Halistenkoskessa. 1400-luvulla tiettävästi myllyjä oli jo yli sata kappaletta, joten tuohon aikaan myllyjen määrä kasvoi nopeasti, ja myllyt olivat tähän aikaan erittäin suurelta osin pystyaksellisia. 1500-luvulle mentäessä myllyt alkoivat käyttää myös vaaka-aksellisia pyöriä, jotka mahdollistivat menemisen parempaan teolliseen suuntaan, jolloin niitä voitiin käyttää esimerkiksi lautojen sahaamiseen sekä muihin varhaisempiin teollisiin ratkaisuihin. [1 s. 15.]

Kohti vesivoimalaitoksia ja tämän päivän nykyisiä vesivoimalaitoksia kehitys on ollut nopeaa, sillä juurikin Tampereella 1837 korvattiin 1.kerran puinen vesipyörä rautaisella vesipyörällä, ja 1849 käyttöön otettiin kanssa Suomen 1.vesiturbiini, ja vaikka näihin aikoihin vielä käytössä oli noin 4 000 vesimyllyä ja melkein 200 vesisaha. Suomen ensimmäinen vesivoimalaitos, Tampereen Tammerkoskessa sijaitseva Keskiputouksen voimalaitos, joka aloitti toimintansa 22.syyskuusta 1891. Tampereen vesivoimalaitoksen teho oli jo silloin 240 kW. Muutamaa vuotta myöhemmin, 1898, Oulussa Oulunjoen suulle valmistui Suomen toinen vesivoimalaitos, joka oli teholtaan 6,5 kW. [1 s. 15.]

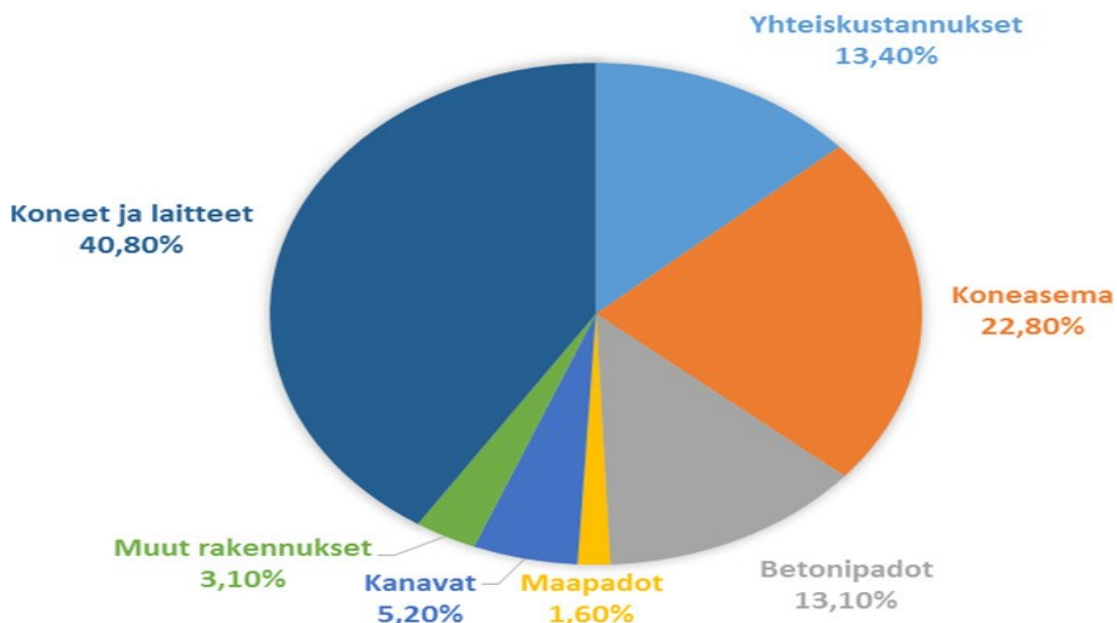
Tarvittavan sähkön määrä kasvoi koko ajan Suomessa, ja sitä kautta myös tehtaiden määrä lisääntyi kuten myös niiden tehon tarve. Täten paikallisten pienten vesivoimalaitosten ohelle tarvittiin yhä isompia vesivoimalaitoksia niinkin nopealla tahdilla, että vuosien 1919 ja 1930 välillä Suomen vesivoimalla tuotettu sähkön määrä kaksinkertaistui hieman yli 100 MW:sta 220 MW:iin. Tästä vuoden 1930 silloisesta tuotetusta 220 MW:sta 1/3-osan tuotti silloin juuri valmistunut Imatran vesivoimalaitos. Vesivoimalla tuotetun sähkön määrä on sotavuosien jälkeen vähintäänkin 10-kertaistunut. Vaikka vesivoimalla tuotetun sähkön oli heti sotavuosien jälkeen noin 80 % koko Suomen sähkön tuotannosta. Vesivoimaloiden rakentamisen kulurakenteesta sekä budjetista 1930-luvulla lähes 2/3-osaa vei koneet ja laitteet koneasemineen, kuten kuvasta 1 sen voi havaita. [1 s. 15–16.]

1950- ja 1960-luvuilla vesivoimalla tuotetun sähkön määrä oli jopa 90 %, mutta 1960-luvulla sähkön tuotanto alkoi supistua nopeasti ollen 1970 - luvulla ollen enää 30 % keskimääräisestä tuotannosta ja 1980 - luvulla ollen reilu neljännes tuotannosta. Vastaavasti 1970-luvulle tultaessa vesivoimaloiden kulurakenteessa on tapahtunut selvä muutos 1930-luvun vesivoimaloiden kulurakenteeseen, jonka voi havaita kuvasta 2. 1970-luvulla rakennettujen vesivoimalaitosten koneet ja laitteet koneasemineen vei enää noin 1/3-osan vesivoimalaitosten budjetista, eli näiden osuus budjetista on puolittunut. [3; s. 231.]

2010-luvulla vesivoimalla tuotetun sähkön määrä on pysytellyt vesitilanteesta riippuen 15–25 % välillä, ja nykyään on vesivoimalla tuotetun sähkön kokonaisuuden määrä nykyään kumminkin pysytellyt 10 %–20 % välillä. [1 s. 16.]

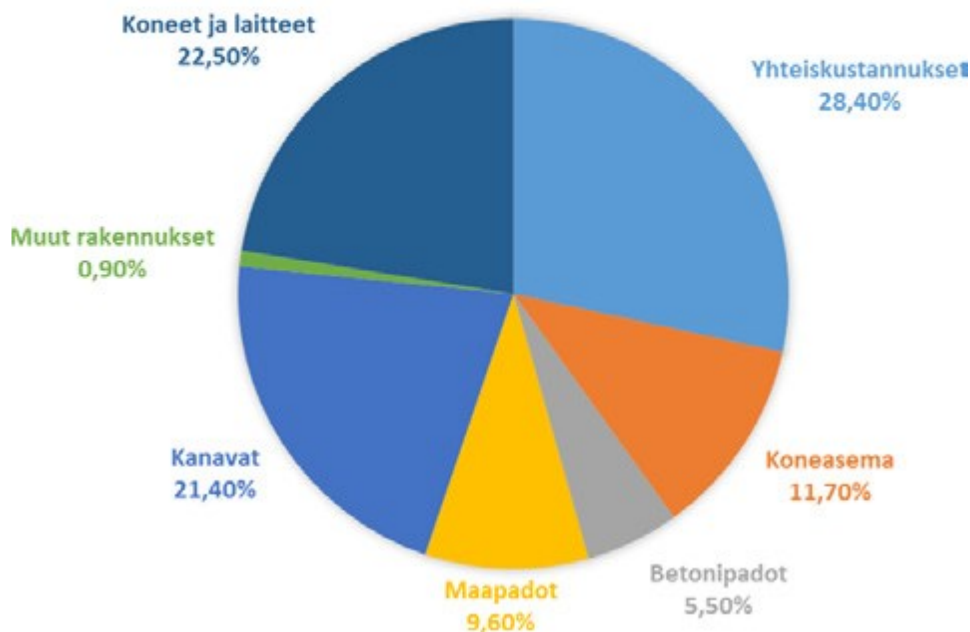
Vesivoimaloiden rakennuksen kustannusmuutokset 1930-luvulta 1970-luvulle. [7; 8; 9, s. 5.]

1930-LUVULLA RAKENNETTU VOIMALAITOS KUSTANNUSTEN JAKAANTUMINEN



Kuva 1. Vesivoimalaitoksen kustannusten muodostuminen prosentuaalisesti esitettynä lohkokaaviossa. [9.]

1970-LUVULLA RAKENNETTU VOIMALAITOS KUSTANNUSTEN JAKAANTUMINEN



Kuva 2. Vesivoimalaitoksen kustannusten muodostuminen prosentuaalisesti esitettynä lohkokaaviossa. [9.]

Sähköjärjestelmä Suomessa nykyään koostuu voimalaitoksista, Findgrid Oy:n omistamasta kantaverkosta, suurjännitteisistä jakeluverkoista, jakeluverkoista sekä sähkön kuluttajista. Suurjännitteisten kantaverkkojen käytössä olevat jännitetasot ovat 400 kV, 220 kV ja 110 kV. Muut jakeluverkot ovat yleensä paikallisen sähköverkkoyritysten omistuksissa, niiden käyttöjännitteen ollessa pääosin 20 kV; tosin muutamilla paikallisilla sähköverkkoyrityksillä on muitakin eri jännitetasoja, tosin nämä jännitetasot ovat vain pienellä alueella ja vastaavat vain marginaalista osaa sähkön siirrosta kuluttajille. Suomen sähköverkkojärjestelmä kuuluu osana pohjoismaiseen sähkönsiirtojärjestelmään, johon kuuluu Suomen lisäksi Ruotsi ja Norja, sekä osa Itä-Tanskasta, jossa on käytössä 50 Hz:n taajuus. [4; s.201.]

Suomessa on myös suurjännitteiset tasasähköliitännät Viroon ja Venäjälle, millä pohjoismainen järjestelmä on kytketty Venäjän ja Baltian sähköjärjestelmiin, sekä myös yhteispohjoismainen sähköjärjestelmä on kytketty Manner-Euroopan sähköjärjestelmään. [4; s.201.]

Koska sähköverkon on tarkoitus vastata ja reagoimaan niin kulutuksen kuin tuotannon muutoksiin niin pitkällä kuin myös lyhyellä aikavälillä, niin juurikin kuluttajien sähkön tarpeen muutokset ja tuotannon tarpeen muutokset hoidetaan suurelta osin vesivoimalla. Koska vesivoimaloilla on hyvä säännöstellä tarvittavan sähkön määrää ihan vuorokauden ja vuoden aikojen mukaan, tämä tekee vesivoimaloista teknisesti hyvän ja edullisen säätövoiman. Koska juurikin vuorokauden ajat sanelevat tarvittavan sähkön tuotannon määrän oleellisesti, säädön tarve saattaa muuttua silloinkin nopeastikin, vesivoimaloiden suuri etu on siinä, että niitä pystytään käynnistämään, säätämään ja pysäyttämään muita sähkön-tuotantolaitoksia nopeammalla tahdilla. [3; s. 242 - 243.]

3.2 Vesivoimalaitostyytit

3.2.1 Jokivesivoimala

Jokivoimalaitos on jokeen rakennettu vesivoimalaitos, ja jokivoimalaitoksia on Suomen vesivoimalaitoksista ylivoimaisesti eniten. [3; s. 227 - 228.]

Joissa olevissa vesivoimalaitoksissa on varsinkin sellainen etu, että vedn määrä voidaan säädellä säilyttämällä sitä suurissa varastoaltaissa, ja siten vettä voidaan kytt nopeasti ja vastata nopeallakin vasteajalla sähkönkulutuksen ollessa huipussaan. Myös jokivesivoimalat ovat etenkin riippuvaisia vallitsevista sääolosuhteista siten, että vhsateisina vuosina, niin veden kuin lumen osalta, varastoitavan veden määrä saattaa olla vähäinen. Normaalina vuosina Pohjoismaissa vesivoimalla on tuotettu 200 TWh, mutta huonoina sadevuosina vesivoimalla tuotetun sähkön määrä Pohjoismaissa saattaa pudota 170 TWh:n. [1; s. 14.]

Huonoina puolina jokivesivoimalaitoksissa voidaan lukea se, että vesivoimalaitoksen padon yljukuksella sijaitseva allas kykenee vain hoitamaan vain lyhytaikaisen säädön. [3; s. 227 - 228.]

Rakenteeltaan jokivesivoimalaitokset ovat turbiinityypiltn ja toimintaperiaatteeltaan hyvin pitkälti samanlaisia. Jokivesivoimalaitoksen rakenteisiin kuuluu patoallas ylvvedess, padosta, voimalasta ja alavedest. [1; s. 14.]

Perinteisen jokivesivoimalaitoksen periaatekuva on esitetty kuvassa 3, ja numeroiden selitykset ovat seuraavat.

1: Patoallas. Patoallas, joka on padon yläpuolella, säilytetään vesivarastoa.

2: Imuaukko ja välppä. Imuaukon kautta vesi pääsee kulkeutumaan padon sisään. Välppän tehtävä on estää ylimääräisten esineiden joutuminen turbiiniin.

3: Sulkuportti. Sulkuportin kautta voidaan rajoittaa tulevan veden määrää padon sisällä.

4: Tuloputki. Vesi johdetaan turbiiniin tuloputken kautta.

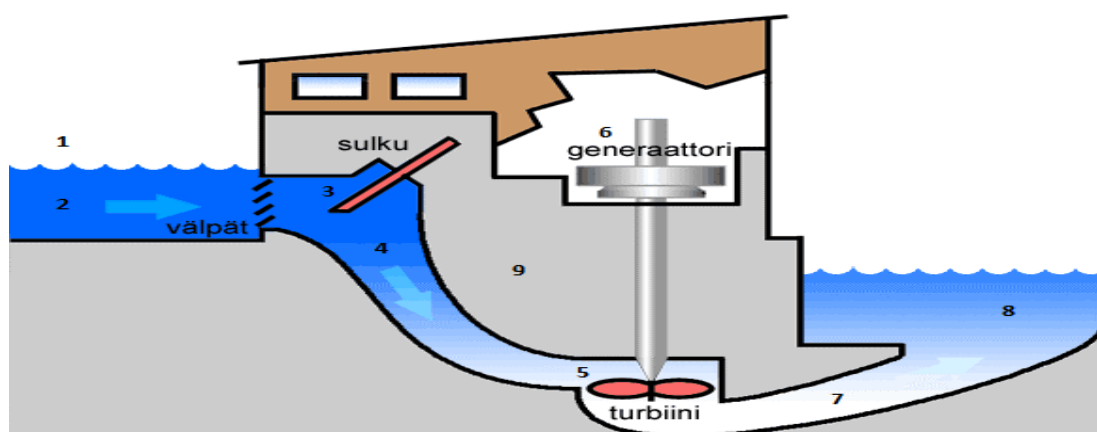
5: Turbiini. Turbiinin avulla vedessä oleva energia muutetaan liike-energiaksi.

6: Generaattori. Generaattori muuttaa liike-energian sähköenergiaksi.

7: Imuputki. Vesi poistuu turbiinista imuputken kautta.

8: Alakanava / Alavesi. Voimalaitoksen läpi virrannut vesi laskeutuu alaveteen.

9: Jokivoimalaitoksen kokonainen periaatekuva.

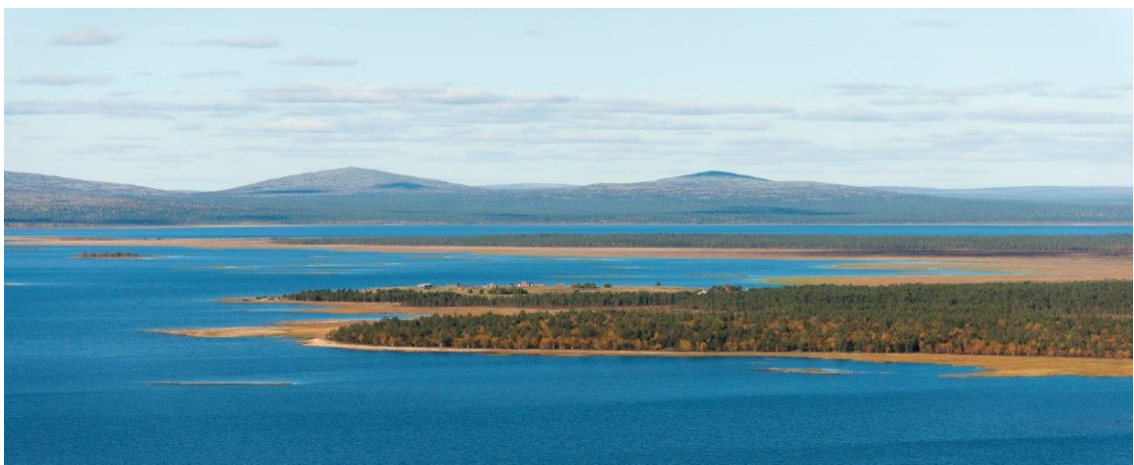


Kuva 3. Vesivoimalaitoksen periaatekuva, jossa on havainnollistettu vesivoimalaitoksen poikkileikkaus, ja siten missä kohti mikäkin osa sijaitsee. [35.]

3.2.2 Allasvesivoimala eli säännöstelyvesivoima

Allasvesivoimala, joka on toiselta nimeltään säännöstelyvoimalaitos, ja allasvesivoimalat on rakennettu kookkaan vuosisäännöstelyaltaan yhteyteen, ja vuosisäännöstelyaltaan säännöstely tapahtuu juoksuttamalla allasta. Suomessa sellaisia ovat Lokan ja Porttipahdan tekoaltaiden alapuolella olevat vesivoimalaitokset. [3; s. 229.]

Porttipahdan tekoallas sijaitsee Sodankylän kunnassa, kunnan pohjoisosissa. Porttipahtaa alettiin täyttämään vuonna 1960 kunnes vasta 10 vuotta myöhemmin vuonna 1970 tekoallas saatiin täytätettyä. Porttipahdan tekoaltaan yhteydessä sijaitseva Porttipahdan vesivoimalalaitos, jonka tuotto on 40 MW, säännöstelee vesivoimalaitoksen yläpuolista Porttipahdan tekoallasta ja on suurin Kemijoen sivujoki Kitiseen laskevista ja sijaitsevista vesivoimaloista. Porttipahta on pysynyt luonnonjärvimaisena, vaikka se on tekoallas. Porttipahdan vuotuinen energian tuotto on noin 100 GWh. Porttipahdan tekoaltaan itäpuolella sijaitsee Lokan varastoallas, jonka pinta-ala on 216 km², ja siten se on eräs Euroopan suurimmista tekojärvistä. Lokan varastoaltaan vierellä sijaitsee Lokan kylä, sekä Luirojoen yläjuoksu. Lokan varastoaltaan vedet kulkeutuvat Porttipahkaan Vuotson kanavan kautta, josta eteenpäin Kitiseen, Kemijärveen ja pääuomalla sijaitseviin voimalaitoksiin. Kuvassa 4 on kuvattu osa Lokan tekoaltaasta, ja sitä kuinka laajalle tekoallas laajenee. [10; 11.]



Kuva 4. Kuvassa on kuvattu Lokan tekoallasta Sodankylän kunnassa. [11.]

3.2.3 Vuorovesivoima

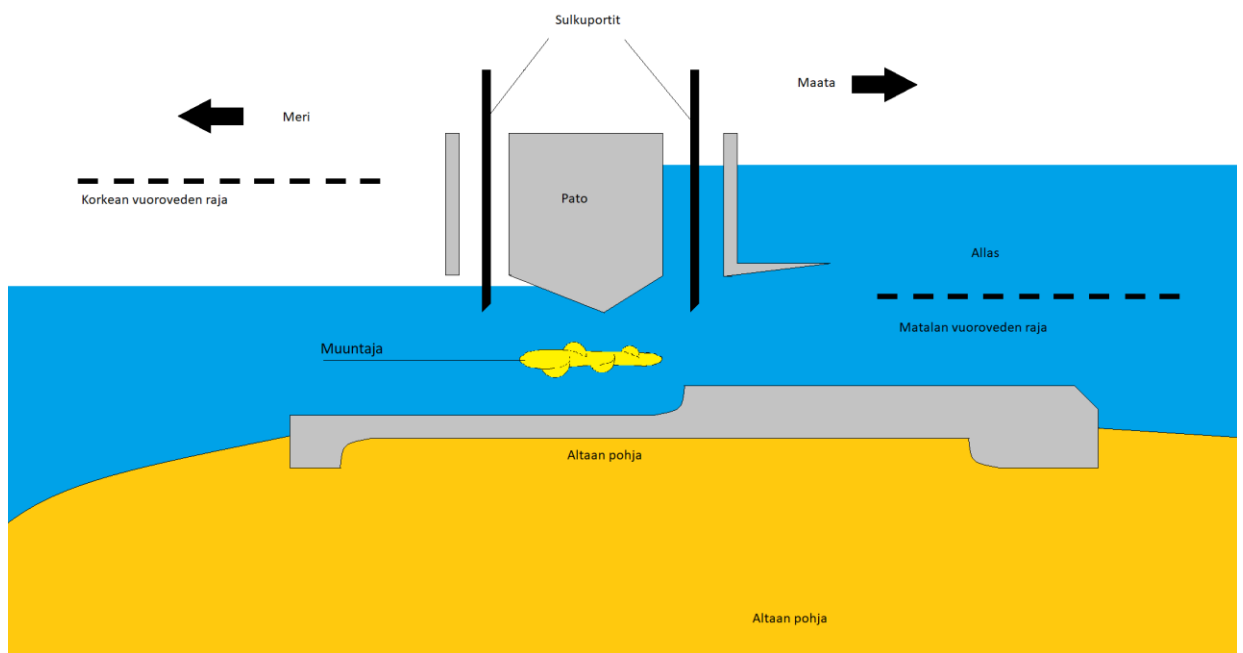
Vuorovesi-ilmiö johtuu Kuun ja Auringon Maahan kohdistuvasta painovoimasta, ja se on syy vuorovesi-ilmiöön, joka siten aiheuttaa merien pinnan nousut ja laskut. Kuun painovoiman vaikutus on kaksinkertainen Auringon painovoiman vaikutukseen. Vedenpinnan korkein vaihe on vuokse (nousuvesi) ja vastaavasti matalin vaihe on luode (laskuvesi). Maantieteellisesti suurimmat vaihtelut maailmalla voivat olla 10 metrin luokkaa. Vuorovesi-ilmiö on omiaan tuottamaan kovia virtauksia, jopa 5 m/s, muokaten rannikko- ja jokiseutua ja niiden eläinlajien elämää. Vuorovesi-ilmiötä hyödynnetään myös merenkulussa, koska on sellaisia satamia, mihin pääsee taikka pääsee pois vain vuorovesi-ilmiön vuokseen aikana. [1; s. 28 - 30.]

Ei ole vain yhtä tapaa millä vuoroveden energiantuotto voidaan ottaa talteen. Tällä hetkellä on otettu käyttöön kolme erilaista tuotantotapaa vuorovesivoiman hyödyntämiseksi, ja lisävaihtoehtoja kehitellään myös koko ajan. Tällä hetkellä kaikki tuotantotavat käyttävät vedenpinnan alaista turbiinia. [1; s. 28 - 30.]

Menetelmistä ensimmäinen tarvitsee tietynlaisen patorakennelman vuorovesisuistoon. Menetelmistä toinen tarvitsee merelle sijoitettavan ja rakennettavan vuorovesilaguunin. Kolmas malli hyödyntää vuorovesivirtausta. [1; s. 28 - 30.]

Vuorovesipatojen toimintaperiaate on samankaltainen vesivoimaloiden patojen kanssa. Vesivoimalan tavoin vuorovesipadossa on pitkä betonieste, joka on rakennettu veden halki siten, että se rajaa joen suistoon vuorovesialtaan. Pato sisältää padon molemmiin puoleiset sulkuportit, joiden avaamisella voidaan päästää vesi kulkemaan vuorovesialtaaseen ja sieltä pois. Vuorovesi-ilmiön ollessa matalimmillaan, avataan padon sulkuportit, jonka seurauksena vuorovesi pääsee kulkeutumaan merestä kohti maata vuorovesialtaaseen täyttäen vuorovesiallasta. Altaan täytyttyä sulkuportit suljetaan ja turbiinien avulla vuorovesialtaaseen lisätään vielä vettä, joka on kuvattu kuvassa 5. [1; s. 28 - 30.]

Tietyissä tapauksissa sulkuportit ovat kiinni niin kauan, kunnes vuorovesi-ilmiö on laskenut meren puolista veden pintaa niin paljon, että vuorovesi-ilmiö on muodostanut selvän korkeuseron altaaseen ja altaan ulkopuolelle. Tämä mahdollistaa veden poistumisen altaasta takaisin mereen vuoroveden mukana. Tämän vaiheen nimiä on kutsuttu luoteeksi. On myös olemassa vuorovesivoimaloita, joissa turbiinit tuottavat sähköä myös nousevan vuorovesi-ilmiön aikana; tätä ilmiötä kutsutaan tulvavuokseksi. Tulvavuoksen eli sisäänvirtausmenetelmän energian tuotto on paljon heikompi kuin luodemenetelmän, koska silloin vedenvirtaus ei ole läheskään yhtä nopeaa eikä voimakkaasti, ja sitten energiatehottomampi. Veneliikenne ei häiriinny varsinkaan vuorovesipadoista eikä useista vesivoimapadoista, koska niihin on asennettu lukitusjärjestelmä, jonka syystä veneet pääsevät ohittamaan padon. [1; s. 28 - 30.]



Kuva 5. Havainnollistettu vuorovesivoimalaitoksen periaatekuva (ei mittakaavassa). [1; s. 28 - 30.]

Luonnonsuojelijat ovat olleet kiinnostuneita niin positiivisessa ja negatiivisessa mielessä vuorovesipadoista, koska vuorovesipadot eivät tuota ollenkaan käytössä kasvihuonepäästöjä, mutta vaikutukset myös siihen, minkälaiset vaikutukset tulevat olemaan vuorovesipadon lähetyillä oleviin rannikkoalueisiin, jotka ovat vuoksen aikana veden alla ja luoteen aikana ilman vettä. [1; s. 28 - 30.]

Vuorovesialtaat kuten myös joet kuljettavat erityisesti sedimenttiä merivesiin, ja sitä kautta vuorovesipadot voivat myös olla osana aiheuttamassa sedimentin kerrostumista vuorovesialtaisiin. [1; s. 28 - 30.]

Vuorovesivoimalan padon voi myös rakentaa rajaamaan lahden poukaman merestä. Vuorovesi-ilmiön jakson kesto on noin kuusi tuntia kerrallaan. Vuorovesilaitoksia ei ole vielä rakennettu Suomeen. [3; s.230.]

3.2.4 Aaltovoima

Aaltovoimaloiden toimintatarkoitus on tuottaa sähköä aaltojen liike-energiasta. Aaltovesivoimaloista hyödyntää kahdeksaa yleisintä vesivoimalaitostyyppiä, mutta innovaatioita vesivoimaloihin liittyen on maailmalla lukematon määrä. [12; 13.]

Aaltoenergia on hyvin luontoystävällinen energian tuotantotapa, koska se vähentää riippuvuutta öljystä sekä muista energiantuotantomuodoista, etenkin fossiilisista tuotantomuodoista. Aaltoenergiaa ja aaltoenergialaitteistoja voidaan käyttää ja hyödyntää missä päin maapalloa tahansa missä energiaa tarvitaan. Lisäetuna siihen voidaan lukea luotettavuus, tasaisuus, suuri energiantuotantopotentiaali sekä mahdollisuus tuottaa energiaa tarpeen mukaan oikea määrä. Aaltoenergian etuihin voidaan myös laskea sen, että aaltoenergialla voidaan tuottaa sähköä paikkoihin, mihin sähkön ja energian siirtäminen olisi vaikeaa; esimerkiksi saaristot. [14.]

Hidas kehitys on ollut yksi aaltoenergian esteistä, ja esimerkiksi tuulienergia on kehityksessä useita vuosia edellä. Myös aaltoenergian laitteistot vaativat eri asioita sijainneista, mihin kuuluu myös haastavat olosuhteet. Myös kaukainen sijainti hankaloittaa tuotetun energian siirtämistä maihin ja sitä kautta syvemmälle sisämaahan. Myös vesivoimaloiden sijainnit voivat vaikuttaa laivojen matkareitteihin sekä kalastukseen. Laitteen voivat myös vaikuttaa eläin-, eliö- ja ekosysteemiin negatiivisesti. [15.]

Aaltoenergialla tuotettu energia on polttoainevapaa, ja aaltovesivoimaloiden ylläpitokustannukset ovat matalat käyttöönoton jälkeen. [15.]

Aaltojen muodostuminen lähtee auringosta, ja sitä kautta auringon muodostamasta lämpöenergiasta. Koska aurinko ei pysty lämmittämään koko maapalloa koko aikaa saman lämpöiseksi, muodostuu lämpötilaeroja, ja siten se saa ilman liikkumaan kylmästä kohdasta lämpimään, joka mahdollistaa tuulien muodostumisen. [12.]

Aaltojen muodostumisessa tuulella on suuri vaikutus. Kun tuuli alkaa puhalttaa tyynen veden yläpuolella, tuuli saa vedessä liikkeeseen aiheuttaen veteen pyörteisyyttä, joka saa siten aikaan paine-eroja rikkoen siten sileän vedenpinnan. Rikotun vedenpinnan värähtelyihin tuuli pääsee ottamaan kiinni, ja siten kasvatamaan niitä. Alkujaan pienemmät aallot ovat jyrkempiä, mutta kasvaessaan ne aallot kasvavat pituussuunnassa nopeammin, kuin korkeussuunnassa. Pidemmät aallot etenevät lyhyitä aaltoja nopeammin, ja aallot ovat vuorovaikutuksessa keskenään vaihtaen energiaa. Tuulen aiheuttaman aallokon ja aaltojen muoto, eli korkeus, pituus ja suunta, vaihtelee, koska tuulen aiheuttama aallokko on luonteeltaan epäsäännöllistä. Veden pinta ei ole pelkästään passiivinen pinta, vaan liikkuva ja muuttuva aallokko. [11.]

Kuten muitakin ratkaisuja vesivoimaloiden tuotannossa, aaltovoiman mekaanista liike-energiaa voidaan käyttää ja muuttaa sähköenergiaksi. Aaltovoimaa on alettu käyttää kaupallisessa energiantuotannossa vasta 2000-luvun alkupuolelta lähtien. Koska aaltoenergia on sinänsä vielä uusi ratkaisu vesivoiman saralla, aaltoenergian tuotantomuotoja kehitetään yhä edelleen, ja osa niistä on jo käyttöön asti. [1, s. 36 - 42.]

3.3 Vesivoimalaitosten rakenne

Isoimmat mekaaniset kojeet vesivoimalaitoksessa ovat turbiini, generaattori sekä muuntaja.

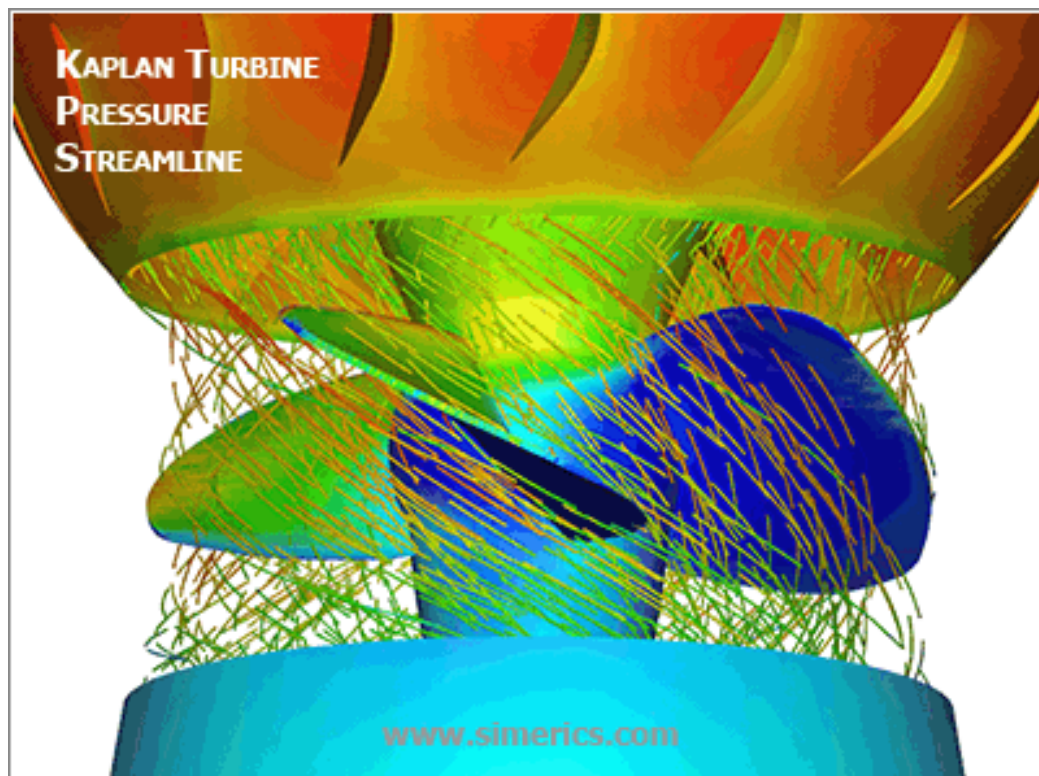
3.3.1 Turbiinit

On hyvä muistaa se, että turbiini on vain yhtenä osana isoa vesivoimalaitoksen kokonaisuutta. Vesiturbiinilla virtaavan veden liike-energiaksi, joka johdetaan generaattorille, joka muuttaa sen sähköenergiaksi. [3; s. 230 - 231, 235.]

Suomessa käytettävissä vesivoimalaitoksissa turbiinityypit voidaan jakaa pääpiirteittäin viiteen eri tyyppiin; *reaktioturbiinit*, *aktio- eli impulssiturbiinit*, *Pelton-turbiinit*, *putkiturbiini*, *Crossflow-turbiinit*. Suomessa käytetyin turbiinityyppi vesivoimaitoksissa *Kaplan-reaktioturbiini*. [3, s. 235.]

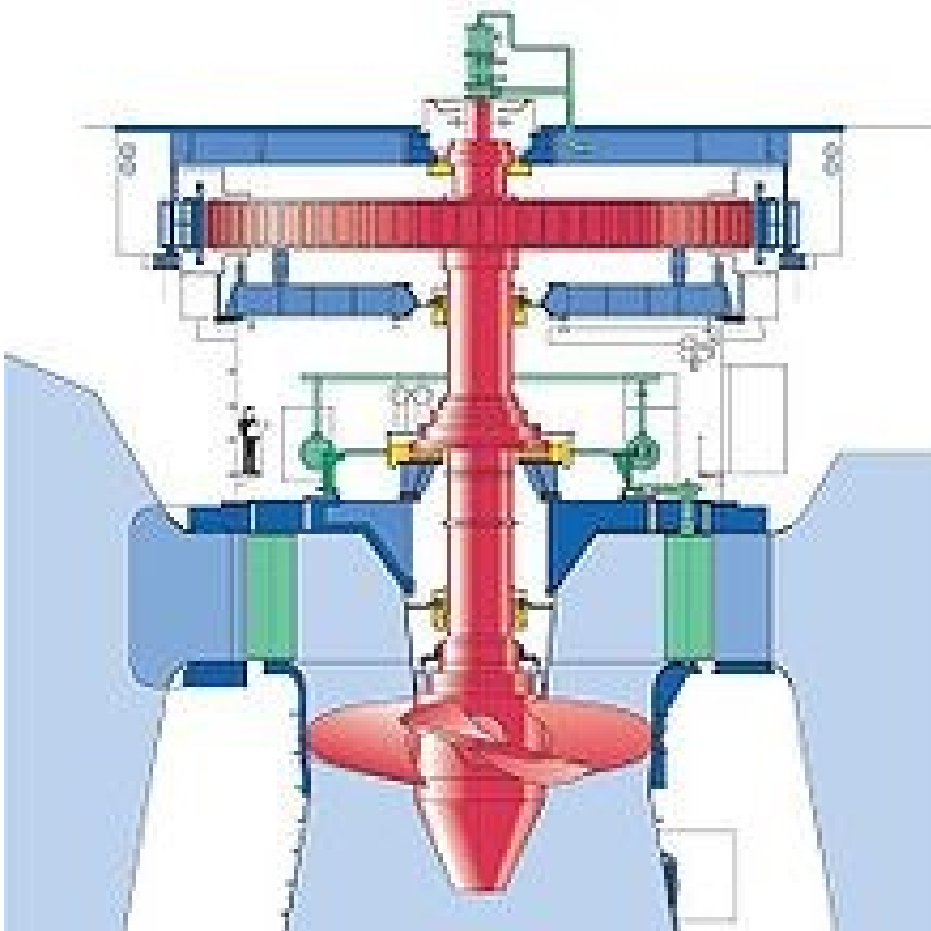
Reaktioturbiinityyppejä, jota vesivoimalaitoksissa käytetään, on kahta pääasiallisesti tyyppiä; *Kaplan-* ja *Francis-reaktioturbiinia*. Näistä molemmissa reaktioturbiinityypeissä lapoihin kohdistuva veden suhteellinen nopeus kasvaa siipisolissa joka johtaa veden virtauksen suunnan muuttumiseen. *Kaplan-* ja *Francis-* reaktioturbiineja säädetään johtolaitteilla, jossa on useita johtosolukkeita. Nämä johtosolukkeet on kytketty vivuston välityksellä johtorenkaaseen, joita taas ohjataan hydraulisella servomootorilla. Kiinni-asennossa oleva johtolaite tiivistää johtosolukkeet toisiaan vasten siten, että se estää turbiinin juoksupyörän läpi kulkemasta vettä. Johtorenaan avulla johtosolukkeiden asentoa muuttamalla ne avautuvat, ja siten antavat turbiinikammiossa olevalle vedelle pyörivän liikkeen, ja tämä veden pyörivä liike saa turbiinin juoksupyörän pyörimään. Johdintaiteen avauskulmalla säädetään turbiinin läpi menevää veden virtaamaa ja sitä kautta tietenkin turbiinin antamaan akselitehoa. [3, s. 235.]

Kaplan-turbiinit soveltuvuusalueen ollessa laaja, ne soveltuvat Suomen olosuhteisiin hyvin koska ne ovat suunniteltu pienemmille veden pudotuskorkeuksille, 2–70 metriä, ja siksi ne ovatkin Suomen yleisin vesiturbiinityyppi hyötysuhteen ollessa 91 %:n-95 %:n korkeusluokkaa. Turbiinin suuri käytettävyys johtuu vahvasta hyötysuhteesta sekä siitä että veden määrä ja veden putoamiskorkeus muuttuisi oleellisesti, ja turbiinin lapoja säätelämällä säädellään turbiinin tehoa sen ollessa käynnissä. *Kaplan*-reaktioturbiinissa on potkurityyppinen turbiini säädettävine lapoineen, ja Suomen olosuhteissa lapoja on 4-5 kappaletta, ja silloin veden virtaama juoksupyörässä on aksiaalinen, eli akselin suuntainen, eli tässä tapauksessa pystysuuntainen. *Kaplan*-turbiinin hyötysuhteen ja koneen toiminnan osalta suurin yksittäinen vaikuttava asia on juoksupyörän kammion muotoilu, koska se on alttiina suurille rasituksille. Kammion muotoilu on yleensä pallomainen, ja se muotoillaan pallomaiseksi keskiökorkeuden kohdalta. Syy tähän on se, että näin saadaan rakohäviöitä pienimmiksi. Kuvassa 6 on havainnollistettu *Kaplan*-turbiinin käynnissäolovaihe. [3, s. 236.]



Kuva 6. Vesivoimalaitoksen sisällä oleva *Kaplan*-turbiinin havainnekuva turbiinin ollessa käynnissä, jossa lyhyet viivat havainnollistavat virtaavaa vettä. [9.]

Kuvassa 7 on poikkileikkauskuva *Kaplan*-turbiinista vesivoimalaitoksen sisältä. Kuvassa *Kaplan*-turbiini on asennettu käyttövalmiiksi.



Kuva 7. Vesivoimalaitoksen sisällä oleva *Kaplan*-turbiini, joka on asennettu toiminta valmiuteen. [9.]

Francis-turbiinit vastaavasti soveltuvat keskisuurille pudotuskorkeuksille, jotka ovat 5–700 metriä. *Francis* - turbiinit tehdään yleensä pystyakselisiksi ja sen juoksupyörä on kiinteälappainen, joita laippoja on turbiinin koosta riippuen yleensä 16–21 kappaletta, ja johon vesi tulee spiraalia myöten joko kiinteille taikka säädettäville solukkeille jotka ovat juoksupyörän kehällä. [3, s. 236.]

Francis-turbiinin erikoispiirre muihin turbiineihin verrattuna on se, että se pystyy toimimaan myös pumppuna; tässä tapauksessa kuin eräänlaisena väärinpäin olevana keskipakopumppuna. Keskipakopumpun toimintaperiaatteessa nopeasti pyörivät siivet pakottavat nesteen pyörimisliikkeeseen ja silloin keskeiskiihtyvyyden ansiosta neste kulkeutuu ulos pumpun kehällä olevasta aukosta, jolloin pyörän navan lähetyville syntyy imu. *Francis* - turbiinin vesikanavat ovat rakennettu spiraalimaiseen muotoon, joka kiertää turbiinia ohjaten veden juoksupyörän ulkokehältä sisäkehälle poistukseen juoksupyörän keskeltä. Turbiinin tehoa säädellään ulkokehällä oleville solukkeilla eli johtosiivillä, ja näiden ansiosta *Francis*-turbiinin hyötysuhde on noin 90 %. [3, s. 235 - 236.]

Aktio- eli impulssiturbiinit ovat toinen turbiinityyppi, mitä vesivoimalaitoksissa käytetään. *Aktio- eli impulssiturbiinien* toimintaperiaate lähtee siitä, että turbiinin juoksupyörä saa toimintaenergiansa siihen kulkeutuvasta vesisuihkusta, jonka takia veden suunta muuttuu juoksupyörässä. Veden nopeus hidastuu juoksupyörän läpi kulkiessaan. [3, s. 236.]

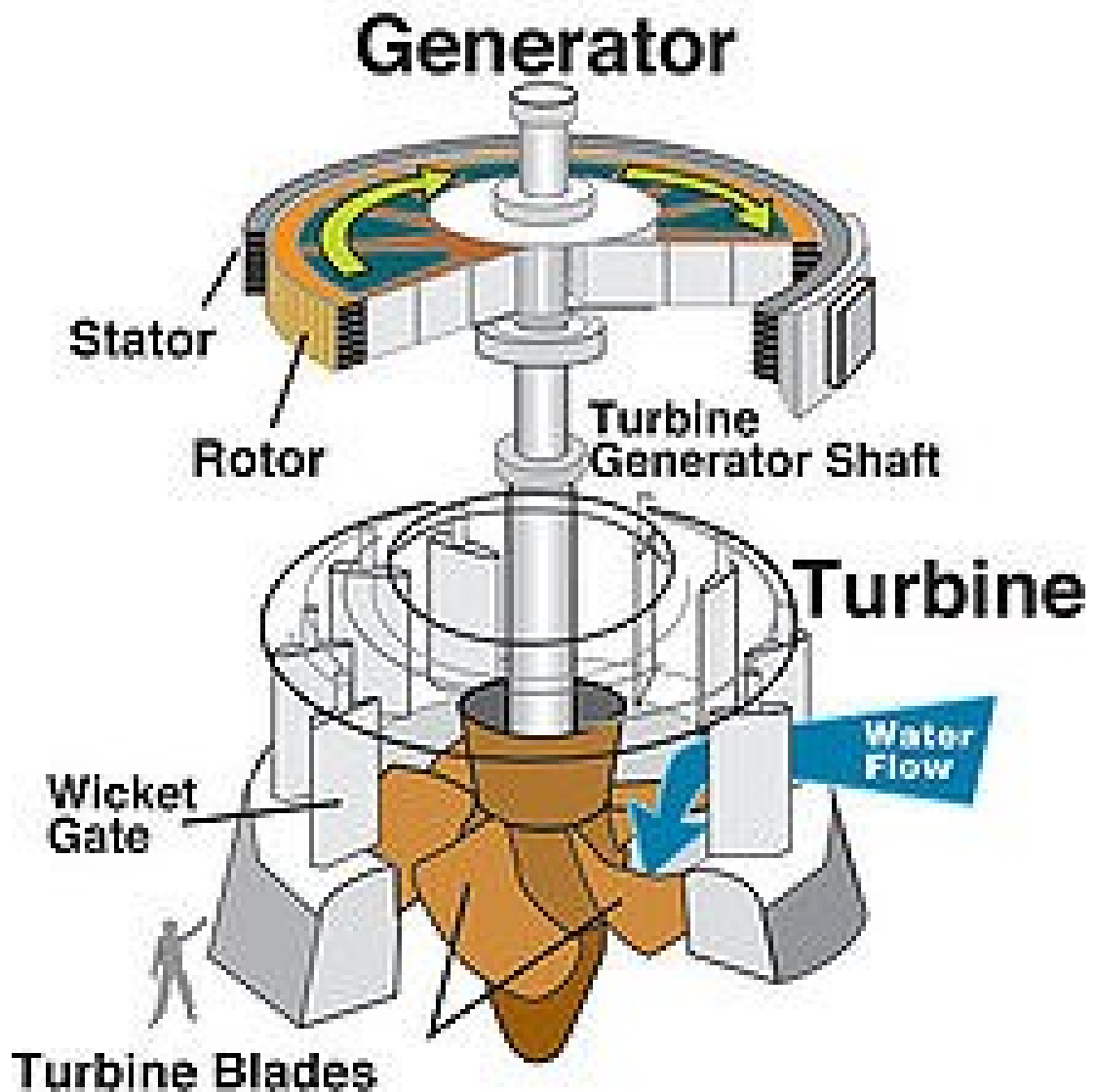
Pelton-turbiinit ovat soveltuvat suurille veden pudotuskorkeuksille, jotka ovat 15–2 000 metriä. *Pelton-turbiinit* ovat aktio- eli tasapaineturbiineja ja pienet *Pelton-turbiinit* ovat vaaka-akselisia, ja suuret turbiinit pystyakselisia. *Pelton-turbiinien* toimintaperiaatteeseen kuuluu se, että turbiini toimii veden liike-energialla paineen sijasta. Vesi ohjataan *Pelton-turbiinin* kuppeihin voimakkaana liike-energiana, jolloin se saa turbiiniin pyörimään, ja veden suihkuttaminen ohjataan vain osalle juoksupyörän kehää, joten tästä turbiinimallista käytetään sellaista nimitystä, että se on osittainsyötettyjä. Turbiinin säätö tapahtuu suuttimien neulaventtiileillä. Turbiinin juoksupyörän lavat ovat kaksoiskauhan muotoisia, joka saa vesisuihkun jakautumaan symmetrisesti kahteen osaan, joka tällöin estää juoksupyörän laakerin rasittumasta akselin suuntaisesti. [3, s. 236.]

Putkiturbiinia käytetään sellaisissa vesivoimalaitoksissa, jotka ovat rakennettu matalien putousten ja vesistöjen äärelle, ja näissä on käytetty *Kaplan*-taikka potkurityyppistä turbiinia. Potkuriturbiineja on useita, koska niillä on monta erilaista käyttökohdetta. Potkurityyppejä ovat esimerkiksi potkuriturbiinit, jossa on säädettävät johtopyörän siivet (solukkeet) ja juoksupyörä on kiinteä, sekä semi-*Kaplan*-turbiinit, joissa ovat vastaavasti juoksupyörät ovat säädettävät ja solukkeet kiinteät. Juoksupyörä on todennäköisesti sijoitettu vaakasuoraan putkeen, ja turbiinin siivekkeet ovat putken sisäpinnan ulkokehällä ja ovat muodoltaan kiihkeitä. Generaattori on sijoitettu putken ulkopuolelle taikka putken sisälle olevaan kapseliin. [3, s. 236.]

Crossflow-turbiinit ovat vaaka-akselisia, ja ne soveltuvat parhaiten 3–200 metrin korkuisiin pudotuksiin sekä vesistöihin, joiden virtaamisnopeus on välillä 0,03–13 m³ / s. Tämä turbiinityyppi on osittaisyyötetty kuten myös *Pelton*-turbiinit, eli kavitaatiota ei ilmaannu. Tässä turbiinimallissa voidaan säädellä veden virtausta siten, että veden virtaus on 1/3, 2/3 taikka 3/3 juoksupyörän pinta-alasta on käytössä. Tämänkaltainen ratkaisu mahdollistaa tasaisemman hyötysuhteen riippuen virtaaman määrästä. *Crossflow*-turbiinin hyötysuhteen voi olla korkeintaan 87 %, ja yleisesti turbiinin hyötysuhde on noin 80 %. Turbiinin vesikanava rakennetaan siten, että vesivirtaus on vaakasuorassa taikka pystysuorassa juoksupyörään nähden. Johtosiipien kulmia säätelämällä saadaan veden virtaus parhaaksi mahdolliseksi ennen juoksupyörää, ja siten saadaan paras mahdollinen hyötysuhde. Turbiinin erityisiä hyviä puolia on se, että turbiini kestää pitkiä aikoja ilman isompia huoltoja, ja asennuksen helppous on niin helppoa, että ammattitaidoton pystyy asentamaan ja laittamaan turbiinin toimintakuntoon. [3, s. 236.]

3.3.2 Generaattorit

Kuvassa 8 on kuvattu generaattori, turbiini sekä niiden liitoskohta vesivoimalaitoksen sisällä. Tällaiselta turbiini-generaattori-yhdistelmästä jännitteensyöttö siirtyy kaapeleita pitkin vesivoimalaitoksen muuntajalle, josta se vastaavasti muuntajan läpi kuljettuaan kulkeutuu sähkön kuluttajille [9].



Kuva 8. Kuvassa on havainnollistettu vesivoimalaitoksen sisällä oleva turbiinin ja generaattorin liitoskohta. [9.]

Generaattoreista tärkein pyörivistä sähkökoneista on tahtikone. Tahtikonetta voi myös käyttää moottorina. Vierasmagnetoiduissa tahtikoneissa moottorikäyttö tulee käyttöön vain suurissa, yli 1 MW:n mekaanisissa paikoissa, eli juurikin isoissa vesivoimalaitoksissa, jotka ilmoitetaan Energiaviraston voimalaitos-tietokantaan. [4; s. 19 - 25.]

Tahtikoneet on yleensä jaettu kahteen eri konetyyppiin; umpinapakoneisiin ja avonapakoneisiin. Tahtikoneet muodostuvat kolmivaiheisella käämillä varustetuista staattorista, ja sen sisällä olevasta pyörivästä roottorista. Roottorirakenne on hieman erilainen umpinapakoneissa ja avonapakoneissa; umpinapaisissa roottorirakenne on sylinterimäinen, jonka magnetointikäänitys on laitettu roottorin uriin. Avonapakoneen roottorin rakenne poikkeaa umpinapakoneiden roottorirakenteesta siten, että avonapakoneen roottori ei ole sylinterimäinen, vaan erillisistä navoista, joita kutsutaan myös avonavoiksi. [4; s. 19 - 25.]

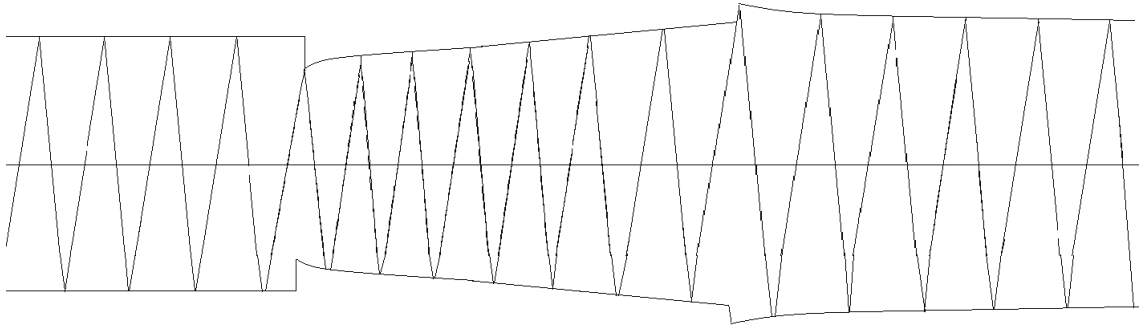
Tahtikoneet ovat siten jaettu avonapaisiin sekä umpinapaisiin ihan naparakenteen perusteella, kuten myös magnetointitavan perusteella tahtikoneet jaetaan *napakäämi-, kestomagneetti- ja reluktanssikoneisiin*. [4; s. 19 - 25.]

On tavallista, että moninapaiset tahtigeneraattorit, joita ovat yleensä hidasnopeuksiset vesivoimalan generaattorit, ovat avonapakoneita. Tahtigeneraattorin roottori saatetaan liikkumaan toisen kojeen, vesivoimaloissa generaattorin avulla. Pätötehoa tarkastaessa tahtigeneraattorin osalta, pättöteho määrä riippuu täysin siitä pyörittävästä voimakoneesta, vesivoimalaitoksien kohdalla se tarkoittaa turbiinia, ja siten siitä, kuinka paljon ja millä teholla vesi pyörittää turbiinia. Tämä on täysin normaali tilanne sitä ajatellessa, että sähkökoje voi päästää itsensä läpi vain sen verran tehoa mitä siihen syötetään. [4; s. 19 - 25.]

Roottorissa sijaitsevaan magnetoimiskäämissä johdetaan harjojen sekä liukurenkaiden taikka vaihtoehtoisesti magnetointikoneen avulla tasavirta, tällöin koneeseen syntyy magneettivuoto. Avonapakoneen roottori on magneettisesti epäsymmetrinen. Roottorin ollessa toiminnassa tahtigeneraattorin magneettivuovivat leikkaavat staattorin käämisauvoja, mikä saa aikaan käämitykseen indusoituvat vaihtelevan sinimuotoisen ja kolmivaiheisen lähdejännitteen. Indusoituvat

jännitteen taajuus muodostuu akselin pyörimisnopeudesta sekä koneen napapariluvusta. Jos pyörimisnopeus on vakaa, mikä on normaali tilanne generaattoria käytettäessä, indusoituneen jännitteen määrää voi säätää muuttamalla roottorin magneettivuon arvoa. Staattorin indusoituneen lähdejännitteen määrä perustuu magnetoimisvirran suuruudesta pyörimisnopeuteen ja sen tuloksena verkkotaajuuden ollessa vakio. Kun generaattorin magnetointia kasvatetaan yli tyhjäkäyntiarvostaan, generaattori toimii tässä tapauksessa kuin kondensaattori verkkoon päin, eli ottaa verkosta kapasitiivista loistehoa ja vastaavasti antaa verkkoon päin induktiivista loistehoa. Kun generaattori on alimagnetoitu, silloin generaattori toimii juuri päinvastoin kuin ylimagnetoitu generaattori, eli antaa verkkoon päin kapasitiivista loistehoa, ja ottaa verkosta induktiivista loistehoa. [4; s. 19 - 25.]

Generaattorin jännitteen muodostuminen ulos päin tapahtuu siten, että muodostetaan sopivan kokoinen jänniteramppi, jota kuvassa 9 on havainnollistettu. Siten voidaan poissulkea jännitteen ylitykset sekä mahdolliset jännitevärähtelyt. Tällä haetaan sitä, että säädöllä saadaan pidettyä jännitteen määrää vakiona kuormasta riippumatta. Säätöä voidaan muokata siten, että verrataan liitinjännitettä ohjearvoihin ja siten muokkaamalla magnetoinnin määrää tilanteen vaatimalla tavalla. Tätä säätöä nykyään ohjataan jo automaation avulla, esimerkiksi PID-säätimen avulla, jonka parametrit voidaan asettaa siten, että jännite toimii järkevästi erilaisilla kuormilla ja kuormanvaihteluilla. Kun generaattoria aletaan kuormittamaan jännitteen sekä virran osalta, kuten kuvissa 10 ja 11 on havainnollistettu, niin jännite sekä virta saavat piikin ylöspäin, jonka jälkeen jännitteen ja virran arvot palautuvat normaaleiksi. Kun taas jännitteen sekä virran kuormitus kytkeytyy pois, silloin jännitteen ja virran arvot putoavat nolleen, josta ne potentiaalisesti nousevat takaisin normaaliin arvoon hetken kuluttua. [4; s. 30.]



Kuva 9. Generaattorin jänniteramppi. [9.]



Kuva 10. Viritysjännitteen ramppi. [9.]



Kuva 11. Viritysvirran ramppi. [9.]

Kuormitettaessa generaattoria ja siten myös magnetointipiiriä tulee sen säätäjissä käyttää rajoittamia, jotka rajoittavat magnetoinnin lisäksi reaktiivista tehoa sekä napakulmaa. Kun generaattori liitetään verkkoon, magnetoinnin lisäys ei näy enää jännitteessä, vain paremminkin loistehossa. [4; s. 32 - 35, 46.]

Generaattorin jännitteen määrään vaikuttaa sen tyhjäkäynnillä pelkästään magnetointivirta. Kuormitetun sekä verkkoon liitetyn generaattorin jännitetasoon vaikuttavat magnetointivirran lisäksi kytketyn verkon jännite sekä generaattorin toiminnallinen tila virtojen ja tehojen osalta, sekä että millä jäykkyydellä generaattorin jännite on sidottu verkon jännitteeseen. Tämä tarkoittaa sitä, että generaattori pystyy tuottamaan esimerkiksi 10 kV / 110 kV:n muuntajan 10 kV:n ensiopuolelle koko ajan oikean kokoista jännitettä, että muuntajan 110 kV:n toisiopuolen jännite pysyy vakiona. [4; s. 45 - 46, 54.]

Tämä mahdollistaa sen, että generaattori pystyy toimimaan halutulla tavalla jännitteen ja tehon osalta, generaattori tarvitsee joka hetki aina oikean määrän

magnetointivirtaa. Magnetointimäärän muutos vaikuttaa aina siten, että jos magnetointivirran määrä ei ole oikea, se suoraan vaikuttaa jännitteen määrään. Tässäkin tapauksessa magnetointivirran määrä kasvaa suorassa suhteessa kuorman määrään pitääkseen, ja siten pitääkseen jännitteen oikean kokoisena ja muuttumattomana. Koska sähköverkon kuorma muuttuu koko ajan, sekä vesivoimalla kuorman muutokseen on nopea vastata, vesivoimaloiden generaattoreiden magnetointivirtaa säädetään jatkuvasti, jotta generaattorin jännite vaihtelee koko ajan kuormituksen mukaan oikeaksi. [4; s. 45 - 46, 54.]

Magnetointiteho tuotetaan nykyään lähes poikkeuksetta IGBT- tai tyristorisilloilla. Liitinsäädöillä on myös viranomaisvaatimukset, Fingrid VJV 2018, riippuen tietysti konetyypistä, koska sillan ja generaattorikäymysten osalta niiden ominaisuudet muuttuvat lämpötilan myötä, siten vastuksen määrä magnetointipiireissä kasvaa, joka siten aiheuttaa muutosta koneiden magnetointeihin. VJV 2018:n kuuluu myös stabilointi. VJV 2018:ssa on käytössä PSS (engl. power system stabilizer), eli lisästabilointipiiri, joka on jänniteensäätäjän lisätoiminto, jonka tavoitteena on parantaa matalataajuuksisten tehoheilahtelujen vaimennusta laitostason paikallisen heilahtelun sekä sähköjärjestelmän alueiden välisen heilahtelun osalta. Pohjoismaiden verkon alueellisia taajuuksellisia verkkoheilahteluita on 0,2 - 10 Hz:n välillä, mutta kumminkin yleisin taajuuden heilahtelutaso on saatu rajattua 0,3 Hz:n. PSS tutkii sisäänmenosignaalia vaihdesiirrosta, ja sen tarkoitus on kompensoida generaattorin, magnetoinnin sekä verkon tuottamaa viivettä siten että PSS voi muuttaa vääntömomenttia sähköisesti samassa vaiheessa akselin nopeuden muutoksen kanssa. [4; s. 45 - 46, 54.]

Taajuutta tarkastellessa generaattorin taajuutta, magnetointitehon tarve kasvaa suorassa suhteessa taajuuden laskuun, jos ja kun halutaan pitää jännite halutulla tasolla. Liasta magnetoinnista saattaa aiheutua ylimagnetoiminen, jota myös kutsutaan rautasydämen kyllästymiseksi. Tällaisen mahdollistava vaaratilanne on todennäköinen silloin, kun vesivoimalaitos on erotettu verkosta, ja käy siten omakäyttöllä saarekkeena. Voimalaitosta käytettäessä erotettuna verkosta ja siten saarikäyttönä, se on ainoa tapa, jossa generaattorin kierrokset voivat muuttua tehon tarpeen muuttuessa. Verkkoon kytkettynä generaattorin

taajuuden laskun on erittäin harvinaista. Ylimagnetointia voidaan estää siten, että jännitettä pienennetään samassa suhteessa kuin taajuutta. Tätä tehtävää hoitaa automatisoitu jännitteen säätäjän U/f-rajoitin, eli ”jännite/taajuus”-rajoitin. Täten jännitteensäädöllä voidaan parantaa generaattorin ja voimansiirtojärjestelmän stabiilisuutta. [4; s. 53- 67.]

Muuntajissa, jotka ovat liitetty generaattoriin, tapahtuu samanlainen ilmiö; jännitteen vakiona pysyessä sekä taajuuden laskiessa magnetointivirta kasvaa, mikä johtaa muuntajan rautasydämen kyllästymiseen. Muuntajat ovat ylimagnetoitumiselle ja siten sen tuottamille vahingoille paljon herkempiä kuin generaattorit. [4; s. 53-67.]

3.3.3 Muuntajat

Muuntaja on laite, jota voidaan käyttää useita eri käyttötarkoituksissa. Sähkötekniikassa muuntaja muuntaa joko jännitteen taikka virran toiseen kokoluokkaan. Muuntajia voi olla yksi- taikka monivaiheisia, joista suosituin on kolmivaiheinen jännitemuuntaja. Vesivoimalaitoksissa muuntajat ovat kolmijännitemuuntajia, eli ne muuntavat generaattorin tuottaman jännitteen suuremmaksi, siirtoverkkoon sopivaksi jännitteeksi. Sähköenergian siirtojärjestelmissä kolmivaiheinen teho lasketaan seuraavasti kaavalla 1;

$$P = \sqrt{3} * U * I * \cos\varphi \quad (1)$$

Teoriassa, jos tehokerroin $\cos\varphi$ on vakio, silloin muuntajan läpi tuleva teho voidaan johtimia / kaapeleita pitkin siirtää lukemattomalla määrällä erilaisia jännite- ja virtayhdistelmiä. Kumminkin, koska siirtoyhteydet eivät koskaan voi olla optimaalisia, eli niitä pitkin ei voi koskaan kuljettaa ilman häviöitä, koska ne ovat resistiivisiä eli häviöllisiä yhteyksiä, ja siten osa vesivoimalaitoksen tuotannon ja kulutuskohteen välillä tehosta jää matkalla sekä osa häviöksi siirtoyhteyksissä. [16.]

Koska siirtohäviöitä tulee, siksi on edullista nostaa jännite mahdollisimman korkeaksi tuotantolaitoksen ja käyttökohteen välillä, että sama määrä tehoa pystytään siirtämään pienimmillä virtamäärillä kuin se tilanne, että jännite olisi alhaisempi. Juuri tämän takia Suomessa on käytössä sähkön kantaverkko, jonka jännitetasot ovat 110 kV, 220 kV ja 400 kV, joilla pystytään siirtämään sähkötehoa sähkön tuotantolaitoksilta sähkön kulutuspaikkoihin mahdollisimman pienin tehohäviöin. Jännitettä kasvatetaan myös sen takia, että jännitettä on helpompi hallita kuin virtaa, sekä isompi virtamäärä vaatisi isompia ja paksumpia ja sitä kautta raskaampia kaapeleita, mikä vaikuttaa myös oleellisesti kustannuksiin. [16.]

Suomessa sähköverkot jaetaan kolmeen luokkaan; suur-, keski- ja pienjännitteet. Suurjännitteisiin kuuluu kaikki yli 36 kV:n jännitteet, keskijännitteisiin kuuluu jännitteet 1 kV:n ja 36 kV:n väliltä ja pienjännitteisiin kuuluu jännitteet, jotka ovat alle 1 000 voltia. Suurjännitteen ja keskijännitteen raja voi vaihdella riippuen jakelujärjestelmästä. [7.]

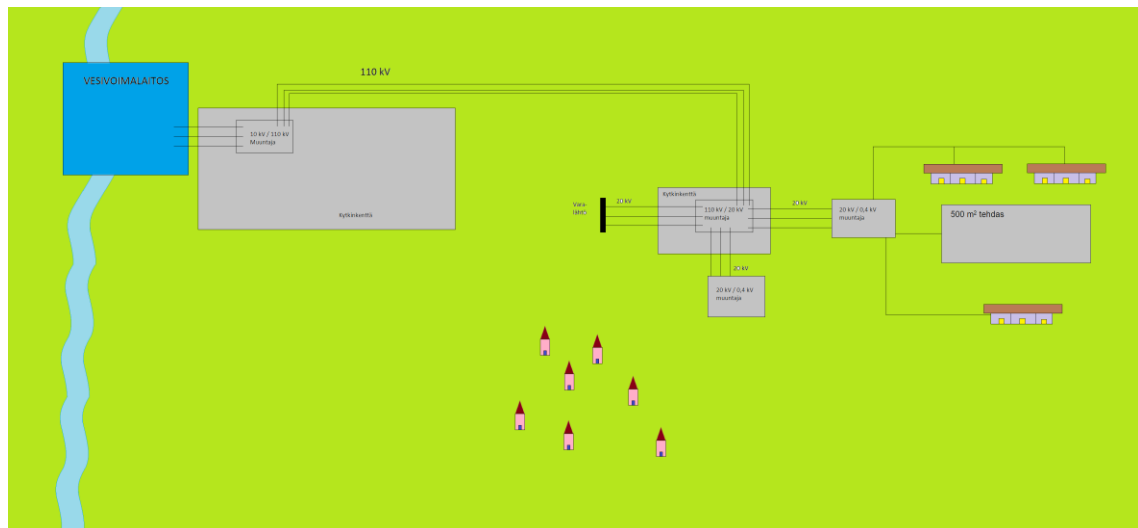
Jännitteen siirto vesivoimalaitokselta katsottuna voidaan toteuttaa eri tavoin. Vesivoimalaitoksella jännite nostetaan jännitteen ylösnostomuuntajalla ylös kantaverkkojännitteisiin, josta sähköteho siirtyy lähemmäs sähkön käyttökohdetta. Vastaavasti sähkötehon päästessä lähellä sähkön kulutuskohdetta, jännite pienennetään kantaverkkojännitteistä paikallisen verkkoyhtiön siirtoverkossa siirtoverkkoyhtiön jännitteellä, jonka jälkeen sähköenergia siirtyy käyttökohteen lähi-muuntajalle, josta sähköenergia siirtyy sähköliittymäsopimuksen mukaisella jännitteellä asiakkaalle. [7.]

Pääsääntöisesti vesivoimalaitoksen lähtevät liittymät, jotka liittyvät kantaverkkojärjestelmään asti voimalaitoksen kytkinkentältä, nousevat muuntajan ensiöpuolelta muuntajan toisiopuolelle kantaverkkojännitteeseen [7].

Muuntajan esiöpuolen 10 kV:n jännitetasosta muunnetaan pääsääntöisesti vain toisiopuolen 110 kV:n jännitetasoon, toki harvoja poikkeuksia on, että myös ensiöpuolen 20 kV:n jännitteestä muunnetaan toisiopuolen 110 kV:n jännitetasoon. Ensiöpuolen 20 kV:n jännitetasolta muunnetaan siten pääsääntöisesti

toisiopuolen 220 kV:n ja 400 kV:n jännitetasoihin. Tämän jälkeen sähköteho kulkee kantaverkkojännitteellä lähemmäs kohti sähkönkulutuspaikkaa, jonka lähellä vastaavasti jännite muunnetaan kantaverkkojännitteestä pienemmäksi jännitteeksi, jota paikallinen verkkoyhtiö hallinnoi. [7.]

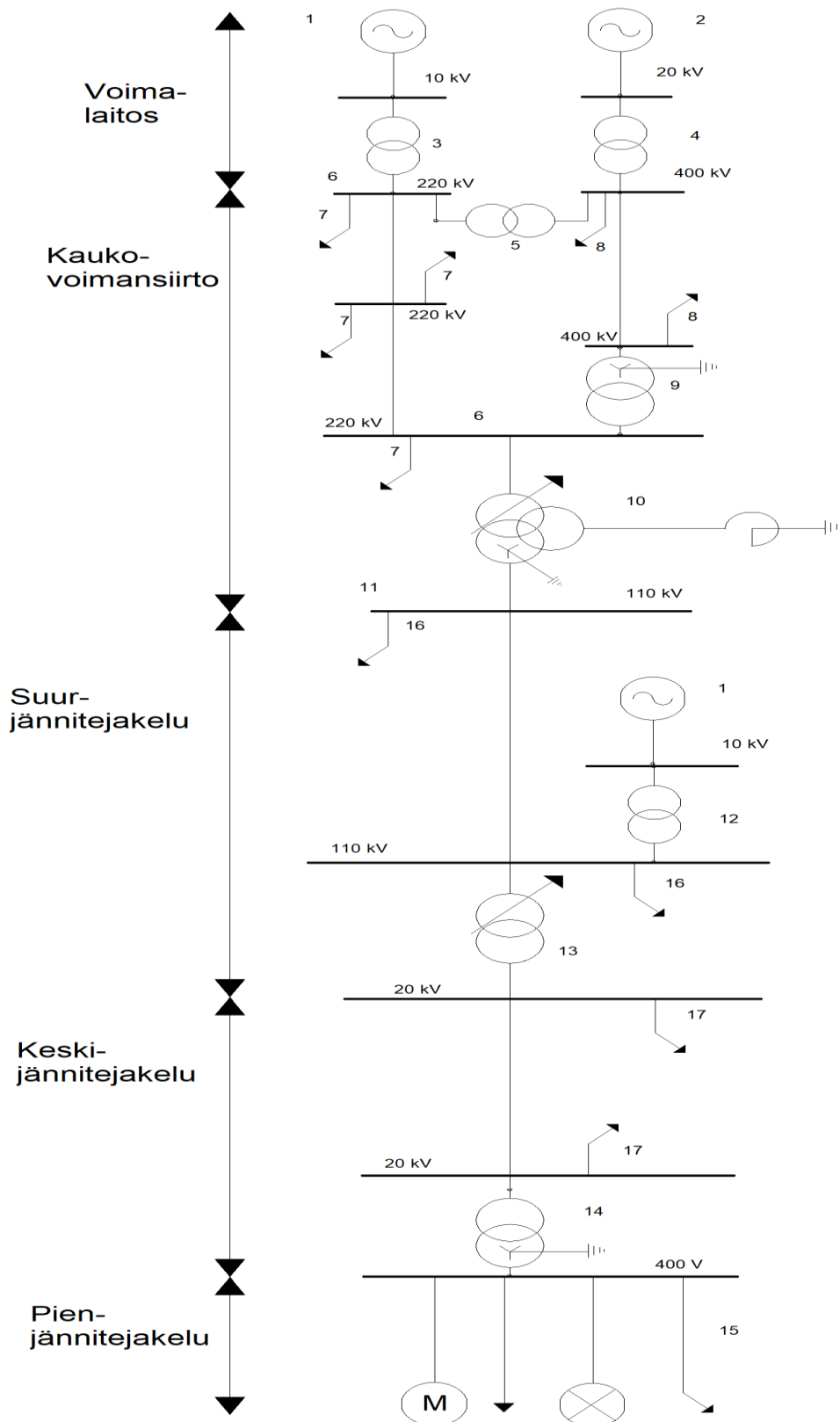
Tästä jännitteen muuntamispisteestä jännite muunnetaan muuntajalla, jonka ensiöpuolelle tulee ko. kantaverkkojännite, ja vastaavasti muuntajan toisiopuolelta lähtevä jännite sekä sähköteho jatkaa matkaa kohti varsinaista kulutuspaikkaa paikallisen sähköverkkoyhtiön sähköverkossa. Yleisin paikallisverkkoyhtiöiden käyttämä siirtojännite on 20 kV, mutta on myös muita jännitetasoja, mitä paikallisesti ja paljon pienimuotoisemmin käytetään. Lähemmäs sähkön käyttökohteesta ollessa sähköenergia muutetaan vielä kerran muuntajalla liittymäsopimuksen mukaiseen jännitetasoon, ja yleisin näistä muuntajista on 20 kV / 0,4 kV :n muuntaja. Viimeiseltä muuntajalta, joka on 20 kV / 0,4 kV muuntaja, sähköteho jatkaa matkaa käyttökohteeseen yleisimmin 400 voltin jännitteellä joko ilmajohdona taikka maakaapelina. Tämä on havainnollistettu kuvassa 12. [7.]



Kuva 12. Sähköenergian kulku vesivoimalaitokselta sähkön kulutuskohteisiin. Tässä kuvassa on havainnollistettu mitä reittiä sähköenergia kulkee vesivoimalaitokselta kohti kuluttajaa. Vesivoimalaitoksella tuotettu sähköenergia siirtyy vesivoimalaitoksesta 10 kV:n linjaa pitkin vesivoimalaitoksen kytkinkentänlle, jossa se muunnetaan 110 kV:n jännitetasoon ja josta se sähkölinjaa pitkin kulkeutuu 110 kV/20 kV sähköasemalle, jossa sähköenergia muutetaan 20 kV:n jännitetasoon. Tältä kytkinkentältä sähköenergia siirretään ilmajohtoja pitkin 20 kV / 0,4 kV muuntajalle, josta sähköenergia siirretään 0,4 kV:n jännitetasossa kuluttajille, kuten tehtaisiin, toimistotiloihin ja yksityisasuntoihin ilmajohtojen taikka maakaapelin välityksellä.

Vesivoimalaitosten kytkinkentältä voi myös lähteä suora yhteys paikallisen jakeluverkonhaltijan sähköverkkoon. Jokaisella jakeluverkonhaltijalla on kumminkin omat jännitetasot, joilla he toimittavat sähköenergiansa asiakasyrityksillensä, mutta ylivoimaisesti suosituin jännitetaso on 20 kV. joka kulkee voimalaitoksen 10 kV / 20 kV muuntajan kautta. [7.]

Kuvassa 13 on havainnollistettu siirto- ja jakeluverkon periaatekaavio, missä on käytetty virallisia piirrosmerkkejä. Periaatekaaviossa on piirretty sähköenergian kulkeutuminen voimalaitokselta kaukovoimansiirron, suur-, keski- ja pienjännitejakelun kautta kuluttajille. Kuvassa olevat piirrosmerkit ovat numeroitu, ja niitä vastaavat komponentit on nimetty taulukkoon 1. [8.]



Kuva 13. Sähköenergian kulkeminen ylhäältä alaspäin voimalaitokselta kuluttajille sähkötekniisiä piirrosmerkkejä käyttäen. [9.]

Taulukko 1. Siirto- ja jakeluverkoston (kuva 13) periaatekuvan kojeet.

Voimalaitos	nro
Generaattori 10 kV	1
Generaattori 20 kV	2
Generaattorimuuntaja 10 kv / 220 kV	3
Generaattorimuuntaja 20 kV / 400 kV	4
Kaukovoimansiirto	
Tehovälimuuntaja 400 kV / 220 kV	5
Kytkinasema 220 kV	6
220 kV lähdöt	7
400 kV lähdöt	8
Muuntoasema 400 kV / 220 kV	9
Jännitteen säädöllä ja kompensointi-reaktorilla varustettu verkkomuuntaja	10
Suurjännitejakelu	
Kytkinasema	11
Generaattori 10 kV	1
Syöttöasema 110 kV / 10 kV	12
Syöttömuuntaja	13
110 kV lähdöt	16
Keskijännitejakelu	
Jakelumuuntamo 20 kV / 0,4 kV	14
0,4 kV lähdöt ja kuluttajat	15
20 kV lähdöt	17

Suomessa lähes kaikki kuluttajat ja voimalaitokset ovat yhteydessä sähköverkkoon, jolla katetaan lähes kaikki taloudet. Siirto- ja jakeluverkon periaatekaavilla siitä kuvan miten se toimii. [8.]

Vesivoimalaitoksen on toimittava koko ajan sekä normaalisti, kun vesivoimalaitoksen verkon liittymispiste on taajuudeltaan 49,0 Hz - 51 Hz, sekä jännite on 90 - 105 %. Poikkeuksena tähän on 400 kV:n verkko, jossa jatkuvan toiminta-alueen 100 % jännite täytyy olla aina 400 kV. Tämä tarkoittaa siihen, että vesivoimalaitoksen on pystyttävä toimimaan ja tuottamaan 110 kV:n ja 220 kV:n verkkoon verkonhaltijan haluama jännite. [4; s. 208.]

Täten, tavoitteellinen 100 %:n jännite 110 kV:n verkossa olisi 118 kV, ja siten vesivoimayhtiön on tuotettava verkkoon muuntajan toisiopuolelta koko ajan 106,2 kV - 123,9 kV:n jännite. Tavoitteellinen jännite 110 kV:n verkossa kumminkin vaihtelee 115 kV:n ja 120 kV:n välillä. [17.]

3.4 Vesivoimalaitosten koot Suomessa

Suomessa lainsäädäntö velvoittaa ilmoittamaan Energiaviraston voimalaitos - tietokantaan kaikki vähintään 1 MW:n voimalaitokset. Suomessa tällä hetkellä on vähintään 1 MW:n vesivoimalaitoksia 134 kpl, joista suurituottoisin on Imatran Vuoksessa sijaitseva Fortum Power & Heat OY:n omistama vesivoimalaitos 192 MW:n tuotannollaan. Kaikkiaan vesivoimalaitoksia on Suomessa eri arvioiden mukaan 220-250 kpl, eli noin 100 kpl vesivoimalaitoksia on alle 1 MW:n rekisteröimisrajan. [5.]

Mikro-vesivoimajärjestelmät ja niiden hankkeet ovat kasvattaneet suosiota varsinkin sellaisilla alueilla missä ei ole kansallista sähköverkkoa. Pienet vesivoimalaitokset, tässä tapauksessa mikro-vesivoimalat, voivat tuottaa sähköä pienille yhteisöille jokien ja purojen varressa. Maailmanlaajuisesti näin tuotetun sähkömäärä on noussut 8 %:n vuosivauhtia, kun vastaavasti vesivoimaloiden vain 2 %:n vuosivauhtia. Tästä suurin hyöty muodostuu siitä, ettei käyttöpaikalle tarvitse rakentaa paikkakunnallista taikka saatikka valtakunnallista sähkönsiirtojärjestelmää, vaan sähkön tuotanto tapahtuu käyttöpaikan välittömässä läheisyydessä, ja siten ympäristöhaitat ovat minimaaliset. [1; s. 25.]

Alle 1 MW:n vesivoimalaitoksia kutsutaan minivesivoimaloiksi, ja ne ovat pienvesivoiman alasektori. Niiden yleinen putouskorkeus on 2 - 6 metriä teholuokan ollessa 100 - 1 000 kilowattia. Koska tällaiset vesivoimalat ovat sen verran pieniä, ne pärjäävät ilman vesialtaita. Näiden vesivoimaloiden yleinen käyttöikä on 60 - 100 vuotta. [1; s. 25.]

Pienvesivoimaloiden varsinainen raja on se, että voimalaitoksen tehon tuotto on alle 10 MW (EU:n määrittelemä raja); eli käytännössä 1 MW - 10 MW. Suomen

teollisuudella oli iso tarve sähköistyä 1900 - luvun alkupuolella, ja pienvesivoimalat toivat siihen suuren avun. Metsäteollisuuden sähkön tarpeesta 1900 - luvun alkupuolella tuotettiin vesivoimalla noin 60 %. 1900 - luvun alkupuolen teollistumisen jälkeen ja vuodet sen jälkeen on jättänyt numeroimattoman määrän pienvesivoimaloita, joiden takana seisoo käyttämätöntä energiaa noin 250 MW:n edestä. Tällä hetkellä käynnissä olevat voimalaitokset ovat monin tavoin huollon, kunnostuksen ja päivittämisen tarpeessa. Syntyisi kannattavuutta turbiinien ja/tai veden virtaamaa nostamalla. Pienvesivoimaloista noin joka toinen on yli 50 vuotta vanhoja, kunnes taas vain noin joka neljäs on alle 25 vuoden ikäisiä, ja tämä tuottaa laajan kunnostustarpeen lähiajalle. Koska ympäristöasioihin on koko ajan kiinnitetty enemmän huomiota, pienvesivoiman ympäristöystävällisyys on kiinnittänyt yhä enemmän positiivista huomiota ympäri maailman. Paikallisesti se vähentää sähkön siirtoa, sitä kautta sähkön siirtokustannuksia sekä nostaa sähkön saantivarmuutta lisäämällä varmuutta iäkkäiden patojen kunnossapitoon. [1; s. 25 - 26.]

Pieniä vesivoimalaitoksia on Energiaviraston voimalaitosrekisteri - tietokannan mukaan toiminnassa 75 kpl. [7.]

Pienehköihin vesivoimalaitoksiin kuuluu vesivoimalaitoksen, joiden sähköenergian tuotto on 10 MW - 20 MW. Energiaviraston voimalaitosrekisteri - tietokannassa pienehköjä vesivoimalaitoksia on toiminnassa 17 kpl. [7.]

Keskikokoisiin vesivoimalaitoksiin kuuluu vesivoimalaitokset, joiden sähköenergian tuotto on 20 MW - 60 MW. Energiaviraston voimalaitosrekisteri - tietokannassa keskikokoisia vesivoimalaitoksia on toiminnassa 25 kpl. [7.]

Suurehkoihin vesivoimalaitoksiin kuuluu vesivoimalaitokset, joiden sähköenergian tuotto on 60 MW - 100 MW. Energiaviraston voimalaitosrekisteri - tietokannassa suurehkoja vesivoimalaitoksia on toiminnassa 8 kpl. [7.]

Suuriin vesivoimalaitoksiin kuuluu vesivoimalaitokset, joiden sähköenergian tuotto on yli 100 MW. Energiaviraston voimalaitosrekisteri - tietokannassa suuria vesivoimalaitoksia on toiminnassa 9 kpl. [7.]

Manner-Suomen 18 maakunnasta 16 maakunnassa on tällä hetkellä käytössä vesivoimaloita, jotka ovat vähintään 1 MW:n kokoluokkaa, ja siten ovat ilmoittaneet toimintansa lakisääteiseen Voimalaitos - tietokantaan. Vain Kanta-Hämeen sekä Keski-Pohjanmaan maakunnissa ei ole vähintään 1 MW:n vesivoimalaitoksia; toki pienempiä paikallisia vesivoimaloita löytyy molemmasta maakunnasta. Yli 1 MW:n vesivoimalaitokset jakaantuvat maakunnittain siten, miten ne ovat taulukossa 2 esitetty. [7.]

Taulukko 2. Vesivoimalaitosten sijainnit ovat jakaantuneet seuraavanlaisesti: [7.]

Maakunnittain vesivoimaloita	Määrä (kpl)
Etelä-Karjala	2
Etelä-Pohjanmaa	7
Etelä-Savo	1
Kainuu	10
Kanta-Häme	0
Keski-Pohjanmaa	0
Keski-Suomi	7
Kymenlaakso	14
Lappi	23
Pirkanmaa	13
Pohjanmaa	6
Pohjois-Karjala	12
Pohjois-Pohjanmaa	20
Pohjois-Savo	7
Päijät-Häme	2
Satakunta	3
Uusimaa	4
Varsinais-Suomi	3
(Ahvenanmaa)	0
Yhteensä	134

Ahvenanmaalla ei ole tällä hetkellä yhtään ilmoitettua vesivoimalaitosta käytössä. Vesivoimalaitokset ovat paikkakunnittain jakaantuneet seuraavasti liitteen 1 mukaisesti. [7.]

4 Vesivoimalla tuotettu sähkö

4.1 Vesivoimalla tuotettu sähköenergian määrä koko Suomen kapasiteetista

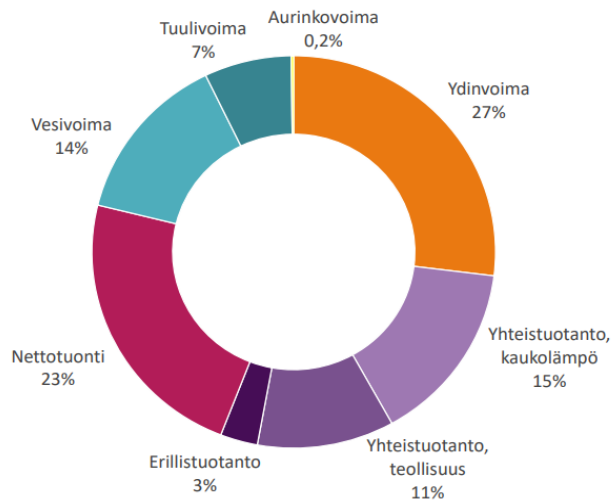
Myöskin sähkötekniikassa käytetään kerrannaissuureita, perusyksikköä aina tuhatkertaisesti suurentamalla tai pienentämällä. Tästä on esimerkki taulukossa 3. Eli yhden watin kun 1000-kertaistaa, sitä kutsutaan yhdeksi kilowatiksi. Tämän tuhatkertaisen lyhenne, kilo, merkintä on pieni k ja se aina merkitään muunneltavan suureen eteen, eli tässä tapauksessa watin merkin, W, eteen. Sähkövoimatekniikan puolella perusyksiköitä, kuten voltti, ampeeri ja watti hyvin todennäköisesti vain suurennetaan. [9.]

Taulukko 3. Vesivoiman mittayksiköt. [9.]

Vesivoiman mittayksiköt					
Teho	W	1 000 = 1 kW	1 000 kW = 1 MW	1 000 MW = 1 GW	
Energia	kWh		1 000 kWh = 1 MWh	1 000 MWh = 1 GWh	1 000 GWh = 1 TWh

Suomessa vuonna 2019 käytettiin noin 86 TWh energiaa, joista vesivoiman osuus oli noin 14 %, tehden siitä näin noin 12 TWh. Sähkön tuotanto jakautui vuonna 2019 kuvan 14 mukaisesti. [18.]

Sähkön tuotanto Suomessa ja tuonti 2019 86 TWh



Kuva 14. Sähkön energiantuotanto tuotantomuodoittain, missä on eriteltyä kaikki suurimmat tuotantomuodot, ja niiden tuottama sähköenergian osuus koko vuoden 2019 sähkön tuotannosta, jotka ovat merkitty taulukkoon prosentuaalisessa muodossa. [18.]

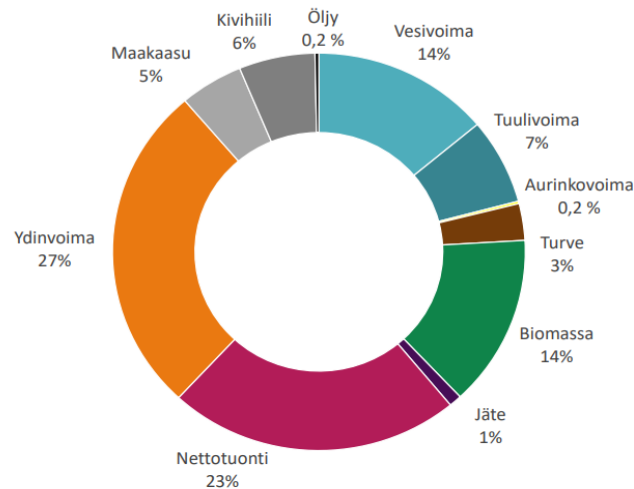
Vuoden 2019 sähköenergian tuotanto tuotantomuodoittain on laskettu tauluk-
koon 4, ja tulokset ovat ilmoitettu prosentuaalisessa muodossa kuin myös,
kuinka monta TWh tämä kulutuksena. [18.]

Taulukko 4. Sähkön tuotanto tuotantomuodoittain Suomessa vuonna 2019. [18.]

Sähkön tuotanto Suomessa ja tuonti vuonna 2019 (86 TWh)			
Aurinkovoima	0,2 %	0,172	TWh
Ydinvoima	27 %	23,22	TWh
Yhteistuotanto, läm- pövoima	15 %	12,9	TWh
			TWh
Yhteistuotanto, teol- lisuus	11 %	9,46	TWh
			TWh
Erillistuotanto	3 %	2,58	TWh
Nettotuonti	23 %	19,78	TWh
Vesivoima	14 %	12,04	TWh
Tuulivoima	7 %	6,02	TWh

Vastaavasti kuvaan 15 on tarkemmin eritelty mistä kaukolämmön yhteistuotan-
toon, teollisuuden yhteistuotantoon ja erillistuotantoon saatu energialähteet,
jotka kattavat noin 29 % energian tuotannosta. [18.]

Sähkö energialähteittäin 2019 86 TWh



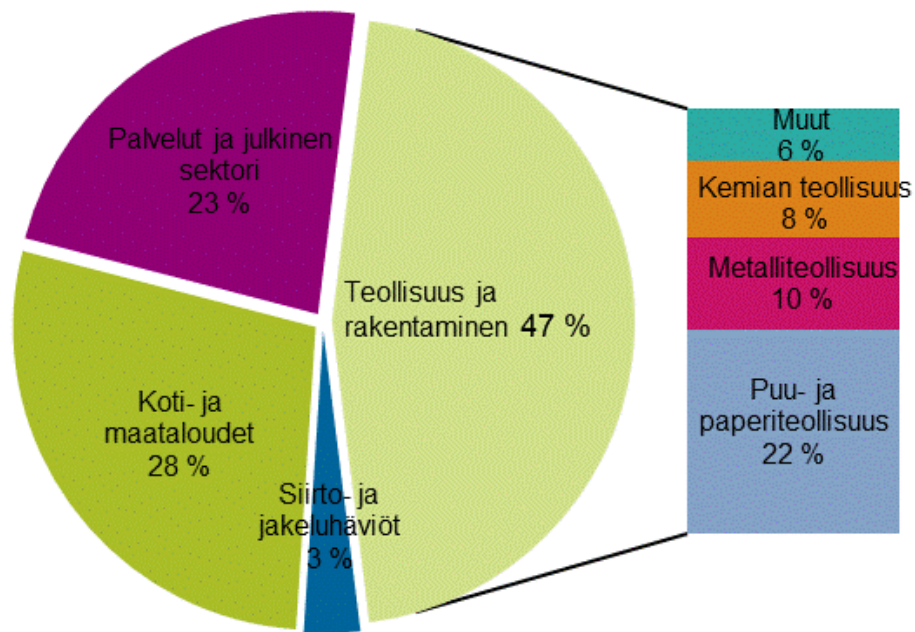
Kuva 15. Tuotantomuodot sähköntuotannossa mihin on paremmin eriteltyä mistä sähköenergian tuotanto koostuu. [18.]

Kaukolämmön yhteistuotannon, teollisuuden yhteistuotannon ja erillistuotannon energialähteet, jotka muodostivat noin 29 % osuuden, näiden energian tuotantomuodot ovat merkitty taulukkoon 5. [18.]

Taulukko 5. Sähkön tuotanto energialähteittäin. [18.]

Sähkö energialähteittäin (86 TWh)			
Vesivoima	14 %	12,04	TWh
Tuulivoima	7 %	6,02	TWh
Aurinkovoima	0,2 %	0,172	TWh
Turve	3 %	2,58	TWh
Biomassa	14 %	12,04	TWh
Jäte	1 %	0,86	TWh
Nettotuonti	23 %	19,78	TWh
Ydinvoima	27 %	23,22	TWh
Maakaasu	5 %	4,3	TWh
Kivihiili	6 %	5,16	TWh
Öljy	0,2 %	0,172	TWh

Vastaavasti koko Suomen kulutus vuonna 2019 muodostuu kuvan 16 ja taulukon 6 mukaan. [18.]



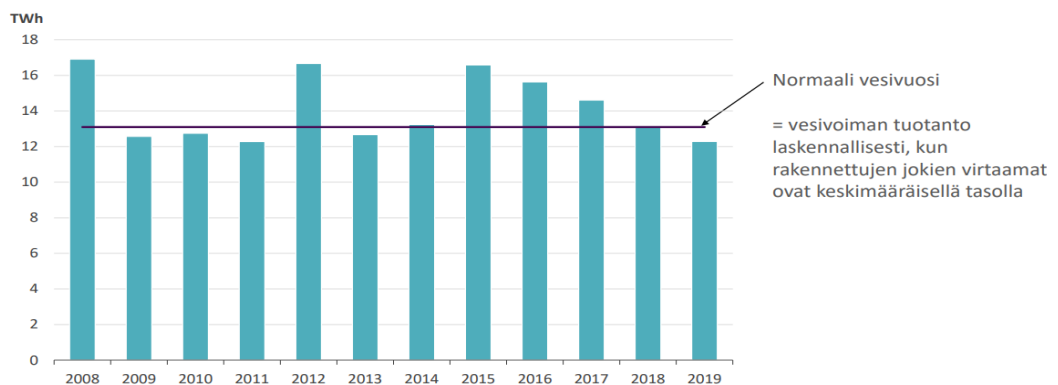
Kuva 16. Sähkön kulutus sektoreittain vuonna 2019 [18.]

Taulukko 6. Sähkön kulutus sektoreittain vuonna 2019. [18.]

Palvelut ja julkinen sektori	23 %	20,01	TWh
Koti- ja maataloudet	28 %	24,36	TWh
Siirto- ja jakeluhäviöt	3 %	2,61	TWh
Teollisuus ja rakentaminen	47 %	40,89	TWh
Teollisuuden ja rakentamisen osuus jakaantuu:			
Puu- ja metalliteollisuus	22 %	19,14	TWh
Metalliteollisuus	10 %	8,7	TWh
Kemian teollisuus	8 %	6,96	TWh
Muut	6 %	5,22	TWh

Vuosien 2008–2019 vesivoimalla tuotetun sähköenergian vuotuinen määrä on merkitty kuvaan 17. Kuvaan on myös merkitty mittausajan keskiarvo vesivoimailojen energian tuotannossa. [18.]

Vesivoiman tuotanto



Kuva 17. Keskimääräinen energian tuotanto vesivoimalla vuosittain. [18.]

4.2 Vesivoimalaitoksella tuotetun sähköenergian käyttökohteet

Vesivoimalaitoksilla ei ole usein täysin suoria käyttökohteita, mihin vesivoimalaitokset tuottavat sähköenergiaa omakäytön ulkopuolelle, vaikka niitäkin on. [9.]

Vesivoimaloilla tulee olla omakäyttöä varten liittymä, johon sananmukaisesti itse tehdään sähkö omaa käyttöä varten. Näitä laitteita, jotka kuuluvat omakäytön piiriin, ovat lueteltu laissa. [26.]

Kauppa- ja teollisuusministeriön asetus voimalaitosten omakäyttölaitteista

Kauppa- ja teollisuusministeriön päätöksen mukaisesti säädetään sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta

30 päivänä joulukuuta 1996 annetun lain (1260/1996) 2 §:n 13 kohdan nojalla, sellaisena kuin se on laissa 1168/2002:

1 §

Sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta annetun lain 2 §:n 13 kohdassa tarkoitettuja omakäyttölaitteita ovat:

- 1) vesivoimalaitoksen vesiteiden laitteet;
- 2) polttoaineen käsittelyssä tarvittavat laitteet;
- 3) ydinreaktoriin liittyvät laitteet;
- 4) voimalaitoksen kattiloihin liittyvät laitteet;
- 5) voimakoneeseen liittyvät laitteet;
- 6) generaattoriin liittyvät laitteet;
- 7) laitteet, jotka tarvitaan sähkön toimittamiseksi verkkoon,
- 8) lauhdutuksessa tarvittavat laitteet; sekä
- 9) muut voimalaitosalueella olevat energian tuottamiseen, tuotantovalmiuden ylläpitämiseen sekä energian siirtoon liittyvät koneistot ja laitteet.

2 §

Omakäyttölaitteisiin luetaan myös voimalaitoksen lämmitys-, valaistus- ja ilmastointilaitteet, voimalaitoksen korjauspajan, varastojen ja valvomon laitteet, voimalaitosta varten olevien laboratorio-, toimisto- ja sosiaalitilojen laitteet sekä voimalaitosalueen ulkovalaistuslaitteet.

Omakäyttöön ei lueta voimalaitosalueella tai sen läheisyydessä olevien kerhomajoitus- ja edustustilojen, ruokalan, pysäköintialueen lämmityspistokkeiden, asuntojen eikä asuntoalueen sähköenergian kulutusta.

3 §

Omakäyttölaitteisiin luetaan myös kaikki voimalaitosalueella tapahtuvaan polttoaineiden varastointiin, kuljetukseen ja polttokuntoon saattamiseen tarvittavat laitteet ja koneistot sekä ympäristönsuojeluun tarvittavat laitteet ja koneistot siltä osin, kun niitä käytetään voimalaitoksen omaan tarpeeseen.

Omakäyttöön luetaan myös voimalaitoksella olevan sähkökattilan sähköenergian kulutus siltä osin, kun sen tuottama lämpö käytetään voimalaitoksen omaan tarpeeseen. Mikäli sähkökattilan tuottamaa lämpöä siirretään voimalaitoksen ulkopuolelle, ei kattilan kuluttamaa sähköenergiaa tältä osin katsota omakäytöksi.

4 §

Vesivoimalaitosten omakäyttölaitteisiin luetaan myös säännöstelyaltaiden ja rantapatojen pumput, pintavirran kehitin, nippunosturi, uittokouru ja kalahissi.

Omakäyttöön ei lueta kalanistutusvelvoitteiden täyttämiseksi tarvittavien kalanviljelylaitosten sähköenergian kulutusta eikä voimalaitoksen rakentamisesta aiheutuvia haittoja korvaavaa ilmaista sähköä eikä joutosähköä.

7 §

Sähköenergian verkkoon toimittamiseksi tarvittavien muuntajien ja muiden vastaavien laitteiden energiahäviöt luetaan omakäyttöön.

Sähköverkkoon kuuluvien muuntajien ja muiden vastaavien laitteiden energiahäviöt eivät kuitenkaan ole omakäyttöä.

9 §

Jos omakäyttölaitteita käytetään merkittävästi muuhun kuin voimalaitoksen tarpeisiin, tulee niiden sähköenergian kulutus jakaa omakäytöksi ja muuksi kulu-
tukseksi.

Jollei jakoa voida tehdä mittauksen tai laskelmien perusteella, on se tehtävä ar-
vioimalla.

10 §

Tämä asetus tulee voimaan 1 päivänä toukokuuta 2003.

Tällä asetuksella kumotaan voimalaitosten omakäyttölaitteista 30 päivänä joulu-
kuuta 1996 annettu kauppa- ja teollisuusministeriön päätös (1261/1996). [31.]

Vesivoimalaitoksilla on voimalaitoksen omakäyttöä varten, esimerkiksi pieniä Dyn 11 muuntajia (< 1MVA), jotka ovat jännitetasoltaan 10 kV / 0,4 kV ja 20 kV / 0,4 kV. Normaalisti omakäyttö otetaan omasta 10 kV:n kiskosta ja päämuuntojen tai häiriöiden aikana 20 kV-verkosta. Omakäyttö on tarkoitettu juurikin turvaamaan vesivoimalaitoksen sähköinen toiminta, ja siten myös mekaaninen toiminta häiriötilanteissa. Esimerkiksi li-joessa, missä on samalla vesivoimalaitosyrityksellä peräkkäin useampi vesivoimalaitos, niin näiden laitosten välillä on vesivoimalaitosyrityksen oma 20 kV voimajohto mitä käytetään omakäyttösähkön syöttämiseen omille laitoksille häiriötilanteissa sekä kahden vesivoimalaitoksen ohijuoksutusluukkujen/säännöstelypatojen sähkönsyöttöön. Lisäksi yhdessä saman yrityksen isossa vesivoimalaitoksessa on vielä 10 / 45 kV-muuntaja, jolla syötetään 45 kV:n johtoa, joka taas syöttää yhtiön omaa pumppuasemaa. [19.]

Myös vesivoimaa markkinoidaan ja myydään sähkön myynnissä uusiutuvana "Vihreänä sähkönä", vaikka sitä myydään hieman isommalla kWh-tuntihinnalla kuin muuten tuotettua energiaa. [1 s. 14-15, 26.]

Sähköenergian käyttökohteet ovat tilastoitu pitkään erittäin yksityiskohtaisesti niin alueittain kuin kulutusryhmittäin, myös ihan kellon aikaa sekä vuoden aikaa myöten, koska sähkön tuotannossa teho ja energia ovat erityisen tärkeitä. Tilastolain takia aivan yksittäisiä ja yksityiskohtaisia kuluttajien sähkönkulutusta ei saa enää julkaista. [8.]

Vesivoimalaitosten omakäytön jälkeen, energian käyttökohteita on tutkittu tilastoitu paljon ja hyvin, täysin tarkkaa tietoa siitä, mikäkin kohde käyttää pelkästään taikka tietyltä osin, vesivoimalla tuotettua sähköä, on lähes mahdoton tilastoida. Tämä johtuu siitä, että vesivoimalaitokset, joiden toisiopuolen lähdöt ovat suurjänniteverkossa, näiden sähköenergia jakaantuu kantaverkossa todella useaan käyttökohteeseen. Tähän voi olla suurjänniteverkossa harvoina poikkeuksena esimerkiksi liittymät, jotka kulkeutuvat vesivoimalaitokselta suoralla linjalla suoraan suuren tehtaan yhteyteen olevalle muuntajalle, josta liittymä suoraan tehtaan käyttöön. Harvoina poikkeuksena voidaan pitää pienvesivoimaloista sekä sitä isommista vesivoimalaitoksista sitä, että jos vesivoimalaitokselta

on lähdöissä 10 kV / 20 kV muuntajalla oleva lähtö suoraan kuluttajia, joita voi olla yksityiskiinteistöt, pienet julkis- ja liikerakennukset sekä teollisuuskohteet. [7.]

Mikro- ja minivesivoimaloilla tuotettu sähköenergia voidaan tuottaa omaan sekä myytävään käyttöön, sillä näillä vesivoimaloilla tuotettu jännite on selvästi pienempi, ja siten säädettävissä ja varastoitavissa. [7.]

Näin tapahtuu myös Hammarfalletin vesivoimalaitokselta Vöyrin Oravaisissa, joka on kytketty suoraan 400 V:n jakeluverkkoon. [32] Hammarfalletin laitos tuottaa juuri sopivasti sähköenergiaa Oravaisten Savustamo Oy:n käyttöön. [20.]

4.3 Vesivoimalla tuotettu sähköenergia reservissä

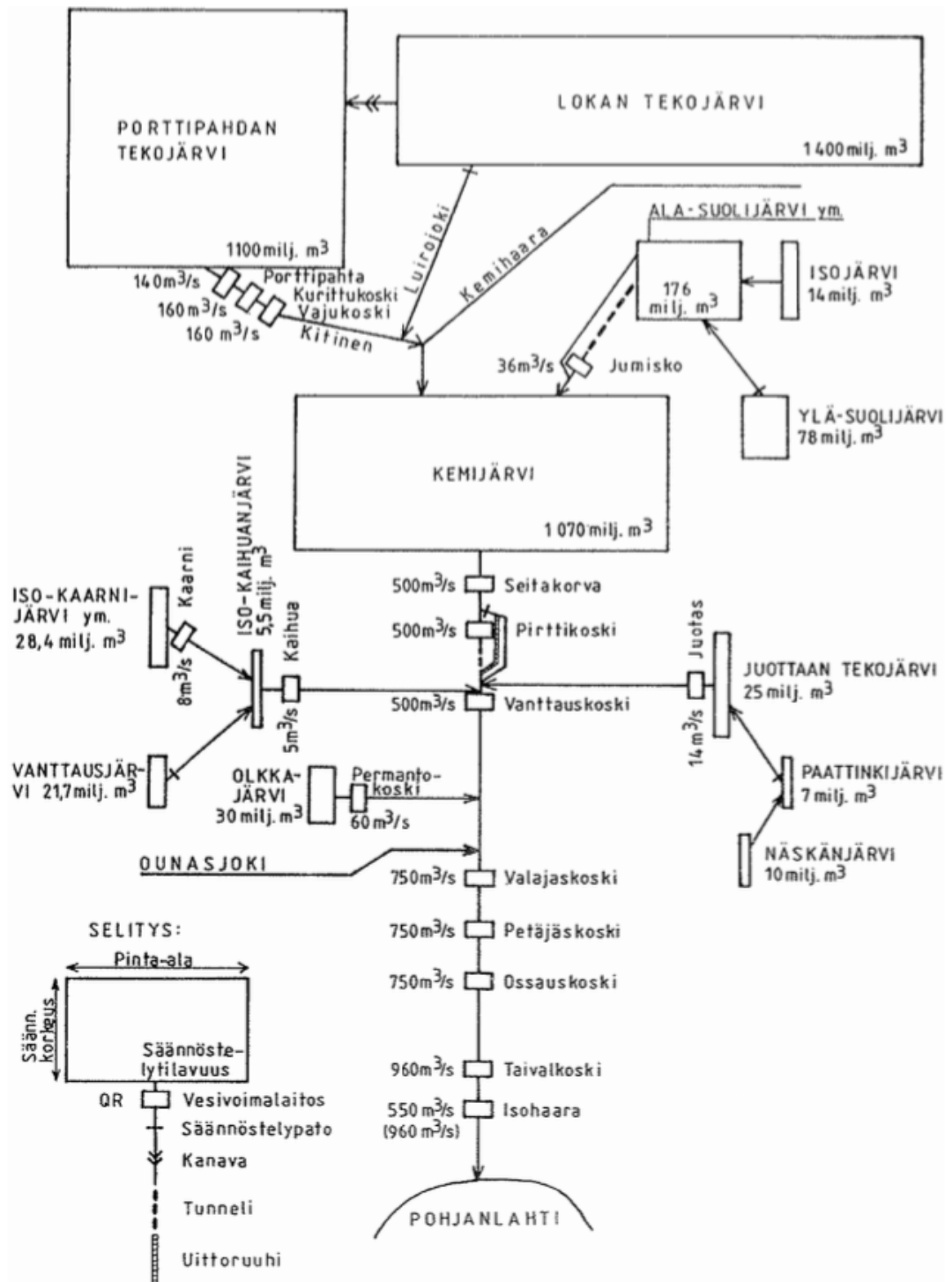
Vesivoimalla tuotetun sähköenergian määrä reservissä riippuu ja vaihtelee tietenkin kulutuksen mukaan, ja sitä kautta tietenkin tuotannon määrään. Tähänkin säännöstelyssä olevan reservin määrään vaikuttavat esimerkiksi jokivoimaloiden joen veden virtaama sekä jokivoimalaitoksesen yläjuoksulla olevan varastoalaiden vesimäärät. Jokivoimalaitoksissa padon yläpuolella olevassa varastoalassa vesi riittää vain lyhytaikaiseen säätöön, mutta säännöstelyvoimalaitosten yläpuolella olevat varastoallas voi riittää säätelyyn jopa vuositasolla. Siksi säännöstelyaltaat ovat tärkeitä turvaamaan vesivoiman sähkön tuotanto. Alaiden vedenkorkeudelle on myös asetettu voimalaitosten vesilain lupaehdoissa asetettu veden ylä- ja alarajat. [3; s. 242 - 243.]

Pohjoismaissa, ja tietenkin siten myös Suomen sisällä, on N-1-mitoituskriteeri. (N-1-kriteeri lausutaan n miinus yksi). Tämä kriteeri asettaa veloitteen siitä, että sähköverkon tulee joka tilanteessa kestää sellainen häiriö, esimerkiksi vaikka yksittäisestä sähkökojeen irtoamisesta tai vikaantumisesta, että aiheutunut vika ei johda vaikutusalueellaan vian laajenemiseen tai suurhäiriöön. Tällainen häiriö voi olla esimerkiksi generaattorin, voimajohdon ja/tai tehokytkimen irtoaminen verkosta taikka vikaantuminen sekä oikosulku sähkötekniisissä

laitteissa. Tämä järjestelmä vaatii myös sen, että N-1-tila on saavutettava 15 minuutissa. [4; s. 202.]

Koska varsinkin jokivesivoimalat ovat etenkin riippuvaisia vallitsevista sääolosuhteista siten, että vähäsateisina vuosina, niin veden kuin lumen osalta, varastoitavan veden määrä saattaa olla vähäinen. [1; s. 14] Huonoina puolina jokivesivoimalaitoksissa voidaan lukea se, että vesivoimalaitoksen padon yläjuoksulla sijaitseva allas kykenee vain hoitamaan vain lyhytaikaisen säädön. [3; s. 227 - 228] Normaalina vuosina Pohjoismaissa vesivoimalla on tuotettu 200 TWh, mutta huonoina sadevuosina vesivoimalla tuotetun sähkön määrä Pohjoismaissa saattaa pudota 170 TWh:n. [1; s. 14.]

Suomessa on yli 300 järveä, joita säännöstellään vesivoimaloiden, tulvasuojelun, taikka vaihtoehtoisesti kummankin takia. Nykyään suurimmin säännöstellyt järvet ovat maantieteellisesti Pohjois-Pohjanmaan sekä Lapin maakunnissa. Esimerkkinä on Kemijärven, joka sijaitsee samannimisen kaupungin alueella Kemijoen varrella, Kemijärven säännöstelyväli on noin seitsemän metriä. Eli järven pinnankorkeus voi vaihdella hyvävetisen ja huonovetisen ajan välillä seitsemän metriä. Vastaavasti luonnonjärvien sijaan, on Suomeen rakennettu myös noin 30 tekojärveä, juurikin alueille, joissa on vähän järviä. Monet tekojärvistä ovat rakennettu Pohjanmaan maakuntiin tarkoituksenaan olla tulvasuoaltaita. Suomen suurimmat tekojärvet rakentuivat 1960-luvulla Lappiin, ja ne ovat Porttipahdan ja Lokan tekojärvet. Lokka toimii ympärivuotisena vesivarastona näin turvaten Lapin vesivoimaloiden sähköntuotannon, ja samalla Lokka on myös koko Euroopan suurin tekojärvi, tilavuudeltaan melkein 2 km³ ja pinta-alaltaan vesitilanteen mukaan 216 km² - 417 km². Lokan tekojärven pinnan korkeus, eli säännöstelyväli, vaihtelee viidessä metrissä. Kuvaan 18 on kuvattu Porttipahdan ja Lokan tekojärvistä asti lähtevä veden kulkureitti läpi vesivoimalaitosten aina Pohjanlahteen asti. [21.]



Kuva 18. Veden kulkureitti Porttipahdan ja Lokan tekojärvistä sekä muista jär-
vistä vesivoimalaitosten kautta Pohjanlahteen asti. Kuvaus on valmistettu 1980-
luvulla. [21.]

4.4 Haasteet vesivoiman tuotannossa

Melkein jokaiseen koskeen, jossa on edellytyksiä rakentaa vesivoimalaitos, on jo rakennettu taikka nämä kosket ovat suojeltuja koskia luontoarvoihin perustuen. Vaikka vesivoimalle olisi enemmän kysyntää, sitä ei voi vain lisätä tällä hetkellä rakentamalla uusia ja isompia vesivoimalaitoksia, joten on saatava nykyisistä voimalaitoksista enemmän tehoa irti paremmilla hyötysuhteilla tuotannon lisäämiseksi. On myös tullut lisääntyvä tarve turbiineista, joita voidaan säätää nopeasti vastaamaan korkeaa huipputehoa- ja virtaamaa. [3; s. 241 - 242.]

Lisääntyneet tuuli- ja aurinkoenergian tuotannon takia tuotetun vesivoiman käyttö on muuttunut perusvoimasta säätövoimaksi. Suurin yksittäinen syy miksi vesivoimalaitosten tuotantokapasitanssia ei voida isontaa, on vesivoimalaitoksen alakanavan rakenne eli imukanavan rakenne (ts. imukanavan muoto) on pääsyy turbiinin ja sen siipien valinnassa ja suunnittelussa, koska muutokset tehdään imukanavan ehdoilla, koska imukanavalla on korkeat muutostöiden kustannushinnat. Erityisesti imuputken virtaaman hallinnalla on toiminnassa olevien vesivoimalaitosten päivittämisen eli nykyaikaistamisen takia. Pienenä poikkeuksena on tarpeeksi vanhat vesivoimalaitokset, joiden vanhat imuputket eivät ole suunniteltu siten, että imuputkien suunnitteluun olisi käytetty numeerista mallinnusta, joten imuputkien ominaisuudet ole välttämättä oikein optimaalisia vesivoimalaitoksen olosuhteisiin. Tässä tapauksessa uusi juoksupyörä on toteutettava imuputken mukaan, koska muuten vääränlainen veden syöttö voi vähentää turbiinin tuottamaa tehoa ja hyötysuhdetta paljon. Hyvin parannellun vesiturbiinin hyötysuhde voi parhaimmillaan nousta 93 % - 95 % luokkaan. [3; s. 241 - 242.]

Vaikka Suomessa on vielä kohteita, joissa vesivoimaa pystyttäisiin hyödyntämään, monessa paikoissa pieniä vesivoimaloita, näiden taloudelliset puolet ja hankkeen vaivalloisuus hidastavat vesivoiman tuotantoa. Jo valmiiksi rakennetun vesivoimatuotannon lisäämisen kannattavuus muuttuu suuresti voimalan koon mukaan ja hanketyypittäin, mutta suurin osa tehon lisäyksistä on jo lisätty peruskorjausten- ja huoltojen yhteydessä. Ympäristön suojelullisista syistä

uuden kapasiteetin lisääminen jo olemassa oleviin vesivoimaloihin sekä täysin uusien voimaloiden rakentamisessa, sillä vesivoiman tulevaisuuteen liittyy myös paljon epävarmuutta, joista yksi haastavimmista on EU:n vesipolitiikan puitediirektiivi, jonka tavoitteet ovat vaativat, vaikka kiristyvät ilmastotavoitteet puolestaan tukevat vesivoiman käyttöä, josta ei muodostu hiilidioksidipäästöjä eikä muitakaan ilmapäästöjä. [3; s. 241 - 242.]

4.5 Vesivoimaloiden huollot

Vesivoimaloiden käytön aikaiset huolto- ja kunnossapitotyöt sekä tarkastuksen jakaantuvat seuraavasti; [3, s. 240 - 241.]

Vikoja korjaavat huollot korjataan heti vian esiintyessä.

Määräaikaishuollot kuten suodattimien vaihdot ja/tai puhdistukset, kuten vesitai öljynsuodattimet sekä muutkin puhdistukset yleensä.

Määräaikaistarkastuksia voidaan tehdä viikoittain. Tehtäviä tarkastukset ovat lämpötilojen mittaukset, pinnat, paineet, virtaukset, vuodot sekä äänet. Automaatio valvoo useampia, mutta visuaalinen tarkastus kuuluu viikoittain tehtäviin tarkastuksiin.

Kerran vuodessa tehtäviin tarkastuksiin kuuluvat valvonta- ja varolaitteiden toiminnan tarkastus, säätölaitteiden toiminnan tarkastus, hydraulikan tarkastukset ja öljynäytteet.

4–8 vuoden välein tehtäviin tarkastuksiin lukeutuvat painelaitetarkastukset, akselitiivisteiden tarkastus/huolto, laakerivälykset, vesitietarkastukset, juoksupyörän toiminnalliset välykset mitataan, johtopyörän tiiveys mitataan, tarkistetaan siivet ja kammio kavitaation varalta, maalipinnat tarkistetaan ja arvioidaan paikkamaalauksen tarve, siipitiivisteiden kunto arvioidaan.

Vaihdehuollot tehdään vaihdevalmistajan ohjelman mukaan.

Koska vesiturbiinit toimivat hyvin luotettavasti, turbiinin pysäyttäviä ja tuotannon seisauksiin johtavia vikoja esiintyy hyvin harvoin. Yleisyysjärjestyksessä ilmaantuvat viat ovat

- typpikaasu-, vesi- ja öljyvuodot
- virtausongelmat akselitiivisteissä
- vuotovesipumppujen ongelmat
- suodattimien tukkeutuminen
- erilaiset anturi- tai kytkinviat
- lämpötilasta (kylmä/kuuma) johtuvat viat. [3, s. 240 - 241.]

Vesiturbiinien vikojen huollossa, vikojen korjauksissa sekä vikojen ennalta ehkäisyssä on hyvä korostaa erittäin hyvää huolellisuutta asennuksissa, kuten vuotojen korjaamisissa, joita voidaan ennalta ehkäistä esimerkiksi valitsemalla vesisuodatin oikein sekä puhdistamalla suodattimia ja putkia riittävän usein, joita voidaan puhdistaa esimerkiksi automaattihuuhtelulla tms. Vuotovesipumppujen tilaa tarkastellaan sekä pumppuja ohjaavat kytkimet pidetään puhtaana. Kuin muissakin laitteissa, joissa käytetään öljyvoitelua, öljysuodattimet vaihdetaan tai puhdistetaan säännöllisesti ja riittävän usein. Laitteistossa olevat anturit ja niiden valinnat yritetään optimoida niiden käyttökohteeseen tarkoituksenmukaiseksi anturivalinnoilla. Ongelmat, jotka johtuvat lämpötiloista, voidaan välttää optimoimalla mm. hydraulikkalaitteet oikein, mikä parantaa jäähdytystä sekä lämmitystä. [3, s. 240 - 241.]

Suurimmat ja vakavimmat viat liittyvät turbiinin täyteen ryntäykseen, eli turbiinin kierrosluvun nousuun yli sallitun rajan, vaikka Suomen oloissa tällaista ei ole vielä tapahtunut. Näissä tapahtumissa monesti turbiinin säätöjärjestelmä on särkynyt eikä ei siten voinut estää ryntäystä, ja siitä syystä juoksupyörän siipi ja johtopyörä ovat sopivassa kulmassa tai avauksessa. Turbiinin tarpeeksi kauan rynnätessä koko koneistolla on mahdollisuus särkyä. Myös liian pikaisen sulkuajan sekä pitkän imuputken takia juoksupyörän alle saattaa muodostua täydellinen alipaine, minkä seurauksena veden virtaussuunta vaihtuu, ja turbiiniin palaavat vesimassat ovat niin suuria ja tulevat sellaisella voimalla, jollaista turbiinia ei ole suunniteltu kestävään. [3, s. 240 - 241.]

Vesivoimalaitosten koneistojen väli kunnostukselle taikka uusimiselle on 15-20 vuotta. Tavallisissa peruskorjauksen seisokeissa uusitaan esimerkiksi uusi juoksupyörä ja sen vesinavat sekä muita laitteistoja uusitaan osittain tai kokonaan. Ennen peruskorjausten aloittamista suoritetaan ja lasketaan mitoitus uusille laitteille, ja se vaikuttaa myös parantavasti hyötysuhteeseen parhaalla tehoalueella 3 - 4 % sekä huomattavasti suurentaa tehoaluetta. [3, s. 240 - 241.]

5 Vesivoima ja luonnonsuojelu

Vesivoimalaitosten toiminta perustuu useaan lainkohtaan asetuksineen sekä EU-direktiiveineen ihan rakentamisen, toiminnan ja käytön osalta. Näihin kohtiin kuuluu Vesilaki (VesiL), Ympäristönsuojelulaki (YSL), Luonnonsuojelulaki (LSL), Laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä (YVAL), Koskiensuojelulaki (KSL) ja muu EU-lähtöinen lainsäädäntö asetuksineen, kuten Natura 2000 sekä Vesistöjen käyttöä ja suojelua koskee myös EU:n vesipolitiikan puitedirektiivi 2000/60/EY. [22.]

Koska vesivoimalaitos ja sen toiminta on luvanvaraista toimintaa perustuen vesilakiin, vesivoimalaitoksen luvan myöntää Aluehallintovirasto (AVI) ja lupaehtojen täyttymistä ja niiden noudattamista valvoo Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus (ELY) sekä ko. kunnan ympäristönsuojeluviranomainen. Vesivoimalaitosten toimintaluvissa ja niitä koskevissa valituksissa Aluehallintovirasto AVI:a korkeampi viranomainen on Vaasan hallinto-oikeus, kun taas korkeimpana oikeus- ja viranomaisasteena vesilupa-asioissa on korkein hallinto-oikeus. [22.]

5.1 Luonnonsuojelu

Luonnonsuojelun kannalta vesivoimalaitoksille on mahdollista asettaa päivitettyjä velvoitteita vanhoja lupamääräyksiä tarkistaen luonnon pilaantumisen estämiseksi. Tämänhetkisen lainsäädännöllä ei ole nähty olevan tässä asiassa ristiriitoja luvan tarkastuksen osalta. Kuitenkin rakentamistyyppisten vesivoimalaitoksien luvan omaavan yrityksen asema on hyvin suojattu, ja siten luvan omaava on oikeutettu korvauksiin edunmenetyksistä, jotka ovat vähäistä suuremmat. [22.]

5.1.1 Vesilaki (VesiL)

Tämän hetkinen vesilaki on 27.05.2011 voimaantullut Vesilaki 587/2011. Vesilaki 587/2011 on monimuotoinen laki, joka sisältää lait ja asetukset vesivarantojen sekä vesiympäristön käyttöä ja toimintaa varten. Vesilakia päätettiin päivittää koskien paremmin tämän hetken tilannetta, koska edellinen vesilaki on ollut voimassa vuodesta 1962, edellisen lain ollessa 264/1961. [23.]

Vesilain 587/2021 tavoitteisiin kuuluu mm. seuraavaa;

1 luku

Yleiset säännökset

1 §

Lain tavoite

Tämän lain tavoitteena on:

- 1) edistää, järjestää ja sovittaa yhteen vesivarojen ja vesiympäristön käyttöä niin, että se on yhteiskunnallisesti, taloudellisesti ja ekologisesti kestävä;
- 2) ehkäistä ja vähentää vedestä ja vesiympäristön käytöstä aiheutuvia haittoja; ja
- 3) parantaa vesivarojen ja vesiympäristön tilaa.

2 §

Lain soveltamisala ja suhde muuhun lainsäädäntöön

Tätä lakia sovelletaan vesitalousasioihin. Vesistön pilaantumisen vaaraa aiheuttavaan vesitalousasiaan, joka ei edellytä tämän lain mukaista lupaa, sovelletaan, mitä ympäristönsuojelulaissa (527/2014) säädetään. (27.6.2014/531)

Tätä lakia sovellettaessa ja muutoin tämän lain mukaan toimittaessa on noudatettava, mitä luonnonsuojelulaissa (1096/1996), muinaismuistolaisissa (295/1963) ja maankäyttö- ja rakennuslaissa (132/1999) sekä niiden nojalla säädetään tai määrätään.

Ympäristön pilaantumisen ehkäisemisestä säädetään ympäristönsuojelulaissa, vesihuollosta vesihuoltolaissa (119/2001), patoturvallisuudesta patoturvallisuuslaissa (494/2009), terveyshaittojen ehkäisemisestä terveydensuojelulaissa (763/1994) ja vesienhoidon järjestämisestä vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä annetussa laissa (1299/2004). [24.]

5.1.2 Ympäristönsuojelulaki (YSL)

Ympäristönsuojelulaki (YSL) tärkein tehtävä on tuottaa ennaltaehkäisevä vaikutus luonnon sekä ympäristön pilaantumattomuuteen, ja sen saavuttamiseksi vesivoimalaitoksilla on ympäristölupa, jonka puitteissa toiminta pitää tapahtua. Muutamissa tapauksissa vesivoimalaitoksen vesitalousluvan lisänä voimalaitos tarvitsee myös ympäristönsuojelulain mukaisen luvan. [25.]

Ympäristönsuojelulaki (YSL) koostuu useasta säädöksestä sekä säädöksistä annetuista lisäsäädöksistä. [25.]

5.1.3 Luonnonsuojelulaki (LSL)

Luonnonsuojelulaki (LSL) ja sen käyttöönoton perusta on siinä, että sillä on haluttu turvata luonnon monimuotoisuus, maisema-arvot ja mahdollistaa luonnonvarojen kestävä käyttö. Kansallisella luonnonsuojelulla on perehdytty myös eläinten ja kasvien suojeluun, sekä EU-lainsäädännön direktiiveillä luontoon, lintuihin ja ympäristövastuihin. luontodirektiivi (92/43/ETY), lintudirektiivi (79/409/ETY) sekä ympäristövastuudirektiivi (2004/35/EY). [26.]

Luonnonsuojelulaki 20.12.1996/1096

Eduskunnan päätöksen mukaisesti säädetään:

1 luku

Yleiset säännökset

1 §

Lain tavoite

Tämän lain tavoitteena on:

- 1) luonnon monimuotoisuuden ylläpitäminen;
- 2) luonnonkauneuden ja maisema-arvojen vaaliminen;
- 3) luonnonvarojen ja luonnonympäristön kestävän käytön tukeminen;
- 4) luonnontuntemuksen ja yleisen luonnonharrastuksen lisääminen; sekä
- 5) luonnontutkimuksen edistäminen.

Voimassa olevan luonnonsuojelulakiin kuuluu myös luonnonsuojelusuunnitelma, luonnonsuojelualueet ja luonnonmuistomerkit, luontotyyppien suojele, maiseman suojele, eliölajien suojele niin eläin- ja kasvilajien rauhoittaminen, uhanalaiset lajit, luonnonsuojelun toteuttaminen sekä toimenpidekiellot pakko-keinoineen ja rangaistuksineen. [26.]

5.1.4 Laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä (YVAL)

Ympäristövaikutusten arvioinnissa arvioidaan sitä, että aiheutuuko suunnitteilla olevasta vesivoimalaitoksesta huomattavia ja haitallisia ympäristövaikutuksia. Tällä kyseisellä arvioinnilla on painoarvoa siihen, että myönnetäänkö ympäristölupaa vesivoimalaitokselle. [35.]

Laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä

Eduskunnan päätöksen mukaisesti säädetään:

1 luku

Yleiset säännökset

1 §

Tavoite

Tämän lain tavoitteena on edistää ympäristövaikutusten arviointia ja arvioinnin yhtenäistä huomioon ottamista suunnittelussa ja päätöksenteossa sekä samalla lisätä kaikkien tiedon saantia ja osallistumismahdollisuuksia.

2 §

Määritelmät

Tässä laissa tarkoitetaan:

1) ympäristövaikutuksella hankkeen aiheuttamia välittömiä ja välillisiä vaikutuksia Suomessa ja sen alueen ulkopuolella: (18.6.2021/556)

a) väestöön sekä ihmisten terveyteen, elinoloihin ja viihtyvyyteen;

b) maahan, maaperään, vesiin, ilmaan, ilmastoon, kasvillisuuteen sekä eliöihin ja luonnon monimuotoisuuteen, erityisesti niihin lajeihin ja luontotyyppeihin, jotka on suojeltu luontotyyppien sekä luonnonvaraisen eläimistön ja kasviston suojelusta annetun neuvoston direktiivin 92/43/ETY ja luonnonvaraisten lintujen suojelusta annetun Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2009/147/EY nojalla;

- c) yhdyskuntarakenteeseen, aineelliseen omaisuuteen, maisemaan, kaupunkikuvaan ja kulttuuriperintöön;
- d) luonnonvarojen hyödyntämiseen; sekä
- e) a–d alakohdassa mainittujen tekijöiden keskinäisiin vuorovaikutussuhteisiin;
- 2) ympäristövaikutusten arviointimenettelyllä 3 luvun mukaista menettelyä, jossa tunnistetaan, arvioidaan ja kuvataan tiettyjen hankkeiden todennäköisesti merkittävät ympäristövaikutukset ja kuullaan viranomaisia ja niitä, joiden oloihin tai etuihin hanke saattaa vaikuttaa, sekä yhteisöjä ja säätiöitä, joiden toimialaa hankkeen vaikutukset saattavat koskea;
- 3) ympäristövaikutusten arviointiohjelmalla hankkeesta vastaavan laatimaa suunnitelmaa tarvittavista selvityksistä sekä arviointimenettelyn järjestämisestä;
- 4) ympäristövaikutusten arviointiselostuksella hankkeesta vastaavan laatimaa asiakirjaa, jossa esitetään tiedot hankkeesta ja sen vaihtoehdoista sekä yhteinen arvio niiden todennäköisesti merkittävistä ympäristövaikutuksista;
- 5) hankkeesta vastaavalla toiminnanharjoittajaa tai sitä, joka muutoin on vastuussa tässä laissa tarkoitetun hankkeen valmistelusta tai toteuttamisesta;
- 6) yhteysviranomaisella viranomaista, joka huolehtii siitä, että hankkeen ympäristövaikutusten arviointimenettely järjestetään;
- 7) osallistumisella hankkeesta vastaavan, yhteysviranomaisen, muiden viranomaisten ja niiden, joiden oloihin tai etuihin hanke saattaa vaikuttaa, sekä yhteisöjen ja säätiöiden, joiden toimialaa hankkeen vaikutukset saattavat koskea, välistä vuorovaikutusta ympäristövaikutusten arvioinnissa;
- 8) perustellulla päätelmällä yhteysviranomaisen hankkeen merkittävistä ympäristövaikutuksista tekemää perusteltua johtopäätöstä, joka on tehty arviointiselostuksen, siitä annettujen mielipiteiden ja lausuntojen, kansainvälisen kuulemisen tulosten sekä yhteysviranomaisen oman tarkastelun pohjalta;
- 9) luvalla viranomaisen hankkeen toteuttamiseen myöntämää lupaa ja muuta siihen rinnastettavaa päätöstä; (18.6.2021/556)
- 10) hankkeella:
- a) laitoksen, toiminnan ja rakennustyön toteuttamista; sekä
- b) muuta luonnonympäristöön ja maisemaan kajoamista sekä mineraalivarojen hyödyntämistä. (18.6.2021/556)

Kyseiseen lakiin kuuluu myös lainkohta, missä käsitellään valtioiden rajoja ylittävistä ympäristövaikutuksista. [27.]

5.1.5 Koskiensuojelulaki (KSL)

Koskiensuojelulaki 35/1987 on tarkoitettu laiksi, joka määrittelee Suomen suojellut vesialueet. Koskiensuojelulain nojalla esimerkiksi vesivoiman rakentaminen tällaiseen vesistöön ei ole laillista. [28.]

Koskiensuojelulaki 35/1987 määrittelee tarkat kohdat mihin kohtaan vesivoimalaitosta ei voi rakentaa; esimerkiksi Koskiensuojelulaki 35/1987 1§:n 21:n kohdan mukaan Naarakoskessa Naarajärven ja Kuhnamon välillä Äänekosken kaupungissa ei ole mahdollista rakentaa vesivoimaa. [28.]

5.1.6 EU:n direktiivi 2000/60/EY

EU:n direktiivi 2000/60/EY on tarkoitus pysäyttää ja parantaa Euroopan vesialueiden, kuten jokien, järvien sekä pohjavesien laatua. Tähän kuuluu niin pinta-, pohja- ja sisämaan vedet kuin myös jokisuiden alueet. Direktiivillä parannettaisiin ekosysteemiä, vesimuodostumien pilaantumista sekä pyrittäisiin kestävään vedenkäyttöön niin yksilö- ja yritystasolla. [29; 30.]

5.2 Vesivoima ja kalajoet

Vesivoimalaitosten toimilupiin kuuluu myös se, että kalakannoista ja muusta vesiympäristöstä huolehditaan. [3; s. 242 - 243.]

Vesivoimalaitosten lupapäätökset perustuvat tietenkin lakiin, ja varsinkin Vesilain 587/2011 3.luvun 14 § - 15 § säädetään vesivoimalaitoksien velvollisuudesta kalakantoihin. Lainkohdat menevät seuraavasti;

14 §

Kalatalousvelvoite ja kalatalousmaksu

Jos vesitaloushankkeesta aiheutuu kalakannoille tai kalastukselle vahinkoa, hankkeesta vastaava on velvoitettava ryhtymään toimenpiteisiin vahinkojen ehkäisemiseksi tai vähentämiseksi (kalatalousvelvoite) taikka määrättävä maksamaan tällaisten toimenpiteiden kohtuullisia kustannuksia vastaava maksu kalatalousviranomaiselle (kalatalousmaksu).

Kalatalousvelvoitetta, kalatalousmaksua tai näiden yhdistelmää määrättäessä on otettava huomioon hankkeen ja sen vaikutusten laatu, muut haitta-alueella toteutettavat hoitotoimenpiteet ja kalastuksen järjestely. Kalatalousvelvoitteen toimenpiteiden suorittamisesta ei saa aiheutua niillä saavutettavaan hyötyyn verrattuna hankkeesta vastaavalle kohtuuttomia kustannuksia.

Kalatalousvelvoite voi olla kalatie, kalataloudellinen kunnostustoimenpide, istutus tai muu kalataloudellinen hoitotoimenpide taikka näiden yhdistelmä. Kalatalousvelvoitteeseen voidaan tarvittaessa sisällyttää toimenpiteiden tuloksellisuuden tarkkailu sillä vesialueella, johon hankkeen vahingollinen vaikutus ulottuu.

Kalatalousmaksu käytetään 1 momentissa tarkoitettujen toimenpiteiden suunnitteluun ja toteuttamiseen sekä niiden tuloksellisuuden seurantaan sillä vesialueella, johon hankkeen vahingollinen vaikutus ulottuu. Lupaviranomainen voi antaa kalatalousviranomaiselle määräyksiä maksun käytöstä.

15 §

Kalatalousvelvoitteen toteuttamissuunnitelma ja kalatalousmaksun käyttösuunnitelma

Hankkeesta vastaavan on laadittava yksityiskohtainen suunnitelma luvassa määrätyn kalatalousvelvoitteen toteuttamiseksi (kalatalousvelvoitteen toteuttamissuunnitelma). Kalatalousviranomainen hyväksyy kalatalousvelvoitteen toteuttamissuunnitelman. Suunnitelman laatiminen ei kuitenkaan ole tarpeen, jos kalatalousvelvoite on vähäinen ja sen sisällöstä määrätään yksityiskohtaisesti luvassa.

Kalatalousviranomainen vahvistaa suunnitelman, jossa yksilöidään kalatalousmaksulla tehtävät toimenpiteet (kalatalousmaksun käyttösuunnitelma). Saman vesialueen haittojen ehkäisemiseksi määrättyjen kalatalousmaksujen käytöstä voidaan laatia yhteinen suunnitelma.

Päätös kalatalousvelvoitteen toteuttamissuunnitelman hyväksymisestä ja kalatalousmaksun käyttösuunnitelman vahvistamisesta on tehtävä noudattaen, mitä hallintolaissa säädetään. Päätös annetaan tiedoksi ja siitä tiedotetaan

noudattaen, mitä 11 luvun 22 §:ssä säädetään hakemusasiaa koskevan päätöksen antamisesta ja tiedottamisesta. Päätöksestä tehtävästä oikaisuvaatimuksesta säädetään 15 luvun 1 §:n 3 momentissa. Päätöstä voidaan muuttaa viran puolesta taikka hankkeesta vastaavan, valvontaviranomaisen, asiassa yleistä etua valvovan viranomaisen, kunnan tai haittaa kärsivän asianosaisen vaatimuksesta. (12.4.2019/505). [24.]

Jälkikäteen vesivoimalaitosten toimilupiin ja sen edellytysten perusteisiin sekä niihin tehtäviin muutoksiin on lain nojalla aika rajalliset mahdollisuudet. Esimerkiksi jos katsotaan että vesivoimalaitosten vesitalouslupaa haluttaisiin avata uudelleenkäsittelemiseksi vaelluskalakannan turvaamiseksi, jopa ilman luvanhaltijan suostumusta, tämänhetkinen lainsäädäntö ei mahdollista sitä kaikissa tapauksissa. Myöskin kalatalousvelvoitteiden aiheuttamat rajoitteet vesivoimalaitoksen toiminnalle saattavat aiheutua kustannuksiltaan sen verran isoiksi, että tallainen puuttuminen jälkikäteen vesivoimalalupiin saattaa vaikutuksiltaan rinnastua valtiosääntöoikeudelliseen pakkolunastukseen. [22.]

Vesilain mukaisesti kalatalousvelvoitteita on useita eri tyyppisiä, ja määräytyvät vesitalousluvun mukaisesti. Osa vesitalousluvista saattavat sisältää jo tälläkin hetkellä vaatimukset, jolla turvataan vaelluskalakannat, kun taas osa luvista sisältönsä puolesta sisältää kalatalousvelvoitteen tai -maksun, jota voidaan muuttaa lain mukaisesti. [22.]

Tällä hetkellä on laadittu selvitys kalatalous selvitys vesivoimalaitoksista, joiden tuotanto on alla 5 MW, kun taas yli 5 MW tuottavista vesivoimalaitoksista ei ole täysin kattavaa selvitystä. Selvityksessä ilmeni, että 153 alle 5 MW:n vesivoimalaitoksen lupaehdot kalatalousvelvoitteiden osalta ovat seuraavanlaiset, jotka ovat merkitty taulukkoon 7. [22.]

Taulukko 7. Alle 5 MW:n vesivoimalaitosten kalatalousvelvoitteet. [22.]

Suomen alle 5 MW:n vesivoimalaitosten kalatalousvelvoitteet

Ei kalatalousvelvoitteita	38	kpl
Kalatalousmaksu	18	kpl
Kalatievelvoite	21	kpl
Ehdollinen kalatievelvoite	21	kpl
Kalatien sallimisvelvoite	8	kpl
Istutusvelvoite	21	kpl
Ei velvoitetta, toimenpiteitä tehty	12	kpl
Tarkkailu tai muu velvoite	7	kpl
Velvoitteita ei pystytty selvittämään	10	kpl

Vesitalouslupaa voidaan myös tarkistaa, kun huomioidaan kalataloudellisia näkökantoja monelta kantilta. Lupamääräyksen tarkistamisia sekä uudelleenarvioimisia voi olla monenkin monen tyyppisiä. Tällaiseen tilanteeseen voidaan päätyä silloin, kun vesitaloushanke, tässä tapauksessa vesivoimalaitos, muuttuu tai muutetaan riittävästi, joita sen aikaiset luvat eivät kata edes voimassaolevia lupia muuttamalla. Tällaisessa tilanteessa kyseessä on uusi vesitalousasia, eikä enää puhuta voimassaolevan vesitalousluvan muuttamisesta. Tällaisen asian lupaharkinnassa ja sen käsittelyssä käytetään aina sen hetkistä lainsäädäntöä. Myös muutokset olosuhteissa, ympäristön tilassa sekä toimintaan liittyvän tiedon kasvaminen yhdistettynä muihin syihin saattavat johtaa luvan uudelleen tarkistukseen. Vesitalouslupa on myös mahdollista antaa määräaikaisena kuin myös se, että lupaan sisällytetään ehtoja, kuten hakemus lupamääräysten tarkistamista varten tiettyyn päivämäärään mennessä. [22.]

Vesitalouslupaan voidaan puuttua myös vesilain 3 luvun 21 §:n nojalla. Tämä lainkohta antaa mahdollisuuden tutkia hankkeen vaikutuksiin perustuvaan tarkastukseen. Pykälän 1 momentin 1 kohdan mukaan vesitalouslupaan voidaan sekä tarkentaa sekä tähdentää, että antaa uusia lupamääräyksiä niiltä osin, mitkä lupamääräysten mukaisesti aiheuttaa haitallisia vaikutuksia, mitä ei olla vesitalouslupaa myönnettäessä ennakoitu ja joita ei muuten tarpeeksi voi vähentää. Tällaisen hakemuksen, joka koskee määräysten tarkistamista, tulee tehdä kymmenen vuoden sisällä vesivoimalaitoksen valmistumisesta, koska kymmenen vuotta on usein tarpeeksi pitkä aika tuodakseen esiin pidemmällä ajanjaksolla syntyneet vaikutukset. [22.]

Vesitalousluvan omaava on myös velvollinen kalatalousvelvoitteisiin. Velvoitteet mainitaan vesilain 3 luvun 22 §:ssä, ja sen mukaisesti myös lupaviranomainen on oikeutettu hakemuksen mukaan muuttaa kalatalousvelvoitteita taikka maksua, jos velvoitteet ovat muuttuneet ratkaisevasti. Lisäksi voidaan myös tarkistaa sellaisia ei-tarkoituksenmukaiset kalataloudelliset velvoitteet, jos niillä pystytään lisäämään toteutumiskustannuksia huomattavasti korottamatta. Kumminkaan kalatalousvelvoitteen taikka kalatalousmaksun tarkistamisessa vähäiset olosuhteissa tapahtuneet muutokset ei anna oikeutta tarkistamiseen. On huomioitavaa se, että myöskään tarkistamista koskeva kalatalousvelvoitteen ja -maksun sääntely ei ole sidottu vesilain 3 luvun 21 §:n kaltaisesta hyödyn vähenemiseen kytkeytyvää sääntöä kohtuullistamisesta. Tämä antaa lupaviranomaisille laajalti harkintavaltaa asiassa, joka koskee velvoitteen taikka maksun tarkistamista. [22.]

Lupamääräysten tarkistamisesta vesilain 3 luvun 21 - 22 § tarkasti kerrotaan seuraavasti:

14 §

Kalatalousvelvoite ja kalatalousmaksu

Jos vesitaloushankkeesta aiheutuu kalakannoille tai kalastukselle vahinkoa, hankkeesta vastaava on veloitettava ryhtymään toimenpiteisiin vahinkojen ehkäisemiseksi tai vähentämiseksi (kalatalousvelvoite) taikka määrättävä maksamaan tällaisten toimenpiteiden kohtuullisia kustannuksia vastaava maksu kalatalousviranomaiselle (kalatalousmaksu).

Kalatalousvelvoitetta, kalatalousmaksua tai näiden yhdistelmää määrätessä on otettava huomioon hankkeen ja sen vaikutusten laatu, muut haitta-alueella toteutettavat hoitotoimenpiteet ja kalastuksen järjestely. Kalatalousvelvoitteen toimenpiteiden suorittamisesta ei saa aiheutua niillä saavutettavaan hyötyyn verrattuna hankkeesta vastaavalle kohtuuttomia kustannuksia.

Kalatalousvelvoite voi olla kalatie, kalataloudellinen kunnostustoimenpide, istutus tai muu kalataloudellinen hoitotoimenpide taikka näiden yhdistelmä. Kalatalousvelvoitteeseen voidaan tarvittaessa sisällyttää toimenpiteiden tuloksellisuuden tarkkailu sillä vesialueella, johon hankkeen vahingollinen vaikutus ulottuu.

Kalatalousmaksu käytetään 1 momentissa tarkoitettujen toimenpiteiden suunnitteluun ja toteuttamiseen sekä niiden tuloksellisuuden seurantaan sillä vesialueella, johon hankkeen vahingollinen vaikutus ulottuu. Lupaviranomainen voi antaa kalatalousviranomaiselle määräyksiä maksun käytöstä.

15 §

Kalatalousvelvoitteen toteuttamissuunnitelma ja kalatalousmaksun käyttösuunnitelma

Hankkeesta vastaavan on laadittava yksityiskohtainen suunnitelma luvassa määrätyn kalatalousvelvoitteen toteuttamiseksi (kalatalousvelvoitteen toteuttamissuunnitelma). Kalatalousviranomaisen hyväksyy kalatalousvelvoitteen toteuttamissuunnitelman. Suunnitelman laatiminen ei kuitenkaan ole tarpeen, jos kalatalousvelvoite on vähäinen ja sen sisällöstä määrätään yksityiskohtaisesti luvassa.

Kalatalousviranomaisen vahvistaa suunnitelman, jossa yksilöidään kalatalousmaksulla tehtävät toimenpiteet (kalatalousmaksun käyttösuunnitelma). Saman vesialueen haittojen ehkäisemiseksi määrättyjen kalatalousmaksujen käytöstä voidaan laatia yhteinen suunnitelma.

Päätös kalatalousveloitteen toteuttamissuunnitelman hyväksymisestä ja kalatalousmaksun käyttösuunnitelman vahvistamisesta on tehtävä noudattaen, mitä hallintolaissa säädetään. Päätös annetaan tiedoksi ja siitä tiedotetaan noudattaen, mitä 11 luvun 22 §:ssä säädetään hakemusasiaa koskevan päätöksen antamisesta ja tiedottamisesta. Päätöksestä tehtävästä oikaisuvaatimuksesta säädetään 15 luvun 1 §:n 3 momentissa. Päätöstä voidaan muuttaa viran puolesta taikka hankkeesta vastaavan, valvontaviranomaisen, asiassa yleistä etua valvojan viranomaisen, kunnan tai haittaa kärsivän asianosaisen vaatimuksesta (12.4.2019/505). [24.]

5.2.1 Vesivoimalayhtiöiden laillinen velvollisuus kalankasvatukseen

Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus (ELY) valvovana kalatalousviranomaisena antaa lausuntoja, jonka sisältö liittyy vesi- ja ympäristönsuojelulakeihin sekä ympäristövaikutusten arvioinneissa annettuun lakiin. Näiden lausuntojen sisältöihin kuuluu mm. kalankasvatusta sekä vesirakentamista, kuten voimalaitokset. Näitä lausuntoja toimitetaan eri viranomaisille, kuten ympäristölupaviranomaisille sekä tuomioistuimille kuin myös hankkeen toteuttajille. Lausuntojen tehtävänä on saada optimoitua hankkeen ekologisuus kalataloudellisia haittoja vähentäen, sekä vaatia siten näiden asiaankuuluvaa kompensatiota ja valvontaa. Koska ympäristö- ja vesitalousluvissa on mahdollisuus asettaa kalatalouden velvoitteita, mm. kuten kalatalousmaksut, kalatalousvelvoitteet, kalataloudelliset tarkkailuvelvoitteet yms. niillä saadaan vesivoimalaitoksen luvanhaltijat suorittamaan kalanhoidolliset velvollisuutensa. [43.]

Kalatalousmaksu voidaan asettaa silloin, kun kalatalousmaksu on istutusveloitetta joustavampi tapa haittojen hoidossa. Tällaisissa tapauksissa ELY-keskus antaa yhteistyössä haitankärsijöiden kanssa kalatalousmaksusta käyttösuunnitelman, jonka tuotoilla kustannetaan käyttösuunnitelman toimenpiteet. Tällaisessa lupapäätöksessä voi olla velvoite laatia istutus- ja tarkkailusuunnitelmat, jonka sitten ELY-keskus hyväksyy. Tätä ennen ELY-keskus haluaa kannanoton asiaankuuluvilta tahoilta, kuten osakaskunnilta ja kalastusalueilta. Valvovana viranomaisena ELY-keskuksen kalatalousviranomaiset seuraavat velvoitteiden toteutumista. Velvoitteiden seurannassa tarkastellaan istutusten laatua sekä määrää, että myös tarkkailuraporttien laatua. Näistä velvoitteista, sekä niiden toteutumisesta annetaan tieto myös vesialueiden omistajille, jotta he voivat tarvittaessa valvoa istutuksia. Velvoitetarkastuksien lopullisista tuloksista voidaan antaa myös yksityisille ihmisille tietoa, sekä kalastusalueiden hoitajat voivat käyttää niitä käyttö- ja hoitosuunnitelmiansa tekemiseen. [43.]

6 Vesivoiman merkitys sähköntuotantotapana

6.1 Vesivoiman vakaus

Paras tapa sähkön kulutuksen vaihteluihin on joustava vesivoima. Suurin osa muualta Pohjoismaista tuotua sähköä on vesivoimalla tuotettu Ruotsissa ja Norjassa. [31.]

Suomen sähköjärjestelmässä käytetään monesti sellaisia käsitteitä kuin perusvoima, huippuvoima, säätövoima, ylössäätö sekä alassäätö. Suomessa sähköenergia, joka on tuotettu niin sanotulla perusvoimalla, tarkoitetaan sellaista sähköenergiaa, jota tuotetaan joka hetki, milloin tahansa vuoden aikana, jota ei säädetä. Säättöä ei perusvoimalla tapahdu, koska siihen ei ole taloudellisia eikä teknisiä perusteita, ja sitä tuotetaan kuitenkin sähkön hinnan ollessa mikä tahansa. Tällaisia sähkön tuotannollisia voimalaitoksia ovat yleensä ydinvoimalat, eräät teollisuuden CHP-tuotantolaitoksista, sekä sellaiset vesivoimalaitokset, jotka eivät ole säädettävissä. [31.]

Huippuvoimalla katetaan sellaiset, sähköverkossa lyhytkestoiset sähkönkulutuksen huippujaksot, jotka ovat kulutukseltaan piikkimäisiä, sekä sellaiset nopeat kulutuksen muutokset, joita ei yleensä voida ennakoida. Erityisesti vesivoimalla tuotettu sähköenergia on erinomainen esimerkki säätövoimasta, ja säätövoimasta puhutaan silloin, kun sähköntuotantoa voidaan muuttaa haluttuun suuntaan haluttu määrä, esimerkiksi tuulivoiman tuotannon epävakauden vuoksi sekä vuorokausivaihtelun mukaisesti. [31.]

Vuorokausivaihtelun sähköntuotannon säätöön osallistuu myös tuontisähkö ulkomailta, sekä sellaiset CHP-sähköntuotantolaitokset, jotka pystyvät siihen. Ylössäädöstä puhuttaessa puhutaan sähkön tuotannon kasvattamisesta, sähkönkulutuksen pienentämisestä taikka sähkön purkamista sen varastoista. Alassäätö on juurikin ylössäädön vastakohta, eli silloin sähköntuotannon määrä pienenee ja/tai sähkönkulutus lisäntyy ilman että sähköntuotantoa kasvatetaan, taikka sähköä ladataan varastoihin. [31.]

Ylös- ja alassäädön vaikutukset kohdistuvat myös sähkön taajuuteen; ylössäädön aikana sähkön taajuus nousee, alassäädön kohdalla vastaavasti sähkön taajuus laskee. Eri aikoina käytössä oleva säätövoima on erinomainen sähkön tuotannon osa, ja sitä kautta sähköjärjestelmää. Sähköjärjestelmän osana toimiva CHP-tuotanto on jo vuosia trendinmukaisesti vähentynyt, ja sen oletetaan myös olevan trendinä myös tulevaisuudessa. [31.]

Vesivoiman vakaudella voidaan vahvistaa sekä säätää jakeluverkon nopeita vaihteluita, jota nykypäivän teolliset ratkaisut tuovat tullessaan. Tallaisiin voidaan lukea muun muassa sähköautot, ja niiden lataus. Suomen autokannan oletetaan uusiutuvan huomattavasti vuoteen 2030 mennessä, ja siten myös täyssähkö- ja hybridimallien määrä oletetaan kasvavan huomattavasti, jopa moninkertaisiksi tämän hetkisestä määrästä. Korkeimmat arviot uusista sähkökäyttöisistä autoista olisivat seuraavan vuosikymmenen alkuun mennessä 670 000 autoa, liikenneministeriö arvio. [34.]

Myös sähköautojen sähkö tuotetaan voimaloissa, ja siten se siirretään jakeluverkkoja myöten sähköautojen latausasemille. On arvioitu, että 750 000 sähköauton lataaminen nostaisi sähköverkon kulutusta vain noin 3 %, eikä sen takia tarvita jakeluverkon vahvistamista. Kantaverkkoyhtiö Fingrid Oy:n arvion mukaan suurimmat haasteet tulevat jakeluverkon koon sijasta kiinteistöjen sähköliittymän tasolla, ja siten varsinkin kaupungeissa, joissa olisi useita täyssähköautoja samassa kiinteistössä. Tallaisissa tapauksissa asiaa joudutaan puntaroimaan kiinteistön sähköliittymän isontaminen, taikka vaihtoehtoisesti valitsemaan hitaampi lataus latauspisteisiin, mutta tässäkin etuna siinä olisi myös automaatioon perustuva älykäs lataus, joka ei siten kuormita kiinteistön sähköverkkoa läheskään niin paljoa, ja älykkäillä järjestelmillä sähkönkulutus olisi kulutuspiikeistä asti helpommin tunnistettavissa ja hallittavissa; myöskin siten latauksen hintaan vaikuttaen. [34.]

Myös täyssähköautojen latausmahdollisuutta sekä kiinteistön sähköliittymää mietittäessä, on huomioitavaa se, kuinka paljon ja minkälaisia latauspaikkoja tarvitaan kiinteistöä kohden. Tallaisia asioita mietittäessä, on kannattavaa myös

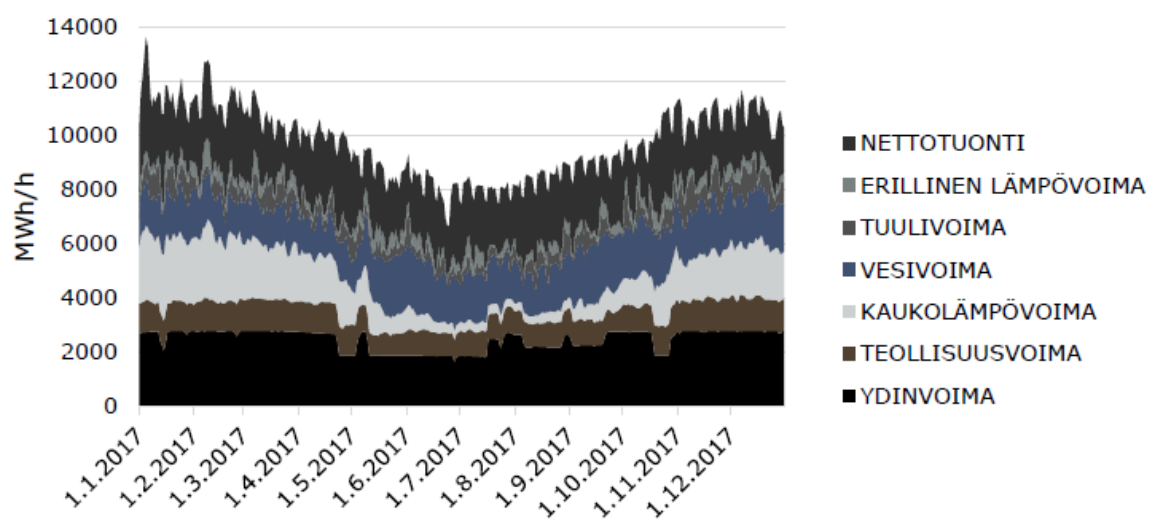
huomioida toinen uusiutuvan energian muoto, tuulivoima, jonka avulla tuulivoiman hetkelliset piikit tuotannossa mahdollistaisivat edullisen latauksen, mitä olisi helppo ja kannattava hyödyntää latauksessa. [34.]

6.2 Vesivoiman tuotanto vuodenaikojen mukaan

Kuten kaikkien sähköntuotantotapojen, myös vesivoimalla tuotetun ja kulutetun sähköenergian määrä vaihtelee niin vuorokauden ajan, viikonpäivän ja vuoden ajan mukaan. Lähes kaikki energiantuotantomuodot pystyvät toimimaan joustavasti sähköenergian kulutuksen mukaan, eli silloin kuin jokin tuotantomuoto ei voi tuottaa energiaa, silloin vastaavasti jollain muulla tuotantomuodolla tuotetaan energiaa enemmän, ja vastaavasti jos joillakin tuotantomuodoilla pystytään tuottamaan edullisesti paljon energiaa, sitä voidaan supistaa jonkin muun energialähteen tuotannosta. [32.]

Tästä tietenkin hyvinä esimerkkeinä ovat tietenkin muun muassa tuuli- ja aurinkoenergiat. Eli tuulivoimaa voidaan hyödyntää vain, jos tuulen voimakkuus on optimialueella, eli liian vähäisellä sekä liian korkealla tuulennopeudella tuulivoimaa ei voida hyödyntää. Myös aurinkovoimaa pystytään hyödyntämään vain tarpeeksi kirkkaalla ja valoisalla auringonilmalla. Eli kun tuuli- ja aurinkovoimaa ei pystytä hyödyntämään, silloin vastaavasti muut energiantuotantomuodot tuottavat vastaavasti tarvittavan määrän sähköenergiaa, ja tämä voidaan tuottaa nopeasti hyvin esimerkiksi, vaikka vesivoimalla. Vastaavasti kun tuuli- ja aurinkoenergiaa voidaan käyttää suuria määriä, silloin muiden energiantuotantomuodoilla tuotettuja sähköenergiamääriä voidaan pienentää; juurikin tästä on hyötyä vesivoimaloille varsinkin silloin, kun vesivarannot ovat vähänä. [32.]

Kuvasta 19 voimme huomata, minkä verran vesivoimalla tuotetaan energiaa vuodenaikojen mukaan. Vesivoiman kulutuksen ollessa korkeimmillaan jatkuvan tuotannon ollessa noin 8 000 MWh / h, sekä vesivoiman huippupiikkien aikaan yli 8 500 MWh / h. Vastaavasti vesivoiman tuotannon ollessa matalimmillaan, vesivoiman tuotanto jää alle 4 000 MWh / h. Huipputuotannon ja matalimman tuotannon ero selittyy vuodenaikojen mukaan, ja ero tähän muodostuu etenkin talvisista lämmityskustannuksista. Tuotannon pienentyminen kesäkuukausina selittyy myös valaistuksen tarpeen vähenemisenä, sekä kesälomien ajankohdana. [32.]



Kuva 19. Vuonna 2017 sähköenergian tuotantomäärät sekä eri tuotantomuodot. Ylöspäin oleva akseli kuvaa ja esittää sähkön kulutuksen korkeutta käyttäen arvonaan MWh/h, ja vaaka-akseli kuvaa ja esittää vuodenaikoja päivämäärien muodossa. Keskellä kuvaajaa oleva sininen osio kuvaa vesivoimalla tuotetun sähköenergian määrää kyseisenä aikana. [33.]

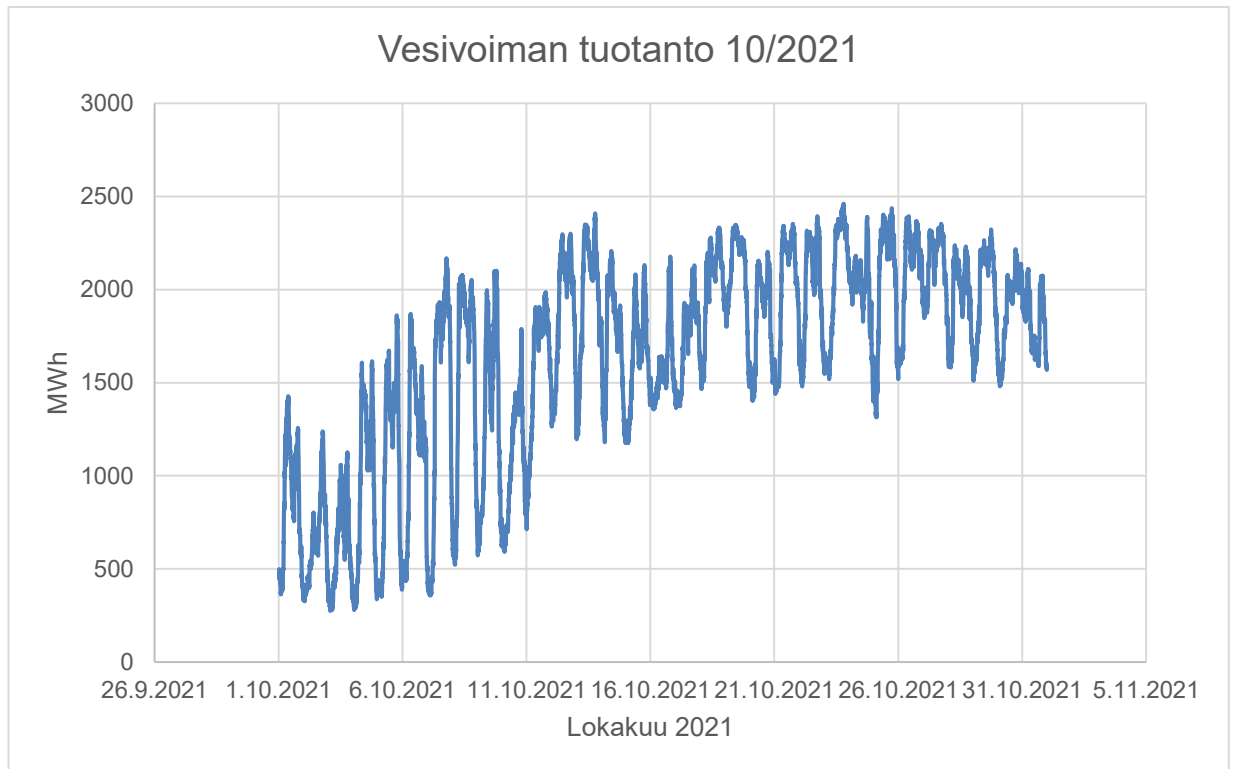
Kuvassa 20 on kolmen minuutin välein mitattu Suomen vesivoiman MWh - tuotanto 21.10.2021. Tämän vuorokauden pienin mitattu tuotanto oli klo 1.01.00,

jolloin vesivoiman tuotanto oli sillä hetkellä 1439,5 MWh. Vastaavasti suurin vuorokauden aikana mitattu vesivoimantuotanto oli ajassa 17.58.00, jolloin tuotanto oli 2353 MWh, ja siten vuorokauden keskiarvotuotanto vesivoimalla oli tällöin 2012,695 MWh. [33.]



Kuva 20. Vesivoimalla tuotetun sähköenergian päiväkohtainen tuotanto 21.10.2021 koko vuorokauden ajalta. Mittaukset ovat suoritettu kolmen minuutin välein.

Kuukausitasolla vesivoimalla tuotetun sähköenergian määrä varsinkin lämpötilan mukaan. Kuvassa 21 on esitetty lokakuussa 2021 Suomessa vesivoimalla tuotetun sähköenergian määrä. Arvot ovat koostettu kaikista Suomen vesivoimaloista ja niiden tuottamasta sähköenergiasta, ja tuotetut arvot ovat mitattu kolmen minuutin välein koko lokakuun ajan. Y-akselilla tuotettu sähköenergia MWh:na, ja X-akselilla päivämäärä. Kasvava sähköenergian määrä selittyy paljon sillä, että mittausaikana oltiin menossa kohti talvea, ja sitä kautta sähköenergiaa tarvittiin mm. lämmitykseen. [33.]



Kuva 21. Vesivoiman energian tuotantomäärät lokakuussa 2021.

Vesivoiman keskituotanto koko lokakuun 2021 ajalta oli 1634,572 MWh. Pienin mitattu tuotantomäärä oli 03.10.2021 ajassa 02:01:00 tuotannon ollessa tuolloin 274,68 MWh. Vastaavasti suurin mitattu arvo oli 23.10.2021, jolloin tuotanto oli 2461 MWh. Kuvassa 21 mittaustulokset ovat mitattu kolmen minuutin välein, jolloin mittausta voidaan pitää luotettavana. Kuvasta voidaan huomata sen, että mitä myöhäisemmäksi kuluva kuuta mennään, sitä suuremmaksi päiväkohtaiset tuotantomäärät nousevat. Tähän vaikuttaa muiden uusiutuvien energiamuotojen, kuten tuuli- ja aurinkoenergiamäärien pienentyminen. [33.]

7 Yhteenveto

Työn tuloksena sain kattavan tuloksen Suomen vesivoimaloiden tilasta vuonna 2021. Vesivoimalaitosten eri tyypeistä sekä vesivoimalaitosten isompien kojeiden, kuten turbiinien, generaattoreiden ja muuntajien toiminnasta sekä niiden tekniikasta sain hyvin tietoa vesivoimalaitosyhtiöiltä, vaikka he eivät kaikkea tietoa voineet jakaa vedoten yrityssalaisuuksiin. Myös tuloksiin voidaan laskea kattava tietopaketti vesivoimalaitosten kokoluokista, sijainneista, huolloista sekä varsinkin haasteista, niin teknisellä puolella kuin myös lainsäädännön puitteissa. Opinnäytetyön tuloksena sain vastauksen siihen miksi vesivoima on niin tärkeä säätövara energian suhteen Suomessa.

Lähteet

- 1 Wilkins, Mary-Jane; Valjakka, Nina; Palanterä, Jaana. 2012. Vesivoima. Helsinki: Perhemediat Oy.
- 2 Vesivoima ja ympäristö. 2021. Verkkoaineisto. Kemijoki Oy. <<https://www.kemijoki.fi/vesivoima/vesivoima-ja-ymparisto.html>> Luettu 5.9.2021.
- 3 Kauppinen, Jukka. 2018. Turbiinitekniikka. Tampere. Tammer-tekniikka.
- 4 Kauppinen, Jukka; Wikström, Rauno; Hietalahti, Lauri. 2020. Generaattorit. Tampere. Tammertekniikka.
- 5 Hämäläinen, Henri. 2021. Asiantuntija, Energiavirasto, Helsinki. Haastattelu 1.9.2021.
- 6 Kalatalousveloitteen määrääminen vesitalousluvan haltijalle. 2018. Verkkoaineisto. Oikeusministeriö. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161236/OMSO_36_2018_Kalatalousveloitteen_maaraaminen.pdf> Luettu 07.09.2021.
- 7 Sähköpostiviestitse saatu lisätieto kohdan 5 puhelinhaastattelulta
- 8 Sähköpostiviestitse saatu lisätieto kohdan 8 puhelinhaastattelulta
- 9 Kauppinen, Jukka. 2021. Ylikonemestari. Taitotalo. Tampere. Haastattelu. 31.08.2021.

- 10 Hietalahti, Lauri. 2021. Lehtori. Tampereen Yliopisto, Tampere. Haastattelu, 10.9.2021.
- 11 Kauppinen, Jukka. 2017. Suomen vesivoiman historiaa. Vesitalous 1/2017, s. 22–26.
- 12 Lokka-Porttipahta tekojärvet. 2019. Verkkoaineisto. Sodankylän kunta. <<http://www.sodankyla.fi/tietoa-sodankylasta/Pages/Lokka-Porttipahta-tekoj%C3%A4rvet.aspx>> Päivitetty 28.5.2019. Luettu 6.9.2021.
- 13 Aallokko Itämerellä. 2021. Verkkoaineisto. Ilmatieteenlaitos. <<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/aallokko>> Päivitetty 28.10.2021. Luettu 09.11.2021
- 14 How Wave Energy Works. 2020. Verkkoaineisto. McGrath, Jane. How Stuff Works. <<https://science.howstuffworks.com/environmental/earth/oceanography/wave-energy1.htm>> Luettu 20.9.2021
- 15 Wave Devices. 2012. Verkkoaineisto. EMEC. The European Marine Energy Centre LTD. <<http://www.emec.org.uk/marine-energy/wave-devices/>> Luettu 02.10.2021
- 16 Advantages and Disadvantages of Wave Energy. 2020. Verkkoaineisto. Kukreja, Rinkesh. Conserve Energy Future. <https://www.conserve-energy-future.com/advantages_disadvantages_waveenergy.php> Luettu 15.09.2021.
- 17 Voimalaitosten järjestelmätekniset vaatimukset VJV2018. 2018. Verkkoaineisto. Fingrid Oyj <<https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/palvelut/kayttovarman-sahkon-siirto/vjv2018.pdf>> Päivitetty 16.11.2018. Luettu 11.09.2021.

- 18 Sähköverkkoyhtiöt. 2021. Verkkoaineisto. Energiateollisuus. <<https://energia.fi/energiasta/energiaverkot/sahkoverkot/sahkoverkkoyhtiot>> Luettu 01.10.2021.
- 19 Sähkön kulutus sektoreittain. 2020. Verkkojulkaisu. Tilastokeskus. <https://www.stat.fi/til/ehk/2019/04/ehk_2019_04_2020-04-17_kuv_020_fi.html> Päivitetty 17.04.2020. Luettu 25.09.2021.
- 20 Sähköpostihaastattelu; PVO-Vesivoima Oy; Sipola, Antti-Pekka 22.09.2021
- 21 Oravaisten savustamo. 2018. Verkkojulkaisu. Oy Herrfors Ab, Herrfors Business. <<https://business.herrfors.fi/fi/case/oravaisten-savustamo>> Päivitetty 2018. Luettu 15.10.2021.
- 22 Hydropower's nature / Säännöstelyaltaat. 2017. Verkkojulkaisu. Vesivoimaluonto. <<https://www.vesivoimanluonto.org/fi/vesivoima-suomessa/saannostelyaltaat/>> Luettu 10.10.2021.
- 23 Vesilain turvaamat elinympäristöt. 2021. Verkkojulkaisu. Metsäkeskus. <<https://www.metsakeskus.fi/fi/metsan-kaytto-ja-omistus/metsien-suojelu-ja-elinymparistojen-hoito/vesilain-turvaamat-elinymparistothttps://www.kemijoki.fi/vesivoima/saantely-ja-velvoitteet.html>> Luettu 1.11.2021.
- 24 Vesilaki. 2011. Verkkojulkaisu. Finlex. <<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110587>> Luettu 21.10.2021
- 25 Ympäristönsuojelulaki. 2011. Verkkojulkaisu. Finlex. <<https://www.finlex.fi/fi/laki/smur/2014/20140527>> Luettu 22.10.2021
- 26 Finlex. 2011. Verkkojulkaisu. Finlex. <<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1996/19961096>> Luettu 23.10.2021

- 27 Luonnonsuojelulaki. 2011. Laki ympäristövaikutusten arviointimenettelystä. Verkkajulkaisu. Finlex. <<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2017/20170252>> Luettu 24.10.2021.
- 28 Koskiensuojelulaki. 2011. Verkkajulkaisu. Finlex. <<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1987/19870035>> Luettu 25.10.2021.
- 29 Direktiivi 2000/60/EY yhteisön vesipolitiikan puitteista. 2020. Verkkajulkaisu. Euroopan komissio. <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=celex%3A32000L0060>> Luettu 25.10.2021.
- 30 Hyvälaatuinen vesi Euroopassa (EU:n vesidirektiivi). 2000. Verkkajulkaisu. Euroopan komissio. <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=LEGISSUM:l28002b>> Luettu 25.10.2021.
- 31 Yleisen kalatalouden valvonta. 2011. Verkkajulkaisu. ELY-keskus. <<https://www.ely-keskus.fi/kalatalousedun-valvonta>> Luettu 25.10.2021.
- 32 Vesivoiman merkitys Suomen energiajärjestelmälle. 2018. Verkkajulkaisu. Zetvesf Oy. <https://energia.fi/files/3427/Vesivoimaselvitys_FINALrev1_20190206.pdf> Luettu 30.9.2021.
- 33 Avointa data sähkömarkkinoista ja voimajärjestelmistä 2021. Verkkajulkaisu. Fingrid. <data.fingrid.fi> Luettu 21.10.2021
- 34 750 000 täyssähköautoa nostaisi Suomen sähkönkulutusta vain kolme prosenttia, voimaloiden ja sähköverkon pitäisi selvitä haasteesta varsin helposti. 2019. Verkkajulkaisu. Maaseudun tulevaisuus. <<https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/koneet-autot/artikkeli-1.380686>> Päivitetty 18.02.2019. Luettu 5.11.2021.
- 35 Vesivoimatuotannon määrä ja lisäämismahdollisuudet Suomessa. 2020. Energiateollisuus (2005). Helsinki: Kauppa- ja Teollisuusministeriö.

Liite 1. Vesivoimalaitosten sijainnit paikkakunnittain.

Voimalaitoksen nimi	Paikkakunta	Maakunta
Kaltimo	Eno	Pohjois-Karjala
Hanhikoski	Evijärvi	Etelä-Pohjanmaa
Kattilakoski	Evijärvi	Etelä-Pohjanmaa
Hinkua	Haapajärvi	Pohjois-Pohjanmaa
Oksava	Haapajärvi	Pohjois-Pohjanmaa
Harjavalta	Harjavalta	Satakunta
Palokki	Heinävesi	Pohjois-Karjala
Kissakoski	Hirvensalmi	Etelä-Savo
Sallila	Huittinen (ent. Vampula)	Satakunta
Hämeenkyrö ve	Hämeenkyrö	Pirkanmaa
Raasakka	Ii	Pohjois-Pohjanmaa
Mankala	Iitti	Päijät-Häme
Vuolenkosken vesivoimalaitos	Iitti	Päijät-Häme
Imatra	Imatra	Etelä-Karjala
Tainionkoski	Imatra	Etelä-Karjala
Kirakkaköngäs	Inari	Lappi
Ruskeakoski	Joensuu	Pohjois-Karjala
Pamilo	Joensuu (ent. Eno)	Pohjois-Karjala
Vihtakoski	Joensuu (ent. Kiitelysvaara)	Pohjois-Karjala
Liunankoski	Joroinen	Pohjois-Savo
Maavesi	Joroinen	Pohjois-Savo
Juankoski	Juankoski	Pohjois-Savo
Karjalankoski	Juankoski	Pohjois-Savo
Vaaja	Jyväskylä	Keski-Suomi
Patalankoski	Jämsänkoski	Keski-Suomi
Koivukoski 1 ja 2	Kajaani	Kainuu
Koivukoski 3	Kajaani	Kainuu
Ämmäkoski	Kajaani	Kainuu
Hilmonkoski	Kannonkoski	Keski-Suomi

Liite 1. Vesivoimalaitosten sijainnit paikkakunnittain.

Voimalaitoksen nimi	Paikkakunta	Maakunta
Jumisko	Kemijärvi	Lappi
Seitakorva	Kemijärvi	Lappi
Isohaara	Keminmaa	Lappi
Taivalkoski	Keminmaa	Lappi
Kolsi	Kokemäki	Satakunta
Kuurna	Kontiolahti	Pohjois-Karjala
Puntarikoski	Kontiolahti	Pohjois-Karjala
Koivukoski	Kotka	Kymenlaakso
Korkeakoski	Kotka	Kymenlaakso
Anjalankoski, G1	Kouvola	Kymenlaakso
Inkeroinen ve	Kouvola	Kymenlaakso
Keltti	Kouvola	Kymenlaakso
Kuusankoski ve	Kouvola	Kymenlaakso
Myllykosken vesivoimalaitos 1	Kouvola	Kymenlaakso
Myllykosken vesivoimalaitos 2	Kouvola	Kymenlaakso
Siikakoski	Kouvola	Kymenlaakso
Verla 1 ja 2	Kouvola	Kymenlaakso
Voikkaa ve 1	Kouvola	Kymenlaakso
Voikkaa ve 2	Kouvola	Kymenlaakso
Kaitfors	Kruunupyy	Pohjanmaa
Katerma	Kuhmo	Kainuu
Jalaszjoki/Niiles	Kurikka	Etelä-Pohjanmaa
Pitkämä	Kurikka	Etelä-Pohjanmaa
Myllykoski	Kuusamo	Pohjois-Pohjanmaa
Soilu	Kuusamo	Pohjois-Pohjanmaa
Venetpalo	Kärsämäki	Pohjois-Pohjanmaa
Atro	Lapinlahti	Pohjois-Savo
Sälevä	Lapinlahti	Pohjois-Savo
Kuhankoski	Laukaa	Keski-Suomi
Lieksankoski	Lieksa	Pohjois-Karjala
Pankakoski	Lieksa	Pohjois-Karjala
Juva	Lieto	Varsinais-Suomi
Montta	Muhos	Pohjois-Pohjanmaa
Pyhäkoski	Muhos	Pohjois-Pohjanmaa
Pälli	Muhos	Pohjois-Pohjanmaa

Liite 1. Vesivoimalaitosten sijainnit paikkakunnittain.

Voimalaitoksen nimi	Paikkakunta	Maakunta
Mänttä ve	Mänttä	Pirkanmaa
Padinki	Nivala	Pohjois-Pohjanmaa
Melo	Nokia	Pirkanmaa
Kuokkastenkoski	Nurmes	Pohjois-Karjala
Hirvikoski	Nurmo	Etelä-Pohjanmaa
Merikoski	Oulu	Pohjois-Pohjanmaa
Haapakoski	Oulu (ent. Yli - li)	Pohjois-Pohjanmaa
Kierikki	Oulu (ent. Yli - li)	Pohjois-Pohjanmaa
Maalismaa	Oulu (ent. Yli - li)	Pohjois-Pohjanmaa
Pahkakoski	Oulu (ent. Yli - li)	Pohjois-Pohjanmaa
Askala	Paimio	Varsinais-Suomi
Juntola	Paimio	Varsinais-Suomi
Leppikoski	Paltamo	Kainuu
Käenkoski	Parkano	Pirkanmaa
Björkfors	Pedersöre	Pohjanmaa
Långfors	Pedersöre	Pohjanmaa
Värnä	Pedersöre	Pohjanmaa
Kokkosniva	Pelkosenniemi	Lappi
Kalajärvi	Peräseinäjoki	Etelä-Pohjanmaa
Hattarfors	Petersode	Pohjanmaa
Ahvenkoski	Pyhtää	Kymenlaakso
Kläsarö	Pyhtää	Kymenlaakso
Billnäs	Raasepori	Uusimaa
Mustio	Raasepori	Uusimaa
Peltokoski	Raasepori	Uusimaa
Åminnefors	Raasepori	Uusimaa
Pyhännänkoski	Ristijärvi	Kainuu
Seitenoikea	Ristijärvi	Kainuu
Juotas	Rovaniemi	Lappi
Kaarni	Rovaniemi	Lappi
Kaihua	Rovaniemi	Lappi
Permantokoski	Rovaniemi	Lappi
Petäjäskoski	Rovaniemi	Lappi
Pirttikoski	Rovaniemi	Lappi
Valajaskoski	Rovaniemi	Lappi

Liite 1. Vesivoimalaitosten sijainnit paikkakunnittain.

Voimalaitoksen nimi	Paikkakunta	Maakunta
Vanttauskoski	Rovaniemi	Lappi
Leuhunkoski	Saarijärvi	Keski-Suomi
Tyrvää	Sastamala	Pirkanmaa
Äetsä	Sastamala	Pirkanmaa
Kyrkösjärvi	Seinäjoki	Etelä-Pohjanmaa
Uljuja	Siikalatva	Pohjois-Pohjanmaa
Kelukoski	Sodankylä	Lappi
Kurittukoski	Sodankylä	Lappi
Kurkiaska	Sodankylä	Lappi
Matarakoski	Sodankylä	Lappi
Porttipahta	Sodankylä	Lappi
Vajukoski	Sodankylä	Lappi
Kiltua	Sonkajärvi	Pohjois-Savo
Kallioinen	Sotkamo	Kainuu
Aittokoski	Suomussalmi	Kainuu
Ämmä	Suomussalmi	Kainuu
Alakoski	Tampere	Pirkanmaa
Finlayson ve	Tampere	Pirkanmaa
Tammerkoski	Tampere	Pirkanmaa
Tampella ve	Tampere	Pirkanmaa
Ossauskoski	Tervola	Lappi
Saario	Tohmajärvi	Pohjois-Karjala
Vääräkoski	Tohmajärvi	Pohjois-Karjala
Utanen	Utajärvi	Pohjois-Pohjanmaa
Stadsforsens Kraftverk	Uusikaarlepyy	Pohjanmaa
Jylhämä	Vaala	Pohjois-Pohjanmaa
Nuojua	Vaala	Pohjois-Pohjanmaa
Tervasaari vesi	Valkeakoski	Pirkanmaa
Killinkoski	Virrat	Pirkanmaa
Soininkoski	Virrat	Pirkanmaa
Kaaranneskoski	Ylitornio	Lappi
Portimokoski	Ylitornio	Lappi
Hamari	Ylivieska	Pohjois-Pohjanmaa
Hietamankoski	Äänekoski	Keski-Suomi
Äänekoski ve	Äänekoski	Keski-Suomi