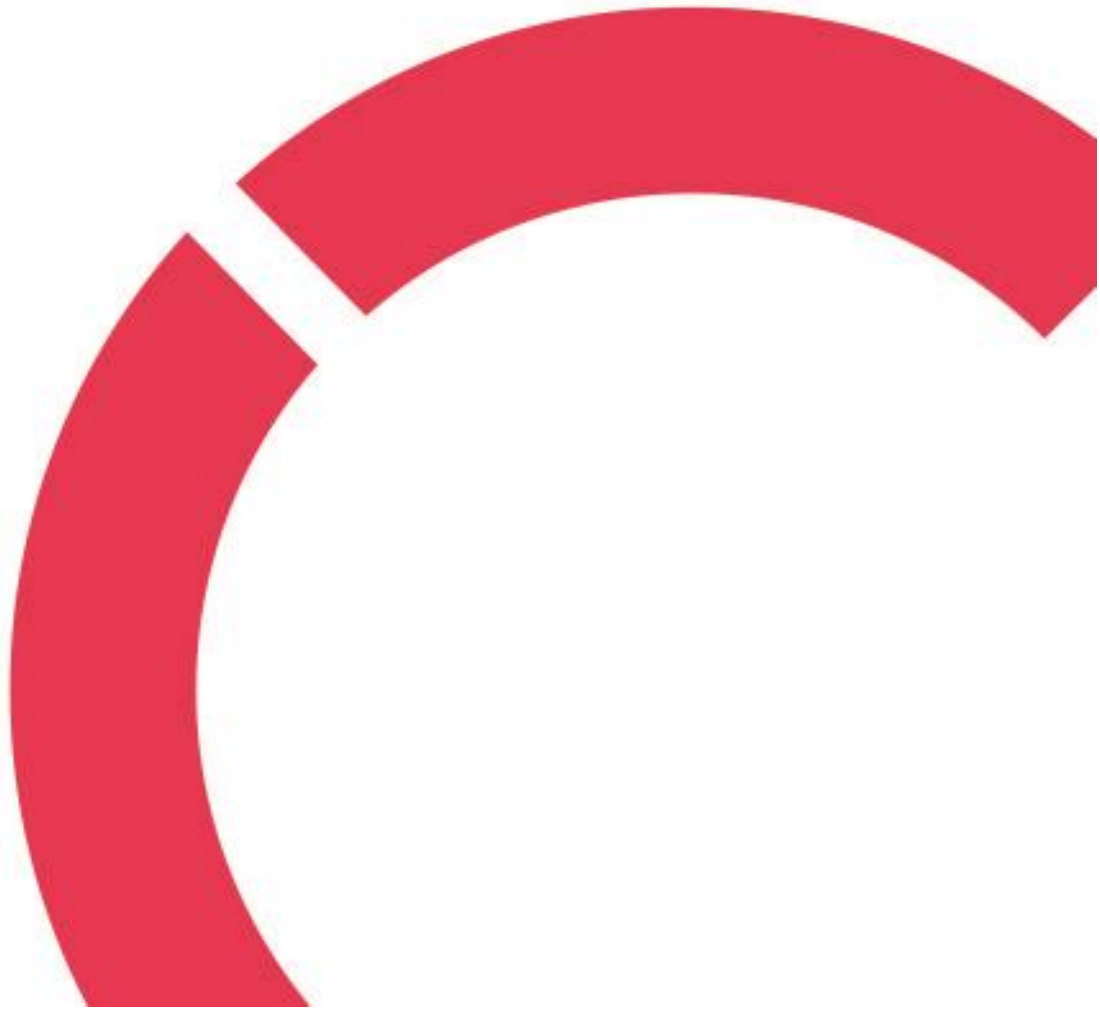


Jarkko Nikula

SÄHKÖNTUOTANTO SUOMESSA

Nykytila ja tulevaisuuden näkymät

**Opinnäytetyö
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutus
Lokakuu 2022**



TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Centria-ammattikorkeakoulu	Aika Lokakuu 2022	Tekijä/tekijät Jarkko Nikula
Koulutus Sähkö- ja automaatiotekniikka		<input checked="" type="checkbox"/> AMK <input type="checkbox"/> YAMK
Työn nimi SÄHKÖNTUOTANTO SUOMESSA. Nykytila ja tulevaisuuden näkymät.		
Työn ohjaaja Aki Suokko		Sivumäärä 29
Työelämäohjaaja Aki Suokko		
<p>Tässä opinnäytetyössä tarkoitus oli selvittää Suomen sähköntuotannon näkymiä. Vuonna 2022 on tapahtunut paljon asioita, jotka ovat merkittävästi ja peruuttamattomasti muuttaneet Suomea myös sähkökulutuksen ja -tuotannon näkökulmasta. Työssä tarkastellaan sähköverkon tilaa erityisesti kysynnän riittävyys suhteen. Painoa annetaan erityisesti Venäjän tuonnin loppumisen vaikutukselle, mutta myös oman tuotannon tilannetta, kuten tuulivoimaa, ydinvoimaa, aurinkovoimaa ja muita potentiaalisia sähköntuotantomuotoja tarkastellaan. Oma lukunsa annetaan tulevaisuuden näkymille, kuten vedyn hyödyntämiselle sähköntuotannossa sekä sähkön kysynnän joustamisen mahdollisuuksille.</p> <p>Tavoitteena oli luoda kuvaa lukijalle Suomen sähköntuotannon tämänhetkisestä ja nopeasti muuttuneesta tilanteesta. Samalla kartoitettiin tietoa uusista sähköntuotannon muodoista. Viime vuosien muutos sähköntuotannossa maailmanlaajuisesti on ollut nopeaa useiden maiden panostaessa puhtaampiin ja uusiutuviin energiamuotoihin.</p> <p>Vuoden 2022 helmikuussa alkanut Ukrainan sota herätti maailman. Sen vaikutukset tulevat näkymään pitkään myös sähkömarkkinoilla ja muutos sähköntuotannon tiekarttaan oli väistämätön. Venäjän sitouttaminen Euroopan kannalta rauhanomaiseen kehitykseen tuli tiensä päähän. Irtautuminen Venäjän energiasta nopealla aikataululla tarkoittaa sitä, että vaihtoehtoisia energiamuotoja oli löydettävä pikaisesti. Tarve tuulettoman ja paisteettoman ajan energiavarastoille on suuri. Vetyä on ehdotettu vaihtoehtoksi energiavarastona jo vuosituhannen alussa. Työssä mietitään, minkälaisia mahdollisuuksia vety tarjoaa sähkön tuotannon ja kulutuksen tasapainottamisessa. Myös kysyntäjoustopien mahdollisuutta kartoitetaan.</p>		
Asiasanat Kysyntäjousto, sähköntuotanto, vety		

ABSTRACT

Centria University of Applied Sciences	Date October 2022	Author Jarkko Nikula
Degree programme Electrical and automation engineering		
Name of thesis ELECTRICITY PRODUCTION IN FINLAND. Current status and prospects in future.		
Centria supervisor Aki Suokko	Pages 29	
Instructor representing commissioning institution or company Aki Suokko		
<p>The purpose of this thesis was to study the outlook for electricity production in Finland. Many things have happened in 2022 that have significantly and irreversibly changed Finland also from the point of view of electricity consumption and production. The work examines the state of the electricity network, especially in terms of the adequacy of demand. Emphasis is placed especially on the effect of the end of Russian imports, but also the situation of domestic production, such as wind power, nuclear power, solar power and other potential forms of electricity production is examined. There is also a chapter about visions of the future, such as the utilization of hydrogen in electricity production and the possibilities of flexing for demand of electricity.</p> <p>The goal was to create a picture for the reader of the current and rapidly changing situation of electricity production in Finland. At the same time, information on the new forms of electricity production was mapped. In recent years, the change in electricity production worldwide has been rapid, with many countries investing in cleaner and renewable forms of energy.</p> <p>The war in Ukraine, which started in February 2022, woke the world up. Its effects will also be visible for a long time in the electricity market, and a change in the road map of electricity production was inevitable. Russia`s commitment peaceful development for Europe came to an end. Disconnecting from Russian energy on a fast schedule means that alternative forms of energy had to be found quickly. There is a great need for energy reserves during windless and dry weather. Hydrogen has been proposed as an alternative energy storage as early as the beginning of the millennium. In the thesis, the potential hydrogen has in balancing the production and consumption of electricity is discussed. The possibilities of demand elasticities are also discussed.</p>		

Key words

Demand elasticity, electricity production, hydrogen

KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

LOMO	Loviisan Modernisointihanke. Ensimmäinen Loviisan ydinvoimalan modernisointihanke
SAM	Severe Accident Management. Loviisan ydinvoimalan vakavan onnettomuuden hallintajärjestelmä
TWh	Terawattitunti. $1 \text{ TWh} = 1\,000\,000\,000 \text{ kWh}$.

TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY
SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 SÄHKÖNTUOTANTO SUOMESSA	2
2.1 Ydinvoima	4
2.1.1 Suomen ydinvoima	4
2.1.2 Olkiluoto 3 ja Hanhikivi 1	6
2.1.3 Ydinvoiman vaarat	7
2.2 Tuulivoima	8
2.2.1 Käytössä oleva tuulivoima	9
2.2.2 Tuulivoiman tulevaisuus	11
2.3 Vesivoima	12
2.3.1 Vesivoiman historiaa	13
2.3.2 Vesivoima Suomessa	14
2.4 Fossiiliset polttoaineet sähköntuotannossa	15
2.4.1 Kivihiili	16
2.4.2 Maakaasu	17
2.4.3 Turve	17
2.5 Pientuotanto	18
3 VETY	20
4 KYSYNTÄJOUSTOJEN POTENTIAALI SÄHKÖN TUOTANNON JA KYSYNNÄN TASAPAINOTTAMISESSA	21
5 LOPPUYHTEENVETO	24
LÄHTEET	26
KUVIOT	
KUVIO 1. Sähköntuotanto lähteittäin (mukaillen Tilastokeskus, 2019)	2
KUVIO 2. Olkiluodon reaktoreiden 1 ja 2 rakenne sekä selitykset (mukaillen Teollisuuden Voima Oyj 2022b)	6
KUVIO 3. Perämeren ja Selkämeren viiden sääaseman keskimääräinen mitattu tuulennopeus kuukaudessa. (Holtinen, Peltola & Koreneff 1996, 27.)	9
KUVIO 4. Kivihiilen kulutus (Tilastokeskus 2022)	16
KUVIO 5. Turpeen poltto aikojen saatossa (Pohjonen 2020)	17
KUVIO 6. Auringon säteily kuukausittain (Motiva 2022a)	18
KUVIO 7. Markkinoille osallistumisen järjestys (Elfi 2022)	23
KUVAT	
KUVA 1. Kartta toiminnassa olevista tuulivoimaloista. (Tuulivoimayhdistys 2022).....	10
KUVA 2. Rakenteilla olevia tuulivoimaloita (Tuulivoimayhdistys 2022)	11
KUVA 3. Rakentamisluvan saaneet voimalat (Tuulivoimayhdistys 2022)	12
KUVA 4. Ylin putous Kyrökoskella 1892 (Sederholm 1892).....	14
KUVA 5. Australian aurinkopaneelikeskuksen mallia (mukaillen Construction review, 2021).....	19

TAULUKOT

TAULUKKO 1. Energian kokonaiskulutus Suomessa 2019–2020 (Tilastokeskus 2021)	3
TAULUKKO 2. Loviisan ja Olkiluodon ydinvoimalat (Säteilyturvakeskus 2021)	4
TAULUKKO 3. Loviisan voimalaitosten tietoja (Fortum 2022)	4
TAULUKKO 4. Vaihtoehtoja joustolle (Fortum 2022).....	21
TAULUKKO 5. Sähkönkäytön kustannuksia. Kalliimman ajan käytön siirto edullisemmalle ajalle. (Elfi 2022.)	22

1 JOHDANTO

Suomessa alettiin 2000-luvulla panostaa uusiutuviin energiamuotoihin. Tuulivoiman rakentaminen kiihtyi ja nyt viime vuosina myös aurinkoenergiaan on panostettu lisääntyvään tahtiin. Nykyisin aurinkopaneeleja on kuluttajatasollakin saatavilla kilpailukykyiseen ja kannattavaan hintaan. Tuontisähköä olemme hyödyntäneet vuosien aikana paljon ja olleet riippuvaisia siitä. Sähköä on tuotu mm. Ruotsista, Norjasta ja Venäjältä. Ukrainan sodan alettua ja Venäjän tuontisähkön loputtua yhtäkkiä Suomessakin huomattiin omavaraisuuden tärkeys.

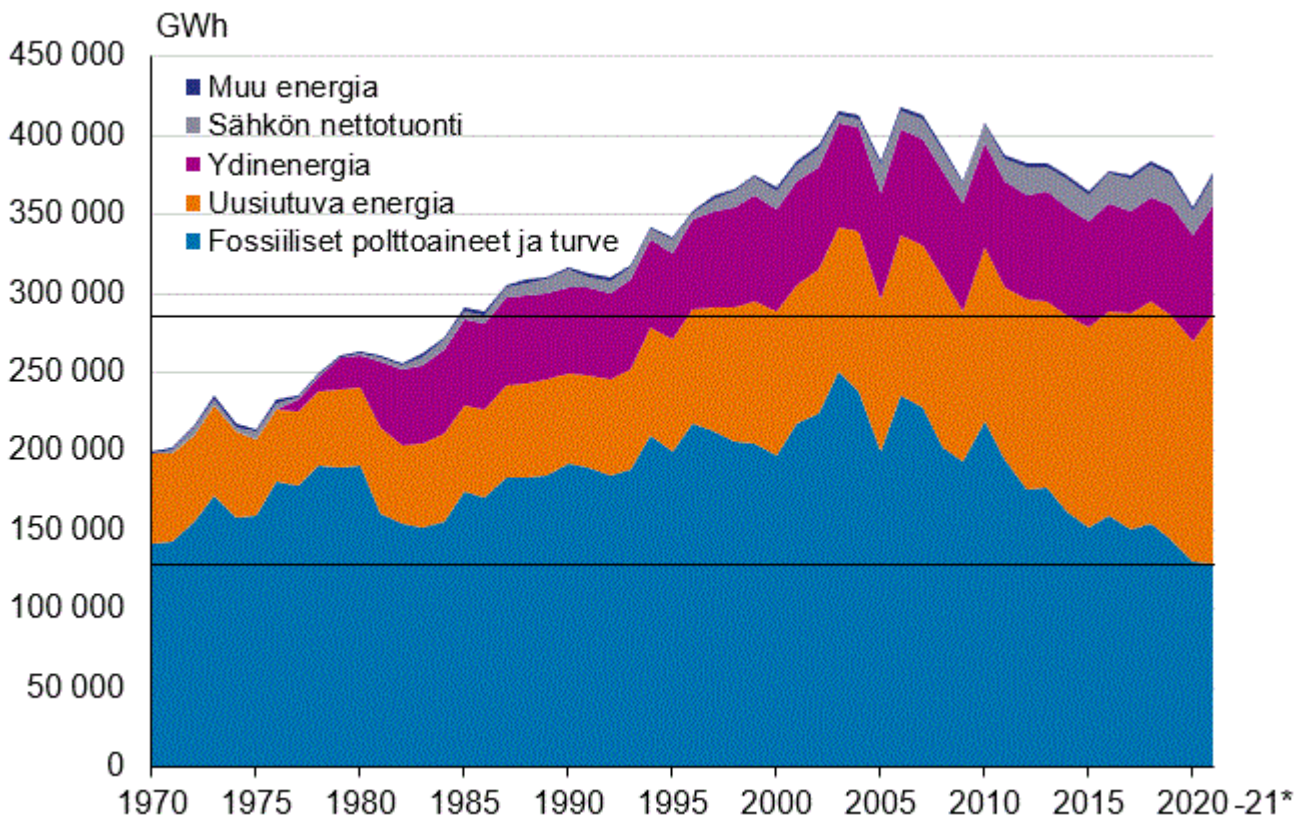
Työssä käsitellään nykyisin käytössä olevia sähköntuotantomenetelmiä ja pohditaan potentiaalisia tuotantomuotoja, joita tulevaisuudessa pystyttäisiin hyödyntämään. Eri tuotantomuodoista käsitellään ydinvoimaa, vesi- ja tuulivoimaa sekä aurinkoenergiaa. Ydinvoimassa huomioidaan myös jo eduskunnan tekemät periaatepäätökset Olkiluoto 3- ja Hanhikivi 1 -ydinvoimaloista. Olkiluoto 3 sai rakennusluvan 2005 ja rakentaminen aloitettiin myöhemmin samana vuonna. Voimalan piti valmistua 2009, mutta lukuisten myöhästymisten vuoksi valmistuminen siirtyi vuoteen 2021. Toinen mahdollisuus olisi ollut Hanhikivi 1 -ydinvoimalan rakennusluvan myöntäminen. Voimalan toimittajaksi alun perin valittiin Rosatomin tytäryhtiö RAOS Project Oy. Myönteinen periaatepäätös valtioneuvostolta myönnettiin 2010 ja laitosta valmisteltiin hyvää vauhtia, kunnes helmikuussa 2022 alkoi Venäjän hyökkäys Ukrainaan. Pian eduskunta antoi päätöksen, ettei projekti ole etenemässä. Kesäkuussa 2022 laitoksen tilannut Fennovoima purki sopimuksen RAOS Projectin kanssa.

Viime vuosien aikana aurinkopaneeleista on tullut edullisempia ja tehokkaampia, joten niiden räjähtänyt suosio onkin selitettävissä. Tuulivoimaa Suomessa on rakennettu useita vuosia ainakin lähes puhtaasti kaupallisin perustein. Työssä tehdään katsaus nykyaikaiseen tuulivoimaan, sen määrään, markkinatilanteeseen sekä tulevaisuuden näkymiin ja kehityssuuntiin. Aurinkopaneelien potentiaali lienee Suomessa tuulivoimaa olennaisesti vähäisempi, mutta niiden tilannetta kartoitetaan myös.

Yksi lupaava sähkön tuotantoa ja kulutusta tasapainottava energiavarasto, joka on alkanut saada huomiota osakseen, on vety. Etelä-Koreassa valmistui loppuvuodesta 2021 maailman suurin 78 MW:n vetyvoimalaitos (Hydrogen-central 2021). Myös Suomessa aletaan panostaa vihreän vedyn tuotantoon. Työssä tavoitteena on luoda lukijalle käsitys vedyn monipuolisista käyttömahdollisuuksista sähköntuotannossa.

2 SÄHKÖNTUOTANTO SUOMESSA

Suomessa tuotettiin sähköä vuonna 2020 66,6 TWh, josta uusiutuvan energian osuus oli 34,7 TWh. 2020 oli ensimmäinen vuosi, jolloin uusiutuvien energiamuotojen osuus oli yli 50 %. (Tilastokeskus 2021.) Kuviosta 1 nähdään, miten energiankäyttö on vuosien aikana muuttunut. Viivat lisätty uusiutuvien ja fossiilisten energiamuotojen eron lukemista helpottamaan.



KUVIO 1. Sähköntuotanto lähteittäin (mukaillen Tilastokeskus 2019)

Vuonna 2020 uusiutuvien energialähteiden tuotanto oli 34,7 TWh. Kasvua tapahtui eniten vesivoiman ja tuulivoiman osalta. Vesivoima vaihtelee luontaisesti sadannan yms. mukaan, joten varsinaista kasvua tämä muutos ei ole. Vesivoimakapasiteetti Suomessa oli vuonna 2020 3190 MW ja voimaloita oli noin 250 kpl. Vesivoiman osuus Suomen sähköntuotannosta oli 23,4% ja tuulivoiman 12%. (Tilastokeskus 2022.) Tuulivoiman käyttö on kasvanut nopeasti vuodesta 2012 alkaen ja kesäkuussa 2022 käytössä olikin jo 1112 tuulivoimalaa, jotka tuottivat 4037 MW (Tuulivoimayhdistys 2022).

Suomessa on neljä ydinvoimalaitosta, jotka vuonna 2019 tuottivat kolmanneksen Suomen sähköstä. Ydinenergia on hyvin tärkeä energianlähde myös ilmastostrategian kannalta, sillä se auttaa merkittävästi hiilineutraalisuustavoitteiden saavuttamisessa. Kaksi käytössä olevista voimaloista on Loviisassa ja kaksi Olkiluodossa. Viides reaktori on Olkiluoto 3, jonka käyttöönotto on vielä kesken. Kuudennessa, Hanhikivi 1 -voimalasta on jätetty lupahakemus. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2022.)

TAULUKKO 1. Energian kokonaiskulutus Suomessa 2019–2020 (Tilastokeskus 2021)

	2019	Osuus %	2020	Osuus %	Muutos %
Puupolttoaineet	380 002	28 %	355 404	28 %	- 6,0
Fossiilinen öljy	285 626	21 %	268 085	21 %	- 6,0
Bioöljy	18 096	1 %	16 756	1 %	- 7,0
Ydinenergia	249 981	18 %	243 864	19 %	- 2,0
Hiili	91 117	7 %	70 363	6 %	- 23,0
Maakaasu	73 220	5 %	74 586	6 %	2,0
Turve	56 652	4 %	43 116	3 %	- 24,0
Sähkön nettotuonti	72 151	5 %	53 917	4 %	- 25,0
Vesivoima	44 087	3 %	56 410	4 %	28,0
Tuulivoima	21 689	2 %	28 577	2 %	32,0
Fossiilinen osuus muut	12 387	1 %	11 440	1 %	- 8,0
Bio-osuus muut	47 129	3 %	45 329	4 %	- 4,0
Muut	8 227	1 %	9 391	1 %	14,0
Yhteensä	1 360 365	100 %	1 277 238	100 %	- 6,0

Uusiutuvien energianlähteiden haasteena on se, kuinka kulutus ja tuotto saadaan tasoittumaan. Esimerkiksi, miten talvella pakkasella voidaan käyttää tuuli- ja aurinkoenergiaa, kun kysyntä on suurin. Toisaalta kesällä paneelien tuotto on suurin, kun kulutus on vähäisempää. Tuulisähköstä saadaan 60 % talvikuukausina, eli kysyntä ja tarjonta kohtaavat sen osalta paremmin (Tuulivoimayhdistys 2022). Kovimpien pakkasjaksojen aikana saattaa kuitenkin olla korkeapainetta, jolloin huippukysyntä sähkön osalta saavutetaan tilanteessa, jossa tuulivoiman tuotanto on liki olematonta.

Puu polttoaineena on hyvin monikäyttöistä. Puupolttoaineilla on katettu yli neljännes Suomen kokonaisenergiankulutuksesta. Puusta voidaan käyttää kaikki materiaali ja pääkäyttökohteet ovat sähkön ja lämmön tuotannossa. Tärkein puusta saatava polttoaine on mustalipeä. Puulla on myös onnistuttu korvaamaan kivihiilen ja muiden fossiilisten energialähteiden käyttöä. Vuonna 2020 puulla tuotettu energiamäärä oli 99 TWh. (Maa- ja metsätalousministeriö 2022.)

Puun ongelma polttoaineena on kuitenkin päästöt. Myös puumateriaalin kuljettaminen on hidasta, tuottaa päästöjä sekä kuluttaa resursseja.

2.1 Ydinvoima

Ydinvoimassa sähköntuotanto tapahtuu kuumentamalla ja höyrystämällä vettä. Syntynyt höyry pyörittää turbiinia joko suoraan tai lämmönvaihtimen välityksellä. Veden kuumentaminen tapahtuu fissioreaktiolla, jossa atomiytimiä halkaistaan. Prosessissa ydinenergiaa muuttuu lämpöenergiaksi, joka muutetaan liike-energiaksi, josta se muutetaan edelleen sähköksi generaattorilla. Polttoaineena käytetään uraania (kemiallinen merkki ${}_{92}\text{U}$). Ydinvoiman CO₂-päästöt ovat pienet, mutta maailmassa uraania on rajattu määrä. Toki, kuten öljyllä, uraanillakin on maailmassa löytämättömiä esiintymiä. (Vattenfall 2022.)

2.1.1 Suomen ydinvoima

Suomessa on tilastojen mukaan käytössä neljä ydinreaktoria: Loviisa 1 ja 2 sekä Olkiluoto 1 ja 2. Vuonna 2020 ne tuottivat Suomen sähköstä 34 %. Olkiluodon 3. reaktori ei vielä näy tilastoissa, mutta se tuottaa jo sähköä.

TAULUKKO 2. Loviisan ja Olkiluodon ydinvoimalat (Säteilyturvakeskus 2021)

Laitosyksikkö	Käynnistys	Kaupallinen käyttö	Nimellissähköteho (brutto/netto MW)	Tyyppi	Toimittaja
Loviisa 1	8.2.1977	9.5.1977	531/507	Painevesireaktori (PWR)	Atomenergoexport
Loviisa 2	4.11.1980	5.1.1981	531/507	Painevesireaktori (PWR)	Atomenergoexport
Olkiluoto 1	2.9.1978	10.10.1979	920/890	Kiehusvesireaktori (BWR)	Asea Atom
Olkiluoto 2	18.2.1980	1.7.1972	920/890	Kiehusvesireaktori (BWR)	Asea Atom
Olkiluoto 3	Ydintekninen käyttöönotto menossa	Ydintekninen käyttöönotto menossa	Nettosähköteho n. 1600MW	Painevesireaktori (EPR)	Areva

TAULUKKO 3. Loviisan voimalaitosten tietoja (Fortum 2022)

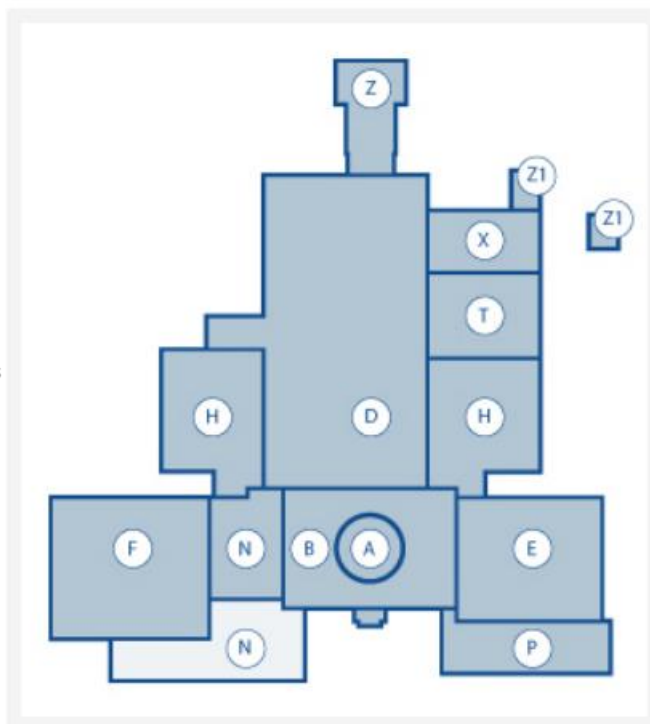
	Loviisa 1	Loviisa 2
Rakentaminen alkoi	1.5.1971	1.8.1972
Käyttöönotto	8.2.1977	4.11.1980
Lämpöteho	1500 MW	1500 MW
Netto sähköteho	507 MW	507 MW
Käyttökerroin	93.7 %	92.2 %
Sähköntuotanto	4.1 TWh	4.1 TWh

Suomen ensimmäisen ydinvoimalan, Loviisan voimalan, omistaa Fortum Power and Heat Oy. Loviisa 1 aloitti tuotantonsa helmikuussa 1977 ja Loviisa 2 marraskuussa 1980. Molemmat yksiköt ovat tyypiltään VVER-440-painevesireaktoreita. Loviisa 1 oli ensimmäinen itänaapurimme kanssa yhteistyössä rakennettu ydintekniikan projekti. Kotimaan osuus projektista oli noin puolet. Neuvostoliitosta hankittiin pääkomponentit, reaktori, turbiini ja generaattori. Eri turvallisuusjärjestelmät ovat suurimmalta osaltaan länsimaalaista. Ne on lisäksi uudistettu, joten tietotaito siltäkin osin on Suomessa. (Fortum 2022.)

Turvallisuus otettiin huomioon jo rakennusvaiheessa ja ydinlaitos täyttää länsimaalaiset turvallisuusvaatimukset. Kehitys jatkuu edelleen. Vuonna 1981 voimalaitos tuotti 15 % Suomen sähköntuotannosta. 1990-luvulla turvallisuutta parannettiin ja otettiin käyttöön muun muassa vakavien onnettomuuksien hallintajärjestelmät (SAM). Ensimmäinen modernisointihanke LOMO valmistui vuonna 1998 ja tehoa voitiin nostaa siinä yhteydessä 10 %. Vuonna 2008 Loviisan toinen reaktori oli tuottanut kaikkiaan sähköä 100 TWh. Laitohistorian suurin modernisointiohjelma ja automaatiouudistus saatiin päätökseen 2018. (Fortum 2022.)

Olkiluoto 1 ja 2 ovat molemmat kiehutusvesireaktoreita. 1990-luvulta lähtien reaktoreiden käyttökerroimet ovat olleet korkealla, 93-97%. Turvallisuus ja modernisointi on otettu laitoksissa huomioon. Molemmissa laitosyksiköissä on nelinkertaiset suojausominaisuudet. Tällöin edes käyttäjän virhe tai laitteiston vikaantuminen ei aiheuta onnettomuutta. Olkiluoto 1 ja 2 -kokonaisuudessa on kolme rakennuskokonaisuutta; reaktori, turbiini, tuki ja apu (Teollisuuden voima Oyj 2022a).

- A Reaktorin suojarakennus
- B Reaktorirakennus
- D Turbiinirakennus
- E Valvomorakennus
- F Jäterakennus
- H Apurakennukset
- N Aktiivikorjaamo-/laboratoriorakennus
(vain OL1)
- P Sisäänkulku-/toimistorakennus
- T Merivesilaitos
- X Kytinlaitos
- Z Päämuuntaja
- Z1 Käynnistysmuuntajat



KUVIO 2. Olkiluodon reaktoreiden 1 ja 2 rakenne sekä selitykset (mukaillen Teollisuuden Voima Oyj 2022b)

2.1.2 Olkiluoto 3 ja Hanhikivi 1

Kolmannen, painevesityyppisen voimalan rakentaminen Olkiluotoon aloitettiin 2005 (Rakennuslehti 2019). Uutisista sekä muista lähteistä kuitenkin saimme lukea vuosien aikana projektin värikkäistä eri vaiheista ja kuinka voimalan valmistuminen jälleen viivästyy. Kuitenkin viimein 2022 aloitettiin voimalan koekäyttö ja tämänhetkisten suunnitelmien mukaan säännöllinen tuotanto alkaa joulukuussa 2022. Voimalaa on vielä toistaiseksi käytetty osatehoilla. Voimalan omistaa Teollisuuden Voima Oyj. (Kangas & Forsberg 2022.)

Hanhikivi 1 on Fennovoiman tilaama ydinvoimalaitos, jonka toimittajaksi oli valittu Rosatomin tytäryhtiö RAOS Project Oy. Alun perin rakennuslupahakemus jätettiin 2015. Fennovoima irtisanoi laitos-sopimuksen RAOS Project Oy:n kanssa toukokuun 2. päivänä 2022. (Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto 2022.) Näin ollen Hanhikiven ydinvoimalaa ei olla toistaiseksi rakentamassa.

2.1.3 Ydinvoiman vaarat

Ydinvoima on hyvin tasainen ja luotettava energiantuotantomuoto. Verratessa muihin energiantuotantomuotoihin vaaroja kuitenkin on. Alla muutamia lueteltuja asioita (Ydinvoima 2022);

- Ympäristövaikutukset koskien uraanin louhintaa ja rikastamista
- Voimalaitokseen ja ydinpolttoaineen kuljettamiseen liittyvät onnettomuudet
- Ydinjätteen vuotoriskit kuljetuksessa ja varastoinnissa

Pahin ydinvoimalaonnettomuus tapahtui 1986 Tšernobylessä 26. huhtikuuta 1986. Tapahtuma sai alkunsa, kun neljäs määräaikaishuolto oli alkamassa. Kokeessa oli tarkoitus selvittää, kykeneekö generaattori hidastumisen aikana tuottamaan sähköä jäähdytysjärjestelmälle siihen asti, että varajärjestelmä kytketty päälle. Koe edellytti, että määräysten vastaisesti pois kytkettiin mm. hätäjäähdytysjärjestelmä ja pikasulkujärjestelmä. Reaktorin teho laskettiin sallitun rajan alle. Koska reaktorissa oli suunnitteluvirhe, oli se nyt tilassa, jossa jäähdytysveden kiehuminen ja säätösauvojen työntyminen pahensivat reaktiota, vaikka tilanteen olisi pitänyt olla päinvastainen. Lämpöteho kasvoi yli satakertaisesti suurimmasta sallitusta arvosta ja tapahtui iso räjähdys. (Higginbotham 2019, 80-87.)

Vähemmän tunnettu tapahtuma sattui 11. maaliskuuta 2011, jolloin Fukushima ydinvoimalassa tapahtui onnettomuus. Onnettomuuden aiheutti maanjäristys voimakkuudeltaan 9.0 Richterin asteikolla ja siitä seurannut tsunami. Vyöryneen vesimassan seurauksena sähkölinjat tuhoutuivat ja reaktoreiden ja jäähdytyslaitteiden jäähdytys lakkasi toimimasta. Kolme reaktorirakennuksista tuhoutui vedyn räjähdysten vuoksi. Alueella oli neljä voimalarakennusta ja viisitoista reaktoria, joista kolmen reaktorin ytimet sulivat. Onnettomuuden seurauksena säteilyä pääsi ympäristöön. Lähialueilta mitattiin onnettomuuden jälkeen 2000-kertaisia lukemia radioaktiivista jodia. (Isomäki 2011, 7-14.) Onnettomuudesta kävi selväksi, että ydinvoimalan suunnittelussa ja käytössä täytyy ottaa huomioon ainakin luonnonkatastrofit.

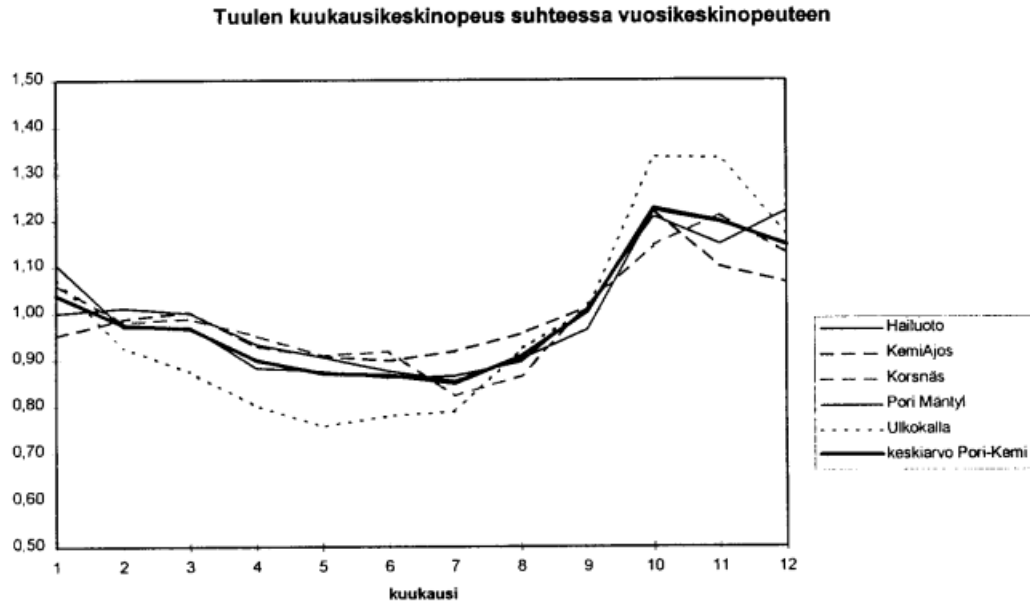
Olkiluoto 3 -voimalan suunnittelussa on otettu turvallisuus huomioon. Onnettomuuksien ja käyttöhäiriöiden mahdollisuuteen on varauduttu. Yksikköön suunniteltiin järjestelmät, joilla reaktorionnettomuuden jälkeen laitos voidaan saattaa turvalliseen tilaan ja varmistetaan, että suojarakennus on ehyt ja tiivis. Tällöin ympäristövaikutukset jäävät vähäisiksi eikä alkuvaiheessa mahdollista onnettomuutta ole tarvetta laajoille suojaustoimenpiteille. Samasta syystä pitkäaikaiset, laajat suojaukset myöhemmin ovat tarpeettomia. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2022.) Voimalan suunnittelussa on otettu huomioon erilaisia luonnon katastrofeja ja jopa terrori-iskun mahdollisuus (Teollisuuden voima Oyj 2022c).

2.2 Tuulivoima

Sähköntuotannossa tuulivoiman isoin etu alhaisten tuotantokustannusten ohella on sijoittelu. Tällöin vältetään pitkien matkojen sähkönsiirrot. Myös päästöttömyys on tuulivoiman etu. Tuulivoimaloiden tekninen käyttöikä on noin 25 vuotta, uusimmilla voimaloilla 30 vuotta. Tuulivoimala tuottaa noin vuodessa yhtä paljon energiaa kuin sen raaka-aineiden louhintaan, voimalan valmistamiseen, kuljetukseen ja rakentamiseen sekä käyttöön ja aikanaan purkamiseen kuluu. (Science Direct 2010.)

Näin ollen voidaan laskea, että tuulivoimala tuottaa tyypillisesti siihen investoidun takaisin monikymmenkertaisesti. Tässä lähteenä käyttämäni laaja katsaus eri tutkimuksia tuulivoiman energian takaisinmaksuajasta on yli 10 vuotta vanha. Näin ollen sen tuloksissa ei heijastu tuulivoiman viimeaikainen teknologinen kehitys eivätkä eri metallien, joita tuulivoimalassa tarvitaan, esiintymien heikentyminen. Teknologinen kehitys tuulivoimassa on jatkunut viime vuosinakin, mikä edelleen parantaa tuulivoiman ”energiatasetta”. Tuulivoimaloissa tarvittavien metallien esiintymien heikentyminen toisaalta tarkoittaa, että tuulivoimalan metalleihin kuluu enemmän energiaa louhimis- ja jalostamisvaiheessa. On vielä liian aikaista vetää lopullisia johtopäätöksiä asiasta, sillä sitä on tutkittu vasta vähän. (ResearchGate 2015.) Huomioitava on myös se, että tuulivoimalan ”metalli-intensiteetti” voi tiettyjen metallien suhteen pienentyä.

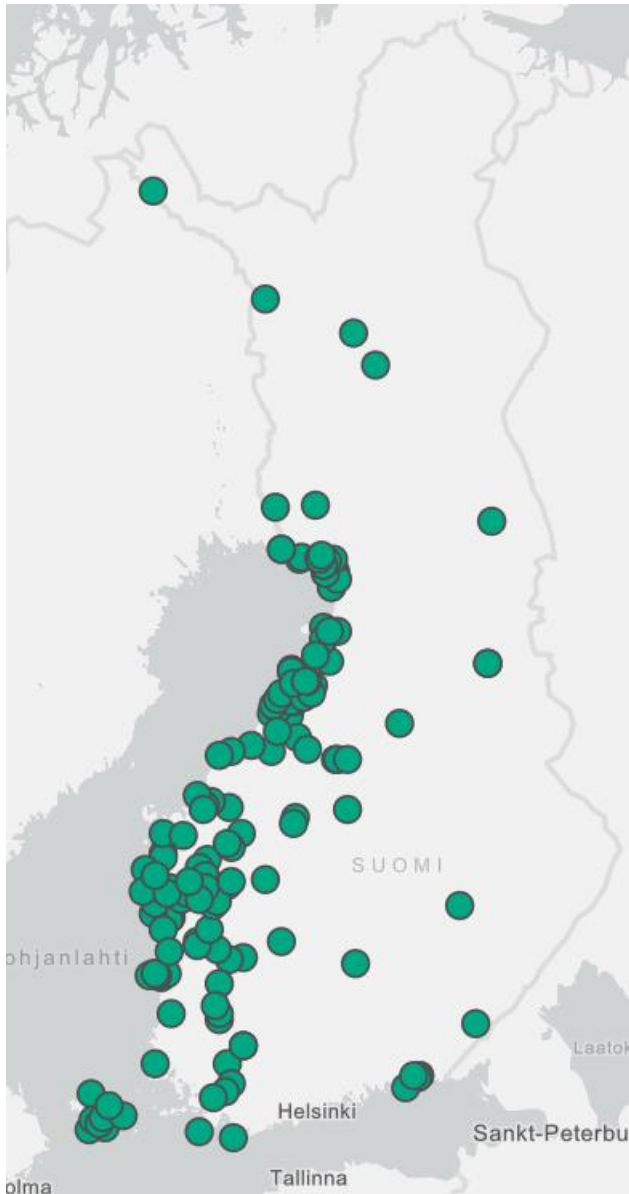
Urbanilegendan mukaan talvella ei tuule. Suomessa tuulen nopeudella on vuosittaisista vaihteluista huolimatta selvä vuodenaikaisvaihtelu. Talvella Suomessa on aktiivisempaa matalapainetoimintaa, minkä vuoksi tuulen nopeus on voimaloiden napakorkeudella keskimäärin voimakkaampaa. Yhdistämällä tämä kylmempään lämpötilaan ja sitä kautta suurempaan ilmantiheyteen tuottavat tuulivoimalat talvella kesää enemmän energiaa. (Hämäläinen 2021.) Kuviossa 3 nähdään hyvin, kuinka syksyllä tuulen voimakkuus alkaa kasvaa ja on lokakuussa voimakkaimmillaan. Heinäkuussa tuulen voimakkuus on heikoin.



KUVIO 3. Perämeren ja Selkämeren viiden sääaseman keskimääräinen mitattu tuulennopeus kuukaudessa. (Holtinen, Peltola & Koreneff 1996, 27.)

2.2.1 Käytössä oleva tuulivoima

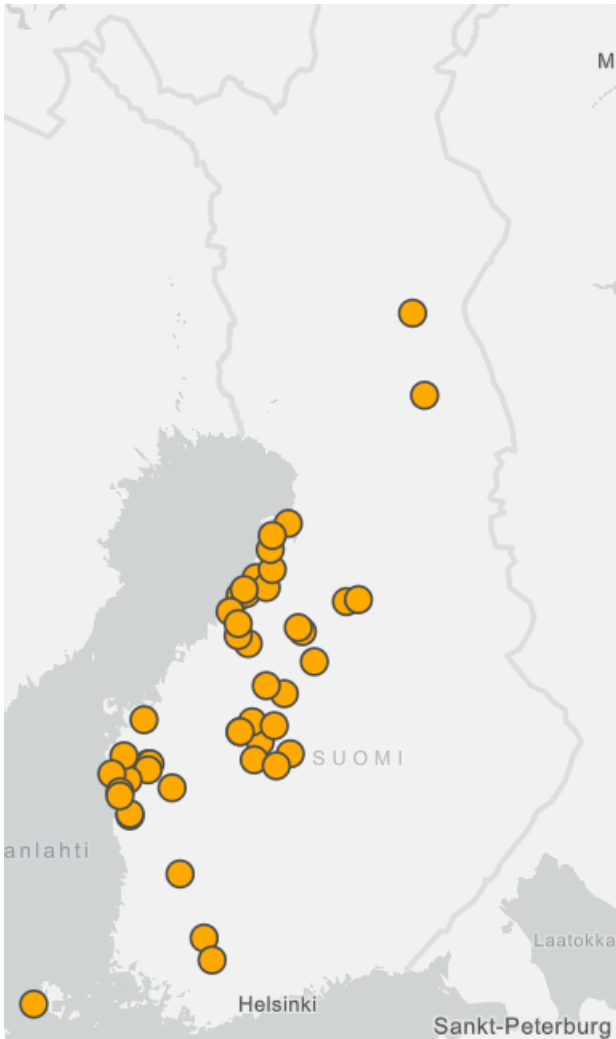
Kesäkuun lopussa 2022 Suomessa oli 1112 toimivaa tuulivoimalaa. Vuodesta 2012 Suomessa tuulivoimarakentaminen alkoi kasvamaan laajemmin ja vuoden 2022 kesäkuun lopussa tuulivoiman kapasiteetti olikin jo 4037 MW. Kuvassa 6 näkyy kartta Suomen tuulivoimaloista, jotka ovat toiminnassa. Maaliskuussa 2022 on julkaistu tuulivoimahankkeita maalle 44 460 MW ja merelle sijoitettavia voimaloita 9905 MW. (Tuulivoimayhdistys 2022.) Luvuista näkee, että Suomessa panostetaan tuulivoimaan. Kuvassa 1 näkyy käytössä oleva tuulivoima. Voimalat on sijoitettu lähelle merta länsirannikolle voimakkaamman tuulen vuoksi.



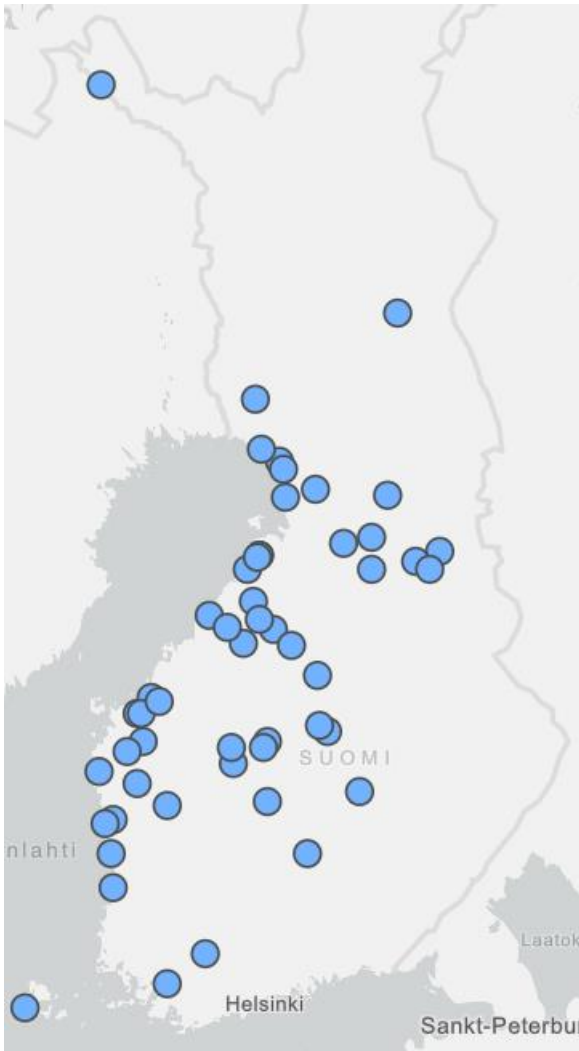
KUVA 1. Kartta toiminnassa olevista tuulivoimaloista. (Tuulivoimayhdistys 2022)

2.2.2 Tuulivoiman tulevaisuus

Suomessa on kattavat suunnitelmat tuulivoiman jatkoa ajatellen. Kuvassa 2 näkyy keltaisella tällä hetkellä rakenteilla olevia voimaloita. Kuvassa 3 näkyvät sinisellä jo rakentamisluvan saaneiden voimaloiden paikat. Kuvista nähdään, että voimaloita rakennetaan myös jatkossa enemmän sisämaahan. Näiden lisäksi kymmeniä on suunnitteilla.



KUVA 2. Rakenteilla olevia tuulivoimaloita (Tuulivoimayhdistys 2022)



KUVA 3. Rakentamisluvan saaneet voimalat (Tuulivoimayhdistys 2022)

2.3 Vesivoima

Vesivoima on päästötön, uusiutuva energianmuoto, jossa virtaavan veden liike-energiaa otetaan talteen turbiinien avulla. Liike-energia muutetaan generaattorien avulla sähköksi ja se siirretään edelleen sähköverkkoon. Laitoksen toiminta on mahdollista hyödyntämällä veden korkeuseroja joko luonnollisesti tai rakentaen patoja ja vesiteitä. Mitä suurempi on putouskorkeus, sitä korkeampi on vesivoimalaitoksen teho, mikäli mikään muu ei muutu. Koska veden energiaa voidaan varastoida patoamalla, vesivoiman etu on kulutushuippujen tasaaminen, jolloin tuotannon vähentäminen tai lisääminen onnistuu nopeasti kulutuksen mukaan. Jokien padoilla voidaan myös vaikuttaa tulviin. (Motiva 2022c.)

2.3.1 Vesivoiman historiaa

Vesivoima on maailman vanhimpia energiantuotantomuotoja. Ensimmäinen vesimylly voidaan jäljitellä jo muinaiseen Kreikkaan 80 eKr. Ensimmäinen vesivoimalaitos valmistui 1684 Seineen. Laitoksen energiaa käytettiin nostamaan vettä palatsin suihkulähteisiin. Suomesta vanhin tieto vesivoiman käytöstä on vuodelta 1352 jolloin Halistenkoskeen Aurajoelle myllyoikeudet sai Piispa Hemming. 1400-luvulla myllyjä oli jo yli sata. 1500-luvun lopussa myllyjä oli jo 1700 ja vuonna 1850 vesimyllyjä oli noin 4000 ja vesisahoja lähes 200. 1800- ja 1900-luvun vaihteessa alettiin muuttamaan veden voimaa sähköksi. Tähän asti energiaa oli siirretty remmien ja pyörien avulla tehtaiden tarpeisiin, jolloin tehtaat sijaitsivat lähellä vesistöjä. Veden energian sähköksi muuttaminen mahdollisti tehon siirtämisen pidempiä matkoja, jolloin tehtaat pystyttiin sijoittamaan muita tarpeita ajatellen. (Kemijoki 2022.)

Vuonna 1891 Tammerkoskeen Tampereelle rakennettiin ensimmäinen vesivoimalaitos sähköntuotantoon Suomessa. Voimalaitoksen tuotto oli 240 kW sähköä. Toinen voimalaitos valmistui pohjoiseen Oulujoen suuhun vuonna 1898, teholtaan 6,5 kW. Koska sähkön kysyntä alkoi kasvaa, tarvittiin lisää vesivoimalaitteita. Vuoden 1919 noin 100 MW:n tehosta vuoteen 1930 voimalaitosten teho oli kasvanut lukemaan 220 MW. Tästä kokonaisuudesta noin 70 MW kattoi juuri valmistunut voimalaitos Imatralla. (Kemijoki 2022.) Kuvassa 4 on valokuva Kyrökosken padosta vuodelta 1892. Rakennustyylillä on ajan mukainen puusta ja kivistä rakennettu pato.



KUVA 4. Ylin putous Kyrökoskella 1892 (Sederholm 1892)

2.3.2 Vesivoima Suomessa

Suomessa vesivoimalaitoksia on noin 220-250 yksikköä lähteestä riippuen. Vaihtelevat tiedot voimalaitosten määrästä voivat selittyä sillä, minkä kokoinen pato lasketaan vesivoimalaitokseksi.

TAULUKKO 4. Suomen vesivoimalaitokset kapasiteetin mukaan lueteltuna (Vesivoimanluonto, 2022)

Voimalaitoksen teho MW	Yli 100	60-100	20-60	10.-20	1.-10	Alle 1
Lukumäärä kpl	10	6	27	15	25	26

Suomen haaste vesivoimaa ajatellen on tasainen maasto. Koska vesivoiman toimintaperiaatteen kulmakivenä on korkeuserot, ei Suomessa voida koskaan päästä samoihin teholumemiin vesivoimassa kuin joissain sellaisissa maissa, joissa korkeuserot ovat suuret. Esimerkiksi Kiinassa on maailman suurin voimalaitospato, Kolmen rotkon pato, jonka teho on 22 500 MW. (Mäkeläinen 2016.)

Vesivoimalaitosten rakentaminen kuormittaa ympäristöä ja vesistöä, vaikka se onkin toimiessaan päästötön ja uusiutuva energiantuotantomuoto. Suomeen tuskin rakennetaan uusia vesivoimalaitoksia. Mahdollisia uusia rakennuspaikkoja on, vaikka tehokkaimmat paikat on jo käytetty. Vesivoiman osuuden kasvattamisen mahdollisuudet sähköntuotannossa ovat nykyisten vesivoimalaitosten tehojen kasvattaminen. (Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus 2022.)

2.4 Fossiiliset polttoaineet sähköntuotannossa

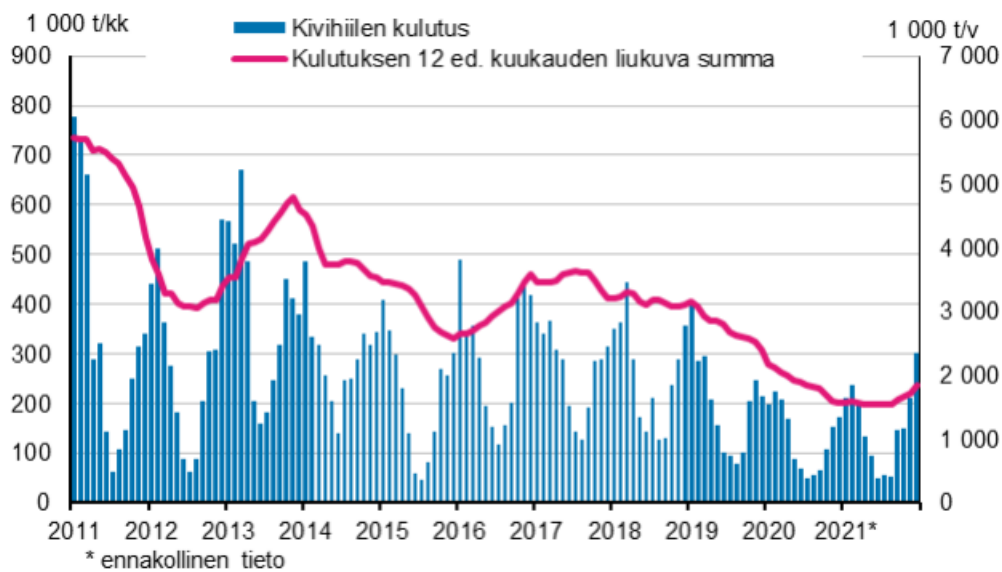
Fossiiliset polttoaineet, kuten kivihili, öljy, turve ja maakaasu, ovat edelleen paljon käytössä tärkeänä energianlähteenä. Suurin osa käytöstä tapahtuu hyvällä hyötysuhteella lämmön- ja sähköntuotantolaitoksissa. Kuitenkin käyttöä pyritään vähentämään ja esimerkiksi Vantaalla jätevoimalalla on korvattu Martinlaakson fossiilisen voimalaitoksen energiantuotantoa. (Ympäristö 2014.)

Suomen kivihiilen käytöstä on vuosien aikana käyty paljon keskustelua. Helen on ilmoittanut sulkevansa Salmisaaren kivihiilivoimalan 2024 ja Helsinki määräsi vuonna 2015 Hanasaaren voimalan suljettavaksi. Tämän on tarkoitus tapahtua 2023 keväällä. Lämmöntuotannossa voimaloilla on ollut sähköntuotantoa suurempi merkitys, joten korvaavia energiamuotoja on kehitettävä. (Juuti 2021.)

2.4.1 Kivihiili

Kivihiili on orgaanista, fossiilista, kiinteää polttoainetta, jonka tehollinen lämpöarvo on yli 24MJ/kg ja vuonna 2021 sen käyttö kasvoi 19 % maailmalla (Tilastokeskus 2022). Kivihiili sisältää pääasiassa hiiltä, happea ja vetyä sekä jonkin verran rikkiä ja typpeä. Pienempiä määriä epäorgaanisia yhdisteitä esiintyy myös. Kivihiili on hinnaltaan kohtuullista sähkön ja lämmön tuotannossa ja koska tuottajia on riittävästi, hinta pysyykin kohtuullisena. (Hiilitieto 2022.)

Kivihiilen kulutus, 1 000 tonnia



KUVIO 4. Kivihiilen kulutus (Tilastokeskus 2022)

Eniten kivihiiltä käytetään Kiinassa, jossa vuonna 2020 käytettiin hiilivoimaa 82 eksajoulea. Intia on eniten kivihiiltä käyttävien listassa toisena, lähes 18 eksajoulea. Länsimaista eniten hiiltä käyttää Yhdysvallat; vuonna 2020 käyttö oli noin 10 eksajoulea. (Helen 2022.) Isoin ongelma kivihiilen käytössä ovat päästöt, erityisesti hiilidioksidi. Kivihiilen etuja ovat hinta sekä turvallinen ja helppo käyttö sekä varastointi, joten kivihiili olisikin hyvä lisä huoltovarmuuteen hätätapauksessa. (Tilastokeskus 2022.) Kuviossa 4 nähdään kivihiilen kulutus vuositasolla. Kulutus on kasvanut vuosilla 2014 ja 2017 mutta pidemmällä ajanjaksolla käyttö on ollut laskussa.

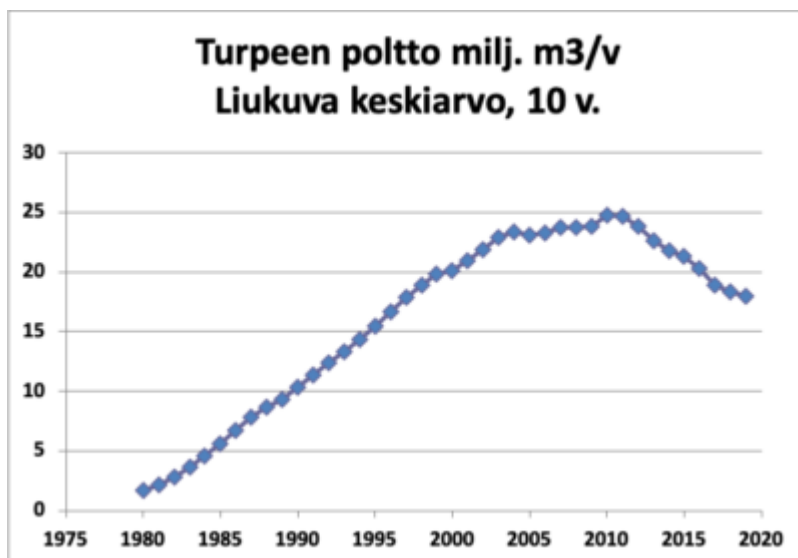
2.4.2 Maakaasu

Maakaasu on fossiilisista polttoaineista vähäpäästöisin. Se on lähes kokonaan metaania. Maakaasua käytetään lämmityksessä ja sähköntuotannossa Suomessa. Maakaasun rooli Suomessa on pienentynyt rajusti Venäjän hyökättyä Ukrainaan. (Suomen kaasuenergia 2022.) Suomen maakaasun käyttö Suomessa vuonna 2021 oli 25 TWh (Gasum 2022).

2.4.3 Turve

Turve on eloperäistä ja syntyy kosteissa ja hapettomissa olosuhteissa, joissa kasvin hajoaminen on epätäydellistä. Turpeen koostumuksessa on vaihtelua hajoamisen tilanteesta riippuen. Turpeeksi luokiteltavan materiaalin tulee sisältää 75 % orgaanista ainetta. Turvetta muodostuu soilla. (Leinonen 2010.) Viime vuosina turve on antanut paljon keskustelun aihetta. Suomessa on pohdittu pitkään turpeen kohtaloa energianlähteenä ja sen päästökuormaa. Turve on kotimainen tuote, joka on merkittävä työllistäjä. Toisaalta energiaturpeen logistiikasta ja polttamisesta muodostuu päästöjä.

Turpeen käyttö on viime vuosina vähentynyt vuoden 2010 huippulukemista kuten kuviossa 5 nähdään. Toistaiseksi turvetta vielä käytetään, mutta käytön lopettaminen on silti vielä edessä ja sen puolittaminen tulee tehdä viimeistään vuoteen 2030 mennessä (Ekman & Vuorela 2021).



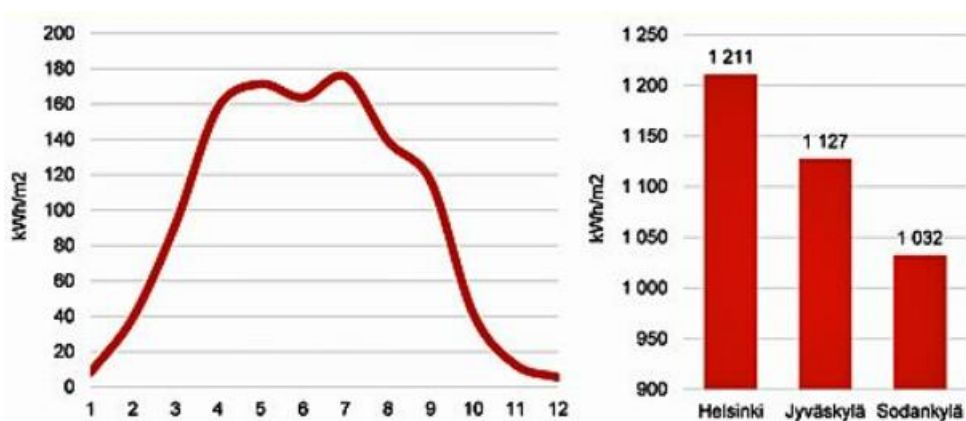
KUVIO 5. Turpeen poltto aikojen saatossa (Pohjonen 2020)

Huomattava osa Suomen käytetystä uusiutuvasta energiasta on biomassaa, esimerkiksi puuta. Enimmäkseen biomassalla tuotetaan lämpöä. Lisäksi biomassaa käytetään laitoksissa, jotka tuottavat myös lämmön ohella sähköä. Hankaluus biomassan käytössä on raaka-aineen suuret määrät. (Motiva 2022b.)

Suomessa suuri osa jätteestä kierrätetään. Lainsäädännössä ohjataan jätehuoltoa niin, että ensisijaisesti jäte on kierrätettävä. Mikäli se ei ole mahdollista, jäte pyritään hyödyntämään energiantuotannossa. Sekajätettä polttamalla muunnetaan jätteen sisältämä energia sähköksi ja lämmöksi. Jätteenpoltosta aiheutuu hiilidioksidipäästöjä, mutta toisaalta tällä menetelmällä jäte ei päädy kaatopaikalle, jossa siitä vapautuisi hiilidioksidia joka tapauksessa.

2.5 Pientuotanto

Viime vuosina Suomessakin pientuotannon suosio on ollut kasvussa. Pientuotannosta esimerkkinä on aurinkosähkö kotitalouksissa ja muissa käyttökohteissa, joissa pyritään käyttämään tuotettu aurinkosähkö itse. Aurinkopaneelien hinnat ja sähkön kasvanut hinta ovat nostaneet aurinkopaneelien kysyntää merkittävästi. Vuoden 2021 kesällä kysyntä oli niin kovaa, että paneelien saatavuus heikentyi. (Tanskanen 2021.)



KUVIO 6. Auringon säteily kuukausittain (Motiva 2022a)

Aurinkokennolla auringon säteilyä muutetaan sähköksi valosähköisellä ilmiöllä. Yksittäinen kenno tuottaa varsin pientä jännitettä, joten useampi kenno liitetään aurinkopaneeliksi sarjakytkennällä. Auringon säteily on kesäkuukausina voimakkaampaa, joten paneelien tuotto on silloin korkein ja talvella säteilyn pienentyessä tuotto laskee liki nollaan. Kannattavinta aurinkopaneelit ovat Suomessa

etelässä asuville ja heikoin tuottavuus on pohjoisessa. (Motiva 2022a.) Kuviossa 6 nähdään auringon säteily kuukausittain. Säteily on voimakkainta etelässä, toukokuusta heinäkuuhun.

Suomen maantieteellisen sijainnin vuoksi on ymmärrettävää, että sähköyhtiöillä aurinkopaneelien sijoittaminen on ollut vähäisempää, kuin muissa eteläisemmissä maissa. Lähinnä aurinkopaneelien ovat hankkineet yksityishenkilöt. Myös joissakin yrityksissä käytetään isompia määriä aurinkopaneelien, kuten Halpa-hallin ostoskeskusten katoilla. Ensimmäinen aurinkovoimala otettiin käyttöön Muuramen ostoskeskuksessa 2016 (Halpahalli 2022).

Joissakin maissa, joissa auringon säteily on hyvin voimakasta ja tasaisempaa ympäri vuoden, kuten Intiassa, on valtavia aurinkopaneelifarmeja. Australiaan on suunnitteilla maailman isoin aurinkopaneelipuisto, teholtaan 10 GW. Projektin maankäytön pinta-ala olisi 120 hehtaaria ja rakentamisen pitäisi alkaa 2023. (Construction review 2021.) Kuvassa 5 visuaalinen malli, miltä puisto voisi näyttää.



KUVA 5. Australian aurinkopaneelikeskuksen mallia (mukaiillen Construction review 2021)

3 VETY

Normaalissa ilmanpaineessa ja lämpötilassa vety on väritön, hajuton ja mauton kaasu. Se on ilmaa kevyempää ja tulenarkaa. Nykyisin vedyn käyttökohteita on muun muassa teollisuudessa öljynjalostuksessa sekä ammoniakkin tuotannossa. (Kelola 2021.) Kyseessä on yleisin alkuaine maailmankaikkeudessa, mutta vapaana vetyä ei ole saatavissa, vaan se täytyy pelkistää esimerkiksi vedestä, mikä kuluttaa paljon energiaa (Fortum 2020).

Vedyn luokittelu tapahtuu tuotantopäästöjen mukaan eri väreillä;

-Harmaa vety on tuotettu fossiilisilla polttoaineilla.

-Turkoosi vety on pyrolyysin avulla tuotettu vetymuoto.

-Sinistä vetyä syntyy myös fossiilisilla polttoaineilla, mutta tuotannosta syntyneet hiilidioksidipäästöt hyödynnetään.

-Pinkki vety tuotetaan ilman CO₂-päästöjä.

-Vihreä vety saadaan puhtaasti uusiutuvista energiamuodoista. (Kiwa 2022.)

Vihreän ja pinkin vedyn tuotanto on mahdollista elektrolyysillä, jossa vetyä saadaan vedestä. Vihreä ja pinkki vety ovat ilmaston ja tulevaisuuden energian kannalta tärkeimpiä mahdollisuuksia. Vedestä saadaan vetyä elektrolyysillä. Vaadittava sähkö tuotetaan ainoastaan uusiutuvista energianlähteistä, esimerkiksi aurinko- ja tuulivoimasta, kun puhe on vihreästä vedystä. Pinkin vedyn tuotannossa sallitaan esimerkiksi ydinvoimalla tuotettu sähkö. Euroopan Unionin vuoden 2050 ilmastoneutraali talous on saavutettavissa siirtymällä enemmän vihreän ja pinkin vedyn käyttöön. Tällä hetkellä vihreän vedyn osuus kokonaisvedyn tuotantomäärästä on vain 5 % ja pinkin vedyn osuus käytännössä olematon. (Kiwa 2022.) Jotta ilmastotavoitteet saavutettaisiin, on määrää kasvatettava.

Suomessa Turun seudun energiantuotanto ja Green H2UB Oy ovat solmineet aiesopimuksen vedyn tuotantolaitoksen rakentamisesta voimalaitoksen alueelle Naantaliin. Tuotettu vety menisi raskaan liikenteen ja meriliikenteen käyttöön. Prosessissa syntynyt lämpö on tarkoitus hyödyntää kaukolämmössä. (Kossila 2021.)

Vedyntuotannossa hyötysuhde paranee jatkuvasti, kun elektrolyysilaitteet yleistyvät ja laitteiden koko kasvaa. Maailman vedyntuotannossa on käytössä alle 200 megawattia kapasiteettia ja suurin osa laitteista on alle 1 MW. Suunnitteilla on hankkeita, joiden teho olisi yli 100 MW. (Fortum 2022.)

4 KYSYNTÄJOUSTOJEN POTENTIAALI SÄHKÖN TUOTANNON JA KYSYNNÄN TASA-PAINOTTAMISESSA

Siirtyminen puhtaampiin energiamuotoihin, kuten aurinko- ja tuulivoimaan, on tuonut esiin uudenlaisia haasteita. Niiden tuotanto on sääriippuvaista, mikä on suhteellisen uusi asia sähkömarkkinoilla. Sähkönkäyttö ei ole tasaista, vaan riippuu vuorokauden ajasta, säästä ja monista satunnaisista tekijöistä. Haastetta lisää se, että jatkossa myös sähköntuotannossa on yhä enemmän kulutuksesta riippumatonta vaihtelua. Tässä kuvioon astuu kysyntäjousto.

Kysyntäjoustoprosessissa on kyse sähkön käytön siirrosta toiseen ajanhetkeen. Sähkönkäyttöä siirretään korkean kulutuksen ja hinnan ajalta edullisempaan aikaan ja sähköä pyritään käyttämään enemmän silloin, kun sitä tuotetaan paljon ja se on halpaa. Toisin sanoen säädetään kulutusta tuotannon ehdoilla. Tänä päivänä tarve kysyntäjoustoprosessille on suurempi kuin koskaan, kun joustamaton ja vaihteleva uusiutuvien energioiden käyttö kasvaa. Aiemmin käytössä ollut helpommin säädettävää tuotantoa on lopetettu, kuten lauhdevoimaa. Tuulivoima on lisääntynyt merkittävästi sekä Suomessa että myös Ruotsissa tuotettuna, mutta on vaikeammin säädettävissä. Tulevaisuudessa aurinkosähkön kasvava osuus tulee vaikuttamaan kasvavasti kysyntäjoustoprosessin tarpeeseen.

TAULUKKO 4. Vaihtoehtoja joustolle (Fortum 2022)

Vesivoima	Kysyntäjousto	Akut
<ul style="list-style-type: none"> • Tuottaa energiaa. Tuotanto tyypillisesti joustavaa • Varma käytettävyys • Sääto mahdollista useilla aikahorisonteilla (sekunneista kuukausiin). Nopea sääto mahdollisesti haitallista vesivoimaloiden turbiineille. 	<ul style="list-style-type: none"> • Siirtää kulutusta ajanhetkestä toiseen. Hyvä säädettävyys • Käytettävyys riippuu kuluttajan joustoprosessin lähteen käytöstä • Kotitalouksissa tunnin sisäinen sääto, teollisuudessa vuorokauden sisäinen sääto 	<ul style="list-style-type: none"> • Siirtää kulutusta hetkestä toiseen. Erinomainen säädettävyys • Käytettävyys kohtuullinen • Jotta investointi kannattava, vaatii paljon käyttösyklejä -> kannattavimmillaan mahdollisimman lyhytaikaisessa säädössä

Vesivoimaa on aiemmin käytetty joustajana sähköntuotannossa ja näin tulee olemaan jatkossakin. Vesivoimaa voidaan kerätä varastoaitaisiin matalamman kulutuksen aikaan ja vapauttaa sitä sieltä, kun kysyntä kasvaa. Vesivoimalla tulee jatkossakin olemaan iso rooli joustossa, mutta vesivoimaa ei aina ole tarpeeksi tasapainottamaan sähkön tuotantoa ja kulutusta. Vesivoima ei enää Euroopassa lisääny,

kun taas tuuli- ja aurinkovoimaa rakennetaan koko ajan lisää. Ruotsin ja Norjan vesivoimalle on ottajia ympäri Eurooppaa. (Åf-consult 2022.)

Akkuja on myös mietitty joustona kysynnän ja tarjonnan pulmaan. Litiumionitekniikan nykyajan akut kestävät lataamista ja purkamista huomattavasti pidempään kuin vanhat lyijyakut. Ongelma akuissa on se, että niitä tarvittaisiin paljon. Pelkästään Oulujoen yhden tunnin säätöaika vaatisi 400 kpl 1MW/1MWh akuston. Jos yksi akusto maksaa 500 000 euroa, olisi kyseessä 200 miljoonan euron investointi. (Kulla 2018.)

Joustoa on haettu sähkön kysynnästä. Vuonna 2021 sähkön hinta alkoi kasvamaan ja syksyllä 2022 hinta saavutti ennätyslukemat lähes kaikilla yhtiöillä. Fingridillä on esimerkiksi Tuntihinta-sovellus, jolla voidaan reaaliajassa seurata sähkön hintaa pörssimarkkinoilla (Fingrid 2022). Esimerkiksi sähköauton latausta ja vesivaraajan lämmitystä voidaan ajoittaa edullisemman hinnan ajalle, kuten yölle.

Vetyä on jo pidemmän aikaa mietitty yhtenä ratkaisuna kysynnän ja tuotannon tasapainottamiseen. Tässä vihreällä ja mahdollisesti pinkillä vedyllä voi olla korkea potentiaali. Teoriassa alhaisen sähkön pörssihinnan aikoina ylimenevää aurinko- ja tuulivoimaa voitaisiin valjastaa vihreän vedyn tuotantoon. Tuotetulla vedyllä on hyvin kattavat käyttömahdollisuudet.

TAULUKKO 5. Sähkönkäytön kustannuksia. Kalliimman ajan käytön siirto edullisemmalle ajalle. (Elfi 2022.)

Kysyntäjousto (K/E)	Kyllä			Ei		
	08-09.	18-19.	Yhteensä	08-09.	18-19.	Yhteensä
Tunti						
Sähkönkäyttö	7	8	15	9	6	15
Spot-hinta	800	80		900	60	
Fyysinen sähkönhankinta	5600	640	6240	8100	360	8460
Finanssisuojaus	8	8		8	8	
Suojaushinta	50	50		50	50	
Finanssiselvitys	-6000	-240	-6240	-6800	-80	-6880
Kokonaiskustannukset	-400	400	0	1300	280	1580
Keskihinta	-57,1	50	0	144,4	46,7	105,3

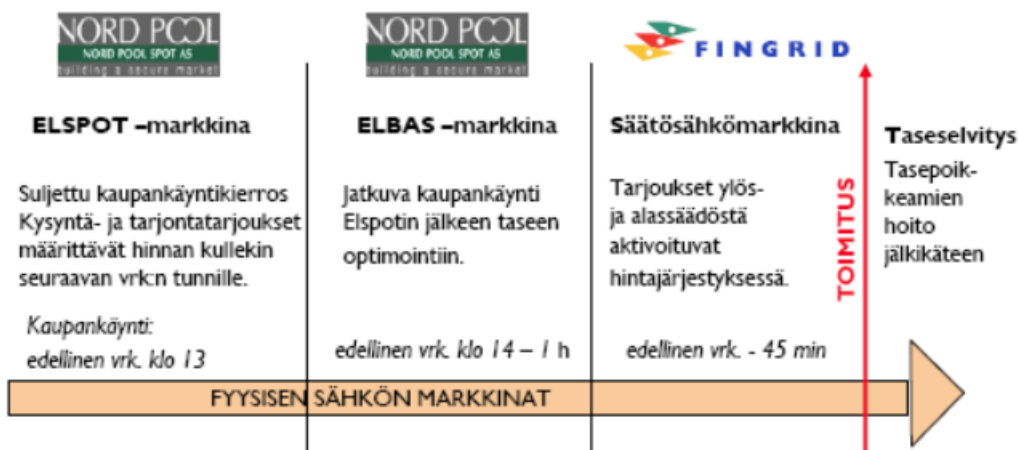
Lähes kaikki voivat jollain tasolla vaikuttaa omaan sähkön kulutukseensa. Yksinkertaisimmillaan kyseessä on auton lataamisen ajoittaminen yölle tai vaikkapa aamun sijaan astianpesukonetta käytetään päivällä tai jos koneessa on ajastin, yöllä. Hyöty tulee suoraan näkymään sähkölaskussa

sähkösovimuksesta riippuen. Hankalimmassa osassa sähkökuluttajia ovat yrittäjät, jotka eivät voi vaikuttaa sähkönkäytön aikaan, kuten maatalousyrittäjät.

Käytännön kysyntäjoustop toteutus tapahtuu siten, että selvitetään oma joustopotentiaali;

- Kysyntäjoustop soveltuvan tehon määrä megawatteina.
- Kuinka pitkä joustopaika on mahdollista tunteina?
- Hintataso, millä käyttö on kannattavaa (euroa/megawattia).
- Kuinka aikaisin tieto rajoituksesta täytyy tulla (tunteina)?

Kysyntäjoustop toteutus voidaan järjestää myös varavoimakapasiteetilla, jolloin samat asiat tulee selvittää. Markkinapaikalle joustop saatetaan joko käyttämällä Nord Pool Spottia tai tekemällä tarjous Fingridin säätösähkömarkkinalle. Näin markkinahinnan muodostukseen voidaan vaikuttaa. (Elfi 2022.)



KUVIO 7. Markkinoille osallistumisen järjestys (Elfi 2022)

5 LOPPUYHTEENVETO

Suomessa puhtaampaa sähköntuotantoa on suunniteltu ja lisätty jo vuosia. Tuulivoimaa on lisätty, sekä saastuttavia energiantuotantomuotoja vähennetty. Aurinkovoima on voimakkaassa kasvussa, mutta sen osuus on vielä pieni. Vuosi 2022 tulee olemaan erityisen mullistava Venäjän hyökkäyksen myötä. Vielä vuoden 2014 jälkeen, kun Venäjä miehitti Krimin niemimaan, Suomessa oltiin sinisilmäisiä ja maassa hyödynnettiinkin paljon tuontienergiaa Venäjältä. Helmikuussa 2022 alkoi herääminen todellisuuteen; uudenlaisia energiantuotantomuotoja oli löydettävä ja riippuvuutta tuontienergiasta vähennettävä. Suomi on paremmassa asemassa kuin moni Keski-Euroopan maa, sillä täällä vihreä siirtymä on pidemmällä. Energiamarkkinoiden mullistus sodan seurauksena on muuttanut monen suomalaisen elämää. Venäjän sähköntuonnin loppumisen seurauksena Suomessakin on ollut huolta sähkön riittäväyydestä erityisesti vuoden 2022 syksyllä sekä tulevaa talvea ajatellen. Vaikka projektina Olkiluoto 3 oli lukuisten myöhästymisten värittävä eikä kansalaisten silmissä hanke herättänyt syvää luottamusta, oli se nyt muuttuneen maailmantilanteen vuoksi erittäin tarpeellinen paikkaus energian tuotannon aukkoon. Viimeisin tieto onkin, että Olkiluoto 3:n säännöllinen tuotanto alkaisi joulukuussa. Vaikka Fennovoiman Hanhikiven ydinvoimalahanke pysähtyi, tarve sähkölle on silti suuri. Voikin olla mahdollista, että voimalahanke etenee tulevaisuudessa jonkin toisen osatoimittajan toimesta.

Suomen sähköntuotannossa ovat jo pitkään olleet mukana luotettava vesivoima, ydinvoima sekä uudempana tuotantomuotona jatkuvasti lisääntyvä tuulivoima. Vesivoimaa tuskin rakennetaan lisää ympäristön suojelemisen ja tehokkaiden paikkojen vähyyden takia, mutta tuulivoimarakentaminen on kiihtyvää ja voimalat kehittyvät koko ajan eteenpäin hyötysuhteen ja tehon parantamiseksi. Aurinkovoimaa on vielä Suomessa suhteessa vähän. Suomalaisille maan sijainnin vuoksi auringon säteilyä ei ole tarjolla samoissa määrissä ja yhtä tasaisesti kuin mitä vaikkapa Intian jättimäiset aurinkopaneelifarmit saavat hyödynnettyä. Pientuotanto on lisääntynyt ja se onkin kuluttajalle erinomainen vaihtoehto, vaikka se ei yleensä tarjoakaan mahdollisuutta irrota sähköverkosta. Se laskee kuitenkin sähkön ostoon menevää rahaa. Paneelien tekniikka kehittyy jatkuvasti ja hankinta on tälläkin hetkellä kannattavaa monille kuluttajille yleisestä hintojen noususta huolimatta.

Ydinvoimatuotannon joustaminen on taloudellisesti haasteellista, koska polttoainekustannukset ovat ydinvoimassa pienet ja ajoittaisesta tehonlaskusta ei ole juuri hyötyä. Teknisesti ydinvoima pystyy joustamaan ja sitä jonkin verran tehdäänkin Saksassa ja varsinkin Ranskassa. Uusiutuvista energiamuodoista aurinko- ja tuulivoima eivät pysty joustamaan tuotannossa juuri lainkaan. Periaatteessa

tuulivoimaloita voitaisiin ajaa osatehoilla, jolloin osa tuulienergiasta jätetään hyödyntämättä. Voimaloiden tehoja voitaisiin säätää nopeasti ylöspäin, mutta tämä vaihtoehto maksaa menetettynä tuotantona. Tarvitaan siis kysyntäjoustoa. Vuoden 2022 syksyllä kiihtynyt sähkön hintojen nousu on ajanut kuluttajia muuttamaan sähkönkäytön tottumuksiaan. Tästä seurauksena syntyy automaattisesti joustoa hinnan vuoksi. Jotkut sähkönkäyttäjät, kuten teollisuus, eivät pysty toimimaan samalla tavalla kuin kuluttajat, koska silloin osan tehtaista täytyisi toimia yön tunteina. Kuitenkin esimerkiksi Mammutti Talotehdas Oy on siirtänyt tuotantonsa yön ajalle sähkön hinnan vuoksi, mikä on suomalaisessa yhteiskunnassa poikkeuksellista ja toimii esikuvana. Tässä toisaalta osa kustannuksista siirretään yhteiskunnan maksettavaksi. Paljon yötyötä tekevillä riskit saada univaikeuksia ja muita terveyshaittoja lisääntyvät. Jos Ukrainan sota jää lyhytaikaiseksi, ehkä yötyön haitat eivät pääse muodostumaan suuriksi. Useimmiten muutoksia on kuitenkin tehty toisilla tavoilla, kuten ajoittamalla henkilön työajoista riippumattomia toimintoja.

Vety on lupaava tulevaisuuden uusi energiankantaja. Vihreää vetyä voidaan tuottaa päästöttömästi uusiutuvilla energiamuodoilla ja käyttö on täysin päästötöntä. Vety myös mahdollistaa uudenlaisia käyttömahdollisuuksia, kuten raudan pelkistys vedyllä. Vetyä voidaan myös käyttää kysynnän tasapainottajana. Kun tuotanto ylittää kulutuksen, voidaan ylimenevää sähköä ohjata vedyn tuotantoon. On huomattava, että jos vedystä tehdään uudestaan sähköä, on hyötysuhde koko syklin yli varsin alhainen. Näin halpaa sähköä pitää olla paljon ja sitä pitää olla riittävän monta tuntia vuodessa, jotta kannattaa investoida elektrolyyseihiin ja vetyvarastoihin. Tässä pinkki vety on mahdollisuus, sillä ydinvoima tuottaa tasaista ja suhteellisen edullista sähköä. Olkiluoto 3 oli kallis hanke, mutta se ei tarkoita, etteikö ydinvoimaa voisi rakentaa huomattavasti kyseistä hanketta edullisemmin.

Ulkomailla on vedyn tuotantolaitoksia sekä jo vedyllä sähköä tuottavia laitoksia. Suomessakin on vetyä valmistavia laitoksia, mutta vetyvoimalaitoksia ei Suomessa vielä ole. Mikäli Suomeen rakennetaan paljon tuuli-, aurinko- ja ydinvoimaa sopivissa suhteissa, voi olla, että Suomeenkin tulee vetyä hyödyntäviä voimalaitoksia.

LÄHTEET

- Construction review. 2021. World's largest solar farm, 10GW, to be constructed in Australia. Saatavissa <https://constructionreviewonline.com/news/worlds-largest-solar-farm-10gw-to-be-constructed-in-australia/>. Viitattu 4.9.2022.
- Ekman, M. & Vuorela, B. 2021. *Energiaturpeen käyttö vähenee nopeammin kuin haluttiin – pulassa ovat yrittäjät ja maatalous: "Kokonaisuus ei ole kenenkään hallussa"*. Helsinki: Yle-uutiset. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-11734408>. Viitattu 8.7.2022.
- Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. 2022. *Vesivoima*. Saatavissa: <https://www.ely-keskus.fi/web/uusiutuvan-energian-lupaneuvonta/vesivoima>. Viitattu 19.8.2022.
- Elfi. 2022. *Sähkökäytön kysyntäjousto*. Saatavissa: <https://www.elfi.fi/sahkomarkkinat/sahkonkayton-kysyntajousto/>. Viitattu 3.9.2022.
- Fennovoima. 2022. *Fennovoima on päättänyt Hanhikivi 1 -ydinvoimalan laitostoimitussopimuksen Rosatomin kanssa*. Saatavissa: <https://fennovoima.fi/2022/05/02/fennovoima-on-paattanyt-hanhikivi-1-ydinvoimalan-laitostoimitus-sopimuksen-rosatomin-kanssa/>. Viitattu 8.9.2022.
- Fingrid. 2022. *Onko sähkö liian kallista? Tuntihinta-mobiilisovellus auttaa hinnan seurannassa*. Saatavissa: <https://www.fingrid.fi/ajankohtaista/tiedotteet/2014/onko-sahko-liian-kallista-tuntihinta-mobiilisovellus-auttaa-hinnan-seurannassa/>. Viitattu 11.7.2022.
- Gasum. 2022. *Maakaasumarkkina Suomessa*. Saatavissa: <https://www.gasum.com/kaasusta/maakaasu/maakaasumarkkina-suomessa/>. Viitattu 8.10.2022.
- Halpahalli. 2022. *Halpahalli investoi aurinkoenergiaan*. Saatavissa: <https://www.halpahalli.fi/tiedotteet/halpahalli-investoi-aurinkoenergiaan>. Viitattu 3.7.2022.
- Higginbotham, A. 2019. *Midnight in Chernobyl*. London: Penguin Random House UK.
- Hiilitieto. 2022. *Hiilen edut*. Saatavissa: <https://hiilitieto.fi/hiilitietoa/hiilen-edut/>. Viitattu 13.8.2022.
- Holtinen, H., Peltola, E. & Koreneff, G. 1996. *Tuulivoimatuotannon vaihtelut ja niiden arviointi*. Saatavissa: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/1996/T1800.pdf>. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuslaitos. Viitattu 19.6.2022.
- Hydrogen-central. 2021. *World largest hydrogen fuel cell power plant was built in Korea by Kospo – 78 MW*. Saatavissa: <https://hydrogen-central.com/largest-hydrogen-fuel-cell-power-plant-korea-kospo/>. Viitattu 20.9.2022.
- Isomäki, R. 2011. *Ydinvoima Fukushimaa jälkeen*. Helsinki: Into-kustannus Oy.
- Juuti, P. 2021. *Historiallinen päätös: Kivihiilen poltto loppuu Helsingissä jo vuonna 2024 – Salmisaaren vihreämmät korvaajat ovat vielä arvoitus*. Helsinki: Yle-uutiset. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-12241324>. Viitattu 4.9.2022.
- Kangas, L. & Forsberg, T. 2022. *Olkiluoto 3:n koekäyttö jatkuu taas, säännöllinen sähköntuotanto alkaa joulukuussa*. Helsinki: Yle-uutiset. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-12598001>. Viitattu 1.9.2022.

- Kelola, K. 2021. *Mullistaako vety maailman energiajärjestelmän?*. Saatavissa: <https://www.helen.fi/asiakaspalvelu/ajankohtaista/arjessa/ilmi%C3%B6t/vety>. Viitattu 26.8.2022.
- Kemijoki. 2022. *Vesivoiman historiaa*. Saatavissa: <https://www.kemijoki.fi/vesivoima/vesivoiman-historiaa.html>. Viitattu 17.8.2022.
- Kiwa. 2022. *Vedyn tuotantoprosessit*. Saatavissa: <https://www.kiwa.com/fi/fi/toimialat/uusiutuva-energia/vety/vedyn-tuotantoprosessit/>. Viitattu 2.9.2022.
- Kossila, E. 2021. *Naantalın voimalaitoksen alueelle suunnitellaan vedyn tuotantolaitosta*. Helsinki: Yle-uutiset. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-12118185>. Viitattu 20.9.2022.
- Kulla, T. 2018. *Sähköjärjestelmän perusasioiden äärellä, osa 2: Voiko akuilla korvata vesivoimaa säätövoimana?* Saatavissa: <https://www.fortum.fi/tietoa-meista/blogi/forthedoers-blogi/voiko-akuilla-korvata-vesivoimaa-saatoivoimana>. Viitattu 19.7.2022.
- Leinonen, A. 2010. *Turpeen tuotanto ja käyttö: yhteenveto selvityksistä*. Saatavissa: <https://www.bioenergia.fi/wp-content/uploads/2020/05/Turpeen-tuotanto-ja-k%C3%A4ytt%C3%B6-yhteenveto-selvityksist%C3%A4-VTT-tiedotteita-2550-.pdf>. Viitattu 25.7.2022.
- Motiva. 2022a. *Auringosta sähköä*. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringosta_sahkoa. Viitattu 2.6.2022.
- Motiva. 2022b. *Bioenergian käyttö*. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia/bioenergian_kaytto. Viitattu 3.6.2022.
- Motiva. 2022d. *Vesivoimateknologia*. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/vesivoima/vesivoimateknologia. Viitattu 15.7.2022.
- Mäkeläinen, M. 2016. *Kiinan jättipato on viimein täysin valmis – Maailman suurin laivahissi otettiin käyttöön*. Helsinki: Yle-uutiset. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-9349079>. Viitattu 19.7.2022.
- Pohjonen, V. 2020. *Biokaasun energia turpeen energian korvaajaksi*. Saatavissa: <https://puheen-vuoro.uusisuomi.fi/velipohjonen/biokaasun-energia-turpeen-energian-korvaajaksi/>. Viitattu 6.7.2022.
- ResearchGate. 2015. *Renewable electricity producing technologies and metal depletion: A sensitivity analysis using the EROI*. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/271141081_Renewable_electricity_producing_technologies_and_metal_depletion_A_sensitivity_analysis_using_the_EROI. Viitattu 28.9.2022.
- Science Direct. 2010. *Meta-analysis of net energy return for wind power systems*. Saatavissa: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S096014810900055X>. Viitattu 28.9.2022.
- Suomen kaasuenergia. 2022. *Maakaasu ja biokaasu*. Saatavissa: <https://suomenkaasuenergia.fi/maakaasu-ja-biokaasu/>. Viitattu 18.8.2022.
- Suomen vesiputoukset. 2022. *Vesiputoukset ja vesivoima Suomessa*. Saatavissa: <https://www.suomen-vesiputoukset.fi/tietoa-suomen-vesiputouksista/vesiputoukset-ja-vesivoima-suomessa/>. Viitattu 14.7.2022.

Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. 2022. *Valtioneuvosto päätti Fennovoiman rakentamislupahakemuksen käsittelyn raukeamisesta*. Saatavissa: <https://www.stul.fi/tem-tiedottaa-fennovoima-oy-n-han-hikivi-1-ydinvoimalaitoksen-rakentamislupahakemuksen-kasittely-raukeaa/>. Viitattu 2.9.2022.

Säteilyturvakeskus. 2016. *Säteilyturvakeskuksen lausunto Olkiluoto 3 -ydinvoimalaitosyksikön käyttöluvasta*. Saatavissa https://www.stuk.fi/documents/12547/8995921/OL3_lausunto_TE-Mille.pdf/16c96e4c-3df2-532e-5b8e-90c1586082a2. Viitattu 8.7.2022.

Säteilyturvakeskus. 2022. *Suomen ydinvoimalaitokset*. Saatavissa: <https://www.stuk.fi/aiheet/ydinvoimalaitokset/suomen-ydinvoimalaitokset>. Viitattu 3.8.2022.

Tanskanen, J. 2021. *Entistä useampi suomalainen tekee rahaa täysin uudella tavalla – aurinkopaneelien kysyntä on räjähtänyt niin, ettei tuotanto pysy enää perässä*. Helsinki: Yle-uutiset. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-12042996>. Viitattu 4.9.2022.

Teollisuuden Voima Oyj. 2022a. *Laitosyksiköt*. Saatavissa: <https://www.tvo.fi/tuotanto/laitosyksikot.html>. Viitattu 6.8.2022.

Teollisuuden Voima Oyj. 2022b. *OL1 ja OL2: Rakenne ja tekniset tiedot*. Saatavissa: <https://www.tvo.fi/tuotanto/laitosyksikot/ol1jaol2/rakennejateknisetiedot.html>. Viitattu 6.8.2022.

Teollisuuden Voima Oyj. 2022c. *Olkiluoto 3 -ydinvoimalaitosyksikön käyttöluvahakemus*. Saatavissa: <https://tem.fi/documents/1410877/2850909/K%C3%A4ytt%C3%B6luvahakemus>. Viitattu 11.7.2022.

Tilastokeskus. 2021. *Energia: Energian kokonaiskulutus*. Saatavissa: https://www.stat.fi/tup/suoluk/suoluk_energia.html. Viitattu 25.7.2022.

Tilastokeskus. 2019. *Energian hankinta ja kulutus*. Saatavissa: https://www.stat.fi/til/ehk/2019/ehk_2019_2020-12-21_kuv_004_fi.html. Viitattu 19.7.2022.

Tilastokeskus. 2022. *Kivihiihlen kulutus*. Saatavissa: https://www.stat.fi/til/kivih/2021/12/kivih_2021_12_2022-01-31_fi.pdf. Viitattu 23.6.2022.

Tilastokeskus. 2021. *Yli puolet Suomen sähköstä tuotettiin uusiutuvilla energialähteillä vuonna 2020*. Saatavissa: https://www.stat.fi/til/salatuo/2020/salatuo_2020_2021-11-02_tie_001_fi.html. Viitattu 20.9.2022.

Timonen, L. 2007. *Suomi on bioenergian suurvalta*. Saatavissa: https://www.stat.fi/artikkelit/2007/art_2007-04-18_004.html?s=0. Viitattu 1.6.2022.

Tuulivoimayhdistys. 2022. *Toiminnassa olevat ja puretut voimalat*. Saatavissa: <https://tuulivoimayhdistys.fi/tuulivoima-suomessa/toiminnassa-olevat-puretut>. Viitattu 21.6.2022.

Työ- ja elinkeinoministeriö. 2022. *Ilmasto- ja energiastrategia selontekona eduskuntaan – Strategia on toimintaohjelma, jolla saavutetaan hiilineutraalius 2035*. Saatavissa: <https://tem.fi/-/ilmasto-ja-energiastrategia-selontekona-eduskuntaan-strategia-on-toimintaohjelma-jolla-saavutetaan-hiilineutraalius-2035>. Viitattu 11.6.2022.

Vartiainen, E. 2020. *Vetytalous tulee – ennemmin tai myöhemmin*. Saatavissa: <https://www.for-tum.fi/tietoa-meista/blogi/forthedoers-blogi/vetytalous-tulee-ennemmin-tai-myohemmin>. Viitattu 3.9.2022.

Vattenfall. 2022. *Ydinvoima*. Saatavilla: <https://www.vattenfall.fi/sahkosopimukset/tuotantomuodot/ydinvoima/>. Viitattu 2.8.2022.

Vesivoiman luonto. 2022. *Vesivoimalat Suomessa*. Saatavissa: <https://www.vesivoiman-luonto.org/fi/vesivoima-suomessa/vesivoimalat/>. Viitattu 5.6.2022.

Ydinvoima. 2022. *Ydinvoiman ongelmat*. Saatavissa: <http://www.ydinvoima.fi/ongelmat/>. Viitattu 20.9.2022.

Ympäristö. 2014. *Fossiilisten polttoaineiden käyttö jatkuu, mutta on vähentynyt – Uusimaa*. Saatavissa: [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Ympariston_tilan_indikaattorit/Ilmastonmuutos_ja_energia/Fossiilisten_polttoaineiden_kaytto_jatku\(31560\)](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kartat_ja_tilastot/Ympariston_tilan_indikaattorit/Ilmastonmuutos_ja_energia/Fossiilisten_polttoaineiden_kaytto_jatku(31560)). Viitattu 1.9.2022.