



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Jonna Halenius

YDINVOIMAN JA MUIDEN ENER-  
GIAMUOTOJEN ROOLI JA JATKO-  
KEHITYSNÄKYMÄT PUHTAASSA  
ENERGIANTUOTANNOSSA

Tekniikka  
2024

## TIIVISTELMÄ

Tekijä	Jonna Halenius
Opinnäytetyön nimi	Ydinvoiman ja muiden energiamuotojen rooli ja jatkokehitysnäkymät puhtaassa energiantuotannossa.
Vuosi	2024
Kieli	suomi
Sivumäärä	47
Ohjaaja	Petri Saari

---

Opinnäytetyössä tutkitaan ydinvoiman ja muiden energiamuotojen roolia ja jatkokehitysnäkymiä puhtaassa energiantuotannossa ja miten ydinvoiman käyttö eroaa uusiutuvista energianlähteistä, eli tuuli-, vesi- ja aurinkovoimasta, niin taloudellisesti, tuottavuudessa sekä ympäristövaikutusten näkökulmasta.

Opinnäytetyössä katsotaan ensin, miten eri energiamuodot toimivat Suomessa ja miten ydinvoima on kehittynyt. Seuraavaksi tutkitaan miten ydinenergian taloudelliset kustannukset ja tulot eroavat uusiutuvien energiamallien kustannuksista ja tuloista. Tutkimuksissa on käytetty internetistä löytynyttä dataa ja sitä on vertailtu. Myös edellä mainittujen energiamuotojen ympäristövaikutuksia on tutkimuksessa vertailtu. Myöhemmin on myös tarkasteltu ydinvoiman kehitysnäkymiä ja siihen aineistona on käytetty Helsingin sanomien artikkelia ja yrityksen Steady Energy-kotisivuja.

Tutkimuksessa havaitaan, että ydinenergian kannattavuus on suuri. Ydinvoimalla voidaan tuottaa halpaa energiaa ympäri vuorokauden vuoden jokaisena päivänä. Ydinvoima on myös erittäin puhdasta energiaa ja puhtaudessaan hyvin verrattavissa uusiutuvien energioiden puhtauteen. Jokaisella energiamuodolla on myös ympäristövaikutuksia, hakkuita, kaivannoita sekä vedenpinnan nousua energian tuotannon mukaan, joista vähiten kuitenkin aurinkoenergialla. Tutkimuksessa tarkastellaan myös ydinvoiman kehitysnäkymiä, joista yksi on pienydinvoimalat. Pienydinvoimalat ovat noin pesukoneen kokoisia laitoksia, joita suunnitellaan käytettäväksi kaukolämmön tuottamiseen. Pienydinvoimala on huomattavasti halvempi ja nopeampi rakentaa kuin iso ydinvoimala.

---

Avainsanat Ydinenergia, ydinvoimalat, energiantuotanto, energiapolitiikka ja uusiutuvat energialähteet

## ABSTRACT

Author	Jonna Halenius
Title	The Role of Nuclear Power and Other Forms of Energy and Their Future Development Prospects in Clean Energy Production.
Year	2024
Language	Finnish
Pages	47
Name of Supervisor	Petri Saari

---

In this thesis, the role and future development prospects of nuclear power and other forms of energy in clean energy production are examined, as well as how the use of nuclear power differs from renewable energy sources, such as wind, water, and solar power, from economic, productivity, and environmental impact perspectives.

Initially, the thesis reviews how different forms of energy operate in Finland and how nuclear power has evolved. Next, it explores how the economic costs and revenues of nuclear energy differ from those of renewable energy models. Research has used data found on the internet and compared it. The environmental impacts of the forms of energy were compared in the study. Later, the prospects for nuclear power development were also examined using materials from an article in Helsingin Sanomat and the website of the company Steady Energy.

The study finds that nuclear energy is highly profitable. Nuclear power can produce cheap energy around the clock, every day of the year. It is also exceptionally clean energy, comparable in purity to renewable energies. However, every energy form has environmental impacts, such as logging, excavations, and rising water levels, depending on the production of energy, with solar energy having the least impact. The study also investigates the prospects for nuclear power, including small modular reactors (SMRs). SMRs are about the size of a washing machine and are being designed for use in district heating. A small modular reactor is significantly cheaper and quicker to build than a large nuclear power plant.

---

Keywords	Nuclear energy, nuclear power plants, energy production, energy policy, and renewable energy sources.
----------	---

# Sisällys

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

<b>KUVIO- JA TAULUKKOLOUETTELO .....</b>	<b>6</b>
<b>1 JOHDANTO .....</b>	<b>8</b>
<b>2 ENERGIATUOTANNON VAIHTOEHDOT .....</b>	<b>9</b>
<b>2.1 Ydinvoima .....</b>	<b>9</b>
<b>2.3 TUULIVOIMA.....</b>	<b>13</b>
<b>2.4 Vesivoima.....</b>	<b>16</b>
<b>2.5 Aurinkovoima .....</b>	<b>17</b>
<b>3 YDINVOIMAN HISTORIA .....</b>	<b>18</b>
<b>4 KUSTANNUKSET.....</b>	<b>19</b>
<b>4.1 Ydinvoiman kustannukset.....</b>	<b>19</b>
<b>4.2 Tuulivoiman kustannukset.....</b>	<b>19</b>
<b>4.3 Aurinkovoiman kustannukset.....</b>	<b>20</b>
<b>4.4 Vesivoiman kustannukset .....</b>	<b>21</b>
<b>5 SÄHKÖN TUOTTAVUUS .....</b>	<b>22</b>
<b>6 YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET .....</b>	<b>27</b>
<b>6.1 Uusiutuvan energian ympäristövaikutukset .....</b>	<b>27</b>
<b>6.2 Uraanin louhinnan ja rikastamisen ympäristövaikutukset.....</b>	<b>29</b>
<b>6.3 Ydinjätteen käsittely .....</b>	<b>31</b>
<b>7 PIENYDINVOIMALAT.....</b>	<b>34</b>
<b>7.1. Pienydinvoimaloissa käytetty tekniikka ja tulevaisuus .....</b>	<b>35</b>

<b>7.3 Pienydinvoimalan ympäristövaikutukset.....</b>	<b>37</b>
<b>7.4 Markkinat Suomessa .....</b>	<b>37</b>
<b>7.5 Pienydinvoima maailmanlaajuisesti.....</b>	<b>37</b>
<b>8 Yhteenveto ydinvoiman ja uusiutuvien energiamuotojen eduista ja haitoista .....</b>	<b>39</b>
<b>9. JOHTOPÄÄTÖKSET.....</b>	<b>42</b>
<b>LÄHTEET .....</b>	<b>43</b>

## KUVIO- JA TAULUKKOLOUETTELO

<b>Kuva 1.</b> Yleinen suhtautuminen ydinenergiaan energianlähteenä. (Energia.fi ruutukaappaus)	9
<b>Kuva 2.</b> Yleinen suhtautuminen ydinenergiaan energianlähteenä. (Energia.fi ruutukaappaus)	10
<b>Kuva 3.</b> poikkileikkaus Olkiluoto 1 ja 2 ydinvoimaloista. (TVO ruutukaappaus)	11
<b>Kuva 4.</b> Lista ydinvoimalan osista. (TVO ruutukaappaus)	11
<b>Kuva 5.</b> Aloitetut ydinvoimalan rakennusprosessit. (IEA ruutukaappaus)	12
<b>Kuva 6.</b> Ydinvoiman tuottaminen maittain. (PRIS IAEA ruutukaappaus)	13
<b>Kuva 7.</b> Voimalaitoksen konehuone. (Motiva ruutukaappaus)	14
<b>Kuva 8.</b> Tuulisähkön vuosittainen tuotanto. (Suomen tuulivoimayhdistys ruutukaappaus)	15
<b>Kuva 9.</b> Asennettujen voimaloiden keskimääräinen koko. (Suomen tuulivoimayhdistys ruutukaappaus)	15
<b>Kuva 10.</b> Poikkileikkaus vesivoimalasta. (Vesivoiman luonto ruutukaappaus)	16
<b>Kuva 11.</b> Aurinkopaneelien toimintaperiaate. (Aurinkopaneelit omakotitaloon ruutukaappaus)	17
<b>Kuva 12.</b> Ydinvoimalla sytytetyt lamput. (Historia net ruutukaappaus)	18
<b>Kuva 13.</b> Tuulivoimalan pääkomponentit ja rakenne. (Motiva ruutukaappaus)	20
<b>Kuva 14.</b> Suomen suurin aurinkovoimala. (Onninen ruutukaappaus)	23
<b>Kuva 15.</b> Sähkön tuotanto Suomessa. (Kemijoki.fi ruutukaappaus)	24
<b>Kuva 16.</b> Uraanin avolouhos Nigeriassa. (Ydinvoima. fi ruutukaappaus)	30
<b>Kuva 17.</b> AI:n luoma kuvituskuva. (Microsoft designer)	31
<b>Kuva 18.</b> Ydinjätteen varastointi. (Lincolshireworld ruutukaappaus)	33
<b>Kuva 19.</b> Poikkileikkaus pienydinvoimalasta. (LDR-reactor ruutukaappaus)	35
<b>Kuva 20.</b> Mallinnus pienydinvoimalasta. (LDR-reaktori ruutukaappaus)	36
<b>Taulukko 1.</b> Vesivoimalan rakennuskustannukset. ....	21
<b>Taulukko 2.</b> Suomen sähköntuotanto. ....	25
<b>Taulukko 3.</b> Sähkön kulutus Suomessa. ....	26

<b>Taulukko 4.</b> Energiamuotojen EROI-arvot.....	28
<b>Taulukko 5.</b> Energiamuotojen tilastotietoa.....	39

## 1 JOHDANTO

Työn tarkoituksena on verrata ydinvoimaa uusiutuvien energialähteiden kuten tuulivoimaloiden, aurinkovoimaloiden ja vesivoimaloiden kanssa. Työssä esitellään ensin jokainen energiantuotantomuoto, mikä jälkeen käydään läpi ydinvoiman historiaa.

Työssä katsotaan myös, miten ihmiset suhtautuvat ydinvoimaan Suomessa ja miten suhtautuminen on muuttunut vuosien aikana. Ydinvoimaa pidetään hyvänä energianlähteenä ja hyvänä tapana vähentää hiilidioksidipäästöjä.

Työssä vertaillaan myös ydinenergiaa uusiutuviin energialähteisiin tuuli-, -vesi- ja aurinkoenergia. Työn tarkoituksena on huomioida ydinvoiman roolia puhtaassa energiantuotannossa vaikkei ydinenergia ole uusiutuva energiamuoto. Työssä havainnoidaan ja vertaillaan ydinenergiaa taloudellisesti, tuottavuuden kannalta sekä ympäristövaikutuksia, mitä eri energiamuodoilla on.

Työn lopussa kerrotaan ydinvoiman kehitysnäkymistä, joista yksi on pienydinvoimalat. Tällä hetkellä pienydinvoimaloita suunnitellaan kaukolämmön tuotantoon, mutta tulevaisuudessa kaukolämmön tuottamiseen käytettäisiin ennusten mukaan vain 10 % kaikista pienydinvoimaloista. Suurin käyttö olisi joko vihreän vedyn, taikka metallitehtaiden käytössä.



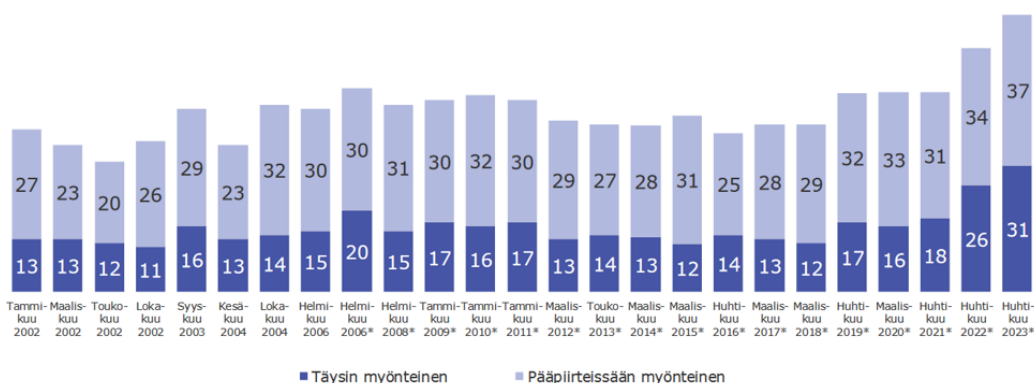
## 2 ENERGIATUOTANNON VAIHTOEHDOT

Työssä tutkitaan neljää eri energiantuotannon vaihtoehtoa; ydin-, tuuli-, vesi- ja aurinkovoimaa.

### 2.1 Ydinvoima

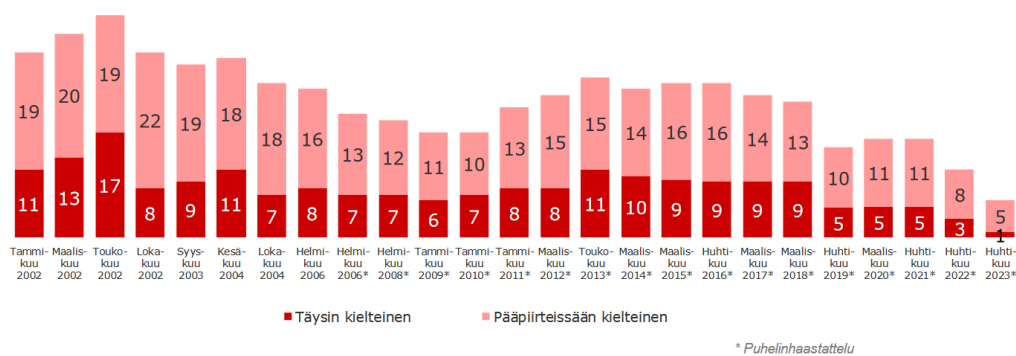
Suomessa on käytössä viisi ydinvoimalareaktoria, kaksi niistä on Loviisassa ja kolme on Olkiluodossa. Vuonna 2023 Suomen koko sähköntuotannosta tuotettiin ydinvoimalla 40 %. Ydinvoimasta on Suomessa saatu myönteisiä kokemuksia, sillä voimalaitokset ovat toimineet vuosikymmeniä turvallisesti ja niiden käyttökertoimet ovat maailman huippua. <sup>1</sup>

Vuonna 2023 Energiateollisuus ry teetti kyselyn Kantae Publicilla, mistä selvisi, että jopa 68 % suomalaisista suhtautuu ydinvoimaan myönteisesti ja vain 6 % kielteisesti ja ydinvoiman kannatus on näin korkeimmillaan koko mittaus historian aikana. Kannatusta on mitattu yhtäjaksoisesti vuodesta 1983. Kuvassa 1 on kuvattuna puhelinhaastattelujen pohjata koottu kysely, missä on selvitetty ihmisten yleistä suhtautumista ydinvoimaan energialähteenä. Tummempi sininen kuvaa täysin myönteistä suhtautumista ja vaaleansininen kuvaa pääpiirteittäin myönteistä suhtautumista. Kuvan kysely on tehty vuosien 2002–2023 välillä, haastatteluja on tehty yhteensä 1 002 kpl. Kuvasta voidaan huomata, että kyselyn alussa kannatus on vaihdellut, mutta viime vuosina kannatus on selkeästi ollut noususuhtainen.



**Kuva 1.** Yleinen suhtautuminen ydinenergiaan energialähteenä. (Energi.fi ruutukaappaus)

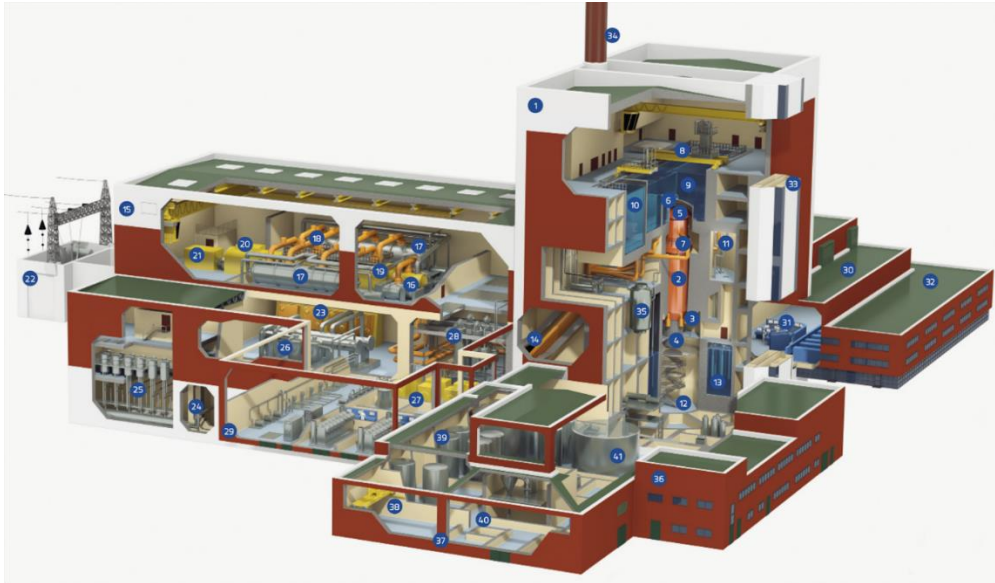
Kuvassa 2 on esitettyä sama kyselyn täysin kielteiset, taikka pääpiirteissään kielteiset vastaukset suhtautumisesta ydinvoimaan. Punaisella on kuvattu täysin kielteistä suhtautumista ja vaaleanpunaisella on kuvattu pääpiirteittäin kielteistä suhtautumista ydinvoimaan energianlähteenä. Tästä kuvasta voidaan huomata myös, että täysin- tai pääpiirteittäin kielteinen suhtautuminen ydinvoimaan on laskenut viimevuosien aikana. Kuvan pylvädiagrammi on vuosien 2002–2023 väliseltä ajalta. <sup>2</sup>



**Kuva 2.** Yleinen suhtautuminen ydinenergiaan energianlähteenä. (Energia.fi ruutukaappaus)

Suomessa on myös kiinnostuttu pienydinvoimaloista ja useita reaktorihankkeita on käynnissä ja ensimmäisten olisi tarkoitus valmistua 2020-luvun lopulla. Pienreaktoreiksi kutsutaan yleensä laitoksia, joiden teho on alle 300 MWe. Laitosten koot vaihtelevat 50 MW— 400 MWe ja keskisintä koon sijaan onkin modulaarisuus sekä sarjavalmistettavuus. Sarjavalmistettavuus tarjoaa aikataulu- ja kustannushyötyjä.

Suomessa on kolmen tyyppisiä ydinvoimaloita: Loviisan ydinvoimalayksiköt ovat venäläisvalmisteisia VVER-440-tyyppisiä painevesireaktoreita ja Olkiluoto 1 ja 2 reaktorit ovat ruotsalaisvalmisteisia BWR-75-tyyppisiä kiehutusvesireaktoreita. Olkiluoto 3 on EPR-tyyppinen painevesireaktori. Loviisan ja Olkiluodon ydinvoimalat rakennettiin 1970–1980-luvuilla ja niiden tehoja on myöhemmin lisätty. <sup>3</sup> Kuvassa on Olkiluoto 1 ja 2 laitosten poikkileikkauskuva, mistä voidaan havaita ydinvoimalan monimutkaisuus. Kuvaan on myös numeroitu voimalan osat.



**Kuva 3.** poikkileikkaus Olkiluoto 1 ja 2 ydinvoimaloista. (TVO ruutukaappaus)

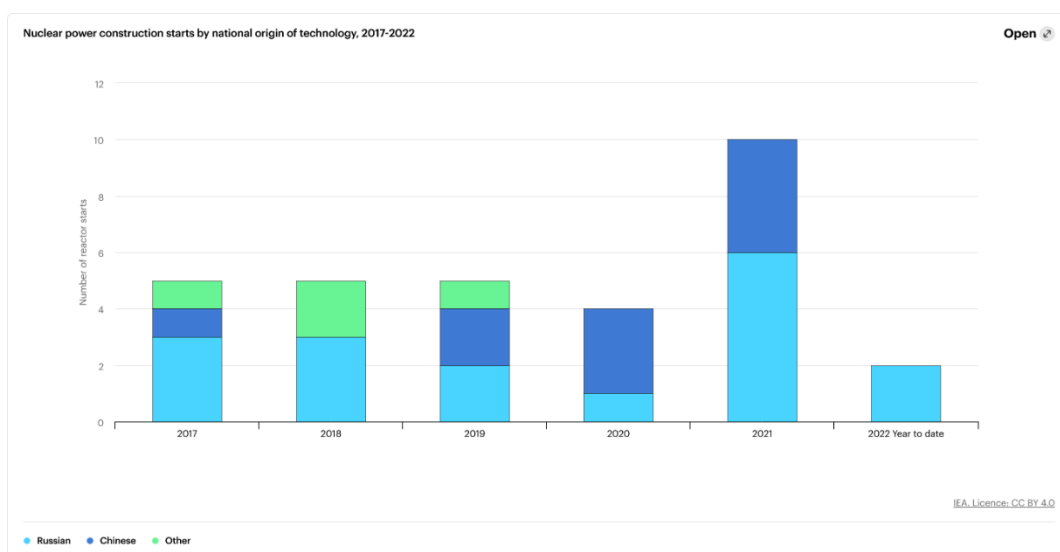
Kuvassa 4 on ydinvoimalan osien selitykset numeroittain.

1. Reaktorirakennus	22. Päämuuntaja
2. Reaktoripaineastia	23. Lauhdutin
3. Pääkiertopumput	24. Lauhdeputket
4. Säätosauvojen toimilaitteet	25. Lauhteen puhdistus
5. Reaktoripaineastian kansi	26. Matalapaine-esilämmittimet
6. Suojarakennuksen kupoli	27. Syöttövesipumput
7. Päähöyryputket	28. Korkeapaine-esilämmittimet
8. Polttoaineen siirtokone	29. Apurakennus
9. Reaktoriallas	30. Valvomorakennus
10. Polttoaineallas	31. Valvomo
11. Suojarakennuksen ylempi kuivatila	32. Sisäänkulku-/toimistorakennus
12. Suojarakennuksen alempi kuivatila	33. Hissi
13. Suojarakennuksen lauhdutusallas	34. Ilmastointipiippu
14. Päähöyryputket	35. SAM-suodatin (suojarakennuksen suodatettu paineenalennusjärjestelmä)
15. Turbiinirakennus	36. Aktiivikorjaamo-/laboratoriorakennus (vain OL1)
16. Korkeapaineturbiini	37. Jäterakennus
17. Välitulistin	38. Matala- ja keskiaktiivisen jätteen varasto
18. Höyryputket matalapaineturbiineille	39. Nestemäisen jätteen säiliöt
19. Matalapaineturbiinit	40. Keskiaktiivisen jätteen käsittely
20. Generaattori	41. Lisävesisäiliö
21. Magnetointikone	

**Kuva 4.** Lista ydinvoimalan osista. (TVO ruutukaappaus)

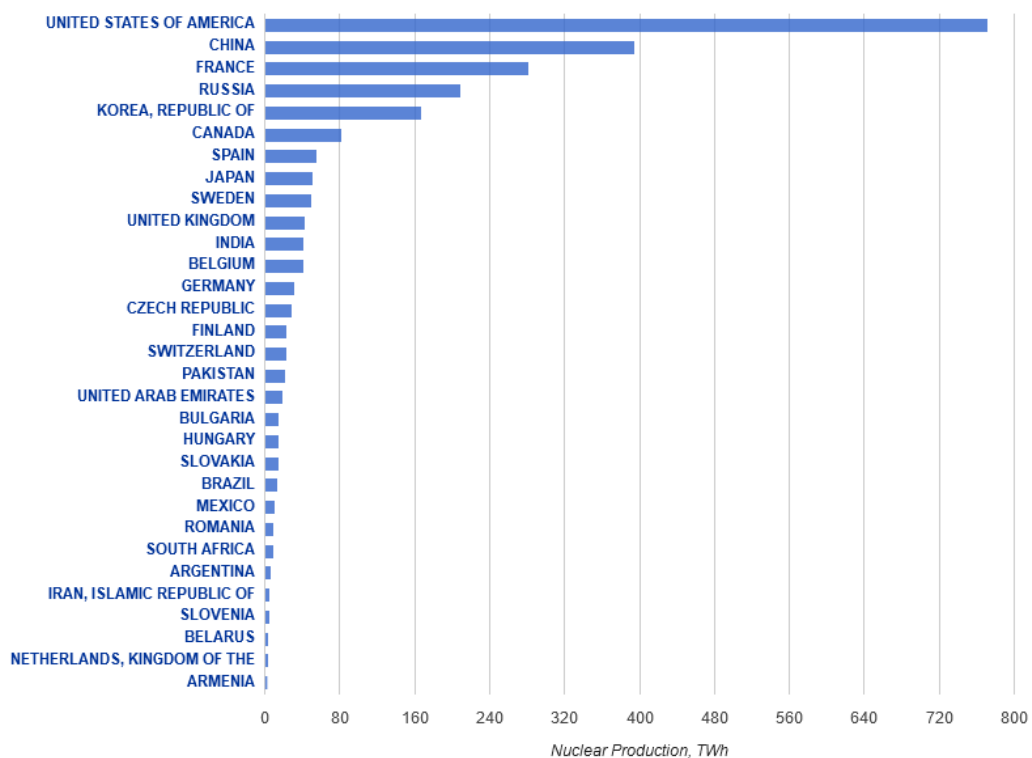
## 2.2 YDINVOIMA MAAILMALAAJUISESTI

Ydinvoimaloita on 32 eri maassa ja toimii 413 gigawatin (GW) kapasiteetilla. Suurin osa aloitetuista ydinvoimalan rakennusprojekteista on Venäjällä ja Kiinassa, kuten kuvasta 5 voidaan havaita. Vaaleansininen kuvaa Venäjää ja tumman sininen kuvaa Kiinaa. Vihreä kuvaa muita maita. <sup>4</sup>



**Kuva 5.** Aloitetut ydinvoimalan rakennusprosessit. (IEA ruutukaappaus)

Kuvasta 6 voidaan huomata, että ydinvoimaa tuotetaan eniten Yhdysvalloissa ja vuonna 2022 siellä tuotettiin ydinvoimalla 772 TWh energiaa. Toisena tulee Kiina, missä ydinvoimalla tuotettiin vuonna 2022 395 TWh energiaa. Kolmanneksi eniten ydinvoimaa tuotetaan Ranskassa missä vuonna 2022 tuotettiin 282 TWh energiaa.



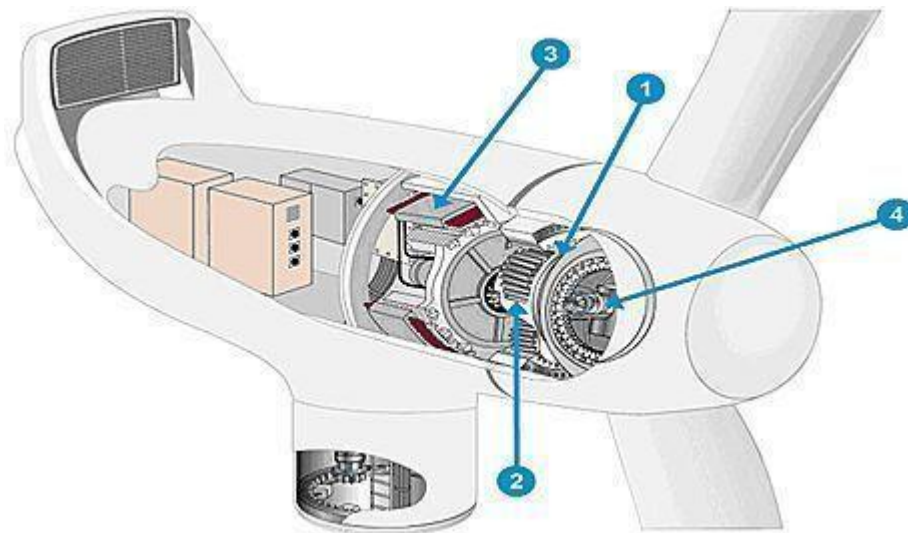
**Kuva 6.** Ydinvoiman tuottaminen maittain. (PRIS IAEA ruutukaappaus)

Maailmalla on tapahtunut myös vakavia onnettomuuksia, kuten vuonna 2011 Fukushima-Daiichi-voimalaitoksen vaurioituminen maanjäristyksessä <sup>6</sup> ja Tšernobylin ydinvoimalan pieleen mennyt testaus ja räjähdys vuonna 1986.<sup>7</sup> Onnettomuusriskit ovatkin yksi päätekijöistä ydinvoiman kieltämiselle tai sen käytön asteittaisen lopettamisen takana. Vaikka korkean tason ydinjätteen hävittämisessä on edistytty ja kolme maata on hyväksynyt sijoituspaikat, yleisen ja poliittisen hyväksynnän saaminen on ollut haastavaa. <sup>6</sup>

### 2.3 TUULIVOIMA

Tuulivoimassa tuotetaan sähköä tuulen liike-energian avulla. Tuuli pyörittää tuuliturbiinin roottoria, mikä muodostuu lavoista ja navasta ja näiden liike-energia muutetaan akselin pyörimisenergiaksi. Vaihdelaatikon kautta voima siirtyy turbiiniakselista tornin yläosassa olevaan generaattoriin, joka tuottaa sähköä. Tuulivoimalla pystytään muuttamaan energiaksi noin kolmasosa roottoriin osuvien tuulien voimasta. Kuvassa 7 konehuoneen osa 1 on 3-rivilaakeri mikä siirtää haitallisen kuormituksen kantavaan putkirakenteeseen. Osa 2 on

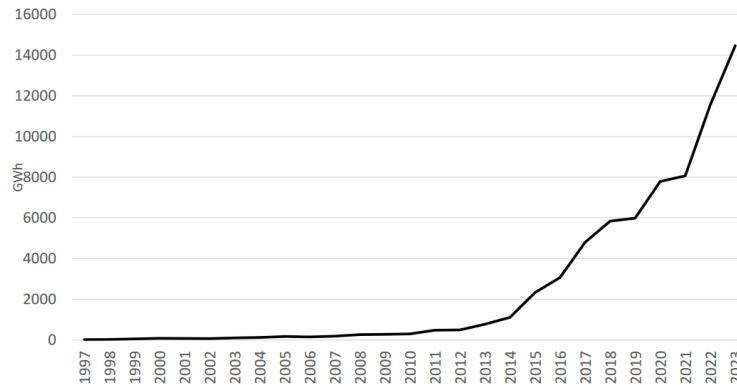
yksiportainen planeettavaihte, joka välittää voiman generaattorille. Osa 3 on generaattori ja osa 4 on kääntömoottori. <sup>8</sup>



**Kuva 7.** Voimalaitoksen konehuone. (Motiva ruutukaappaus)

Tuulivoiman rakentaminen Suomessa pääsi hyvään vauhtiin vuosina 2012 sekä 2013 sekä tuulivoiman osuus sähkön kulutuksessa on noussut. Suomeen on rakennettu vuoden 2023 loppuun mennessä yhteensä 1 601 tuulivoimalaa. Sähköä tuotetaan tuulivoimalla yhä enemmän ja enemmän ja myös asennettujen voimaloiden koko kasvaa vuosi vuodelta. Kuvasta 8 voidaan huomata, että tuulisähkön tuotanto on kasvanut rajusti vuodesta 2012 lähtien.

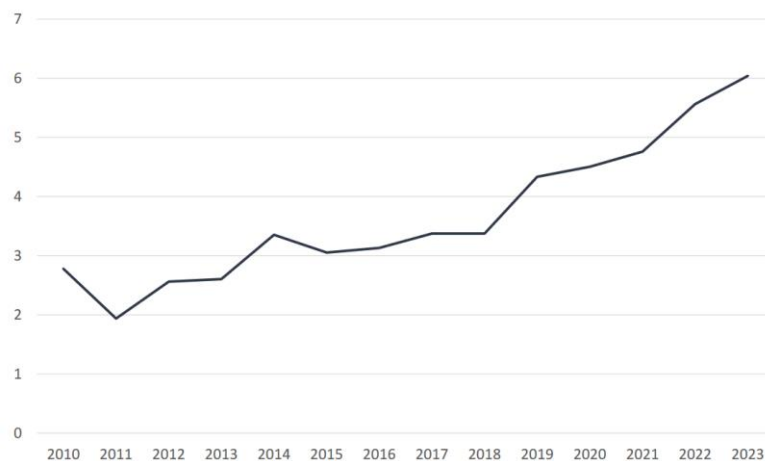
## Tuulisähkön vuosittainen tuotanto (GWh)



**Kuva 8.** Tuulisähkön vuosittainen tuotanto. (Suomen tuulivoimayhdistys ruutukaappaus)

Kuvasta 9 huomataan, että asennettujen voimaloiden keskimääräinen koko on ollut tasaisessa kasvussa vuoden 2011 putoamisen jälkeen. <sup>9</sup>

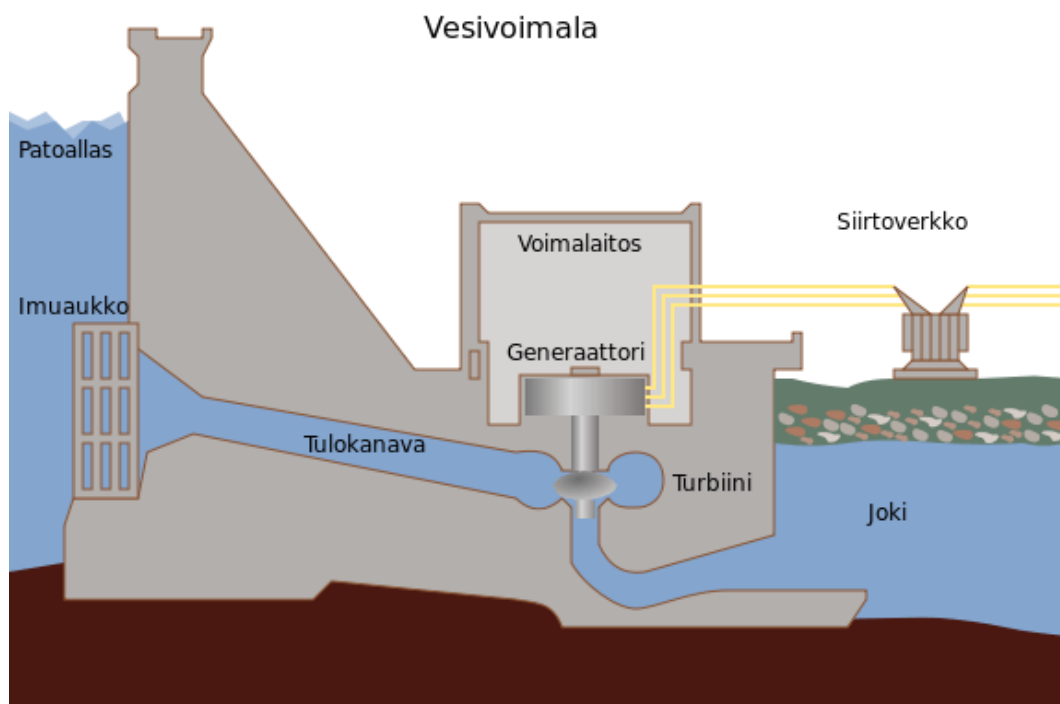
## Asennettujen voimaloiden keskimääräinen koko (MW)



**Kuva 9.** Asennettujen voimaloiden keskimääräinen koko. (Suomen tuulivoimayhdistys ruutukaappaus)

## 2.4 Vesivoima

Vesivoimalan toiminta perustuu vesialtaiden väliseen korkeuseroon. Putouskorkeus vaihtelee paljon, sillä vesiputous voi olla luonnollinen, tai patojen ja vesiteiden avulla useista koskijaksoista yhdistetty. Pienvesivoimaloissa tyypillisesti putouskorkeus on 2–3 metriä ja Suomessa isompienkin voimalaitosten putouskorkeus on kymmeniä metrejä.<sup>10</sup> Kun vesi johdetaan korkeammalta tasolta alemmalle tasolle turbiinin läpi, turbiini pyörittää generaattoria mistä virta ohjataan muuntajaan, mikä muuntaa sähkövirran verkkoon sopivaksi. Kuvassa 10 on vesivoimalan halkileikkauskuva, missä on myös nimettyä vesivoimalan eri osat.



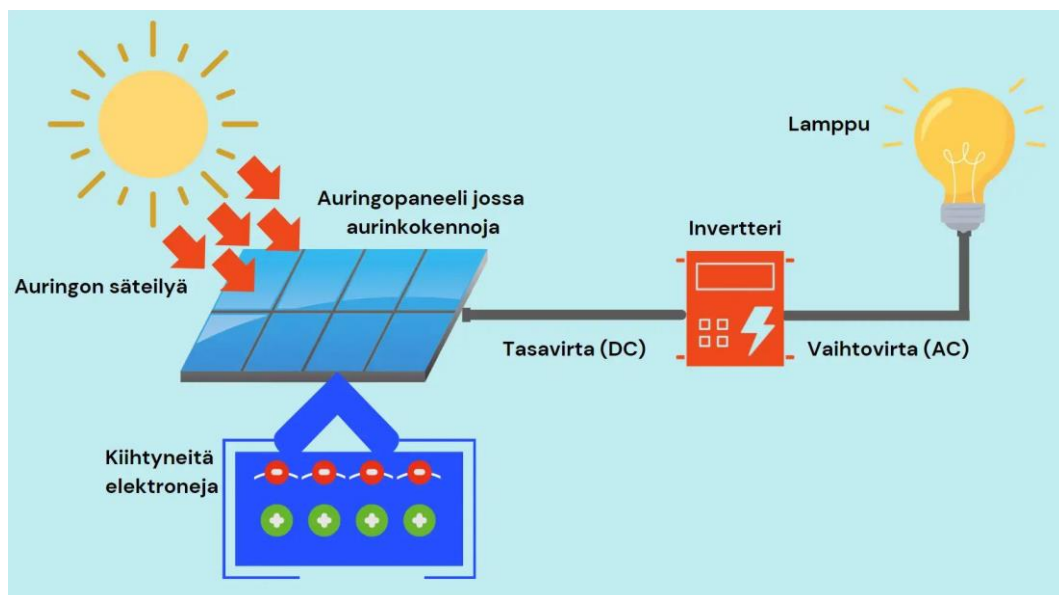
**Kuva 10.** Poikkileikkaus vesivoimalasta. (Vesivoiman luonto ruutukaappaus)

Vesivoiman käyttö mahdollistaa sen käytön perusenergiana sekä säätövoimana kysynnän mukaan tuotantoon. Vettä voidaan varastoida, silloin kun vettä on riittävästi ja sähkön kulutus on alhaista. Varastoitu vesi käytetään silloin kun sähkön kulutus on korkeimmillaan.<sup>11</sup>



## 2.5 Aurinkovoima

Aurinkosähkön toiminta perustuu auringon säteilyenergian muuttamiseen sähkövirraksi. Auringon säteilemä energia koostuu fotoneista ja osuessaan aurinkopaneeleihin fotonit imeytyvät puolijohdemateriaaleihin, kuten esimerkiksi piihin. Puolijohteet irrottavat elektroneita, joilla on negatiivinen varaus atomeistaan, jolloin elektronit pääsevät vapaasti virtaamaan puolijohteissa. Näin ollen elektronit muodostavat sähkövirtaa aurinkokennojen virtajohtimiin. Mitä suurempi on säteilyn intensiteetti, sitä enemmän elektroneja myös atomeista irtoaa. Tämän takia aurinkovoima tuottaa enemmän kesällä kuin talvella, sillä valoa on enemmän. <sup>12</sup> Kuvassa 11 on esitettyä yksinkertaistettuna versiona aurinkovoimaloiden toiminta.



**Kuva 11.** Aurinkopaneelien toimintaperiaate. (Aurinkopaneelit omakotitaloon ruutukaappaus)

Aurinkovoima on maailmanlaajuisesti nopeasti kasvava energiamuoto ja voimakkaan kasvun takana onkin tarve korvata uusiutumattomia energiamuotoja, sekä kysynnän suuri kasvu. Myös tekninen kehittäminen on vauhdittanut aurinkovoimaloiden määrän kasvua. <sup>13</sup>

### 3 YDINVOIMAN HISTORIA

Ajatus ydinvoiman tuottamisesta sai alkunsa vuonna 1932 kun fyysikko Ernest Rutherford huomasi, että litiumin halkaiseminen tuotti valtavan määrän energiaa. Tutkija Otto Hahn huomasi vuonna 1938, että uraanin halkeaminen tuotti huomattavasti enemmän energiaa, kuin uraanin palaminen.<sup>14</sup> Vuonna 1939 kemistit Otto Hahn ja Fritz Strassman löysivät fission pommittamalla uraania sisältävää liuosta neutroneilla. Hahn ja Strassman huomasivat, että liuokseen syntyi sellaisia aineita mitä liuoksessa ei ollut, mm. bariumia. Tämän ratkaisi vähän myöhemmin fyysikot Lise Meitner ja Otto Frisch, jotka huomasivat, että neutroni halkaisee uraaniytimen kahteen likimain yhtä suureen osaan.<sup>15</sup>

Ydinvoimalla kuitenkin tuotettiin ensimmäisen kerran sähköä vasta 20.12.1951, kun Yhdysvaltalainen EBR-laitos tuotti energiaa. Prosessissa syntyneellä sähköllä käynnistettiin neljä hehkulamppua. Alkuun tuotetun sähkön määrä oli vähäistä, mutta pian reaktorilla pystyttiin tuottamaan tarpeeksi sähköä Yhdysvalloissa koko Idahon autiomaassa sijainneelle voimalaitokselle.<sup>14</sup> Kuvassa 1 on kuvattuna kyseinen prosessi missä ydinvoiman tuottamalla sähköllä käynnistettiin neljä hehkulamppua.



**Kuva 12.** Ydinvoimalla sytytetyt lamput. (Historia net ruutukaappaus)

## 4 KUSTANNUKSET

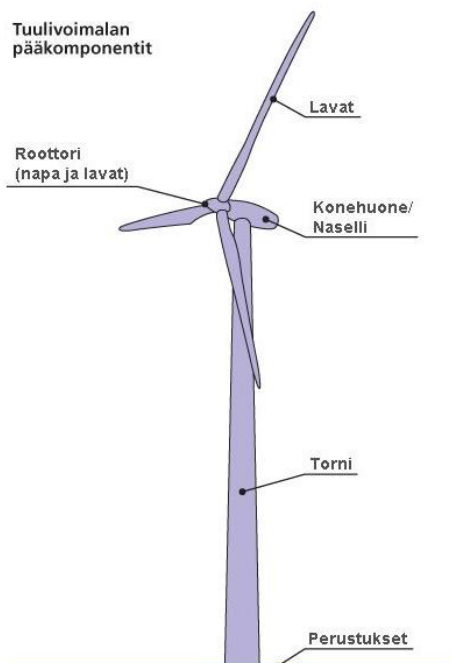
### 4.1 Ydinvoiman kustannukset

Ydinvoimalan rakentaminen on kallista muihin energiamuotojen rakentamiseen verrattuna ja hinta voi vaihdella 5:stä miljardista 20 miljardiin ja ylöspäin. Ydinvoimaa käytetään monessa maassa korvaamaan ympäristöä saastuttavaa hiilivoimaa. Tämä on myös uudistuvien energialähteiden tavoite. Monet maat haluavat tuottaa energiaa omaan käyttöön ja ydinvoima mahdollistaa noin 30 % tuoton maan sähköntarpeista.<sup>16</sup> Vaikka ydinvoimaloiden investoinnit ovat suuria, ovat käyttöajat myös pitkiä. Ydinvoimaloilla tuotetaan edullista energiaa, mikä perustuu laitoksen kykyyn tuottaa pienellä määrällä polttoainetta valtava määrä energiaa.<sup>3</sup>

### 4.2 Tuulivoiman kustannukset

Tuulivoimahankkeisiin on investoitu Euroopassa vuoden 2019 aikana yli 52 miljardia euroa. Tällä summalla saisi alustavasti rakennettua kaksi ydinvoimalaa. Maatuulivoimalan investointikustannukset ovat karkeasti laskettuna Suomessa noin 1,2–1,5 miljoonaa euroa megawattia (MW) kohden ja merelle rakennetuissa kustannukset nousevat 20–50 %.

Tuulivoimaloiden rakennuskustannukset koostuvat tyypillisesti 65–80 % rakentamisesta. Noin 13 % koostuvat maarakennustöiden, kuten perustusten, teiden sekä nosto- ja asennusalueiden kustannuksista. Sähkötöistä ja kaapeloinnista koostuu noin 8 % ja sähköverkkoon liittämiskustannuksista noin 6 %. Suunnittelusta ja valvonnasta koostuu 1 % ja vakuuttamisesta 1 %. Rahoituksen kustannukset ovat suuret, sillä ne voivat olla 30–40 % hankkeen tuotantokustannuksista.<sup>17</sup> Tuulivoimaloiden rakentaminen lisää hetkellisesti työpaikkoja, mutta voimalan valmistuttua, ei puistoon tarvita kuin yksi työntekijä käymään silloin tällöin. Tuulivoimalat aiheuttavat myös paljon eriäviä mielipiteitä puolesta ja vastaan. Kuvassa 13 näkyy tuulivoimala ja sen rakenne.



**Kuva 13.** Tuulivoimalan pääkomponentit ja rakenne. (Motiva ruutukaappaus)

Suomessa ydinvoimalat tuottavat yhteensä nettosähköä noin 4 394 MW, mikä on 1 964 MW enemmän kuin tuulivoimalla.<sup>17</sup> Ydinvoimaloissa tarvitaan myös paljon vakituisia työntekijöitä, eli ydinvoimala työllistää pidemmän päälle enemmän ihmisiä kuin tuulivoima.

#### 4.3 Aurinkovoiman kustannukset

Aurinkovoimalat ovat yleistyneet kotitalouksissa, sillä sähkön hinta on korkea ja tällä pyritään alentamaan kustannuksia sekä auttaa vihreässä siirtymässä. Aurinkovoimaloiden tuottoa voidaan ennustaa hyvin sääolosuhteiden mukaan, mikä tekee siitä luotettavan energiamuodon. Tosin sääolosuhteet eivät ole vakioita, mikä taas vaikuttaa siihen, ettei energian tuotto ole tasaista.

Aurinkovoimala hinta vaihtelee paljon suuruuden ja toimittajan mukaan, mutta kotitalouksien järjestelmät maksavat keskimäärin noin 8 000–15 000 €. <sup>18</sup> Suomen suurimman Kalajoella sijaitsevan aurinkovoimalan investointikustannukset olivat noin 8,7 miljoonaa euroa. <sup>19</sup>

#### 4.4 Vesivoiman kustannukset

Kansainvälisesti vesivoimalan hinta vaihtelee noin 200 000–1,8 miljoonaa euroa koon mukaan. Alla on taulukko 1 hinnoista ja lisäkustannuksista. <sup>20</sup>

**Taulukko 1.** Vesivoimalan rakennuskustannukset.

Maksimiteho	Arvioitu projektin kustannus	Euroa asennettua kilowattituntia kohden
25 kW	197 000 €	7 900
50 kW	350 000 €	7 007
100 kW	617 800 €	6 200
250 kW	1 093 100 €	4 400
500 kW	1,8 milj. €	3 700

Taulukosta näkee, että vaikka maksimiteholtaan suurempi voimalaitos maksaa enemmän rakennusvaiheessa, on se edullisempaa asennettuna kilowattituntia kohden.

## 5 SÄHKÖN TUOTTAVUUS

Ydinvoimalla tuotetaan kolmannes Suomen sähköstä ja ydinvoimalla tuotetaankin sähköä tasaisesti ympäri vuorokauden säästä riippumatta. <sup>3</sup>

Yksinomaan Olkiluodon ydinvoimalalla tuotettiin sähköä vuonna 2022 yhteensä 14,4 TWh. <sup>21</sup>

Tuulivoimaloita on Suomessa rakennettu ennätysmääräisesti noin 437 kpl, jotka tuottavat 2 430 megawattia (MW). <sup>22</sup>

Aurinkovoimaloissa on sähköntuotantokapasiteettia kokonaisuudessaan, pientalot mukaan lukien, sähköverkkoon kytkettynä noin 18 200 MW. Pientalojen aurinkopaneelihankinnat ovat olleet suuressa kasvussa, ja aurinkosähkötuotanto koostuukin melkein kokonaan pientuotantolaitteista. <sup>23</sup>

Alla kuvassa 14 on Suomen suurin aurinkovoimala Kalajoella. Voimala tuottaa sähköä valtakunnan verkkoon 13 megawatin maksimiteholla. Paneeleita alueella on 24 000. Suomessa on rakennettu tyypillisesti pienen mittakaavan aurinkovoimaloita, jotka tuottavat alle 10 MW. <sup>24</sup>

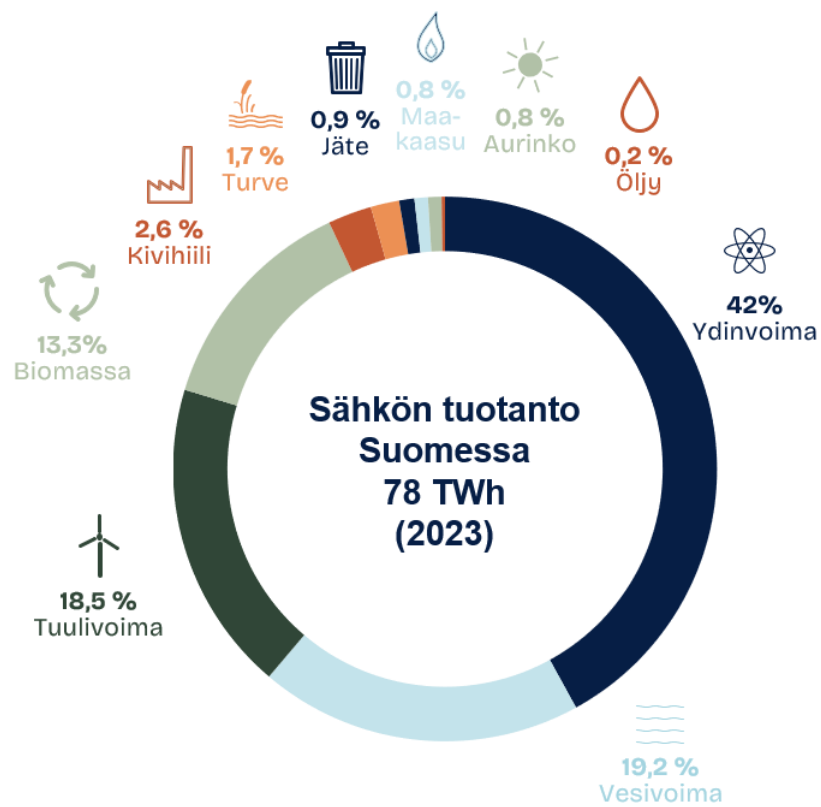
Vertailun vuoksi Olkiluoto 3:n nettoteho on noin 1 600 MW.



**Kuva 14.** Suomen suurin aurinkovoimala. (Onninen ruutukaappaus)

Vesivoimalla tuotetaan Suomessa vuosittain noin 13 000 gigawattituntia (GWh) sähköä ja vesivoimalla tuotetaan noin kolmannes Suomen energiasta. Vesilaitokset voidaan käynnistää ja pysäyttää nopeasti sekä niiden tehoa voidaan säätää sähkön kulutuksen mukaan. Vesivoiman tuotantoa voidaan myös muokata tarpeen mukaan, esimerkiksi pilvisinä päivinä se voi täydentää aurinkovoimaa ja tyynellä säällä tuulivoimaa. Vesivoiman tuottavuutta pystytään säätämään sekuntiaikataululla, joka näin ollen mahdollistaa nopean tuotannon hätätilanteissa. <sup>25</sup>

Kuvassa 15 on kuvattu vuoden 2023 energiantuotantoa ja miten se on jakautunut eri osa-alueisiin. Kuvasta voidaan huomata, että ydinvoima tuotti vuonna 2023 suurimman osan, eli 42 % Suomen energiasta. Seuraavaksi eniten tuotti vesivoima, mikä oli 19,2 % koko energiasta. Tuulivoima ei jäänyt kauaksi tästä ja tuotti 18,5 %. Aurinkovoima tuotti vain 0,8 % Suomen kokonaisenergiatuotannosta, mikä öljyn jälkeen on yksi huonoimmista. <sup>26</sup>



**Kuva 15.** Sähkön tuotanto Suomessa. (Kemijoki.fi ruutukaappaus)

Tilastokeskuksen taulukko sähkön hankinnasta ja kokonaiskulutuksesta vuodelta 2022 kertoo, että ydinvoimalla tuotetaan eniten energiaa. Seuraavana on vesi- ja tuulivoima ja viimeisenä aurinkovoima.



**Taulukko 2.** Suomen sähköntuotanto.

Tuotantovoima	GWh	%
Ydinvoima	24 242	29,7
Vesivoima	13 337	16,3
Tuulivoima	11 560	14,2
Aurinkovoima	392	0,5
Nettotuonti	12 518	15,3
Muu lämpövoima	19 611	24,0
Yhteensä	81 660	100

Taulukosta nähdään, että ydinvoimalla tuotetaan Suomessa eniten sähköä ja melkein 30 % Suomen sähköntuotannosta tuotetaan ydinvoimalla.

Tilastokeskuksen taulukosta, taulukko 3 vuodelta 2022 voidaan huomata mitkä osa-alueet käyttävät eniten sähköä.

**Taulukko 3.** Sähkön kulutus Suomessa.

Kokonaiskulutus	GWh	%
Teollisuus ja rakentaminen	36 116	44,2
Kotitaloudet ja maatalous	23 963	29,3
Palvelut ja julkinen kulutus	18 764	23,0
Siirto ja jakeluhäviöt	2 816	3,4
Yhteensä	81 660	100

Taulukosta 3 nähdään, että kokonaiskulutuksessa teollisuus ja rakentaminen kuluttavat sähköä eniten Suomessa.

## 6 YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

Ydinvoiman suurimmat ympäristövaikutukset liittyvät laitoksen rakentamiseen, polttoaineen hankintaan ja käytön aikana mereen johdetun jäähdytysveden lämpökuormituksesta. Näistä merkittävin ympäristöongelma on jäähdytysveden aiheuttama merien lämpökuormitus.

Ydinvoima on tehokas tapa tuottaa sähköä vähillä ympäristövaikutuksilla ja sillä pystytään tuottamaan sähköä ympäri vuorokauden. Kun tarkastellaan koko tuotannon elinkaarta, on ydinvoiman ilmastovaikutukset verrattavissa tuuli-, aurinko- ja vesivoimaan.<sup>27</sup>

Ydinvoima ei tuota hiilidioksidia (CO<sub>2</sub>) ilmakehään, joten sitä pidetään ilmastoystävällisenä energiantuottamismallina. Ydinvoimala vapauttaa ilmaan vesihöyryä, mikä syntyy prosessissa. Ydinvoimalan toiminnasta syntyy myös radioaktiivista jätettä, mikä loppusijoitetaan syvälle peruskallioon. Suomessa loppusijoituksesta vastaa Posiva Oy.<sup>28</sup>

### 6.1 Uusiutuvan energian ympäristövaikutukset

Tuulivoiman ympäristövaikutukset liittyvät yleisesti ääneen, maiseman muutokseen, lapojen aiheuttamaan välkkeeseen sekä mahdollisiin haittoihin luonnon eliöstölle, kuten linnuille ja kaloille. Tuulivoimalat voivat myös aiheuttaa häiriötä tutkayhteyksiin sekä radio- ja TV-verkkoihin.<sup>29</sup>

Tuulivoima on kuitenkin päästötöntä energiaa, mikä ei saastuta ilmaa, vettä eikä maaperää. Tuulivoimaloiden kuljettamisen ja rakentamisen aikaiset hiilidioksidipäästöt ovatkin noin 10 g/ kWh.<sup>30</sup>

Vesivoiman ympäristövaikutukset ovat merkittävimmät patojen sekä säännöstelyaltaiden rakennusvaiheessa. Padot vaikuttavat kalakantoihin sekä kalastukseen, sillä ne estävät kalojen ja muiden eliöiden kulkemisen vesistöissä. Vesivoiman tuotannaikaiset ympäristövaikutukset liittyvät taas säännöstelyyn, mikä aiheuttaa pinnan korkeuden muutosta. Pinnan korkeuden vaihtelulla voi olla vaikutusta vesiluonnolle, linnustolle sekä virkistystoiminnalle.<sup>31</sup>

Aurinkoenergian tuotantoalueen merkittävimmät ympäristövaikutukset liittyvät suuren pinta-alan tarpeen lisäksi suurjännitejohtoihin, mikäli kyse on aurinkosähköstä sekä mahdollisesti lämmönsiirtoputkiin, jos kyse on aurinkolämmöstä.<sup>32</sup>

Alla olevassa taulukossa on ilmoitettu kaikkien tarkasteltavien energiamuotojen EROI-arvot. EROI eli Energy return on investment kertoo, paljonko energiajärjestelmän valmistus, ylläpito ja purkaminen kuluttavat energiaa suhteessa järjestelmän elinkaaren aikana tuotettuun energian määrään. EROI voidaan laskea kaavalla  $R = E_R / E_I$ , missä  $E_I$  = investoitu energia,  $E_R$  = tuotetun energian määrä ja  $R = EROI$ . Mikäli tunnusluku  $R$  on suurempi kuin 1, laitteisto tuottaa tällöin elinkaarensa aikana enemmän energiaa kuin kuluttaa.

**Taulukko 4.** Energiamuotojen EROI-arvot.

Energiamuoto	EROI-luku
Ydinvoima	75/1
Tuulivoima	16/1
Aurinkovoima	10/1
Vesivoima	11/1

Taulukosta voidaan huomata, että ydinvoimalla on suurin EROI-arvo, kun taas aurinkovoimalla on pienin. Kaikki energiamuodot kuitenkin tuottavat moninkertaisesti sen määrän energiaa, mitä laitteisto kuluttaa elinkaarensa aikana. EROI-arvot eivät kylläkään yksinään ole luotettava mittari eri energialähteiden vertailuun, mutta siitä saa hyvän yleiskuvan. EROI-arvoihin vaikuttaa joillakin energian tuotantomuodoilla sijainti sekä sääolosuhteet. EROI-luku on vain yksi mittari energiatuotannon ympäristöystävällisyyttä arvioitaessa,

eikä siinä ole huomioitu elinkaaren aikana koituvia kasvihuonepäästöjä tai vesistön saastumisia.<sup>23</sup>

## **6.2 Uraanin louhinnan ja rikastamisen ympäristövaikutukset**

Ydinvoimaloiden polttoaineena toimii uraani, mikä ei ole uusiutuva luonnonvara ja sitä pitää louhia. Kaikki kaivostoiminta on jossain määrin haitallista ja tuhoisaa ympäristön kannalta. Ongelmia tulee myös siitä, että luonnon uraani on myös jossain määrin radioaktiivista ja myrkyllistä sellaisenaan. Usein uraani myös rikastetaan alueella, jolloin alueelle jää suuria määriä saastunutta mutaa ja vettä.

Uraanin suurimmat tuottajat ovat järjestyksessä Kazakstan, Kanada, Australia ja Nigeria. Uraania voidaan louhia niin avolouhoksessa, tunnelikaivoksessa kuin liuotusuuttohihnalla. Uraanikaivoksien tuottamaa vaarallista jätettä on kahden laista, kivi- ja hiekkajäte, mikä varastoidaan korkeiksi kasoiksi aiheuttaen romahtamisriksin. Jätekivi myös sisältää 85 % uraanimalmin radioaktiivisuudesta sekä raskasmetalleja, kuten arsenikkia, kadmiumia ja lyijyä. Malmin uraanipitoisuus on pieni, joten 99 % malmin sisältämästä kiviaineesta jää kaivosalueelle jätteenä. Radioaktiivinen liete on vaarallisen jätteen toinen muoto. Lietettä syntyy, kun uraani erotetaan kiviaineesta rikkihapolla. Kuvassa 16 on uraanin avolouhos Nigeriassa. Kuten voidaan huomata, jättemaata on kasattu alueelle paljon.



**Kuva 16.** Uraanin avolouhos Nigeriassa. (Ydinvoima. fi ruutukaappaus)

Uraanikaivosten jätteiden pitäisi pysyä kaivostoimintaan varatun alueen sisäpuolella, mutta näin ei läheskään aina ole. Jätettä joutuu eroosion ja sadevesien mukana vesistöihin ja mahdollisesti pohjavesiin. Uraanin louhiminen ja rikastaminen eivät siis ole ympäristöystävällisiä tapoja, mutta haitat ovat pieniä. Uraania suuremman ympäristöriskin kuitenkin muodostavat erilaiset raskasmetallit sekä kemikaalit.<sup>34</sup>

Kuvassa 17 on AI:n luoma kuvituskuva sadevesien valumisesta pohjavesiin kaivosalueella.



**Kuva 17.** AI:n luoma kuvituskuva. (Microsoft designer)

### 6.3 Ydinjätteen käsittely

Ydinjäte on radioaktiivista jätettä ja radioaktiivisille jätteille on tyypillistä, ettei niitä voida hävittää, vaan ne tulee eristää mahdollisimman hyvin ja luotettavasti elinympäristöstä. Radioaktiiviselle jätteelle on myös tyypillistä, että aktiivisuus vähenee itsestään radioaktiivisen hajoamisen kautta ja jätteiden eristämiseksi

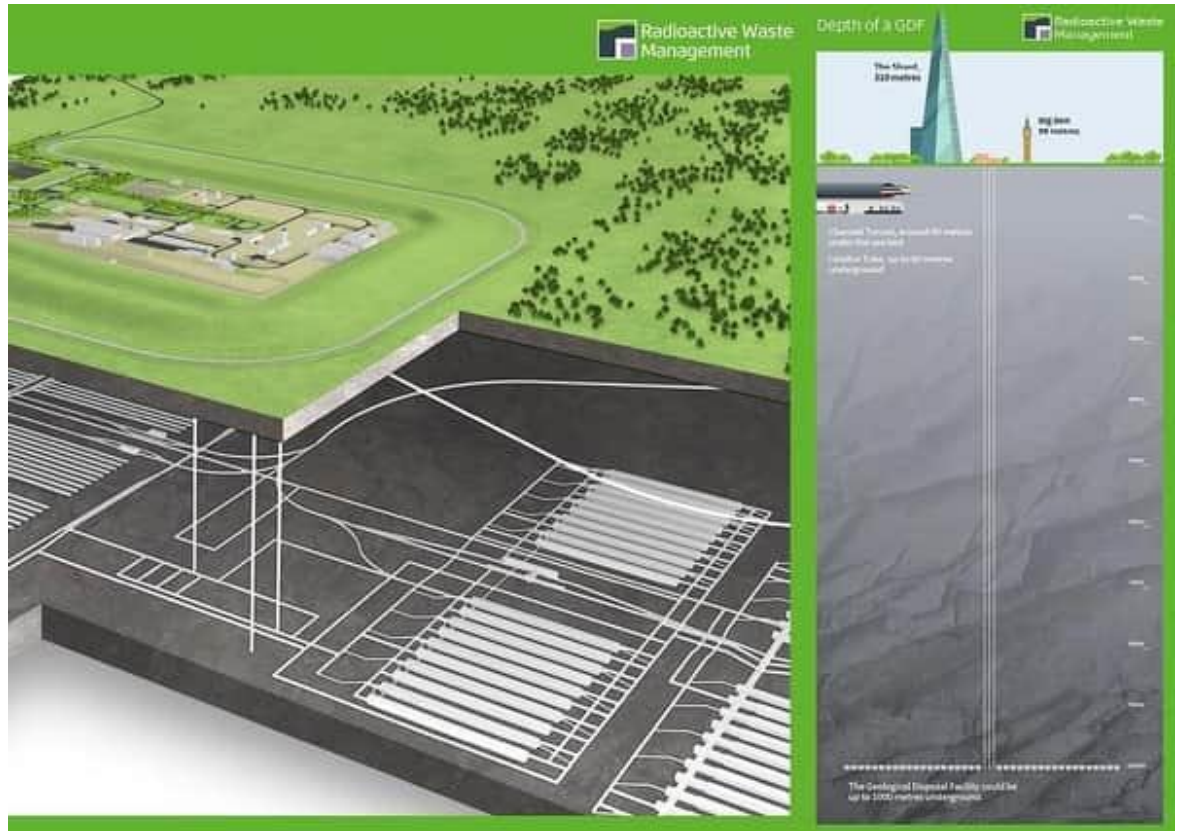
asetettavat vaatimukset riippuvat aktiivisuustason lisäksi niissä vallitsevien radionuklidien puoliintumisaajoista.

Radioaktiiviset jätteet jaotellaan Korkea -, keski- ja matala-aktiivisiin jätteisiin ja ydinenergian käytössä syntynyt radioaktiivinen jäte on ydinenergiatalain alaista. Loppusijoituksen kannalta radioaktiiviset jätteet luokitellaan lyhyt- ja pitkäikäisiin jätteisiin. Lyhytikäisissä jätteissä radioaktiivisten aineiden puoliintumisaika on enintään noin 30 vuotta. Näiden jätteiden aktiivisuus ehtii vähentyä vaarattomalle tasolle muutaman sadan vuoden kuluessa. Ydinvoimalaitosten käytössä syntyvät keski- ja matala-aktiiviset jätteet ovat yleensä lyhytikäisiä. Pitkäikäisessä jätteessä, kuten käytetyssä ydinpolttoaineessa on puolestaan huomattavasti suurempi pitoisuus radioaktiivista ainetta, jolloin puoliintumisaika ylittää 30 vuotta.<sup>35</sup>

Monilla ydinenergiaa käyttävillä mailla on käytössään loppusijoituslaitoksia matalan- ja keskiaktiivisen jätteen säilytystä varten. Toisin kuin korkea-aktiivisen jätteen säilytyspaikkoja ei ole yksikään maa vielä ottanut käyttöön. Useilla ydinenergiamailla on pitkän tähtäyksen tutkimus- ja kehitysohjelma, jonka tavoitteena on löytää ratkaisu korkea-aktiivisen ydinjätteen loppusijoitukseen.<sup>36</sup>

Alla olevassa kuvassa 18 on esitetty ydinjätteen loppusijoitus, mikä tapahtuu useimmiten peruskalliossa. Ydinjäte kerätään kuparisäiliöihin sen parhaan kestävyuden ja läpäisemättömyyden takia ja säiliöt varastoidaan maahan. Tavoite on, ettei ydinjäte säteile maan pinnalle yli 0,1 millisievertiä vuodessa, mikä on murto-osa siitä (5,9 millisievertiä) mitä suomalainen ihminen vuodessa altistuu säteilylle.<sup>35</sup>





**Kuva 18.** Ydinjätteen varastointi. (Lincolnshireworld ruutukaappaus)

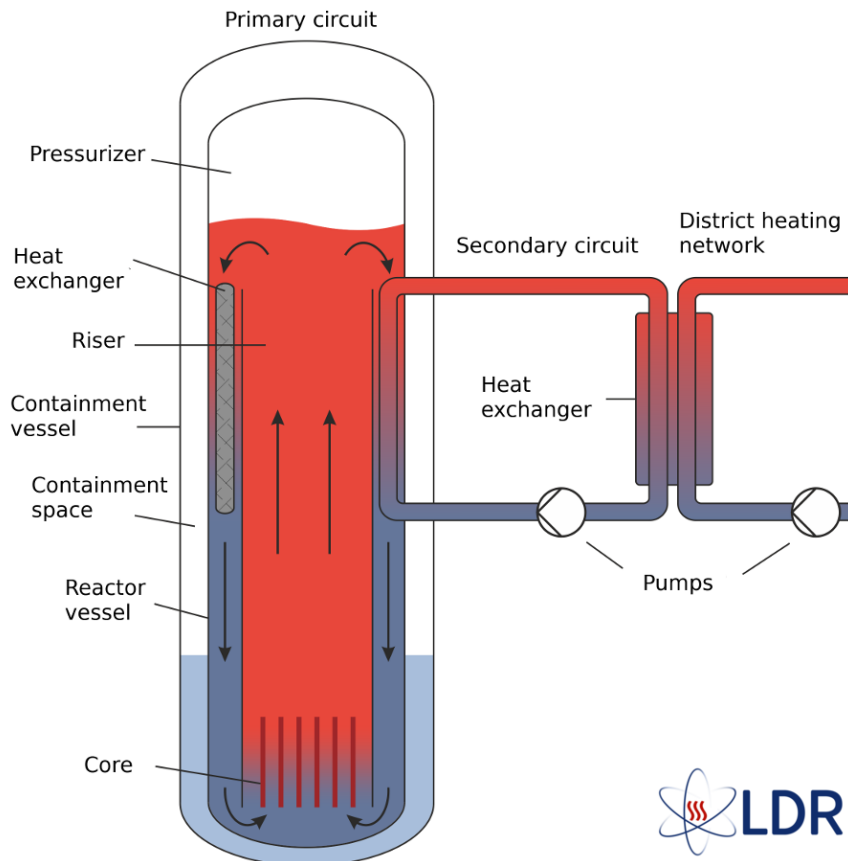
## 7 PIENYDINVOIMALAT

Ydinvoimaa kehitetään jatkuvasti, tehokkaammaksi, puhtaammaksi sekä eri käyttötarkoituksiin kuten kaukolämpöön. Tästä hyvänä esimerkkinä ovat pienydinvoimalat, joita Suomessa valmistaa Steady Energy.<sup>37</sup>

Vuonna 2020 alkoi Business Finlandin rahoittamana EcoSMR-hanke mikä kokosi suomalaisia toimijoita kehittämään liiketoimintaa pienreaktoreiden ympärille. Hankkeen tarkoituksena on vähentää ilmastopäästöjä sekä energian toimitusvarmuuden takaamiseksi pitkälle tulevaisuuteen.

Pienreaktorit ovat erityisesti viime vuosien aikana herättäneet kiinnostusta energiantuotannon vaihtoehtona ympäri maailmaa. Pienydinreaktoreissa pyritään hyödyntämään uusia turvallisuusratkaisuja sekä sarjatuotantomenetelmiä ja niillä pyritään laajentamaan ydinenergian sovellusmahdollisuuksia uusiin käyttötarkoituksiin.<sup>38</sup>

Kuvassa 19 on esitetty poikkileikkaus Steady Energy:n pienydinreaktorista LDR-50-reaktori. Kuvasta voidaan nähdä, että primääripiiri on suljettu reaktiosäiliön sisälle ja jäähdytysneste kiertää ytimen ja päälämmönvaihtimen välillä luonnollisen konvektion välillä. Lämpöä siirretään kaukolämpöverkkoon toissijaisen piirin kautta.



**Kuva 19.** Poikkileikkaus pienydinvoimalasta. (LDR-reaktorin ruutukaappaus)

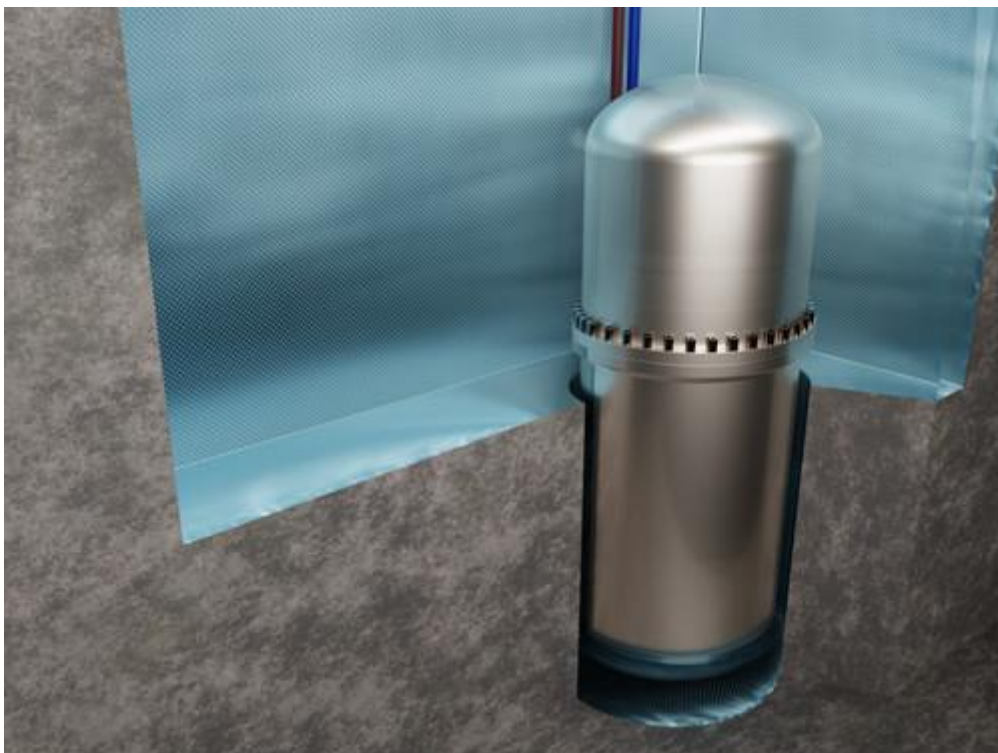
### 7.1. Pienydinvoimaloissa käytetty tekniikka ja tulevaisuus

Suomi voisi olla Euroopassa markkinajohtaja sekä tienraivaaja pienydinvoimaloiden käytössä. Yhtiö on käynnistänyt pilottilaitoksen rakennuksen ja rakennustyöt alkavat vuoden 2025 aikana. Steady Energy:n tavoitteena on rakentaa kymmenen vuoden aikana 5–10 reaktoria ja viennin käynnistäminen muualle Eurooppaan. Pienydinvoimaloita voitaisiin siis rakentaa paljon nopeammalla tahdilla kuin ydinvoimaloita.

VTT:n kehittämä LDR-50-kaukolämpöreaktori edustaa perinteistä ydinteknologiaa. Reaktorin sydämessä raskaat atomit hajoavat kevyemmiksi ja

ydinreaktiosta vapautuu lämpöä veteen. Veden lämpö siirretään kaukolämpöverkkoon korkeintaan 120°C. Suomen nykyiset ydinvoimalat toimivat samalla tavalla, mutta niissä lämpö siirtyy 300 °C höyrynä turbiineille, jotka tuottavat sähköä ja paine on lähes 20ertainen verrattuna pienydinvoimaloihin. Tämän vaikutuksena pienydinvoimala jäähtyy hätätilanteissa paljon nopeammin kuin ydinvoimala, mikä pienentää riskejä. LDR-50-reaktorin paine on verrattavissa kodeissa käytettävään espressokoneen paineeseen.

Keskeisin turvallisuushuoli ydinreaktoreissa on saada lämpö mahdollisimman nopeasti pois hätätilanteissa. Suurissa ydinvoimaloissa siihen tarvitaan sähköisiä varajärjestelmiä, mutta VTT:n kehittämässä reaktorissa turvallisuus perustuu pitkälti passiiviseen teknologiaan, eikä laitteisiin mitkä voisivat vioittua tai vaatisivat sähköä. Reaktorin lämpö siirtyisi vain ympäröivään vesialtaaseen, ilman käyttövoimaa taikka liikkuvia osia. Kuvassa 20 on LDR-50-reaktori mikä on upotettuna vesialtaaseen, mikä toimii jäähdyttimenä.



**Kuva 20.** Mallinnus pienydinvoimalasta. (LDR-reaktori ruutukaappaus)

### **7.3 Pienydinvoimalan ympäristövaikutukset**

Steady Energy:n toimitusjohtaja Tommi Nyman kertoo, että ”pesukoneen kokoinen pienydinvoimala tuottaa vuodessa saman määrän energiaa kuin Olympiastadionillinen halkoja.” Suomessa poltetaan tänä päivänä vielä puuta mikä olisi voitu jatkojalostaa arvokkaimmiksi tuotteiksi tai jättää metsiin lisäämään monimuotoisuutta. Monet energiayhtiöt kuten Helen polttaa puuta lämmöksi. Puun polttamisesta päästäisiin lämmityskäytössä eroon pienydinvoimaloiden avulla. Steady Energyn pienydinvoimala veisi polttoainetta 60 vuoden elinkaaren aikana vain yhden pakettiauton verran, artikkelissa kerrotaan. Yhtiön laskelmien mukaan saman energiamäärän tuottaminen puulla vaatisi 10 miljoonaa kuutiota tai 200 000:ta tukkirekallista. Tästä voidaan havaita, että pienydinvoimalat olisivat metsien kannalta parempi vaihtoehto lämmön tuotannossa.

### **7.4 Markkinat Suomessa**

Pienydinvoimaloille olisi Suomessa hyvä markkinarako lämmön tuotannossa ja Suomi voisikin olla yhtiön Steady Energy:n toimitusjohtajan mielestä ensimmäinen kansakunta, jonka luonnonvarojen ylikulutus kytketään irti lämmöntuotannossa. Energiayritykset kuten Helen ja Kuopion Energia ovat sopineet Steady Energyn kanssa reaktioyksiköiden hankkimisesta ja tilauksessa olisi yhteensä 15 reaktoriyksikköä. Kuopion Energian kanssa olisi tarkoitus rakentaa viisi kaukolämpövoimalaa alustavasti vuonna 2030.

### **7.5 Pienydinvoima maailmanlaajuisesti**

Konsulttiyhtiön Ernst ja Youngin julkaisemassa raportissa kerrottiin, että erilaisia pienydinvoimalahankkeita on maailmalla käynnissä noin 90. Suurin osa hankkeista on vielä alkutekijöissä, rakenteilla on seitsemän ja toiminnassa neljä. Suomen Steady Energy on siis hyvin mukana ensimmäisessä aallossa, kun EY:n raportti odottaa monien pilottilaitosten valmistuvan vuoteen 2030 mennessä. Kehittäjillä on tähtäimessä, että tällaisia pienydinvoimaloiden osia voitaisiin valmistaa

sarjatuotannossa ja kasata melko nopeasti laitoksiksi. Monistettavuus myös laskee kustannuksia, kun ensimmäisestä pilottilaitoksesta päästään standardoituihin ja skaalautuviin tuotantotapoihin, artikkelissa kerrotaan. Tämä johtaa siihen, että pienydinvoimalla tuotetun energian kustannukset kilowattituntia kohden pienentyvät sekä tuotannosta tulee kannattavampaa. Tähän EY:n raportti ennustaa, että päästäisiin 2040-luvun alussa. Ennusteen mukaan vuoteen 2050 mennessä pienydinvoimaloita olisi 400–700 joista puolet voisi tulla vihreän vedyn tuotannon tai alumiini- ja terästehtaiden yhteyteen. Ennusteen mukaan 40 % pienydinvoimaloista liittyy sähkön tuottamiseen ja vain 10 % liittyy kaukolämmön tuottamiseen.<sup>37</sup>

## 8 Yhteenveto ydinvoiman ja uusiutuvien energiamuotojen eduista ja haitoista

Alla olevissa taulukoissa on listattu yhteenvetona ydinvoiman ja uusiutuvien energiamuotojen tilastot sekä hyvät ja huonot puolet.

**Taulukko 5.** Energiamuotojen tilastot.

Tuotantovoima	Investoinnit	Energian tuottaminen	Takaisinmaksuaika	Hiilidioksidipäästöt
Ydinvoima	5,5 mrd. €	42 %	~ 12 vuotta	5,1–6,4 g / kWh
Vesivoima	1,8 milj. €	19 %	~ 10 vuotta	15 g / kWh
Tuulivoima	1,5 milj. €/MW	18 %	~ 6–12 vuotta	7,8–21 g / kWh
Aurinkovoima	8,7 milj. €	0,8 %	~ 10 vuotta	12 g / kWh
Pienydinvoima	66 milj. €	50 MW	~ 10–12 vuotta	-

Taulukkoon 5 on koottuna yhteenvetona käsiteltyjen tuotantovoimiin kuluneet investoinnit, paljonko kyseisellä energiamuodolla on prosentuaalisesti tuotettu vuonna 2023 koko Suomen tuotannossa, arvioitu takaisinmaksuaika sekä hiilidioksidipäästöt. Pienydinvoimalat poikkeavat tästä ryhmästä, sillä niitä ei vielä ole Suomessa käytössä, joten energian tuottaminen on ilmoitettu nettotehona, eikä sille ole vielä hiilidioksidipäästöjä mitattuna. <sup>39–46</sup>

Voidaan myös todeta, että vaikka ydinvoima on kaikista kallein muoto, tuotetaan sillä eniten energiaa ja takaisinmaksuaika on suunnilleen sama kuin muilla energiantuotantomuodoilla. Ydinvoimalla on myös pienimmät hiilidioksidipäästöt kWh kohden.

Yhteenveto listaus tuotantovoimista:

#### Ydinvoima

- Pystyy toimimaan vuorokauden ympäri
- Pitkä elinkaari
- Radioaktiivinen jäte
- Kallis rakentaa verrattuna uusiutuviin energiamuotoihin

#### Vesivoima

- Pystytään käyttämään säätöapuna
- Pitkä elinkaari
- Suuret ympäristömuutokset
- Sääolot vaikuttavat tehokkuuteen

#### Tuulivoima

- Edullisempi energiamuoto verrattuna muihin uusiutuviin energiamuotoihin ja ydinvoimaan verrattuna
- Voidaan rakentaa maalle ja merelle
- Mahdollinen haitta linnuille ja kaloille
- Tutkan ja radion häirintä
- Sääolot vaikuttavat tehokkuuteen

#### Aurinkovoima

- Voidaan toteuttaa isossa tai pienessä mittakaavassa
- Kuluttaja voi tuottaa omaan käyttöön
- Suuri pinta-alan tarve
- Suurjännitejohdot tai lämmönsiirtoputkisto
- Sääolot vaikuttavat tehokkuuteen

#### Pienydinvoima



- Pienempi polttoaineen kulutus kuin ydinvoimaloissa
- Vähemmän jätettä kuin ydinvoimalasta
- Hankkeet ovat vielä alkutekijöissä
- Ei ole vielä standardisoituja.

## 9. JOHTOPÄÄTÖKSET

Ydinvoimalla on puhtaassa energiantuotannossa suuri rooli sen suuren sähköntuotannon ansiosta ja ydinvoiman rooli tulee todennäköisesti kasvamaan vuosien aikana pienydinvoimaloiden vuoksi. Vaikka pienydinvoimalat ovat vielä kehityksen alaisena, tulevat ne olemaan suuri osa tulevaisuuden energiantuotantoa.

Vesivoimalla pystytään tuottamaan melko paljon energiaa ja sen säätömahdollisuudet tekevät siitä tärkeän. Vesivoiman rooli tulee todennäköisesti pysymään Suomessa samana, sillä monet joet jolle vesivoimalan voisi rakentaa on suojeltuna.

Aurinko- ja tuulivoiman rooli tulee todennäköisesti kasvamaan, kun niillä korvataan uusiutumattomia energiamuotoja. Aurinkovoimalla on vielä pieni rooli Suomen energiantuotannossa, mutta se on nopeasti kehittyvä energiamuoto mikä lisää kysyntää sekä käyttöä. Myös tuulivoiman kysyntä on kovassa kasvussa ja tuulivoimaloita tullaan jatkossakin rakentamaan paljon.

Kaiken kaikkiaan voidaan todeta, että ydinvoimalla on suurin rooli puhtaassa energiantuotannossa ja uusiutuvat energiamuodot täydentävät kysynnän tarvetta sekä korvaavat koko ajan uusiutumattomia energiamuotoja.

## LÄHTEET

1. Energiateollisuus, - Ydinvoima Noudettu 30.1. 2024 osoitteesta <https://energia.fi/energiatietoa/energiantuotanto/sahkontuotanto/ydinvoima/>
2. Mieli pide ydinvoimasta Kantar Public. Noudettu 14.4.2024 osoitteesta [https://energia.fi/wpcontent/uploads/2023/08/Mielipiteet\\_ydinvoimasta\\_2023 - Raportti.pdf](https://energia.fi/wpcontent/uploads/2023/08/Mielipiteet_ydinvoimasta_2023_-_Raportti.pdf)
3. Energia maailma, - Ydinvoima Noudettu 30.1. 2024 osoitteesta <https://energiamaailma.fi/energiasta/energiantuotanto/ydinvoima/>
4. IEA Nuclear Power and Secure Energy Transitions Noudettu 30.1.2024 osoitteesta <https://www.iea.org/reports/nuclear-power-and-secure-energy-transitions/executive-summary>
5. IAEA PRIS, Nuclear Share of Electricity Generation in 2022 Noudettu 18.4.2024 osoitteesta <https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/NuclearShareofElectricityGeneration.aspx>
6. Säteilyturvakeskus, Fukushima ydinvoimalaitoksen onnettomuus. Noudettu 16.2.2024 osoitteesta <https://stuk.fi/fukushiman-ydinvoimalaitoksen-onnettomuus>
7. Tšernobyl, Urbanex ninja. Noudettu 16.2. 2024 <https://urbanex.ninja/kohde/tsernobylin-ydinvoimala/>
8. Vattenfall, Tuulivoima. Noudettu 16.2.2024 osoitteesta <https://www.vattenfall.fi/sahkosopimukset/tuotantomuodot/tuulivoima/>
9. Suomen tuulivoimayhdistys, Tuulivoima Suomessa 2023. Noudettu 16.2.2024 osoitteesta [https://tuulivoimayhdistys.fi/media/tuulivoima\\_vuositilastot-2023-3.pdf](https://tuulivoimayhdistys.fi/media/tuulivoima_vuositilastot-2023-3.pdf)
10. Motiva, Vesivoimateknologia. Noudettu 19.2.2024 osoitteesta [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/vesivoima/vesivoimateknologia](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/vesivoima/vesivoimateknologia)

11. Vattenfall, Vesivoima Noudettu 19.2.2024 osoitteesta  
<https://www.vattenfall.fi/sahkosopimukset/tuotantomuodot/vesivoima/>
12. Vattenfall, Aurinkovoima Noudettu 19.2.2024 osoitteesta  
<https://www.vattenfall.fi/sahkosopimukset/tuotantomuodot/aurinkovoima/>
13. OX2, Aurinkovoima Noudettu 19.2.2024 osoitteesta  
<https://www.ox2.com/fi/suomi/teknologiat-ja-palvelut/aurinkovoima/>
14. Historianet, Milloin sähköä tuotettiin ensimmäisen kerran ydinvoimalla?  
Noudettu 19.2.2024 osoitteesta <https://historianet.fi/tekniikka/milloin-sahkoa-tuotettiin-ensi-kerran-ydinvoimalla>
15. TVO, Ydinreaktori Noudettu 19.2.2024 osoitteesta  
<https://www.tvo.fi/tuotanto/perustietoaydinvoimasta/ydinreaktio.html>
16. MTV-utiset, Puola rakentaa ensimmäisen ydinvoimalansa Itämeren rannalle – hinta-arvioina 20 miljardia euroa. Noudettu 19.2.2024 osoitteesta <https://www.mtvuutiset.fi/artikkeli/puola-rakentaa-ensimmaisen-ydinvoimalansa-itameren-rannalle-hinta-arviona-20-miljardia-euroa/8562156#gs.4jinfm>
17. Tuulivoimayhdistys, Investoinnit Noudettu 16.2.2024 osoitteesta  
<https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tietoa-tuulivoimasta/taloudellisuus/investoinnit>
18. Auringosta energiaa, Puhdasta kotimaista sähköä aurinkoenergialla.  
Noudettu 4.3.2024 osoitteesta  
[https://aurinkopuistot.fi/?gad\\_source=1&gclid=Cj0KCQjwIZixBhCoARIsAIC745Cby8w6ITpxCt3ArdVsb0oDbUydXx\\_3a5V3G7oW5ovR3xQmb9u9rYwaApxBEALw\\_wcB](https://aurinkopuistot.fi/?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwIZixBhCoARIsAIC745Cby8w6ITpxCt3ArdVsb0oDbUydXx_3a5V3G7oW5ovR3xQmb9u9rYwaApxBEALw_wcB)
19. YLE, Suomen tällä hetkellä suurin aurinkopuisto Kalajoella toimii nyt täydellä teholla. Noudettu 4.3.2024 osoitteesta <https://yle.fi/a/74-20046514>
20. How much does a hydropower system cost to build? Renewables first.  
Noudettu 4.3. 2024 osoitteesta

<https://renewablesfirst.co.uk/renewable-energy-technologies/hydropower/hydropower-learning-centreold/how-much-do-hydropower-systems-cost-to-build/>

21. TVO, Talous ja rahoitus. Noudettu 4.3.2024 osoitteesta  
<https://www.tvo.fi/yhtio/talousjarahoitus.html>
22. ELY-keskus, Tuulivoima. Noudettu osoitteesta <https://www.ely-keskus.fi/web/uusiutuvan-energian-lupaneuvonta/tuulivoima>
23. Finsolar – Ympäristövaikutukset. Noudettu 4.3.2024 osoitteesta
24. Onninen, Suomen suurin aurinkovoimala Kalajoella. Noudettu 4.3.2024 osoitteesta  
<https://www.onninen.fi/artikkelit/suomen-suurin-aurinkovoimala>  
<https://finsolar.net/aurinkoenergia/ymparistovaikutukset/>
25. Energiateollisuus – Vesivoima. Noudettu 4.3.2024 osoitteesta  
<https://energia.fi/energiatietoa/energiantuotanto/sahkontuotanto/vesivoima/>
26. Kemijoki Vesivoima. Noudettu 28.2.2024 osoitteesta  
<https://www.kemijoki.fi/toimintamme/vesivoima/>
27. Fortum, Ydinvoiman ympäristövaikutukset. Noudettu 4.3.2024 osoitteesta  
<https://www.fortum.fi/tietoa-meista/energiantuotantomme/ydinvoima/ymparistovaikutukset>
28. Nordic green energy, Ydinvoima. Noudettu 4.3.2024 osoitteesta  
<https://www.nordicgreen.fi/energian-alkuperat/ydinvoima/>
29. Motiva- Tuulivoiman ympäristö ja muut vaikutukset. Noudettu 4.3.2024 osoitteesta  
[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/tuulivoima/tuulivoiman\\_ymparisto- ja\\_muut\\_vaikutukset](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/tuulivoima/tuulivoiman_ymparisto- ja_muut_vaikutukset)
30. Suomen tuulivoimayhdistys – Tuulivoiman ympäristövaikutukset. Noudettu 4.3.2024 osoitteesta  
<https://tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta-2/tietopankki/tuulivoiman-ymparistovaikutukset>

31. Energiateollisuus, Vesivoima. Noudettu 4.3.2024 osoitteesta  
<https://energia.fi/energiatietoa/energiantuotanto/sahkontuotanto/vesivoima/>
32. Auringosta energiaa, puhdasta kotimaista sähköä aurinkoenergialla.  
Noudettu 19.2.2024 osoitteesta  
[https://aurinkopuistot.fi/?gad\\_source=1&gclid=CjwKCAiAlcyuBhBnEiwAOGZ2Sw42SI71t2J34Spz99s5PTcqoDIQ5zzJb-uGXnYu8e1QUifT7sKC4RoC8osQAvD\\_BwE](https://aurinkopuistot.fi/?gad_source=1&gclid=CjwKCAiAlcyuBhBnEiwAOGZ2Sw42SI71t2J34Spz99s5PTcqoDIQ5zzJb-uGXnYu8e1QUifT7sKC4RoC8osQAvD_BwE)
33. Finsolar, Ympäristövaikutukset. Noudettu 4.3.2024 osoitteesta  
<https://finsolar.net/aurinkoenergia/ymparistovaikutukset/>
34. Ydinvoima – Uraanin louhinta. Noudettu 1.2.2024 osoitteesta  
<http://www.ydinvoima.fi/ongelmat/uraani/>
35. Säteilyturvakeskus – Tietoa ydinjätteestä. Noudettu 7.2.2024 osoitteesta  
<https://stuk.fi/tietoa-ydinjatteista>
36. Säteilyturvakeskus – Ydinjätteen loppusijoitus. Noudettu 7.2.2024 osoitteesta <https://stuk.fi/ydinjätteen-loppusijoitus>
37. Helsingin sanomat - Tässä on pienydinvoimaloiden tulevaisuusnoudettu 10.4.2024 osoitteesta <https://www.hs.fi/visio/art-2000010210018.html>
38. VTT – Pienreaktoreihin liittyvää liiketoimintaa edistetään tutkimus-yritysyhteistyöllä. Noudettu 12.4.2024 osoitteesta  
<https://www.vttresearch.com/fi/uutiset-ja-tarinat/pienreaktoreihin-liittyvaa-liiketoimintaa-edistetaan-tutkimus-yritysyhteistyolla>
39. Omistajat saavat ihan reilusti rahaa” – Muuttuiko kalliiksi parjattu Olkiluoto 3 hetkessä huippuinvestoinniksi? Noudettu 18.4.2024 osoitteesta <https://www.hs.fi/talous/art-2000008990961.html>
40. Vattenfall- Aurinkopaneelien takuut tutuksi. Noudettu 18.4.2024  
<https://www.vattenfall.fi/fokuksessa/aurinkosahko/aurinkopaneelien-takuut-tutuksi/>
41. Motiva Kangasalan kunta. Noudettu 18.4.2024  
[https://www.motiva.fi/files/17470/Kangasalan\\_kunta\\_-](https://www.motiva.fi/files/17470/Kangasalan_kunta_-)

[Uusiutuvan energian kuntakatselmus 2016.pdf](#) tuulivoiman takaisinmaksuaika

42. Lappeenranta university of science- Teknologiaohjelma DENSY – Hajautetun energiantuotannon tulevaisuusskenaariot ja vaikutukset liiketoimintamalleihin. Noudettu 18.4.2024  
<https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/31061/TMP.objres.190.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
43. Helsingin Sanomat- Pienet ydinvoimalat herättävät keskustelua jo Suomessakin – VTT:n mukaan ydinvoima sopisi kaukolämmön tuotantoon pääkaupunkiseudulla. Noudettu 18.4.2024 <https://www.hs.fi/talous/art-2000005507271.html> pienydinvoimalan takaisin
44. Energia uutiset Ydinvoima sähkölähteistä niukkapäästöisin Noudettu 18.4.2024 <https://www.energiauutiset.fi/kategoriat/tutkimus/ydinvoima-sahkolahteista-niukkapaastoisin.html>
45. Mysun solar-Aurinkopaneelin hiilijalanjälki (CO2) tase. Noudettu 18.4.2024 <https://www.solarpanelsfi.com/blog/aurinkopaneelin-hiilijalanjalki-co2-tase>
46. ScienceDirect-Greenhouse gas emissions from hydropower: The state of research in 1996. Noudettu 18.4.2024  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421596001255>