# YDINVOIMAN RAKENTAMISEN SUURIMMAT ESTEET EUROOPASSA

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Energiatekniikan kandidaatintyö

2025

Lauri Turja

Tarkastaja: Tkt Heikki Suikkanen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUTin energiajärjestelmien tiedekunta

Energiatekniikka

Lauri Turja

**Ydinvoiman rakentamisen suurimmat esteet Euroopassa**

Energiatekniikan kandidaatintyö

2025

40 sivua ja 5 kuvaa

Tarkastaja: Tkt Heikki Suikkanen

Avainsanat: Ydinvoima, rakentamisen esteet, rahoitus, projektinhallinta

Maailman poliittisen tilanteen takia ydinvoima elää uutta aikakautta Euroopassa. Useat eri maat ovat ilmaisseet kiinnostuksensa rakentaa uusia ydinvoimalaitoksia. Viimeaikaiset ydinvoimalaitoshankkeet ovat myöhästyneet alkuperäisestä aikataulusta ja niiden kustannukset ovat nousseet rajusti.

Tässä kandidaatintyössä tutkitaan suurimpia esteitä ja ongelmia uuden ydinvoiman rakentamisessa Euroopassa. Alkuun työssä perehdytään eri maiden lupamenettelyihin ja rahoitusmuotoihin. Tämän jälkeen vertaillaan eri aikakausien ja maiden ydinvoimalaitoksien rakennushankkeita. Tämän jälkeen tutkitaan rakentamisen esteitä Euroopassa. Lopuksi tarkastellaan rakentamisen tulevaisuutta Euroopassa.

Tutkielmassa havaittiin suurimpia esteitä olevan rahoituksessa, projektinhallinnassa, lupamenettelyjen eroissa ja poliittisessa ilmapiirissä. Työssä huomattiin Euroopan unohtaneen 1970-luvulla saadut kokemukset ydinvoimalaitoksien rakentamisessa. Kiina on onnistunut rakentamaan ydinvoimalaitoksia ja suunnittelee jatkavansa uusien rakentamista.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT
LUT School of Energy Systems
Energy Technology

Lauri Turja

**Major obstacles of nuclear power construction in Europe**

Bachelor's thesis
2025
40 pages and 5 figures
Examiner: D.Sc. Heikki Suikkanen
Keywords: Nuclear power, obstacles to construction, financing, project management

Due to the political situation, nuclear power is entering a new era in Europe. Several countries have expressed interest in building new nuclear power plants. Recent nuclear power plant projects have been delayed from their original schedules and their costs have increased.

This bachelor's thesis examines the main obstacles and challenges in construction new nuclear power plants in Europe. First, the thesis reviews the licensing procedures and financing models of different countries. After that, construction projects of nuclear power plants from different eras and countries are compared. The study then investigates the barriers to construction in Europe. Finally, the future of nuclear power plant construction in Europe is considered.

The research found that the obstacles to construction lie in financing, project management, differences in licensing procedures and the political climate. The study also noted that Europe has forgotten the lessons learned during the construction of nuclear power plants in the 1970s. China has been successful in building nuclear power plants and plans to continue constructing new ones.

LYHENNELUETTELO

| | |
|---|---|
| ASNR | Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection |
| BWR | Kiehutusvesireaktori |
| CANDU | Raskasvesireaktori |
| CfD | Hinnanerosopimus |
| EU | Euroopan Unioni |
| EPR | Eurooppalainen painevesireaktori |
| EWA | Varhaisen vaiheen sopimus |
| FBR | Hyötöreaktori |
| FOAK | Firs-of-kind |
| GCR | Kaasujäähdytteinen reaktori |
| HTGR | Korkean lämpötilan kaasujäähdytteinen reaktori |
| LWGR | Kevytvesigrafiittireaktori |
| PHWR | Paineistettu raskasvesireaktori |
| PWR | Painevesireaktori |
| RAB | Säännelty omaisuuspohja |
| STUK | Säteilyturvakeskus |
| TEM | Työ- ja elinkeinoministeriö |
| YVL | Ydinturvallisuusohje |

**Sisällysluettelo**

Tiivistelmä

Abstract

Lyhenneluettelo

Ilmoitukset

1 Johdanto ..... 7
2 Ydinvoimalaitoksen lupaprosessi ja rahoitus ..... 8
2.1 Lupaprosessit ..... 8
2.1.1 Lupamenettely Suomessa ..... 8
2.1.2 Lupamenettely Ranskassa ..... 9
2.1.3 Lupamenettely Kiinassa ..... 10
2.2 Lupamenettelyjen erot ..... 11
2.3 Ydinvoimalaitoksien rahoitusmalleja ..... 11
3 Ydinvoimalaitoshankkeet ..... 15
3.1 Ydinvoimalaitoksien rakentamisajat vuosina 1970–2024 ..... 15
3.2 Rakentaminen 1970–1980-luvulla ..... 17
3.2.1 Rakentaminen Suomessa ja Ruotsissa ..... 18
3.2.2 Rakentaminen Ranskassa ..... 21
3.3 Rakentaminen 2000-luvulla ..... 23
3.3.1 Hankkeet Euroopassa ..... 23
3.3.2 Hankkeet Kiinassa ..... 24
3.3.3 Hankkeet Yhdysvalloissa ..... 26
4 Rakentamisen esteet ja ongelmat ..... 27
4.1 Ydinvoimalaitoksien rakentamisen suurimmat ongelmat ..... 27
4.2 Rahoitus ..... 29
4.3 Politiikka ..... 31
5 Rakentamisen tulevaisuus ..... 32
6 Johtopäätökset ..... 34
Lähteet ..... 36

ILMOITUKSET

**Turnitin**

Tämän opinnäytetyön alkuperäisyys on tarkistettu Turnitin – samankaltaisuuden tarkastuspalvelun avulla.

**Tekoäly**

Tämän opinnäytetyön kirjoittaja Lauri Turja on käyttänyt seuraavia tekoälytyökaluja opinnäytetyön tekemisessä:

1. ChatGPT
    a. Työkalun käytön tarkoitus: Kuvaajien tekemisessä käytetyn Python-koodin kirjoittaminen.
    b. Selvitys työkalun käytöstä: Koodin kirjoittamisessa ideointia ja vian selvitystä.
2. ChatGPT
    a. Työkalun käytön tarkoitus: Kielenhuoltoa ja tekstinhuoltoa.
    b. Selvitys työkalun käytöstä: Korjattiin tekoälyn havaitsemia kirjoitusvirheitä.

**Vastuu**

Kirjoittaja, Lauri Turja, ottaa täyden vastuun tämän opinnäytetyön sisällöstä ja on tarkistanut ja muokannut mahdollisen tekoälytyökalujen käytön myötä syntyneen sisällön.

# 1 Johdanto

Eurooppa on suurten muutosten edessä. 2020-luvun kansainvälisten poliittisten tapahtumien takia Euroopan mantereella puhaltavat uudet tuulet. Tämä vaikuttaa suurelta osin myös energiantuotantoon. Viimeisen 20 vuoden aikana suurin osa Euroopan Unionin energiasta on tullut putkia pitkin ja tankkerien mukana EU:n ulkopuolelta, suurelta osin Venäjältä (EU Energy 2024). Nämä energialähteet ovat olleet fossiilisia, jotka ovat nopeuttaneet ilmastonmuutosta. Ilmastonmuutos on aikakautemme suurimpia ongelmia. 200 vuotta sitten höyrykoneen keksimisestä avautui iso Pandoran lipas, joka on tuonut maapallon ihmisille paljon hyvinvointia ympäröivän luonnon kustannuksella. Tämän laskun joudumme maksamaan tulevien vuosikymmenien aikana. Eurooppa on rakentanut viimeisen 20 vuoden aikana uusiutuvaa energian tuotantoa korvatakseen fossiilisia polttoaineita. Esimerkkinä voidaan pitää tuulivoiman suurta kasvua, tuulivoiman tuotanto oli vuonna 2000 noin 12,3 GWe ja vuonna 2022 noin 203,6 GWe (EU Energy 2024). Vaikka uusiutuvien energialähteiden tuotanto on noussut selkeästi, silti Euroopalla on vielä pitkä matka korvata fossiiliset polttoaineet. Tähän urakkaan tarvitaan kaikkia vähähiilisiä ratkaisuja. Ydinvoima on yksi vaihtoehto, kuitenkin Euroopassa uuden ydinvoiman rakentaminen on törmännyt erilaisiin ongelmiin viimeisen 20 vuoden aikana. Esimerkiksi Olkiluoto 3 rakentaminen aloitettiin vuonna 2005 ja lopullisesti valtakunnan sähköverkkoon se kytkettiin vasta vuonna 2023 (PRIS 2025). Myös muualla Euroopassa on ydinvoimaloiden rakennusprojektit myöhästyneet alkuperäisestä aikataulusta.

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on tutustua tämän vuosituhannen puolella rakennettuihin ydinvoimalaitoksiin sekä tutkia niiden rakentamisen ongelmia Euroopassa. Työssä ensimmäisenä tutustutaan kirjallisuuskatsauksen avulla rakennusprosessin luvitukseen ja erilaisiin rahoitusmuotoihin. Tämän jälkeen tutkitaan ydinvoimalaitoksien rakennusaikoja eri puolilta maailmaa. Seuraavaksi tutkitaan rakentamisen esteitä ja ongelmia Euroopassa. Tämän jälkeen tutustutaan ydinvoimalaitoksien rakentamisen tulevaisuuteen lyhyesti. Lopuksi kirjoitetaan johtopäätökset kandidaatintyöstä.

# 2 Ydinvoimalaitoksen lupaprosessi ja rahoitus

Tässä kappaleessa tarkastellaan ydinvoimala hankkeen lupaprosessia sekä rahoitusta. Vertaillaan lupamenettelyjen eroja Euroopassa ja maailmalla. Tutustutaan myös hankkeiden erilaisiin rahoitusmalleihin.

## 2.1 Lupaprosessit

Valitaan tarkastelun kohteeksi lupamenettelyt Suomessa, Ranskassa ja Kiinassa. Suomi ja Ranska ovat ainoat Euroopan Unionin maat, jotka ovat onnistuneet rakentamaan uuden ydinvoimalan 2000-luvulla. Kiinassa on vuonna 2025 rakenteilla eniten uusia ydinvoimala hankkeita. (World Nuclear Association 2025.)

### 2.1.1 Lupamenettely Suomessa

Ydinvoimalaitoksen rakentaminen Suomessa vaatii kattavan lupamenettelyn. Suomessa rakentamista säätelee ydinenergialaki, joka on asetettu voimaan vuonna 1987. Ydinenergialakia ollaan tällä hetkellä uudistamassa ja uudistunutta lakia olisi tarkoitus esitellä eduskunnalle vuoden 2025 loppupuolella (Työ- ja elinkeinoministeriö 2025). Lupamenettely on Suomessa neljäosainen, johon kuuluu periaatepäätös, rakentamislupa, käyttölupa ja käytöstäpoistolupa. Hakemuksen käsittelee työ- ja elinkeinoministeriö (TEM). Säteilyturvakeskus (STUK) hoitaa viranomaisvalvonnan ydinvoimalaitoksen koko elinkaaren osalta. Ydinenergiaa ei saa käyttää Suomessa ilman ydinenergialain mukaista lupaa. (Ydinenergialaki 990/1987.)

Ydinenergialaissa määritellään turvallisuus etusijalla, kun rakennetaan ja käytetään ydinvoimalaitosta. Rakennusluvan saaja vastaa rakentamisen täyttävän laissa määrätyt turvallisuusvaatimukset. Suomessa ydinvoimalaitoksen rakentaminen vaatii valtioneuvostolta periaatepäätöksen, jossa tarkastellaan mahdollisen hankkeen yhteiskunnallista kokonaisetua. Eduskunta voi hyväksyä tai hylätä valtioneuvoston periaatepäätöksen. Ydinvoimalaitoshanketta suunnitteleva taho lähettää valtioneuvostolle käsiteltäväksi hakemuksen. Kun

valtioneuvosto on vastaanottanut hakemuksen, työ- ja elinkeinoministeriö pyytää STUKilta alustavan turvallisuusarvion sekä lausunnon ympäristöministeriöltä ja hankkeen paikkakunnan sekä naapurikuntien kunnanvaltuustoilta. Suomessa hankkeen toteuttajan on suoritettava ympäristövaikutuksien arviointi ennen myönteisen periaatepäätöksen myöntämistä. (Ydinenergialaki 990/1987.)

Suomessa suuren ydinvoimalaitoksen kaikki luvat myöntää valtioneuvosto. Rakentamisluvan yhteydessä luvan hakijan on täytettävä sisältövaatimukset, jotka löytyvät STUKin ylläpitämästä ydinturvallisuusohjeesta (YVL). YVL-ohje sisältää yli 6000 erilaista vaatimusta, jotka luvanhakijan on täytettävä. STUK antaa lausunnon TEM:lle, jossa arvioidaan rakennuslupahakemuksen teknisiä vaatimuksia ja laitoksen turvallisuutta. Tämän jälkeen TEM käsittelee rakennuslupahakemuksen, minkä jälkeen valtioneuvosto tekee päätöksen rakennusluvasta. Kun ydinvoimalaitos on valmis, luvanhakija hakee käyttölupaa. Käyttölupa voidaan myöntää, jos ydinvoimalaitos täyttää lain määräämät turvallisuusvaatimukset, hakijaorganisaatiolla on tarvittava asiantuntemus laitokseen käyttöön ja taloudelliset edellytykset käyttää laitosta turvallisesti sekä hoitaa ydinjätehuolto. Ydinvoimalaitoksen käytöstä poistolupa on haettava hyvissä ajoin. Viranomaisille on annettava riittävä aika tarkastaa hakemus. Käytöstä poistoluvassa tarkastellaan laitoksen haltijan suunnitelmat käytöstä poiston toteuttamiseksi. (Ydinenergialaki 990/1987; TEM 2025; Platom 2024.)

### 2.1.2 Lupamenettely Ranskassa

Ranskassa ydinvoimalaitoksien lupamenettely toteutetaan Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR) viranomaisen valvonnassa. ASNR on valtiosta riippumaton viranomainen, joka säätelee ja tarkastaa ydinvoimalaitoksia Ranskassa. ASNR viranomainen aloitti toimintansa ensimmäinen tammikuuta 2025, jolloin yhdistettiin ydinturvallisuus viranomainen ASN ja säteilyturvallisuus viranomainen (IRSN) yhdeksi virastoksi. (ASNR 2025.)

Ranskassa ydinenergian rakentamista säätelevä laki uudistui vuonna 2006. Avoimuutta ja ydinturvallisuutta säätelevä TSN-laki määrittelee raamit ydinvoimalaitoksen lupamenettelylle Ranskassa. Ranskassa lupamenettely kattaa koko ydinvoimalaitoksen elinkaaren, joka koostuu rakentamisesta, käyttöluvasta, käytöstä ja käytöstä poistamisesta. Laissa

määriteltiin ASN, nykyinen ASNR, valtiosta riippumattomaksi virastoksi, jonka tehtävänä on säädellä sekä valvoa ranskalaisia ydinvoimaloita. (Guimier 2014.)

Lupamenettely alkaa Ranskan valtion tekemällä poliittisella päätöksellä uuden ydinvoiman rakentamisesta. Hallitus myöntää hankkeelle perustamislupapäätöksen, joka perustuu ASNR viraston tekemään tekniseen arviointiin hankkeesta. Tässä vaiheessa määritellään hankkeelle keskeiset tekniset ominaisuudet sekä tarkat rajat ympäristön ja ihmisten suojelun suhteen. Tämän jälkeen haetaan käyttöönottolupa ja käyttölupa, jonka myöntää ASNR. Käyttöluvan vaatimukset määrittelee myös ASNR, joka valvoo ydinvoimalaitoksen toimintaa koko elinkaaren ajan. (Guimier 2014.)

### 2.1.3 Lupamenettely Kiinassa

Kiinassa ydinvoimaloiden lupamenettely on keskitetty vahvasti valtion alaisuuteen. Ydinvoimaloiden lupamenettelyä säätelee vuonna 2018 voimaan tullut ydinturvallisuuslaki. Ydinturvallisuuslaki muodostaa ydinvoimaloiden lupamenettelyn pohjan ja säätelyn sekä valvonnan ydinvoimaloiden käytön ajalta. Lain tavoitteena on varmistaa ydinvoimalaitoksien turvallinen käyttö. Kiinassa säätelyviranomaisena toimii ympäristöministeriö, jonka tarkoituksena on valvoa ydinvoimalaitoksia niiden käytön aikana. (China Atomic Energy Authority 2025; IAEA 2024.)

Kiinassa lupamenettely koostuu neljästä vaiheesta. Ensimmäisessä vaiheessa ydinvoimalaitoksen rakennuspaikan sopivuus arvioidaan. Hankkeen toteuttaja lähettää ministeriöön kirjallisen hakemuksen, johon liitetään kaikki tarpeellinen tausta-aineisto. Ministeriö suorittaa alustavan tarkastuksen viiden päivän aikana, jonka jälkeen tehdään päätös hakemuksen jatkokäsittelystä. Ministeriö voi palauttaa hakemuksen puutteellisena ja pyytää lisätietoja. Seuraavaksi hakemus menee varsinaiseen käsittelyyn, jolloin hakemuksen lähettäjälle annetaan arviot teknisen tarkastelun aikataulusta. Ministeriö ja turvallisuusviranomainen suorittaa teknisen tarkastelun ja paikallishallinto voi antaa lausunnon hakemuksesta. Teknisen arvioinnin jälkeen tehdään päätös ydinturvallisuuden täyttymisestä. Mikäli vaadittavat vaatimukset täyttyvät ministeriö tekee päätöksen rakennusluvasta 20 päivän aikana. Kun ydinvoimalaitos on saatu rakennettua valmiiksi, rakentaja lähettää käyttölupahakemuksen ympäristöministeriöön. Ministeriö tutkii hakemuksen pohjautuen ydinturvallisuuslakiin ja tekee päätöksen käyttöluvasta. Viimeisenä vaiheena on käytöstä poistolupa. (IAEA 2024.)

## 2.2 Lupamenettelyjen erot

Ydinvoimaloiden rakentaminen vaatii tarkkaa lupamenettelyä, koska ydinvoimalaitoksen pitää pystyä täyttämään niille määrätyt turvallisuusmääräykset. Lupamenettelyt eroavat jonkin verran maiden välillä. Lupamenettelyjen perusvaiheet ovat samat jokaisessa tarkasteltavana olevassa maassa: rakentamislupa, käyttölupa ja käytöstä poistolupa. Eroja on päätöksen teossa, valvovien viranomaisten riippumattomuudessa sekä prosessin vaiheissa.

Suomessa erityistä on hankkeen poliittinen periaatepäätös, josta päättää valtioneuvosto, eduskunnan hyväksynnällä. Tämä tekee lupamenettelystä vahvasti poliittisesti riippuvaisen. Suomessa vaaditaan myös ympäristövaikutusten tarkastelu ennen periaatepäätöksen saamista. Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) hoitaa lupaprosessin ja ydinvoimalaitosten turvallisuuden valvonnan hoitaa STUK koko laitoksen käytön ajan.

Ranskassa lupamenettelyä ohjaa ASNR viranomainen, joka on valtiosta riippumaton. Myös Ranskassa ydinvoimalaitoksen rakentaminen alkaa poliittisella päätöksellä, jonka jälkeen ASNR suorittaa teknisen arvioinnin hankkeesta ja myöntää rakennusluvan. ASNR hoitaa myös käyttölupa hakemuksen sekä suorittaa turvallisuuden valvonnan. Ranskassa lupamenettely korostaa hivenen enemmän teknistä puolta ja vähemmän poliittista hyväksyntää.

Kiinassa lupamenettely on vahvasti valtion alaisuudessa. Ympäristöministeriö ohjaa lupaprosessia. Kiinassa lupamenettely painottuu keskitettyyn päätöksentekoon ja hallinnolliseen tehokkuuteen, joka näkyy hakemuksen käsittelyn nopeudessa. Erona Suomeen ja Ranskaan voidaan pitää viranomaisvalvonnan riippumattomuutta.

## 2.3 Ydinvoimalaitoksien rahoitusmalleja

Ydinvoimalaitokset ovat pääomaintensiivisiä hankkeita. Hankkeiden suunnittelu ja rakentaminen kestää useita vuosia. Ydinvoimalaitoshankkeen rahoitusmalleja on monenlaisia. Tässä kappaleessa tutustutaan niistä yleisimpiin, jotka ovat käytössä ja suunnitteilla maailmalla sekä Euroopassa. Hankkeiden rahoitusmalleja on useita, kuitenkin rahoitus tulee pääosin kahdesta lähteestä: omasta pääomasta tai lainasta. Hankkeiden rahoitus on tyypillisesti yhdistelmä edellä mainittuja rahoituskeinoja. (Terlikowski et. al 2019.)

Ydinvoimalaitoshankkeita rahoittamaan on kehitetty useita erilaisia rahoitusmalleja. Yleisimmät mallit ovat yritysrahoitus, hybridirahoitus, toimittajarahoitus ja sijoittajarahoitus sekä tulotakaus ja lainatakaus. Yritysrahoitusta on käytetty Slovakian ydinvoimalaitos hankkeessa. Hybridirahoituksesta esimerkkinä voidaan pitää Olkiluoto 3 ja Suomessa suosittua Mankala-mallia. Toimittajarahoitusta hankkeissa on käyttänyt Unkari ja Turkki yhdessä Venäläisen Rosatom Oy:n kanssa. Puolassa suunnitteilla oleva ydinvoimalaitos hankkeen rahoitusmalli toteutettaisiin toimittajarahoituksena yhdessä Yhdysvaltalaisen Westinghouse Oy:n kanssa. Britannian ja Yhdysvaltojen 2000-luvulla rakennettujen ydinvoimalaitos hankkeiden rahoitusmalli on ollut tulotakaus ja lainatakaus. (Weibezahn et. al 2024.)

Olkiluoto 3:n omistaa kokonaan TVO Oy. Hankkeen rahoitus järjestettiin Suomessa tutulla Mankala-mallilla, jonka avulla noin kaksi kolmasosaa Suomen sähkötuotannosta on rahoitettu. Olkiluoto 3 ydinvoimalan rahoitus koostui 25 % TVO:n omasta pääomasta ja 75 % lainasta, jonka on osittain taannut ranskalainen vientiluottolaitos. Mankala-mallia voidaan kuvailla hybridirahoitukseksi, joka sisältää sijoittajarahoituksen ja yritysrahoituksen piirteitä. Mankala-mallissa on mukana useita osapuolia, jotka jakavat hankkeen rahoituksen ja rahoituksen riskin. Mallissa mukaan tulevat yhtiöt perustavat Mankala yrityksen, jonka tarkoitus on tuottaa sähköä omistajille omakustannehintaan. Yhtiön osakkaat joutuvat kattamaan kulut omistusosuutensa mukaan sekä heillä on velvollisuus ostaa sähköä omistusosuuden verran. Yhtiön osakkaat myyvät ylijäämä sähkön markkinoille. Malli on periaatteessa mekanismi, jolla rahoituksen riskiä jaetaan osakkaiden kesken. Kuitenkaan Mankala-malli ei takaa taloudellista kannattavuutta. Mahdolliset budjetin ylittävät kustannukset maksavat Mankala yhtiön osakkaat. (Baringa 2022; Weibezahn et. al 2024.)

Ranskassa rakennettu Flamanville 3 ydinvoimalaitoksen rahoitusmallina on käytetty valtio-omisteisuutta. Ranskalainen sähköyhtiö EDF omistaa kaikki Ranskassa sijaitsevat ydinvoimalaitokset (IAEA 2024). EDF on täysin valtio-omisteinen yritys, jonka avulla Ranskassa rahoitetaan uusien ydinvoimalaitoksien rakentaminen. Vuoden 2022 aikana Ranskan valtio osti kokonaan EDF yrityksen. Aikaisemmin valtio omisti yrityksestä 84 %. Tämän järjestelyn jälkeen ydinvoimaloiden rahoitus on täysin valtion vastuulla Ranskassa. (Baringa 2022.)

Tällä hetkellä rakenteilla olevien Hinkley Point C1 ja C2 omistajana on yhteisomisteisuudella ranskalainen EDF 66,5 % ja kiinalainen China General Nuclear (CGN) 33,5 % osuuksilla (Barkatullah et. al 2017). Rahoitusmuotona hankkeessa on tulon- ja lainantakaus, joka on toteutettu hinnanerosopimuksen (CfD) avulla. Hinnanerosopimuksella on tarkoitus taata

Britanniassa pitkäaikaista hintavakautta ydinvoima tuotannolle. Uusiutuvien tuotantoa avustetaan myös samalla mekanismilla. Valtion omistama yritys Low Carbon Contracts Company (LCCC) valvoo sopimuksien toimintaa. Hinnanerosopimuksessa määritellään takuuhinta tuotetulle sähkölle. Jos sähkön markkinahinta on alhainen, silloin LCCC maksaa sähköntuottajalle erotuksen määritellystä hinnasta ja markkinahinnasta. Hinkley Point C1 ja C2 ydinvoimalaitoksien hinnanerosopimus on kaksisuuntainen. Tämän ansiosta ydinvoimalaitoksen omistaja voi joutua maksamaan LCCC:lle erotuksen, jos sähkönmarkkinahinta ylittää määritellyn hinnan. Uusiutuvilla energia muodoilla sopimus on voimassa 15 vuotta ja ydinvoimalla 35 vuotta. (Weibezahn et. al 2024.)

Vuonna 2022 Britanniassa astui voimaan Nuclear Energy Financing-laki, jonka tarkoituksena on rahoittaa uusien ydinvoimaloiden rakentaminen Britanniassa. Ensimmäinen ydinvoimalahanke on Sizewell C, jonka rahoitusmallina on tarkoitus käyttää säänneltyä omaisuuspohjaa (RAB) (Ofgem 2023). RAB-malli on ollut Britanniassa käytössä isoissa infrastruktuurihankkeissa, esimerkiksi vesi-, kaasu- ja sähköjärjestelmissä. Rahoitusmallin idea on jakaa osa rakentamisen ja käytön kustannuksista loppukäyttäjille, jonka ansiosta hankkeen pääomakustannuksia pystytään pienentämään. Rahoitusta säätelee ulkopuolinen säätelijä, joka on ydinvoimalaitos hankkeissa Ofgem. Suurimmat erot RAB:n ja CfD:n välillä on rakentamisajan kustannusten jakaminen. CfD sopimuksella hankkeen toteuttaja kantaa rakentamisen ajan kustannukset, joka tarkoittaa isompia pääomakustannuksia. Tästä seuraa loppukäyttäjälle suurempi hinta sähkölaskussa. RAB mallissa pääomakustannuksia pystytään pitämään pienempänä rahoituksen riskin jaon ansiosta. Tämän ansiosta loppukäyttäjällä sähkölasku on pienempi kuin, jos hanke rahoitettaisiin CfD sopimuksella. (Department for Business, Energy & Industrial Strategy 2021.)

Kiinassa suurimman osan ydinvoimalaitoksista omistaa kaksi yhtiötä: CGN Power ja China National Nuclear Power. CGN Power on käytössä 27 ydinvoimalaitosta ja rakenteilla seitsemän vuonna 2024. Yritys on perustettu vuonna 1985 ja saanut oppinsa ranskalaiselta EDF yritykseltä. CGN Power sai ensimmäisenä valmiiksi kolmannen sukupolven eurooppalaisen ydinvoimalaitoksen EPR:n vuonna 2015. CGN Powerin omistaa China General Nuclear Corporation (CGN), joka toimii Kiinan hallinnon alaisuudessa. Vuonna 2014 CGN Power yrityksen osakkeita on voinut ostaa Hong Kongin pörssistä. (Ezell 2024; CGN Power 2025.)

Toinen suuri kiinalainen ydinvoimaloita hallinnoiva yritys on China National Nuclear Power (CNNP). CNNP yritys hallinnoi 25 ydinvoimalaitosta ja rakentaa yhdeksää uuttaa

voimalaitosta vuonna 2024. CNNP on tuonut maahan reaktoreita Ranskasta, Yhdysvalloista, Etelä-Koreasta sekä Kanadasta. (Ezell 2024.)

Kiinassa ydinvoimalaitokset omistavat yhtiöt ovat suurelta osin valtion omistamia yhtiöitä. Tästä syystä kiinalaisten rakentamien ydinvoimaloiden rahoitusmalli on painottunut lainoihin, jotka on saatu valtion omistamilta pankeilta. Noin 70 % kiinalaisista ydinvoimalaitoksista on saanut rahoituksen lainoista, joiden korko on alimmillaan noin 1,4 %. Tämä on selkeästi vähemmän kuin muualla maailmassa. Kiinan valtio tukee ydinvoimalaitoksia myös muilla rahoitusmalleilla. Esimerkiksi syöttötariffeilla, joiden ansiosta saadaan tuotettua halvempaa sähköä. Kiinassa ydinvoimaloiden ei tarvitse välttämättä ostaa maa-aluetta, johon ydinvoimala rakennetaan. Maakunta hallitukset antavat maan ilmaiseksi tai alennetulla hinnalla ydinvoimalaitoksien rakentajille. (Ezell 2024.)

Yhdysvalloissa on 2000-luvulla rakennettu kaksi uutta ydinvoimalaitosta, Vogtle 3 ja Vogtle 4. Rahoitusmalli Vogtle 3 ja 4 hankkeilla on lainantakaus valtiolta, jota myönnettiin vuonna 2010 $8,33 miljardia. Vuonna 2019 valtio myönsi vielä $3,7 miljardin lisälainantakauksen nousseiden kustannuksien takia. (U.S Department of Energy 2022). Lainantakauksen lisäksi Vogtle 3 ja 4 ydinvoimalahankkeet rahoitettiin joukkovelkakirjojen avulla. (Walstra 2024.)

# 3 Ydinvoimalaitoshankkeet

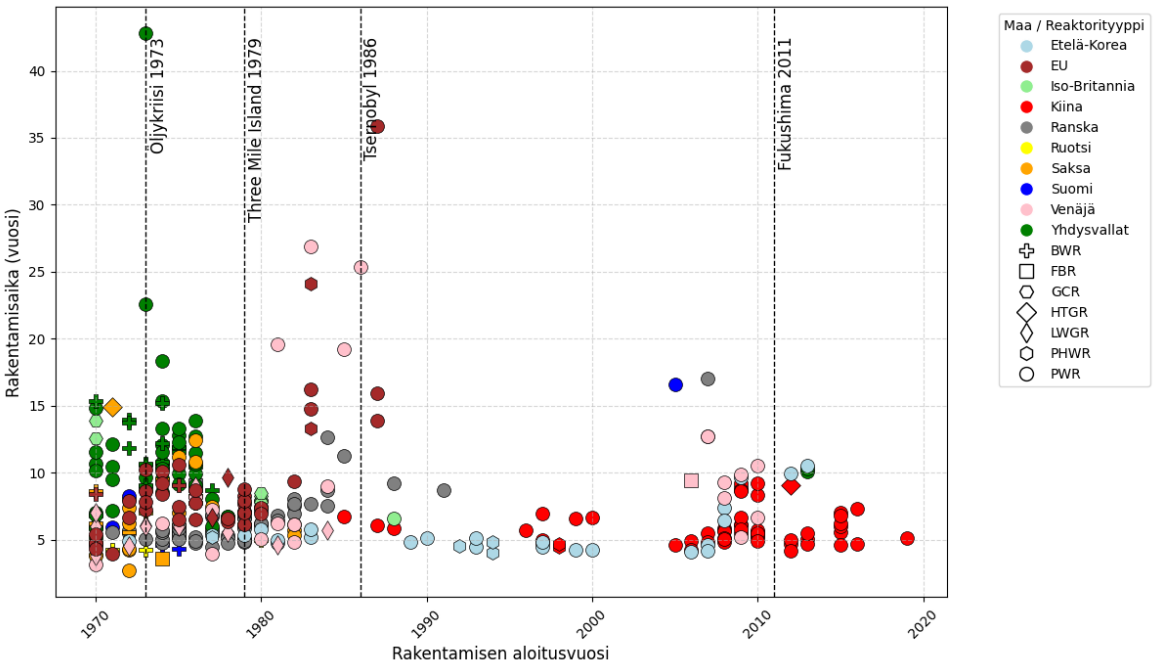
Vuonna 2024 maapallolla oli 416 ydinvoimalaitosta käynnissä ja 62 laitosta rakenteilla. Käytössä olevat reaktorit tuottivat vuonna 2024 sähköä sähköverkkoon yhteensä 2617,53 TWh. Yhdysvalloissa ja Ranskassa on tällä hetkellä eniten ydinvoimalla tuotettua sähköntuotantokapasiteettia käytössä. Näiden maiden jälkeen kolmantena on Kiina. Rakenteilla olevissa reaktoreissa Kiina on omassa luokassaan. Seuraavina ovat Intia, Turkki ja Egypti. Jos Kiina saa kaikki rakenteilla olevat reaktorinsa valmiiksi ja Yhdysvallat tai Ranska ei edes aloita rakentamaan uusia reaktoreita, niin silloin Kiina ohittaa Yhdysvallat ja Ranskan ydinvoimalla sähkönsä tuottavana maana. (PRIS 2025.)

Ensimmäisessä kappaleessa tutustutaan tarkasteltavaksi valittujen maiden hankkeiden rakentamisaikoihin. Tarkastelun kohteena olevia ydinvoimalaitoksia on aloitettu rakentamaan ja saatu valmiiksi vuosien 1970–2024 aikana. Seuraavaksi tutustutaan voimaloiden rakentamiseen 1970–1980-luvulla Euroopassa. Tämän jälkeen tarkastellaan tämän vuosituhannen puolella rakennettuja ydinvoimalaitoksia.

## 3.1 Ydinvoimalaitoksien rakentamisajat vuosina 1970–2024

Kaupalliseen käyttöön ydinvoimalaitoksia on rakennettu 1950-luvulta asti. Tässä kandidaatintyössä tarkastelu rajattiin vuodesta 1970 rakentamaan aloitettuihin ydinvoimalaitoksiin, koska silloin Euroopassa aloitettiin rakentamaan eniten ydinvoimalaitoksia (World Nuclear Association 2025). Kuvassa 1 näkyy vuodesta 1970 rakentamaan aloitettujen reaktoreiden rakennusajat.

Tarkemmin tarkasteltaviksi maiksi valittiin Suomi, Ruotsi, Ranska, Kiina sekä Yhdysvallat. Näiden maiden lisäksi kuvaan 1 on piirretty myös muiden maiden ydinvoimalaitoksien rakennusaikoja, jotta pystytään vertailemaan tarkastelun alla olevien maiden rakennusaikoja. Muut kuvaan tarkasteltavaksi valitut maat ovat Euroopan Unionin maat, Etelä-Korea ja Venäjä. Kuvasta 1 voidaan katsoa edellä mainittujen maiden ydinvoimalaitoksien rakennusaikoja.




Kuva 1. Reaktorien rakennusajat vuosina 1970–2024. (PRIS 2025)

Kuvassa 1 näkyvien ydinvoimalaitoksien keskimääräinen rakennusaika oli 7,9 vuotta ja keskimääräinen rakennettu sähköteho oli 960 MWe. Tarkasteltavana olevien ydinvoimalaitoksien määrä on 334 kappaletta, joista 50 on lopullisesti poistettu käytöstä. Käytöstä poistettujen reaktoreiden keskimääräinen käyttöaika oli noin 28 vuotta. (PRIS 2025.)

Ydinvoimalaitoksissa on historian varrella sattunut kolme suurta ydinvoimalaitos onnettomuutta. Ensimmäinen onnettomuus sattui vuonna 1979 Yhdysvalloissa Three Mile Islandin ydinvoimalassa, jonka seurauksena uusien ydinvoimaloiden rakentaminen päättyi Yhdysvalloissa. Toinen Tsernobylin ydinvoimalaitos onnettomuus sattui Neuvostoliitossa nykyisen Ukrainan alueella, jonka seurauksena Euroopassa ydinvoimaloiden rakentaminen lähes päättyi. Fukushiman ydinvoimalaitos onnettomuuden vaikutukset näkyvät huonosti kuvassa 1. Kuitenkin onnettomuuden seurauksena esimerkiksi Saksa päätti sulkea kaikki ydinvoimalaitoksensa (Joskow et.al 2012).

Kuvasta 1 voidaan katsoa tarkastelun kohteena olevien rakennettujen ydinvoimalaitoksien reaktorityyppejä. Eniten rakennettu reaktorityyppi on PWR, joita aloitettiin rakentamaan 267 kappaletta. Toiseksi suosituin reaktorityyppi on BWR, näitä reaktoreita rakennettiin 35 kappaletta. Näiden kahden yleisimmän reaktorityypin jälkeen rakennettiin Venäjälle ja Liettuaan LWGR reaktoreita 17 kappaletta. Liettua sulki omat reaktorinsa 2000-luvulla. PHWR ja GCR reaktoreita rakennettiin molempia kuusi kappaletta. PHWR reaktori on

kanadalaisten suunnittelema CANDU reaktori, joita on rakennettu Etelä-Koreaan ja Kiinaan. GCR reaktoreita on rakennettu ainoastaan Iso-Britanniaan 1970 ja 1980-luvuilla. FBR reaktoreita on rakennettu kolme kappaletta, Venäjälle, Saksaan ja Ranskaan. Kaikki FBR reaktorit on poistettu käytöstä nykyään. Niiden käyttöikä oli noin 10 vuotta. HTGR reaktoreita on rakennettu kaksi kappaletta, Kiinaan ja Saksaan. Saksalaiset sulkivat oman reaktorinsa vain kolmen vuoden käytön jälkeen Tsernobylin onnettomuuden seurauksena poliittisista ja taloudellisista syistä (Von Lensa et.al 2020). Kiinassa HTGR reaktori valmistui vuonna 2021. (PRIS 2025.)

Kuvasta 1 voidaan lukea tarkasteltavina olevien maiden rakentaneen reaktoreita eniten 1970-luvulla. Ensimmäisen suuren ydinvoimalaitos onnettomuuden Three Mile Islandin jälkeen suurin ydinvoiman tuottajamaa Yhdysvallat lopetti rakentamisen kokonaan yli 30 vuodeksi. Saksa ja Ruotsi ei ole rakentanut uusia reaktoreita vuoden 1980 jälkeen. Saksa on myös poliittisista syistä sulkenut kaikki ydinvoimalansa. Tsernobylin ydinvoimalaitos onnettomuuden jälkeen Euroopassa loppui uusien reaktorien rakentaminen lähes täysin. Ainoastaan Ranskassa, Iso-Britanniassa, Tsekissä ja Slovakiassa aloitettiin rakentamaan Tsernobylin onnettomuuden jälkeen. Kuvasta 1 voidaan lukea vain Iso-Britannian onnistuneen rakentamaan laitoksensa alle kuudessa vuodessa. 1990-luvulla uusien ydinvoimalaitoksien rakentaminen siirtyi Aasiaan. Etelä-Korea on rakentanut ydinvoimalaitoksia tasaisesti 1970-luvun loppu puolelta asti. Kuvasta 1 voidaan lukea Etelä-Korean onnistuneen rakentamaan laitoksensa keskimäärin 5,5 vuodessa. Fukushiman ydinvoimalaitos onnettomuuden jälkeen rakentaminen on hidastunut selvästi. Kuvasta 1 huomataan 2000-luvulla Ranskan, Suomen, Venäjän, Yhdysvaltojen, Kiinan ja Etelä-Korean rakentaneen uusia ydinvoimalaitoksia. Rakennusaikoja vertailtaessa Aasiassa on onnistuttu rakentamaan uusia reaktoreita selkeästi nopeammin kuin Euroopassa ja Yhdysvalloissa. (PRIS 2025.)

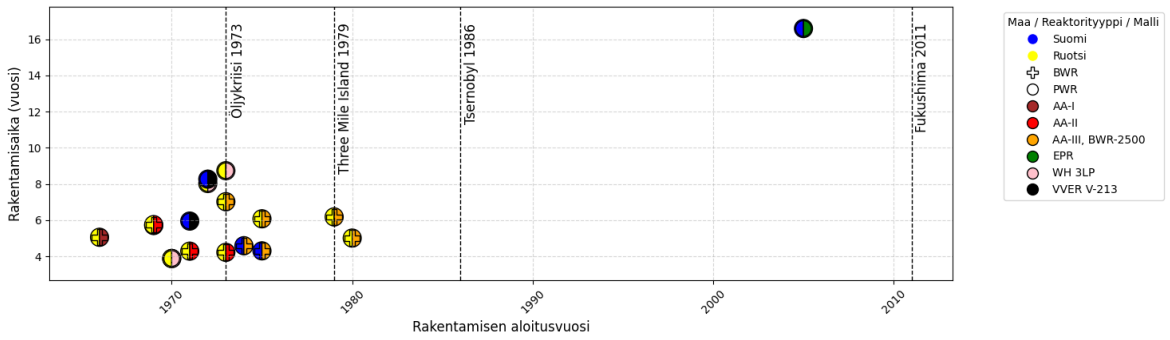
## 3.2 Rakentaminen 1970–1980-luvulla

Ydinvoimalaitoksia aloitettiin rakentamaan vuosien 1970–1986 välissä 338 kappaletta. Näistä voimalaitoksista käytössä nykyään on 253 kappaletta (World Nuclear Association 2025). Nämä muodostavat yli puolet tällä hetkellä käytössä olevista ydinvoimalaitoksista. Voidaan siis todeta tämän aikakauden olevan ydinvoimalaitoksien rakentamisen kulta-aikaa.

Rakentamisen kultakausi päättyi Tsernobylin ydinvoimalaonnettomuuden seurauksena vuonna 1986.

### 3.2.1 Rakentaminen Suomessa ja Ruotsissa

Suomessa ensimmäiset ydinvoimalaitokset rakennettiin 1970-luvun alussa Loviisaan. 1970-luvun puolivälissä Olkiluodon saarelle aloitettiin rakentamaan kaksi ydinvoimalaitosta. Ruotsissa aloitettiin rakentamaan 13 reaktoria vuosien 1966–1986 aikana. Näistä 13 reaktorista kuusi on vielä käytössä nykyään. Ruotsi ei ole rakentanut uusia reaktoreita 1980-luvun jälkeen. (PRIS 2025.)




Kuva 2. Suomessa ja Ruotsissa rakennettujen ydinvoimaloiden rakennusajat. (PRIS 2025)

Kuvassa 2 näkyy Suomessa ja Ruotsissa rakennettujen ydinvoimalaitoksien rakennusajat. Pohjoismaihin on rakennettu vain yksi ydinvoimalaitos 1980-luvun jälkeen, Olkiluoto 3 ydinvoimalaitos Suomeen, jonka rakentaminen kesti selkeästi kauemmin kuin 1970-luvulla rakennettujen laitoksien.

Loviisan ydinvoimalaitokset olivat ensimmäinen monikansallinen hanke, jossa kylmän sodan aikana itä ja länsi toimivat yhdessä ydinvoimalan rakentamisessa. Loviisa 1 ja 2 reaktorit, turbiinit, generaattorit sekä muut pääkomponentit tulivat Neuvostoliitosta. Turvallisuusjärjestelmät, valvontajärjestelmät sekä automaatiojärjestelmät olivat länsimaisia. Tällä järjestelyllä Loviisa 1 ja 2 ydinvoimalaitokset täyttivät länsimaiset turvallisuusvaatimukset. (Fortum 2025b.) Loviisan molemmat laitokset on suunniteltu tuottamaan nettosähkötehoa 420 MWe (PRIS 2025).

Fortum on huoltanut Loviisan ydinvoimalaitoksia ja tehnyt toimenpiteitä laitoksien ikääntymisestä johtuen. Ensimmäinen modernisointi laitoksille toteutettiin 1990-luvulla, jonka

ansiosta molempien laitoksien nettosähköteho nousi noin 10 %, ollen suurin piirtein 460 MWe (Fortum 2025a). Fortum on tehnyt Loviisa 1 ja Loviisa 2 käyttövuosien aikana monia erilasia laitoksen modernisointeja, joiden ansiosta molempien laitoksien nettosähköteho on noussut 47 MWe, jolloin molempien laitoksien uudeksi sähkötehoksi tuli 507 MWe. (Fortum 2022.)

Alun perin käyttölupa oli Loviisa 1 voimalaitoksella vuoteen 2027 asti ja Loviisa 2 voimalaitoksella vuoteen 2030 asti. Vuonna 2022 Fortum haki pidennettyä käyttölupaa Loviisan ydinvoimalaitoksille vuoteen 2050 saakka. (Fortum 2022). Loviisan ydinvoimalaitokset saivat vuonna 2023 uuden käyttöluvan STUK:ilta vuoteen 2050 asti. STUK kuitenkin edellyttää käyttölupa lausunnossaan Fortumin huolehtivan laitoksen ikääntymisestä johtuvista toimenpiteistä, jotka varmistetaan määräaikaisilla turvallisuusarvionneilla sekä jatkuvalla valvonnalla. (STUK 2023).

Eurajoelle Olkiluodon saareen aloitettiin rakentamaan 1970-luvun puolivälissä kahta ydinvoimalaitosta. Olkiluodon ydinvoimalaitokset ovat samanlaisia ja ne on tilattu ruotsalaiselta AB Asea-Atom. Olkiluoto 1 on toteutettu avaimet käteen -periaatteella. TVO itse rakensi Olkiluoto 2 ydinvoimalaitoksen. Ydinvoimalaitokset ovat kiehutusvesireaktoreita (BWR). (TVO 2013.)

OL1 ja OL2 on suunniteltu tuottamaan 660 MWe, kuitenkin neljän modernisointi projektin jälkeen laitokset tuottavat tänä päivänä 890 MWe. OL1 ja OL2 laitoksien tehon nostot on toteutettu neljällä modernisointi kerralla, jotka on toteutettu vuosien 1986–2012 aikana (TVO 2013). Olkiluodon ydinvoimalaitoksilla tehtyjen modernisointien ansiosta, TVO pystyy tuottamaan OL1 ja OL2 laitoksilla 460 MWe enemmän nettosähkötehoa kuin alkuperäisillä laitoksilla. Olkiluoto 1 ja 2 käyttölupa on myönnetty vuoteen 2038 asti. TVO on ilmoittautunut hakevansa OL1 ja OL2 laitoksille käyttöiän jatkamista vuoteen 2048 tai 2058 asti. Samalla selvitetään mahdollista tehon korottamista nykyisestä 890 MWe jopa 970 MWe. (TVO 2025.)

Barsebäckin ydinvoimalaitokset rakennettiin Etelä-Ruotsiin Mälmön kaupungin lähelle. Barsebäck 1 oli käytössä noin 24 vuotta ennen kuin laitos lopullisesti ajettiin alas ja vastaavasti Barsebäck 2 oli käytössä noin 27 vuotta ennen lopullista alasajoa. Alasajot tapahtuivat poliittisella päätöksellä vuosien 1999–2005 aikana. (Uniper 2025.)

Ringhalsin ydinvoimalaitokset rakennettiin Göteborgin kaupungin läheisyyteen vuosien 1969–1982 aikana. Ringshalsin alueelle rakennettiin neljä reaktoria, joista kaksi on poistettu jo käytöstä. Ringhals 1 laitoksen rakentaminen kesti viisi vuotta ja 10 kuukautta. Laitos oli kaupallisessa käytössä noin 45 vuotta ennen kuin laitos ajettiin alas vuonna 2019. Ringhals 2 laitoksen rakentamisessa kului aikaa kolme vuotta ja kahdeksan kuukautta. R2 laitos tuotti sähköä 44 vuoden ajan ja laitos ajettiin alas vuonna 2019. R1 reaktori oli malliltaan kiehutusvesireaktori (BWR) ja R2 reaktori oli malliltaan painevesireaktori (PWR). Ringshalsin ydinvoimala on yksi harvoista paikoista maailmassa, jossa oli molempia reaktorityyppejä käytössä. (Vattenfall 2025b.) Suomessa Olkiluodoss on myös käytössä nämä molemmat reaktorityypit.

Oskarhamnin alueelle, Götlannin saaren viereen mantereelle, on rakennettu kolme ydinvoimalaa. Oskarshamn 1 oli ensimmäinen kaupallinen ydinvoimala Ruotsissa. O1 aloitettiin rakentamaan vuonna 1965 ja se valmistui vuonna 1971. Laitos ajettiin alas vuonna 2017. Oskarshamn 2 rakentaminen kesti viisi vuotta ja laitos oli kaupallisessa toiminnassa noin 41 vuotta. O1 ja O2 käytöstä poistaminen ennenaikaisesti päätettiin ylimääräisessä osakkeenomistajien kokouksessa vuonna 2015. (OKG 2025.)

Forsmarkin ydinvoimala on rakennettu Tukholman yläpuolelle Pohjanmeren rannalle. Ydinvoimala-alueelle on rakennettu kolme reaktoria. Kaikki reaktorit ovat kiehutusvesireaktoreita (BWR), jotka on suunnitellut Asea-Atom. Molempien voimalaitoksien, Forsmark 1 ja Forsmark 2, rakentaminen kesti seitsemän vuotta. Forsmark 3 aloitettiin rakentamaan vuonna 1979 ja laitos tuotti sähköä kuuden vuoden ja kahden kuukauden rakentamisen jälkeen. Forsmarkin ydinvoimalaitoksia modernisoidaan tällä hetkellä ja tarkoituksena on lisätä laitoksien nettosähköteho 410 MWe. (Vattenfall 2025a.)

Oskarshamn 3 aloitettiin rakentamaan vuonna 1980 ja laitos tuotti sähköä viiden vuoden kuluttua rakentamisen aloittamisesta. O3 suunniteltiin alun perin tuottamaan sähköä 1050 MWe teholla. O3 laitos on kiehutusvesireaktori (BWR), jonka on suunnitellut Asea-Atom. Laitoksessa on toteutettu kahdesti modernisointi, jonka ansiosta laitoksen sähkötehoa on pystytty nostamaan 350 MWe. Nykyään O3 sähköteho on 1400 MWe. (OKG 2023.)

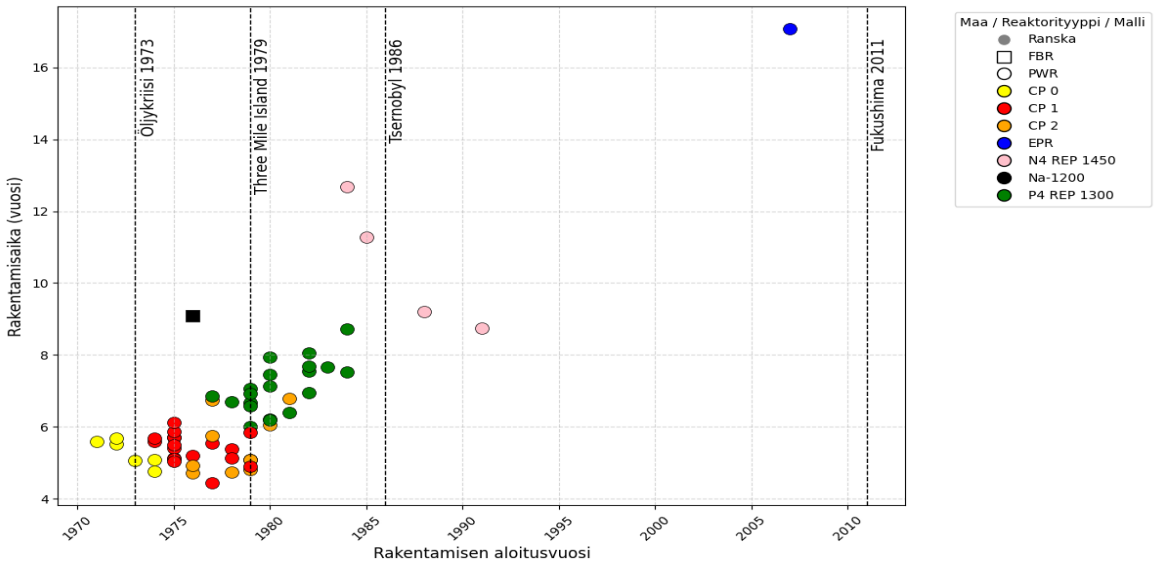
Ringhalsin 3 ja 4 reaktorit ovat Westinhousen rakentamia painevesireaktoreita (PWR). R3 reaktoria rakennettiin kahdeksan vuotta ja reaktorin R4 rakentaminen kesti kahdeksan vuotta ja kahdeksan kuukautta. Tällä hetkellä Ringshalsin 3 ja 4 reaktorit ovat tuottaneet sähköä

noin 40 vuotta. Vattenfallin suunnitelmissa on pidentää R3 ja R4 toiminta-aikaa ainakin 60 vuoden mittaiseksi. (Vattenfall 2025b.)

### 3.2.2 Rakentaminen Ranskassa

Ranska on ydinvoiman suurin rakentaja ja tuottaja Euroopan Unionissa. Ranska tuotti sähköstänsä noin 65 % ydinvoimalla vuonna 2023 (IEA, 2025). Ranska on rakentanut historiansa aikana 71 reaktoria, joista on käytössä tänä päivänä 57 reaktoria. Vuosien 1970–1986 välillä Ranska on rakentanut 57 reaktoria. Tänä aikana rakennetuista reaktoreista vain kolme on poistettu käytöstä. Tsernobylin voimalaitos onnettomuus lopetti rakentamisen lähes täysin. Onnettomuuden jälkeen Ranska on rakentanut vain kolme uutta reaktoria. Kaksi reaktoria aloitettiin rakentamaan vuosina 1988 ja 1991. Kolmas reaktori aloitettiin rakentamaan vuonna 2007. (PRIS 2025.)

Kuvassa 3 näkyy Ranskassa rakennettujen ydinvoimaloiden rakennusajat. Ranskan rakentamat reaktorit ovat malliltaan CP0, CP1, CP2, EPR, N4 REP 1450, Na-1200 ja P4 REP 1300. CP reaktoreiden rakentaminen kesti keskimäärin 5,4 vuotta. CP reaktoreita rakennettiin yhteensä 32 kappaletta. P4 REP 1300 reaktoreiden keskimääräinen rakennusaika oli 7,1 vuotta. P4 reaktoreita rakennettiin 20 kappaletta. N4 REP reaktoreita rakennettiin neljä kappaletta. Kuvasta 3 voidaan lukea näiden reaktoreiden rakentamisessa kestäneen selkeästi kauemmin kuin muiden tällä ajanjaksolla rakennettujen reaktorien. (PRIS 2025.)




Kuva 3. Ranskassa rakennettujen ydinvoimaloiden rakennusajat. (PRIS 2025)

Ranskassa vuosina 1970–1991 rakentamaan aloitetut reaktorit olivat yhtä lukuun ottamatta kaikki painevesireaktoreita (PWR). Reaktoreita rakennettiin vuosina 1970–1991 vähintään kaksi kappaletta samalle sijainnille. Super Phenix hyötöreaktori (FBR) oli ainoa reaktori, jota rakennettiin vain yksi kappale. Tämän rakentamisessa kesti 10 vuotta ja käytössä reaktori oli vain noin 12 vuotta. Hyötöreaktori rakennettiin yhteistyössä saksalaisten ja sveitsiläisten kanssa. Hyötöreaktori valmistui vuonna 1986, noin neljä kuukautta ennen Tsernobylin ydinvoimalaitosonnettomuutta. Onnettomuuden jälkeen ydinvoimavastaisuus kasvoi Euroopassa ja vastustus hyötöreaktoria kohtaan kasvoi. Poliittisen ilmapiirin ja taloudellisten syiden takia hyötöreaktori suljettiin lopullisesti vuonna 1998 vain 12 vuoden käytön jälkeen. (PRIS 2025; Le Renard C 2018.)

Ensimmäiset Ranskaan rakennetut PWR reaktorit olivat malliltaan CP0, joka oli Westinghousen lisenssillä rakennettu reaktorimalli. CP0 reaktorin sähköteho on 900 MWe. CP0 mallin reaktoreita Ranskaan rakennettiin kuusi kappaletta. Reaktoreita rakennettiin kahdelle laitospaikalle: Fessenheim 1 ja 2 ja Bugey 2, 3, 4 ja 5. Kuvasta 3 voidaan lukea rakentamisen kestäneen keskimäärin 5,3 vuotta. CP1 ja CP2 mallin reaktorit ovat mallista CP0 paranneltuja versioita. Näiden reaktoreiden teho on myös 900 MWe. CP1 ja CP2 reaktoreita Ranskaan rakennettiin 28 kappaletta. Reaktoreita rakennettiin samoille laitospaikoille 2–6 kappaletta. Keskimääräinen rakennusaika CP1 ja CP2 mallin reaktoreilla oli 5,4 vuotta. Lyhin rakennusaika oli Blayais 1, joka rakennettiin 4,4 vuodessa. Reaktori oli mallia CP1. (PRIS 2025; Fernandez-Arias et.al 2020.)

Ranskalaiset suunnittelivat 1970-luvun lopuilla P4 mallin reaktorin, joka pohjautui myös Westinghousen lisenssiin. Tämän reaktorin sähköteho on 1300 MWe. P4 mallin reaktoreita rakennettiin Ranskaan 20 kappaletta. Keskimääräinen rakennusaika P4 reaktoreilla oli 7,1 vuotta. P4 mallin reaktoreita rakennettiin samalle laitospaikalle myös 2–4 kappaletta. N4 mallin reaktori oli ensimmäinen ranskalaisten suunnittelema malli. Ennen Tsernobylin ydinvoimalaitosonnettomuutta ranskalaiset ehtivät rakentamaan kaksi kappaletta N4 mallin reaktoreita. N4 mallin reaktorin sähköteho on 1450 MWe. Reaktorit rakennettiin Chooz B 1 ja 2 laitospaikalle. Näiden reaktoreiden rakentaminen kesti yli 10 vuotta. (PRIS 2025; Fernandez-Arias et.al 2020.)

Kuvasta 3 voidaan lukea Tsernobylin ydinvoimalaitosonnettomuuden jälkeen ranskalaisten aloittaneen rakentamaan kolme uutta reaktoria. Civaux 1 ja 2 reaktorit olivat malliltaan N4

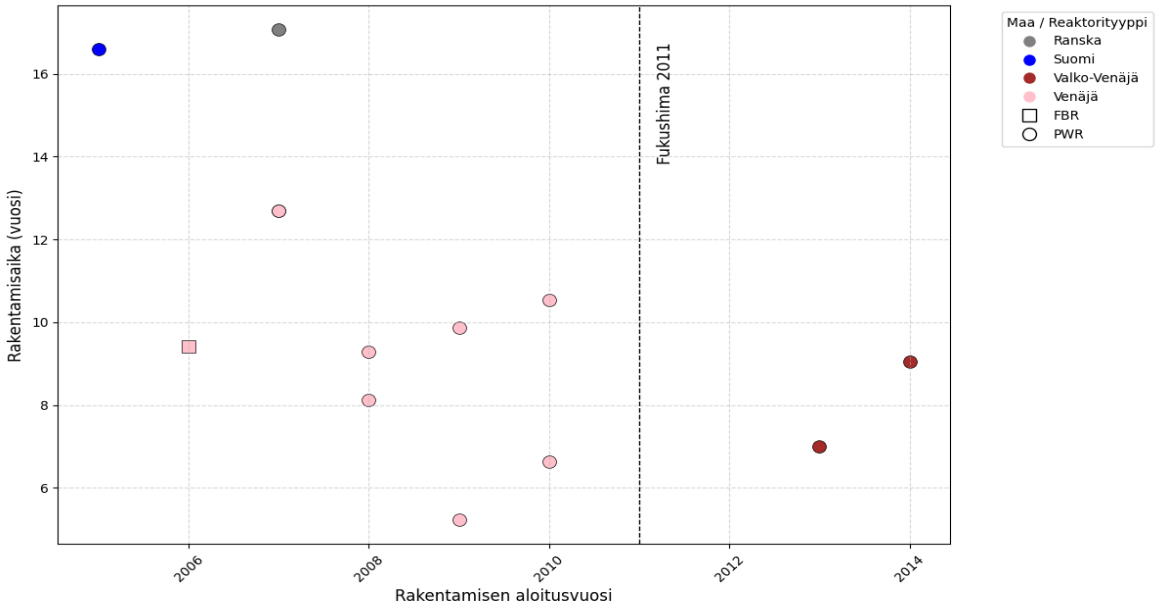
REP 1450, joita rakennettiin kaksi kappaletta. Reaktoreiden rakentaminen kesti noin yhdeksän vuotta. Kolmas rakentamaan aloitettu reaktori oli Flamanville 3.

## 3.3 Rakentaminen 2000-luvulla

Tässä kappaleessa tutkitaan viimeaikaisia ydinvoimalaitoksien rakennushankkeita. Tutustutaan ydinvoimalaitos hankkeisiin Euroopassa, Kiinassa sekä Yhdysvalloissa. Vuodesta 2000 alkaen maailmassa on aloitettu 159 reaktorin rakentaminen. Näistä 96 reaktoria on käytössä tällä hetkellä. (World Nuclear Association 2025.)

### 3.3.1 Hankkeet Euroopassa

Tämän vuosituhannen puolella Euroopassa on rakennettu 13 reaktoria ja tällä hetkellä rakenteilla on 13 reaktoria. Tässä tilastossa Venäjällä on suurin osuus yhdeksällä reaktorilla. Euroopan unionin alueella on rakennettu 2000-luvulla vain 2 reaktoria: Olkiluoto 3 Suomessa ja Flamenville 3 Ranskassa. Olkiluoto 3 liittyi sähköverkkoon vuonna 2022 ja Flamanville 3 liittyi sähköverkkoon vuonna 2024. Reaktorit, jotka on aloitettu rakentamaan tällä vuosituhannella EU:n alueella, on malliltaan EPR. (PRIS 2025.)




Kuva 4. Euroopassa 2000-luvulla rakennettujen ydinvoimalaitoksien rakennusajat. (PRIS 2025.)

Venäjällä on rakennettu yhdeksän reaktoria ja Valko-Venäjällä kaksi 2000-luvulla. Venäjä on rakentanut selkeästi eniten reaktoreita tämän vuosituhannen puolella Euroopassa. Kuvasta 4 voidaan lukea reaktoreiden rakennusaikojen olevan noin 5–10 vuotta. Tämä on selkeästi lyhyempi kuin Suomessa Olkiluoto 3 ja Ranskassa Flamanville 3 rakennusaika. Kuvasta 4 huomataan Olkiluodon rakennusajan olleen 16 vuotta ja kuusi kuukautta. Ranskassa Flamanvillen rakentaminen kesti kuvan 4 mukaan 17 vuotta. (PRIS 2025.)

Alkuperäisen aikataulun mukaan Olkiluoto 3 olisi pitänyt valmistua vuonna 2009. Kuitenkin ongelmat alkoivat ja OL3 rakentamisen budjetti kaksinkertaistui suunnitellusta. Suurimmat ongelmat liittyivät OL3 hankkeessa erilaisiin suunnitelmamuutoksiin ja toimitusketju ongelmiin. Myös toinen EPR rakennushanke Flamanville 3 ajautui ongelmiin ja hankkeen budjetti lähes kolminkertaistui. Flamanvillen hankkeessa oli samoja ongelmia kuin Olkiluoto 3 hankkeessa. Flamanville 3 laitos myöhästyi myös alkuperäisestä aikataulusta 12 vuotta. (IEA 2025.)

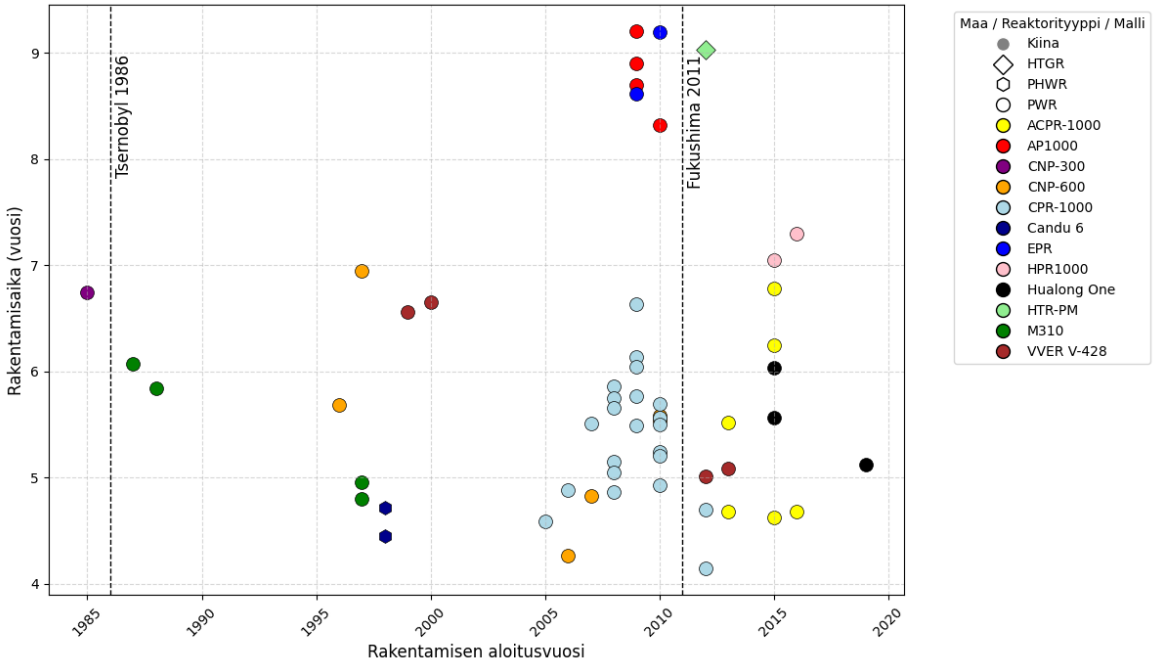
### 3.3.2 Hankkeet Kiinassa

Ydinvoiman rakentaminen on muuttunut radikaalisesti 2000-luvulla. Aasiassa on ruvettu rakentamaan ydinvoimaloita enemmän kuin Euroopassa ja Yhdysvalloissa. Varsinkin Kiina on nostanut oman ydinvoima teollisuuden ylös ja vauhdilla. Tänä päivänä noin puolet rakenteilla olevista reaktoreista sijaitsee Kiinassa. (IEA 2025.)

Kiina on täyttänyt energian tarvettansa monilla erilaisilla tuotantomuodoilla. Myös ydinvoima on tullut osaksi tätä kehitystä. Kiinassa on tällä hetkellä käytössä 57 reaktoria, joista 47 on aloitettu rakentamaan 2000-luvulla. Kiinassa on nykyään rakenteilla 29 reaktoria. (PRIS 2025.)

Kuvasta 5 voidaan lukea Kiinan alkaneen rakentamaan ydinvoimalaitoksia 1980-luvun puolessa välissä. Kuitenkin vasta 2000-luvulla Kiinassa alkoi reaktorien rakentaminen kunnolla. Kiinassa 2000-luvulla rakennettujen reaktorien rakennusajan keskiarvo on ollut noin kuusi vuotta. Yhtä SMR-reaktoria lukuun ottamatta, kaikki Kiinassa rakennetut reaktorit ovat olleet painevesireaktoreita (PWR). Kiinassa on rakennettu monia erilaisia reaktorimalleja. Yleisin reaktorimalleista on ollut CPR-1000, jonka teho on noin 1000 MWe. Näiden

reaktorien rakentaminen on kestänyt noin viisi vuotta. CPR-1000 reaktoreita on rakennettu Kiinaan 24 kappaletta. (PRIS 2025.)




Kuva 5. Kiinassa rakennettujen reaktorien rakennusajat. (PRIS 2025)

Euroopassa hitaasti nouseva EPR reaktori rakennettiin Kiinassa noin yhdeksässä vuodessa. Kuten kuvasta 5 voidaan huomata. EPR reaktorien rakentaminen on kestänyt myös Kiinassa keskiarvoa kauemmin. Kuitenkin kiinalaiset saivat rakennettua reaktorinsa lähes puolet nopeammin kuin Suomi ja Ranska. Suomessa Olkiluoto 3 ja Ranskassa Flamanville 3 alettiin rakentamaan pari vuotta aikaisemmin kuin Taishan 1 ja 2 reaktoria, mutta Taishan 1 reaktori oli ensimmäinen EPR reaktori, joka valmistui maailmassa. Reaktori liittyi sähköverkkoon vuonna 2018. (PRIS 2025.)

Kuvasta 5 voidaan lukea kuuden PWR-reaktorin rakentamisen kestäneen selkeästi kauemmin kuin muiden Kiinassa rakennettujen reaktorien. Kaksi reaktoria oli ranskalaisten toimittamia EPR mallin reaktoreita. Neljä muuta reaktoria oli yhdysvaltalaisten toimittamia AP1000-reaktoreita. Molemmat reaktorimallit ovat kolmannen sukupolven suunnitelmia. Aikaisemmat Kiinassa rakennetut reaktorit olivat toisen sukupolven suunnitelmia. Tämä teki molemmista reaktorimalleista FOAK-hankkeita. Reaktorimallien erilainen turvajärjestelmien suunnittelu tuotti myös hankaluuksia. Kiinalaiset olivat tottuneet rakentamaan toisen sukupolven voimalaitoksia ja nämä kolmannen sukupolven voimalaitokset yllättivät kiinalaiset tuotantoketjut monimutkaisuudellaan. Samoihin aikoihin rakennetut CPR-1000-

mallin ydinvoimalaitokset olivat kiinalaisten omia suunnitelmia, jotka perustuivat ranskalaisten suunnittelemaan M310-malliin. Tämän avulla kiinalaiset tuotantoketjut pystyivät standardoimaan yhden reaktorimallin rakentamista. EPR-mallin ja AP1000-mallin reaktorien teknologia tuli Ranskasta ja Yhdysvalloista. Tämä hidasti myös kyseisten mallien rakentamista. Huolong One reaktorimalli oli ensimmäinen kiinalainen kolmannen sukupolven reaktori, joka on kehitetty kiinalaisella teknologialla. (PRIS 2025: Ezell 2024; Andrews-Speed 2020; Ramana et.al. 2011.)

### 3.3.3 Hankkeet Yhdysvalloissa

Yhdysvalloissa 2000-luvulla on aloitettu sekä saatu valmiiksi vain 2 reaktoria, Vogtle 3 ja Vogtle 4. Molemmat reaktorit on rakennettu Georgian osavaltioon. Reaktorit ovat tyypiltään PWR ja malliltaan AP1000, joka on Westinghousen suunnittelema (Westinghouse 2025a). Rakennettujen reaktorien sähköteho on 1117 MWe. Rakentaminen aloitettiin molemmissa reaktoreissa vuonna 2013. Vogtle 3 valmistui vuonna 2023 ja Vogtle 4 valmistui vuonna 2024. (PRIS 2025). Reaktorien rakentaminen kesti noin 10 vuotta. Vogtle 3 oli 30 vuoteen ensimmäinen reaktori, joka on rakennettu Yhdysvalloissa (World Nuclear News 2023a). Uusia SMR-laitoksia suunnitellaan ja pohditaan rakennettavaksi Yhdysvaltoihin. Ensimmäinen tyyppi hyväksytty SMR-laitos NuScale piti rakentaa Utahiin mutta hanke peruuntui vuonna 2023 taloudellisten syiden takia (World Nuclear News 2023b).

# 4 Rakentamisen esteet ja ongelmat

Seuraavaksi pohditaan suurimpia esteitä ja ongelmia, joita uuden ydinvoiman rakentamisessa Euroopassa ilmenee.

## 4.1 Ydinvoimalaitoksien rakentamisen suurimmat ongelmat

Kappaleessa kolme huomattiin 2000-luvulla Eurooppaan rakennettujen ydinvoimalaitos hankkeiden viivästyneen monta vuotta alkuperäisestä aikataulusta sekä kustannuksien ylittäneen budjetin. Läntisessä Euroopassa valmiiksi saadut hankkeet ovat vain Suomen Olkiluoto 3 ja Ranskan Flamanville 3. Kuten aikaisemmin huomattiin, molempien laitoksien rakentaminen kesti noin 17 vuotta. Kiinassa rakennettiin samanlaiset EPR-laitokset Taishan 1 ja 2 noin yhdeksän vuoden aikana.

Kaikki edellä mainitut ydinvoimalalaitokset ovat malliltaan EPR. Tämä ranskalaisen ja saksalaisen yhteistyössä suunnittelema laitos pohjautuu Ranskassa ja Saksassa käytössä oleviin ydinvoimalaitoksiin. Framatomen ja Siemensin perustama yhteisyritys NPI suunnitteli uuden ydinvoimalalaitoksen, joka pohjautuu N4 REP 1450 sekä KONVOI laitoksiin. Tavoitteena oli suunnitella ydinvoimalaitos, joka voidaan rakentaa sekä Ranskaan että Saksaan ilman suunnitelmien muutoksia. Laitoksen suunnittelu pohjautuu pitkälti turvallisuuden parantamiseen vanhoihin ydinvoimalaitoksiin verrattuna. Suunnittelu pohjautui kolmeen tärkeään pääperiaatteeseen. Ensimmäinen periaate on turvallisuusjärjestelmien pohjautuminen deterministisiin vaatimuksiin, eli laitoksen on kestettävä ennalta määrätyt ja tarkat vaatimukset vikaantumisen todennäköisyydestä huolimatta. Tämän jälkeen suunnittelussa turvallisuutta parannetaan probalistisilla periaatteilla. Toinen periaate oli turvallisuuden parantaminen käytössä olleisiin reaktoreihin verrattuna. Kolmas periaate oli voimalaitoksen käytön parantaminen säteilyturvallisuuden, huollon ja ihmislähtöisen virheen pienentämiseksi. (Chech et. al 1999.)

Olkiluoto 3 hanke oli ensimmäinen rakentamaan aloitettu EPR-laitos. Tämä tarkoittaa laitoksen olleen first-of-a-kind (FOAK) hanke. Tämän tutkielman kolmannesta kappaleesta on huomattu rakentamisen kestäneen 17 vuotta. TVO teki vuonna 2004 avaimet käteen

sopimuksen ranskalaisen Arevan kanssa EPR ydinvoimalan rakentamisesta. Hanke luvattiin toteuttaa viidessä vuodessa. Tämä oli todella kunnianhimoinen lupaus. Vuosien 1996–2000 aikana maailmalla ydinvoimaloiden rakentamisen kesto oli noin 10 vuotta. Kuitenkin Areva lupasi rakentaa täysin uuden ydinvoimala konseptin viidessä vuodessa. (Barkatullah et. al 2016; Weibezahn et. al 2024.)

Olkiluoto 3 hankkeen myöhästymisen syitä on monia. Tärkeimpiä syitä kuitenkin oli se, että hanke oli ensimmäinen EPR-laitos, aikataulu epärealistinen ja suunnitelmat puutteellisia ennen rakentamisen aloittamista. Olkiluoto 3 ydinvoimalaitos hanke oli ensimmäinen Suomessa rakentamaan aloitettu ydinvoimalaitos melkein 30 vuoteen. Tästä syystä oikean työvoiman puute vaikeutti hankkeen valmistumista. Hanke käynnistyi hitaasti, kun laitostoimittajalla ei ollut riittävän valmiita suunnitelmia rakennusluvan saannin aikana. Olkiluoto 3 oli laitostoimittajan ensimmäinen rakentamaan aloitettu ydinvoimala. Tämän seurauksena laitostoimittajalla ei ollut tarpeeksi kokeneita alihankkijoita, jotka olisivat osanneet rakentaa ydinvoimalaitoksen aikataulussa. Olkiluoto 3 hanke oli ensimmäinen uusi ydinvoimalaitos, jota ranskalaiset alkoivat rakentamaan yli 10 vuoteen, joten aikaisemmat toimijat olivat suurelta osin poistuneet alalta. Tämä aiheutti suuria ongelmia toimitusketjuissa, koska jouduttiin opettamaan uusille toimittajille ydinvoimalaitoksien osien laatuvaatimuksia. EPR-laitoksessa oli monia uusia järjestelmiä, joita ei ollut aikaisemmin tehty. Tästä syystä joidenkin osien valmistusta jouduttiin uusimaan. Projektin johtamisen kokemattomuus, toimitusketju ongelmat ja lisäksi puutteellinen ymmärrys STUKin toiminnasta hidasti hanketta entisestään. (Hossen M et. al 2014; Laaksonen 2010.)

Ranskalainen laitostoimittaja alkoi myös rakentamaan Ranskaan Flamanville 3 ydinvoimalaitos hanketta muutama vuosi Olkiluoto 3 jälkeen. Olkiluoto 3 hankkeen suunnitelmien myöhästymisen takia, Flamanville 3 hanketta voidaan pitää myös FOAK-hankkeena. Flamanville 3 hankkeen suunnitelmat olivat myös keskeneräiset rakentamisen aloituksen kanssa. Laitostoimittaja ei pystynyt oppimaan Olkiluoto 3 hankkeesta, koska hankkeet olivat käynnissä lähes samaan aikaan. Myös sääntelyviranomaisten erot vaikeuttivat hankkeiden toteutusta. Voidaan sanoa laitostoimittajan toteuttaneen samaan aikaan kahta FOAK-hanketta. Ranskalaiset olivat rakentaneet 1970–1980-luvuilla useita ydinvoimalaitoksia, joten niillä oli ollut tuotantoketjut toiminnassa. Tässä kohtaan tuotantoketjut olivat jo hajonneet, joten tämä tuotti laatuongelmia Flamanville 3 hankkeessa. Projektin hallinnan taito oli myös kadonnut rakentamisen kultavuosiin verrattuna. (NEA 2020.)

Vertailtaessa Olkiluoto 3 ja Flamanville 3 hankkeita Kiinassa rakennettuihin Taishan 1 ja 2 voidaan huomata selkeä oppimiskäyrä. Kaikissa ydinvoimalaitoshankkeissa oli sama laitostoimittaja, joka pystyi oppimaan Euroopassa tehdyistä projekteista. Euroopassa hankkeiden rakentaminen kesti noin 17 vuotta ja Kiinassa yhdeksän vuotta. Suurimmat kustannuksien nousut ja aikataulu viivästykset johtuvat neljästä asiasta. Suunnitelmien ja tuotantoketjujen pitää olla kunnossa ennen rakentamisen aloittamista. Seuraava tärkeä asia on projektin hallinta. Näiden jälkeen pitää olla samalla sivulla sääntelyviranomaisen kanssa, jotta ei tarvitse tehdä suunnitelmiin muutoksia rakentamisen aikana. Tämä on selkein syy miksi Olkiluoto 3 ja Flamanville 3 rakentaminen viivästyi. Lopuksi poliittinen ilmapiiri pitää olla hankkeelle myönteinen. Kiinassa Taishan 1 ja 2 ydinvoimalaitoksilla nämä neljä edellistä kohtaa olivat paremmassa kunnossa. Kiinassa on 2000-luvulla rakennettu ydinvoimalaitoksia paljon, joten tuotantoketjut ja projektin hallinta olivat paremmassa kunnossa kuin Euroopassa. Taishan 1 ja 2 voimalaitos hankkeissa ranskalainen laitostoimittaja pystyi korjaamaan ongelma kohtia, joita oli ilmennyt Olkiluodon ja Flamanvillen hankkeissa. (NEA 2020.)

## 4.2 Rahoitus

Tässä kappaleessa käsitellään ydinvoimalaitoksen rahoitukseen liittyviä ongelmia ja esteitä. Ydinvoimalaitokset ovat pääomaintensiivisiä hankkeita. Euroopassa tämän vuosituhannen puolella rakennettujen laitoksien investointi on liikkunut 10 miljardin euron molemmilla puolilla. Ydinvoimalaitoksilla on korkeat alkuinvestointikustannukset mutta käyttökustannukset ovat maltillisia. Suurin ongelma pääomakustannuksista aiheutuu pitkän rakennusajan takia. Edellä on huomattu ydinvoimaloiden rakentamisen kestäneen 2000-luvulla Euroopassa yli 10 vuotta. Kiinassa on päästy maltillisimpiin rakennusaikoihin, kestoltaan noin 4–9 vuotta. (Baringa 2022; Weibezahn et. al 2024.)

Pitkä rakennusaika tuo suuria lisäkustannuksia rahoitukseen, korkojen ja lisärahoituksen muodossa. Kappaleessa 4.1 tarkastelun alla olleiden EPR-laitoksien rakentamisen ajankustannukset ovat kasvaneet jokaisessa hankkeessa. Olkiluoto 3 luvattiin rakentaa viidessä vuodessa ja rakentamisen hinta piti olla 2000 USD/kWe. Hankkeen valmistuttua 17 vuoden rakentamisen jälkeen, rakentamisen hinta oli lopulta yli 5700 USD/kWe. Ranskassa Flamanville 3 ydinvoimalaitoksen rakennushankkeessa kävi samalla tavalla. Laitos luvattiin rakentaa viidessä vuodessa ja rakentamisen hinta piti olla alle 2000 USD/kWe. Lopulta laitoksen

rakentaminen kesti myös 17 vuotta ja rakentamisen hinnaksi tuli yli 8500 USD/kWe. Taishan 1 ja 2 luvattiin rakentaa 4,5 vuodessa ja rakentamisen hinta piti olla alle 2000 USD/kWe, joka oli myös Flamanville 3 arvioitu hinta. Kiinassa EPR laitoksien rakentamissa kesti noin yhdeksän vuotta ja rakentamisen hinta oli noin 3000 USD/kWe. Vertailemalla Kiinassa rakennettuihin Taishan 1 ja 2 EPR laitoksiin, Euroopassa rakentamisen hinta on ollut puolet suurempi sekä rakentaminen on kestänyt lähes kaksi kertaa kauemmin. (Weibezahn et. al 2024.)

Uusien ydinvoimalaitoksien rahoituksen ongelmiin liittyy myös eri tuotantomuotojen käyttöikä. Kun lähdetään rahoittamaan uutta energiantuotantoa, rahoittaja laskee yleensä noin 25 vuoden takaisinmaksuajan sijoitetulle pääomalle. Tämä on linjassa uusiutuvien energiamuotojen, kuten tuulivoiman ja aurinkovoiman kanssa, mutta ydinvoimalla tämä tuo lisähaastetta rahoituksen kannattavuudessa. Ydinvoimalaitoksien käyttöikä on suunniteltu olevan noin 40-60+ vuotta. Uusiutuvilla käyttöikä on noin 25–30 vuotta. Pitkän käyttöiän takia rahoittajien on vaikea ennustaa sähkön tuotannon hintaa pitkän aikavälin päähän. Tämä tuottaa epävarmuutta mahdollisiin tuottoihin. Vertailtaessa ydinvoiman kustannusrakennetta maakaasu käyttöiseen voimalaitokseen, voidaan huomata pitkän rakennusajan ja sitä kautta rahoituksen hinnan olevan suurin yksittäinen tekijä ydinvoiman kannattavuuteen. Vuonna 2020 tehdystä vertailusta voidaan huomata tuotantokustannuksien rakenteesta selkeän eroavaisuuden. Ydinvoimalla rahoituksen osuus on noin 72 % tuotantokustannuksista. Käyttö sekä huolto kulut ovat noin 16 % ja polttoaine 11 %. Maakaasuvoimalaitoksella polttoaine kulut ovat suurin osa tuotantokustannuksista, noin 68 %. Rahoituksen hinta on noin 18 % ja käyttö sekä huoltokulut noin 12 %. Tuotantokustannuksien rakenteen takia ydinvoimalaitoksen kiinteät kustannukset ovat todella suuret, noin 85 %. Täten muuttuvat kustannukset kattavat vain 15 %. Maakaasuvoimalaitoksessa kiinteät kustannukset ovat vain 25 % ja vaihtuvat kustannukset ovat 75 %. Tämän takia ydinvoimalaitoksella on suurempi riski toimia markkinoilla, joissa sähkön hinta vaihtelee suuresti, koska taloudellisesti ei ole järkevää ajaa laitosta pienemmällä teholla. Tämä johtuu kiinteistä kustannuksista, jotka kattavat rahoituksen hinnasta suurimman osan. (NEA 2020b; Weibezahn et. al 2024.)

## 4.3 Politiikka

Tässä kappaleessa tutustutaan poliittisiin esteisiin, joita ilmenee ydinvoimaloiden rakentamisessa. Energiantuotanto on aina sidottu vallitsevaan politiikkaan. Jokaisella maalla on omat energiantuotannosta vastaavat ministeriöt. Myös Euroopan Unionilla on oma komissaari, jonka toiminta alueena on energia ja asuminen. Vuoden 2024 Euroopan parlamentin vaalien jälkeen Euroopan komission puheenjohtaja Ursula von der Leyen nimitti EU:n energiapolitiikan kahteen tärkeimpään paikkaan ydinenergiaa vastustavat henkilöt. Komission varapuheenjohtaja, joka vastaa EU:n puhtaasta siirtymästä, on espanjalainen Terasa Ribeira ja energiakomissaari on tanskalainen Dan Jorgensen. Ribeira toimi vastuuministerinä Espanjan hallituksessa, joka päätti vuonna 2023 lopettaa Espanjassa toimivat ydinvoimalat. Voimaloiden on tarkoitus lopettaa toimintansa vuoteen 2035 mennessä. Ribeira sekä Jorgensen vastustivat ydinvoiman sisällyttämistä EU:n taksonomia säädökseen. EU komission puheenjohtaja von der Leyen painottaa toimeksiantokirjeessään Jorgensenille tavoitteiksi alentaa energiakustannuksia, parantaa verkkoinfrastruktuuria sekä teknologianeutraaliutta. Erikseen on myös mainittu pienten modulaaristen ydinvoimaloiden (SMR) tukemista yhdessä teollisuusallianssin kanssa. (EU komissio 2024; HS 2024; Schulze et. al 2021.)

Edellisessä kappaleessa huomattiin ydinvoiman rakentamisen yhtenä suuremmista ongelmista olevan rahoituksen hinta. Vallitseva poliittinen ilmapiiri vaikuttaa investoinnin houkuttelevuuteen. Euroopan Unioni tekee energiapolitiikkaa yhdessä jäsenmaidensa kanssa. EU:n energiapolitiikan tavoitteena on olla hiilineutraali vuoteen 2050 mennessä. Tämän tavoitteen saavuttamista varten EU on luonut luokittelujärjestelmän, jossa määritellään yhteiset kriteerit taloudelliselle toiminnalle, joka on ympäristön kannalta kestävää. Tätä kutsutaan yleisesti EU taksonomiaksi. Taksonomian tavoitteena on ohjata sijoittajia sijoittamaan pääomansa ympäristöystävällisiin kohteisiin. Taksonomian tärkeimpiä tavoitteita on hillitä ja sopeutua ilmastonmuutokseen sekä estää rahoituksen kanavoitumista viherpesuhankkeisiin. EU:n taksonomia tuli voimaan vuoden 2020 aikana. Euroopan komissio kehitti taksonomiaan ensimmäiset kriteerit vuonna 2021, josta ydinvoima jätettiin pois. Vuonna 2022 EU lisäsi taksonomiaan kriteerit, joiden avulla ydinvoima katsottiin täyttävän taksonomia säännöt, tiettyjen sääntöjen puitteissa. Samaan aikaan myös maakaasu pääsi mukaan taksonomiaan. Lähes samoilla säännöillä kuin ydinvoima. Tätä perusteltiin siirtymäajalla. (EU parlamentti 2023; EU parlamentti 2022.)

# 5 Rakentamisen tulevaisuus

Tässä kappaleessa pohditaan ydinvoiman rakentamisen tulevaisuuden näkymiä kirjallisuuden pohjalta lyhyesti. 2000-luvun aikana Euroopassa sähkön kysyntä on kasvanut. Samalla Euroopassa on yritetty vähentää sähköntuotannon hiilidioksidipäästöjä. Tämä on tarkoittanut hiilivoimaloista luopumista. Hiilivoimaa on korvattu tuulivoiman rajulla kasvulla sekä maakaasulla, jota on virrannut Venäjältä Eurooppaan. Saksa rakensi myös kaksi kaasuputkea Itämeren pohjaan, joiden tarkoitus oli tuoda halpaa maakaasua Venäjältä. Samalla ajanjaksolla moni Euroopan maa päätti sulkea omat ydinvoimalansa. Vuoden 2022 Venäjän hyökättyä Ukrainaan, Euroopassa maakaasun tuonti lähes päättyi. Tämä aiheutti suurta hintojen nousua sekä energiapulaa Euroopassa talvella 2022.

Euroopassa Puolan ja Ruotsin hallitukset ovat ilmoittaneet tavoitteekseen rakentaa uusia ydinvoimaloita sekä päättäneet avustaa niiden rahoituksessa. Puolassa tällä hetkellä suurin osa sähköstä tuotetaan hiilivoimalla ja Euroopan Unionin hiilineutraalius tavoitteen 2050 takia maan pitää puhdistaa sähköntuotantoansa. Tämä on päätetty toteuttaa ydinvoimalla. Puolan hallitus päätti vuonna 2022 valita Westinghousen AP1000 reaktorin maan ensimmäiseksi ydinvoimalaitokseksi. Pohjois-Puolaan sijoittuvalle ydinlaitosalueelle on tarkoitus rakentaa kolme reaktoria. Hankkeen omistus on täysin Puolan valtiolla. Hankkeen rahoituksesta tulee noin 30 % suoraan valtion budjetista ja valtio takaa lainat 100 % sekä hankkeelle solmitaan hinnanerosopimus (CfD), joka on voimassa 60 vuoden ajan. EU ilmoitti loppuvuodesta 2024 ottaneensa hankkeen rahoituksen tarkempaan tarkasteluun EU:n valtiontukisääntöjen pohjalta. Alustavasti Euroopan komissio on todennut tuen olevan tarpeellinen, mutta tarkastelun kohteena on tuen suuruus. Komission tarkastelun kohteena on varsinkin hinnanerosopimuksen pituus. Hankkeen toteuttaja on hakenut EU komissiolta lupaa hankkeelle, mutta komissio ei ole vielä myöntänyt lupaa. (Westinghouse 2023b; World Nuclear News 2025a; World Nuclear News 2025b; World Nuclear News 2024d.)

Ruotsin hallitus ilmoitti loppuvuodesta 2023 tavoitteeksi rakentaa Ruotsiin uutta ydinvoimakapasiteettia ainakin kahden perinteisen reaktorin verran vuoteen 2035 mennessä sekä jopa 10 uutta SMR reaktoria vuoteen 2045 mennessä. Tämän tavoitteen saavuttamiseksi Ruotsin hallitus sääti lain, jonka tarkoituksena on pienentää ydinvoimalaitoksen rahoituksen

kustannuksia. Lain tarkoituksena on vähentää uuden ydinvoimalan rakentamisen rahoituksen riskiä. Rahoitus on tarkoitus toteuttaa valtiolainan avulla sekä hinnanerosopimuksella (CfD). (World Nucler News 2025c.)

Suomessa Loviisan ydinvoimalat omistava Fortum julkaisi 2025 vuoden alkupuolella tulokset uuden ydinvoimalaitoksen rakentamisen kannattavuudesta. Raportin painopiste sijoittui uuden ydinvoimalaitoksen rakentamisen kannattavuuteen Suomeen tai Ruotsiin. Tutkimuksessa selvitettiin perinteisten suurten sekä pienten modulaaristen ydinvoimalaitoksien kannattavuutta. Raportin johtopäätöksenä Fortum ilmoitti uuden ydinvoimalaitoksen rakentamisen olevan tämän aikaisilla markkinoilla kannattamatonta. Jotta rakentaminen olisi kannattavaa, pitäisi olla selkeät näkymät tulevaisuuden energian kasvusta sekä markkinahinnasta. Tutkimuksen johtopäätöksenä todettiin tarvittavan vahvoja kumppaneita, jotta uuden ydinvoimalaitoksen rakentaminen olisi mahdollista. Fortumin mukaan onnistunut hanke edellyttää riskien jakamista, todistettua teknologiaa ja pitkäaikaista suunnittelua. Näiden avulla onnistutaan välttämään kalliit muutokset rakentamisen aikana. Raportissaan Fortum myös kaipaa valtiolta erilaisia riskiä vähentäviä malleja. Fortum nostaa myös esiin Ruotsin hallituksen kaavaileman mallin. Lopputuloksena Fortum ilmoitti, että se ei aloita rakentamaan uutta ydinvoimalaitosta 2020-luvulla. Uusiutuvat energiamuodot kattavat kysynnän seuraavan 10 vuoden ajan. Kuitenkin Fortum jatkaa suunnittelua pitkällä aikavälillä. Kesäkuussa vuonna 2025 Fortum julkaisi lehdistötiedotteen, jossa se ilmoitti tehneensä varhaisen vaiheen sopimukset (EWA) kolmen laitostoimittajan kanssa. Perinteisiä suuria reaktoritoimittajia ovat ranskalainen EDF sekä yhdysvaltalais-korealainen Westinghouse-Hyuandain. Pieniä modulaarisia reaktoreita kehittävä yhdysvaltalais-japanilainen GE-Hitachi solmi myös EWA-sopimuksen Fortumin kanssa. (Fortum 2025c; Fortum, 2025d.)

# 6 Johtopäätökset

Tsernobylin ydinvoimalaonnettomuuden seurauksena uusien ydinvoimalaiden rakentaminen päättyi lähes kokonaan Euroopassa. Tämän seurauksena Euroopan maat alkoivat tuottaa energiaansa yhä enemmän maakaasulla ja tuulivoimalla. Maailman poliittisen tilanteen takia monet Euroopan maat ovat alkaneet kääntää katsettaan takaisin ydinvoimaan. Kuitenkin viimeaikaiset ydinvoimalaitoshankkeet ovat nostaneet suuria kysymysmerkkejä ilmaan rakennusprojektien kannattavuudesta Euroopassa. Ranskassa ja Suomessa aloitetut hankkeet ovat epäonnistuneet pahasti ja lopputuloksena on ollut pitkiä viivästyksiä ja kustannusten nousua.

Tämän kandidaatintyön tavoitteena oli tutkia ydinvoima rakentamisen esteitä Euroopassa. Kirjallisuuskatsauksen avulla onnistuttiin löytämään esteitä rahoituksesta ja projektinhallinnasta. Muita ongelmakohtia ilmeni lupaprosessien erilaisuudessa, toimitusketjujen toimimattomuudessa ja poliittisessa ilmapiirissä.

Tässä kandidaatintutkielmassa havaittiin onnistuneen ydinvoimalaitoshankkeen vaativan neljää asiaa. Ensimmäisenä rakennettavan ydinvoimalaitoksen suunnitelmat pitää olla täysin valmiita ennen rakentamisen aloittamista. Suunnitelmien muutokset ovat aiheuttaneet suuria viivästyksiä ja kustannuksien nousua Euroopassa. Toiseksi uutta ydinvoimalaitosta rakentavan maan täytyy onnistua saamaan tuotantoketjunsa kuntoon laitoshanketta varten. Tuotantoketjujen avulla ydinvoimala voidaan saada onnistuneesti rakennettua aikataulussa. Seuraavaksi rakentajan täytyy työskennellä läheisesti säätelevän viranomaisen kanssa. Tutkielmassa havaittiin ydinvoimalaitoksen vaativan tarkkaa säätelyä, jotta turvallinen käyttö onnistuu varmasti. Tämän seurauksena uuden laitoksen rakentajan täytyy tietää tarkasti säädeltävät asiat, jotta vältytään kalliilta muutostöiltä rakentamisen aikana. Viimeisenä hankkeella täytyy olla suotuisa poliittinen ilmapiiri. Uudet ydinvoimalaitokset ovat pitkäaikaisia hankkeita, joten niiden rahoituksen riskiä täytyy saada pienennettyä onnistuneen hankkeen takaamiseksi. Tässä poliittisella mielipiteellä on suuria vaikutuksia.

Tällä hetkellä Euroopassa kaikissa neljässä kohdassa on ongelmia. Euroopan Unionin alueella on saatu rakennettua vain kaksi reaktoria viimeisen 20 vuoden aikana. Käytössä olevat rahoitusmuodot eivät yksistään onnistu tekemään uudesta ydinvoimalaitoshankkeesta kannattavaa. Tutkimuksessa huomattiin muutaman Euroopan maan lähteneen ratkaisemaan tätä

ongelmaa erilaisten tukien muodossa. EU:ssa rahoituksen saantiin vaikuttaa taksonomian säännöt. Ydinvoiman asema taksonomiassa heikentää investoinnin houkuttelevuutta selkeästi. Ydinvoimalaitoksien rakentaminen kestää monta vuotta. Tämän seurauksena rahoituksen hinta on suurin yksittäinen tekijä kannattavuuteen. Erilaisten tukimuotojen, kuten Iso-Britanniassa käyttöön tulevan säännellyn omaisuuspohjan ansiosta rakennus aikaisia kustannuksia pystytään hillitsemään.

Euroopan Unioni on määritellyt kunnianhimoisen tavoitteen olla hiilineutraali vuoteen 2050 mennessä. Tämän tavoitteen saavuttamiseksi eurooppalaisten maiden on aloitettava rakentamaan uusia ydinvoimaloita. Ydinvoima voi tarjota Euroopalle vakaata ja vähähiilistä sähköntuotantoa, kuitenkin sen rakentamisen esteet on tunnistettava ja ratkaistava. Tässä Eurooppa voisi ottaa oppia Kiinalta. Myös erilainen yhteistyö valtioiden kesken on tärkeässä asemassa, varsinkin toimitusketjuja rakentaessa sekä myönteisen poliittisen ilmapiirin kehittämisessä.

Tämän kandidaatintyön rajoitteena voidaan pitää keskittymistä vain valittuihin maihin. Laajempaa vertailevaa jatkotutkimusta olisi hyvä tehdä, jotta voitaisiin oppia tarkemmin onnistuneista ja epäonnistuneista hankkeista. Jatkotutkimuksessa olisi hyödyllistä tutkia SMR-teknologian potentiaalia ja sen vaikutuksia rahoituksessa ja lupamenettelyissä. Aihe vaatisi myös tarkempaa jatkotutkimusta rakennusaikaisen rahoituksen asemasta. Varsinkin Euroopan Unionissa pitkien rakennusaikojen takia rakennusaikaiset kustannukset ovat nousseet merkittäväksi esteeksi.

# Lähteet


Autorite de Surete Nucleaire et de Radioprotection (ASNR). 2025. Creation of the French Authority for Nuclear Safety and Radiation Protection (ASNR). Viitattu 14.4.2025. Saatavissa https://www.french-nuclear-safety.fr/information/news-archives/creation-of-the-french-authority-for-nuclear-safety-and-radiation-protection-asnr

Andrews-Speed, P. 2020. The governance of nuclear power in China. Journal of World Energy Law and Business. Vol.13, 23-46. Saatavissa DOI: 0.1093/jwelb/jwaa004

Barkatullah, N & Ahmad, A. 2017. Current status and emerging trends in financing nuclear power projects. Energy Strategy Reviews. Vol. 18, 127–140. Saatavissa DOI: https://doi.org/10.1016/j.esr.2017.09.015

CGN Power Co. Ltd. 2025. Corporate Profile. Viitattu 30.5.2025. Saatavissa http://en.cgnp.com.cn/encgnp/c100863/lm_tt_nopic.shtml

China Atomic Energy Authority. 2021. Nuclear Safety Law. Viitattu 27.5.2025 Saatavissa https://www.caea.gov.cn/english/n6759372/c6812918/content.html

Department for Business, Energy & Industrial Strategy. 2021. Future funding for nuclear plants. Viitattu 29.5.2025. Saatavissa https://www.gov.uk/government/news/future-funding-for-nuclear-plants

Euroopan komissio, Ursula von der Leyen. 2024. Mission Letter for Dan Jorgensen. Viitattu 7.8.2025. Saatavissa https://commission.europa.eu/document/download/35154547-48c1-4671-8d34-13e098859a57_en?filename=mission-letter-jorgensen.pdf&prefLang=fi

Euroopan komissio, Energian pääosasto. 2024. EU energy in figures: statistical pocketbook 2024. Euroopan unionin julkaisutoimisto. Viitattu 24.3.2025. Saatavissa https://data.europa.eu/doi/10.2833/802460

Euroopan parlamentti. 2023. EU:n taksonomia määrittää kriteerit vihreälle rahoitukselle. Viitattu 9.8.2025. Saatavissa https://www.europarl.europa.eu/topics/fi/article/20200604STO80509/eu-n-taksonomia-maarittaa-kriteerit-vihrealle-rahoitukselle

Ezell, S. 2024. How Innovative Is China in Nuclear Power? Viitattu 30.5.2025. Saatavissa https://itif.org/publications/2024/06/17/how-innovative-is-china-in-nuclear-power/

Fernandez-Arias, P., Vergara, D. & Orosa, J. 2020. A Global Review of PWR Nuclear Power Plants. Applied Sciences. Vol. 10. Saatavissa https://doi.org/10.3390/app10134434

Fortum. 2025a. Loviisan voimalaitos. Viitattu 15.4.2025. Saatavissa https://www.fortum.fi/tietoa-meista/energiantuotanto/voimalaitoksemme/loviisan-voimalaitos

Fortum. 2025b. Loviisan voimalaitoksen historia. Viitattu 15.4.2025. Saatavissa https://www.fortum.fi/tietoa-meista/energiantuotanto/voimalaitoksemme/loviisan-voimalaitos/historia

Fortum. 2022. Loviisan ydinvoimalaitos: Käyttölupahakemus. Viitattu 15.4.2025. Saatavissa https://www.fortum.fi/files/loviisan-ydinvoimalaitoksen-kayttolupahakemus-2022?attachment%3Fattachment

Fortum. 2024. Fortumin Loviisan ydinvoimalaitoksen matalapaineturbiinit modernisoidaan ja sähkötehoa lisätään noin 38 MW. Viitattu 15.4.2025. Saatavissa https://mb.cision.com/Main/15253/3990365/2830578.pdf

Fortum. 2025c. Fortum concludes new nuclear feasibility study – continues to develop nuclear as a future option. Viitattu 14.8.2025. Saatavissa https://www.fortum.com/media/2025/03/fortum-concludes-new-nuclear-feasibility-study-continues-develop-nuclear-future-option

Fortum. 2025d. Fortum solmi varhaisen vaiheen sopimukset kolmen ydinteknologiatoimittajan kanssa. Viitattu 14.8.2025. Saatavissa https://www.fortum.com/fi/media/2025/06/fortum-solmi-varhaisen-vaiheen-sopimukset-kolmen-ydinteknologiatoimittajan-kanssa

Guimier, L. 2014. Regulatory Framework of France for NPPs. Viitattu 9.5.2025. Saatavissa https://gnssn.iaea.org/main/ANNuR/Activity Documents Public/Regional Workshop on self assessment of NPP projects/France - Regulatory framework.pdf

Hossen, M., Kang, S. & Kim, J. 2014. Prioritization of Delay Factors for NPP Construction Risk in International Project by Using AHP Methodology. Transactions of the Korean Nuclear Society Autumn Meeting Pyeongchang, Korea, October 30-31. Saatavissa https://www.kns.org/files/pre_paper/32/14A-43MuhammedMufazzalHossen.pdf

Hartikainen, J. 2024. EU:n energiapolitiikan johtoon astuvat ydinvoiman vastustajat. Helsingin Sanomat. Viitattu 7.8.2025. Saatavissa https://www.hs.fi/politiikka/art-2000010755169.html

International Atomic Energy Agency (IAEA). 2024. CNPP China. Viitattu 28.5.2025. Saatavissa https://cnpp.iaea.org/public/countries/CN/profile/preview

International Energy Agency (IEA). 2025. The Path to a New Era for Nuclear Energy. Paris. Saatavissa https://www.iea.org/reports/the-path-to-a-new-era-for-nuclear-energy

International Energy Agency (IEA). 2015. Nuclear New Build: Insights into Financing and Project Management. OECD Publishing. Paris. Saatavissa https://www.oecd.org/en/publications/nuclear-new-build_9789264241749-en.html

J. Czech et.al. 1999. European pressurized water reactor: safety objectives and principles. Nuclear Engineering and Design. Vol. 187, 25-32. Saatavissa DOI: https://doi.org/10.1016/S0029-5493(98)00255-6

Joskow, P. & Parsons, P. 2012. The Future of Nuclear Power After Fukushima. Economics of Energy & Environmental Policy. Vol. 1, no. 2. Saatavissa DOI: http://dx.doi.org/10.5547/2160-5890.1.2.7

Laaksonen, J. 2010. Lessons Learned from Olkiluoto 3. Viitattu 7.6.2025. Saatavissa https://www.power-eng.com/nuclear/lessons-learned-from-olkiluoto-3-plant

Le Renald, C. 2018. The Superphenix Fast Breeder Nuclear Reactor: Cross-border Cooperation and Controversis. Journal for the History of Environment and Socieety. Vol. 3, 107-144. Saatavissa DOI: https://doi.org/10.1484/J.JHES.5.116796

International Energy Agency (NEA). 2015. Nuclear New Build: Insights into Financing and Project Management. OECD Publishing. Paris. Saatavissa https://doi.org/10.1787/9789264241749-en

International Energy Agency (NEA). 2020b. Unlocking Reductions in the Construction Costs of Nuclear: A Practical Guide for Stakeholders. OECD Publishing. Paris. Saatavissa https://www.oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2020-07/7530-reducing-cost-nuclear-construction.pdf

Ofgem. 2023. Sizewell C nuclear power station economic regulation guidance. Viitattu 29.5.2025. Saatavissa https://www.ofgem.gov.uk/publications/sizewell-c-nuclear-power-station-economic-regulation-guidance

OKG. 2025. History. Viitattu 18.4.2025. Saatavissa https://okg.se/en/we-are-okg/history

OKG. 2023. Oskarshamn 3. Viitattu 18.4.2025. Saatavissa https://www.okg.se/en/oskarshamn-3

Platom. 2024. Licensing of a nuclear facility and demonstration of safety. Viitattu 23.8.2025. Saatavissa https://platom.fi/en/licensing-of-a-nuclear-facility-and-demonstration-of-safety

Power Reactor Information Systems (Pris). 2025. The Database on Nuclear Power Reactors. Viitattu 15.7.2025. Saatavissa https://pris.iaea.org/PRIS/home.aspx

Ramana, M.V. & Saikawa, E. 2011. Choosing a standard reactor: International competition and domestic politics in Chinese nuclear policy. Energy. Vol 36, 6779-6789. Saatavissa https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.10.022

Säteilyturvakeskus (STUK). 2023. Lausunto: Säteilyturvakeskuksen lausunto koskien Loviisan Ydinvoimalaitoksen käyttölupahakemusta. Viitattu 15.4.2025. Saatavissa https://stuk.fi/documents/150192312/163651389/STUK-Loviisa-käyttölupa-lausunto-2023.pdf/2cbb0a18-066f-e707-c5af-34ab2082c737/STUK-Loviisa-käyttölupa-lausunto-2023.pdf?t=1685608556705

Schulze, S., Gewessler, L., Jorgensen, D., Dieschbourg, C. & Fernandes, J. 2021. Joint Declaration for nuclear-free EU Taxonomy. Viitattu 7.8.2025. Saatavissa https://gouvernement.lu/dam-assets/documents/actualites/2021/11-novembre/11-nuclear-free-taxonomy/Joint-declaration-for-a-Nuclear-Free-Taxonomy.pdf

Teollisuuden Voima (TVO). 2025. OL1 ja OL2-laitosyksiköiden käyttöiän jatkaminen ja lämpötehon korottaminen. Viitattu 16.4.2025. Saatavissa https://www.tvo.fi/tuotanto/laitosyksikot/ol1jaol2/ol1jaol2-laitosyksikoidenkayttoianjatkaminenjalampotehonkorottaminen.html

Teollisuuden Voima (TVO). 2013. OL1 ja OL2 Ydinvoimalaitosyksiköt. Viitattu 16.4.2025. Saatavissa https://www.tvo.fi/material/sites/tvo/pdft/k9su4vcbz/OL1_ja_OL2_-laitosyksikot._Tekninen_esite.pdf

Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM). 2025. Ydinenergialain kokonaisuudistus. Viitattu 10.6.2025. Saatavissa https://tem.fi/hanke?tunnus=TEM032:00/2023

Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM). 2025. Lupamenettely. Viitattu 23.8.2025. Saatavissa https://tem.fi/ydinenergia-lupamenettely

Terlikowski, P., Paska, J., Pawlak, K., Kalinski, J. & Urbanek, D. 2019. Modern financel models of nuclear power plants. Progress in Nuclear Energy. Vol. 110, 30-33. Saatavissa https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2018.09.010

Uniper. 2025. The history of Barsebäcksverket. Viitattu 20.4.2025. Saatavissa https://www.uniper.energy/sweden/barseback/about-barseback/history-barseback

U.S Department of Energy. 2022. How the Loan Programs Office and Plant Vogtle are Shaping the Energy Transition through Nuclear Technology. Viitattu 30.5.2025. Saatavissa https://www.energy.gov/lpo/articles/how-loan-programs-office-and-plant-vogtle-are-shaping-energy-transition-through?utm

Vattenfall. 2025a. Forsmark nuclear power plant. Viitattu 20.4.2025. Saatavissa https://karnkraft.vattenfall.se/forsmark/information-in-english/forsmark-nuclear-power-plant/about-forsmark/

Vattenfall. 2025b. Ringshals nuclear power plant. Viitattu 20.4.2025. Saatavissa https://karnkraft.vattenfall.se/ringhals/information-in-english/ringhals-nuclear-power-plant/about-ringhals/

Von Lensa, W., Brinkmann, G., Lillington, J. & Shahkrokhi, F. 2020. The status quo on HTGR decommissioning. Nuclear Engineering and Design. Vol. 359. Saatavissa DOI: https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2019.110456

Walstra, J. 2024. Financing new nuclear, Goverments paying the price? Viitattu 30.5.2025. Saatavissa https://www.laka.org/docu/boeken/pdf/6-01-0-10-90.pdf

Westinghouse. 2025a. AP1000 Pressurized Water Reactor. Viitattu 15.5.2025. Saatavissa https://westinghousenuclear.com/energy-systems/ap1000-pwr/

Westinghouse. 2023b. Historic Contract Paves the Way for Site Work on Poland's First Nuclear Power Plant. Viitattu 14.8.2025. Saatavissa https://info.westinghousenuclear.com/news/historic-contract-paves-the-way-for-site-work-on-polands-first-nuclear-

power-plant?utm_campaign=ogsocial&utm_content=1695825597&utm_medium=social&utm

World Nuclear Association. 2025. Tietokannasa rakentamaan aloitettujen ydinvoimalaitosten lukumäärä. Viitattu 14.4.2025. Saatavissa https://world-nuclear.org/nuclear-reactor-database

World Nuclear News. 2023a. Vogtle 3 reaches first criticality. Viitattu 15.5.2025. Saatavissa https://www.world-nuclear-news.org/articles/vogtle-3-reaches-first-criticitality

World Nuclear News. 2023b. Idaho SMR project terminated. Viitattu 15.5.2025. Saatavissa https://www.world-nuclear-news.org/articles/idaho-smr-project-terminated

World Nuclear News. 2025a. President signs bill on funding for Polish nuclear power plant. Viitattu 14.8.2025. Saatavissa https://www.world-nuclear-news.org/articles/president-signs-bill-on-funding-for-polish-nuclear-power-plant

World Nuclear News. 2025b. PEJ seeks European Commission approval for nuclear project. Viitattu 14.8.2025. Saatavissa https://www.world-nuclear-news.org/articles/pej-seeks-european-commission-approval-for-nuclear-project

World Nuclear News. 2024. EU examines Polish state aid for nuclear power plant. Viitattu 14.8.2025. Saatavissa https://www.world-nuclear-news.org/articles/eu-examines-polish-state-aid-for-nuclear-power-plant

World Nuclear News. 2025c. State loans proposed for new Swedish reactors. Viitattu 14.8.2025. Saatavissa https://www.world-nuclear-news.org/articles/state-loans-proposed-for-new-swedish-reactors

Ydinenergialaki 990/1987. Finlex. Viitattu 19.4.2025. Saatavissa https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/1987/990