

YDINENERGIA JA SUOMI



SISÄLTÖ

Lukijalle	3
Suomen energiankulutus ja -hankinta	4
Avoimet sähkömarkkinat	7
Ydinenergia sähköntuotannossa	10
Ympäristövaikutukset ja säteilyaltistus	14
Ydinjätehuolto	17
Tutkimus ja koulutus	21
Lainsäädäntö ja viranomaisvalvonta	24
Kansainvälinen yhteistyö	27
Ydinenergia-alan toimijoita	28

YDINVOIMA MAAILMALLA

Maailmassa oli keväällä 2022 käytössä yhteensä 440 ydinvoimalaitosyksikköä ja niiden sähköteho oli yli 390 000 megawattia (MW). Vuonna 2020 ydinvoimalaitokset tuottivat yli 2 550 terawattituntia (TWh) sähköä ja ydinvoiman osuus on viime vuosina ollut hiukan yli 10 prosenttia maailman sähkön kulutuksesta. Euroopan unionissa ydinsähkön osuus kulutuksesta on noin neljännes. Suomi on ollut lähellä EU:n keskiarvoa, mutta Olkiluoto 3:n sähköntuotannon käynnistyminen nostaa ydinsähkön osuuden maassamme noin 40 prosenttiin. Uusien laitosten rakentaminen etenee ennen kaikkea Aasian väkirikkaissa ja nopeasti kehittyvissä maissa. Nyt käynnistyvät ydinvoimalaitokset ovat yksikkökohtaisilta tehoiltaan entistä suurempia. Suunnitelluissa ja ehdotetuissa hankkeissa taas pienet, modulaariset yksiköt ovat jo suositumpia.

Julkaisija

Suomen Atomiteknillinen Seura – Atomtekniska Sällskapet i Finland r.y.
www.ats-fns.fi



LUKIJALLE

Suomen Atomiteknillinen Seura ry:n (ATS) päätehtävänä on edistää ydintekniikan alan tuntemusta ja jakaa tietoa Suomen ydinlaitoksista sekä kertoa ydintekniikan alan tapahtumista ja kehityksestä suomalaisille ja kansainvälisille ydintekniikan alan toimijoille sekä yleisölle. Vuonna 2004 ATS julkaisi ensimmäisen kerran Suomen energiaratkaisuja ja ydinvoimalaitosten toimintaa kuvaavan esitteen ”Ydinenergia ja Suomi”, ja vastaava englanninkielinen esite ”Nuclear Energy of Finland” julkaistiin muutamaa vuotta myöhemmin. Tämän jälkeen esitteitä on uudistettu aika ajoin ydintekniikan kehittymisen, alan tapahtumien ja ajankohtaisten aiheiden mukaan.

Kansainvälisen atomienergiajärjestön (International Atomic Energy Agency, IAEA) julkaisemiin ydinlaitosvaatimuksiin saatiin vuonna 2020 lisättyä Fukushima Daiichi -ydinvoimalaitosonnettomuuden opetukset. Tuo vuoden 2011 onnettomuus aiheutui Japanin suuren itäisen maanjäristyksen nostamasta hyökyaallosta eli tsunamista, johon ei ollut riittävästi varauduttu ydinvoimalaitoksen suunnittelussa. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) -järjestön alainen erillinen ydinenergiajärjestö Nuclear Energy Agency (NEA) taas julkaisi vuonna 2020 pidetyssä kansainvälisessä seminaarissa hahmotellut suuntaviivat ydinlaitosten lupakäsittelyn maailmanlaajuiseen yhtenäistämiseen. Nämä työt antavat pohjaa EU:n pyrkimykselle kehittää yhtenäinen, hallinnollisesti kevyt ja Euroopan laajuisesti standardoitu modulaarisen pienreaktorin (SMR) lupaprosessi. Tätä valtavaa kansainvälistä haastetta on avattu myös tässä esitteessä.

Suomessa käytetyn ydinpolttoaineen kapselointi- ja loppusijoituslaitosta rakentava Posiva Oy jätti laitoksen käyttöluvahakemuksen vuoden 2021 lopulla. Olkiluoto 3 sai ensimmäisen polttoainesydämensä vuonna 2021, ja vuonna 2022 yksikkö aloitti säännöllisen sähköntuotantonsa. Olkiluodon kaksi vanhempaa yksikköä käyvät nykyisillä käyttöluvilla vuoden 2040 tienoille. Vuonna 2022 Fortum haki lupaa Loviisan kahden yksikön käytölle aina vuoteen 2050 asti.

Ukrainan sodan käynnistämässä Euroopan energia- ja turvallisuuspolitiikan murroksessa on ydinvoimalla entistä tärkeämpi rooli luotettavassa energian tuotannossa. Ydinvoima on yksi perussähkön tuotantomuodoista Suomen vuoteen 2030 ulottuvassa, vuonna 2022 uusitussa kansallisessa energia- ja ilmastostrategiassa. Strategia tähtää Suomen energiantuotannon hiilineutraaliuteen vuonna 2035. Euroopan Unionin (EU) vihreän kehityksen ohjelma (Green Deal) tähtää hiilineutraaliuteen vuonna 2050. Ohjelmaan liittyvä vuoden 2022 alusta voimaan tullut kestävän rahoituksen luokittelujärjestelmä eli taksonomia, jolla yritysten on luokiteltava ympäristön kannalta kestävästi rahoitettavat toiminnot. Ydinvoima voisi olla yksi keinoista vähentää energiantuotannon hiilijalanjälkeä.

Vuonna 2021 käynnistettiin Suomen ydinlaitoksia koskevan lainsäädännön ja säännösten kokonaisuudistus (SYTYKE). Ohjelma tähtää ydinvoiman säännösten uudistamiseen tavalla, joka mahdollistaisi etukäteen viranomaispäätöksillä hyväksytyjen sarjatuotantomuotoisten modulaaristen pienreaktorien nopean rakentamisen ja käyttöönoton. Tarkoitus on välttää kansallisista vaatimuksista johtuva kallis ja mittava uudelleensuunnittelu, joka on aiheuttanut merkittäviä viiveitä 2000-luvun ydinvoimalaitoshankkeissa Suomessa.

Ydinvoimasektorilla ja energiapolitiikan toimintaympäristössä tapahtuneiden muutosten vuoksi ATS päätti uudistaa tämän esitteen kuvaamaan ydinenergian nykyistä roolia Suomen sähköntuotannossa ja energiapolitiikassa.

Esite on suunnattu kaikille, jotka käsittelevät ydinenergiaan liittyviä kysymyksiä työssään, opetuksessa tai päätöksenteossa, tai ovat muutoin kiinnostuneita suomalaisista ydinvoimaratkaisuksista. Tämän esitteen perustana on käytetty ATS:n aiemmin julkaisemia Ydinenergia ja Suomi -esitteitä.

Helsingissä, 14. lokakuuta 2022

SUOMEN ATOMITEKNILLINEN SEURA RY

SUOMEN ENERGIANKULUTUS JA -HANKINTA

Energiantuotanto ja -kulutus ovat yhteiskunnan perustoimintoja. Teollisuudelle energia on tärkeä tuotannontekijä erityisesti monissa vientituotteissa. Teollisuuteen tukeutuva ja kylmässä pohjoisessa sijaitseva maamme kuluttaa asukasta kohden paljon energiaa ja kotimaisia energialähteitä on vähän. Tämän takia Suomessa on aina kiinnitetty energian saatavuuteen, hintaan ja tehokkaaseen käyttöön enemmän huomiota kuin monissa muissa maissa.

Suomen suuri energiankulutus johtuu muun muassa paljon energiaa käyttävästä teollisuudesta, korkeasta elintasosta, kylmästä ilmastosta ja pitkistä välimatkoista. Vuonna 2020 primäärienergian kokonaiskulutus Suomessa oli 1,28 miljoonaa terajoulea (TJ) ja sähkön kulutuksen kokonaismäärä vuonna 2021 oli 87 TWh.

Energian kulutus

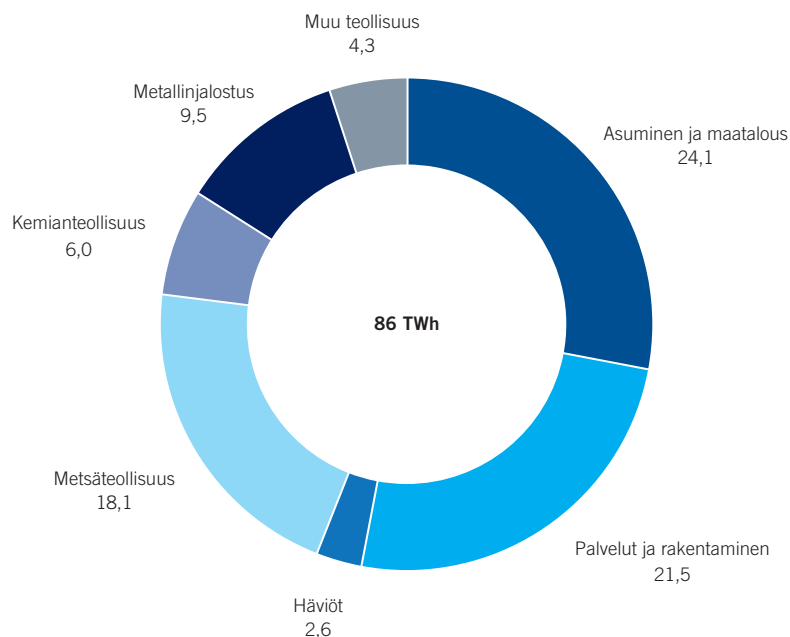
Vuonna 2021 teollisuuden osuus energian loppukäytöstä oli 44 % ja rakennusten lämmitykseen ja maatalouden toimintoihin kului 28 %. Muusta energian loppukäytöstä liikenteeseen kului 17 %, 3 % kului häviöihin ja loput noin 8 % käytettiin erilaisten julkisten ja yksityisten palvelujen tuottamiseen. Teollisuuden suuri energiankäyttö johtuu sen tuotantorakenteesta. Yksistään metsäteollisuuden osuus koko teollisuuden energiankulutuksesta on noin

60 %. Metall- ja kemianteollisuuden yhteenlaskettu osuus on noin kolmannes.

Sähkön osuus kaikesta käytetystä energiasta on Suomessa korkea: sähkön tuotannon osuus primäärienergian kulutuksesta on noin 40 %. Kansainvälisesti vertaillen sähköntuotannon hyötysuhde on Suomessa korkea. Pääasiassa tehokkuus perustuu siihen, että merkittävä osuus (22 % vuonna 2021) kulutetusta sähköstä tuotetaan yhdistetyllä lämmön- ja sähköntuotannolla joko kaukolämmön tuotannossa tai teollisuuden prosesseissa. Tällöin sähkö tuotetaan paineistettua höyryä tarvitsevan prosessin ohella ja käytössä olevan ns. vastapaineturpiinin hyötysuhde on suhteellisesti korkea.

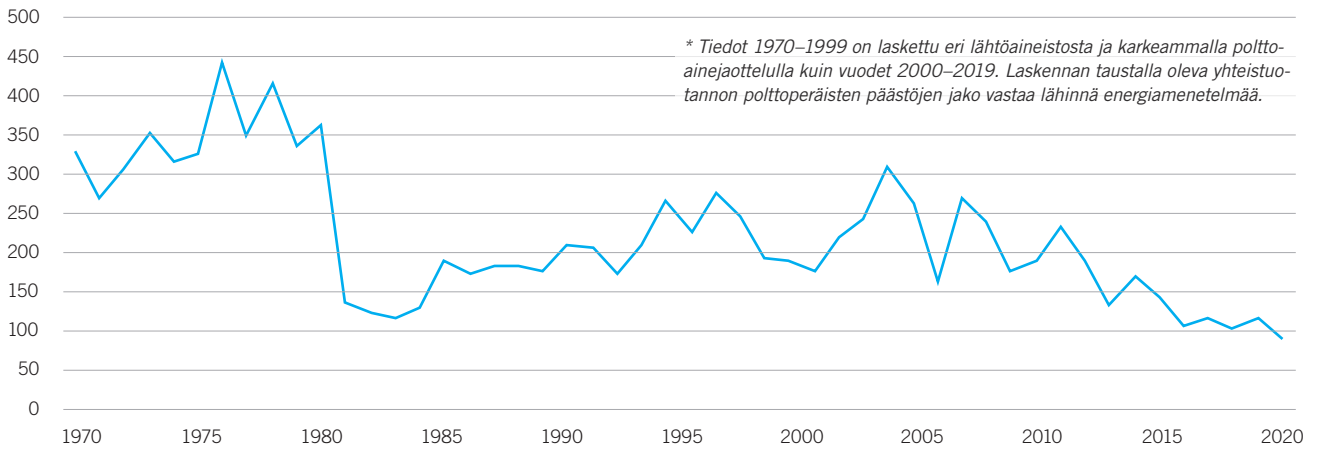
Tuonnin osuus Suomessa kulutetusta sähköstä vuonna 2021 oli noin 23 %. Sähkön tuonti on noussut vuosina 2018–2021 noin 5 %:iin energian kokonaiskulutuksesta. Tilanne on muuttumassa nopeasti, kun tuonti Venäjältä katkesi vuonna 2022.

Sähkön kokonaiskäyttö 2021
(Energieollisuus).



Sähkön tuotannon hiilidioksidipäästöt Suomessa (Tilastokeskus)*.

g CO₂/kWh tuotettu sähkö



Energian hankinta

Energian kokonaishankinnassa Suomi on hyvin riippuvainen ulkomaisista energiavaroista. Tuontien energia kattaa noin 70 % Suomen energiankulutuksesta.

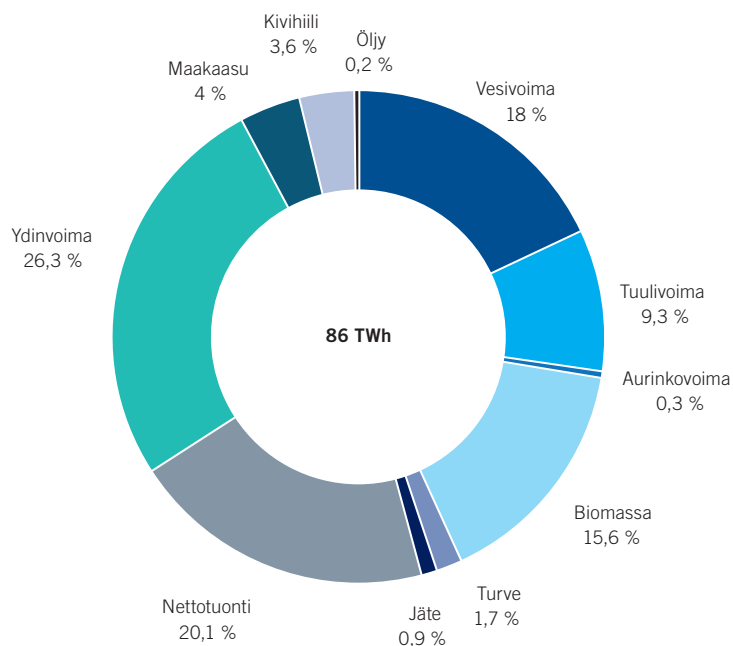
Tarve pienentää hiilidioksidipäästöjä on vähentänyt jyrkästi fossiilisten polttoaineiden käyttöä. Vuonna 1973 öljy kattoi peräti 58 % kaikesta energiankulutuksesta, kun vuonna 2021 sen osuus oli pudonnut jo 22 %:iin. Suomen sähköntuotannon hiilidioksidipäästöt ovat viimeisen 10 vuoden aikana vuodesta 2012 vuoden 2021 loppuun laskeneet yhteensä 69 %, mikä johtuu lähinnä kivihiilivoimaloiden sulkemisista.

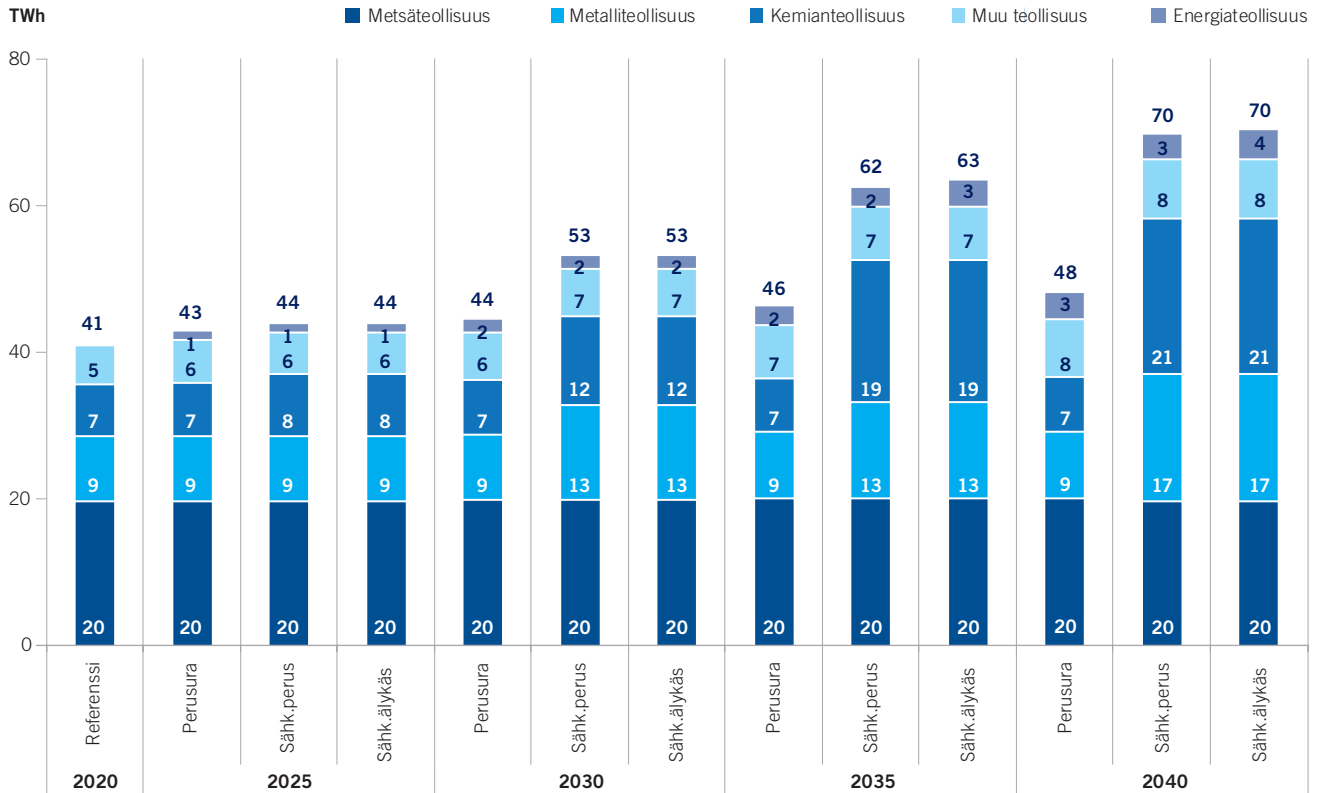
Vuonna 2020 pääosin venäläisen maakaasun osuus Suomen energiankulutuksesta oli noin 8 % ja vastaavasti vuonna 2021 se oli noin 6 %. Vuonna 2022 Venäjän hyökkäys Ukrainaan sai

Suomen lopettamaan kokonaan venäläisen maakaasun tuonnin. Kotimaisten energialähteiden osuus energiankulutuksesta on ollut viime vuosina noin 30 %, ja Ukrainan sota tehosti merkittävästi pyrkimyksiä omavaraisuuteen energian suhteen. Pääasialliset kotimaiset energialähteet ovat vesivoima, puuperäiset polttoaineet, metsäteollisuuden jätelimet ja turve sekä kasvava tuulivoima. Puuperäisten polttoaineiden osuus energian kokonaiskulutuksesta vuonna 2021 oli 28 % ja ne säilyttävät asemansa merkittävimpänä energianlähteenä myös lähivuosina.

Loviisa 3 -ydinvoimalaitoshankkeessa suunnitelmissa oli tuottaa Loviisaan rakennettavalla reaktorilla sekä sähköä että myös lämpöenergiaa pääkaupunkiseudun asuntojen lämmitykseen. Hanke päättyi vuonna 2010 Valtioneuvoston kielteiseen päätökseen. Nykyisin kaukolämpöä tuotetaan vastaavalla tavalla, ydinvoimalaitoksen höyryturpiinilta välipiirin kautta, ainakin Sveitsissä,

Sähkön tuotanto energialähteittäin ja nettotuonti 2021 (Energiateollisuus).





Suomen teollisuuden sähkönkulutusennuste. Kasvu- skenaariot perustuvat liikenteen ja teollisuusprosessien voimakkaaseen sähköistämiseen. Älykkääseen ohjaukseen perustuvassa sähköistysskenaariossa käytetään nykyistä huomattavasti enemmän säään mukaan vaihtelevaa tuotantokapasiteettia (Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarjasta 2021:4).

Venäjäällä, Bulgariassa, Kiinassa ja Slovakiassa. Aiemmin ydinvoimalaitokset ovat tuottaneet kaukolämpöä läheisille asutuskeskuksille myös Liettuassa ja Ruotsissa. Tuotettu energiamäärä on kuitenkin yleensä pieni.

Viime vuosina ydinkaukolämmön tuotantomahdollisuus on nous- sut olennaiseksi osaksi erilaisia pienten modulaaristen ydinreakto- rien (SMR) rakentamiseen tähtääviä hankkeita. Pienen kaukoläm- mitykseen suunnitellun reaktorin jäähdytteen lämpötila ja paine voidaan pitää suhteellisen matalalla. Tämä mahdollistaa yksinker- taisen tuotantotekniikan ja luonnonlakeihin kuten painovoimaan perustuvien turvallisuusratkaisujen soveltamisen. Tiheään asutussa maissa mahdollisuus sijoittaa reaktori lähelle kulutusta on tärkeä kilpailuetu.

AVOIMET SÄHKÖMARKKINAT

Lähes kaikki yhteiskunnan toiminnot perustuvat turvattuun sähkön saantiin. Hyvin toimiva sähköjärjestelmä on antanut Suomelle mahdollisuuden nousta maailman vauraimpien maiden joukkoon. Sähkö on Suomessa suhteellisen edullista ja vuonna 2021 kotitaloussähkön hinta oli Suomessa EU:n viiden edullisimman maan joukossa kuluttajien ostovoimaan suhteutettuna.

Vuonna 1995 voimaan tullut sähkömarkkinalaki ja sen pohjalta säädetty sähkömarkkina-asetus erottivat sähkön jakelun ja tuotannon toisistaan. Tällä toimella tehostettiin sähkömarkkinoiden toimivuutta ja mahdollistettiin sähkön hinnan kilpailuttaminen kuluttajille. Vuodesta 1998 pohjoismaista sähkökauppaa on käyty yhteisen sähköpörssin NordPoolin kautta.

Sähkönkulutus

Suomen talouselämässä elettiin 1980-luvulla voimakasta kasvukautta, ja sähkönkulutus lisääntyi tuolloin yli 50 %:lla. 1990-luvun alun laman aikana kasvu hidastui, ja sähkönkulutus kasvoi vain 25 % vuosikymmenen aikana. Sähkön kulutushuippu Suomessa saavutettiin vuonna 2007, jolloin sähkön kokonaiskulutus oli 90,4 TWh. Tämän jälkeen sähkön kulutus on hiukan vähentynyt, ja vuonna 2021 sähkönkulutus oli 86,8 TWh.

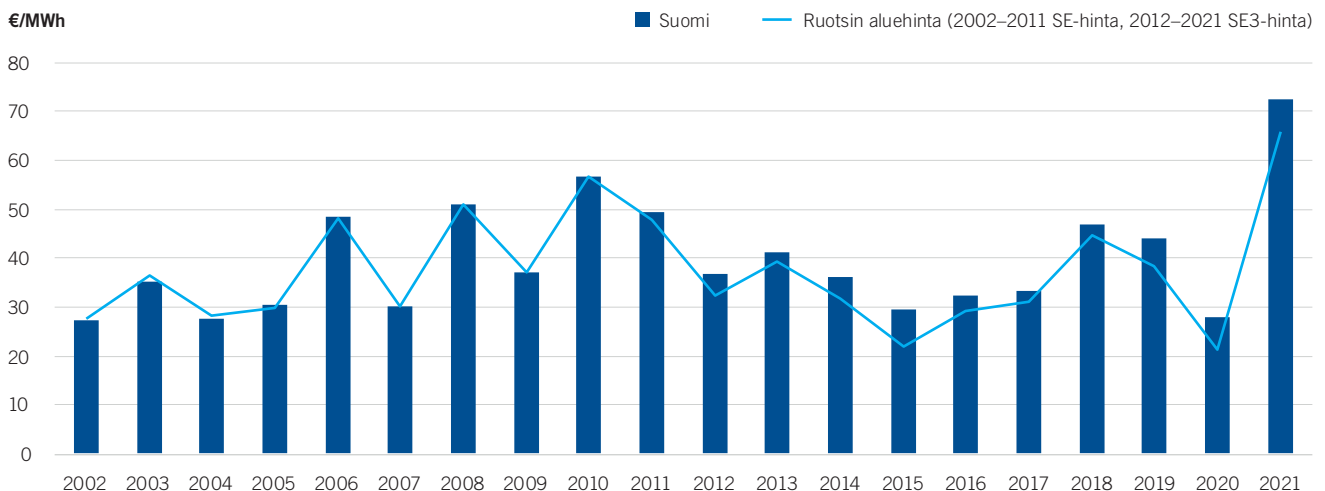
Vuonna 2021 teollisuus kulutti sähköstä 44 %, kotitaloudet ja maatalous miltei kolmanneksen, palvelut ja julkinen sektori sekä

liikenne neljänneksen. Siirto- ja jakeluhäviöihin kului sähköä muutama prosentti.

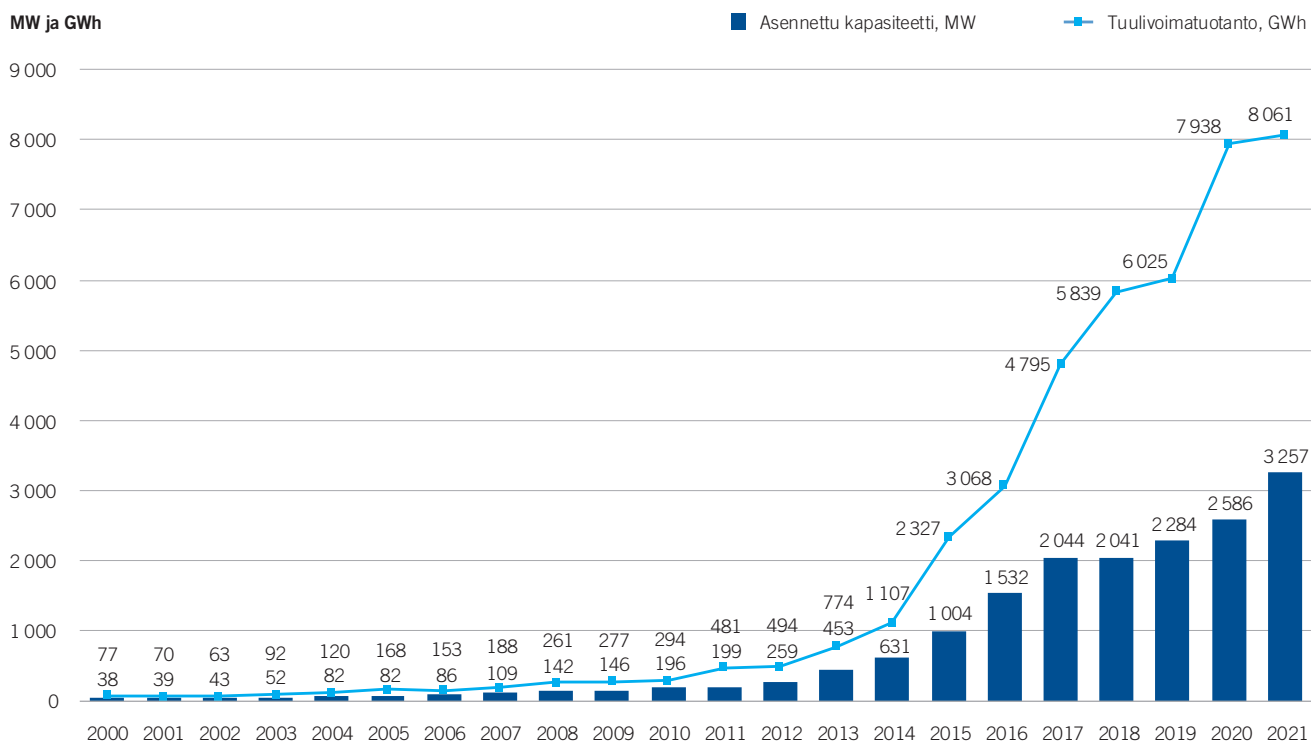
Sähköntuotanto

Suomen tähän asti korkein sähkön kulutushuippu koettiin tammi-kuussa 2016, jolloin sähkön kulutus oli 15 105 MWh/h. Sopimuksilla vahvistettua, yhtä aikaa käynnistettävää tai nopeaan tuotannon lisäykseen pystyvää verkon tehoreservikapasiteettia oli vuonna 2020 noin 600 MW. Lisäksi Suomella on sähkönsiirtoyhteyksiä naapurimaihimme yhteensä noin 5 100 MW. Vuonna 2022 voimalaitoksia oli Energjaviraston voimalaitosrekisterissä noin 450, sähkönjakelua harjoitti noin 80 yhtiötä ja suurjännitteistä jakeluverkkotoimintaa harjoitti noin 10 yhtiötä. Vuonna 1997 toimintansa aloitti Fingrid Oyj, jonka tehtävänä on ylläpitää ja kehittää omistamaansa sähkönsiirtoon ja -kauppaan käytettävää Suomen kantaverkkoa.

Vielä 1960-luvun alkupuolella Suomen sähköntuotanto perustui suurelta osin vesivoimaan. Nykyään suurin osa kannattavas-



Teollisuuden tukkusähkön sähköpörssihinnan kehitys verrattuna Ruotsiin. Vuonna 2021 keskihinta Suomessa oli 72,34 €/MWh (Energiateollisuus).



Tuulivoimakapasiteetin (MW) ja tuotannon (GWh) kasvu (Energiatoteellisuus).

ta vesivoimapotentialista on valjastettu hyötykäyttöön. Viimeisen vuosikymmenen aikana vesivoiman vuosituotanto on asettunut tasoon 12–16 TWh vuotuisista sademääristä ja vesialtaiden vesivaraston käytöstä riippuen.

Suomi on maailman johtavia maita yhdistetyssä lämmön- ja sähköntuotannossa, jota sovelletaan laajasti energiavaltaisessa teollisuudessa ja kaukolämpövoimalaitoksissa.

Uuden voimalaitoskapasiteetin tarve

Sähkön kulutus ei ole kasvanut Suomessa vuoden 2007 jälkeen, mutta ilmastonmuutoksen torjunnan on arvioitu lisäävän tarvetta fossiilittomalle sähkölle sähköistämisen muodossa. Suorassa sähköistämisessä sähköllä korvataan fossiilinen polttoaine: esimerkiksi liikenteessä polttomoottoriautoja voidaan korvata sähköautoilla ja rakennusten lämmityksessä polttamiseen perustuvia energialähteitä voidaan korvata lämpöpumpuilla. Epäsuorassa sähköistämisessä polttoainetta ei korvata suoraan sähköllä, vaan sähköä käytetään esimerkiksi vedyn tuottamiseen elektrolyysillä tai synteettisten polttoaineiden ja muiden yhdisteiden valmistamiseen.

Sähköistämisen arvioidaan kasvattavan Suomen sähkönkulutusta merkittävästi, ja kulutuksesta yhä suurempi osa tuotetaan sään mukaan vaihtelevalla tuotantokapasiteetilla, lähinnä tuuli- ja aurinkovoimalla. Tämä kasvattaa voimakkaasti erilaisten varastointiratkaisujen tarvetta, mutta myös tarve tasaiselle perustuotantokapasiteetille säilyy.

Ilmastopolitiikan kiristyminen, valtion tuet uusiutuville energiamuodoille ja tuulivoimateknologian parantunut kilpailukyky lisää-

vät tuulivoimakapasiteettia voimakkaasti. Tuulivoiman kapasiteetti nousi vuoden 2021 lopussa yli 3 200 MW:iin, ja tuulella tuotettu energia oli samana vuonna hiukan yli 8 TWh. Teollisuuden ja kotitalouksien tuottaman aurinkosähkön tuotantokapasiteetin kasvu on sen sijaan ollut viime vuosina hidasta. Aurinkoenergialla tuotetaan tällä hetkellä noin 0,5 % sähkön kokonaistuotannosta.

Ydinpolttoaine ja sen hankinta

Ydinvoimalaitosten polttoaineena käytetään uraania, jonka ytimien halkeamisreaktio eli fissio synnyttää paljon energiaa. Tyypillisen ydinpolttoaineen valmistus alkaa uraanista, joka on maankuorensa erilaisina yhdisteinä esiintyvä raskasmetalli. Maankuorensa uraania on keskimäärin noin neljä grammaa ja merivedessä noin kolme milligrammaa tonnissa. Valtaosa maailmassa tuotetusta uraanista saadaan erityisistä uraanikaivoksista, mutta noin 5 % maailman uraanista saadaan myös muun kaivostoiminnan sivutuotteena. Suurimmat uraanin tuottajamaat Kazakstan, Australia, Namibia, Kanada ja Uzbekistan tuottavat yli 80 % kaikesta uraanista. Kaivoksissa uraani liuotetaan useimmiten suoraan esiintymästä, mutta vajaa kolmannes maailman uraanista tuotetaan myös perinteisissä maanalaisissa kaivoksissa tai avolouhoksissa.

Ensimmäinen vaihe ydinpolttoaineen valmistuksessa on uraanin erottaminen sivukivestä ja muista mineraaleista. Tätä vaihetta kutsutaan rikastamiseksi, ja se suoritetaan kaivoksen yhteydessä tai sen läheisyydessä olevassa rikastamossa samojen menetelmien avulla kuin monien muidenkin metallien rikastus. Rikastuksen tyypillinen lopputuote on suurimmalta osin pulverimaista uraa-

nioksidia U_3O_8 , jossa uraanin eri isotoopit ovat vielä luonnollisessa suhteessa eli helposti halkeavan uraani-235-isotoopin (U-235) pitoisuus on noin 0,7 %. Rikastuksen tuloksena saatu uraaniyhdiste kuuluu ydinmateriaalivalvonnan piiriin, jolloin sen tarkasta määrästä ja kulloisestakin sijainnista on pidettävä kirjaa ja raportoitava viranomaisille.

Louhokselta saatu, rikastettu uraanioksidi muunnetaan vetyfluoridikaasun (HF) avulla kemiallisesti kaasumaiseksi uraaniheksafluoridiksi (UF_6) väkevöintiprosessia varten. Väkevöinnissä eli isotooppirikastuksessa isotoopin U-235 suhteellista osuutta kaasussa kasvatetaan. Väkevöintiin käytettäviä tekniikoita ovat paljon energiaa vaativa uraani-isotooppien liikkuvuuteen ja massaeroon perustuva kaasudiffuusio, keskipakovoimaan ja uraani-isotooppien massaeroon perustuva sentrifugitekniikka sekä uraanin laserväkevöinti, missä viritetään fluoratut uraani-isotoopit kemiallisesti aktiivisiksi korkean isotooppien erotuskyvyn omaavalla laserilla.

Ydinreaktorin itseään ylläpitävä ketjureaktio edellyttää uraaniatomin ytimen halkeamisessa syntyneiden neutronien hidastamista, jotta uusia U-235-ytimiä halkeaa riittävän nopeasti. Osa reaktoreista on suunniteltu käyttämään luonnonuraania, mutta käytettäessä tavallista vettä hidasteena U-235-ytimien suhteellista osuutta uraanipolttoaineessa on lisättävä väkevöinnillä. Väkevöinnistä saadaan isotoopin U-235 suhteen haluttuun väkevöintiasteeseen isotooppirikastettua uraania sekä köyhdytettyä

uraania, eli uraania, jossa isotoopin U-235-pitoisuus on luonnon uraania matalampi. Suurimmassa osassa maailman sähköntuotantoon tarkoitetuista reaktoreista ja kaikissa Suomen reaktoreissa isotoopin U-235 osuus on väkevöity tasolle 3–5 % polttoaineen kaikista uraani-isotoopeista.

Polttoainetehtaalla väkevöityä uraania sisältävä uraaniheksafluoridi (UF_6) muunnetaan uraanidioksidijauheeksi (UO_2), joka pu-ristetaan sylinterimäisiksi pelleteiksi ja syntyneet pelletit tiivistetään sintraamalla. Sintrauksen jälkeen pelletit muokataan halkaisijaltaan ja pituudeltaan noin 1 cm kokoon. Pelletit ladotaan noin 4 m pitkiin zirkoniumseoksesta valmistettuihin putkiin, eli polttoainesauvoihin, joiden molemmat päät suljetaan kaasutiiviisti. Sauvat kootaan edelleen polttoainepiipuksi, joiden geometrinen rakenne valitaan polttoaine- ja reaktorityypin mukaan. Yhdessä reaktorissa on reaktorisydämen rakenteesta riippuen tyypillisesti 240–500 polttoainepiippua.

Normaalisti tuore polttoaine, jota ei ole käytetty reaktorissa ja jonka uraaniin ei ole sekoitettu käytetyn polttoaineen kierrätyksestä eli jälleenkäsittelystä saatua plutoniumia (MOX-polttoaine), säteilee vain hyvin vähän. Vähäinen säteily mahdollistaa tuoreen polttoaineen varastoinnin normaalia huonetta vastaavassa tilassa. Reaktorissa käytetty polttoaine on taas voimakkaasti säteilevää korkea-aktiivista ydinjätettä, jonka käsittely vaatii erityisiä säteily-suojaustoimenpiteitä. Suomen reaktoreissa ei käytetä plutoniumia sisältävää MOX-polttoainetta.

YDINENERGIA SÄHKÖNTUOTANNOSSA

Neljän ydinvoimalaitosyksikön rakentamisesta päätettiin 1960- ja 1970-luvun taitteessa Suomen talouden kasvaessa voimakkaasti. Kaksi ydinvoimalaitosyksikköä Loviisassa ja kaksi Olkiluodossa on otettu käyttöön ja kytketty sähköverkkoon vuosina 1977–1980. Vuonna 2021 Suomen neljän ydinvoimalaitosyksikön keskimääräinen käyttökerroin oli 92,9 %. Suomen viides ydinvoimalaitosyksikkö otettiin käyttöön Olkiluodossa vuonna 2022.

Maailmassa oli keväällä 2022 käytössä yhteensä 440 ydinvoimalaitosyksikköä ja niiden sähköteho oli yhteensä 393 700 MW. Euroopan unionissa ydinsähkön osuus sähkön kokonaiskulutuksesta oli vuonna 2020 noin 25 %, joka tuotettiin yli sadalla laitosyksiköllä. Suomessa neljän reaktoriyksikön tuottama osuus sähkönkulutuksesta oli vuonna 2021 noin 26 %, ja vuonna 2022 käynnistytävä Olkiluoto 3 tulee lisäämään tuota osuutta noin 40 %:iin. Ranska on johtava maa kolmentoista Euroopan Unionin ydinvoimaa käyttävän valtion joukossa yli 70 %:n ydinvoimaosuudellaan.

World Nuclear Association (WNA) -järjestön mukaan vuonna 2022 maailmassa oli rakenteilla yhteensä 55 ydinvoimalaitosyksikköä, joiden yhteisteho tulee olemaan noin 55 600 MW. Yli puolet meneillään olevista uusista laitoshankkeista sijaitsee Aasian väkirikkaissa maissa kuten Kiina, Intia ja Etelä-Korea. Euroopan uusien reaktorien rakennushankkeet Iso-Britanniassa, Ranskassa, Slovakiassa ja Unkarissa sekä nyt valmistunut Suomen Olkiluoto 3 -hanke ovat kaikki kärsineet merkittävästä viiveistä ja kustannusten kasvusta.

Suomen ydinvoimalaitosyksiköt.

Yksikkö	Malli	Nykyinen tehotaso (MWe)	Kytetty sähköverkkoon	Energiakäyttökerroin (%)	
				2020	2021
Loviisa 1	VVER 440 (V-213)	507	1977-02-08	83,3	93,7
Loviisa 2	VVER 440 (V-213)	507	1980-11-04	91,1	92,2
Olkiluoto 1	ABB-III, BWR-2500	890	1978-09-02	93,5	95,1
Olkiluoto 2	ABB-III, BWR-2500	890	1980-02-18	93,1	90,4
Olkiluoto 3	EPR	n. 1600	2022-03-12	–	–

Vuonna 2021 Suomen ydinvoimalaitosten keskimääräinen käyttökerroin oli 92,9 %, joka on parhaiden tasolla kansainvälisessä vertailussa. Yksiköiden keskimääräinen vuotuinen energiakäyttökerroin on ollut lähes poikkeuksetta yli 90 % vuodesta 1983 lähtien. Hyvä vuosittainen käytettävyyden, muutostöiden kustannustehokas toteutus ja nimellistehon 20–35 % korotukset alkuperäiseen tehoon neljällä laitosyksiköllä ovat tehneet Suomen ydinvoimainvestoinnit taloudellisesti hyvin kannattaviksi.

Suomalaisten ydinvoimalaitosten toimintavarmuus on parantunut jatkuvasti käyttökokemusten myötä. Suomalaisten ydinvoimalaitosten erinomaisen käytettävyyden pohjana ovat olleet lyhyet vuosihoitoseisokit ja käytön häiriöttömyys. Käytön häiriöttömyyteen on päästy laitteiden laajalla tehokäytön aikaisella huollettavuudella sekä turvallisuusjärjestelmien moninkertaisuudella. Turvallisuusjärjestelmien moninkertaisuus antaa mahdollisuuden

huoltaa ja tarkastaa turvallisuusjärjestelmiä ilman merkittäviä lisäriskejä myös laitoksen tehokäytöllä, mikä on ollut edellytyksenä hyvin lyhyille vuosihoitoille.

Laajempien töiden pitkän aikajänteen suunnittelu ja keskittäminen tiettyihin vuosihoitoihin pitää suuren osan ydinvoimalaitoksen vuosittaisista tuotannon keskeytyksistä hyvin lyhyinä. Suomen sähköntuotantomuotojen monipuolisuus ja mahdollisuus tuotantolaitosten vuosihoitojen ajoituksen optimointiin on mahdollistanut ydinvoimalaitosyksiköiden tasaisen käytön pääosin perusvoiman tuotantoon. Tähän asti ydinvoimalaitosyksiköt eivät ole merkittävästi osallistuneet sähkön kulutuksen vuorokautisen vaihtelun vaatimaan tehonsäätöön.

Jatkuvan parantamisen periaatteen mukaan kaikilla yksiköillä on toteutettu mittavia modernisointiprojekteja ja vuosittaisia muutostöitä. Yksiköiden ikääntymiseen on varauduttu laajoilla kunnonval-

Loviisan ydinvoimalaitos (Fortum).



vonnan ja laitteiden vaihdon ohjelmilla. Kaikkien Suomen yksiköiden turvallisuutta on parannettu alkuperäisestä turvallisuusjärjestelmien muutoksilla sekä toimintatapojen ja -ohjeistojen parannuksilla käytökokemuksien perusteella. Tekniikan kehittyminen monilla keskeisillä osa-alueilla, turvallisuuden analysointiin käytettävien työkalujen kasvanut tarkkuus, turvallisuuden varmentamisen keinojen monipuolistuminen sekä höyryprosessin ja turpiinigeneraattorin hyötysuhteen paraneminen on mahdollistanut sähkötehon kasvun kaikilla neljällä vuonna 2021 käytössä olleella Suomen laitousyksiköllä.

Loviisan ydinvoimalaitos

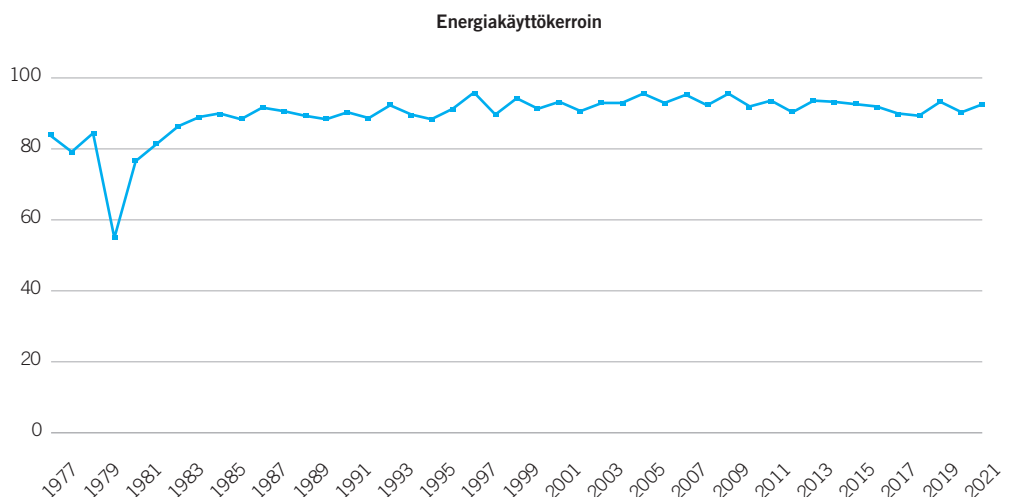
Suomen ensimmäinen ydinvoimalaitos sijaitsee Hästholmenin saarella, noin 12 kilometrin päässä Loviisan keskustasta. Laitoksen omistaa Fortum Power and Heat Oy. Loviisan ydinvoimalaitoksessa on kaksi Neuvostoliiton aikanaan toimittamaa VVER-440-tyyppistä painevesireaktoria. Kummankin yksikön tehoa on korotettu yli 20 % alkuperäisestä 420 MWe nettotehosta (465 MWe brutto) aina 507

MWe nettotehoon (531 MWe brutto). Loviisan pääkomponentit kuten reaktoripaineastia, höyrystimet, pääputkisto ja turpiinit ovat alkuperäistä neuvostoliittolaista toimitusta. Laitoksen turvallisuus- ja automaatiojärjestelmät, jäälauhduttimella varustettu teräsuojarakennus sekä käyttörajoitukset ja -ohjeistot toteutettiin alusta asti suomalaisen ja kansainvälisen syvyyspuolustukseen perustuvan turvallisuussäännöstön ja toimintamallien mukaisina.

Loviisan kummankin yksikön ympärillä on onnettomuuksien varalta päästöjä rajoittava suojarakennus. Yksiköt on varustettu länsimaisella suojausautomaatiolla, jota on laajennettu alkuperäisestä useaan otteeseen. Laajin yksiköiden automaatiojärjestelmien uudistus toteutettiin automaation uudistusprojektissa vuosina 2014–2018. Uudistuksissa Loviisan yksiköiden turvallisuusjärjestelmiä on täydennetty ottamaan huomioon ja rajoittamaan myös erittäin epätodennäköisenä pidettävän reaktorisydämen sulamiseen johtavan vakavan reaktorionnettomuuden ympäristöpäästöjä.

Käytökokemusten, tutkimustulosten ja maailmalla tapahtuneiden ydinvoimalaitosonnettomuuksien opetuksina laitoksen turval-

Suomen ydinvoimalaitosten (OL1 ja 2; LO1 ja 2) yhdistetty energiakäyttökerroin vuoteen 2021 (IAEA).



Olkiluodon ydinvoimalaitos (TVO).



lisuutta on parannettu uudistamalla mm. turvallisuusjärjestelmiä, automaatiojärjestelmiä, palosuojelujärjestelyjä sekä tarkentamalla käyttörajoituksia ja laitosohjeistoa. Syvyysuuntaisen puolustuksen tasoja on täydennetty ottamaan entistä paremmin huomioon hyvin harvinaisena pidettäviä sääilmiöitä, maanjäristysten tai ulkoisen uhan aiheuttamia tilanteita ja useiden turvallisuusjärjestelmien osien ja laitteiden samasta syystä aiheutuvia vikaantumisia.

Sydämen sulamisonnettomuuden varalta on Loviisan laitokseen lisätty ympäristöpäästöjä rajoittavia turvallisuusjärjestelmiä: mm. suojarakennuksen jälkilämmön pitkän aikavälin poistamiseen suunniteltu teräsuojarakennuksen ulkopuolinen ruiskutus sekä sydänsulan tuottamien räjähtävien kaasujen, esimerkiksi vedyn, hallittu passiivinen tai aktiivinen poltto. Loviisan laitoksella toteutettuja turvallisuusmuutoksia on jäljitelty muillakin VVER-tyyppisillä laitoksilla.

Fortum on ilmoittanut merkittävistä investoinneista laitosyksiköiden aiempaa pitempään käyttöikään ja hakenut lupaa käyttää molempia laitosyksiköitä vuoteen 2050 asti. Fortum on hankkinut ydinpolttoaineen valmiina nippuina Venäjältä. Polttoaineenhankinta tullaan käsittelemään uudelleen Loviisan laitoksen käyttöluopahankemuksen yhteydessä.

Vuonna 2021 Loviisan voimalaitos tuotti sähköä 8,2 TWh (nettotuotanto). LO1:n energiakäyttökerroin vuonna 2021 oli 93,7 % ja LO2:n 92,2 %.

Olkiluodon ydinvoimalaitos

Teollisuuden Voima Oyj:n omistama Olkiluodon ydinvoimalaitos sijaitsee Eurajoen kunnassa, noin 20 kilometriä Raumalta pohjoiseen. Voimalaitoksessa on kaksi ruotsalaisvalmisteista kiehutusvesireaktoria OL1 ja OL2 sekä vuonna 2022 valmistunut, ranskalais-saksalaisena yhteistyönä suunniteltu European Pressurized Reactor (EPR) -tyyppinen painevesireaktori OL3.

OL1- ja OL2-kiehutusvesireaktorien tehoa on nostettu useissa vaiheissa: ensin reaktoritehon korotuksina vuosina 1982–84, sitten modernisointi- ja reaktorin tehonkorotusohjelmassa vuosina 1995–98 sekä vuosina 2005–2006 ja 2010–2012 tehdyssä turpiinipuolen höyryprosessien ja hyötysuhteen parannuksina. Vuosien 1995–1998 ja 2010–2012 tehonkorotukset edellyttivät myös generaattorien uusintaa. Kummankin laitosisikön nykyinen nettosähköteho on 890 MWe, joka on noin 35 % alkuperäistä 660 MWe enemmän. Tehonkorotusten ja laitteiden modernisoinnin yhteydessä yksiköiden turvallisuusjärjestelmiä on uudistettu ja täydennetty omien ja muiden ydinlaitosten käyttökokemuksien ja uusimman tutkimustiedon perusteella.

OL1- ja OL2-kiehutusvesireaktoriyksiköiden sähköjärjestelmien syvyyspuolustustasojen toimivuutta on täydennetty uudistusten yhteydessä. Turvallisuusjärjestelmien toisistaan riippumattomia



sähkönsyöttölähteitä ja mahdollisuuksia jäähdyttää reaktoria epä-todennäköisissä onnettomuustilanteissa on lisätty. Myös mahdollisuus syöttää sähköä yksiköltä toiselle kaikkien kolmen yksikön välillä lisää turvallisuutta hyvin poikkeuksellisissa ja harvinaisissa tilanteissa. Lisäksi yksiköiden ohjeistoja ja turvallisuusanalyysijä on täydennetty ottamaan paremmin huomioon erittäin harvinaiset tilanteet, joissa suunnittelussa oletettujen onnettomuuksien kanssa yhtä aikaa tapahtuu harvinaisia lisävikoja. Myös reaktori-sydämen mahdolliseen sulamiseen on varauduttu. Samoin erittäin harvinaisiin sääilmiöihin ja ulkoisiin uhkiin varautumista on täydennetty laite- ja ohjeistoparannuksilla. OL1- ja OL2-laitosyksiköiden turvallisuusjärjestelmiä on parannettu ja modernisoitu systemaattisesti joka toinen vuosi toteutettavassa huoltoseisokissa. Laajempia modernisointihankkeita on toteutettu yksiköiden pitkissä huoltoseisokeissa noin 5 vuoden välein.

OL3-yksikön rakentaminen aloitettiin vuonna 2005 ja se otettiin sähköntuotantoon vuonna 2022. OL3 on ranskalais-saksalaisena yhteistyönä suunniteltu ja toteutettu EPR-tyyppinen nettosähköteholtaan noin 1600 MWe painevesilaitos. Jo vuosien 2002–2004 rakentamislupavaiheessa yksikön turvallisuusjärjestelmiä ja suunnittelua täydennettiin vastaamaan suomalaisia turvallisuus- ja käytettävyyksvaatimuksia. OL3-yksikössä on koeteltuun painevesireaktorien tekniikkaan perustuvaa modernia teknologiaa sekä

suunnittelun laajennusonnettomuuksiin ja harvinaisen sydämen sulamisonnettomuuden hallintaan liittyviä kehittyneitä turvallisuusominaisuuksia. Kaikkien kolmen Olkiluodon ydinvoimalaitos-yksikön käyttöiän on suunniteltu olevan ainakin 60 vuotta alkaen yksikön käyttöönotosta.

Uraania Olkiluodon yksiköihin hankitaan pitkäaikais sopimuksilla pääasiassa Kanadasta ja Australiasta. Uraani väkevöidään Venäjällä ja EU-alueella. Olkiluotoon toimitettavat polttoaineput valmistetaan Saksassa, Espanjassa ja Ruotsissa.

Vuonna 2021 Olkiluodon voimalaitoksen kaksi käyvää yksikköä tuottivat sähköä 14,4 TWh (nettotuotanto). OL1:n käyttökerroin oli 95,1 % ja OL2:n vastaavasti 90,4 %.

Uudet hankkeet

Suomen kuudes ydinvoimalaitosyrittäjä Fennovoima Oy:n Hanhikivi 1 sai myönteisen periaatepäätöksen vuonna 2015, mutta projekti lopetettiin sen omistajien päätöksellä vuonna 2022. Päätös lopetti viimeisen kolmesta vuonna 2010 valtioneuvoston käsittelyssä olleesta ydinvoiman rakennushankkeesta. Vuonna 2022 mielipidetiedustelujen mukaan suurin osa suomalaisista kannattaa ydinvoiman käyttöä ja uusien ydinvoimalaitosten rakentamista Suomeen.

YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET JA SÄTEILYALTISTUS

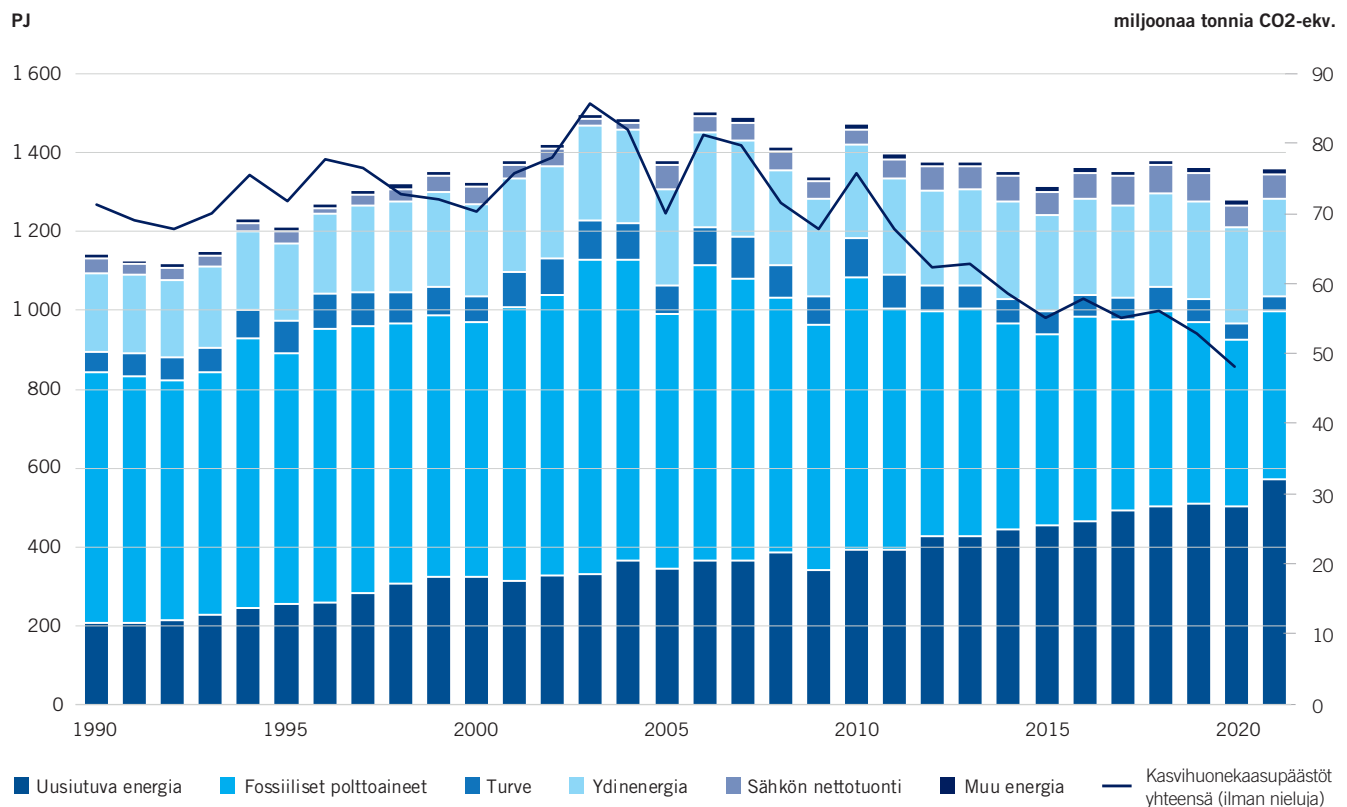
Ydinvoimalla on merkittävä rooli ilmastonmuutoksen torjunnassa, koska energian tuotantoprosessi ei aiheuta merkittäviä kasvihuonekaasupäästöjä. Ydinvoimalaitosten ympäristön säteilytasoa ja laitosten vähäisiä radioaktiivisten aineiden päästöjä lähialueille tarkkaillaan säännöllisesti mittaamalla ympäristöstä otettuja näytteitä. Ydinvoimalaitosten henkilöstön ja lähiseutujen asukkaiden säteilyannokset ovat olleet Suomessa selvästi alle säädettyjen rajojen.

Ydinvoima osana ympäristöpolitiikkaa

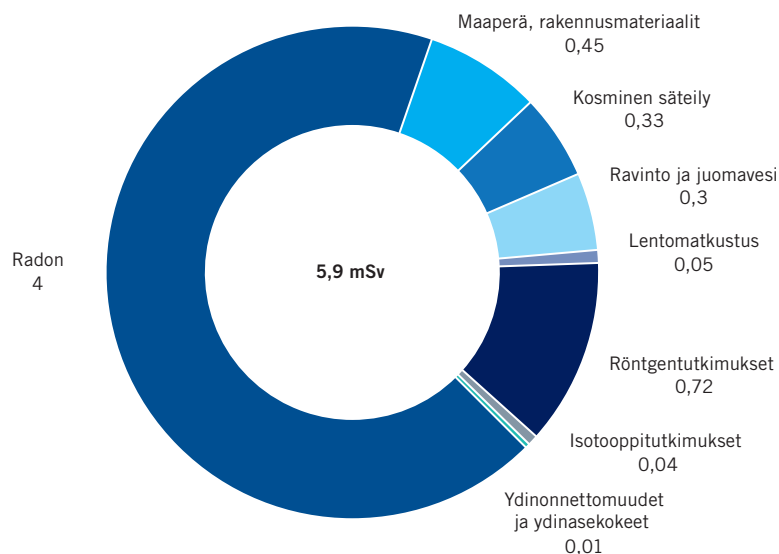
Suomalaisten kasvanut tietoisuus ilmastonmuutoksesta on lisännyt ydinvoiman kannatusta Suomessa jo useita vuosia. Ydinvoiman suosiota Suomessa on lisännyt hiilidioksidipäästöjä rajoittavan politiikan nostama fossiilisen energian hinta sekä vuonna 2022 nopeasti päätetty tarve vähentää riippuvuutta Venäjältä tuotavasta energiasta.

Suomen ilmastopolitiikalle on asetettu vaativa hiilineutraaliuden tavoite vuoteen 2035 mennessä. Ydinvoimalla on vähäpäästöisenä sähköntuotantomuotona merkittävä rooli tämän tavoitteen saavuttamisessa. Ydinvoimalaitoksen tuotantoprosessi ei aiheuta merkittäviä kasvihuonekaasupäästöjä. Vähäiset kasvihuonekaasujen päästöt liittyvät vain turvallisuuteen liittyvien järjestelmien ajoittaiseen testaukseen sekä laitoksen rakenteiden ja laitteiden valmis-

Energian kokonaiskulutus energianlähteittäin ja kasvihuonekaasupäästöt (Tilastokeskus).



Suomalaisten säteilyannos
(millisievertiä, mSv) eri lähteistä
vuonna 2020 (STUK).



tukseen. Ydinvoiman elinkaaripäästöjä arvioitaessa täytyy ottaa huomioon mm. rakennusmateriaalien ja polttoaineen tuotannon hiilidioksidipäästöt. Tuoreimpien arvioiden mukaan ydinenergian elinkaaripäästö on muutamia kymmeniä grammoja hiilidioksidia tuotettua kilowattituntia kohti, mikä on tuulivoiman kanssa samaa luokkaa.

Suomessa on pystytty menestyksellisesti vähentämään ympäristöä happamoittavien rikkidioksidi- ja typpioksidipäästöjen määrää. Hiilidioksidipäästöjen vähentäminen edelleen on hyvin haasteellinen tehtävä, jonka tärkeimpiä keinoja ovat sähkön ja lämmön tuotannon tehokkuus ja energiansäästö, uusiutuvien energiavarojen ja ydinenergian käytön lisääminen sekä kivihiilen korvaaminen maakaasulla.

Suomen Tilastokeskuksen mukaan vuoden 2020 kasvihuonekaasujen kokonaispäästöt olivat 48,3 miljoonaa hiilidioksidiekvivalenttitonnia (milj. t CO₂-ekv.). Päästöt vähenivät 9 % edellisvuoteen verrattuna. Päästöt ovat laskeneet 32 % vertailuvuodesta 1990 ja 44 % vuodesta 2003.

Suomalaisten keskimääräinen säteilyannos

Suomalaisten eri lähteistä vuosittain saama keskimääräinen säteilyannos on 5,9 millisievertiä (mSv). Kaksi kolmasosaa tästä annoksesta on peräisin huoneilman radonista. Radonin aiheuttamaa annosta on saatu pienennettyä rakentamalla uudet talot radonturvallisesti ja korjaamalla vanhoja taloja radonturvallisiksi. Laskentatavan muutoksen vuoksi radonin osuus vuosittaisen säteilyannoksen arviosta nousi kolminkertaiseksi vuonna 2020. Uudesta laskentatavasta riippumatta radonin terveysvaikutukset ovat lievässä laskussa.

Ydinvoimalaitoksen toiminta ja ympäristövaikutukset

Ydinvoimalaitoksista veteen ja ilmaan joutuville päästöille on määritelty päästörajat tärkeimmille radioaktiivisille aineryhmille. Radioaktiivisten aineiden pitoisuutta ympäristössä tarkkaillaan vi-

rallisten määräysten mukaan ja mittaamalla ympäristöstä otettuja näytteitä. Ydinvoimalaitosten henkilöstön ja lähiseutujen asukkaiden säteilyannokset ovat olleet Suomessa selvästi alle säädettyjen rajojen.

Suomalaisten ydinvoimalaitosten päästörajat on asetettu siten, että ydinlaitosalueen kaikkien ydinlaitosyksiköiden normaalin käytön aiheuttama, konservatiivisin oletuksin arvioitu säteilyannos lähialueen kaikkein altistuneimmalle väestöryhmälle on oltava selvästi alle 0,1 mSv vuodessa. Vuosittain mitattujen päästöjen perusteella konservatiivisesti laskettu ympäristön eniten altistuneen yksilön säteilyannos on ollut kummallakin laitospaikalla alle 1 % tuosta rajasta.

Ennen voimalaitosten rakentamista on ympäristössä tehty perustilaselvitys. Laitosten toiminnan aikana otetaan vuosittain satoja näytteitä laitoksen maa- ja meriympäristöstä: esimerkiksi saniaisista, sienistä, marjoista, riistasta ja maidosta sekä merivedestä, vesikasveista, pohjaeläimistä, kaloista ja pohjasedimenteistä. Lisäksi tarkkaillaan ilmaa, sadevettä ja otosryhmää lähialueella asuvista ihmisistä. Ydinvoimalaitoksesta peräisin olevat määrät ovat niin pieniä verrattuna luonnon omiin radioaktiivisiin aineisiin, että niillä ei ole merkitystä ympäristön eikä ihmisten säteilyaltistukseen.

Päästöistä aiheutuva säteilylle altistuminen voidaan laskea mittaamalla päästöt ilmaan ja veteen sekä käyttämällä meteorologisia tilastoja ja leviämistietoja sekä eri aineiden ekologiseen ja biologiseen käyttäytymiseen liittyviä tietoja. Ydinvoimalaitoksen päästöjen kartoittamista auttaa se, että vapautuvien radioaktiivisten aineiden havaitseminen ympäristössä on helpompaa kuin monien muiden teollisuuspäästöihin kuuluvien aineiden. Näin arvioituna altistuneimman ihmisryhmän päästöistä saamat vuosittaiset säteilyannokset laitosten läheisyydessä ovat luokkaa 0,0001 mSv. Näin pieniä annoksen lisäyksiä ei voida erottaa luonnon taustasäteilystä millään suoralla mittaustekniikalla.

Suomalaisten ydinvoimalaitosten merkittävimmät ympäristövaikutukset liittyvät meriveden lämpenemiseen, koska laitokset käyttävät muiden suomalaisten lauhdevoimalaitosten tapaan jääh-

dytykseen merivettä. Merivesi lämpenee 10–13 asteella laitoksen läpi kulkiessaan, mutta jäähtyy nopeasti sekoittuessaan avoimen meren suureen vesimassaan. Meriveden poistotunnelin purkuaukon suulla oleva lämpimän veden alue rehevöityy ja pysyy sulana myös talvella. Kokonaan jäättömän ja heikentyneen jään alueen koko riippuu ydinvoimalaitosyksikön lämpötehosta ja talven lämpötilavaihtelusta.

Ammatillinen säteilyaltistus

Suomalaisissa ydinvoimalaitoksissa työskennelleiden henkilöiden säteilyannokset ovat pienentyneet 2000-luvulla työtapojen, materiaalivalintojen ja laitoksen käyttötoiminnan kehittämisen seurauksena. Esimerkiksi Loviisan laitostyöyksiköillä saavutettiin vuonna 2021 laitoshistorian alhaisin henkilöstön säteilyannos, ja samana vuonna kaikilla neljällä Suomen käyväällä yksiköllä noin 95 % yksittäisten työntekijöiden säteilyannoksista jäi alle 5 mSv:n. Suurin osa säteilyannoksista saadaan vuosihuoltoseisokeissa tehdyissä töissä. Työntekijän vuosittainen säteilyannos ei saa ylittää 20 mSv. Loviisan ja Olkiluodon voimalaitoksilla on käytössä annosrajaa pienemmät annosrajoitukset työntekijöiden henkilökohtaisten säteilyannosten rajoittamiseksi ”as low as reasonably achievable” (ALARA) -periaatteen mukaisesti.

Vuonna 2020 Loviisan voimalaitoksen henkilöstön kollektiivinen säteilyannos oli molemmille laitostyöyksiköille yhteensä 0,90 manSv ja Olkiluodon voimalaitoksen yksiköille yhteensä 0,56 manSv. Pääosa säteilyannoksesta kertyy vuosihuoltojen aikana tehdyistä töistä.

Kaivoshankkeiden vaikutukset

Ympäristövaikutukset vaihtelevat kaivoshankkeiden eri vaiheissa: malmiensäilytyksessä, tuotannossa sekä toiminnan loputtua. Vaikutusten suuruus riippuu olennaisesti louhittavasta mineraalista, toiminnan laajuudesta, ympäristöoloista sekä käytetyistä tekniikoista. Varsinainen kaivostoiminta eli kaivosmalmien hyödyntäminen kestää yleensä vuosia, jopa vuosikymmeniä. Ympäristövaikutukset kohdistuvat pääosin kaivoksen lähialueelle ja ne kestävät yleensä toiminnan ajan.

Euroopassa ei ole tällä hetkellä uraanikaivoksia, mutta uraanin pitoisuus Suomen kallioperässä on suuri ja uraanin talteenotto muun kaivosprosessin sivutuotteena on mahdollista. Vuonna 2022 Valtioneuvoston myöntämä lupa uraanin talteenotolle Terrafamen (entinen Talvivaara) nikkeli-kaivoksella Sotkamossa sai lainvoiman. Terrafame on arvioinut kaivoksen tuotannoksi 150 tonnia urania vuodessa.

Uraanikaivostoiminnan jätteet ovat jättekiveä ja erilaisia prosessijätteitä. Niiden sisältämien luonnon radioaktiivisten aineiden pitoisuudet ovat verraten vähäisiä, mutta toisaalta jätetilavuudet ovat samaa suuruusluokkaa kuin louhittu malmimäärä. Kaivostoiminnan päätyttyä ja jättekiven läjitysalueen täytyttyä sen päälle rakennetaan maa-aineksista eristävä peitekerros. Uraanikaivostoiminnan jätteistä ei aiheudu merkittävää ympäristöhaittaa, mutta jätteen eristyskerrosten kunto vaatii ajoittaista tarkkailua. Enon Paukkajanvaarassa louhittiin 1950–1960-lukujen vaihteessa runsaat 30 tonnia urania. Toiminnan seurauksena alueelle jäi luonnolliset säteilytasot selvästi ylittävää jättekiveä ja rikastushiekkaa, mutta kaivos on muutoin palautettu luonnontilaan.

Paukkajanvaara ja Talvivaara Suomen kartalla (pohjakartta: Maanmittauslaitos)



YDINJÄTEHUOLTO

Ydinvoiman käytöstä sähköntuotannossa syntyy kahdenlaista radioaktiivista jätettä: matala- ja keskiaktiivista voimalaitosjätettä sekä korkea-aktiivista käytettyä ydinpolttoainetta. Käytettyä ydinpolttoainetta syntyy Suomen viidessä ydinvoimalaitosyksikössä yhteensä noin 110 tonnia vuodessa. Voimalaitosjätettä syntyy ydinlaitoksilla prosessivesien puhdistusjärjestelmissä sekä huolto- ja korjaustöissä. Kun ydinvoimalaitokset suljetaan lopullisesti ja laitokset puretaan, syntyy voimalaitosjätteen kaltaista purkujätettä.

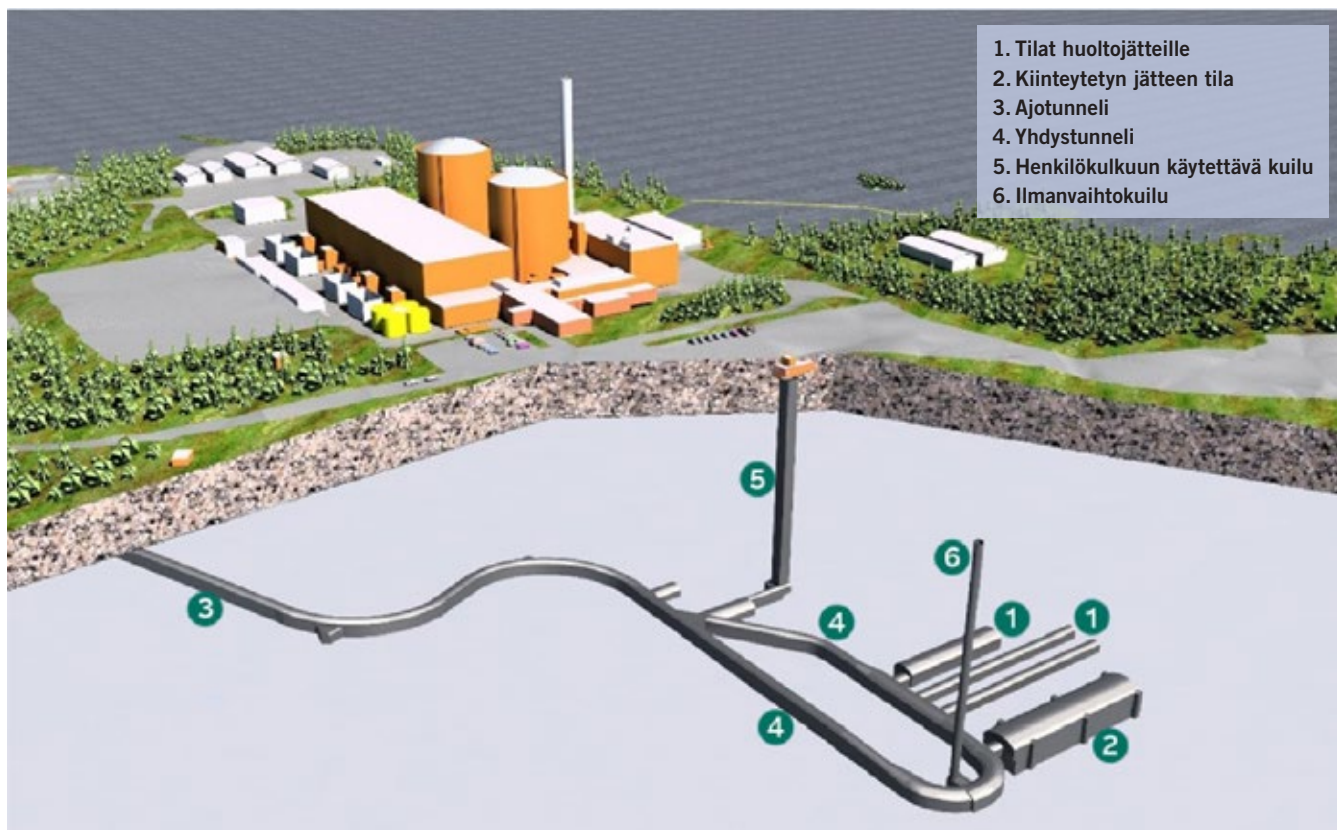
Voimalaitosjäte

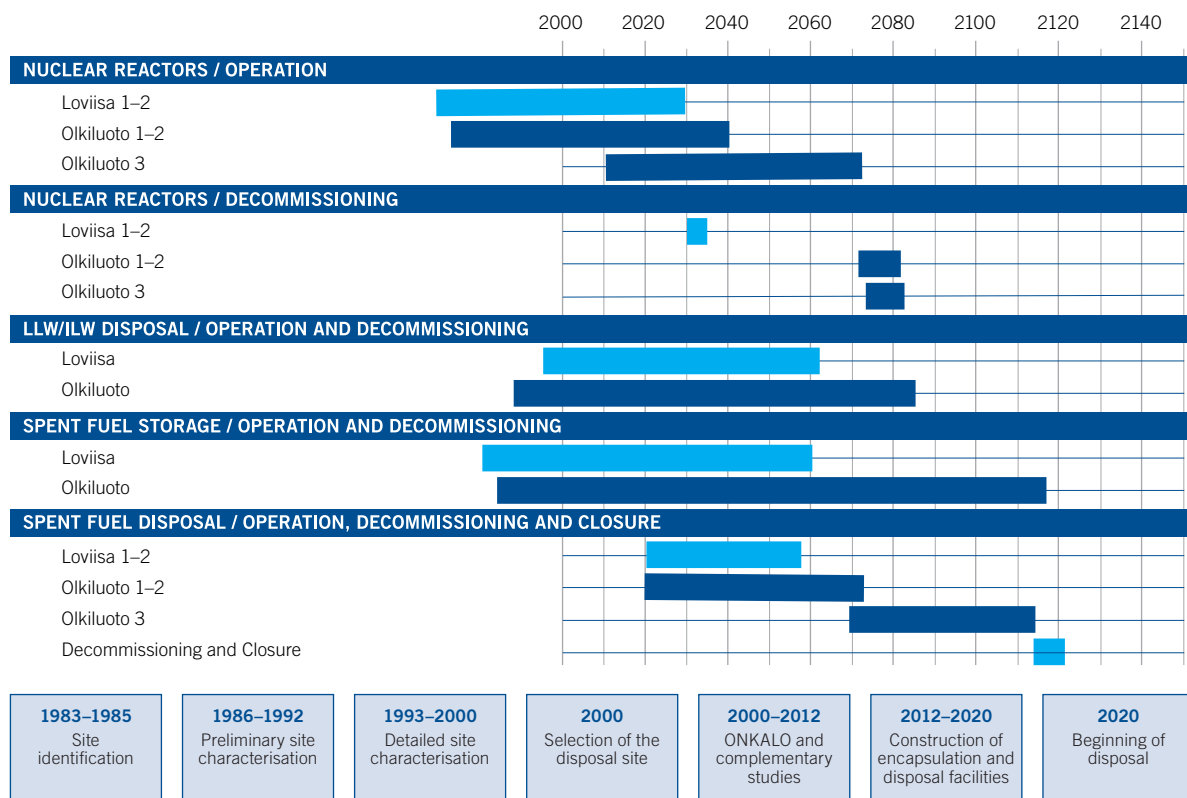
Olkiluodon laitosten matala- ja keskiaktiivisten ydinlaitosjätteiden loppusijoituslaitos, VLJ-luola, sijaitsee Olkiluodon Ulkopään niemellä. VLJ-luolan rakentaminen aloitettiin vuonna 1988 ja se otettiin käyttöön vuonna 1992. Luolaa laajennetaan käytöstä syntyvän radioaktiivisen jätteen ja voimalaitoksen purkujätteiden loppusijoitusta varten tämän hetken arvion mukaan 2050-luvulla.

Voimalaitosjätteen loppusijoitustilaan voidaan sijoittaa myös OL3-yksikön voimalaitosjätteet ja laitoksen purkamisesta aikanaan syntynyt jäte. Vuonna 2020 aloitettiin selvitykset mahdollisuudesta sijoittaa erittäin matala-aktiivista ydinjätettä maaperäloppusijoitukseen Olkiluodon ydinvoimalaitosalueelle.

Suunnitelmien mukaan Olkiluodon VLJ-luolan käyttö siis jatkuu yksiköiden käytön jatkuessa ainakin 2080-luvulle asti, joten uutta

Loviisan voimalaitoksen matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoituslaitos (Fortum).





Suomen ydinjätehuollon toteutusaikataulut (TEM). Alareunan laatikoissa on alkuperäinen aikataulu 1980-luvulta käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitukselle, mikä on pitänyt erinomaisesti. Vuonna 2022 Fortum on hakenut Loviisa 1 ja 2 -yksiköiden käyttöluville jatkoa vuoteen 2050 asti. Jos hakemus hyväksytään, siitä seuraa muutoksia Loviisan käyttö- ja käytöstäpoistoaikatauluihin.

lupaa tullaan hakemaan nykyisen käyttöluvan päätyessä vuoden 2051 lopussa. Nykyiset vuonna 2012 myönnettyt luvat mahdollistavat myös muun kuin ydinvoimalaitosten käytöstä syntyneen radioaktiivisen jätteen sijoittamisen luolaan.

Loviisan ydinvoimalaitoksen laitosalueelle Hästholmenin saarella on 110 metrin syvyyteen louhittu loppusijoitustila käytöstä syntyville matala- ja keskiaktiivisille voimalaitosjätteille. Tiloja on tarkoitus aikanaan laajentaa Loviisan yksiköiden purkujätteen loppusijoitusta varten. Loviisan yksiköiden käyttö jatkuu käyttöluvapahakemuksen mukaan vuoteen 2050 ja ne on suunniteltu purettavan vuosina 2050–2060.

Käytetty polttoaine

Loviisan reaktorien käytettyä polttoainetta varastoidaan laitosalueella ennen loppusijoitusta. LO1- ja LO2-yksiköiden suojarakennuksissa sijaitsevien varastoaltaiden lisäksi Loviisan laitoksen apurakennuksessa on erillinen varastointitila käytetyn polttoaineen pitkäaikaisempaan väliavarastointiin. Varaston kapasiteettia täydennetään tarvittaessa asteittain asentamalla lisää tiheitä varastotelineitä tai rakentamalla lisäaltaita.

OL1- ja OL2-yksiköillä kummankin reaktorirakennuksen käytetyn polttoaineen varastointialtaan kapasiteetti on noin 285 tU (tonnia urania) ja OL3-yksikön reaktorirakennukseen yhteydessä olevan polttoainerakennuksen varastointialtaan kapasiteetti on 520 tU. Pitkäkestoisempaa varastointia varten käytetty polttoaine siirre-

tään erityisessä kuljetussäiliössä erilliseen väliavarastoon. Käytetyn polttoaineen varastorakennus sijaitsee Olkiluodon laitosalueella ja siinä on seitsemän varastoallasta sekä niitä yhdistävä siirtoallas. Viisi varastoallasta, yhteiskapasiteetiltaan 2300 tU, on tällä hetkellä varattu OL1- ja OL2-polttoaineelle ja kaksi allasta, yhteiskapasiteetiltaan 870 tU, on varattu Olkiluoto 3 -yksikölle. Väliavarasto valmistui vuonna 1987 ja sitä laajennettiin vuonna 2014.

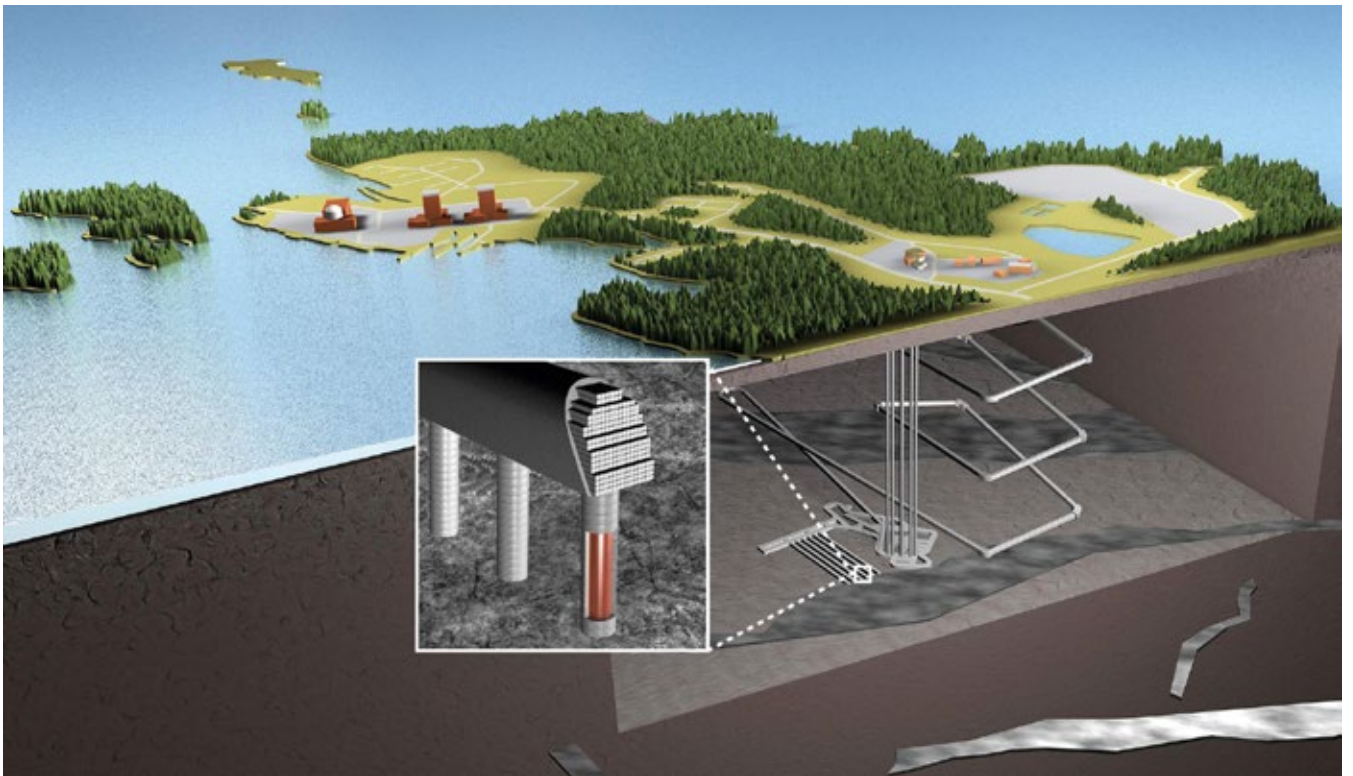
Loppusijoitus syväälle kallioperään – Onkalo

Kaikkien suomalaisten ydinvoimalaitosyksiköiden käytetyn polttoaineen loppusijoituksen syväälle peruskallioon toteuttaa Posiva Oy:n omistama Onkalo-loppusijoituslaitos, joka sijaitsee lähellä Olkiluodon ydinvoimalaitosta. Pitkäaikaisturvallisuuden lähtökohdista on moniesteperiaate, jossa radioaktiiviset aineet ovat useiden toisiaan tukevien mutta toisistaan mahdollisimman riippumattomien vapautumisesteiden sisällä. Tällöin aineet eivät pääse leviämään yhden vapautumisesteen pettäessäkään.

Loppusijoitusratkaisu on suunniteltu kestäväksi sijoituspaikalle sattuvia harvinaisia suuria maanjäristyksiä sekä ennustetun tulevaisuuden jääkaudet aina miljoonaan vuoteen asti sekä jääkausien aikaiset mannerjään painon ja liikkeen aiheuttaman räsäykset. Ratkaisu perustuu käytetyn polttoaineen sijoittamiseen kestäviin kupari-valurautakapseleihin, jotka on ympäröity savella ja haudattu noin 430 metrin syvyydelle peruskallion sisään. Turvallisuusperustelun avulla on voitu osoittaa, että käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoituksesta ei aiheudu haittaa ihmisille eikä ympäristölle.

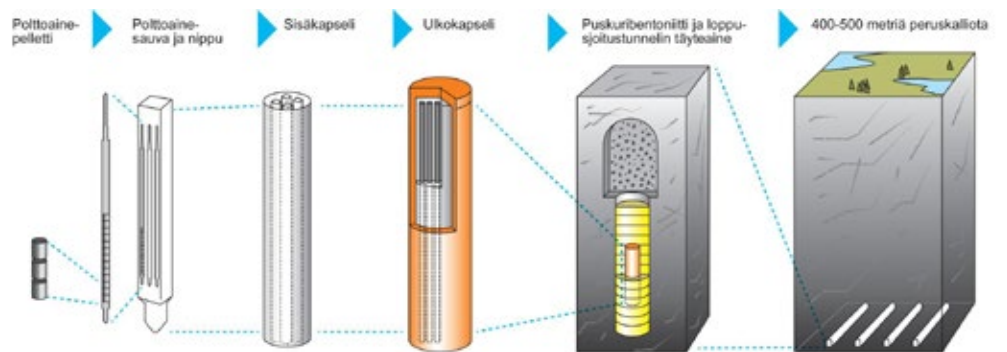
Valtion ydinjätehuoltorahasto

Ydinenergialain mukaisesti valtion ydinjätehuoltorahasto (VYR) perustettiin vuonna 1988 valtion talousarvion ulkopuoliseksi rahastoksi,



Posivan loppusijoitusratkaisu käytetylle ydinpolttoaineelle (Posiva).

Posivan loppusijoitusratkaisun yksityiskohdat (Posiva).



Posivan kupari-valurautakapselin malli (Posiva).

joka toimii työ- ja elinkeinoministeriön (TEM) alaisuudessa. Valtion ydinjätehuoltorahastoon kerätään ja sijoitetaan varat, jotka tulevaisuudessa tarvitaan Suomessa kertyneiden ydinjätteiden ja käytetyn polttoaineen loppusijoituksen kustannuksiin. Varat kattavat myös nykyisten laitosten purkamiskustannukset, ja ne kerätään ydinsähkön hinnassa käyttäjiltä. Loviisan yksiköiden ja Olkiluodon kahden vanhemman yksikön tähän mennessä tuottaman käytetyn polttoaineen ja voimalaitosjätteen loppusijoitukseen ja kaikille yksiköille yhteisen kapselointi- ja loppusijoituslaitoksen (Onkalo) rakentamiseen tarvittavat varat on jo kerätty. Osa varoista on käytetty loppusijoituslaitoksen rakentamiseen. Neljän vanhemman yksikön ja Olkiluoto 3 -yksikön jatkossa tuottaman jätteen loppusijoitukseen tarvittavia varoja kerätään edelleen ydinsähkön hinnasta samalla periaatteella.

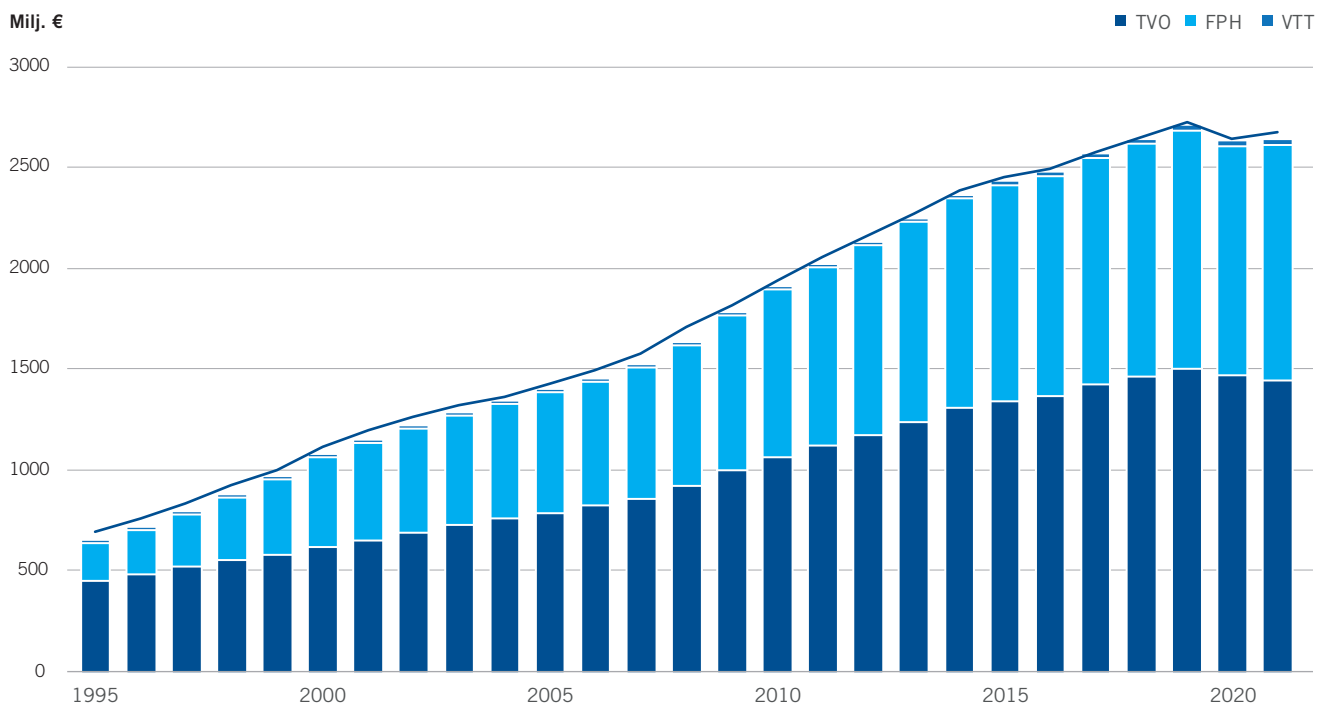
Loppusijoituksen lisäksi varoilla katetaan myös ydinturvallisuuden ja ydinjätehuoltoon liittyvän tutkimus- ja kehitystoiminnan ja viranomaisvalvonnan kustannukset.

Muu radioaktiivinen jäte Suomessa

Säteilyn käytöstä (esim. teollisuudessa, terveydenhoidossa ja tutkimuksessa) peräisin olevat radioaktiiviset jätteet, joita ei voida pa-

luttaa valmistajalle tai vapauttaa valvonnasta, varastoidaan valtion hallinnoimassa pienjätevarastossa Olkiluodossa. Niiden sijoitus Olkiluodon matala- ja keskiaktiivisen jätteen loppusijoituslaitokseen aloitettiin vuonna 2016. Tällä hetkellä selvitetään korkea-aktiivisten säteilylähteiden mahdollista loppusijoitusta yhdessä käytetyn ydinpolttoaineen kanssa.

Suomen Yhdysvalloista tilaama Otaniemessä vuonna 1962 toimintansa aloittanut FIR 1 -tutkimusreaktori hankittiin aikanaan tutkimus- ja koulutuskäyttöön ja sitä käytettiin myöhemmin myös isotooppiutuotantoon ja sädehoitoon. Vesijäähdytteisen, allastyypisen TRIGA-reaktorin suurin fissioteho oli 250 kW. Alkuperäistä ydinsulkusopimuksen mukaista hankintasopimusta soveltaen reaktorin käytetty polttoaine toimitettiin tammikuussa 2021 Denverissä sijaitsevaan Yhdysvaltojen Geologisen tutkimuskeskuksen (USGS) reaktoriin. Sieltä polttoaine jatkaa käytön loputtua Idahon kansalliseen ydintutkimuskeskukseen Yhdysvalloissa. Polttoaineen poistamisen jälkeen VTT sai kesäkuussa 2021 tutkimusreaktorille käytöstäpoistoluvan. Tutkimusreaktorin purkujäte loppusijoitetaan Loviisan voimalaitosalueella sijaitsevaan loppusijoitustilaan.



Kuvan käyrä kuvaa varautumisrahaston taseen loppusummaa, joka vuoden 2021 lopussa oli 2,68 miljardia euroa. Viranomaiset päättävät kunkin yhtiön rahastotavoitteen ja lainmukaisen vastuun määrän Valtion ydinjätehuoltorahastossa vuosittain. Vuonna 2021 Fortumin osuus rahastosta oli yhteensä 1 167 miljoonaa euroa, Teollisuuden Voiman vastaava osuus oli 1 451 miljoonaa euroa, VTT:n osuus oli 19 miljoonaa euroa, ja loput noin 40 miljoonaa oli rahaston sijoitusten vuosittaista tuottoa.

TUTKIMUS JA KOULUTUS

Ydinenergiaan liittyvää tutkimus- ja kehitystyötä tehdään Suomessa useissa tutkimusyksiköissä, jotka toimivat tutkimuslaitoksissa, yliopistoissa, voimayhtiöissä ja asiantuntijaorganisaatioissa. Julkisrahoitteinen ydinvoimatutkimus huolehtii siitä, että ydinenergian käytön valvonta perustuu puolueettomaan asiantuntemukseen. Lisäksi sillä ylläpidetään tutkimuslaitosten henkilöstön osaamista, suomalaisten tutkimuslaitteistojen toimivuutta ja mahdollistetaan osallistuminen kansainväliseen tutkimusyhteistyöhön ja laajoihin kansainvälisiin tutkimusprojekteihin.

Nykyisten fissiolaitosten käyttöturvallisuuden ja ydinjätehuollon kansallisten tutkimusohjelmien vuosittainen rahoitus kerätään voimayhtiöiltä, osana Valtion ydinjäterahaston (VYR) toimintaa, kahteen erilliseen rahastoon. Varoilla halutaan turvata korkea-laatuinen tutkimus ja ydinenergia-alan osaaminen pitkällä aikavälillä. Ydinvoimayhtiöt sijoittavat reaktoriturvallisuuden tutkimukseen varoja suhteessa käyvien laitosyksikön lämpötehoon tai uuden yksikön lupa-asiakirjoissa ilmoitettuun lämpötehoon. Ydinjätetutkimuksen varat kerätään samassa suhteessa kuin ydinjätehuoltoon käytettävät varat.

Vuoden 2023 alussa ydinenergi lakiin tehdään merkittävä muutos: ydinturvallisuuden ja ydinjätehuollon kansalliset tutkimusohjelmat ja niiden rahastot yhdistetään. Aiemmat SAFIR- ja KYT-tutkimusohjelmat yhdistetään SAFER-tutkimusohjelmaksi ja ohjelmakausi muuttuu samalla neljästä vuodesta kuudeksi. Samalla korotetaan ydinvoimayhtiöiltä rahastoon kerättävää vuosummaa.

Kansalliset ydinturvallisuuden ja ydinjätehuollon tutkimusohjelmat ovat muodostaneet alan tutkimuksen selkärangan, ja uuden yhdistetyn ohjelman odotetaan jatkavan perinnettä. Tutkimusohjelmien kokonaislaajuus vuonna 2021 oli noin 8 M€ ja tällä rahoitettiin tutkimusta noin 60 henkilötyövuoden verran.

Tutkimuslaitokset ja -yksiköt

Suomessa ydinenergia-alan tutkimus on jaoteltu ydinturvallisuuden ja ydinjätehuollon tutkimukseen ja se on jakautunut useaan eri organisaatioon. Valtaosa julkisrahoitteisesta tutkimus- ja kehitystoiminnasta toteutetaan Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:ssä. Muita tärkeitä tutkimuslaitoksia ovat Aalto-yliopisto, Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto (LUT), Geologian tutkimuskeskus (GTK), Ilmatieteen laitos sekä Helsingin, Itä-Suomen, Jyväskylän, Tampereen ja Turun yliopistot. Näiden lisäksi Säteilyturvakeskus sekä ydinenergia-alan yhtiöt rahoittavat omaa tutkimustaan sekä tilaustutkimusta edellä mainituissa tutkimusorganisaatioissa ja muissa asiantuntijaorganisaatioissa.

Ydinenergiaan liittyvä tutkimus kattaa erittäin monia tekniikan aloja, luonnontieteitä ja ihmistieteitä. Monilla aihealueilla hyödyn-

netään muissa sovelluksissa kehitettyä osaamista ydinenergiaan liittyvässä tutkimustyössä ja toisaalta monia ydinenergiatutkimuksessa kehitettyjä menetelmiä siirtyy laajempaan käyttöön.

Tutkimusohjelmat

Julkisten reaktoriturvallisuuden ja ydinjätehuollon tutkimusohjelmien päätavoite on tuottaa korkeatasoista asiantuntemusta ja tutkimustuloksia ydinvoimalaitosten sekä ydinjätehuollon ja loppusijoituksen turvallisuudesta ja täten tukea viranomaisten toimintaa. Tutkimusohjelmien hankkeissa alalle koulutetaan uusia asiantuntijoita ja edistetään teknologian ja tiedon vaihtoa sekä osallistutaan kansainvälisiin tutkimushankkeisiin.

Kansallisten tutkimusohjelmien lisäksi on tutkimuskokonaisuuksia, jotka palvelevat ensisijaisesti ydinvoimateollisuuden tarpeita ja jotka teollisuus maksaa suoraan ydinalan tutkimus- tai asiantuntijaorganisaatiolle.

Kansallisia ydinvoimalaitosten turvallisuustutkimusohjelmia on 2000-luvun alusta lähtien toteutettu 4 vuoden mittaisina SAFIR-tutkimusohjelmina; niistä viimeisin on SAFIR2022 (2019–2022). SAFIR-ohjelmien tutkimushaasteita ovat olleet nykyisten ydinvoimaloiden ikääntyminen ja ydintekniikan eri alueiden tietämyksen uudistaminen sekä valmiudet uudentyypisten ydinvoimalaitosyksiköiden analysointiin. Ohjelmaan sisällytetään hankkeita, jotka perehdyttävät uusia asiantuntijoita vaativiin erityistehtäviin ja näin edistävät ydinvoima-alan sukupolvenvaihdon etenemistä.

Kansalliset ydinjätehuollon tutkimusohjelmat aloitettiin myös 1990-luvulla ja ne on tunnettu 2000-luvun alusta KYT-tutkimusohjelmina. Viimeiseksi jäävä KYT-ohjelma on KYT2022 (2019–2022). KYT-ohjelmissa on rahoitettu teknisluonnontieteellisiä hankkeita, joilla vahvistetaan ydinjätealan kansallista osaamisopijaa. Tavoitteena on ollut kehittää ja ylläpitää perusvalmiuksia, joita Suomessa tarvitaan ydinjätehuollon suunnitelman mukaisten ratkaisujen toteuttamiseksi. Tutkimukset on jaettu strategiaan selvityksiin ja käytetyn polttoaineen geologisen loppusijoituksen pitkäaikaisturvallisuutta varmistaviin hankkeisiin.

VTT on vastannut SAFIR-ohjelmien koordinoinnista ja toteuttanut suuren osan ohjelmien tutkimushankkeista. Myös

Suomalaiset yliopistot, yritykset ja VTT kehittävät laaja-alaisesti fuusiovoimalaitosten tarvitsemia teknologioita, esimerkiksi robotiikkaa ja materiaaleja. Kuvassa tutkimuskäytössä olevan MiR-robotin ohjausta VTT:n FutureHub-toimistossa (VTT).



useimpia KYT-ohjelmia on koordinoitunut VTT ja tutkimukseen ovat VTT:n lisäksi osallistuneet GTK ja useat yliopistot. Tutkimusohjelmien johtoryhmissä ovat olleet edustettuina ydinvoima-alan eri toimijat.

Fuusioenergian kehitys

Kansainvälisenä yhteistyönä toteutettava ITER-fuusioreaktori on rakenteilla Etelä-Ranskan Cadaracheen lähelle Marseillen kaupunkia. Tokamak-tyyppisen sylinterin muotoisen ITER-reaktorin on tarkoitus tuottaa ensimmäinen plasmansa 2020-luvun lopulla. Varsinaiset fuusiokokeet vedyn raskaista deuterium- ja tritium-isotoopeista koostuvalla polttoaineella aloitetaan suunnitelmiin mukaan vuonna 2035. Isännöivä ja lähes puolet hankkeesta rahoittava EU vastaa merkittävästä osasta laitetöitä, joihin suomalaisetkin yritykset ovat osallistuneet.

EU:n fuusiotutkimuksesta on vuodesta 2014 alkaen vastaanut yritysten ja julkisrahoitteisten organisaatioiden yhteenliittymä EUROfusion-konsortio. Suomen osuutta tutkimusohjelmassa toteuttaa kansallinen yliopistojen ja yritysten FinnFusion-konsortio, jota johtaa VTT. Tutkimuksen ohella EUROfusion ja FinnFusion tukevat ja rahoittavat myös jatko-opiskelijoiden työtä jäsenorganisaatioissaan.

Suomen fuusioenergiaohjelman tavoitteet ovat teknologiassa, tieteessä ja tieteen suurhankkeisiin liittyvässä liiketoiminnassa. Suomen ohjelman painopistealueet ovat: ITER-reaktorin rakentamiseen ja järjestelmiin liittyvän teknologian kehitys yhdessä teollisuuden kanssa; fuusiotekniikan kehystoimiin osallistuminen EUROfusion-konsortion jäsenenä; ja sähköntuotannon mahdollisuuksia havainnollistavan, seuraavan sukupolven eurooppalaisen DEMO-fuusiovoimalan konseptikehitys.

Tilaustutkimus

Julkisrahoitteisissa tutkimusohjelmissa keskitytään aiheisiin, jotka hyödyttävät useita alan toimijoita ja joiden tuloksia voidaan julkaista avoimesti. Sen sijaan selkeästi lupaprosesseihin, yksittäisiin laitoihin ja laitosmuutoksiin liittyvää tutkimusta hoidetaan organisaatioiden oman T&K-toiminnan piirissä tai tilaustutkimuksena, missä tutkimusorganisaatio on kotimainen tai ulkomainen toimija. Julkisiin ohjelmiin osallistumisen ohella Fortumilla, TVO:lla ja Posivalla on kullakin omat ydintekniikan alueen tutkimusohjelmansa, joiden sisältö määritetään yrityksen ja ydinlaitosten tarpeiden mukaan.

VTT ja yliopistot tekevät myös jonkin verran ydinenergiaan liittyvää tutkimusta omalla rahoituksellaan sekä muulla ulkopuolisella

rahoituksella kuin VYR-tutkimusohjelmissa. Nämä ovat kuitenkin volyymiltään pieniä hankkeita, jotka lähinnä täydentävät tutkimusohjelmia ja tilaustutkimusta sekä luovat uusia valmiuksia.

Ydinenergia-alan koulutus

Ydinenergia-alalla tarvitaan osaamista varsin monelta erityisalueelta. Laaja osaamiskoulutus tehtiin TEM:n johdolla vuosina 2010–2012 ja sitä päivitettiin vuosina 2017–2018. Nämä kansallisen ydinenergia-alan osaamistyöryhmän raportit löytyvät TEM:n verkkosivuilta. Tulosten ja aiemman kehityksen perusteella Suomessa kyetään säilyttämään tarvittavat henkilöstöresurssit myös tulevaisuudessa, mutta nuorten asiantuntijoiden kouluttaminen ja perehdyttäminen tietyille osaamisalueille tarvitsee jatkossa erityistä huomiota.

Ydinenergiaan liittyviä maisteritason tutkintoja (DI tai FM) suoritetaan vuosittain 10–20. Ydinenergiatekniikkaa voi opiskella Aalto-yliopistossa ja LUT-yliopistossa ja radiokemiaa Helsingin yliopistossa. Opintojen laajuus voi olla maisterivaiheen sivuaineen tai pääaineen laajuinen, ja näissä opetusohjelmissa voi jatkaa myös tohtorin tutkintoon. Osaamiskartoitusten perusteella ydintekniikan alalle rekrytoidaan myös monilta muilta aloilta valmistuneita maistereita ja tohtoreita sekä ammattikorkeakouluista valmistuneita.

YJK – Ydinturvallisuuden ja ydinjätehuollon kansallinen kurssi

Ydinenergia-alan tutkimusohjelmien yhtenä tavoitteena on kouluttaa alalle uusia asiantuntijoita, joita tarvitaan paitsi korvaamaan eläkkeelle siirtyviä suuria ikäluokkia niin myös ydinlaitosten rakentamisen, ylläpidon ja käytöstäpoiston tarpeisiin. Ydinenergia-alalle värvätään kuitenkin myös uusia osajia, joiden korkeakoulutukseen ei ole sisällynyt ydinenergiakursseja. Etenkin tällaisten työntekijöiden yhteiseen perehdyttämiseen on alan perustiedot tarjoavaa ydinturvallisuuskurssia (YK) järjestetty vuosittain vuodesta 2003 alkaen. Vuonna 2017 kurssiin yhdistettiin kansallisen ydinjätehuoltokurssin (YJH) sisältö, jolloin syntyi Ydinturvallisuuden ja ydinjätehuollon kansallinen kurssi YJK.

Vuodesta 2003 alkaen YK- ja YJK-kursseille on osallistunut vuosittain 50–90 ydinvoima-alan työntekijää eri organisaatioista. Tähän mennessä siis yli tuhat henkilöä on osallistunut laajuudeltaan 21–30 päivää kestäväälle kurssille. Kurssin opettajina toimivat alojensa parhaat asiantuntijat eri organisaatioista, ja vastineeksi opetuspanoksesta organisaatiot saavat oppilaspaiikkoja vähemmän kokeneille tekijöille. Talkoomuotoinen YJK-kurssin työtapana on kansainvälisesti ainutlaatuinen. Kurssimateriaali on laadittu niin, että eri organisaatiot voivat hyödyntää sitä myös omassa sisäisessä koulutuksessaan.



Platom Oy:n autoklaavi uraaniheksafluoridin UF₆ käsittelyyn (Platom).

LAINSÄÄDÄNTÖ JA VIRANOMAISVALVONTA

Ydinvoimalaitoksia koskeva säännöstö Suomessa muodostuu ydinenergialaista ja -asetuksesta, Säteilyturvakeskuksen (STUKin) määräyksistä ja STUKin ydinvoimalaitosohjeista (YVL-ohjeet) sekä YVL-ohjeiden ja STUKin päätösten mukaan sovellettavista ydinalan kansainvälisistä ohjeista ja standardeista.

Suomen ydinenergialaki (990/1987) tuli voimaan 1.3.1988, ja sillä kumottiin vuonna 1957 annettu atomienergialaki (356/57). Lain pääperiaatteena on pyrkimys ydinenergian käytön turvallisuuteen ja yhteiskunnan kokonaisedun mukaisuuteen, eikä ydinenergian käyttö Suomessa saa edistää ydinaseiden leviämistä. Kansanvaltaisuus toteutuu eduskunnan periaatepäätöksellä ydinvoimalaitoksen tai muun yleiseltä merkitykseltään huomattavan ydinlaitoksen rakentamisesta sekä sellaiseen hankkeeseen liittyvillä julkisilla tilaisuuksilla, joissa kansalaiset voivat esittää mielipiteitään valtioneuvoston tietoon saatettavaksi. Ydinenergialain (990/1987) ja -asetuksen (161/1988) mukaisesti eduskunnalla on lopullinen valta sallia uusien ydinlaitosten rakentaminen, mukaan lukien ydinjätteen loppusijoituslaitokset.

Ydinenergialaissa säädetään ydinenergian käytön ja jätteenkäsittelyn luvanvaraisuudesta ja käyttöehdoista sekä viranomaisten velvollisuuksista ja valtuuksista. Suomen säännöstön lähtökohtana on yksiselitteinen ja jakamaton toiminnan harjoittajan vastuu ydinlaitoksen turvallisuudesta ja koko elinkaaren mittaisista kustannuksista. Laitoksen käyttäjä maksaa tarvittavan viranomaisvalvonnan ja ydinjätteestä huolehtimisen koko laitoksen elinkaaren kustannukset. Käyttäjä eli ydinjätteen tuottaja myös huolehtii jätteiden käsittelystä ja loppusijoituksesta, jonka edetessä sille palautetaan laitoksen käytön aikana rahastoituja varoja.

Suomen säännöstön ominaispiirre on myös ydinturvallisuudesta vastaavan viranomaisen Säteilyturvakeskuksen (STUK) laaja, keskitetty toimeenpano- ja lainsäädäntövalta. Viranomainen, joka tekee laitosten määräaikaista turvallisuuskatselmuksia ja turvallisuusarviointeja, laatii määräykset ja ohjeet sekä valvoo niiden täytäntöönpanoa. STUK on täysin riippumaton luvanhaltijoista ja poliittisista päättäjäistä.

Uuden ydinlaitoksen lupamenettelyt

Ennen uuden ydinlaitoksen rakentamista rakennushankkeesta vastaava organisaatio tekee ympäristövaikutusten arviointimenettelystä annetun lain (252/2017) mukaisen ympäristövaikutusten arvioinnin. Ydinenergialain ja -asetuksen mukaan Suomen uuden ydinlaitoksen lupamenettelyssä on neljä päävaihetta seuraavasti:

- Periaatepäätös
- Rakentamislupa
- Käyttölupa
- Käytöstäpoistolupa

Uusi merkittävä ydinlaitoshanke Suomessa alkaa yhteiskunnan kokonaisedun käsittelyllä periaatepäätösprosessissa. Periaatepäätöksen hyväksyy tai hylkää eduskunta valtioneuvoston esityksen perusteella. Myönteistä periaatepäätöstä varten tarvitaan ydinlaitokselle suunnitellun sijaintikunnan myönteinen lausunto sekä julkisten kuulemisten järjestäminen paikkakunnalla ja lähikunnissa. Ydinlaitoksen rakentamislupa, käyttölupa ja käytöstäpoistolupa haetaan erikseen valtioneuvostolta ja hakemuksen käsittelyprosessista vastaa työ- ja elinkeinoministeriö. Kaikissa näissä kolmessa vaiheessa STUKin kattava arviointi pakollisille lupa-asiakirjoille sekä laitoksen turvallisuuden riittävyden arvio myönteisillä päätelmillä on edellytys valtioneuvoston myönteiselle päätökselle.

Viranomaisvalvonta

Suomalaisen käytännön mukaan käyttölupa myönnetään määräaikaisena yleensä 10–20 vuoden jaksolle, yhdistettynä kullekin laitokselle 10 vuoden välein tehtävään määräaikaiseen turvallisuusarvioon. Lupamenettely tähtää vahvaan jatkuvaan turvallisuuden ja tekniikan parantamiseen käyväällä ydinvoimalaitoksella. Ydinturvallisuuteen liittyvä valvontatyö on keskitetty Säteilyturvakeskukselle.

STUKin tehtävänä on ydinturvallisuusvalvonnan lisäksi huolehtia turva- ja valmiusjärjestelyjen valvonnasta sekä ydinaseiden leviämisen estämiseksi tarkoitetusta ydinmateriaalivalvonnasta. Ydinaseiden leviämisen estämiseksi tarkoitetulla kansainvälisen ydinsulkusopimuksen mukaisella valvonnalla varmistutaan siitä, että ydinlaitoksia ja alan tekniikkaa käytetään vain rauhanomaisiin tarkoituksiin. Myös ydinturvallisuutta ohjaavan säännöstön laatiminen on lainsäädännössä annettu STUKin tehtäväksi.

Ydinenergialain ja -asetuksen ohella ydinenergian käyttöä koskeva sääntely koostuu STUKin sitovista määräyksistä ja yksityiskohtaisemmista STUKin YVL-ohjeista. STUKin YVL-ohjeet antavat yksityiskohtaisia turvallisuusvaatimuksia ja ohjeellisia toimintamalleja eri osa-alueille ydinlaitoksien suunnittelussa, rakentamisessa ja käytössä.

Ohjeistouudistus ja uudet hankkeet

Vuonna 2022 työ- ja elinkeinoministeriö käynnisti ydinenergialain kokonaisuudistukseen tähtäävän säädösvalmistelun. Työn tavoit-

YDINLAITOSTEN RAKENTAMISEEN VAADITTAVA PÄÄTÖKSENTEKOPROSESSI

Ydinlaitos voi olla esimerkiksi voimalaitos tai ydinjätteiden loppusijoituslaitos.

1. Hankkeen toteuttaja tekee ympäristövaikutusten arvioinnin (YVA) ydinlaitoksen rakentamisesta, käytöstä ja käytöstä poistosta.
2. Hankkeen toteuttaja hakee valtioneuvostolta periaatepäätöstä siitä, että laitoksen rakentaminen on yhteiskunnan kokonaisedun mukaista.
3. Päätöksen valmistelusta vastaava työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) pyytää alustavan turvallisuusarvion Säteilyturvakeskukselta ja tarpeelliseksi katsottavat lausunnot muilta viranomaisilta, ainakin ympäristöministeriöltä, sekä lausunnot suunnitellun sijaintikunnan kunnanvaltuustolta ja naapurikunnilta. Suunnitellulla sijaintikunnalla on veto-oikeus laitosta vastaan. TEM järjestää kuulemistilaisuudet suunnitellun sijaintikunnan ja naapurikuntien asukkaille.
4. Valtioneuvosto tekee periaatepäätöksen siitä, että laitoksen rakentaminen on yhteiskunnan kokonaisedun mukaista.
5. Eduskunta vahvistaa tai kumoaa yksinkertaisella ääntenemmistöllä valtioneuvoston periaatepäätöksen hankkeen yhteiskunnan kokonaisedun mukaisuudesta.
6. Hankkeen toteuttaja hakee valtioneuvostolta ydinenergiain mukaista rakentamislupaa (rakentamislupaan liittyy myös sijaintikunnalle tehtävä rakennuslupahakemus). Päätöksen valmistelusta vastaava työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) pyytää alustavan turvallisuusarvion Säteilyturvakeskukselta sekä muut tarvittavat viranomaislausunnot. Valtioneuvosto päättää luvan myöntämisestä.
7. Rakentamisen edettyä loppuvaiheeseensa Säteilyturvakeskuksen valvonnassa ja sen hyväksymien asiakirjojen mukaan, hankkeen toteuttaja hakee valtioneuvostolta ydinenergiain mukaista käyttö lupaa. Päätöksen valmistelusta vastaava työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) pyytää Säteilyturvakeskukselta turvallisuusarvion käyttö lupahakemuksesta sekä muut tarvittavat viranomaislausunnot. Saatuaan lausunnot valtioneuvosto päättää käyttö luvan myöntämisestä.

teenä on, että ydinenergian tuotanto on jatkossakin yhteiskunnan kokonaisedun mukaista, turvallista ja taloudellisesti kannattavaa. Uudistuksen tarve nojautuu ydinenergia-alan kehitysnäkymiin ja alan toimintamallien ja teknologian muuttumiseen ja tarpeeseen uudistaa säännöstöä modulaaristen pienreaktorien (SMR) huomioimiseksi. Luonnos uudeksi ydinenergiaksi on tarkoitus saada lausunnonle vuoden 2024 aikana ja itse lain on tarkoitus tulla voimaan vuonna 2028.

Suomen ydinalan säännöstön kokonaisuudistustarpeeseen on vaikuttanut myös se, että säännöstön vaatimusten ajoittainen muuttuminen ja uusien vaatimusten soveltaminen meneillään oleviin ydinlaitoshankkeisiin on vaikeuttanut hankkeiden toteuttamista niille suunnitelluissa aikatauluissa. Käytetyt sopimusmallit, joilla on pyritty ohjaamaan vastuuta viranomaisvaatimusten täyttymisestä

ja laitoksen osien lupaprosessien hallinnasta ulkomaisille laitos- ja laitetoimittajille, ovat vaikeuttaneet muutosten soveltamista.

Ydinenergiainsäädännön kokonaisuudistuksen keskeisenä periaatteena on ydinlaitosten suunnitteluratkaisujen hyväksyttävyyden ennakoitavuus. Kansallisen viranomaisvalvonnan tarpeellinen laajuus, tuon valvonnan painotus palvelun, järjestelmän tai laitteen turvallisuusmerkityksen perusteella, ja mahdollisuus hankekohtaisten vaatimusten käyttöön arvioidaan osana varsinaista uudistusta.

Turvallisuussäännöstön sisällöllisessä ja rakenteellisessa uudistuksessa korostetaan toiminnanharjoittajien omaa suunnittelua ja valvontavastuuta sekä STUKin valvonnan kohdistusta asioiden riskimerkityksen mukaan. Uudistuksessa arvioidaan myös ydinlaitosten käyttö lupien määräaikaista ja niille kymmenen vuoden välein tehtävän turvallisuuden kokonaisarviointin tarvetta.



Taiteilijan näkemys VTT:n pienreaktorista: LDR-50-kaukolämpöreaktori ulkopuolelta ja reaktorirakennus avattuna (VTT).

Muu lainsäädäntö

Ydinenergialain ohella ydinvoiman käyttöä säädellään myös säteilylakiin sisältyvillä vaatimuksilla, joilla estetään ja rajoitetaan ihmisen terveydelle haitallisia säteilyvaikutuksia väestölle yleisesti sekä säteilytyötä tekeville henkilöille. Vuonna 2018 säteilylakia uudistettiin ja uuden säteilylain (9.11.2018/859) perusteella on Säteilyturvakeskuksen määräyksillä tarkennettu myös säteilylainsäädäntöä vuosina 2018–2021. Uudistetulla säteilylailla, sen alaisilla asetuksilla ja lain nojalla annetuilla STUKin määräyksillä (S-sarjan määräykset) pantiin täytäntöön myös Euroopan unionin uusittu säteilyturvallisuudirektiivi (Basic Safety Standards, BSS).

Ydinvastuulailla (nyk. 484/1972) toimeenpannaan Suomessa Pariisin sopimus ydinenergian käytöstä kolmansille osapuolille aiheutuvien vahinkojen korvaamisen menettelyistä sekä Brysselin lisäyleissopimus ja nuo kaksi sopimusta yhdistävä vuoden 1994 yhteispöytäkirja. Ydinvastuulaki astuu voimaan vasta, kun kansainvälinen sopimus on hyväksytty kaikissa OECD:n jäsenvaltioissa. Pariisin ja Brysselin sopimukset yhdistävien muutospöytäkirjojen voimaantulo on viivästynyt kansainvälisesti, mutta niiden odotetaan tulevan ratifioituksi lähivuosina.

Viimeksi vuonna 2021 muutospöytäkirjoilla uudistetun ydinvastuulain mukaan suomalaisen laitoksen haltijan vastuumäärä on rajoittamaton niiltä osin, kun vahingot ylittävät Brysselin lisäyleissopimuksen mukaisesti katettavan 1500 miljoonan euron määrän. Suomessa sijaitsevan ydinlaitoksen haltija vastaa ydintapahtuman aiheuttamista vahingoista 700 miljoonaan euroon saakka.

Vuoden 2021 uudistuksen jälkeen Posivan omistaman ydinjätteen loppusijoitustilan tyyppisen ydinlaitoksen ydinvastuun enimmäismäärä on 250 miljoonaa euroa. Ydinpolttoaineen tai muun ydinaineen kuljetukselle vastuun enimmäismäärä on vastaavasti 80 miljoonaa euroa.

Ympäristövaikutusten arviointimenettelystä (YVA-menettely) annetussa laissa (252/2017) säädetään velvoitteista YVA-menet-

telyyn, mikäli hankkeella katsotaan olevan todennäköisesti merkittäviä ympäristövaikutuksia. Lain perusteella ympäristövaikutusten arviointi (YVA) on pakollista ydinlaitoshankkeissa.

Jätelaki (646/2011) liittyy ydinenergian käyttöön erityisesti siinä tilanteessa, kun ydinjätettä vapautetaan valvonnasta ja se siirtyy sitä kautta jätelain soveltamisalaan. Jätelakia ei sovelleta ydinjätteeseen.

Useat muut yleiset lait käsittelevät myös ydinvoiman tuotantoa, esim.

- Sähkömarkkinalaki (9.8.2013/588) lisää kilpailua ja erottaa sähköntuotannon ja jakelun toisistaan; mikä antaa mahdollisuuden myös ulkomaisten sähköntoimittajien pääsyyn Suomen markkinoille.
- Kilpailulaki (948/2011) on yhteensopiva EU:n kilpailudirektiivien kanssa.
- Maankäyttö- ja rakennuslaki (132/2021) edellyttää ydinvoimalaitokselle ja laitosalueen muille rakennettaville tiloille maankäytön suunnittelua ja ohjaa kaavoitusta.

Hallintolaki (434/2003), laki viranomaisen toiminnan julkisuudesta (621/1999) ja laki julkisen hallinnon tiedonhallinnasta (906/2019) toteuttavat Suomessa perusoikeudeksi säädettyä oikeutta saada tietoja viranomaisten toiminnasta ja julkisista asiakirjoista. Niitä sovelletaan myös ydinlaitosten asiakirjojen viranomaiskäsitteelyyn.

Ympäristönsuojelulaki (527/2014) ja vesilaki (587/2011) sisältävät säännöksiä, joita sovelletaan laajasti ja toimialasta riippumatta kaikkeen teolliseen ja muuhun toimintaan, joka on toteutettava ympäristön kannalta kestävästi ja josta saattaa aiheutua ympäristön pilaantumista. Lisäksi pelastuslain (379/2011) vaatimuksilla pyritään parantamaan ihmisten turvallisuutta ja vähentämään onnettomuuksia. Laki sisältää muassa pelastussuunnitelmia koskevia vaatimuksia, jotka täydentävät ydinlaitosten pelastussuunnitelmia koskevia erityisvaatimuksia.

KANSAINVÄLINEN YHTEISTYÖ

Suomi on ollut mukana kansainvälisten järjestöjen toiminnassa 1950-luvulta lähtien ja jatkuvasti uudistuneen oman säännösten lisäksi Suomi on liittynyt keskeisiin kansainvälisiin sopimuksiin. Näitä sopimuksia ovat mm. ydinturvallisuutta koskeva yleissopimus (Convention on Nuclear Safety – INFCIRC/449, iaea.org), polttoaineen ja radioaktiivisen jätteen huollon turvallisuutta koskeva yleissopimus (INFCIRC/546, iaea.org), yleissopimus ydinaineita ja ydinlaitoksia koskevista turvajärjestelyistä (INFCIRC/274, iaea.org) ja sopimus ydinaseiden leviämisen estämisestä (INFCIRC/140, iaea.org).

Suomi on myös hyväksynyt useita sopimuksia ydinaseiden leviämisen estämiseksi tehtävästä kansainvälisestä valvonnasta. Kansainvälinen Atomienergiajärjestö IAEA valvoo ydinsulkusopimuksen noudattamista ydinmateriaalivalvonnan avulla. Ydinmateriaalivalvonnalla pyritään estämään ydinaineiden käyttöä sotilaallisiin tarkoituksiin.

Enemmän ydinvoiman käyttöön liittyviä kansainvälisiä sopimuksia löytyy internetistä osoitteista:

- <https://tem.fi/energia-alan-eu-ja-kansainvalinen-yhteistyö>
- www.stuk.fi/tietoa-stukista/yhteistyö/kansainvaliset-sopimukset

IAEA ja OECD NEA

Kansainvälinen atomienergiajärjestö IAEA on vuonna 1957 perustettu YK:hon kuuluva itsenäinen järjestö, johon Suomi liittyi 1958. IAEA edistää ydinenergian rauhanomaista ja turvallista käyttöä ja toteuttaa ydinmateriaalivalvontaa sekä tarjoaa teknistä apua ydinvoiman turvalliselle käytölle. Suomi tekee läheistä yhteistyötä IAEA:n kanssa ja tarjoaa kansallista osaamistaan järjestön kautta myös muiden IAEA:n jäsenmaiden käyttöön. IAEA toimii Itävallassa Wienissä ja kehittää ydinturvallisuutta koskevia normeja ja ohjeistoja jäsenmaidensa avustuksella.

IAEA:n keskeisiä tehtäviä ovat vuonna 1968 solmitun ydinsulkusopimuksen (Non-Proliferation Treaty, NPT) noudattamisen valvonta, säteily- ja ydinturvallisuuden edistäminen sekä ydinenergian rauhanomaisen käytön edistäminen teknisen avun kautta. Suomi oli ydinaseiden leviämisen rajoittamiseen pyrkivän ydinsulkusopimuksen ensimmäisiä allekirjoittajamaita ja nykyisin sopimuksen on allekirjoittanut jo yli 190 valtiota. IAEA:n ohjauksessa on solmittu useita kansainvälisiä sopimuksia kuten ydinturvallisuutta ja ydinjätteitä koskevat yleissopimukset sekä ydinaineiden turvajärjestelyjä koskeva yleissopimus.

Yhdysvaltojen rahoittaman ja Euroopan talouden elvytykseen pyrkivän Marshall-ohjelman täytäntöönpanoa varten perustetun taloudellisen yhteistyön ja kehityksen järjestön (OECD) alainen, erillinen ydinenergiajärjestö (Nuclear Energy Agency, NEA) perustettiin 1958. Suomi liittyi NEA:n jäseneksi vuonna 1976. Ranskassa Pariisissa sijaitsevan NEA:n tehtävänä on auttaa jäsenmaitaan kehittämään ydinenergian rauhanomaiseen käyttöön tarvittavia teknisiä ja turvallisia ratkaisuja. Järjestön työskentelyyn osallistuu 34 jäsenmaata. Myös Euroopan komissio ja IAEA ovat edustettuina NEA:n työryhmissä. Työ- ja elinkeinoministeriö ja Säteilyturvakeskus osallistuvat viranomaisten yhteistyöhön NEA:n alaisuudessa. NEA koordinoi jäsenmaidensa yhteisiä turvallisuustutkimushankkeita sekä kokoaa ja yhdistää jäsenmaiden tutkimustietoa ja -hankkeita suuremmiksi kokonaisuuksiksi.

Euroopan atomienergiayhteisö (Euratom) perustettiin 1957 edistämään ydinenergian rauhanomaista käyttöä Euroopassa. Euratomilla on soveltamisalallaan vastaava lainsäädäntövalta kuin Euroopan yhteisöllä, minkä perusteella EU-maat ovat hyväksyneet useita säteily- ja ydinturvallisuutta sekä ydinmateriaalivalvontaa koskevia säädöksiä.

Työ- ja elinkeinoministeriö

Ydinenergian käytön ylin johto ja valvonta Suomessa kuuluvat työ- ja elinkeinoministeriölle (TEM). Ministeriö valmistelee alaan liittyvän lainsäädännön sekä kansainväliset sopimukset Suomen osalta ja huolehtii niiden täytäntöönpanosta. TEM valvoo ydinjätehuollon suunnittelua ja toteutusta sekä hallinnoi Valtion ydinjätehuolto rahastoa.

Ministeriö valvoo ydinturvallisuuteen liittyvää tutkimus- ja kehitystyötä. Päättävöitteenä on taata korkea turvallisuustaso ja toimintavarmuus ydinvoimalaitoksissa ja tukea ydinjätehuollon turvallista ja oikea-aikaista toteutusta. TEM edustaa Suomea Euroopan atomienergiayhteisössä, IAEA:ssa ja OECD/NEA:ssa.

YDINENERGIA-ALAN TOIMIJOITA

Ydinenergiaviranomaiset

Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) tem.fi
Säteilyturvakeskus (STUK) www.stuk.fi

Muut viranomaiset

Ulkoasiainministeriö (UM) um.fi
Sosiaali- ja terveysministeriö (STM) stm.fi
Ympäristöministeriö (YM) ym.fi

Ydinenergiateollisuus

Fennovoima Oy www.fennovoima.fi
Fortum Oyj www.fortum.fi
Fortum Nuclear Services Oy www.fortum.com/products-and-services/power-plant-services/nuclear-services
Posiva Oy www.posiva.fi
Posiva Solutions Oy www.posivasolutions.com
Teollisuuden Voima Oyj www.tvo.fi
TVO Nuclear Services Oy www.tvo.fi/tvons.html
AFRY Oy afry.com/fi-fi
Mitta Oy mitta.fi
Platom Oy platom.fi
STUK International Oy www.stukinternational.fi

Tutkimuslaitokset ja yliopistot

Geologian tutkimuskeskus GTK www.gtk.fi
Ilmatieteen laitos www.ilmatieteenlaitos.fi
Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy www.vttresearch.com
Aalto-yliopisto www.aalto.fi
Helsingin yliopisto www.helsinki.fi
Itä-Suomen yliopisto www.uef.fi
Jyväskylän yliopisto www.jyu.fi
Lappeenrannan-Lahden teknillinen yliopisto LUT www.lut.fi
Tampereen yliopisto www.tuni.fi
Turun yliopisto www.utu.fi

Muut suomalaiset organisaatiot

Business Finland www.businessfinland.fi
Energiateollisuus ry energia.fi
FinNuclear ry finnuclear.fi
Suomen Atomiteknillinen Seura ry (ATS) ats-fns.fi