



TUUMAENERGIA KASUTUSELEVÕTMISE VÕIMALUSED EESTIS

2022
VAHEARUANNE

TUUMAENERGIA TÖÖRÜHM

Sisukord

Lühendid.....	5
Sissejuhatus	7
1. Tuumaenergia, selle arengusuunad maailmas ja Eesti lähiriikides	9
1.1. Tuumaelektrijaama tööpõhimõte.....	9
1.2. Tuumkütuse tsükkel	9
1.3. Tuumkütuse tootmine.....	10
1.4. Tuumaenergia maailmas	11
1.5. Tuumaenergia Euroopa Liidus	13
1.5.1. Tuumaenergia EL-i taksonoomias	14
1.6. Eesti lähiriikide ja EL-i suurimate riikide energiamajanduse arengusuunad.....	14
2. Tuumaenergia roll kliimaeesmärkide saavutamisel ja konkurentsivõime	18
2.1. Tuumaenergia potentsiaal kliimanetraalseks elektritootmiseks.....	18
2.2. Tuumaenergia roll varustuskindluse tagamisel	18
2.3.1. Tuumaenergia konkurentsivõime elektritootmisel.....	19
2.3.2. Tuumaenergia konkurentsivõime vesiniku tootmisel	20
2.3.3. Tuumaenergia konkurentsivõime kaugkütel	21
2.4. Tuumaenergia potentsiaal Eesti kliimaeesmärkide saavutamisel	22
3. Tootmisseadmete ühendamisest ja tuumaenergia sobivusest Eesti elektrisüsteemi	24
3.1. Eesti elektrisüsteem.....	24
3.2. Tarbimine ja tootmine Eesti elektrisüsteemis	24
3.3. Varustuskindlus.....	25
3.4. Olemasolevad tootmiseseadmed elektrivõrgus	26
3.5. Uute tootmiseseadmete ühendamine.....	26
3.6. Elektrivõrguga liitumise kulud.....	27
3.7. Liitumise ajakulu.....	27
3.8. Tuumaenergia sobivus Eesti elektrisüsteemi	27
4. Tuumaenergia kasutuselevõtmiseks vajalik eeltöö	28
4.1. Tuumaenergia kasutuselevõttule eelnevad tegevused.....	28
4.1.1. I. etapp:.....	28
4.1.2. II. etapp.....	29
4.1.3. III. etapp	30
4.2. IAEA teekaart riikliku tuumaenergia taristu arendamiseks ja ekspertmissioonid	32
5. Ülevaade tuumaenergia tööühikute tegevusest	33
5.1. Tuumaenergia tööühikute loomine, koosseis ja ülesanded	33

5.2. Ruumiplaneerimise alltöörühm	34
5.4. Rahvusvaheline koostöö.....	36
5.5. Tuumaenergia kommunikatsioon ja Eesti elanike meelsus.....	37
5.5.1. Uuring „Tuumaenergia valdkonna teadlikkus ning valmisolek selle kasutuselevõtuks Eestis“	37
5.5.2. Suurimad kommunikatsioonialased väljakutsed ja SWOT analüüs.....	38
5.6. Tuumaenergia töörühma 2023. aasta tegevused ja eelarve	39
6. Arendamisel olevad tehnoloogiad ja ülevaade Eestile potentsiaalselt sobilikest reaktoritüüpidest ning nende arendusjärgust.....	40
6.1. Tuumareaktorite põlvkonnad ja tüübid	40
6.2. Väikesed moodulreaktorid	41
6.2.1. NUWARD, EDF, Prantsusmaa	43
6.2.2. UK SMR, Rolls-Royce and Partners, Ühendkuningriik	44
6.2.3. NuScale, NuScale Power Inc., USA	45
6.2.4. BWRX-300, GE-Hitachi, USA-Jaapan.....	45
6.2.5. SC-HTGR, Framatome Inc., USA	46
6.2.6. Integral MSR, Terrestrial Energy Inc., Kanada.....	47
6.3. Eestile sobivaima VMR-i valikukriteeriumid	48
7. Tuumajaamas tekkivad jäätmed, nende käitlemine ja ladustamine	50
7.1. Tuumakütusesüklis tekkivad jäätmed	50
7.2. Kasutatud tuumakütuse käitlemine ja ladustamine	51
7.3. Kasutatud tuumakütuse töötlemine ja ringlussevõtt	53
7.4. Nõuded kasutatud kütuse käitlemise ja ladustamise rahastamise kohta	54
7.4.1. Jäätmekäitluse rahastamise näiteid EL-i liikmesriikidest	54
7.5. Kasutatud tuumakütuse ja tuumaelektrijaamas tekkivate jäätmete käitlemise ja ladustamise võimalused Eestile.....	55
7.5.1. Olemasolevate radioaktiivsete jäätmete käitlemine ja ladustamine.....	55
7.5.2. Kasutatud tuumakütuse käitlemise võimalused	56
8. Tuumajaama arendamise võimalused	59
8.1. Traditsiooniline tuumaenergia projektide rahastamine	59
8.2. Mankala mudel	60
8.3. Piiratud või täieliku tagasinõudega rahastamine	60
8.4. Investeeringute soodustamine: tuleriski vähendamine.....	61
8.5. Investeeringute soodustamine investorite kindlustunde suurendamise kaudu	62
8.6. Valitsustevaheline rahastamine ja ekspordikrediidiagentuurid	62
8.7. Arengupangad	63

8.8. Tuumaenergia projektide rahastamise plaanid Poolas ja Tšehhis	63
9. Ülevaade kohustustest, mis riigile tuumajaama rajamisega kaasneksid	65
9.1. Tuumaregulaatori loomine	65
9.2. Tuumavastutus, tuumaohutust reguleerivad konventsioonid ja EL-i õigusaktid	66
10. Valdkondlike õigusaktide, pädevuse, oskusteabe ja olemasoleva tööjõu hetkeseis ning arenguvajadused	70
10.1. Kiirgus- ja tuumaohutust reguleerivad riigisisised õigusaktid	70
10.2. Olemasolev oskusteave	70
10.3. Kiirgusalase väljaõppe võimalused Eestis	71
10.4. Riikliku pädevuse arendamine	72
Kokkuvõte	73
Kasutatud kirjandus	76
Lisa 1. Tuumaenergia tööühma liikmete nimekiri	77
Lisa 2. Ruumiplaneerimise alltööühma liikmete nimekiri	78
Lisa 3. Fermi Energia AS-i nägemus tuumaelektrijaama ehituse rahastamisest Eestis	79

Lühendid

BWR – keevveereaktor (ingl k *boiling water reactor*)

CfD – vahelepingud (ingl k *Contract for Differences*)

CNS – tuumaohutuse konventsioon (ingl k *Convention on Nuclear Safety*)

CNSC – Kanada tuumaregulaator (ingl k *Canadian Nuclear Safety Commission*)

CSC – tuumavastutuse konventsioon (ingl k *Convention on Supplementary Compensation for Nuclear Damage*)

ECA – ekspordikrediidi agentuur (ingl k *Export Credit Agency*)

EURATOM – Euroopa Aatomienergiaühendus (ingl k *European Atomic Energy Community*)

FIRST – USA välisministeeriumi väikeste moodulreaktorite vastutustundliku kasutamise programm

FOAK – esimene omataoline (ingl k *First of a Kind*)

IAEA – Rahvusvaheline Aatomienergiaagentuur (ingl k *International Atomic Energy Agency*)

ICDS – Rahvusvaheline Kaitseuringute Keskus SA

IEA – Rahvusvaheline Energiaagentuur (ingl k *International Energy Agency*)

IRRS missioon – tuumaenergia taristu terviklikku toimimist hindav missioon (ingl k *Integrated Regulatory Review Service*)

JICC – Jaapani Majandus-, kaubandus- ja tööstusministeeriumile kuuluv tuumaenergia koostöökeskus (ingl k *JAIF International Cooperation Center*)

KBFI – Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituut

KMH – keskkonnamõjuhindang

KSH – keskkonnamõju strateegiline hindamine

LCOE – tasandatud elektrikulu (ingl k *Levelized Cost of Electricity*)

MOX-kütus – segatud oksiidkütus, mis sisaldab plutooniumi lisanditega naturaalselt või taaskasutatavat uraani (ingl k *Mixed Oxide Fuel*)

MSR – sulasoolareaktor (ingl k *Molten Salt Reactor*)

NIMBY – mitte-minu-tagahoovis (ingl k *Not In My Back Yard*)

NORM – looduslikku radioaktiivset materjali sisaldavad jäätmed (ingl k *Naturally Occurring Radioactive Material*)

NRC – USA tuumaregulaator (ingl k *Nuclear Regulatory Commission*)

OECD – Majanduskoostöö ja Arengu Organisatsioon (ingl k *Organisation for Economic Co-operation and Development*)

PPA – elektri ostuleping (ingl k *Power Purchase Agreement*)

PWR – surveveereaktor (ingl k *pressurized water reactor*)

REP – riiklik eriplaneering

SDR – Rahvusvahelise Valuutafondi arvestusühik

SEED missioon – asukohavalikut ja selle ohutuse hindamist käsitlev missioon (ingl k *Site and External Events Design Review Service*)

STUK – Soome tuumaregulaator (soome k Säteilyturvakeskus)

TET – tuumaenergia töörühm

TTJA – Tarbijakaitse ja Tehnilise Järelevalve Amet

VALCOE – väärtusega kohandatud LCOE

VMR – väike moodulreaktor (ingl k *Small Modular Reactor, SMR*)

Sissejuhatus

Euroopa Komisjoni 28. novembri 2018 pikaajaline strateegiline visioon „Puhas planeet kõigi jaoks“ on seadnud eesmärgi jõuda 2050. aastaks kliimaneutraalse majanduseni. Heitkoguste vähendamiseks peavad panustama kõik põhilised majandussektorid. Kõikidest valdkondadest on energiasektoril suurim potentsiaal süsinikuheite vähendamiseks. Elektri tootmiseks nähakse ette taastuvaid energiaallikaid (näiteks tuule-, päikese- ja hüdroenergia ning biomassi kasutamine) või vähese süsinikuheitega energiaallikaid (tuumaenergia või fossiilsetel kütustel põhinev energia koos süsiniku kogumise ja talletamise tehnoloogiaga).

Sõda Ukrainas, Venemaa ebastabiilne käitumine energiaekspordijana, samuti Venemaale sanktsioonide kehtestamine on energiajulgeoleku kindlustamise vajadust teravdanud üle Euroopa ja toonud selle poliitiliste prioriteetide sekka. Energiajulgeoleku kindlustamisel nähakse pikaajalise lahendusena taastuvenergia osakaalu kiiret suurendamist ja energiatootjate mitmekesistamist, et seeläbi energiatootmises iseseisvus saavutada.

Eesti energiajulgeoleku, säästvuse ja konkurentsivõime suurendamiseks ning 2050. aasta kliimaeesmärkide saavutamiseks on „Eesti riiklik energia- ja kliimakava aastani 2030“ ja „Eesti kliima-ambitsiooni tõstmise võimaluste analüüs“ ühe võimaliku lahendusena välja pakkunud tuumaenergia kasutuselevõtmise pärast 2030. aastat. See on üks võimalikest lahendustest kliimaneutraalse elektri tootmiseks Eestis.

Eestil puuduvad tuumajaama rajamiseks **hetkel** nii vajalik õiguslik raamistik, pädevad asutused kui ka valdkondlikud eksperdid. Kiirgusseaduse kohaselt saab selliseks tegevuseks loa taotleda alles pärast seda, kui Riigikogu on vastu võtnud tuumakäitise kasutuselevõtu otsuse. Tuumajaama kasutuselevõtmine, sõltumata kasutusele võetavast tehnoloogiast, hõlmab endas vähemalt 10–15 aastat ettevalmistavaid tegevusi, nagu õigusliku ja regulatiivse raamistiku loomine, planeerimis- ja ehitustegevus ning lubade väljastamine. Samuti hõlmab ettevalmistusprotsess olulises mahus (hinnanguliselt 10+ mln eurot) kulusid, sh analüüsiks ja pädevuse tekitamiseks juba enne, kui on selge, kas tuumajaam Eestisse rajatakse.

Enne Eestisse tuumajaama rajamise ettepaneku Riigikogusse otsustamiseks esitamist on vaja lisaks valdkondlikele tehniliste teadmiste omandamisele teha ka põhjalik poliitiline ettevalmistustöö ning kaasata avalikkus analüüsi- ja otsustusprotsessi. Selle ülesande täitmiseks anti 5. novembril 2020 Vabariigi Valitsuse kabinetinõupidamise otsusega Keskkonnaministeeriumile ning Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumile koos teiste asjaomaste ministeeriumitega korraldus kokku kutsuda riiklik tuumaenergia töörühm (TET). Tuumenergia töörühma koosseis kinnitati valitsuskabineti nõupidamisel 8. aprillil 2021 ning selle esimene kohtumine toimus 12. mail 2021. Töörühma juhib Keskkonnaministeeriumi kantsler ning lisaks Keskkonnaministeeriumile kuuluvad töörühma Keskkonnaamet, Siseministeerium, Rahandusministeerium, Justiitsministeerium, Haridus- ja Teadusministeerium, Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, Kaitseministeerium, Välisministeerium, Sotsiaalministeerium ja Riigikantselei.

Töörühma eesmärk on kujundada avalikkusega kooskõlastatud seisukohad tuumaenergia kasutuselevõtmise võimaluste kohta Eestis ning esitada oma järeldused ja ettepanekud Vabariigi Valitsusele. 8. aprilli 2021 valitsuskabineti nõupidamise otsusega seati töörühma töö tulemuste esimese vahearuande esitamise tähtajaks hiljemalt september 2022.

Käesoleva vahearuarande eesmärk on anda ülevaade tuumaenergia töörühma tegevusest, lõpparuande koostamise protsessist ja ajakavast, kaardistada tuumaenergia kasutuselevõtuks vajaliku taristu, õigusraamistiku ja oskusteabe hetkeolukord ning arendamisvajadused. Vahearuaranne ei sisalda veel terviklikku ülevaadet kõigist tuumaenergia kasutuselevõtuks vajalikest aspektidest ning kajastab neid vaid osaliselt.

Valitsuskabineti 8. aprilli 2022 nõupidamisel otsustati töörühmale riigieelarvest eraldada lisavahendeid, et lõpparuandeni, mille põhjal on Vabariigi Valitsusel ja Riigikogul võimalik tuumaenergia kasutuselevõtu kohta vastu võtta teadlik otsus, jõutaks hiljemalt 2023. aasta lõpuks.

Vahearuarande on koostanud Keskkonnaministeerium koostöös Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi, Välisministeeriumi, Rahandusministeeriumi, Riigikantselei ja Keskkonnaametiga. Vahearuaranne on kooskõlastatud töörühma liikmeks olevate ministeeriumite, asutuste ja AS-iga A.L.A.R.A.

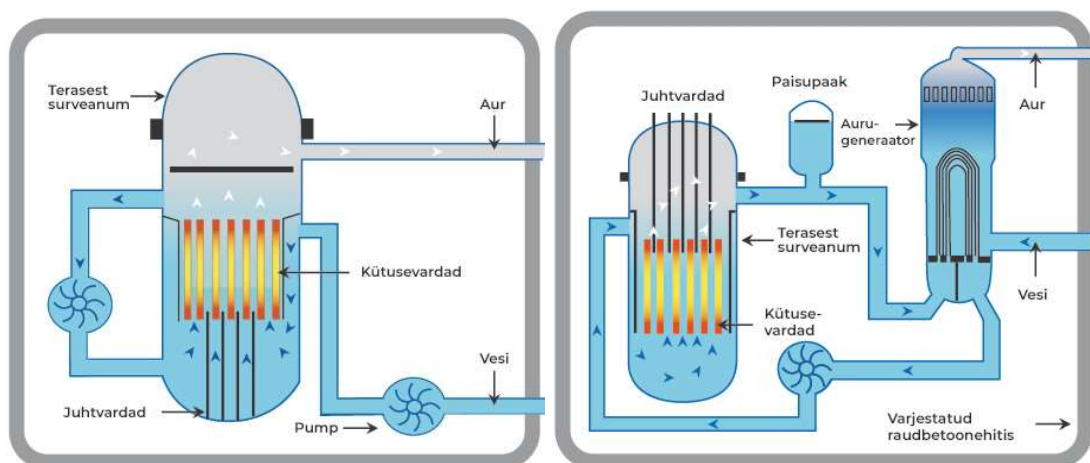
Vahearuarande ülevaatamiseks ning töörühma 2023. a lõpuks valmivas lõpparuandes kajastamist leidvate teemade kohta eksperthinnangu saamiseks on Keskkonnaministeerium sõlminud lepingu Soome tuumaregulaatorile STUK kuuluva konsultatsiooniettevõttega STUK International OY.

1. Tuumaenergia, selle arengusuunad maailmas ja Eesti lähiriikides

1.1. Tuumaelektrijaama tööpõhimõte

Tuumaelektrijaama reaktorites toimub aatomituumade lõhustumise ahelreaktsioon, mille tulemusena vabaneb soojusenergia. Edasi muundatakse see energia elektrienergiaks nii nagu teisteski soojuselektrijaamades. Ehk siis saadud energiat kasutatakse vee kuumutamiseks ja auru tekitamiseks, mis paneb käima turbiinid ja need omakorda veavad ringi generaatorit, tekitades elektrivoolu. Tuumaelektrijaamades kasutatakse peamiselt kütusena rikastatud uraani isotoopi U_{235} . Lisaks on kasutusel toorium, looduslik uraan või plutoonium. Reaktorisüdamik on oluline ka moderaator ehk aine, mis aeglustaks lõhustumise tulemusel tekkivaid neutroneid ning mis võimaldaks juhtida ahelreaktsiooni. Kontrollvardad koosnevad neutroneid neelavatest materjalidest ehk siis kontrollvarraste sisestamisel tuumareaktori südamikku on võimalik ahelreaktsioon hädaolukorras mõne sekundi täiesti peatada.

Aja jooksul on kasutusele võetud erinevaid reaktorite tüüpe. Lühikäigevaade reaktorite tüüpidest ja põlvkondadest on esitatud peatükis 6. Maailmas enamlevinud reaktoritüüpideks on surveveereaktor (PWR), mis moodustab 66% kõigist kasutusel olevatest reaktoritüüpideks, ja keevveereaktor (BWR), mida on 16%. Nende reaktorite skeemid on esitatud joonisel 1.



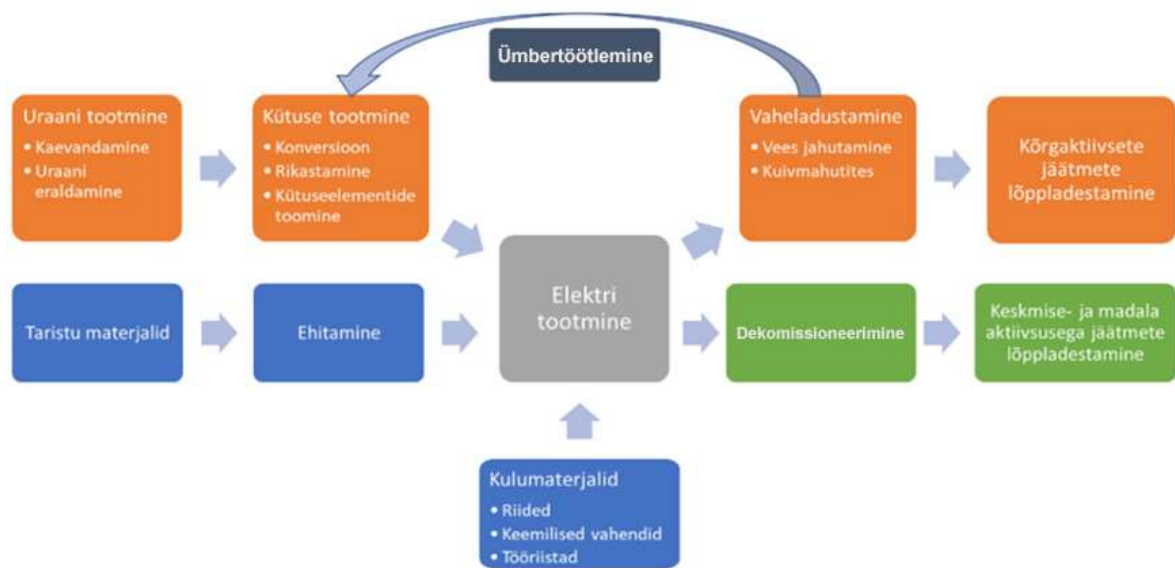
Joonis 1. Keevveereaktor (BWR) ja surveveereaktor (PWR) (World Nuclear Association)

Auruturbiinidesse suunatavat auru toodetakse sageli reaktorisüdamikus (keevveereaktorid) või siis soojusvahetis (surveveereaktorid). Aur, mis suunatakse aurugeneraatoritesse, kondenseerub jahutuse tulemusena ning vesi suunatakse uuesti reaktorisüdamikku.

1.2. Tuumkütuse tsükl

Tuumkütuse tsükl algab tooraine kaevandamisega maapõuest, jätkub rafineerimise, rikastamise ja sobivale kujule töötlemisega, reaktoris kasutamisega ja lõpeb kasutatud kütuse ladustamise, lõppladustamise või ümbertöötamise ja taaskasutusega. Tuumkütuse tsükli kõik osad tekitavad radioaktiivseid jäätmeid. Nende käitlemise ja ladustamise, sh lõppladustamise kulud on elektri hinna osaks. Tuumaenergia tootmine on üks vähestest tööstusharudest, mis on seadnud iseendale kohustuseks tegeleda kõigi tekkivate jäätmetega terve elutsükli ulatuses.¹ Tuumkütusetsükli osad on esitatud joonisel 2.

¹ https://sisu.ut.ee/kiirgusest_tuumajaamani/tuumareaktor.



Joonis 2. Tuumkütuse tsükkel (TÜ)

1.3. Tuumkütuse tootmine

2020. aastal kaevandati maailmas 47 731 tonni uraanimaaki. Suurimateks kaevandajateks on Kasahstan (ca 40% kogu maailmatoodangust), Kanada (13%) ja Austraalia (12%)². Järgnevad Namiibia, Niger ja Venemaa. Vesijahutusega reaktorite kütusetootjaid on maailmaturul arvukalt. EL-i riikidest asuvad kütusetootmise kompleksid Rootsis (Westinghouse AB, Västerås), Saksamaal (Framatome-ANF, Lingen), Prantsusmaal (Framatome-FBFC, Romans; Orano, Malvési) ja Hispaanias (ENUSA Juzbado). Kütuse tootmiseks vajalikku maaki - kollakooki (*yellowcake*, U_3O_8 ehk triuraanoktsiid) – ostetakse maailmaturult. Juunis 2022 oli ühe naela U_3O_8 hinnaks 49 USD-i ehk ca 104 €/kg³.

Tuumalõhustumise reaktsiooni käivitajaks on nn reaktiivne uraan U_{235} . U_{235} eraldatakse looduslikust uraanist, mis koosneb kolmest isotoobist: U_{238} (99,3%), U_{235} (0,7%) ja U_{234} (0,0055%). Et üldse teoreetiliselt uraanisegus mingi reaktiivsus tekkida saaks, peab U_{235} sisaldus olema üle 2%. U_{235} tootmiseks on vaja kvaliteetset algmaterjali ehk võimalikult puhast uraanimaaki, kus U_{238} sisaldus on üle 60% (kollakook, ingl k *yellowcake*). Uraani rikastamine on keeruline ja aeganõudev protsess, sest ka kõige puhtama ja parema maagi puhul on iga 1000 looduslikult esineva uraani aatomi hulgas ainult seitse U_{235} aatomit. Selleks, et looduslikust uraanimaagist piisavas koguses U_{235} -te kätte saada, tuleb seda töödelda lämmastikhappega ning seejärel kuumutada. Kuumutamisel tekib gaas nimega uraan heksafluoriid ehk UF_6 . UF_6 ei ole jääkprodukt, vaid vaheprodukt ehk uraanimaagi ajutine gaasiline olek. Gaasilises olekus saab U_{235} ja U_{238} -t omavahel kergemini eraldada. Kui gaas jahtub, siis muutub uraan jälle tahkeks. Seda gaasi pööratakse (tsentrifuugitakse) silindrites suurel kiirusel, mille käigus eraldub raskem U_{238} tsentrifuugi põhja, kust see välja võetakse. Tsentrifuugimist korratakse seni, kuni saadakse segus soovitud U_{235} sisaldus, tavaliselt 3–5% ehk standardne madala rikastusastmega ja mitte eriti reaktiivne tuumkütus uraandioksiidi kujul (UO_2). See pressitakse väikestes umbes 1–2,5 cm pikkusteks pelletiteks. Tuumkütus on äärmiselt suure energiatihedusega ja ühe pelleti energeetilise väärtuse võrdlus on esitatud joonisel 3.

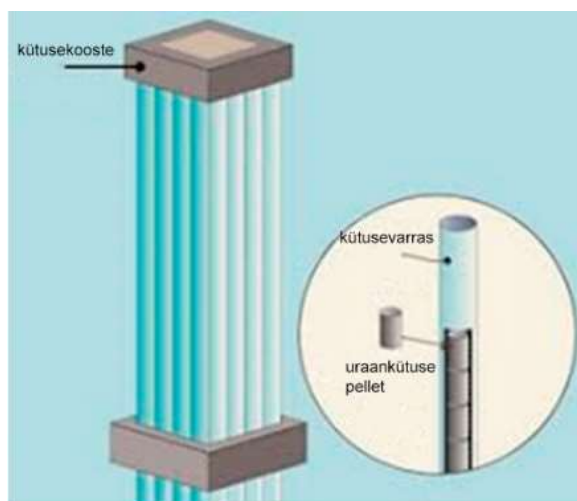
² <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/mining-of-uranium/world-uranium-mining-production.aspx>.

³ <https://tradingeconomics.com/commodity/uranium>.



Joonis 3. Uraankütuse pelleti energeetilise väärtuse võrdlus (NRC).

Pelletid laetakse hermeetiliselt kütusevarrastesse. Vardad komplekteeritakse kütusekoostuks. Koostete geomeetria reaktoris seotud reaktoritehnoloogiaga. PWR-ide ja BWR-ide kütusekoost on ruudukujuline võre, mida iseloomustab selles sisalduvate kütusevarraste arv. Praegused konstruktsioonid sisaldavad 17 x 17 kütusevarrast. Tänapäevaste BWR-ide kütusevarraste paigutus on 6 x 6, 10 x 10 või 11 x 11. Kütusekoostu, varda ja pelleti skeem on toodud joonisel 4.



Joonis 4. Kütusekoost, varras ja tuumkütuse pellet (TÜ)

1.4. Tuumaenergia maailmas

Tuumaenergia abil toodetakse umbes 10% kogu maailma elektrienergiast. 2022. a töötas Rahvusvahelise Aatomienergiaagentuuri (IAEA) andmetel 32 riigis kokku 441 tuumareaktorit, tootmisvõimsus kokku 393 853 MW(e), ning ehitamisel oli 53 uut reaktorit ⁴. Tuumaenergia on hüdroenergia järel maailmas suuruselt teine vähese CO₂-heitega energiaallikas. Kõige rohkem tuumareaktoreid töötab USA-s (93), Prantsusmaal (56), Hiinas (55) ja Venemaal (37). Viimaste aastate jooksul on tööd alustanud Valgevene (Astravets) ja Araabia Ühendemiraatide (Barakah) tuumaelektrijaamad. Nende riikide jaoks on tegemist ka esmakordse kogemusega tuumaenergia abil elektrit toota. Oma esimese reaktori käitamist ootavad ka Türgi ja Bangladesh.

⁴ <https://pris.iaea.org/pris/>.



Joonis 5. Tuumaenergia maailmas (TET IAEA andmete põhjal)

IAEA andmetel plaanis maailmas 2021. a tuumaenergia kasutuselevõttu 26 riiki, kellest 10 on tuumaenergia kasutuselevõtt otsuse juba teinud ning 16 riiki, sh Eesti, on analüüsimise etapis. Tuumaenergiat kasutusele võtta soovivate ja seda kaaluvate riikide nimekiri on esitatud joonisel 6.



Joonis 6. Tuumaenergia kasutusele võtta soovivad ja seda kaaluvad riigid (IAEA)

Rahvusvaheline Energiaagentuur (IEA) prognoosib 2050. aastaks maailmas tuumaenergia võimsuse kahekordistumist 415 GW-lt 2020. aastal enam kui 810 GW-ni 2050. aastal. IAEA on 2050. a tuumaenergia koguvõimsuseks negatiivse stsenaariumi korral pakkunud 363 GW(e), mis moodustab 6% ülemaailmsest elektritootmisest. Positiivse stsenaariumi korral nähakse ette kasvu 715 GW(e)-ni, mis vastab 11% ülemaailmsest elektritootmisest.

1.5. Tuumaenergia Euroopa Liidus

Euroopa Liidu 27 liikmesriigist kolmeteistkümnes töötab kokku 103 tuumareaktorit (koguvõimsusega 107 GWe), mis annavad üle 25% kogu EL-is toodetud elektrist. Pool EL-i tuumaelektrienergiast toodetakse ainult ühes riigis – Prantsusmaal. 2050. a on EL-is prognoositav tuumaenergia osakaal 11–15%. Ligikaudu 100 GW elektrit tuleb tulevikus EL-is tuumaenergiast. Samal ajal on EL-i tuumajaamad vananevad ja nendesse tuleb investeerida, et neid töös hoida. Isegi kui pikendada kogu tuumapargi eluiga algselt planeeritust kümnete aastate võrra, ei vea need 2050. aastani välja, sest selleks vajalikud investeeringud poleks enam majanduslikult otstarbekad. Mõni liikmesriik on tugevalt tuumaenergia vastu ja elektriturud on sageli struktureeritud vastusena taastuvenergia toetusele. Perioodil aastani 2030 kaotatakse tuumavõimsust paljude reaktorite sulgemise tõttu Prantsusmaal, Belgias, Saksamaal, Hispaanias – kas seetõttu, et nende tööiga on lõppenud, või siis poliitilise sekkumise tõttu. Seetõttu on lähiajal oodata EL-i praeguse tuumavõimsuse mõningast langust. Uute tuumajaamade ehitamine käib praegu kahes EL-i liikmesriigis – Prantsusmaal ja Slovakkias. EL-is on tuumatööstusega seotud üle 1,1 miljoni töökoha, sh tuumajaama operaatorid, tuumkütuse tootjad, reguleerivad asutused, tehnilist tuge pakkuvad organisatsioonid ja õppeasutused⁵. Ülevaade EL-i riikides töötavatest tuumareaktoritest ja tuumaenergia osakaalust elektritootmises on esitatud tabelis 1.

Riik	Elektri tootmine		Töötavaid reaktoreid		Ehitamisel olevad reaktorid	
	2020		märts.22		märts.22	
	TWh	% e	Nr.	MWe neto	Nr.	MWe bruto
Belgia	32.8	39.1	7	5942	0	0
Bulgaaria	15.9	40.8	2	2006	0	0
Tšehhi	28.4	37.3	6	3934	0	0
Soome	22.4	33.9	5	4394	0	0
Prantsusmaa	338.7	70.6	56	61,37	1	1650
Saksamaa	60.9	11.3	3	4055	0	0
Ungari	15.2	48.0	4	1902	0	0
Holland	3.9	3.3	1	482	0	0
Rumeenia	10.6	19.9	2	1300	0	0
Slovakkia	14.4	53.1	4	1837	2	942
Sloveenia	6.0	37.8	1	688	0	0
Hispaania	55.8	22.2	7	7121	0	0
Rootsi	47.4	29.8	6	6882	0	0
EU	652.4	ca 25%	104	101,913	3	2592

Tabel 1. EL-i liikmesriikides töötavad tuumareaktorid ja tuumaenergia osakaal elektritootmises (World Nuclear Association)

⁵ <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/et/sheet/62/tuumaenergia>.

1.5.1. Tuumaenergia EL-i taksonoomias

EL-i kestliku rahastamise taksonoomia on tegevusalade kestlikuks klassifitseerimise raamistik, mis loob ühtse aluse kõigile finantsturu osalistele ja suurettevõtetele, et hinnata, missugused tegevused ja investeeringud ettevõtluses on kestlikud ja seega viivad edasi keskkonnakestlikkuse suunas vaatega aastani 2050. Taksonoomia arvestab majandustegevust, mitte investeeringuid ning seega määratleb investeeringu objektiks olevate tegevuste kestlikkust, mitte investeeringute kestlikkust. Taksonoomia on suunatud eelkõige finantsturu osalistele ja ettevõtjatele, et võimaldada avaldada klientidele ning investoritele võrreldavatel alustel tuginevat teavet oma tegevuse ning pakutavate toodete kestlikkuse kohta ja võimaldada investoritel teha teadlikumaid investeerimisotsuseid. Taksonoomia oluline eesmärk on vältida nn rohepesu, kus ettevõtte nimetab oma tegevusi roheliseks, aga tegelikult rohepöördesse ei panusta või panustab alla väidetava määra.

Kestliku rahastamise taksonoomia järgimine on finantsturu osaliste ja teiste ettevõtete jaoks vabatahtlik. Küll aga on finantsturuosalistele ning suurematele börsiettevõtetele kohustuslik avaldada teavet selle kohta, kas ning millises ulatuses nad taksonoomiat järgivad.

Euroopa Komisjon esitas 2. veebruaril 2022 delegeeritud õigusakti eelnõu⁶ teatud maagaasi ja tuumaenergiaga seotud tegevuste lisamiseks taksonoomia kategooriasse „Üleminekutegevused“, sest nenditi, et rohepöörde kontekstis tuleb taastuvenergia osakaalu suurendamisel siiski tagada ka elektrisüsteemi tasakaal, milleks omakorda on vaja, et süsteemis oleks juhitavaid võimsusi.

Määruse kohaselt peab tuumaenergiast elektri tootmisest tulenev olulusringi jooksul tekkiv kasvuhoonegaaside heide jääma alla piirväärtuse 100g CO₂e/kWh. Liikmesriik peab olema täielikult üle võtnud ning rakendama nõukogu direktiive 2009/71/Euratom⁷ ja 2011/70/Euratom⁸ ning projekti heakskiitmise kuupäeva seisuga peab olema loodud radioaktiivsete jäätmete käitlemise fond ja jaama dekomissioneerimisfond. Samuti peab riik tõestama, et tal on tuumaelektrijaama eeldatava kasuliku eluea lõpus kättesaadavad vahendid, mis vastavad radioaktiivsete jäätmete käitlemise ja dekomissioneerimise hinnangulistele kuludele. Olemas peab olema toimiv lõppladustamisrajatis kõikide väga madala, madala ja keskmise radioaktiivsusega jäätmete jaoks.

Delegeeritud õigusakt jõustub 1. jaanuaril 2023 ja seda hakatakse kohaldama samast päevast.

1.6. Eesti lähiriikide ja EL-i suurimate riikide energiamajanduse arengusuunad

Välisministeerium kaardistas sihtriikides asuvate Eesti saatkondade abil energiamajanduse arengusuunad järgmistes riikides: Läti, Leedu, Poola, Soome, Rootsi, Taani, Norra, Island, Saksamaa ja Prantsusmaa.

Riikide energiaportfelli poolest on stardipositsioon väga erinev ja vastavalt sellele ka ambitsioon. Soome, Rootsi, Saksamaa, Island, Prantsusmaa on seadnud riikliku kliimanetraalsuse eesmärgi varasemaks, kui EL-is kokku lepiti aastaks 2050, Taani eesmärk on jäänud 2050 juurde, Norra 90–95% juurde 2050. Nimetatud riikidel on see seaduses

⁶ https://ec.europa.eu/info/publications/220202-sustainable-finance-taxonomy-complementary-climate-delegated-act_et.

⁷ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0071&from=EN>.

⁸ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/PDF/?uri=CELEX:32011L0070&from=EN>.

sätestatud või vastavad muudatused algatatud, Saksamaa on kehtestanud ka siduvad vaheeesmärgid. Poolal on aastast 2021 uus energeetikastrateegia, mis riiklikku kliimanetraalsuse eesmärki ei sisalda. Balti riigid kavandavad küll vastavaid EL-i eesmärgiga joonduvaid meetmeid, kuid kliimaseadusi vmt pole vastu võtnud.

Kõige suurem sõltuvus fossiilkütustest on Eestil ja Poolal, kuid mõlemad riigid on seadnud riiklikud eesmärgid vastavalt põlevkivist ja kivisöest loobumise kohta energeetikas – Eesti aastaks 2030 ja Poola 2049. aastaks.

Missuguseks kujuneb tuleviku energiatootmine, on olnud avaliku debati küsimuseks mitmetes riikides. Sõda Ukrainas ja Euroopa gaasikriis on seda elavdanud, sest gaas kui varem ettenähtud üleminekukütus fossiilkütustest taastuenergiasse on muutunud üüratult kalliks ja tärned ebastabiilseks. Lähiaastatel keskendutakse pigem kütteperioodide varustuskindluse tagamisele. Milline mõju on tänastel plaanidel ja tegevustel pikaajalistele energeetikaplaanidele, on veel vara hinnata. Küll aga näitavad esmased trendid, et fossiilsete kütuste kasutamist pikendatakse lühiajaliselt, et siis infrastruktuuri valmimisel kohe taastuenergiale üle minna. Seetõttu suurendatakse ja kiirendatakse taastuenergiasse investeerimist ja selle arendamist. Tuumaenergia sobivust kaaluvad mitmed riigid, sest seda nähakse osana energiatootmise mitmekesistamisest.

2019. aastal võttis **Prantsusmaa** vastu kliimaseaduse, mille eesmärk on saavutada täielik süsinikuneutraalsus aastaks 2050. Selle saavutamises mängib olulist rolli tuumaenergia. Siiski plaanitakse suurendada taastuenergiaallikate osakaalu just tuule-, hüdro- ja päikeseenergiat tootes.

Tuumaenergia moodustab 71% Prantsusmaa energiaportfelli. Seda plaanitakse vähendada 50%-ni kuna mitmed tuumajaamad tuleb kõrge vanuse tõttu sulgeda. Küll aga jätkub usk tuumaenergiasse president Macroni juhtimise all, kes on lubanud ehitada 6 uut tuumareaktorit ja lisaks uurida veel 8 reaktori ehitamist juba hetkel olemasolevale 56 tuumajaamale Prantsusmaal. Uute reaktorite ehitamise kõrval on kriitilisemaks küsimuseks vanade tuumajaamade jätkusuutlikkus. 2022. aasta suvel on 29 tuumajaama seiskunud, millest 12 (nii vanemad kui ka uuemad tuumajaamad) on suletud korrosiooniprobleemide tõttu, mis kujutavad ohtu ohutussüsteemidele.

Saksamaa valitsus jätkab oma valitud teed liikuda energiatootmises taastuenergia tootmise suunal. 2022. aastal suletakse viimased tuumajaamad hoolimata eelseisvast keerulisest sügistalvest 2022/2023, kuna tuumajaamad on oma eluea lõpus ja nende uuendamiseks vajaminevat investeeringut hinnatakse liialt mahukaks. Valitsus on kinnitanud, et tuumajaamadest loobumise otsus on lõplik. Valitsus on andnud loa panna lühiajaliselt taas tööle kivisöejaamu, et kriisi korral gaasinappust leevendada. Tegemist on ajutise meetmega ja valitsus kinnitab, et algne plaan lõpetada kivi- ja pruunsöe kasutamine siiski jätkub, kuigi ajaraamistite muudatusega. Pikemas plaanis eemaldub Saksamaa oma varasemast plaanist toetuda gaasile kui üleminekukütusele fossiilkütuste ja taastuenergia vahel. Nüüd kiirendatakse taastuenergia tootmisallikate ehitamist ja loodetakse viia energiatootmine taastuenergia peale. Saksamaa plaanib toetuda maismaa- ja meretuuleparkidele ning panustab palju vesinikule, mida nähakse nii riikliku energiakandjana kui ka eksport-imporditoetena. Gaas jääb siiski järgnevatel aastatel olulist rolli mängima, kuna Saksamaa tööstus ja eramajade kütte tugineb gaasile ning selle asendamine täielikult taastuenergiaga võtab aega.

Poola tugineb oma energiatootmises 70% ulatuses kivisöele ja 11% ulatuses taastuvenergiale. Surve lõpetada kivisöe kasutamine on suur ja selle valguses on tehtud poliitiline otsus osaliselt tuumaenergiale üle minna. Potentsiaalseteks partneriteks on hetkel Korea, Prantsusmaa ja USA eraettevõtted, kes on oma ehituspakkumused ka kokku pannud. Poola valitsus on lubanud partneri valiku otsuse teha 2022. aasta lõpuks. Uuringu kohaselt on 60 aasta perspektiivis tuumaenergia taastuvenergiast soodsam, kuid eesmärgiks seatud tuumajaama valmimistähtaeg 2033. aastal ei tundu tehnoloogiliselt reaalne. Poolal on plaanis ka taastuvenergia osakaalu suurendada, arendades tuule- ja meretuuleparke.

Soome on üks maailma juhtivaid taastuvenergia kasutajaid, osakaal moodustab umbes 40% lõpptarbimisest. Peamiselt kasutatakse bioenergiat, puidupõhised kütuseid, hüdroenergiat, tuuleenergiat, jäätmeid, maakütet ja üha enam ka päikeseenergiat. Riikliku energia- ja kliimastrateegia 2030 eesmärgiks on suurendada taastuvenergia kasutamist 2030. aastaks üle 50% energia lõpptarbimisest.

Kolmandik (2019. aastal 35%) Soomes toodetud elektrist tuleb tuumaenergiast. Soomes on hetkel viis tuumareaktorit: kaks Loviisa elektrijaamas ja kolm Olkiluoto elektrijaamas. Kolmas ja uusim reaktor Olkiluotos on hetkel testimisfaasis. Jaama kasutuselevõtt on hetkeseisuga planeeritud 10. detsembriks 2022.

Kuni käesoleva aasta kevadeni toimus uue tuumaelektrijaama infrastruktuuri ehitus Pyhäjoel. Koostööpartner oli Venemaa RAOS Project (Rosatomi tütarfirma) ning mais 2022 ütles Soome Fennovoima lepingu RAOS Projectiga üles. Rajatud infrastruktuuri edasine tulevik pole selge.

Soome on pioneer tuumajäätmete haldamises oma erilise geoloogia tõttu. Alates 1990ndatest on mõlemad elektrijaamad hoolitsenud oma madal- ja keskaktiivsete jäätmete ladustamise ja lõppladustamise eest. Lõppladustamine toimub aluskivimis, sügaval ning konstruktsiooniga, mis tagab pikaajalise turvalisuse. Soome lõppladustuspaiiga lahendust on pikemalt kirjeldatud peatükis 7.3.

Rootsi toodab 30% oma elektrist tuumajaamade abil. Rootsi energiatootmise tulevik on lahtine. Valitsus on vaatamas üle oma tuumaenergia seisukohti ja kõrgetest elektrihindadest kannustatuna on tekkinud elav avalik debatt tuumaenergia ja taastuvenergia pooldajate vahel. Rootsi tuumajaamade kõrge vanuse tõttu on valitsuse ees otsustuskoht, kas investeerida uute tuumajaamade ehitusse või mitte. Siinkohal paistab valitsus ootavat just erasektori initsiatiivi. Ka taastuvenergia, eriti meretuuleenergia pooldajate hääled on tugevalt esile kerkinud, sest meretuuleenergia arendamise potentsiaal Läänemerel on üha enam ka Rootsi avalikku teadmusse jõudnud.

Taanis on viimase 40 aastaga toimunud edukas üleminek kohalikult naftalt ja gaasilt taastuvenergiale toetudes, eriti (mere)tuuleparkidele ja biomassile. 80% energiast on toodetud taastuvenergiaallikatest. Taani pühendumus taastuvenergia kasutamisele on temast teinud globaalse liidri. Seega ei ole tuumaenergia valikuna veel üles kerkinud.

Leedu impordib 70% oma elektrist ehk tema oma elektritoodang on väike. Peamiselt toodetakse kohalikku energiat biomassist. Leedu näeb ette, et aastaks 2030 on 45% lõplikust energiatarbimisest pärit taastuvenergiaallikatest. Pärast Ignalina tuumareaktorite sulgemist 2004. ja 2009. aastal ei ole tuumajaama ehitamine uuesti esile kerkinud. Arvamusavaldusi vahetevahel tekib, kuid valitsus on jäänud kavandatud plaanide juurde suurendada taastuvenergiaallikaid, eriti just tuuleenergiat nii maal kui ka meres.

Läti on seadnud kliimaneutraalsuse eesmärgi aastaks 2050. Ukraina sõjast kannustatuna on Läti valitsus otsustanud kaaluda tuumaenergiat ühe osana oma tuleviku energeetika valikutes. See on kardinaalne muutus varasemate aastatega, kus Läti keskendus taastuvenergia arendamisele, eriti hüdroenergiale, ning energiatõhususe tõstmisele. Nüüd on parlamendi töökavas energiaseaduse muudatus, mis seab Läti valitsusele ülesandeks koostada tuumaenergia programm 2023. aasta lõpuks. Tuumaenergia programmi väljatöötamine on järgmise aasta prioriteet. Lisaks on ka Läti ühinenud USA välisministeeriumi väikeste moodulreaktorite vastutustundliku kasutamise programmiga FIRST ja teinud tuumaenergiaga tutvumiseks visiite USAsse. Fermi Energia AS-il on koostöölepe Latvenergoga ja 2022. aastal tehti uuring väikereaktori sobivusest Balti elektriturule. Juunis 2022 tehti Fermi Energia AS-i tellimusel Läti elanike seas ka meelsusuuring, millest selgus, et 51% 18–60. aastastest elanikest toetavad tuumaenergiast elektri tootmist ning 67% leiab, et Läti peaks tuumaenergia kasutamiseks tegema koostööd naaberriikidega (Põhja-Balti). Siiski – taastuvenergia arendamine jätkub ning erinevaid tuuleparkide projekte arendatakse nii maismaal kui ka merel.

Energiajulgeolek on kõigi riikide jaoks oluline, kuid sõltuvalt riiklike tootmisvarade olemasolust ning majanduslikust konkurentsivõimest erineva kriitilisusastmega. See on varem kõige teravamalt esil olnud Leedus, kuid seda eelkõige piiriüleste tuumajaamade ohutuse võtmes. Läti on juba varem soovinud vähendada energia impordi osakaalu. Teistes riikides ei ole see tulise küsimusena varem esile kerkinud.

Sõda Ukrainas, Venemaa ebastabiilne käitumine energiaeksportijana kui ka Venemaale sanktsioonide kehtestamine on energiajulgeoleku kindlustamise vajadust teravdanud üle Euroopa ja toonud selle poliitiliste prioriteetide sekka. Paljudes riikides peatati (ajutiselt) plaanis olnud vanemate ja saastavamate fossiilkütuseid kasutavate elektrijaamade sulgemine, et leida kiiret leevendust Vene gaasitarnete vähenemisega kaasnenud varustuskindluse ohtudele.

Vene gaasi kasutamist on vähendatud hoogsalt kogu EL-is. Peamiselt on seda asendatud LNG-ga, samuti võetakse tarbimise vähendamiseks ette nii säästumeetmeid kui kasutatakse ka alternatiivseid energiaallikaid. Pikaajalise lahendusena nähakse eelkõige taastuvenergiatootjate osakaalu kiiret suurendamist ja energiatootjate mitmekesistamist, et seeläbi energiatootmises iseseisvus saavutada.

2. Tuumaenergia roll kliimaeesmärkide saavutamisel ja konkurentsivõime

2.1 Tuumaenergia potentsiaal kliimanetraalseks elektritootmiseks

2021. aastal moodustasid fossiilkütused üle 60% kogu maailmas elektritootmisest, eesotsas kivisöe (35%), maagaasi (23%) ja naftaga (3%). Hüdroenergia oli suurim vähese heitega elektrienergiaallikas (16% tootmisest), järgnesid tuumaenergia (10%), tuuleenergia (7%) ja päikeseenergia (4%). Elektrisektor emiteeris 2021. aastal 13,8 Gt CO₂, mis on kõigist sektoritest kõige rohkem ja ligi 40% energiaga seotud süsiniku koguheitest. Ülemaailmne elektritootmine kasvab aastatel 2020–2050 kaks ja pool korda, et elektrifitseerimise ja tarbimise kasvust tingitud nõudlusega sammu pidada. Elektrisektor on esimene, mis peaks 2035. aastaks saavutama süsiniku nullheite arenenud majandusega riikides ja 2040. aastaks kogu maailmas.

Tuumaenergial on ülemaailmses puhtale energiale üleminekus potentsiaal mängida olulist rolli. Kasvuhoonegaaside heitkoguste nulltaseme saavutamine sajab keskpaigaks, et piirata globaalset soojenemist alla 1,5 kraadi Celsiuse järgi, nõuab energiasüsteemide radikaalset ümberkujundamist. Kui juhitamatud tuule- ja päikeseenergia tagavad eeldatavasti nullenergiasüsteemis suurema osa elektrist, siis nende tasakaalustamine nõuab ka muid ressursse. 2050 eesmärkide saavutamine on IEA hinnangul ilma tuumaenergiale tuginemata äärmiselt keeruline. Tuumaenergia väljavaadete puhul tuleb aga paljuski arvestada poliitiliste, regulatiivsete- ja turutõrgetega (ebamäärasustega).

Takistustest hoolimata on kaks hiljutist arengut tekitanud riikides taas huvi tuumaenergia vastu. Esiteks on üha suurem hulk riike lubanud saavutada kasvuhoonegaaside heitkoguste nulltaseme. Paljud neist on juba kehtestanud poliitika, mille eesmärk on arendada uusi vähese heitkogusega juhitavaid energiaallikaid, sealhulgas tuumaenergiat, et tagada elektrisüsteemi piisav paindlikkus ja hõlbustada suure hulga muutuvate taastuvate tootmisallikate, eelkõige tuule- ja päikeseenergia integreerimist. Teiseks on hiljutised häired nafta- ja maagaasiturgudel toonud esile vajaduse tugevdada energiapuulgeolekut, sealhulgas suurendades kodumaistest allikatest saadava energia osakaalu. Kuigi paljud tuumariigid sõltuvad kütusena imporditud uraanist, peavad tuumaelektrijaamad tankima harva (tavaliselt üks kolmandik reaktorituumast iga 18 kuu järel), vähendades seeläbi lühiajaliste häirete mõju.

Tuumaenergia on alates 1970. aastatest andnud suure panuse ülemaailmse CO₂ heitkoguse kasvu aeglustamiseks. Aastatel 1971–2020 välditi ligikaudu 66 Gt süsinikdioksiidi heitkogust, eeldades, et selle asemel oleks proportsionaalselt suurendatud muid elektrienergiaallikaid, mis laienesid koos tuumaenergiaga, sealhulgas fossiilkütuseid. Elektritootmise koguheidet oleks sel perioodil olnud peaaegu 20% suurem ja energiaga seotud koguheidet 6% suurem. Ilma tuumaenergiata oleks elektritootmise heitkogused Jaapanis olnud umbes veerandi ning Koreas ja Kanadas umbes 50% suuremad.

2.2. Tuumaenergia roll varustuskindluse tagamisel

Taastuvenergia osakaalu kasvades on elektripuulgeolekus üha olulisemaks faktoriks elektrisüsteemi suutlikkus usaldusväärselt ja kulutõhusalt hakkama saada nõudluse ja pakkumise muutlikkuse ja ebakindlusega. Elektrisüsteemi hetkelise stabiilsuse ja pikaajalise varustuskindluse tagamiseks on vaja paindlikkust erinevates ajavahemikes, minutist minutini, tunnist tunnini ja hooajast hooajani. Ilmastikutingimustega (päikesepaiste, välisõhu temperatuur ja sademed ning tuule tugevus) seotud tootmise osakaalu suurenemine tähendab,

et teised tootmisüksused peavad oma toodangut sagedamini ja suuremates kogustes muutma (tootmisvõimsust vastavalt üles või alla koormates). Paindlikkuse vajadusi suurendavad ka muutused elektrinõudluse struktuuris, kus suurimad muutujad on transpordi, hoonete kütelahenduste ja tööstuslahenduste elektrifitseerimine, ja perspektiivsete vesinikulahenduste turuküpsuse saabumine. Fossiilkütused tagavad täna üle 60% tunnipõhisest energiasüsteemide paindlikkusest nii arenenud kui ka areneva majandusega riikides.

Tuumaenergia puhul nähakse aastaks 2050 arenenud riikides selle rolli suurenemist praeguselt ligikaudu 2%-lt 5%-ni 2050. aastal. Prantsusmaal, kus tuumaenergia katab suurema osa elektritootmise vajadusest, on paindlikkuse vajadusega arvestatud reaktori konstruktsioonides, mis võimaldab mõnel jaamal kiiresti ja lühikese etteteatamisega (mõne tunni jooksul) oma toodangut suurendada või vähendada, et töötada koormust järgivas režiimis. Kuigi riigid ei ole seni tuumaenergiat paindlikkuse tagamise eesmärgil esmavalikuna kasutanud, on paljusid reaktoreid ilma või minimaalsete tehniliste muudatustega võimalik selleks kasutada. Uute tuumatehnoloogiate, sealhulgas väikeste moodulreaktorite puhul nähakse võimalust elektritootmise vahel minna üle soojuse, ammoniaagi või vesiniku tootmisele või toota neid koos elektrienergiaga.

2.3. Tuumaenergia konkurentsivõime

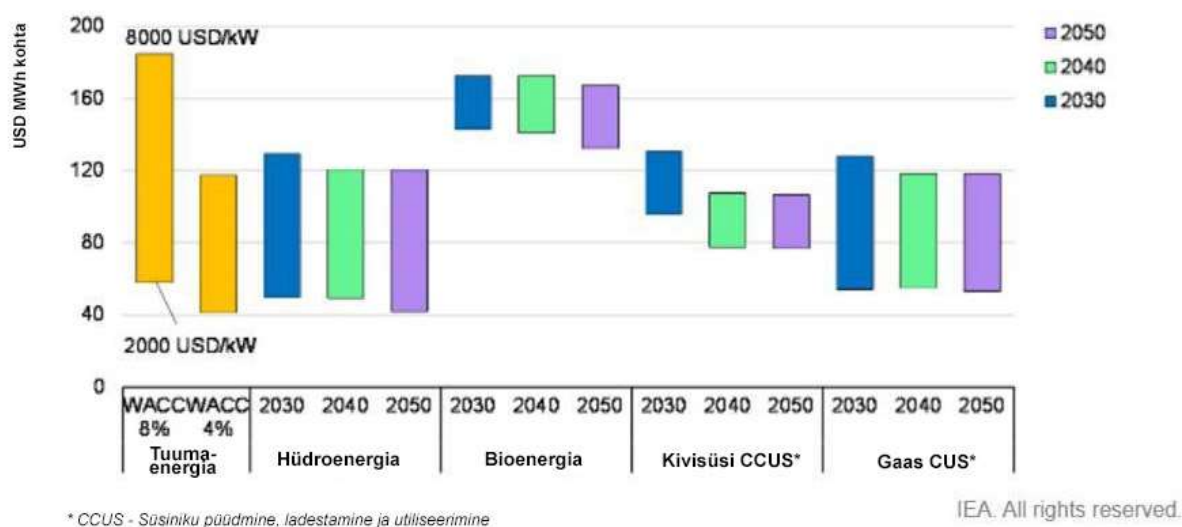
2.3.1- Tuumaenergia konkurentsivõime elektritootmisel

Lisaks mittemajanduslikele tõketele, nagu avalikkuse arvamus, peab tuumatööstus ületama mitmed majanduslikud tõkked, et tuumaenergia kasutuselevõtt suureneks. Peamine majanduslik barjäär on suured kapitalikulud võrreldes muude vähese heitega energiaallikatega. Mõõdetuna tasandatud elektrikuluga (LCOE) – elektrijaama keskmise elektritootmise kuluga selle tööea jooksul – on päikesepaneelid enamikul turgudel juba odavam uue elektrienergiaallikas, mille kulud on viimase kümnendi jooksul langenud ligikaudu 85%. Päikeseenergia kulud vähenevad jätkuvalt masstootmise optimeerimise ja tehnoloogia jätkuva paranemise abil (pärast ajutist hinnatõusu lähiajal tarneahela häirete tõttu). Maismaa tuuleenergia on ainuke vähese heitega tehnoloogia, mis suudab oma kuludega konkureerida päikeseenergiaga, kusjuures avamere tuuleenergia läheneb lähiaastatel paljudel juhtudel maismaaprojektide maksumusele. 2030. aastaks langeb päikeseenergia ja maismaatuuleenergia hind enamikul turgudel alla 50 USD/MWh (ca 48 €/ MWh), mis on tunduvalt madalam uute tuumaprojektide kuludest.

Siiski võib paljudel juhtudel tuumaenergia olla taastuueenergiaga konkurentsivõimeline või isegi atraktiivsem, seda ennekõike seetõttu, et vastupidi taastuueenergiale on tuumaenergia tootmine juhitav ning paremini planeeritav. LCOE on küll levinud mõõdik erinevate elektritootmise tehnoloogiate tootmiskulude võrdlemiseks, kuid see ei võimalda võrrelda erinevate tehnoloogiate teisi olulisi aspekte (nt tootmise juhitavust). Paremad mõõdikud, nagu väärtusega kohandatud LCOE (VALCOE), aitavad võrrelda ja järjestada erinevaid tehnoloogiaid ka muude väärtuste alusel. Tuule- ja päikeseenergia VALCOE halveneb, kui nende osatähtsus kogutootmises suureneb, samas kui tuumaenergia ja muude juhitavate tootmisvõimaluste oma pigem paraneb.

Uute tuumareaktorite ehitamise kulud on tuumaenergia tulevase rolli jaoks ülemaailmses puhta energia üleminekus üliolulised. Kui uue tuumaenergia ehitusmaksumus langeks 2000 USD/kW (ca 1900 €) või alla selle (võrreldes tänaste kuludega, mis on vahemikus 2800 USD/kW (ca 2660 €)) kuni üle 12 000 USD/kW (ca 11 400 €), suudaks see enamikus piirkondades

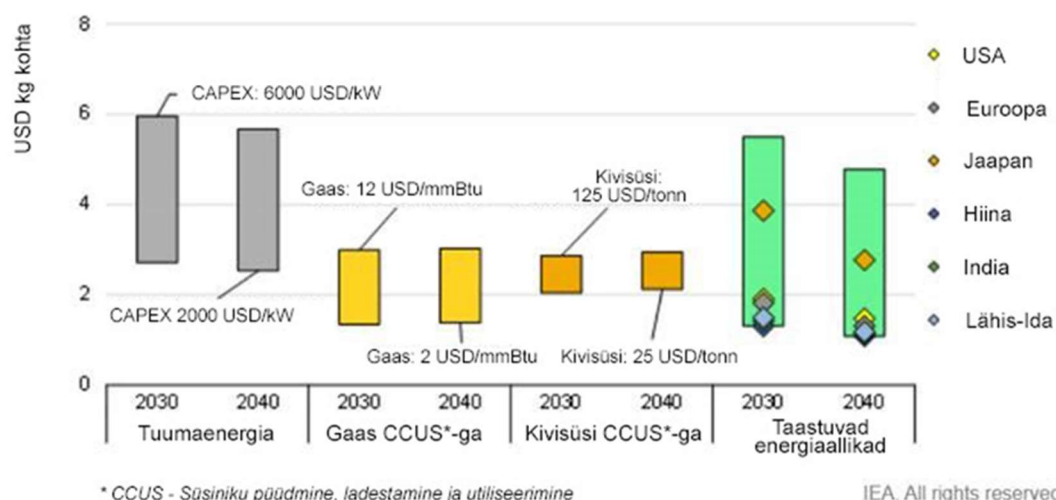
päikeseenergia ja tuuleenergiaga otseselt konkureerida. Selle ehitusmaksumuse juures jääb tuumaenergia LCOE vahemikku 40–60 USD/MWh (ca 38–57 €), olenevalt peamiselt finantseerimiskuludest. Kui tuumajaamade ehituskulud on lähemal 4000 USD/kW (ca 3800 €), siis LCOE hüppab 60–100 USD/MWh-ni (ca 57–95 €), mis ületab enamikul juhtudel päikeseenergia ja tuuleenergia projektide oma, sealhulgas koos salvestustehnoloogiaga. Ehitusmaksumuse juures 2000–3000 USD/kW (ca 1900–2850 €) konkureeriks tuumaenergia muude juhitavate madala heitkoguste allikatega, sealhulgas hüdroenergia, biokütuste ja fossiilkütusejaamadega. Olenevalt rahastamiskuludest annaks see tuumaenergia LCOE 40–90 USD/MWh (ca 38–86 €/MWh). Kõik need tehnoloogiad on juhitavad, seega on nende panus süsteemiväärtusesse sarnane. Erinevate juhitavate elektritootmise võimaluste LCOE võrdlus aastakümnete lõikes on esitatud joonisel 7.



Joonis 7. Juhitavate väheste heitkogustega elektritootmise võimaluste LCOE (IEA)

2.3.2. Tuumaenergia konkurentsivõime vesiniku tootmisel

Uued tuumaelektrijaamad ei ole IEA hinnangul tänaste hindade juures vesiniku tootmisel tõenäoliselt konkurentsivõimelised taastuvate energiaallikate või fossiilkütustega. Tuumajõul töötav elektrolüüs oleks konkurentsivõimeline ainult siis, kui tuumaelektrijaamade investeerimiskulusid saaks vähendada alla 2000 USD/kW ning gaasi ja söe hind jääksid vastavalt 9 USD/mmBtu ja 70 USD/tonn kohta. Et olla taastuvenergiaga konkurentsivõimeline pärast 2030. aastat, peaksid tuumainvesteeringute kulud langema umbes 1000 USD/kW, et toota 2030. aastal vesinikku hinnaga umbes 2 USD/kgH₂, mis on aga ebatõenäoline. Spetsiaalne tuumapõhine vesinik võib muutuda elujõuliseks valikuks ainult piirkondades, kus taastuvenergia potentsiaal on väga piiratud ning kivisöe ja gaasi hinnad jäävad ajalooliste standardite järgi väga kõrgeks. Vesiniku tootmise LCOE energiaallika/tehnoloogia ja aastakümnete lõikes on esitatud joonisel 8.



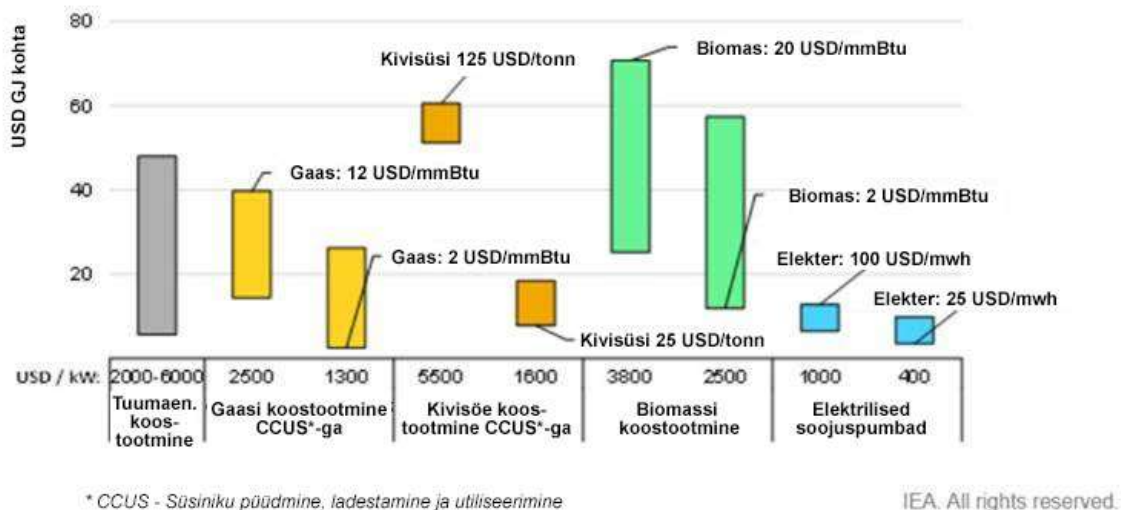
Joonis 8. Vesiniku tootmise LCOE energiaallika/tehnoloogia lõikes (IEA)

Tuleb rõhutada, et esitatud näide võtab arvesse ainult tootmiskulusid. See ei võta arvesse muid tuumaenergia võimalikke eeliseid vesiniku tootmiseks, nagu selle juhitavus ja pideva tootmise võime. Tuumatehnoloogia abil saab suures koguses vesinikku toota tarbimiskohale lähemal, vähendades vajadust vesiniku transpordi ja jaotamise infrastruktuuri järele. Vesiniku transport 1000 kilomeetri kaugusele torujuhtme kaudu lisaks tarne kogumaksumusele 0,4–1,8 USD/kgH₂, olenevalt liini läbilaskevõimest. Meretransport maksaks 1,2–1,8 USD/kgH₂ sama vahemaa eest. Võrreldes vähese süsinikusisaldusega vesinikuga, mis eraldatakse fossiilkütustest protsessis, milles eralduv CO₂ kogutakse ning kasutatakse (CCUS), toob tuumaenergia energiaajulgeoleku eeliseid, kuna see on palju vähem tundlik sisendkütuste kõikumate hindade suhtes. Põhiliselt elektriturgu teenindavatest tuumaelektrijaamadest võib tekkida võimalusi säästlikult vesinikku toota haripunktiivalse elektriga.

2.3.3. Tuumaenergia konkurentsivõime kaugkütel

Selleks, et tuumaenergial põhinev koostootmine oleks konkurentsivõimeline fossiilkütustega koos CCUS-ga, biomassi või elektriliste soojuspumpadega tööstuslikeks rakendusteks ja kaugkütteks, peavad jaama investeerimiskulud üldjuhul jääma umbes alla 3000 USD/kWe ning tuumajaama jaoks sobiv asukoht peaks paiknema ka kaugküttesoojuse tarbijate lähedal. Ka planeerimis- ja ehitusajad peaksid olema mõistlikult lühikesed (sõltub eelkõige keskkonnauuringutele kuluvast ajast), et piirata kulude ületamise ohtu. Siinkohal tuleks mängu ka tuumaohutuse küsimus, kuna koostootmisjaamad tuleb paigutada asustuskeskuste lähedale, et minimeerida soojuse pikkade vahemaade ülekandmisel tekkivaid kadusid ja sellega seotud kulusid⁹. Kaugküttevõrkudesse tarnitud soojuse LCOE erinevate tootmisallikate kaupa on esitatud joonisel 9.

⁹ <https://www.iea.org/reports/nuclear-power-and-secure-energy-transitions>.



Joonis 9. Kaugküttevõrkudesse tarnitud soojuse LCOE allikate kaupa (IEA)

2.4. Tuumaenergia potentsiaal Eesti kliimaeesmärkide saavutamisel

Riigi pikaajaline arengustrateegia Eesti 2035, mille Riigikogu võttis vastu 2021. aastal, seab eesmärgi saavutada 2050. aastaks kliimanetraalsus. Hetkel on sama eesmärgi integreerimiseks ajakohastamisel pikaajalise kliimapolitiika strateegiadokument „Kliimapolitiika põhialused aastani 2050“. 2020. aasta kasvuhoonegaaside heitkogused olid võrreldes 1990. aastaga vähenenud 71% võrra (mitte arvestades LULUCF (*Land Use, Land Use Change and Forestry*) sektoriga). Sealjuures on suurim heitkoguste vähenemine toimunud energeetikasektoris, kokku 80%. On oluline, et jätkaksime toetusmeetmete ja investeringutega, mis aitavad riigil seatud kliimaeesmärke saavutada.

Arvestades globaalseid trende, on meil vaja jätkata Eestis kliimanetraalse elektritootmise poole liikumist, et meie elektritootmine konkurentsivõimeline püsiks. Tuumaelektrijaam on üheks kliimanetraalse elektritootmise lahenduseks. Kuivõrd realistlikult saaks tuumajaam Eestis valmida kõige varem 2035, ei panustaks tuumaenergia kasutuselevõtt Eesti 2030. aastaks seatud eesmärkidesse, kuid panustaks 2050. aastaks seatud eesmärkide täitmisel, sest tuumaelektri eriheide on väga madal (hinnanguliselt 0,012 tCO₂/MWh). Samas tuleb arvesse võtta, et hinnates kogu olelusringi ei ole tuumaenergeetika täielikult heitevaba – märkimisväärses koguses fossiilseid kütuseid kasutatakse uraanimaagi kaevandamisel ja rikastamisel väljaspool Eestit, samuti tuumajaama ehitamisel, radioaktiivsete jäätmete transpordil ja ladustamisel.

Kehtiv energiamajanduse arengukava aastani 2030 ei välista ühegi turupõhiselt konkurentsivõimelise elektrijaama rajamist Eestisse. Eesti riiklikus energia- ja kliimakavas aastani 2030 (REKK 2030)¹⁰ on ühe alternatiivse võimalusena elektritootmiseks Eestis näinud moodultuumareaktoreid. Samas nenditakse ka, et nende korral on vaja teha mahukas eeltöö – nii uuringud, ettevalmistustööd kui ka ehitus (hinnanguliselt 10 aastat) – ning Eesti tingimustele võiks sobida väiksemad moodulreaktorid, mida maailmas veel töös ei ole. Samuti on ühe

¹⁰ <https://www.mkm.ee/energeetika-ja-maavarad/energiamajandus/energia-ja-kliimakava>

võimaliku energeetika tulevikusuundumusena tuumaelektrijaama rajamise välja toonud üleriigilise planeeringu strateegiline dokument „Eesti 2030+“¹¹.

Energiamajanduse arengukava on uuendamisel, koostamisel on energiamajanduse arengukava aastani 2035¹². Uue arengukava üheks sisendiks on uuring kliimanetraalse elektritootmise võimalustest Eestis¹³. Uuringu kohaselt on kliimanetraalne elektritootmine Eestis saavutatav nii taastuvenergia ja salvestuse, tuumaenergia kui ka süsiniku sidumise ja salvestamise stsenaariumites ning ka nende kombinatsioonis. Sealjuures on taastuvenergia ja salvestuslahendused olulised elemendid kõigi stsenaariumite korral.

¹¹ <https://planeerimine.ee/ruumiline-planeerimine/yrp/>.

¹² <https://energiatalgud.ee/node/8906?category=1687>.

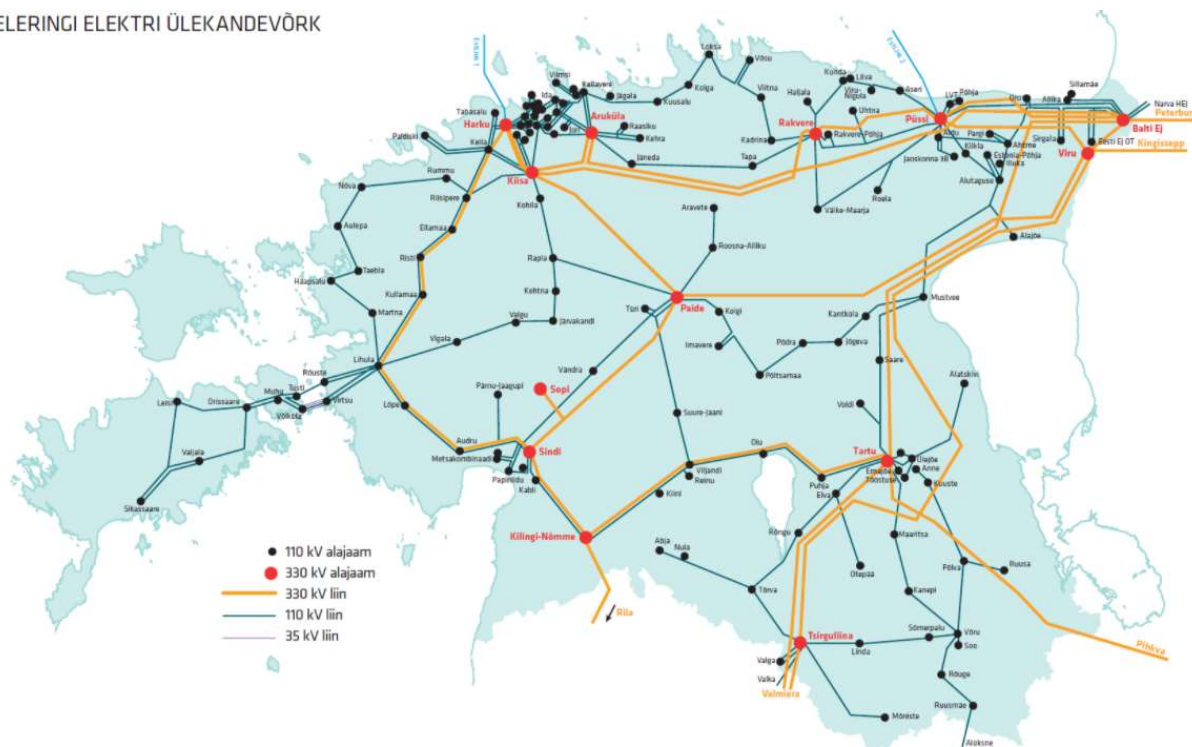
¹³ <https://energiatalgud.ee/node/8917?category=1704>.

3. Tootmisseedmete ühendamisest ja tuumaenergia sobivusest Eesti elektrisüsteemi

3.1. Eesti elektrisüsteem

Eesti elektri põhivõrk (ülekandevõrk) koosneb ligikaudu 5500 km elektriliinidest (330 kV ja 110 kV) ja 155 alajaamast. Sisemaise elektrivõrguga on ühendatud piiriülesed vahelduvvooluühendused Läti ja Venemaaga ning alalisvooluühendused Soomega.

ELERINGI ELEKTRI ÜLEKANDEVÕRK



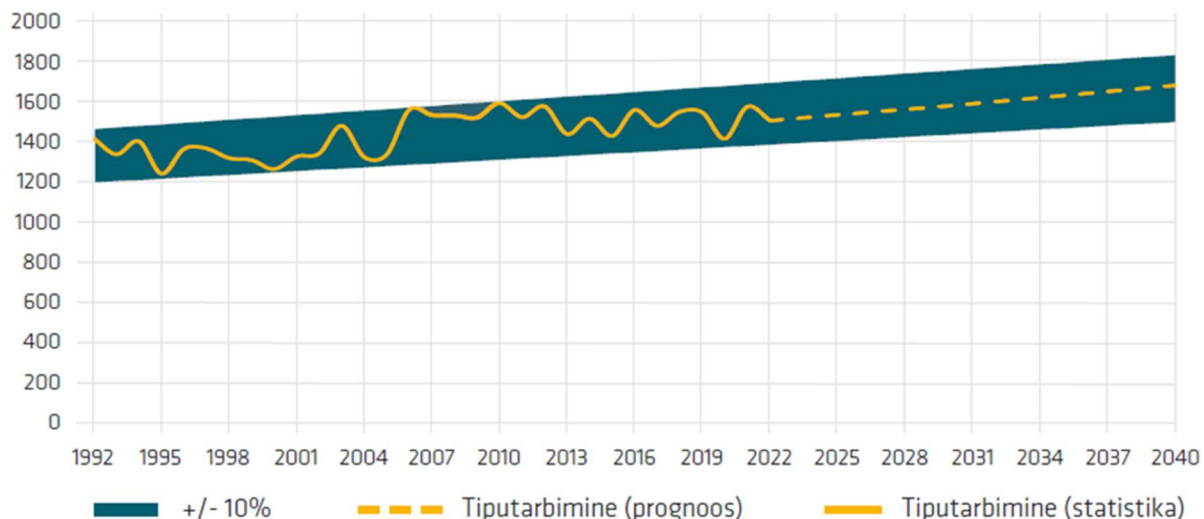
Joonis 10. Eesti elektri ülekandevõrk (Elering AS)

3.2. Tarbimine ja tootmine Eesti elektrisüsteemis

Eesti aastane elektritarbimine on ~8,5 TWh, aastaks 2035 prognoositakse elektritarbimise kasvu ligi 10 TWh-ni. See number võib oluliselt suurenda seoses transpordi ja hoonete soojusega varustamise elektrifitseerimise trendide realiseerumisega. Näiteks kogu Eesti tänase transpordisektori üleminek elektrienergia kasutamisele tähendaks suurusjärgus 2 TWh suurust elektritarbimise suurenemist.

Samal ajal kui aastane elektri tarbimise maht on aasta-aastalt kasvanud, on viimasel kümnel aastal talvine elektrienergia maksimaalne tiputarbimine püsinud sisuliselt muutumatult, jäädes vahemikku 1423 ja 1587 MW. Sealjuures tipukoormus 1587 MW registreeriti enam kui kümme aastat tagasi 2010. aasta talvel.

Sellegipoolest tuleks arvestada, et tarbimise kasvust tulenevalt on oodata ka mõningast tipukoormuse tõusu järgmise kümne aasta jooksul ning sellele järgnevat aastase tarbimise kasvukiiruse vähenemist. Elering AS-i tipukoormuste prognoosivahemik aastani 2035 on toodud joonisel 11.

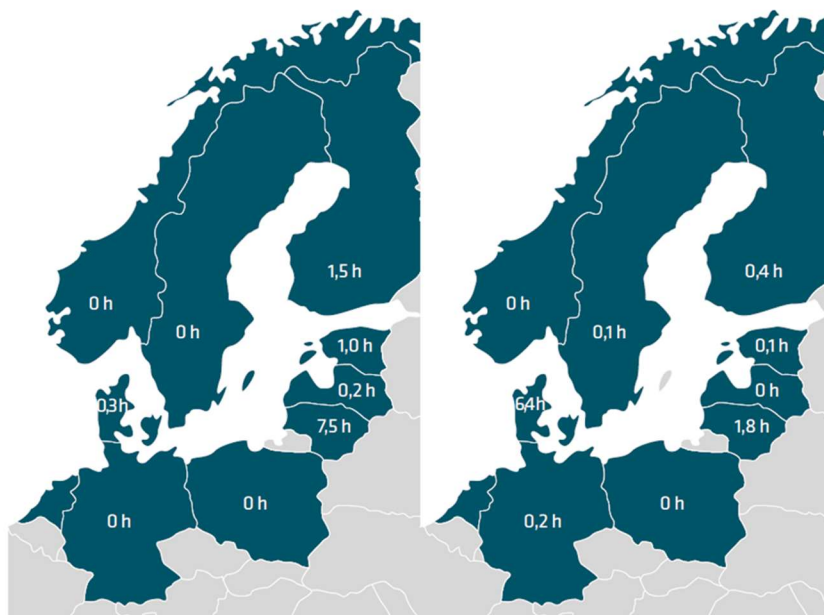


Joonis 11. Elektrisüsteemi tipukoormuse (MW) vahemik kuni 2040 (Elering AS)

3.3. Varustuskindlus

Eesti elektrisüsteemi varustuskindlust (sh tootmispiisavust) analüüsib ja tagab Elering AS koostöös teiste EL-i põhivõrguettevõtjatega. Olukorra hindamiseks koostatakse iga-aastaseid varustuskindluse aruandeid järgmise kümne aasta kohta.

Varustuskindlust analüüsivad põhivõrguettevõtjad nii Eesti kui ka Euroopa Liidu tasandil igal aastal. 2021. aasta varustuskindluse aruande järgi on Eestis ning meie lähiregioonis elektri varustuskindlus vaatlusperioodil (kuni 2030) tagatud (joonis 12). 2022. aastal seoses Venemaa sõjalise agressiooniga Ukrainas toimunud maagaasi tarnete vähenemine Euroopa Liidu liikmesriikidesse võib seda oluliselt ning prognoosi olulisel määral muuta. Uuendatud tulemused avaldatakse üle-euroopaliste analüüside põhjal 2022. aasta lõpus.



Joonis 12. Üle-euroopalise elektrisüsteemi tootmispiisavuse ja tootmisvõimekuse analüüsi tulemused Eesti ja meie lähiriikide kohta 2021. aastal

3.4. Olemasolevad tootmisseedmed elektrivõrgus

Seisuga 1. jaanuar 2021 on Eestis summaarne installeeritud netootmisvõimsus 2358 MW, millest tipuajal n-ö kindlalt (juhitaval) kasutatav tootmisvõimsus on ca 1700 MW.

ELEKTRIJAAMAD			1355 MW
Eesti elektrijaam	kondensatsiooniplokk	põlevkivi	866
Auvere elektrijaam	kondensatsiooniplokk	põlevkivi	272
Balti elektrijaam	kondensatsiooniplokk	põlevkivi	192
Enefit elektrijaam	jääksoojust kasutav auru	põlevkivi	25
KOOSTOOTMISJAAMAD			351,8 MW
Iru elektrijaam	koostootmisplokk	maagaas	94,0
Iru elektrijaam	koostootmisplokk	segaolmejäätmed	17,0
Põhja soojuselektrijaam	koostootmis- ja kondens	generaatorgaas	77,0
Utilitas Tallinna elektrijaam	koostootmisplokk	biomass	39,0
Tartu elektrijaam	koostootmisplokk	biomass	22,1
Pärnu elektrijaam	koostootmisplokk	biomass	20,5
Horizon tselluloosi ja paberi AS	vasturõhuturbiin vahelt	must leelis/biomass	14,4
Sillamäe soojuselektrijaam	koostootmisplokk	põlevkivi	10,0
Mustamäe koostootmisjaam	koostootmisplokk	biomass	9,3
Sillamäe I koostootmisjaam	koostootmisplokk	biomass	7,1
Helme koostootmisjaam	koostootmisplokk	biomass	6,5
Sillamäe II koostootmisjaam	gaasimootor	maagaas	5,8
Muud koostootmisjaamad	gaasimootor	maagaas	19
HÜDROELEKTRIJAAMAD			4,1 MW
TUULEPARGID			313,3 MW
PÄIKESEELEKTRIJAAMAD			335+ MW

Tabel 2. Olemasolevad tootmisseedmed Eesti elektrivõrgus (Elering AS)

3.5. Uute tootmisseedmete ühendamise

Eesti elektrisüsteemi ühendatava tootmismooduli ühikvõimsus ei või olla suurem kui 350 MVA. Sellest suurema võimsuse korral tuleb liitumiseks põhivõrguettevõtja alajaama rajada rohkem kui üks liitumispunkt ja tootmismoodulid jagada liitumispunktide vahel¹⁴.

Tootmisseedmetele seatud liitumistingimused on Euroopa Liidu tasandil harmoniseeritud – uued tootmisseedmed ühendatakse võrguga Euroopa Komisjoni määruse nr 2016/631¹⁵ tootmisüksuste võrku ühendamise nõuete kohta (*Requirements for Generators*) alusel.

Vabariigi Valitsuse määruse „Elektrisüsteemi toimimise võrgueeskiri“¹⁶ § 19 lõike 3 kohaselt luuakse põhivõrguga uus võrguühendus nimipingel 110 kV või 330 kV. Elektrisüsteemi toimimise võrgueeskirja § 19 lõike 5 kohaselt määrab võrguettevõtja uue võrguühenduse loomise või olemasoleva võrguühenduse tarbimis- või tootmistingimuste muutmise korral võrgu konfiguratsiooni ja tehnilised parameetrid. Põhjusel, et 110 kV elektrivõrgu

¹⁴ https://elering.ee/sites/default/files/public/Teenused/Liitumine/08%20-%20P%C3%B5hiv%C3%B5rguettev%C3%B5tja%20elektripaigaldiste%20tehnilised%20p%C3%B5him%C3%B5tted%20ja%20lahendused_2019.05.30.pdf.

¹⁵ <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/1267e3d1-0c3f-11e6-ba9a-01aa75ed71a1/language-en>.

¹⁶ <https://www.riigiteataja.ee/akt/112052021002>.

läbilaskevõime ei ole üldjuhul piisav vastu võtma suuremaid võimsusi kui 100 MW, tuleb suuremad kui 100 MW tootmisseadmed ühendada Elering AS-i elektrivõrguga 330 kV pingeastmel.

3.6. Elektrivõrguga liitumise kulud

Elektrisüsteemi toimimise võrgueeskirja § 25 lõike 3 kohaselt arvestatakse liitumistasu hulka Elering AS-i tehtavad uue tarbimis- või tootmisvõimsuse ühendamiseks vajalikud kulud – see tähendab, et tootmisseadet võrguga liita sooviv isik peab tasuma kõik liitumisega seotud kulud. Täpsed kulud sõltuvad konkreetsest asukohast, täpsemalt elektrivõrgu võimsusest selles asukohas. Hinnanguline liitumise maksumus soovitud asukohas on kättesaadav Elering AS-i rakendusest¹⁷.

3.7. Liitumise ajakulu

Elektrivõrguga liitumiseks on vajalik:

- 1) võrguga ühendatava elektripaigaldise rajamist võimaldava planeeringu kehtestamise otsus, projekteerimistingimused või ehitusluba, mille kohaselt on võrguga ühendatav elektripaigaldis kooskõlas planeeringu maakasutus- ja ehitustingimustega, projekteerimistingimustega või ehitusloaga;
- 2) keskkonnamõju hindamise ja keskkonnajuhtimissüsteemi seaduses nimetatud otsustaja tehtud otsus, mis tõendab, et keskkonnamõju on hinnatud, või mille kohaselt ei ole vaja keskkonnamõju hinnata;
- 3) dokumendid, mis kinnitavad, et turuosalisel, kes soovib võrguga liituda, on õiguslik alus kasutada kinnistut või ehitist, millele võrguühendust soovitakse.

Nende liitumisele eelnevate tegevuste ajakulu sõltub planeerimismenetluste ja mõjuhindamiste kestusest ning võib võtta aastaid.

Liitumisega seotud ehitustööde alustamise eelduseks on, et Elering omandaks alajaamade laiendamiseks vajalikud kinnistud ning saaks ka ehitatavate õhuliinide trassikoridoridele kasutusõiguse. Enne kinnistute omandamiste ning õhuliinide kasutusõiguste saamist on vaja:

- teha planeeringute ja keskkonnamõjude hindamine, mille orienteeriv ajakulu sõltub keskkonnauuringutest ja muude mõjude hindamisele kuluvast ajast, planeeringuliigist ja on 60–84 kuud, tuumaelektrijaama rajamisel võib-olla ka veel pikem;
- koostada trassivaliku projekt ja sõlmida maalepingud, nende orienteeriv ajakulu on 18–24 kuud.

Kõigi eespool nimetatud objektide planeeringuid saab teha ja omandada neiks vajalik maa samal ajal. Ehitustööde tähtaeg on pärast vajalike kinnistute omandamist ja kasutusõiguste saamist hinnanguliselt 2–3 aastat.

3.8. Tuumaenergia sobivus Eesti elektrisüsteemi

Eesti elektrisüsteemiga saab liita kõiki nõuetele (sh liitumise tehnilised tingimused, keskkonnanõuded, ohutusnõuded jms) vastavaid tootmisseadmeid, mille liitumisvõimsus jääb alla 350 MVA. Seega sobiksid Eesti elektrisüsteemi väikesed moodulreaktorid. Tuumaenergia võimaliku kasutuselevõtu stsenaariumit Eestis on kirjeldatud kliimanetraalse elektritootmise analüüsis¹⁸.

¹⁷ <https://vla.elering.ee/?lang=en>.

¹⁸ <https://energiatalgud.ee/node/8917?category=1704>.

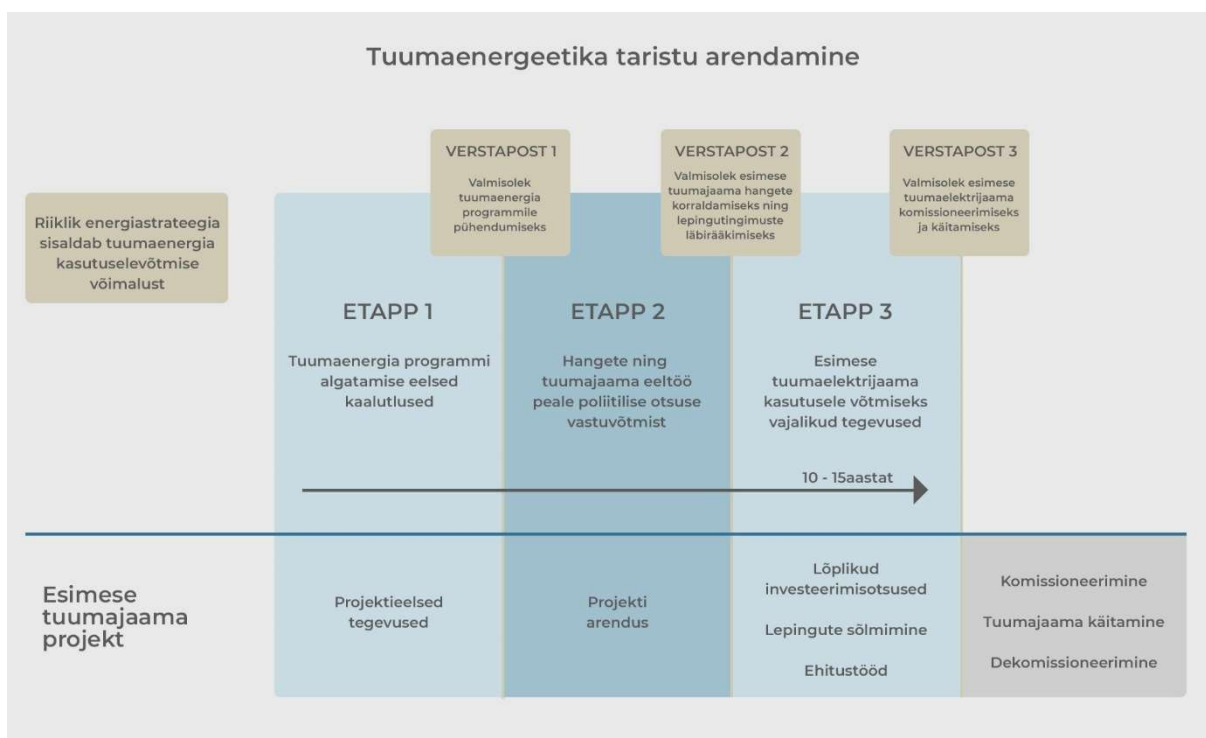
4. Tuumaenergia kasutuselevõtmiseks vajalik eeltöö

4.1. Tuumaenergia kasutuselevõttule eelnevad tegevused

Sõltumata kasutusele võetavast tehnoloogiast hõlmab tuumaelektrijaama kasutuselevõtmine vähemalt 10–15 aastat ettevalmistavaid tegevusi ning vähemalt 100 aastat jätkuvaid tegevusi. Tuumaenergia kasutuselevõtu võimalus peab sisalduma ka riigi energiamajanduse arengukavas.

Kiirgusseaduse¹⁹ § 79 kohaselt saab kiirgustegevusloa uue tuumakäitise käitamiseks taotleda pärast seda, kui Riigikogu on vastu võtnud tuumakäitise kasutuselevõtu otsuse.

IAEA jagab tuumaenergia kasutuselevõtu ettevalmistuse kolme etappi, mille tegevused on välja toodud joonisel 13.



Joonis 13. Tuumaenergia kasutuselevõtmise etapid (Keskkonnaministeerium IAEA andmete põhjal)

4.1.1. I. etapp:

Analüüs ja kaalutlused enne otsust tuumaenergia kasutusele võtta (projekti ettevalmistamine). Esimese etapi lõpuks peaks riik olema valmis tegema kaalutletud ja teadliku otsuse tuumaenergia kasutuselevõtuks. Lõpptulemusena peab see vastama küsimusele, kas ja miks tuumaenergia oleks riigile parim valik. Esimeses etapis, mille kestvus võib olla 2–5 aastat, analüüsitakse põhjalikult tuumaenergia kasutuselevõtu mõjusid. Esimeses etapis tuleks käsitleda ka tuumajaama seisukohalt olulisi asukohakriteeriume ning teha asukohtade eelanalüüs (teisisõnu ruumianalüüs, mis valmib 2023. a esimeses kvartalis), mis on sisendiks riigi eriplaneeringu algatamisele.

¹⁹ <https://www.riigiteataja.ee/akt/110072020052>.

4.1.2. II. etapp

Põhimõtteline otsus tuumajaama rajamise lubamiseks on tehtud. Teises etapis, mille kestvus on vähemalt kümme aastat, tehakse ettevalmistavad tegevused, mis on eelduseks lepingute sõlmimiseks ja ehitamiseks (projekti arendustegevused, planeeringud). Etapi lõpuks tuleb jõuda nii kaugemale, et saab hakata pidama läbirääkimisi tuumaelektrijaama rajamise lepingu sõlmimiseks. Arendustegevusteks ja planeeringuteks on vaja täiendavaid riigieelarvelisi vahendeid kokku vähemalt 65 mln euro ulatuses. Kulud on seotud eelkõige tuumaprogrammi rakendamiseks vajaliku regulatiivse ja õigusliku raamistiku, pädevuste arendamise ning tuumaprogrammi toetava riikliku taristu loomisega. „Teostatavusanalüüs väikse moodulreaktori (VMR) sobivusest Eesti energiavarustuse tagamiseks ja kliimaeesmärkide täitmiseks 2030+“²⁰ andmete põhjal kulub riikliku pädevuse tekitamiseks ning õigusliku raamistiku loomiseks 10 mln ja elektrivõrgu valmisoleku arenduseks vähemalt 17 mln eurot riigieelarvelisi vahendeid.

Selles etapis arendatakse välja tuumaenergia kasutuselevõtuks vajalik infrastruktuur, luuakse vajalikud võtmeorganisatsioonid, õiguslik raamistik ja arendatakse olemasolevate asutuste suutlikkust.

- Õiguslik ja regulatiivne raamistik – võetakse vastu tuumaseadus ja selle alamaktid, täiendatakse olemasolevaid õigusakte tuumajaama rajamiseks vajalike sätetega, (keskkonnamõju hindamine, kiirgusohutuse hindamine, planeerimine, ehitamine, jäätmete käitlemine jne). Sealhulgas tuleb arvestada tuumajaamadele rakenduvate rahvusvaheliste lepingute, protokollide ja konventsioonidega.
- Kindlustusinstrumendid ja vastutusfondid – analüüsitakse tuumavastutuse instrumentide vajadust ning mahtu. Paljudes riikides annab lisaks operaatorile omanik/riik omapoolseid tagatisi, et kindlustada riigi elektrienergia julgeolekut, varustuskindlust ja tootmise jätkusuutlikkust. Rahvusvahelise tuumavastutuse instrumentidest on Eesti liitunud tuumakahjustuste eest tsiviilvastutuse Viini konventsiooni²¹ ja Viini konventsiooni ja Pariisi konventsiooni rakendamise ühise protokolliga²², et tagada finantskaitset kahjustuste eest, mis võivad tekkida tuumaenergia teatud viisil rahumeelse kasutamise eesmärgil. Kui tuumajaama käitamisel tekkinud avarii käigus on keegi kaotanud elu, saanud tervisekahjustusi, kaotanud vara, siis lasub vastutus kahjustuste kompenseerimise eest esmajoones operaatoril, välja arvatud juhtudel, mis tulenesid otseselt relvastatud konfliktist, sõjategevusest, kodusõjast või vastuhakust. Viini konventsiooni kohaselt ei tohi operaatori vastutust vähendada alla viie miljoni USA dollari tuumaintsidendi kohta ning operaatoril peab kohustuslikult olema vastutuskindlustus vms finantstagatis.
- Ministeeriumid – arendatakse pädevust tuumaohutuse, -julgeoleku ja tuumaenergeetika valdkonnas.
- Ülikoolid, kutsekoolid – analüüsitakse tuumaenergeetika ja ohutuse valdkonnas pädevate asutuste ja tuumajaama käitajale kvalifitseeritud töötajate vajadust. Koostöökokkulepete sõlmimine välisriikide ülikoolidega spetsialistide koolitamiseks või õppekavade väljatöötamine vastavate koolitusvõimaluste loomiseks Eestis.

²⁰ <https://fermi.ee/wp-content/uploads/2021/02/uuringud-2020-fe-final.pdf>.

²¹ <https://www.riigiteataja.ee/akt/13090150>.

²² <https://www.riigiteataja.ee/akt/13090120>.

- Tööstussektori kaasamine – luuakse riigipoolne toetussüsteem tuumaelektrijaama ehitamiseks vajalike materjalide ning jaama hooldamiseks ja käigus hoidmiseks vajalike toodete sertifitseerimiseks ning ettevõtete töötajate väljaõppe korraldamiseks (eelkõige betooni- ja metallitööstuses).
- Avarii- ja hädaolukordade lahendamise eest vastutavad organisatsioonid ja varustus – arendatakse asutuste suutlikkust riigisisese tuumaõnnetuse tagajärgedega toimetulekuks, täiendatakse kiirgushädaolukordade lahendamise plaane, kriisikommunikatsiooni, evakuatsiooni korraldamist, saasteärastusvõimet jne.
- Julgeolekuteenistused – pädevad asutused arvestavad strateegiates, riskianalüüsides jt dokumentides kuritahtlikke või terroristlike rünnakute võimalusega tuumarajatisel.
- Haiglad – arendatakse meditsiinipersonali võimet ja pädevust kiirgusest tingitud tervisekahjustuste diagnoosimisel ja raviks.
- Radioaktiivsete jäätmete ja kasutatud tuumkütuse käitlejad – luuakse võimalused ja oskused kasutatud tuumkütuse ladustamiseks ning tuumajaamas tekkivate radioaktiivsete jäätmete käitlemiseks.
- Toimub riigi eriplaneeringu (REP) koostamine ja mõjude hindamine, sh keskkonnamõju strateegiline hindamine (KSH) – REPi ja KSH algatamise hetkeks peab riigis olema valmidus pärast planeeringu kehtestamist see ka viie aasta jooksul ellu viia (planeerimisseaduse²³ § 53 lg 3). Planeeringu elluviimiseks loetakse ka projekteerimisega alustamine. REP peab hõlmama nii tuumajaama kui ka selle toimimiseks vajalikku taristut. Kui asukoha eelvaliku saab teha n-ö tehnoloogianeutraalselt (alternatiivsetele võimalikele tehnoloogiatele, millest valitakse välja sobilikum), siis REP-i teise etapi detailne lahendus tuleb koostada juba konkreetsele tehnoloogiale ehk esimeses etapis valitud alternatiivile. Samas vähendaks sobivaima tehnoloogia otsustamine juba enne riigi eriplaneeringu algatamist planeeringu ja mõjude hindamise koostamise käigus selliseid vaidlustusi ja kohtuvaidlusi, mis tuginevad liiga vähestele info olemasolule. Riigi eriplaneeringu algatamiseks peavad ellu viidud tegevused, millele tuginedes on võimalik hinnata, et tegevus on põhimõtteliselt tulevikus elluviidav (nt langetatud strateegilised otsused, õigusaktid koostatud). Tuumajaama on võimalik Eestisse kavandada, kui Eestis on võimalik kasutatud tuumkütust lõppladustada. Esimeses etapis koostatav ruumianalüüs annab vastuse, kas Eestis on olemas ruumilised (ennekõike looduskeskkonna ja geoloogilised) eeldused tuumajaama ja kasutatud tuumkütust lõppladustuspaiga kavandamiseks. Kui mõlema jaoks on eeldused olemas, on võimalik tuumajaam planeerida. Rahvusvaheliste standardite kohaselt on kasutatud tuumkütust võimalik tuumajaama juurde kuuluv vaheladustuspaigas hoida tuumaelektrijaama eluea lõpuni (40–80 aastat). Seetõttu planeeringu koostamisel lõppladustuspaika ei planeerita. Seda tehakse vajaduse tekkimisel.

4.1.3. III. etapp

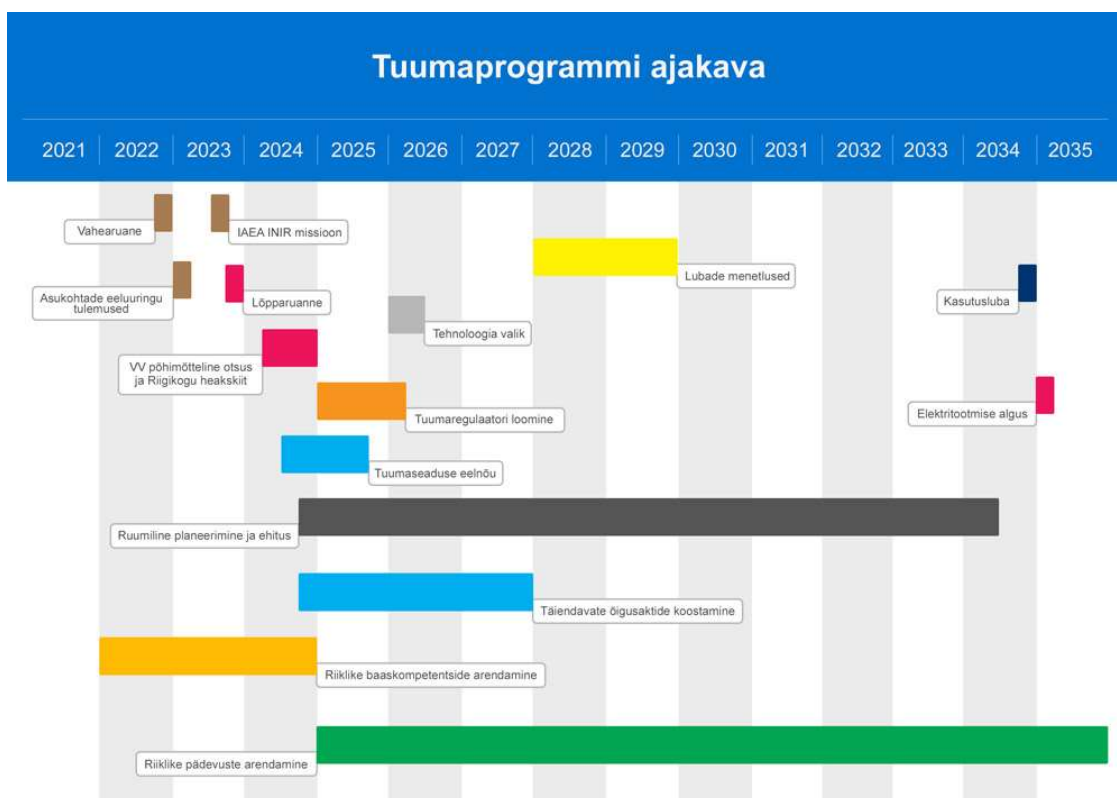
Kolmandas etapis toimuvad tegevused esimese tuumaelektrijaama kasutuselevõtmiseks (lõplik rahastusotsus, lepingute sõlmimine, ehitamine). Etapi lõpuks, mille kestvus võib olla 7–10 aastat, peaks riik olema valmis esimese tuumaelektrijaama kasutuselevõtmise lubamiseks ja kasutamiseks. Tegevused lepingute sõlmimiseks, lubade menetlemiseks ja ehitamiseks. „Teostatavusanalüüs väikse moodulreaktori (VMR) sobivusest Eesti energiavarustuse

²³ <https://www.riigiteataja.ee/akt/129062022009>.

tagamiseks ja kliimaeesmärkide täitmiseks 2030+“ andmete põhjal on ehituskuluks 1,1 mld eurot ühe 300 MW reaktori kohta, millele lisanduvad tööjõu-, lepingute jm kulud.

Etappide pikkus ei ole ajaliselt kindlaks määratud. Iga etapi lõpus tuleb vastu võtta põhimõtteline otsus, millest sõltub järgmise etapi toimumine. Ajaraami surutakse kõik ettevalmistavad tegevused kuni ehituseni ja see, kui kaua iga konkreetne tegevus aega võtab, sõltub planeerimisest. Valgevene tuumajaama ehitamise kogemuse põhjal kestis I. etapp kaks aastat, II. etapp viis aastat ja III. etapp seitse aastat ehk kokku 14 aastat. Araabia Ühendemiraadid rajasid tuumaelektrijaama 12 aastaga. Poola, kes tegi tuumaenergia kasutamiseks põhimõttelise otsuse 2005. a ning alustas ka vastavaid ettevalmistusi, prognoosib esimesest suurest tuumajaamast elektritootmise alguseks aastat 2033. Protsessi pikkuseks on Poola seega planeerinud 28 aastat. Seejuures tuleb tähele panna seda, et senised tuumaprogrammide rakendamise ajakavad tuginevad suurte tuumaelektrijaamade ehitamise kogemusele. Eesti jaoks tinglikult sobivaks peetavate väikereaktorite ehituskogemuse ja selle kasutuselevõtuks kuluva aja kohta maailmapraktika veel puudub. Eelduslikult võiks nende kasutuselevõtuks vajalik aeg olla eelkõige ehitusele kuluva aja osas lühem, kui on suurtel reaktoritel. USA tuumaregulaatori NRC esmasele VMR-ide mõjude hindamise kogemusele tuginedes võib selleks olla umbes kaks aastat. Esimeste omataoliste reaktorite ehitamisele kuluva aja puhul tuleb aga arvestada ka sellega, et neid ehitatakse praegu väga pikaajalise tuumaenergia kasutamise kogemusega riikides, kus on kohapeal olemas kogu vajalik kompetents.

Kui Eestis arvestada I. etapi pikkuseks kolm aastat (põhimõtteline otsus aastal 2024), II. etapiks 7–10 aastat ja III. etapiks viis aastat, siis võiks kõige optimistlikuma stsenaariumi kohaselt Eestis esimene tuumajaam tööd alustada pärast 2035. aastat. Tuumaprogrammi rakendamise võimalik ajakava on esitatud joonisel 14.



Joonis 14. Tuumaprogrammi rakendamise ajakava 2021–2035 (TET). Joonis on illustratiivne.

4.2. IAEA teekaart riikliku tuumaenergia taristu arendamiseks ja ekspertmissioonid

Enne põhimõttelise otsuse vastuvõtmist esimese etapi lõpus peab analüüsima kõiki IAEA poolt ette nähtud 19 tuumaenergia kasutuselevõtu aspekti (juhend „Teekaart riikliku tuumaenergia taristu arendamiseks“²⁴), sh tuvastada tuumajaama rajamiseks potentsiaalselt sobivad asukohad. IAEA juhendi kohaselt analüüsimist vajavate teemade loetelu on esitatud joonisel 15.



Joonis 15. IAEA juhendi „Teekaart riikliku tuumaenergia taristu arendamiseks“ kohaselt analüüsitavad teemad (TET IAEA materjalide põhjal)

Selleks, et hinnata riigi valmisolekut tuumaenergia kasutuselevõtuks, pakub IAEA liikmesriikidele tuumaenergia taristu INIR (*Integrated Nuclear Infrastructure Review*) ekspertmissiooni. **Eesti esitas märtsis 2022 IAEA-le ametliku palve INIR missiooni läbiviimiseks 2023. a teisel poolaastal.** INIR-i käigus hindavad missiooni meeskonda kuuluvad IAEA töötajad ja rahvusvahelised eksperdid seda, kas riik on kõiki 19 tuumaenergia kasutuselevõtu aspekti piisava põhjalikkusega hinnanud ning vajalike tegevuste aja- ja tegevuskavad on realistlikud. INIR-i käigus antakse riigile soovitusi tuumaenergia programmi edukaks rakendamiseks. Kuus kuud enne INIR missiooni toimumist tuleb IAEA-le esitada enesehindamise raport, mis käsitleb 19 tuumaenergia kasutuselevõtu aspekti.

IAEA pakub riikidele INIR missiooni kõigis tuumaenergia kasutuselevõtu etappides, hindamaks riigi ettevalmistust ning valmisolekut järgmisteks sammudeks. Lisaks INIR-ile pakub IAEA liikmesriikidele ka teisi valdkondlike ekspertmissioone, mille läbimine on tuumaenergiat kasutusele võtta soovivatele riikidele soovituslik. Teises etapis tuleks läbida SEED (*Site and External Events Design Review Service*) missioon, mille moodulid käsitlevad asukohavalikut ja selle ohutuse hindamist ning tuumaenergia taristu terviklikku toimimist hindav IRRS (*Integrated Regulatory Review Service*) missioon.

²⁴ <https://www.iaea.org/publications/10873/milestones-in-the-development-of-a-national-infrastructure-for-nuclear-power>.

5. Ülevaade tuumaenergia tööühma tegevusest

5.1. Tuumaenergia tööühma loomine, koosseis ja ülesanded

Vabariigi Valitsuse kabinetiõupidamise 5. novembri 2020 otsusega anti Keskkonnaministeeriumile ning Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumile koos teiste asjaomaste ministeeriumitega korraldus kokku kutsuda riiklik tuumaenergia tööühm (TET). TET-i koosseis kinnitati valitsuskabineti nõupidamisel 8. aprillil 2021. Kokku on TET perioodil mai 2021- mai 2022 kohtunud kaheksal korral: 12.05.2021, 10.06.2021, 29.09.2021, 27.10.2021, 19.01.2022, 09.03.2022, 06.04.2022 ja 25.05.2022. Kohtumiste protokollid ja muud TET-i tegevusega seotud dokumendid on kättesaadavad Keskkonnaministeeriumi temaatilisel veebilehel²⁵.

TET-i juhib Keskkonnaministeeriumi kantsler ning lisaks Keskkonnaministeeriumile on liikmeteks Keskkonnaamet, Siseministeerium, Rahandusministeerium, Justiitsministeerium, Haridus- ja Teadusministeerium, Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, Kaitseministeerium, Välisministeerium, Sotsiaalministeerium ja Riigikantselei. Tööühma liikmete detailsem nimekiri on esitatud lisas 1.

TET-i ülesanded on:

- 1) määrata kindlaks analüüside ja eksperthinnangute vajadus ja tellida need, koostada lähteülesanded ning hinnata esitatud info põhjal tuumaenergia sobivust Eesti energiavarustuskindluse ja -julgeoleku tagamiseks;
- 2) koostada avalikkuse ja huvirühmade kaasamiseks kommunikatsiooni- ja kaasamiskava;
- 3) esitada ettepanekud ja tingimused tuumaenergia kasutuselevõtu küsimuses rahvahääletuse korraldamiseks;
- 4) koostada aja- ja tegevuskava (koos hinnangulise maksumusega) õigusliku ja regulatiivne raamistiku väljatöötamiseks;
- 5) hinnata riiklikku tuumaenergia ja -ohutuse kompetentsi ja nende arendamise vajadust (koos hinnangulise maksumusega);
- 6) koostada aja- ja tegevuskava (koos hinnangulise maksumusega) tuumaenergia kasutuselevõtuks vajalike tegevuste elluviimiseks;
- 7) valmistada ette tuumajaama riigi eriplaneeringu ja keskkonnamõju hindamise protsess, täpsustada selle algatamise eeltingimused;
- 8) hinnata parimaid viise era- ja avaliku sektori koostööks tuumajaama arendamisel;
- 9) esitada oma järeldused ja ettepanekud tuumaenergia kasutuselevõtmise tingimuste ning võimaluste kohta Vabariigi Valitsusele;
- 10) täita muid temaga seotud Vabariigi Valitsuse poolt antud ülesandeid.

TET-i lõppeesmärk on kujundada avalikkusega kooskõlastatud seisukohad tuumaenergia kasutuselevõtmise võimaluste kohta Eestis ning esitada oma järeldused ja ettepanekud Vabariigi Valitsusele. 8. aprilli 2021 valitsuskabineti nõupidamise otsusega seati TET-i töö tulemuste esimese vahearuarande esitamise tähtajaks hiljemalt september 2022. Terviklik

²⁵ <https://envir.ee/keskkonnakasutus/kiirgus/tuumenergia-tooruhm>.

Tuumaenergia töörühma teekaart 2021 - 2022

SEPTEMBER 2021

- Ülevaade riigi energiavajadusest ja energiajulgeoleku tagamisest tuumaenergia vaates, tuumaenergia võimalustest ning sobivusest olemasolevasse elektrivõrku;
- Ülevaade lähiriikide energiamajanduse arengusuundadest tuumaenergia vaates ja koostöövõimalustest kliimaneutraalsuse saavutamiseks;

NOVEMBER 2021

- Arendamisel olevad tehnoloogiad ning realiseeruvad projektid, nende ohutus, jäätmekäitlus koos hinnangu ja ülevaatega Eestile sobilikest reaktoritüüpidest ning nende arendusjärgust;

JAANUAR 2022

- Tuumajaama arendamise võimalused - s.h kas see peaks toimuma riigi või erasektori poolt ning missugused on koostöövõimalused;
- Ülevaade kohustustest (administratiivsed, rahvusvaheliste lepetega seonduvad, rahalised jne), mis riigile tuumaaja rajamise ja kasutamise kaasneksid ning nende võimalikest erisustest lähtuvalt tuumajaama arendajast (riik või eraarendaja);

MÄRTS 2022

Tuumajaamas tekkivate jäätmete käitlemise võimalused ning jaama hilisema sulgemise lahendused (sh hinnang lõpladestuse kuludele ning ülevaade nende rahastamise võimalustest);

MAI 2022

- Valdkondlike õigusaktide, pädevuste, oskusteabe ja olemasoleva tööjõu hetke seis ning arenguvajadused koos võimaliku indikatiivse ajakava ja maksumustega;

JUUNI 2022

- Vahearuaande VV-le esitamiseks ettevalmistamine

SEPTEMBER 2022

- Vahearuaanne

5.2. Ruumiplaneerimise alltöörühm

5.3. Tuumaenergia töörühma 2022.a tegevused ja eelarve

- Tuumaelektrijaama ja kasutatud tuumkütuse lõppladustuspaiga potentsiaalsete asukohtade eelanalüüs – 2022. a väljamakse 50 000 eurot, kogumaksumus 100 000

eurot, töö valmib 2023. a teises kvartalis. Analüüsija leidmiseks kuulutati aprillis 2022 välja rahvusvaheline hange. Selle võitjaks osutus ühispakumuse teinud Skepast&Puhkim OÜ ja OÜ Inseneribüroo STEIGER koostöös rahvusvahelise tuumaekspert Aybars Gürpınariga. Analüüsi käigus selgitatakse välja, kas Eestis leidub asukohti, arvestades looduslikke olusid, keskkonnakaitselisi piiranguid, asustusmustrit, elektrivõrgu võimekust jms, kus oleks otstarbekas tulevikus kaaluda tuumajaama ja kasutatud tuumkütuse lõpladustuspaiga kavandamist.

- Julgeoleku ja hädaolukordadeks valmisoleku analüüs – 50 000 eurot. Analüüsi teevad Rahvusvaheline Kaitseuringute Keskus SA (ICDS) koos Keskkonnaameti ja Sisekaitseakadeemia Sisejulgeoleku Instituudiga. Selles vaadeldakse Eestisse tuumaelektrijaama rajamise võimalikke mõjusid riiklikule julgeolekule ning meie valmisolekut tuumaelektrijaamast lähtuvate hädaolukordadega tegelemiseks. Vaheülevaade valmib septembris 2022, lõppanalüüs detsembris 2022.
- Soome tuumaregulaatori STUK ekspertanalüüs TET-i vahearuandele – 20 000 eurot. Eesti-Soome koostööprojekti raames pakub Soome tuumaregulaatorile kuuluv konsultatsiooniettevõtte STUK International OY vahearuande ülevaatamise teenust ja nõustab analüüsiprotsessi käigus TET-i. Analüüs valmib novembris 2022.
- Meelsusuuring – 4250 eurot. AS-i Emor veebruaris tehtud uuringus „Tuumaenergia valdkonna teadlikkus ning valmisolek tuumaenergia kasutuselevõtuks Eestis“ uuriti elanike teadlikkust tuumaenergiast, hirme ja ootuseid ning info saamise kanalite eelistusi. Meelsusuuringu tulemuste ülevaade on esitatud peatükis 5.5.1.
- Perioodi 2022–2024 kommunikatsioonitegevusteks – 50 000 eurot. Kommunikatsioonistrateegia väljatöötamiseks ning erinevateks kommunikatsiooni toetavateks tegevusteks on sõlmitud leping META Advisory Group OÜ-ga. Kommunikatsioonistrateegia eesmärk on tagada pidev kommunikatsioon tuumaenergia töörühma tegevuste tutvustamisel siht- ja sidusrühmadele ning dialoogi tekitamine kodanikega. Töö käigus koostatakse kahe ja poole aastane (2022–2024) detailne tegevusplaan, et saavutada nii eesti kui vene keelt rääkivate elanike teadlikkuse suurenemine. Töö valmimise tähtaeg on oktoober 2022. Kommunikatsioonipartneri senisest tegevusest on ülevaade esitatud peatükis 5.5.2.
- Tuumaenergia töörühmale inimressursside arendamise strateegia koostamine ja regulatiivse raamistiku kaardistamine – 150 000 eurot (valitsuskabineti otsusega eraldatud lisavahendid). Juulis kuulutati töö tegija leidmiseks välja riigihange, mille võitjalt soovitakse kaardistust Eesti võimaluste kohta tuumaenergia valdkonnas inimressursside arendamiseks ning ülevaadet tuumaenergia kasutuselevõtuks vajaminevast regulatiivsest raamistikust koos ettepanekutega tuumaregulaatori loomiseks. Töö valmimise tähtajaks on hanketingimustes seatud detsember 2022.
- Tuumaprogrammiga alustamiseks vajaliku õigusraamistiku kaardistamine ja tuumaseaduse eelnõu ajakohastamine ning seletuskirja koostamine – 100 000 eurot (valitsuskabineti otsusega eraldatud lisavahendid). Töö tegija leidmiseks kuulutati riigihange välja juulis. Töö eesmärk on õigusaktide kaardistus, tuumaseaduse eelnõu koostamine 2007. aasta tuumaseaduse eelnõu kavandi põhjal ning olemasolevate õigusaktide muutmise/täiendamise vajaduste analüüs. Tuumaseaduse eelnõu ajakohastamise eesmärk on positiivse otsuse korral kiirendada tuumaenergia kasutuselevõtuks vajalikke riiklikke ettevalmistusi. Töö valmimiseks on hanketingimustes seatud kaks tähtaega – õigusraamistiku kaardistus detsembriks 2022 ning tuumaseaduse eelnõu 2023. a esimeses kvartalis.

1. märtsil 2022 loodi TET tegevuste koordineerimiseks Keskkonnaministeeriumisse juurde üks töökoht palgakuluga 48 000 eurot aastas.

5.4. Rahvusvaheline koostöö

Peamiseks rahvusvaheliseks koostööpartneriks kõigil kiirgus- ja tuumaohutusega seotud teemadel on Eestile jätkuvalt IAEA, kes pakub koolitusi, konsultatsioone, ekspertmissioone, koostab juhendmaterjale ja rahvusvahelisi standardeid.

Tuumaenergia teemadel on koostööd ja abi pakkunud USA, Prantsusmaa, Saksamaa, Suurbritannia, Jaapan, Kanada ja Soome:

- Märtsis 2021 (vahetult enne TET-i ametliku koosseisu kinnitamist) toimus Suurbritannia saatkonna vahendusel Keskkonnaministeeriumi, Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi ja Keskkonnaameti veebiülene kohtumine UK ministeeriumite ja tuumatööstuse esindajatega tuumatehnoloogia arendamise ja tehnoloogialase koostöö teemal.
- Septembris 2021 toimus Keskkonnaministeeriumi, Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi ja Keskkonnaameti veebiülene kohtumine Saksa ettevõtetega TÜV SÜD ja TÜV NORD kes pakuvad tuumatehnoloogia (mh regulatsioonide, ekspertarvamuste, koolituste, litsentseerimiste jne) vallas tehnilist tuge. Kohtumise raames anti ülevaade Eesti tuumaenergia töörühma töö hetkeseisust ja tulevikuplaanidest ning arutati võimalike koostöökohti eelkõige koolituste ja õigusloome valdkonnas.
- Septembris 2021 alustas Keskkonnaministeerium Soome tuumaregulaatoriga STUK läbirääkimisi nende kaasamiseks konsultandina TET-i analüüsiprotsessidesse.
- Oktoobris 2021 toimus Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi ja Keskkonnaameti esimene koostöökohtumine Jaapani majandus-, kaubandus- ja tööstusministeeriumile kuuluva tuumaenergia koostöökeskusega JAIF International Cooperation Center (JICC). Edasist koostööd nähakse eelkõige tehnoloogia ülevaadete ja hädaolukordadeks valmisoleku teemadel. Mais 2022 toimus Tallinnas JICC ja Fermi Energia AS-iga koostöös kahepäevane tuumaenergiateemaline seminar. Osadele TET-i liikmetele on JICC eelarvest oktoobriks planeeritud Jaapani tuumatööstust tutvustav külastusreis.
- Novembris 2021 korraldas Prantsuse saatkond Eestis TET-i liikmetele oma riigi tuumatööstust tutvustava seminari ning mais 2022 Viinis TET-i esindajatele oma VMR-i NUWARD esitluse. Lisaks oodatakse TET-i liikmeid 2022. a jooksul külastama Prantsuse tuumarajatisi. Koostööd nähakse eelkõige tuumaalase väljaõppe ja õigusloome valdkonnas.
- Jaanuaris 2022 sõlmisid USA ja Eesti kokkuleppe koostööks USA välisministeeriumi väikeste moodulreaktorite vastutustundliku kasutamise programmi FIRST (*Foundational Infrastructure for Responsible Use of Small Modular Reactor Technology*) raames. Esialgu 2022. aasta lõpuni kavandatud FIRST on oskusteabe suurendamise programm, mille eesmärk on strateegiliste sidemete tugevdamine, energiainnovatsiooni toetamine ning tehnilise koostöö edendamine leppega liitunud riikides ohutu ja turvalise tuumaenergia infrastruktuuri valdkonnas. FIRST esimene veebiülene õppemoodul käsitles tuumaohutust, -julgeolekut ja tuumarelvade leviku tõkestamist. Juunis 2022 hübriidvormis koolitusel keskenduti asukoha valiku küsimustele.

- Mais 2022 kohtuti veebi kaudu Kanada tuumaregulaatori *Canadian Nuclear Safety Commission*iga tuumaalase koostöömemorandumi sõlmimise teemal, mille eesmärk on võimaldada Keskkonnaameti spetsialistidel jälgida Ontario provintsi ehitatava VMR-ile lubade väljastamise protsessi.

5.5. Tuumaenergia kommunikatsioon ja Eesti elanike meelsus

Tuumaenergiateemalise kommunikatsiooni koordineerimisega on tegelenud Keskkonnaministeerium, kes haldab temaatilist veebilehte, kajastab tuumaenergiateemalisi kohtumisi Keskkonnaministeeriumi sotsiaalmeedia lehekülgedel ning vastab meediapäringutele.



Foto 1. Keskkonnaminister Erki Savisaar 1. juunil 2022 Roots Forsmark tuumajaamas. (Keskkonnaministeerium)



Foto 2. Keskkonnaministeeriumi kantsler Meelis Münt ja Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi asekanter Timo Tatar 22. märtsil 2022 toimunud kohtumisel USA välisministeeriumi julgeoleku ja tuumarelvade leviku tõkestamise büroo tegevsekretäri asetäitja Eliot Kangiga. (Keskkonnaministeerium)

5.5.1. Uuring „Tuumaenergia valdkonna teadlikkus ning valmisolek selle kasutuselevõtuks Eestis“

Veebruaris 2022 tegi Kantar Emor Keskkonnaministeeriumi tellimusel 15–74-aastaste Eesti elanike seas uuringu „Tuumaenergia valdkonna teadlikkus ning valmisolek selle kasutuselevõtuks Eestis“²⁶. Uuringu eesmärk on anda ülevaade erinevate elanikegruppide teadlikkusest tuumaenergia valdkonnas, nende ootustest ja hirmudest ning peamistest valdkonda puudutavatest infoallikatest. Uuringus kaardistati:

- Erinevate elektrienergia tootmise viiside tajutud potentsiaal ning inimeste hoiakuline eelistus põlevkivi asendajana.
- Üldine hoiak tuumaenergia kasutuselevõtu suhtes.
- Hinnang enda teadlikkusele tuumaenergiast.
- Tuumaenergia kasutuselevõtiga seotud hirmud ja ootused.
- Valdkonda puudutav infovajadus ning eelistatud infoallikaid.

Uuringutulemustest selgus, et Eesti elanikud on tuumaenergia suhtes positiivselt meelestatud – 59% toetab tuumaenergia kasutuselevõttu, vastuseisu väljendas 22%. Hoiakuliselt näevad Eesti

²⁶ <https://envir.ee/keskkonnakasutus/kiirgus/tuumaenergia-tooruhm>.

elanikud uuringus kaardistatud energialiikidest enim potentsiaali tuuleenergial, mida tõi välja ligi kolmveerand (72%) vastanutest. Päikese- ja tuumaenergiat nimetas võrdselt veidi üle poole (54%) uuringus osalenutest. Järgnevad olmejäätmed (43%) ning põlevkivi (35%). Samas nähakse parima ilmastikust sõltumatu alternatiivina põlevkivile üsna kindlalt tuumaenergiat. Enam kui pool Eesti elanikest peab end tuumaenergia tootmise üldpõhimõttega kursis olevaks, veidi üle kolmandiku hindab valdkonda endale võõraks, kuid on uutest teadmistest huvitatud. Kõrgema teadlikkusega segmentides on tuumaenergia pooldajate osakaal suurem. Suurimaks tuumaenergiaga seotud hirmuks on radioaktiivsete jäätmete käitlemisega kaasnev potentsiaalne keskkonnoaht; ka infovajadus on suurim just selles valdkonnas. Infoallikana eelistatakse tuumaenergia valdkonda puudutavalt televisiooni ja raadiot ning temaatilisi veebilehti.

Uuringutulemuste aruanne on kättesaadav Keskkonnaministeeriumi temaatilisel veebilehel.

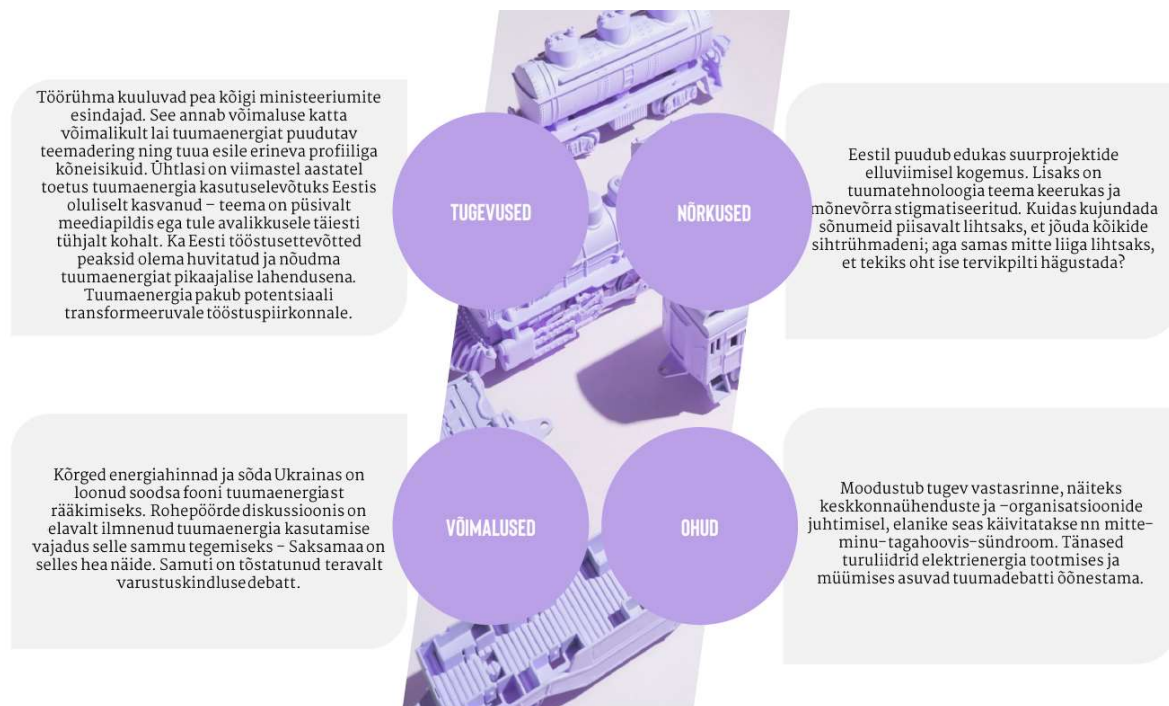
Kuna küsitlus korraldati vahetult enne Ukraina sündmuste algust, millel võib olla Eesti elanike meelsusele märgatav mõju, siis kaalutakse 2023. aasta alguses kordusuuringu tegemist.

5.5.2. Suurimad kommunikatsioonialased väljakutsed ja SWOT analüüs

TET-i kommunikatsioonipartner Meta Advisory Group OÜ on tuumaenergia kommunikatsioonis välja toonud järgmised väljakutsed ja nendega tegelemise võimalused:

- Hirmude maandamine: tuumatehnoloogia kätkeb endas paraku ka riske, millest rääkimine on vajalik. Seejuures tuleb arvesse võtta minevikus toimunud õnnetuste tagajärjel Eesti inimeste teatavat negatiivset eelhoiakut tuumaenergia vastu. Lisaks on viimastel kuudel Ukraina sõja kontekstis üles kerkinud hirmud radioaktiivsete jäätmete puhul. Hirme ei tohi kommunikatsioonis eirata, neid tuleb mõista ja oskuslikult seatud sõnumitega ka adresseerida.
- Sihtrühmade jaoks usaldusväärsate kõneisikute puudumine: tuumaenergia diskussiooni veavad Eestis täna peamiselt eraettevõtjad, keda on lihtne avalikkuse silmis n-ö kasumiahneteks pahalasteks maalida. Koostöö nendega on kahtlemata kommunikatsioonis oluline, kuid kõneisikute mitmekesisus aitaks paremini ka erinevate siht- ja sidusrühmadeni jõuda. Kommunikatsiooni edu võti on võimalikult täpselt defineeritud ja segmenteeritud sihtgrupid.
- NIMBY (not in my back yard ehk mitte-minu-tagahoovis): ehkki uuringute järgi on Eesti elanikkonna üldine suhtumine tuumaenergia kasutuselevõttu pigem toetav (59%), võib see oluliselt muutuda kohe, kui diskussioon jõuab konkreetsete asukohtadeni (isegi teoreetiliselt). Aus ja läbipaistev kommunikatsioon on vajalik, et mistahes motiividel ei kasutataks teemat ühiskonnas vastanduste loomiseks ja debatti ei tapetaks enne, kui see päriselt isegi alata saab.

Kommunikatsioonistrateegia koostamise käigus koostas META Advisory Group OÜ ka esmase tuumaenergia debati SWOT analüüsi (*Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats*), mis on esitatud joonisel 17. SWOT-analüüs on majanduses ja halduses strateegilise planeerimise vahend, millega hinnata objekti hetkeseisu.



Joonis 17. Tuumaenergia debati TNVO-analüüs (SWOT) (META Advisory OÜ)

5.6. Tuumaenergia töörühma 2023. aasta tegevused ja eelarve

Perioodil september 2022 kuni detsember 2023 jätkab TET IAEA juhendis ette nähtud 19 tuumaenergia kasutuselevõtu aspekti hindamist ning koostab paralleelselt Vabariigi Valitusele esitatavat lõpparuannet ja INIR-i missiooni ettevalmistamiseks vajalikku enesehindamise raportit.

2023. aasta eelarves tuleb arvestada INIR-i missiooni tellimiseks vajalike kuludega kuni 66 000 eurot. Osaliselt on missiooni kulusid võimalik siiski eelduslikult katta IAEA vahenditest.

Lõpparuande koostamiseks tuleb riigil lisaks 2022. a eelarvest kavandatud tegevustele analüüsida tuumaprogrammi juhtimise, elektrivõrgu arendamise, rahastamise, hangete, keskkonnakaitse, kiirguskaitse, kaitsemeetmete, tuumkütuse tsükli ja jäätmete käitlemise teemasid. **Rahastust vajab sidusrühmade laiem kaasamine ja eksperthinnangute tellimine.** TET võtab lõpparuande koostamisel arvesse nii teiste riikide praktikaid kui ka erasektori (Fermi Energia AS) tellitud analüüse (nt tarneahela ja rahastamisstrateegiate analüüs, makromajanduslik analüüs), mis vajavad sõltumatute ekspertide poolt valideerimist. Teadusasutuste juurde on vaja täiendava kompetentsi loomist, et riigile oleksid tagatud pädevad partnerid ning riik saaks rohkem tuge ülikoolidelt. Riiklike baaskompetentside loomiseks tuleks eraldada teadusasutustele vahendeid tuumaalasteks täiendkoolitusteks vähemalt 300 000 eurot aastas²⁷.

TET-i lõpparuande koostamiseks vajalikud vahendid planeeritakse riigieelarve koostamise protsessi käigus Keskkonnaministeeriumi eelarvesse.

²⁷ <https://adr.envir.ee/et/document.html?id=cc176847-baaa-4b2c-baca-dc501a4cf4bd>.

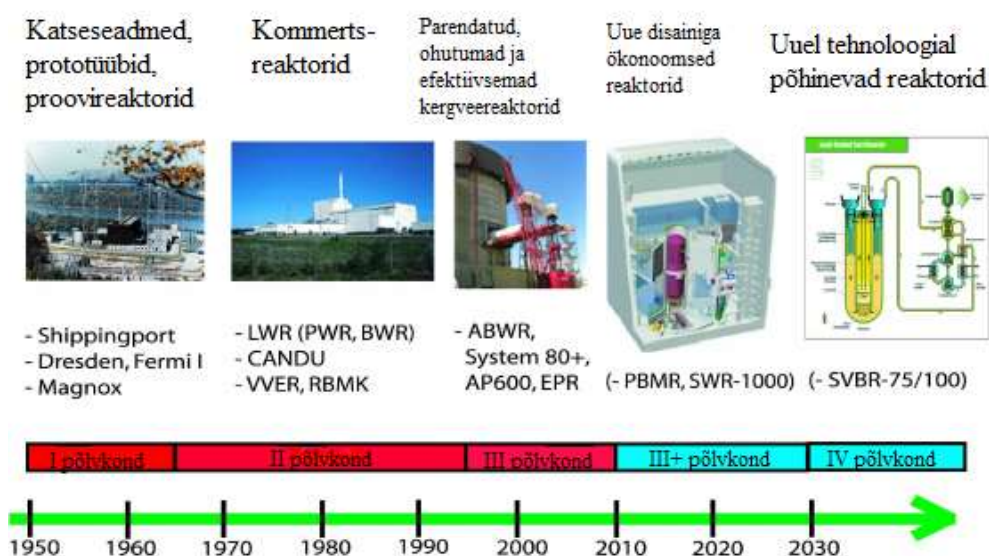
6. Arendamisel olevad tehnoloogiad ja ülevaade Eestile potentsiaalselt sobilikest reaktoritüüpidest ning nende arendusjärgust

6.1. Tuumareaktorite põlvkonnad ja tüübid

Tuumareaktorite tehnilist täiustumist, turvalisuse nõudeid, õigusakte ja rahvusvahelist kontrolli kirjeldatakse reaktorite põlvkondadega:

- I põlvkonda kuuluvad katseseadmed, prototüübid ja mõned proovireaktorid, mida ärielistel eesmärkidel käiku ei lastudki. Praeguseks on need kõik suletud, mitmeid hoitakse alles tehnikaajaloo mälestistena.
- II põlvkonnaks on põhiosa (ca 80%) praegu töötavaist reaktoreist, mis said valmis aastatel 1965–1996. Nende reaktorite tööeks oli arvestatud 30–40 aastat, aga mõned neist on juba ümber ehitatud toimima 50–60 aastat ja arvatakse, et osa reaktoreid võib parandamise ja täiustamisega vastu pidada 80 aastat. Mõned II põlvkonna reaktorid on ehitatud pärast 2000. aastat. Neis on parandatud turvalisust ja planeeritud, et ilma suurema ümberehituseta töötavad need 60 aastat. Neid reaktoreid loetakse mõnikord põlvkonda II+.
- III põlvkonna reaktorite projekteerimise põhimõtted kujunesid välja 1990ndateks. Neis uutes reaktorites on parandatud kütusetehnoloogiat, rohkem on tähelepanu pööratud passiivsetele turvalisuse meetmetele, vähendatud hooldevajadust ja suurendatud efektiivsust. Ühtlasi on neid odavam ehitada ja kasulikum pidada. Paljud praegu töötavad ja ehitatavad reaktorid kannavad tähiseid III+ ja III++. Enamasti on selliste reaktorite puhul tegemist suurte 1000 MW+ reaktoritega.
- IV põlvkonna reaktoreid pole veel ehitatud ning kuigi uurimis- ja arendustöö käib aktiivselt, pole lootust nendega turule tulla enne 2030. aastat. Süsteemide arenduses on rõhk jätkusuutlikkusel, kokkuhoiul, töökindlusel ja turvalisusel.

Tuumareaktorite põlvkondade ülevaade on esitatud joonisel 18.

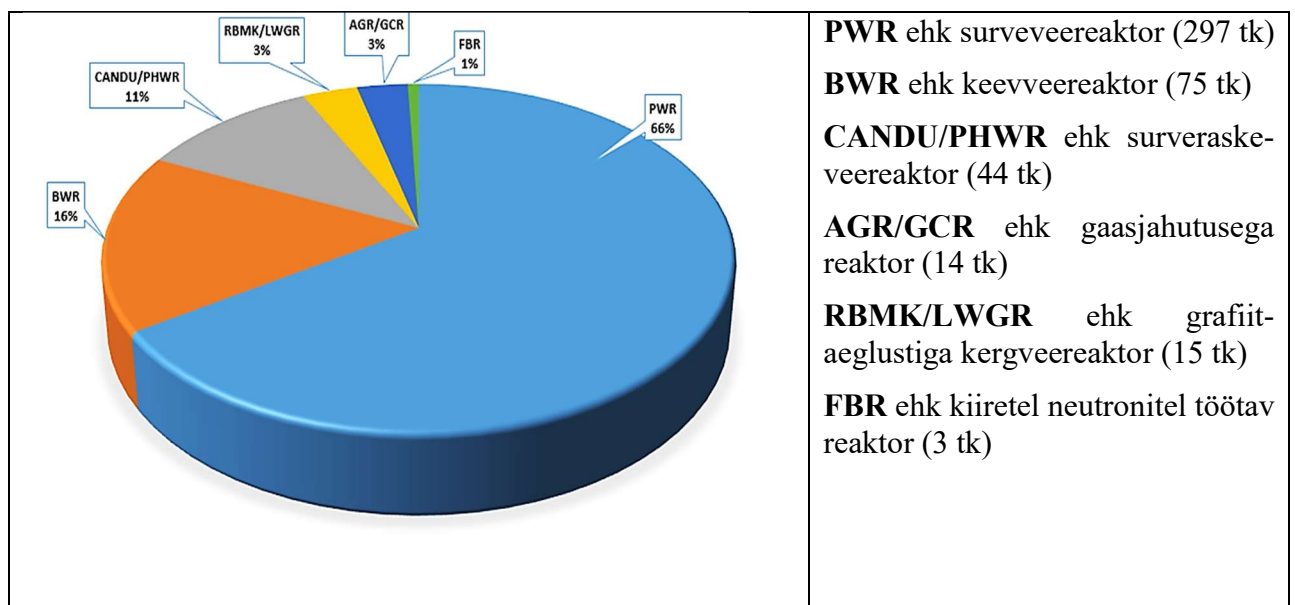


Joonis 18. Tuumareaktorite põlvkonnad (IAEA)

Peamised arendatavad reaktoritüübid:

- gaasjahutusega kiire reaktor – välja töötatud 1970-ndatel, ei ole siiani ühtegi ehitatud;
- pliijahutusega kiire reaktor – kaks eksperimentaalreaktorit USA-s ja Jaapanis;
- sulasoolareaktor – väike prototüüp töötas 1960-ndatel USA-s, projekt lõpetati;
- naatriumjahutusega kiire reaktor – põhineb kaheksa riigi 50-aastasel kiirete neutronreaktorite kogemusel, 2008. aastal USA, Prantsusmaa, Jaapani kokkulepe tehnoloogia edasiarendamiseks;
- ülekriitilise veega jahutatud reaktor – arendab põhiliselt Jaapan;
- ülikõrgetemperatuurne reaktor – aeglase neutronite reaktor, millega töötamisel tuumariikidel varasemad kogemused. Reaktorid väljatöötamisel Jaapanis, Venemaal, Hiinas ja Lõuna-Aafrika Vabariigis.

Kõik nimetatud IV põlvkonna reaktorid on alles arenduses ning ühtegi elektritootmiseks veel ehitatud ja kasutusse võetud ei ole. Ligikaudu 80% tänapäeval kasutusel olevatest tuumareaktoritest kuulub II põlvkonda, mida iseloomustab reaktoridisainide paljusus – iga riik töötab välja oma reaktorilahenduse, mille tööpõhimõte oli küll kas keevveel (*Boiling Water Reactor*, BWR) või surveveel (*Pressurised Water Reactor*, PWR), kuid tehniline teostus ning võimsus väga erinev. Nt on juba ainuüksi Venemaal kasutusel olevate PWR reaktorite võimsuse vahemik 35–1350 MW. III põlvkonna reaktoreid on ehitatud juba suuremate ja standardsemate projekteerimislahenduste kohaselt võimusega 700–1300 MW. Maailmas tänapäeval kasutusel olevate reaktoritüüpide ülevaade on esitatud joonisel 19.



Joonis 19. Maailmas kasutusel olevate tuumareaktorite tüübid (TET IAEA 2019. a andmete põhjal)

6.2. Väikesed moodulreaktorid

Eesti jaoks on peetud tinglikult sobivaks väikeseid moodulreaktoreid (VMR) mis kuuluvad põlvkonda III+ või IV. Väikeste moodulreaktoritena defineeritakse kuni 300 MW võimsusega tuumareaktoreid. Nad on tavapärastest reaktoritest väiksemad ning neid on teooria kohaselt võimalik toota tehases ning monteerida planeeritavas asukohas. Kuigi maailmas on väikeseid tuumareaktoreid ehitatud juba 1950ndatest aastatest, ei ole nende puhul siiski tegemist lihtsalt toodetavate ja paigaldatavate moodulreaktoritega, vaid konkreetse asukoha jaoks mõeldud

nišitoodetega. Esimeseks moodulreaktoriks võib pidada Venemaal Rosatomi poolt Peterburis ehitatud ujuvtuumaelektrijaama Akademik Lomonosov²⁸, mis valmis aastal 2018. Jaam transporditi Peterburist mööda Läänemerd Tšukotkale Peveki sadamasse, kus see 2020. a maikuus elektri- ja soojusenergia tootmist alustas.

VMR-ide jaoks on mitu disainilahendust alates olemasolevate tuumareaktorite konstruktsioonide vähendatud versioonidest (III+) kuni täiesti uute ehk nn IV põlvkonna lahendusteni. Välja on pakutud nii sulasoola, sulametalli, termoneutron- kui ka kiire-neutron reaktoreid. Maailmas on hetkel arendamisel üle 70 moodulreaktori tüübi. VMR-ide arendamise vastu on huvi suurenenud viimase kümne aasta jooksul, sest suurte tuumajaamade rajamine on muutunud väga kalliks ja ajamahukaks. Reaktorite rajamine moodulite kaupa ning väiksemana võimaldab eelduslikult saavutada väiksemat rahalist kogukulu, elektrivõrku sobivamat tootmisvõimsust, suuremat ehituskindlust. Väiksematel reaktoritel on ka teatud ohutuseeliseid – väiksem ohuala, konstruktsioonilised ja füüsikalised lahendused. Olulisim etapp uue reaktortehnoloogia energiatootmisse toomisel on ehitusloa saamine ehk litsentseerimine riiklike pädevate asutuste poolt. Moodulreaktoreid arendavad jõuliselt USA, Venemaa ja Hiina. Esimesed maismaa moodulreaktorid peaksid reaktoritootjate plaanide kohaselt tööle asuma 2028.–2030. aastatel. Kinnitatud VMR-i ja uut tüüpi reaktorite projektide loetelu on esitatud tabelis 3.

Arendaja/reaktor	Klient	Asukoht	Võimsus (MW)	Kasutuselevõtt
NuScale	UAMPS	Idaho, USA	6 x 77	2029
	KGHM Polska Miedz	Poola	6 x 77	2029
	Nuclearelectrica	Rumeenia	6 x 77	2028
GE Hitachi BWRX-300	OPG	Ontario, Kanada	300	2028
	TVA	Tennessee, USA	300	2032
	Synthos & Orlen	Poola	300 (kuni x 10)	2030ndate algus
Holtec SMR-160	?	New Jersey, USA	160	2030
X-energy Xe-100	Grant Country PUD	Washington, USA	4 x 80	2027
TerraPower	Pacific Corp.	Wyoming, USA	345-500	2028
ARC	NB Power	New Brunswick, Kanada	100	2030
Moltex	NB Power	New Brunswick, Kanada	300	2032
?	SaskPower	Sask, Kanada	~ 4 x 300	2032–2042

Tabel 3. VMR ja uut tüüpi reaktorite projektid (Nuclear Energy Insitute)

Järgmisena on tabelis 4 esitatud ülevaade kuuest VMR-i projektist, nende ohutustest ja jäätmekäitlusest koos hinnangu ja ülevaatega nende sobivusest Eestile ning nende arendusjärgust:

²⁸ <https://www.power-technology.com/projects/akademik-lomonosov-nuclear-co-generation-russia/>.

Nr.	Disain	Võimsus MW(e)	Reaktoritüüp	Arendajad	Riik
1.	NUWARD	2 × 170	PWR	EDF, CEA, TA, Naval Group	Prantsusmaa
2.	UK SMR	470	PWR	Rolls-Royce and Partners	Ühendkuningriik
3.	NuScale	12 × 77	PWR	NuScale Power Inc.	USA
4.	BWRX-300	270–290	BWR	GE-Hitachi Nuclear Energy and Hitachi GE Nuclear Energy	USA, Jaapan
5.	SC-HTG	272	HTGR	Framatome, Inc.	USA
6.	Integral MSR	195	MSR	Terrestrial Energy Inc.	Kanada

Tabel 4. Valik arendamisel olevaid VMR-e (TET IAEA ARIS andmete põhjal)

Tabelis toodud reaktoritüüpidest esimesed neli on vesijahutusega (survee- või keeveereaktorid), viies gaasijahutusega ning kuues sulasoolareaktor. Ülevaatesse valitud reaktorite tehnilised andmed on võetud IAEA 2020. a ülevaateraportist „Advances in Small Modular Reactor Technology Developments“²⁹, IAEA ARIS andmebaasist³⁰ ning arendajate kodulehtedel avaldatud materjalidest.

6.2.1. NUWARD, EDF, Prantsusmaa

Esimese prototüübi (FOAK) valmimise eeldatav aeg: 2030 Tüüp: surveeereaktor (PWR) Võimsus: 340 MWe Kütus: UO ₂ Rikastusaste ≤ 5% Planeeritav eluiga: 60. a Kütuse vahetamise sagedus: kord 2. a jooksul	
--	--

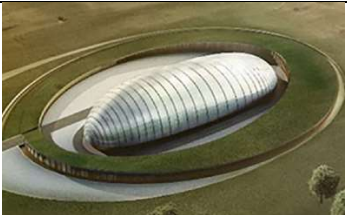
NUWARD™-i arendatakse III+ põlvkonna VMR tuumaelektrijaamana ning selle planeeritud elektritootmise võimsuseks kahest sõltumatust reaktorimoodulist on 340 MW(e). Disain näeb ette ohutuse tagamist passiivsete lahenduste kaudu ning välise elektrilise toiteallika olemasolu pole vajalik. Soojusvaheti (veesein) toimib katkestuse korral sekkumiseta vähemalt kolm päeva. Jaama on selle võimsusnäitajate tõttu lihtne integreerida pea iga riigi elektrivõrku ning see sobib nt fossiilkütusel töötavate jaamade asendamiseks või taastuvenergia toetamiseks. Hooajaliste kõikumiste arvesse võtmiseks pakuvad kaks eraldi toimivat reaktorit operaatorile mitmeid lahendusi hooldusgraafiku kohandamiseks vastavalt võrgu tarnevajadustele. Reaktorite kütusevahetuse ja hoolduse ajaks ei pea jaama seiskama ning üks reaktor võib teise hoolduse ajal jätkata elektritootmist. Jaama 60-aastane eluiga on planeeritud arvestusega, et reaktorid töötavad 90% võimsusega. Suuremad kavandatud kütusevahetuse katkestused kestavad 15 päeva iga 24 kuu järel. Jaam mahutab kümne aasta jooksul tekkiva kasutatud

²⁹ https://aris.iaea.org/Publications/SMR_Book_2020.pdf.

³⁰ <https://aris.iaea.org/>.

tuumkütuse, kuid projekti valikus on ka 20-aastase jäätmekoguse mahutamise variant. Eraldi jäätmekäitlusplaani reaktoris tekkivale kasutatud tuumkütusele arendaja välja pakkunud pole ning järgitakse valdkondlikke parimaid praktikaid. Kütusena kasutatakse PWR reaktorite tavapäraselt kuni 5% rikastusastmega uraandioksiidi (UO_2) 17 x 17 kütusekoostudes. Asukohanõuete poolest sobivad NUWARD reaktoritele tavapärase kondensaatorjahutuse korral mere- ja/või jõeäärsed alad, kuid aerokondensaatorite kasutamisel on võimalik ehitamine ka sisemaale. Jaam tööprotsessides on vett vaja erinevate kohapealsete mahutite, veeahelate ja veeseina täitmiseks ning tavapärase kondensaatorjahutuse korral avatud ahelaga konstruktsiooni korral pideva jahutusvee voolu tagamiseks. NUWARD põhivõrgu liides vastab Euroopa põhivõrguettevõtjate võrgustiku ENTSO-E ja EUR nõuetele (tavaliselt 225 kV/400 kV ja 50 Hz). Võimalik on kohandamine ka konkreetsete kasutajanõuetega, näiteks 60 Hz.

6.2.2. UK SMR, Rolls-Royce and Partners, Ühendkuningriik

FOAK valmimise eeldatav aeg: 2030 Tüüp: surveveereaktor (PWR) Võimsus: 470 MWe Kütus: UO_2 Rikastusaste 4,95% Planeeritav eluiga: 60. a Kütuse vahetamise sagedus: kord 1,5-2. a jooksul	 
---	--

Ühendkuningriigi VMR disain põhineb ennast tõestanud tehnoloogiatel (III+), mida on täiustatud, ja hõlmab minimaalseid regulatiivseid riske. Kolmeosaline PWR kasutab standardset kuni 4,95% rikastusastmega UO_2 17 x 17 kütusekoostudena ning selle elektritootmisvõimsus on 470 MW(e). Ühes reaktoris on 121 kütusekoostu. Jaam on peamiselt ette nähtud elektri baaskoormuse tagamiseks nii rannikul kui ka sisemaal. Disaini saab konfigureerida nii, et see jaam toodaks lisaks elektrienergiale ka soojust või vesinikku. Jaama soojusvõimsuseks on 1276 MW(t). Disain sisaldab mitut aktiivset ja passiivset ohutuse tagamise süsteemi. Passiivsed ohutussüsteemid tagavad jaama ohutuse välise voolu ja inimisekkumise vajaduseta kolmeks päevaks. Arvutusliku ohutushinnangu põhjal on täisvõimsusega töötamisel jaamas rikestest põhjustatud tuumakahjustuste sageduse tõenäosuseks $< 10^{-7}$ aastas. Projekteerimisel on arvestatud nii sisemiste kui ka väliste ohuteguritega, sealhulgas lennuki reaktori peale kukkumise ja tsunamiga. Reaktori kütuse vahetamise tsükkel on 18–24 kuud. Kütuse vahetusest tekkiva katkestuse kestus on praegu hinnanguliselt 18 päeva, kuid ettevõtte esindajate sõnul on eesmärgiks 9 päeva. Kasutatud tuumkütus ladustatakse välisesse kasutatud tuumkütuse basseini, enne kui see viiakse pikaajalisesse kuivhoidlasse. Jäätmekäitluses on kavas kasutada traditsioonilise tuumkütuse käitlemise praktikaid ning erilahendusi kavandatud pole.

6.2.3. NuScale, NuScale Power Inc., USA

FOAK valmimise eeldatav aeg: 2027
Tüüp: surveveereaktor (PWR)
Võimsus: 924 MWe (12x77); 308 MWe (4x77); 462 MWe (6x77)
Kütus: UO_2
Rikastusaste: $\leq 4,95\%$
Planeeritav eluiga: 60. a
Kütuse vahetamise sagedus: kord 2 a jooksul



NuScale Power Module on väike PWR reaktor, mis põhineb laialt kasutataval tehnoloogial (III+). Jaam on skaleeritav ja selle saab ehitada nii, et see mahutaks erineva arvu reaktoreid, et rahuldada kliendi vajadust. Ühe reaktori võimsuseks on 77 MW(e) ning 12 mooduliga jaama võimsuseks on 924 MW(e). Kaheteistkümnest moodulist koosnev konfiguratsioon on võetud aluseks ka projekteerimis- ja litsentsimistegevustes. Iga reaktor on iseseisev moodul, mis töötab mitme mooduliga konfiguratsioonis teistest sõltumatult. Kõiki mooduleid hallatakse ühest juhtimisruumist. Jaama on võimalik kasutada ka soojatootmiseks. NuScale'i jaama disainis kasutatakse passiivseid ohutussüsteeme, mis võimaldavad piiramatult toime tulla ilma toite, operaatori tegevuse või lisavarustusega. Jaam kasutab tuuma jahutusvedeliku voolu tagamiseks loomulikku tsirkulatsiooni, välistades vajaduse reaktori jahutusvedeliku pumpade järele. Kütusena kasutatakse standardset kuni 4,95% rikastusastmega UO_2 17 x 17 kütusekoostudena. Koostete geomeetria reaktoris seotud reaktoritehnoloogiaga. Ühes reaktoris on 37 kütusekoostu ja 16 juhtvarda koostu. Jaama ohutussüsteemid tagavad reaktorisüdamiku jahutuse ka raskete õnnetuste korral ning hõlmavad isolatsioonianumat, passiivseid soojuse eemaldamise süsteeme ja raskete õnnetuste leevendamise funktsioone. Iga reaktorimoodul töötab teistest moodulitest sõltumatult. Mooduli tankimiseks lahutatakse see tööruumist ja viiakse tankimisaladeks jagatud reaktoribasseini. Pärast mooduli sektsioonide kontrollimist ja südamiku kütusega täitmist pannakse moodul uuesti kokku, viiakse tööruumi ning ühendatakse uuesti auru- ja toiteveetorustikuga. Teised jaama moodulid jätkavad tööd, kuni ühes moodulis kütust vahetatakse. Kütusevahetus toimub 24-kuulise tsükliga ning selle protsessi käigus eemaldatakse üks kolmandik kütusekoostudest ja paigutatakse kasutatud tuumkütuse basseini. Kasutatud tuumkütuse hoidlates on piisavalt hoiuruumi umbes 18 aastaks, sealhulgas viie defektse kütusekomplekti ja mittekütusepõhiste tuumakomponentide jaoks, nagu juhtvarda koost. Jaama juurde kuulvas kuivhoidlas on projekti järgi ruumi kogu jaama 60-aastase eluea jooksul toodetud kasutatud tuumkütusele. Kasutatud tuumkütuse käitlemiseks ega ladustamiseks arendaja erilahendusi ette ei näe, lähtutakse valdkondlikust praktikast.

6.2.4. BWRX-300, GE-Hitachi, USA-Jaapan

FOAK valmimise eeldatav aeg: 2028
Tüüp: keevveereaktor (BWR)
Võimsus: 270–290 MWe)
Kütus: UO_2
Rikastusaste: 3,40–4,95%
Planeeritav eluiga: 60 a
Kütuse vahetamise sagedus: kord 1-2 a jooksul

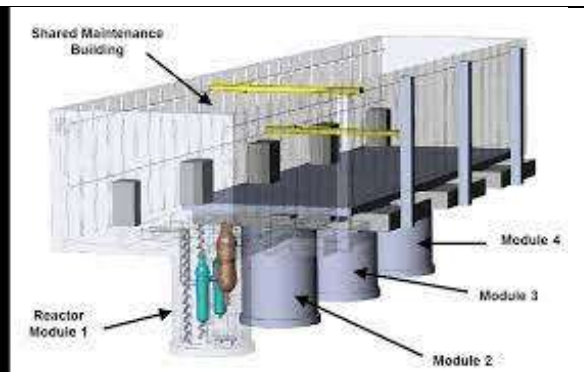


BWRX-300 on 300 MW(e) loomuliku tsirkulatsiooniga keevveereaktor (BWR). Tegemist on General Electricu alates 1955. aastast arendatava kõige lihtsama tuumareaktori disaini 10. põlvkonnaga (III+) ning on edasiarendus 1520 MW(e) ESBWR reaktorist. BWRX-300 sihttrakenduste hulka kuuluvad elektritootmine ja kaugküte. BWRX-300 reaktor kasutab traditsioonilist kuni 4,95% rikastusastmega UO_2 kütust 10 x 10 koostudes. Ühes reaktoris on 240 kütusekoostu. Põhiline ohutusdisaini filosoofia on üles ehitatud loomulike meetmete (nt suuremad struktuurimahud ja veevaru) kasutamisele, mis võimaldavad leevendada õnnetusi ilma elektrivooluta. Kasutatakse ka põhilisi ohutusfunktsioone, nagu kaitseliinid ja füüsilised tõkked. Passiivsed ohutussüsteemid on kavandatud kahekordselt. Reaktorituumas kahjustuse esinemise tõenäosuseks aastas on 10^{-7} ning suurema radioaktiivse materjali emissiooni tõenäosuseks 10^{-8} aastas. Personalivajaduseks prognoositakse 75 inimest üheks vahetuseks. Kütusevahetuse tsükkel on 12–24 kuud ning selle kestuseks 10–20 päeva. Korraga vahetatakse välja 15–25% kütusest. Suurem osa reaktorist paikneb allpool maapinda. Reaktorisüdamikust eemaldatuna hoitakse kasutatud kütust reaktorihoone sees olevas kütusebasseinis kuus kuni kaheksa aastat, seejärel paigutatakse mahutitesse ning viiakse reaktorihoonest välja. Jäätmekäitluslahendustes kasutatakse parimat valdkondlikku praktikat ning erilahendusi arendaja pole ette näinud.

Detsembris 2021 teatas Ontario Power Generation (OPG), et teeb koostööd GE Hitachi Nuclear Energyga kuni nelja BWRX-300 reaktori ehitamiseks Darlingtoni Kanadasse. Esimene reaktor peaks tööd alustama 2028. aasta lõpus. Loamenetlus kestab eelduslikult kaks aastat, jaama ehitus kolm aastat.

6.2.5. SC-HTGR, Framatome Inc., USA

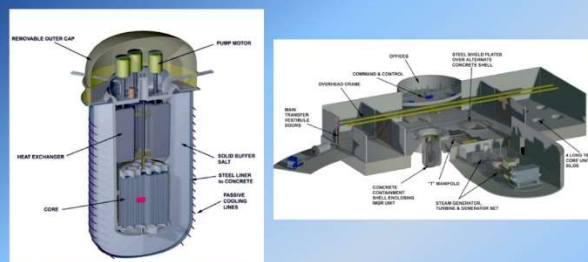
FOAK valmimise eeldatav aeg: 2033
Tüüp: gaasjahutusega (heelium) reaktor
Võimsus: 272 MWe
Kütus: TRISO (UCO),
Rikastusaste: 14,5–18,5%
Planeeritav eluiga: 80. a
Kütuse vahetamise sagedus: kord 1,5–2 a jooksul



Framatome SC-HTGR on grafiitaeglustiga heeliumjahutusega kõrge temperatuuriga reaktor. Selle soojusvõimsuseks on 625 MW(t) ja elektrivõimsuseks 272 MW(e). Reaktor toodab kõrge temperatuuriga (750°C) auru, mis sobib paljudeks rakendusteks, nagu elektri, soojuse ja vesiniku tootmine. SC-HTGR-i ohutusprofiil võimaldab selle rajada kõrge temperatuuriga auru kasutavate tööstusrajatiste juurde ning võib avada olulise uue tee tuumaenergia kasutamiseks. SC-HTGR kontseptsioon põhineb Framatome varasematel HTGR-projektide kogemustel, samuti viimastel aastatel modulaarsete HTGR-ide arenduse ja disaini edusammudel. Üldine konfiguratsioon kasutab täielikult ära varasemate HTGR-i kontseptsioonidega tehtud tööd. Ohutuse tagamise keskmeks on passiivne jääksoojuse eemaldamine ning TRISO-ga kaetud kütuseosakeste omadused. TRISO-ga kaetud kütuseosakesed koosnevad uraanoksükarbiidi (UCO) kütusetuumast, mida ümbritsevad mitmed keraamilised kattekihid, mis tagavad esmaste lõhustumisproduktide kinnipidamise õnnetusjuhtumite tingimustes. Kütuse koguarvu sisaldab ligikaudu 10 miljardit sellist osakest südamiku kohta. Osakesed on jaotatud grafiitsete

6.2.6. Integral MSR, Terrestrial Energy Inc., Canada

TERRESTRIAL ENERGY INTEGRAL MOLTEN SALT
BURNER REACTOR IMSR
THOR II



NP RE ILLINOIS
Department of Nuclear, Plasma, and Radiological Engineering

47

võimalik transportida mööda maanteid. Disainis on lähtunud USA-s Oak Ridge National Laboratories poolt 1950–1970ndatel arendatud MSRE eksperimentaalreaktoritest ning välja töötatud komponentidest. Kütusena kasutatakse sulatatud fluoriidi kütusesoola uraan tertrafluoriidi (UF₄), mis toimib ka esmase jahutusvedelikuna ja ringleb grafiitaeglustiga südamikü ja primaarse soojusvahetite vahel. Võrreldes MSRE eksperimentaalreaktoriga on võtmeinnovatsiooniks kõigi primaarpumpade ja -soojusvahetite integreerimine suletud ja tervikuna vahetatavasse reaktorianumasse. Sekundaarses jahutusahelas kasutatakse samuti fluoriidsoola, kuid ilma lisatud kütuseta, ning see kannab soojuse reaktorisüdamiku soolast primaarse soojusvahetite kaudu kolmandasse soolaahelasse, mis varustab aurugeneraatoreid. Auruahel varustab tavapäraselt tööstuslikku auruturbiini, mis on ette nähtud energia ja/või tööstusliku auru tootmiseks, olenevalt soovitatavast rakendusest. Teise võimalusena võib osa või kogu kuumat soola juhtida otse soojusrakendusse. Sulatav kütus ei lagune kuumuse ega kiirguse toimel. Väljalülitusvõime on integreeritud südamikuseadmesse ja lülitavad reaktori välja sundtsirkulatsiooni kadumisel ja sisemise voolu kadumisel. Täiendav varuseiskamismehhanism hõlmab neutroneid neelava materjaliga täidetud anumaid, mis lülitavad reaktori väga ebatõenäoliselt esineva ülekuumenemise korral jäädavalt välja. Värske kütus tuuakse elektri jaama alale tahke aine, kus see sulatatakse ja lisatakse reaktori südamikule. See võimaldab reaktoril töötada võrgupõhise tankimisega. Lisaks, erinevalt tahkekütuse reaktoritest ei ole täiendava tankimise ajal vaja eemaldada südamikus olevat kütust. Kogu kütus jääb suletud süsteemi kogu südamiku seitsmeaastaseks elueaks. Pärast seda suletakse südamikuplokk ja pärast jahtumisperioodi pumbatakse kasutatud kütus reaktorianumas asuvatesse mahutitesse. Reaktorihoones on reaktoritele kaks allpool maapinda asuvat silo. Enne südamikuploki seiskamist selle kasutuse lõpus paigaldatakse kõrvalolevasse silosse uus südamik, et valmistada sekundaarse jahutusvedeliku soolakontuuri ümberlülitamiseks lõppenud kasutusega südamikuplokilt uuele südamikule. Pärast ümberlülitamist jääb kasutatud südamikuüksus oma töösilosse seni, kuni see on kütusest tühjendatud kasutatud tuumkütuse mahutitesse. Seejärel viiakse kütusest vabastatud südamikuplokk sildkraanaga reaktori abihoonesse pikaajalisele ladustamisele. Seejärel saab tühja töösilosse paigaldada kolmanda südamikuüksuse, mis on valmis alustama seitsmeaastast töötust, kui teine töötav südamikuplokk jõuab kasutuse lõppu ja suletakse. Kasutatud vedelkütust on lihtsam ringlusse võtta kui tahkekütuse elemente. Terrestrial Energy ideeks on luua keskne kütuse taaskasutuskeskus, mis teenindaks paljusid IMSR-i elektri jaamu.

6.3. Eestile sobivaima VMR-i valikukriteeriumid

Arvestades, et Eestis puudub varasem tuumarajatiste käitamise kogemus ja vaja on luua baaskompetents ning tagada spetsialistide väljaõpe, on IAEA eksperdid soovitanud tehnoloogia valikul lähtuda järgmistest põhimõtetest:

- Välistada esimene omataoline (*First of a Kind*, FOAK) – Eesti ei tohiks lasta reaktorite arendajal riiki ehitada esimest omataolist jaama, sest nende käitamine võib osutuda keerukaks ka kogenud tuumariigile ning protsessis on palju määramatust. Sobiva reaktoritüübi valikul on soovitusena vaadata kuskil juba kommertskaasutusse võetud reaktoreid, mille ehitusprotsessi, maksumuse, kütuse ja varuosade tarneahela kohta on piisavalt infot ning lahendusi.
- Mitte valida tehnoloogiat, millega on väga vähe kogemusi – kui valitakse väga eksklusiivne reaktoritüüp, mida pole tuumaenergia tootmise ajaloo vältel piisavalt katsetatud, võib tehniliste rike kõrvaldamine osutuda keeruliseks ning aeganõudvaks,

sest tehnoloogiaekspertide ring on väga väike. Samuti võib selliste reaktorite puhul osutada keeruliseks vajalike varuosade hankimine, korrapärane hooldus, kütusevahetus, regulaatori ja operaatori töötajate koolitamine.

- Valida reaktoritüüp, millele toodab kütust mitu tootjat – väga ainulaadset kütust kasutava reaktori puhul on keeruline leida alternatiivseid tootjaid ning suure tõenäosusega sõltutakse vaid ühest pakkujast, mis võib ohustada tarnekindlust. Uute tuumariikide kogemused näitavad, et kütusevarustuse tagamine on tehnoloogia kasutuselevõtul olulise tähtsusega. Tavaliselt sisaldub ehituslepingus vaid kütuse esialgne saadetus ja paar lisasaadetist. Pikaajaline kütusevarustus tagatakse ühe või mitme lisalepinguga. Praegu ei ole ükski uus tuumariik võtnud oma tuumaenergia programmi osaks uraani rikastamise või tuumkütuse komponentide tootmise arendamist.
- Valida tehnoloogia, millele on lähiriikides olemas tehniline oskusteave – kui operaatori ja tuumaohutuse valdkonnas pädeva asutuse personali on võimalik koolitada lähiriikides ning seal on konkreetse reaktoritehnoloogia kasutamise kogemus, siis võimaldab see olulist kulude kokkuhoidu ning tagab võimalike rikete korral kiirema tehnilise abi. Kui lähiriikides on juba otsus konkreetse tehnoloogia kasuks tehtud, siis on sama reaktoritüübi kasutuselevõtmine oma riigis lihtsam, sest võimalik on tugineda teise riigi kogemusele ja praktikale, korraldada ühishankeid, koolitusi jne.

Eespool toodud soovitusel ei välista IV põlvkonna tehnoloogia kasutuselevõttu Eestis, kuid seda eeldusel, et soovitava reaktori kasutuselevõtmise hetkel on olemas nii kütusetootmise kui ka vajalike komponentide tarneahelad ning piisavalt oskusteavet. Tehnoloogia korral, mille jaoks on turul vähem pakkujaid, tuleb algusaastatel arvestada kõrgemate käitamiskuludega ning suuremate investeeringutega. FOAK valmimise tähtajad on lähemal III+ tehnoloogial põhinevatel vesijahutusega reaktoritel, sest nende komponentide tootmise jaoks on juba täna olemas suurem osa taristust. Esimesed reaktorid valmivad 2028. aastal. Samuti on nende litsentseerimine lihtsam ning kiirem, sest regulaatorid saavad selle tehnoloogia puhul suures osas tugineda olemasolevatele standarditele ja juhendmaterjalidele. Tuumahutust käsitlevad standardid ja juhendid on enamjaolt rakendatavad ka IV põlvkonna tehnoloogiale, kuid üle tuleb vaadata mõningad hädaolukordadeks valmisoleku ja radioaktiivsete jäätmete käitlemise meetmed. Samuti on vaja uusi õiguslikke meetmeid nt juhtudeks, kui kütuse laadimine reaktoris toimiks juba tehases. Esimesed IV põlvkonna reaktorid jõuavad kommertskasutusse eeldatavasti 2030ndate alguses ehk mõned aastad hiljem kui III+ tehnoloogia väikereaktorid ning nende kasutuselevõttus oleks mõistlik koostööd teha lähiriikidega.

Fermi Energia AS näeb suurimat potentsiaali GE-Hitachi, Rolls-Royce and Partners ja NuScale reaktoritel, mille arendajatele plaanitakse käesoleva aasta sügisel esitada ka esialgsed pakumispäringud. Selle põhjal tehakse 2023. aasta alguses esmane tehnoloogiavalik. Juhul kui valitud reaktoritüübi esimese prototüübi valmimisel toimuvad olulised (üle 33%) tehnoloogiatarbijast sõltuvad tähtja ja eelarveületused, siis kuni 2026. aastani jäetakse võimalus valikut muuta.

7. Tuumajaamas tekkivad jäätmed, nende käitlemine ja ladustamine

7.1. Tuumkütusetsükli tekkivad jäätmed

Tuumkütusetsükli tekkivad jäätmed jagunevad sõltuvalt nende aktiivsusest ja eriaktiivsusest, poolestusajast, kiirguse liigist, radioaktiivsel lagunemisel tekkivast soojuse hulgast järelikult:

- Vabastatud jäätmed – võib käidelda sarnaselt mitteradioaktiivsete jäätmetega, taas- ja korduskasutada või standardsete vahenditega töödelda enne keskkonda vabastamist.
- NORM (ingl k *Naturally Occuring Radioactive Material*) ehk looduslikku radioaktiivset materjali sisaldavad jäätmed – sisaldavad suures koguses madala kontsentratsiooniga looduses esinevaid radionukliide. Tekivad uraani ja teiste mineraalide kaevandamisel ja töötlemisel.
- Madala ja keskmise aktiivsusega radioaktiivsed jäätmed – asjad (rõivastus, seadmed), mida on kasutatud radioaktiivsete ainete käitlemispiirkonnas. Samuti saastunud pinnas, ehitusmaterjalid, jahutustiikide muda jm. Mahu ja aktiivsuse vähendamiseks saab jäätmeid täiendavalt töödelda.
- Kõrgaktiivsed jäätmed – tuumareaktorite kasutatud tuumkütus või kõrge aktiivsusega vedelik, mis tekib kütuse töötlemisel. Kõrgaktiivsete jäätmete, mille hulka kuulub ka kasutatud tuumkütus, tekkehulgad moodustavad vaid väga väikese osa radioaktiivsetest jäätmetest, kuid nende ohtlikkus ning pikaajalisus muudab nende jäätmete hoiustamise komplitseeritumaks. Kõige turvalisem pikaajaline lahendus nende jäätmete ladustamiseks on sügaval maapõues (üle 200 m sügavusel), kus need võivad kõige tõenäolisemalt jääda puutumata õnnetustest, tulekahjudest või maavärinatest.

Madala ja keskmise tasemega jäätmeid võib ladustada maapinna lähedastes hoidlates. Geoloogilist lõppladustamist vajab ca 3% tuumajaamas tekkivaid jäätmeid. IAEA 2021. a andmetel on maailmas tuumaenergia kasutamise enam kui 60-aastase ajaloo vältel tänaseks tekkinud kokku ca 300 000 tonni kasutatud tuumkütust. Aastas tekib kasutatud kütust maailmas 442 reaktori peale kokku ca 7000 tonni.

Tuumajaamast pärinevate jäätmete kogumaht ja radioaktiivsuse osakaal on esitatud joonisel 20.

Tuumajaamast pärinevate jäätmete kogumaht



Joonis 20. Tuumajaamast pärinevate jäätmete kogumaht (World Nuclear Association)

7.2. Kasutatud tuumkütuse käitlemine ja ladustamine

Enamikus reaktorites kasutatakse kütusena uraandioksiidi, mille aktiivsus on väga madal ja erikäitlemist ei vaja. Reaktoris toimub energia tootmine tuumareaktsioonide abil uraani n-ö põletades, mille tulemusena muudetakse osa uraanist aga uuteks elementideks. Tänapäevastest reaktoritest pärinev kasutatud tuumkütus sisaldab umbes 94% uraani, 5% lõhustumissaaduseid ja 1% plutooniumi. Lõhustumissaaduste järellagunemise käigus tekkiv soojus on peamine põhjus, miks reaktorist eemaldatud kasutatud tuumkütust jahutama peab. Järellagunemisel tekkinud raskete tuumade radioaktiivsus on küll madalam, kuid pikaajalisem ning tingib vajaduse lõppladustuse järele.

Siiani ei ole olnud praktilist vajadust kõrgaktiivsete jäätmete lõppladustuspaikade järele. Tehnilisest aspektist lähtudes on olnud stiimuliks kõrgaktiivsete jäätmete lõppladustamisega viivitada umbes 40–50 aastat pärast nende reaktorist eemaldamist, mil jääksoojus ja radioaktiivsus on vähenenud üle 99%. Kasutatud kütuse vaheladustamine toimub enamasti üksikute reaktoritega seotud tiikides või mitmete reaktorite alade ühises basseinis või mõnikord keskses vaheladustuspaigas. Üle kahe kolmandiku sellest on säilitustiikides, kuid suureneb ka kuivhoidlate osakaal³¹. Näited kasutatud tuumkütuse hoiustamisest on fotodel 3 ja 4.



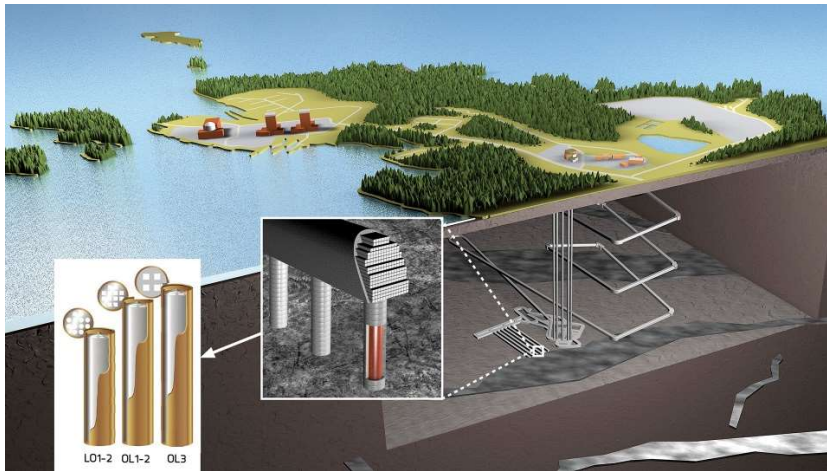
Foto 3. Veega täidetud basseini kasutatud tuumkütuse vahelhoidlas Rootsis (CLAB, SKB)



Foto 4. Šveitsi kasutatud tuumkütuse kuivhoidla (ZWILAG)

Kasutatud tuumkütuse pikaajalise ohutuse tagamiseks on peetud parimaks võimaluseks geoloogilist lõppladustamist. Esmakordselt pakuti see lahendus välja 1950. aastatel ja selles valdkonnas on tehtud üle 40 aasta uurimistööd, et viia inimestele ja keskkonnale tekitatavad võimalikud riskid miinimumini ning piirata radioaktiivse materjali kasutamist kuritahtlikel eesmärkidel. Kuigi jäätmekäitlust peetakse riiklikuks vastutuseks, ei välista see jäätmekäitlust rahvusvahelises geoloogilises ladustuspaigas, kus jäätmete kõrvaldamist koordineerivad mitu riiki. Pärast põhjalikke geoloogilisi uuringuid ja ohutuse hindamist ehitatakse ladustuspaik, mis töötab perioodil (kuni 100 aastat), mil jäätmekanistreid tunnelitesse paigaldatakse. Sulgemise järel peaks geoloogiline lõppladustuspaik tagama jäätmete ohutuse aastatuhandeteks. Kasutatud tuumkütuse geoloogiliseks lõppladustamiseks on praktilisi samme astunud vaid Soome ja Rootsi. Soome alustas ONKALO® 450 m sügavuse ladustuspaiga ehitust 2004. aastal ning võtab selle eeldatavalt kasutusele 2023. aastal. ONKALO® ladustuspaiga maksumuseks on hinnanguliselt kokku ca 2,6 mld eurot ja see tagab 6500 t kasutatud kütuse ohutu hoiustamise vähemalt 100 000 aastaks.

³¹ <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-wastes/radioactive-waste-management.aspx>.



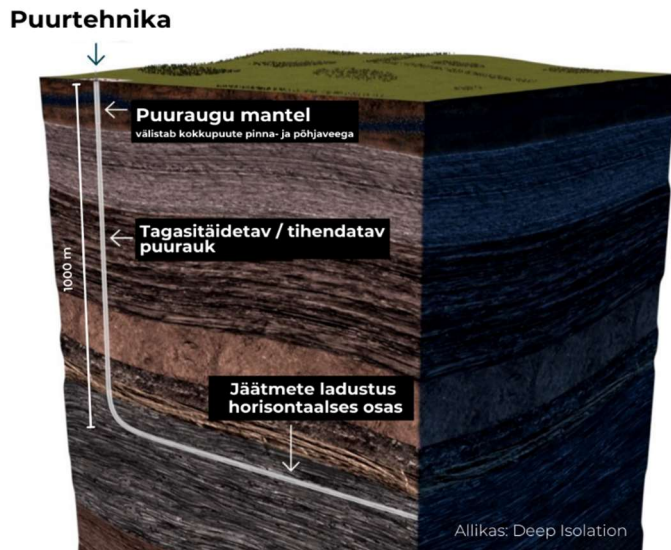
Joonis 21. Soome rajatava ONKALO® geoloogilise lõppladustuspaiga skeem (Posiva)

Rootsi Forsmarki tuumaelektrijaama lähedale kavandatava 500 m sügavuse geoloogilise lõppladustuspaiga maksumuseks prognoositakse 2 mld eurot ning ehitustöödega alustatakse lähiajal. Lõppladustuspaigas plaanitakse ladustada kuni 11 000 tonni kasutatud tuumkütust, mis tekib kõikidest Rootsi tuumaelektrijaamadest nende eluea jooksul kokku.



Joonis 22. Rootsi kavandatav geoloogiline lõppladustuspaik (SKB)

Lisaks tunnelite rajamisele otsitakse ka alternatiivseid geoloogilisi kõrvaldamismeetodeid, nt sügava vertikaalse või horisontaalse puuraugu puurimist. Mõned eraettevõtted, näiteks Deep Isolation USA-s uurib erasektori võimalusi pikaajaliste jäätmekäitluskohustuste täitmisesse panustamisel. Deep Isolationi välja pakutud lahenduses kasutatakse ära juba olemasolevat suundpuurimise tehnoloogiat, mis on kasutuses näiteks naftatööstuses. Kasutatud tuumkütus asetatakse spetsiaalsetes kapslites umbes 1–3 km sügavusele maa alla kristalliinsesse aluskorda.



Joonis 23. Puurtehnikas geoloogiline lõppladustamine (Deep Isolation)

7.3. Kasutatud tuumkütuse töötlemine ja ringlussevõtt

Kasutatud tuumkütust on võimalik järeltöödelda, puhastada, ümber töödelda ning osaliselt taaskasutada. Praegune kasutatud kütuse ümbertöötamise võime maailmas on umbes 2000 tonni aastas (Prantsusmaal, Venemaal, Suurbritannias), mis moodustab 28,6% aastas tekkivatest jäätmetest (arvestusega, et aastas tekib jäätmeid 7000 tonni). Tänapäevane ringlussevõtt põhineb suures osas U_{238} muundamisel lõhustuvaks plutooniumiks. Töödeldud uraani (RepU) tuleb täiendavalt rikastada, eraldatud plutoonium läheb otse segatud oksiidkütuse ehk MOX-kütuse tootmiseks. Arendatakse ka uusi ümbertöötamistehnoloogiaid, mida saab kasutada kiirete neutronreaktoritega, mis põletavad kõik pikaajalised aktiniidid, sealhulgas uraani ja plutooniumi, ilma neid üksteisest eraldamata. Kasutatud kütuse ümbertöötamine on Prantsusmaa, Suurbritannia, Venemaa, Hiina ja Jaapani tuumaenergia poliitika üheks osaks ning kasutatud kütust nähakse ressursi, mitte jäätmena. Viimase 50 aasta jooksul on kasutatud kütuse töötlemise stiimuliks olnud plutooniumi ja vähemal määral ka uraani taaskasutamine kütuseelementides ja seeläbi kütusetsükli sulgemine, saades protsessi käigus algsest uraanist umbes 25–30% rohkem energiat, mis omakorda toetab riiklikku energiajulgeolekut. Teiseks põhjuseks on kõrgaktiivse jäätmena kõrvaldatava materjali mahu vähendamine umbes viiendikuni. Lisaks on töötlemisel tekkivate jäätmete radioaktiivsuse tase palju väiksem ja langeb umbes 100 aasta pärast palju kiiremini kui kasutatud kütuses endas.

Kõik need kaalutlused põhinevad praegustel vesijahutusega reaktoritehnoloogiatel, kuid neljanda põlvkonna kiiretele neutronreaktoritele üleminek muudaks väljaajateid oluliselt ja tähendaks, et mitte ainult tänapäeva reaktorite kasutatud kütus, vaid ka suured vaesestatud uraani varud muutuksid potentsiaalseks kütuseallikaks. Seeläbi väheneks ka vajadus loodusliku uraanimaagi kaevandamiseks. Viimasel kümnendil on kasvanud huvi kõigi pikaajaliste aktiniidide (elemendid 89 kuni 103) taaskasutamise vastu, et neid kiiretes reaktorites ringlusse võtta ning need seeläbi lühiajalisteks lõhustumisproduktideks muuta. See vähendaks kõrge radioaktiivsusega jäätmete pikaajalist radioaktiivsust ja plutooniumi tsiviilkasutusest

kõrvalejuhtimise võimalust, suurendades seeläbi kütusetsükli tuumarelvade leviku tõkestamise kindlust³².

7.4. Nõuded kasutatud kütuse käitlemise ja ladustamise rahastamisele

Kasutatud tuumkütuse ja radioaktiivsete jäätmete ohutu käitlemise ühendkonventsiooni³³ kohaselt tuleks radioaktiivsed jäätmed lõppladustada riigis, kus need on tekkinud, kui käitlemise ohutus seda võimaldab. Jäätmete ladustamiseks teises riigis on vajalik valitsustevaheline vastavasisuline kokkulepe.

Nõukogu direktiiv 2011/70/Euratom, 19. juuli 2011, millega luuakse ühenduse raamistik kasutatud tuumkütuse ja radioaktiivsete jäätmete vastutustundlikuks ja ohutuks käitlemiseks, seab liikmesriikidele kohustuseks tagada piisavate rahaliste vahendite olemasolu kasutatud tuumkütuse ja radioaktiivsete jäätmete käitlemiseks. Euroopa Komisjoni soovitus, 24. oktoober 2006, tuumarajatiste sulgemiseks ning kasutatud kütuse ja radioaktiivsete jäätmete kõrvaldamiseks ette nähtud rahaliste vahendite haldamise kohta³⁴ sätestab, et tuumarajatiste käitajad peaksid moodustama sulgemiseks piisavad fondid, kasutades tulusid, mis saadakse tuumaenergiaalasest tegevusest projekteeritud töötamise ajal. Kui sulgemisprojekti täitmisel selgub, et sulgemine läheb kallimaks, kui kinnitatud kuluarvutus ette näeb, peaks lisakulud katma käitaja. Sama soovituse kohaselt tuleks Euroopa Komisjoni teavitada uue tuumarajatise ehitamisel, kuidas on kavandatud selle sulgemise rahastamine.

Euroopa Komisjoni delegeeritud määruse, millega täiendatakse EL-i kestliku rahastamise taksonoomiat maagaasi- ja tuumaenergia sektori tehniliste sõelumiskriteeriumitega, punkt 4.27 f näeb ette, et liikmesriigil peab olema kava, mis sisaldab üksikasjalikke samme, et muuta 2050. aastaks toimivaks kõrgaktiivsete radioaktiivsete jäätmete lõppladustamisrajatis. Nõuet tuleb siiski järgida vaid juhul, kui tuumaenergiasse tehtavaid investeeringuid soovitakse klassifitseerida roheinvesteeringuks.

Eestis tuleks tuumaelektrijaama rajamise otsuse korral ette näha tuumajaama operaatorile rakendatav jäätmekäitluse ja dekomissioneerimise fondi tasu (€/kWh), selle ülevaatamise sagedus ning otsustada, kas fondi haldaja oleks operaator, riigiasutus või pank. Fermi Energia AS on oma esialgses analüüsis tootmiskuludesse arvestanud jäätmekäitlusfondi makseteks 0,003 €/kWh.

7.4.1. Jäätmekäitluse rahastamise näiteid EL-i liikmesriikidest

- Soome – operaatorid teevad makseid riiklikusse tuumajäätmete käitlusfondi, mida haldab kaubandus- ja tööstusministeerium. Tasud (umbes 10% tootmiskuludest) kehtestab valitsus igal aastal vastavalt iga ettevõtte hinnangulistele kohustustele ning need hõlmavad ka dekomissioneerimist.
- Belgia – maksed tehakse kommunaalettevõtte hallatavasse sisefondi. Kommunaalettevõtted maksavad ka tasu iga müüdud elektri kWh pealt, mis läheb dekomissioneerimis- ja jäätmekäitlusfondi, mida haldab kütusetsükliettevõtte Synatom.
- Tšehhi – tuumajaama käitaja (CEZ) teeb Tšehhi keskpangale makseid – 0,0018 €/kWh. Seadus nõuab käitajalt ka tuumajaama dekomissioneerimise rahastamist. Reservvahendite piisavus dekomissioneerimiseks on riikliku radioaktiivsete jäätmete

³² <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/fuel-recycling/processing-of-used-nuclear-fuel.aspx>.

³³ <https://www.riigiteataja.ee/akt/958562>.

³⁴ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006H0851&from=ET>.

käitleja (RAWRA/SURAO) järelevalve all. CEZ rahastab ka sisemist finantsreservi kasutatud kütuse pikaajaliseks ladustamiseks.

- Prantsusmaa – käitaja EDF maksab jäätmekäitus- ja dekomissioneerimiskuludeks 0,0014 €/kWh. 2016. aasta lõpus moodustas jäätmete eraldis 19,6 miljardit eurot ja dekomissioneerimise eraldis 16,4 miljardit eurot. EDF prognoosib, et kogumaksumus (alates 2035. aastast) on 75 miljardit eurot.
- Rootsi – käitajad teevad makseid tuumajäätmete fondi (Kärnavfallsfonden), mida haldab regulaator (SSM). Iga kommunaalettevõtte jaoks on eraldi fond. 2018–2020 oli tasu 0,0047 €/kWh. See vaadatakse üle iga kolme aasta järel. Rootsi tuumajäätmete programmi kogukulud ulatuvad 147 miljardi Rootsi kroonini (14,3 mld €).

7.5. Kasutatud tuumkütuse ja tuumaelektrijaamas tekkivate jäätmete käitlemise ja ladustamise võimalused Eestile

7.5.1. Olemasolevate radioaktiivsete jäätmete käitlemine ja ladustamine

Enamik Eesti olemasolevaid radioaktiivseid jäätmeid pärineb Nõukogude Liidu ajast – Paldiski endiselt tuumaobjektilt, Tammiku radioaktiivsete jäätmete hoidlast ja Sillamäe NORM-jäätmete hoidlast. Tänapäeval on peamised radioaktiivsete jäätmete tekitajad kiirgustegevusluba omavad meditsiini-, tööstus- ja teadusasutused.

1960ndail rajatud Paldiski tuumaallveelaevnike õppekeskuses oli kasutuses kaks allveelaeva makett-õppestendi koos toimivate tuumareaktoritega. Paldiski objekti andis Venemaa Föderatsioon Eestile üle 26. septembril 1995. Enne Paldiski objektilt lahkumist eemaldas Venemaa Föderatsiooni toimkond sõlmitud kokkuleppe kohaselt reaktoritest tuumkütuse ja demonteeris õppestendid, jättes peahoonesse alles vaid mõlemad tuumareaktorit sisaldavad allveelaevasektsioonid, mille ümber rajati raudbetoonist sarkofaagid. Kõigi muude objektil asunud rajatiste (nt radioaktiivsete vedeljäätmete töötlemise kompleks, tahkete ja vedelate radioaktiivsete jäätmete hoidlad, radioaktiivselt saastunud erikanalisatsiooni- ja ventilatsioonitrassid, kemikaalide laod jne.) ohutustamine jäi Eesti kanda. Riik alustas objektil saastest puhastamise ja lammutustöödega kohe pärast objekti vastuvõtmist. Puhastamistööde käigus tekkinud radioaktiivsete jäätmete ladustamiseks rajati 1997. aastal Paldiski objekti peahoonesse rahvusvahelistele nõuetele vastav vaheladustuspaik, kuhu täna ladustatakse kõik Eestis tekkinud või tulevikus tekkivad radioaktiivsed jäätmed. Põhiosa ladustatud radioaktiivsetest jäätmetest moodustavad Paldiski ja Tammiku objektide dekomissioneerimisel tekkinud jäätmed. Ülejäänud osa on teistelt asutustelt ja ettevõtetelt vastuvõetud jäätmed.

Paldiskis asuvate reaktorisektsioonide pikaajaline ohutu hoiustamine toimub kuni aastani 2040, misjärel tuleb eeluuringute kohaselt sektsioonid lammutada, tekkinud radioaktiivsed jäätmed käidelda ja ladustada lõppladustuspaigas. Hiljemalt 2040. aastaks tuleb rajada selleks otstarbeks jäätmete lõppladustuspaik, milleks on loodud projekt RAJALA.

Lõppladustuspaiga rajamisega seotud tegevusi (kohaliku omavalitsuse eriplaneeringu koostamine ja mõjude hindamine) koordineerib aastani 2025 Keskkonnaministeerium ning edasi (projekteerimine, tegevuslubade taotlemine, ehitamine) Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium.

Lõppladustuspaika paigutatakse orienteerivalt 3000 kuupmeetrit jäätmeid: Paldiski endise tuumaallveelaevnike õppekeskuse likvideerimisel tekkinud jäätmed, allveelaevade konserveeritud reaktorisektsioonid ning mujal Eestis tekkinud tööstuse, meditsiini ja teadusasutuste jäätmed. Lisaks ka tulevikus tekkivad jäätmed, mille voog on alla 1 kuupmeetri

aastas. Sobivaima asukoha leidmiseks viiakse koostöös Lääne-Harju vallaga läbi uuringuid. Paldiskis asuva endise tuumaallveelaevnike õppekeskuse territoorium võiks olla sobilik ka lõppladustuspaigale, kuid selle kohta annab selguse hiljemalt 2023. a lõpuks valmiv kõigi võimalike mõjude hindamine ja alternatiivide võrdlus³⁵.

RAJALA ajakava on esitatud joonisel 24.



Joonis 24. Radioaktiivsete jäätmete lõppladustuspaiga rajamise (RAJALA) ajakava.

NB! 2040. aastaks Eestisse rajatav radioaktiivsete jäätmete lõppladustuspaik ei sobi kõrgaktiivsete radioaktiivsete jäätmete, sh kasutatud tuumkütuse ladustamiseks. Samuti ei ole selles rajatises kavas ladustada tuumaelektrijaamas tekkivaid muid jäätmeid. See on mõeldud ainult Paldiski objekti ja selle territooriumil asuvas vaheladustuspaigas olevate ning Eestis (peamiselt tööstuses, meditsiini- ja teadusasutustes) tekkivate muude radioaktiivsete jäätmete ladustamiseks. Tuumaelektrijaamas tekkivate radioaktiivsete jäätmete (v.a kasutatud tuumkütus, mille lõppladustamiseks on vaja sügavgeoloogilist lõppladustuspaika) käitlemiseks ja ladustamiseks tuleks jaama operaatoril rajada eraldi ladustuspaik.

7.5.2. Kasutatud tuumkütuse käitlemise võimalused

Eestis puudub praegu võimalus kasutatud tuumkütuse käitlemiseks. Tuumajaama käitamisel tekkivate jäätmete käitlemine ja ladustamine on ka avalikkuse silmis üks tuumaenergia kasutusevõtmise peamiseks probleemkohaks. Kuna hetkel ei ole teada, kas või missuguse tehnoloogilise lahendusega (võimsus, kasutatava kütuse tüüp, jaama konstruktsioon jne) võiks tuumajaam Eestisse tulla, siis ei ole teada ka seal tekkivate jäätmete ladustamise vajadused või töötlemise võimalused.

Uut tüüpi reaktorites toodetud kasutatud tuumkütuse muutunud vormid ja seega ka mahud väärivad teiste taustamõjude puhul arvesse võtmist. Mõned arendatavad reaktorid (nt sulasoolareaktorid) tekitavad uut tüüpi radioaktiivseid jäätmeid, mille käitlemiseks pole maailmas ühtset lähenemist veel välja töötatud. Gaasijahutusega TRISO kütus muudab jäätmekäitluse keerulisemaks, kuna selle ebatavaline kuju nõuab kasutatud tuumkütuse ladustamiseks ja kõrvaldamiseks senisest erinevat pakkimist. Seega võib juhtuda, et reaktori eluea jooksul tekib geoloogilist ladustamist vajavaid jäätmeid märkimisväärselt suuremas mahus. Seevastu reaktoritüüpidel, mis suudavad ilma kütuse vahetuseta pikka aega energiat

³⁵ <https://laaneharju.ee/radioaktiivsete-jaatmete-loppladustuspaiga-kavandamine>.

toota (nt mõned kiired neutronreaktorid või sulasoolareaktorid), võivad jäätmemahud olla oluliselt väiksemad. Nende mõju kasutatud kütuse kogusele ja ladustamisvajadusele ning ladustamise tüübile sõltub tulevikus sellest, kui laialtlevinuks üks või teine reaktoritüüp saab.

TET-i vaadeldavate VMR-ide kasutatud kütuse potentsiaalsed kogused kuupmeetrites, kui reaktor (reaktorid) töötab (töötavad) aasta aega võimsusega 1 GW ehk 1000 MW ja kasutatud kütuse ladustamise valikud on esitatud tabelis 5.

Disain	Võimsus MW(e)	Reaktori-tüüp	Arendajad	Kasut kütuse kogus m ³ /GW a	Ladustamine
NUWARD	2 × 170	PWR	EDF, CEA, TA, Naval Group, FR	6,87	Geoloogiline
UK SMR	470	PWR	Rolls-Royce and Partners, UK	6,87	Geoloogiline
NuScale	12 × 77	PWR	NuScale Power Inc., US	6,87	Geoloogiline
BWRX-300	270 - 290	BWR	GE-Hitachi Nuclear Energy and Hitachi GE Nuclear Energy, US-JP	10,53	Geoloogiline
SC-HTGR	272	HTGR	Framatome, Inc., US-FR	87,68	Geoloogiline
Integral MSR	195	MSR	Terrestrial Energy Inc., CA	5,10	Maapinnalähedane ladustamine?

Tabel 5. Vaadeldavate VMR-ide kasutatud kütuse potentsiaalsed kogused m³ aastas iga toodetud GW kohta ja ladustamise valikud (TET ja STIMSON)

Tabeliandmetele tuginedes tekitaks aastas keskmiselt 1 GW energiat tootev jaam 60-aastase töötamisaja jooksul kokku olenevalt reaktoritüübi valikust kasutatud kütust *ca* 300–5300 m³. Kui kasutatud kütus suunatakse töötlemisse, saab jäätmete mahtu oluliselt vähendada.

Kasutatud tuumkütuse käitlemisega seotud riskide maandamiseks on võimalik valida reaktori tüüp, mis toodab nn traditsioonilisi tuumajäätmeid, mille käitlemiseks on olemas rahvusvahelised standardid, praktika ja mida töödeldakse ümber osaliselt. Siiski on ka selle lahenduse puhul vaja tekitada riiklik suutlikkus kasutatud tuumkütuse ladustamiseks, sest radioaktiivsed jäätmed, mida ümber töödelda ei õnnestu, tagastatakse vastavalt rahvusvahelistele konventsioonidele nende tekkeriiki. Riik peab radioaktiivsete jäätmete käitlemise poliitikaga määrama, kas kasutatud tuumkütuse puhul nähakse operaatorile ette kohustus kasutatud kütuse töötlemiseks selle mahu vähendamiseks.

Fermi Energia AS on käitluslahenduste teemal alustanud uuringut koostöös rahvusvahelise tuumkütusetsükli ettevõtte Orano ja Deep Isolationiga, et välja pakkuda Eestile potentsiaalselt sobilik jäätmekäitlemise, töötlemise, taaskasutamise ja lõppladestamise lahendus.

Oletades, et tuumajaam alustab Eestis tööd aastal 2035 ning selles kasutatakse nn tavalist tuumkütust (U₂₃₅, Pu₂₃₉), siis tekib jaamas kasutatud tuumkütus esimest korda eelduslikult 2–6 aasta möödumisel. Enne, kui selle saab pakendada ja lõppladustada, peab see vähemalt kümme aastat jahtuma, milleks kasutatakse tuumajaamades kohapeal olevaid kuiv- või märghoidlaid, mis on tuumajaamade lahutamatuks osadeks. Tuumaelektrijaamas tekkivaid madal- ja keskaktiivsete jäätmete käitlemis- ja ladustamisrajatised planeeritakse samuti tuumaelektrijaama territooriumile ning seda haldab tuumaelektrijaama operaator.

Vahehoidlas on praeguste IAEA standardite kohaselt kasutatud tuumkütust soovitatud hoida maksimaalselt kuni tuumaelektrijaama eluea lõpuni (40–60 aastat) ehk antud näite puhul võiks

lõppladustuspaika vaja minna 2095. aasta paiku. Kasutatud tuumkütuse käitlemise lõpplahenduse koos jaama dekomissioneerimise plaaniga peab esitama tuumaelektrijaama arendaja siiski juba koos tegevusloa taotlusega.

Fermi Energia AS peab 2020–2021 koostöös Inseneribüroo STEIGER OÜ-ga tehtud uuringu³⁶ järgi Eestile sobivaimaks lahenduseks peatükis 7.2 kirjeldatud *Deep Isolationi* välja töötatud tehnoloogiat, kus radioaktiivsed jäätmed asetatakse spetsiaalsetes kapslites umbes 1 km sügavusele maa alla. Lahenduse maksumus oleks eeldatavasti ca 70% soodsam kui traditsiooniline lõppladustus ning arvestades lõppladustamist vajavate jäätmekoguste väiksest mahtu, tõenäoliselt perspektiivsem, kui on kaevatavatel tunnelitel põhinev lahendus.

Rahandusministeeriumi ja Keskkonnaministeeriumi tellimusel valmib 2023. aasta teises kvartalis eelanalüüs kasutatud tuumkütuse lõppladustuspaiga potentsiaalsete asukohtade kohta. Analüüsi käigus selgitatakse välja, kas Eestis leidub asukohti, arvestades looduslikke olusid, keskkonnakaitselisi piiranguid, asustusmuutrit jms, kus oleks otstarbekas tulevikus kaaluda kasutatud tuumkütuse lõppladustuspaiga kavandamist. Kasutatud tuumkütuse lõppladustuspaiga rajamiseks potentsiaalselt sobivaid asukohti kirjeldatakse analüüsis detailsusastmega, mis on piisav selle omaduste tuvastamiseks ja seal aja jooksul toimuvatest muutustest. See hõlmab asukoha praegust seisundit, tõenäolisi geoloogilisi muutusi, võimalikke loodussündmuseid ning inimtegevust selles läheduses, mis võiksid tulevikus mõjutada rajatise pikaajalist ohutust.

³⁶ <https://fermi.ee/wp-content/uploads/2021/02/uuringud-2020-fe-final.pdf>

8. Tuumajaama arendamise võimalused

VMR-ide arendamise puhul on mitmed rahvusvahelised eksperdid ja IAEA esindajad pidanud mõistlikuks avaliku- ja erasektori koostööd või täielikult erakapitalil põhinevat ehitusprojekti rahastamist, sest võrreldes suurte tuumaelektrijaamadega on VMR-id vähem kapitalimahukad. Tuumaenergiaprojektide rahastamine on viimase kolme aastakümne jooksul muutunud keerukamaks, mis tuleneb nende eripärast ja riskiprofiilist. Tuumaprogrammid on kergesti mõjutatavad nii poliitilise keskkonna kui ka avalikusse poolt. Valitsuse energiapoliitikat saab tagasi pöörata ja avalik arvamus võib mõjutada tuumaprojektide otsuseid. Tuumaelektrijaamu ehitatakse tugevalt reguleeritud õigusraamistikus ja regulatiivses keskkonnas, mis võivad ehituse peatada või edasi lükata. Tuumaenergia arengu soodustamiseks kasutatakse rahastamis- ja toetuspoliitika uuenduslikke lähenemisviise, sealhulgas valitsusepoolseid investeeringuid või laenutagatise. Iga elektrijaama maksumuse põhinäitaja on elektrienergia tasandatud maksumus (LCOE). See on elektrijaama ehitamise, käitamise ja dekommissioneerimise kogumaksumus selle eluea jooksul jagatuna jaamast saadetud elektrienergia kogutoodanguga, tavaliselt kulu MW/h kohta.

Õigusliku raamistiku, rahvusvaheliste kohustuste ja tuumaohutuse tagamise taristu väljaarendamisel ei ole vahet, kas tuumajaama arendaja on riik või eraarendaja. Kuna Eestil puudub varasem tuumarajatiste käitamise kogemus, siis nõuab tuumaenergia kasutuselevõtt nii või teisiti riikliku taustsüsteemi loomist. Tuumaelektrijaama projekti rahastamise erinevaid võimalusi riigi ja eraettevõtete koostöös ning osaluse proportsioonide erinevusi on kirjeldatud allpool.

Ülevaade Fermi Energia AS-i nägemusest tuumaelektrijaama ehituse võimalikust rahastamisest Eestis on esitatud lisas 3.

8.1. Traditsiooniline tuumaenergia projektide rahastamine

Üldjuhul rahastatakse tuumaelektrijaamade ehitust mitmest allikast, kus pakett katab kogu maksumuse. Esimene allikas, kelleks on ehitamise ja käitamise eest vastutav investor/omanik/operaator, peaks katma märkimisväärse osa koguinvesteeringust. Kui jaama arendatakse riigi enamusosalusega ettevõtte kaudu, siis tuleks valitsusepoolne rahastus omakapitali ja laenudena.

Laenude finantseerimisel annab pank (või muu laenuandja) projekti elluvijatele laenu teatud osa eeldatavast projekti maksumusest. Laen tagastatakse koos intressidega ning laenulepingus sätestatud intressimäära ja tagasimakse ajakavaga on laenuandja risk piiratud.

Omakapitalil põhinev finantseerimine hõlmab investorit, kes rahastab projekti vastutasuks osaluse eest. Tuumaelektrijaama puhul saab omakapitaliinvestor elektri müügist oma omandiosale vastavat tulu pärast projekti käivitumist. Sellisena on aktsiainvestor avatud projektiga kaasnevatele äririskidele (ja hüvedele). Aktsiainvestoritel on ettevõtte juhtimisel suurem sõnaõigus, kuid ettevõtte likvideerimisel on nad allutatud laenuandjate õigustele.

Sageli laenatakse omakapitali vastu investeeritud raha ise välja, mis hägustab piiri kahe rahastamisliigi vahel. Iga rahastamisliigi suhteline osa sõltub projektis osalejate vahelisest riskijaotusest, mida mõjutab tugevalt projekti omandimudel.

Välja võib tuua kaks peamist viisi, kuidas tuumaenergiaprojekti ja selle omandiõigust struktureerida:

- 1) Riiklik rahastus – valitsus rahastab projekti otse omakapitali ja laenu kaudu ning see sõltub valitsuse poliitikast ja turukujundusest. Tavaliselt toimub see turgudel, kus valitsused on seotud energiaettevõtete omamise ja haldamisega. Valitsuse osalemine projektis, isegi kui see on kaudne (nt valitsusel on enamusosalus jaama käitavas ettevõttes), muudab rahaliste vahendite kogumise tavaliselt palju lihtsamaks. Sel viisil rahastati enamik praegu töötavaid tuumaelektrijaamu.
- 2) Erakapitalil põhinev rahastus – raha kogutakse eraettevõtetes laenu ja omakapitali kaudu. Enamasti on äriühing suur kommunaalettevõtte. Ettevõtte korraldab laenuvõtmise ja võtab kogu projektiga seotud riski. Teatud juhtudel võivad investorite rühmad otsustada projekti rahastada koostöös (Mankala mudel).

8.2. Mankala mudel

Mankala on Soome elektrienergia sektoris laialdaselt kasutatav ärimudel, mille kohaselt toimib piiratud vastutusega ja kasumit mitteteeniv kooperatiiv/ühistu otse oma aktsionäride kasuks. Mudelis kuuluvad energiatootjad mitmele ettevõttele, kes omakapitali finantseerimise kaudu kannavad ühiselt jaama ehitamise ja käitamise kulud. Mankala ettevõtted on piiratud vastutusega äriühingud, kes ei maksa aktsionäridele dividende. Selle asemel on igal omanikul õigus proportsionaalselt oma osaga omakapitalis osta ettevõttelt energiat omahinna alusel. Ostja võib ostetud energia müüa või seda ise kasutada. Investoriteks on tavaliselt hulgimüüjad, jaemüüjad või suured tööstusettevõtted. Mankala mudel annab paljudele investeerimisühistusse kuuluvatele aktsionäridele võimaluse jagada kaasnevaid riske, selle asemel et üks või mitu suurt aktsionäri võtavad enda kanda kogu riski, mis on seotud tuumaelektrijaama ehitamise projektiga. Mudel on osutunud Soomes edukaks, võimaldades toota kaks kolmandikku riigi elektrienergiast omahinnaga. Kuid selle rahastamisviisi edukus sõltub sellest, kas riigis on piisavalt palju energiamahukaid tööstusharusid, kes soovivad ja suudavad projektis osaleda. Prantsusmaal loodi aastatel 2005–2010 rahastamisstruktuur, kus mitmed tööstusinvestorid ja pangad moodustasid Exceltiumi konsortsiumi, et pidada oma aktsionäride nimel läbirääkimisi optimaalse elektritarnelepingu sõlmimiseks. Sarnaselt Mankala mudelile oli investorite eesmärk sõlmida arendajaga leping, et aidata rahastada selle uusi tuumaelektrijaamu vastutasuks odavama elektri eest. Tööstusinvestoritele makstakse tagasi 24 aasta jooksul. Tööstusinvestorid saavad valida, kas kasutada elektrit ise või müüa see turule.

8.3. Piiratud või täieliku tagasinõudega rahastamine

Projekti rahastamist saab koguda piiratud/tagasinõudeta või tagasinõude alusel. Kui projekti rahastatakse tagasinõude (regressi) korras, on laenuandjate tagatiseks projekti elluviijate olemasolev vara. Piiratud tagasinõudmisega rahastamise puhul on seevastu tagatis ainult projekti kapital. Projekti rahastamiseks luuakse eraldiseisev juriidiline isik ning projektis osalejad ostavad selle aktsiaid. Laenuandjate ainsaks tagatiseks on projektiettevõtte enda aktsiad. Kuigi kokkuleppe eeliseks on arendaja muude varade kaitsmine, on see laenuandjate jaoks siiski riskantsem. Tavaliselt on seetõttu laenuandjalt laenu saamine keerulisem ja kulukam. Projektirahastust kasutatakse laialdaselt elektrisektoris, peamiselt taastuvenergia- ja maagaasiprojektide ehk varade puhul, mis on vähem kapitalimahukad, paindlikumad ja lühema ehitusajaga. Skeemi pole seni tuumaelektrijaamade ega hüdroenergiaprojektide jaoks eriti rakendatud. Tulevasi tulusid tagavad lepingud võivad anda laenuandjatele lisatagatis, kuid sellised kokkulepped on väärtusetud, kui projekt ebaõnnestub.

8.4. Investeeringute soodustamine: tuluriski vähendamine

Kui valitsus ei ole projekti otsene rahastaja, võib tal olla siiski oluline roll investorite riski vähendamisel. Üks olulisemaid kaalutlusi investorite jaoks on elektrihinna kujundamine, mis peab olema tõhus ja ratsionaalne. Investorite poolt projekti rahastamiseks nõutav tulu sõltub eelkõige riski suuruselt, mida nad peavad võtma. Selge rahastamisvoog on ülioluline isegi siis, kui valitsus toetab taristut. Investor ei rahasta taristuprojekti, kui ei ole võimalik katta pikaajalisi tegevus- ja hoolduskulusid. Kui rahastamine on kallisk või puudulik, on selle põhjuseks sageli selgete rahastamisvoogude puudumine, mis tähendab, et investorid ei saa olla kindlad, kuidas nad oma raha tagasi saavad. Tuumaelektrijaamadel ja muudel vähese CO₂-heitega elektri tootmise võimalustel on kõrge püsi- ja muutuvkulude suhe (st need on kapitalimahukad). Kõrged püsikulud kujutavad endast riski investoritele, sest enne esimeste tulude teenimist kulutatakse märkimisväärne kapital. Investeeringuotsuse järel on valitsevate turutingimustega kohanemiseks vähe võimalusi. Vabadel turgudel, kus on suur muutuva taastuvenergia osakaal, loovad alanenud ja väga kõikumavad elektri hinnad keerulised tingimused sellistesse varadesse investeerimisel ilma subsidiumita. Taskukohase rahastamise tagamiseks ilma subsidiumita on vajalik elektri hinna prognoositavus, et tagada esialgsete investeeringukulude katmine projekti eluea jooksul. Reguleeritud turgudel tagab sellise stabiilsuse klientidelt võetavate tariifide regulatsioon. Sellise stabiilsuse puudumisel võidakse eelistada vähem kapitalimahukaid tehnoloogiaid, isegi kui nende eluea kulud on suuremad. Tuumaelektrijaamade (ja ka muude vähese CO₂-heitega tehnoloogiate) konkurentsivõimelise rahastamise tagamine reguleerimata turgudel sõltub seetõttu sageli selliste mehhanismide kasutamisest, mis tegelikult tagavad elektri hindade pikaajalise stabiliseerimise. Selliste meetmetena on kasutusele võetud elektri ostulepingud, ostutariifid (FiT) ja vahelepingud (ingl k *Contract for Differences*, CfD).

Elektri ostuleping (PPA, *Power Purchase Agreement*) – kõige laialdasemalt kasutatav pikaajalise tulutagatise vahend, mida kasutatakse kogu elektritööstuses. Elektrienergia ostulepingud on elektritootja (müüja) ja ostja vahel sõlmitud lepingud. Lepingus on sätestatud hind ja summa, samuti tähtaeg, mille jooksul ostja müüjalt elektrit ostab. Ostjad on tavaliselt hulgmüüjad või sarnased müüjad, kes nõuavad kindla hinnaga kindlat tarnimist (nt võrguoperaatorid). Riigid võivad elektrienergia ostulepinguid garanteerida, aga ei pruugi.

CfD – pikaajaline leping operaatori ja vastaspoole, kelleks võib olla riiklik ettevõtte, vahel, mis esindab elektritarbijate huve. CfD kohaselt jagavad lepingu pooled riski, kui elektri hind pole piisav kapitalikulude tagasimaksmiseks kokkulepitud perioodi jooksul. Alghinna (st projekti maksumus pluss operaatori marginaal) ja võrdlushinna (st elektri tegeliku turuhinna) vahe katab vastaspool, kui turuhind langeb alla alghinna, või operaator, kui turuhind ületab alghinda. Osapool saab vahe tagasi elektritarbijatelt võetava tasu kaudu. Kui turuhind ületab alghinda, krediteerib operaator vahe elektritarbijatele. Ühendkuningriik võttis CfD-d kasutusele 2014. aastal, et toetada investeeringuid vähese CO₂-heitega elektritootmisprojektitidesse. CfD annab investoritele teatud tulukindluse ja stabiilsuse, aga kui turuhinnad ületavad alghinda, saavad kasu CfD vastas pooled (st kliendid). CfD ei hüvita operaatorile raha ja pigem meenutab see riskimaandamisoperatsiooni kauba futuurilepingu puudumisel.

CfD-de mõjul kandub hindadega seotud risk üle tootjalt tarbijatele, kohustades viimaseid tagama turuhindade puudujäägi. Sellised mehhanismid kaitsevad mõlemat poolt tulevaste hinnamuutuste eest. Investoritel on väga raske võtta pikaajalist elektri hinna riski, kui üle kahe kolmandiku kapitalist eraldatakse enne esimesi tulusid. Selliseid kulustruktuure (st kõrge püsi- ja muutuvkulude suhe) jagavad kõik vähese CO₂-heitega elektritehnoloogiad. Hiljutised

kogemused näitavad, et vabadel elektriturgudel nõuavad kõik vähese CO₂-heitega tehnoloogiad pikaajalist hindade stabiliseerimist, et olla investeeritavad. CfD-d, nagu kõik pikaajalised hinnagarantiid, ei ole tasuta. Leppides kokku fikseeritud hinnaga lepinguga, et piirata langusriski, loobuvad mõlemad pooled tõusuriskist. Tarbijate jaoks võib fikseeritud hinnaga lepingu kehtivuse ajal tekkida uus tehnoloogia, mis võimaldab pakkuda odavamalt süsinikuvaba energiat. Tootjate jaoks on võimalik, et tulevased hulgihinnad tõusevad üle kokkulepitud lepinguväärtuse. Need kaalutlused nõuavad otsuse langetamist selle kohta, mis on n-ö õiglane CfD. Valitsuse roll on see otsus kodanike nimel teha. Kui CfD on liiga kõrge, võib seda tõlgendada subsidiumina – see võimaldab tootjal saada tulu, mis vaba turu olukorras poleks võimalik. Õiglase CfD väärtuse kokkuleppimine 30 aastaks on äärmiselt keeruline. Sageli eeldatakse, et praegused turuhinnad on kasulikuks võrdlustasemeks. Paljudel vabadel turgudel vastavad hulgihinnad aga lühiajalistele muutuvkuludele ja on seega tunduvalt madalamad keskmisest elektritootmise kulust (mis sisaldab jaama investeerimiskulusid).

8.5. Investeeringute soodustamine investorite kindlustunde suurendamise kaudu

Tuumaenergiaprojektide kapitalimahukus tähendab, et kapitali maksumus mõjutab tugevalt tootmiskulusid. Investorite riski vähendamine võib vähendada finantseerimisega seotud kogukulude komponenti. Valitsuse kaasamine projekti lihtsustab tavaliselt odava laenuraha hankimist. Laenuandjaid julgustab see, et viimase abinõuna toetab laene tegelikult riik. Valitsuse osalus võib traditsioonilises tähenduses olla otsene, kui projekti rahastatakse riigieelarvest, jaama käitav kommunaalettevõtte on riigi omandis või valitsusel on enamusosalus, või kaudne, näiteks rahaline abi tagatiste kujul. Tagatise rakendatakse tavaliselt jaama arendajate ja laenuandjate vaheliste ärikokkulepetega projektidele. Garantiid on erinevad ja võivad kohustada riiki laenuandjatele tegema arendaja panktori korral täielikud tagasimaksed, sealhulgas intressid, või lihtsalt kaitsta laenuandjat teatud kahjude eest. Sellist laenugarantiid on kasutatud nt USA-s Vogtle 3&4 reaktorite arendamiseks.

8.6. Valitsustevaheline rahastamine ja ekspordikrediidiagentuurid

Tugeva kodumaise tuumaenergiatööstusega valitsused võivad toetada tuumatehnoloogia eksporditegevust. Sarnaselt kodumaistele projektidele võib toetus olla otsene või kaudne. Riigile kuuluv kommunaalettevõtte võib teha omakapitaliinvesteeringu välisprojekti või toetada projekti kaudselt, kasutades ekspordikrediidiagentuuri (ECA). Üsna tavaline on, et riigi toetatud tehnoloogiapakkujaid pakuvad projekti toetamiseks ka rahastust. Näiteks Hiina riiklik tuumakorporatsioon (CNNC) andis Pakistani aatomienergiakomisjonile laenu 9-10 miljardit dollarit kahe ACP1000 reaktori ehitamiseks Karachi tuumaelektrijaama. ECA-sid kasutatakse laialdaselt (mitte ainult tuumaenergia puhul) ja need pakuvad laenutagatist välismaisele projektile, vähendades teiste investorite riski. ECA-d on fikseeritud intressimääraga pikaajalise rahastamise instrumendid ja on ekspordivate ettevõtete jaoks väga atraktiivsed. Tuleb meele pidada, et seadmete tootjad ootavad tasu tarnimisel, edukal kasutuselevõtul ja üleandmisel ning tavaliselt piiravad oma vastutust tehniliste probleemide korral tarnitud seadmete väärtusega. Suuremad ametlikud tuumaenergiaprojekte toetavad ekspordikrediidiagentuurid:

- *Compagnie Française d'Assurance pour le Commerce Extérieur* (Coface) on Prantsusmaa ekspordikrediidiagentuur. See on andnud krediiti Areva projektidele Hiinas ja Soomes. Coface garanteeris ka 570 miljoni euro ulatuses Soome kommunaalettevõtte TVO võetud laenusid, mis olid vajalikud Areva ehitatud Olkiluoto kolme reaktori ehituse rahastamiseks. TVO maksis Coface'ile garantiipremia eest turuintressi.

- *Export Development Canada* (EDC) on isefinantseeriv riigiettevõtte. See rahastas Candu Qinshan III projekti Hiinas.
- Hiina Ekspordi-Impordi Pank (*China Exim Bank*) nõustus 2015. aastal laenu andma Pakistanile soodustingimustel 85% Karachi ranniku tuumajaama ehituskuludest (umbes 6,5 miljardit dollarit).
- Korea Ekspordi-Impordi Pank (*Kexim*) haldab valitsuse majandusarengu koostööfondi. See rahastas Araabia Ühendemiraatides Barakahi projekti 10 miljardi dollari väärtuses 18,6 miljardi dollari ehituskuludest. Korea Export Insurance Corporation (KEIC) pakub kindlustusteenuseid.
- Ameerika Ühendriikide Ekspordi-Impordi Pank (*Ex-Im Bank*) on valitsusettevõtte, millel ei ole lubatud erasektori laenuandjatega konkureerida. Ex-Im-Bank on pikendanud Araabia Ühendemiraatides Barakahi projekti rahastamist 2 miljardi dollari väärtuses ca 3% intressiga, mis tuleb tagasi maksta 27 aasta jooksul Westinghouse'ile, CH2M Hillile, Bechtelile ja veel 20 väiksemale tarnijale, et toetada peaaegu 2000 USA töökohta.
- Jaapani Rahvusvaheline Koostööpank (JBIC) toetab Jaapani eksportijaid laenude, laenutagatiste ja omakapitali osalusega. Nippon Export and Investment Insurance (NEXI) on kindlustusteenuste pakkuja.
- Rootsi ekspordikrediidi korporatsioon (SEK) andis Soome kommunaalettevõttele TVO laenutagatise Olkiluoto kolme tuumaploki ehitamiseks, pidades silmas Rootsi tarnija Uddcombi kaasamist, kelle emalteenus on Areva. Tegemist on riigiettevõttega.
- Arengu- ja välismajanduspank (Vnesheconombank) ja selle tütarettevõtte Venemaa Ekspordikrediidi ja Investeeringuskindlustuse Agentuur (EXIAR) pakuvad ekspordi rahastamist ja garantiisid. Seda rahastab Venemaa valitsus ja selle ülesanne on toetada ja arendada Venemaa majandust.

Majanduskoostöö ja Arengu Organisatsiooni (OECD) väljatöötatud suunised reguleerivad valitsusasutuste ekspordikrediiti kasutamist tuumaekspordiprojektide rahastamiseks. Nende eeskirjade eesmärk on luua kõigile eksportijatele võrdsed võimalused. OECD reeglite kohaselt on ekspordikrediidi saamiseks kõlblikud maksimaalselt 85% ekspordilepingu väärtusest ja importivas riigis tekkinud kulud kuni 15% ulatuses ekspordilepingu väärtusest. Välis- ja kohalike kulude saldo peab tulema kommerts krediidist ja omakapitalist. Nende laenude tähtaeg ei ületa 15 aastat.

8.7. Arengupangad

Varem rahastasid tuumaprojekte Maailmapank, Euroopa Investeeringuspank ja suur hulk kommerts-laenuandjaid. Ladina-Ameerika Arengupank (CAF) on ainuke rahvusvaheline arengupank, mis on viimasel ajal laenu andnud, et toetada Argentina Embalse'i tuumaelektrijaama renoveerimist ja tegevusloa pikendamist 2013. aastal. Maailmapank hetkel tuumaenergia projekte ei rahasta³⁷.

8.8. Tuumaenergia projektide rahastamise plaanid Poolas ja Tšehhis.

Poola, kelle energiast 70% tuleb söest, peab sõltuvust fossiilsetest kütustest drastiliselt vähendama. Tuumaenergiast loodetakse, et see katab tulevikus 20% Poola energiavajadusest. Oktoobris 2020 võttis Poola vastu otsuse ehitada kuus tuumareaktorit koguvõimsusega 1-1,5 GW aastateks 2033-2034. Ehitatakse III+ generatsiooni suured reaktorid. Märtsis 2021 otsustati

³⁷ <https://world-nuclear.org/information-library/economic-aspects/financing-nuclear-energy.aspx>.

100% valitsuse osalus projekti rakendavas ettevõttes, mis tegeleb hetkel litsentseerimise küsimustega. 2021. a lõpus valmis KMH ja tehakse võimalike asukohtade valikud. Menetlemisel on tuumainvesteeringute eelnõu ja tuumaseadus. 2022. a valitakse tehnoloogiapakkujad. Eelistatakse täislahendusi pakkuvaid partnereid, kes jagaks ka osa vastutusest. Tuumajaamade käitamiseks luuakse riigi osalusega ettevõtte, millest kuni 49% kuuluks projektipartnerile. Kuni 70% projekti rahastusest loodetakse saada Poola ettevõtetelt. Luuakse 25 000–40 000 uut töökohta.

Tšehhi näeb tuumaenergiat koos taastuvenergia ja gaasiga energeetika alussammastena. Hetkel töötab riigis kuus reaktorit, kuid tulevikus soovitakse kasutada kaheksa reaktorit. Uutes jaamades soovitakse elektritootmist alustada 2036. a. Analüüsitud on mitmeid investeerimismudeleid ning tuumajaamades toodetava elektri hinnaks prognoositakse 50–60 eurot MW/h kohta. Plaanitakse nn Mankala mudelit paljude investoritega. Riigiabi andmise osa on veel arutamisel, aga 65% rahastusest võiks tulla ettevõtetelt. Riigialenuga kavatakse 0 intressiga katta osa ehituskuludest. Hange tehnoloogia tarnija leidmiseks on kavas 2024. a³⁸.

³⁸ https://www.ifnec.org/ifnec/jcms/g_14339/high-level-warsaw-conference-on-nuclear-financing.

9. Ülevaade kohustustest, mis riigile tuumajaama rajamisega kaasneksid

Tuumaohutus hõlmab tuumarajatiste ohutut käitamist ning kiirguskaitset ja radioaktiivsete jäätmete käitlemist. Riigid peavad tuumaohutusnõuete, tuumajaamadele lubade andmise, järelevalve ja jõustamise jaoks looma oma riikliku raamistiku. Raamistiku loomine hõlmab nii pädevaid asutusi kui ka õigusloomet. Õigusliku raamistiku, rahvusvaheliste kohustuste ja tuumaohutuse tagamise taristu väljaarendamisel ei ole vahet, kas tuumajaama arendajaks on riik või eraarendaja. Riigi ülesandeks on kehtestada ja täiendada õigusakte, millega reguleeritakse tuumarajatiste ohutust. Sellistes õigusaktides sätestatakse:

- riigisisised ohutusnõuded ja -eeskirjad;
- tuumarajatistele tegevusloa väljastamise süsteem ja tuumarajatise tegevusloata käitlemise keeld;
- tuumarajatiste ametkondlik inspekteerimis- ja hindamissüsteem, et välja selgitada kohaldatavate määruste ja tegevuslubade tingimuste järgimine;
- kohaldatavate määruste ja tegevusloa tingimuste rakendamine, sealhulgas peatamine, muutmine ja tühistamine.

9.1. Tuumaregulaatori loomine

Kiirgusseaduse järgi korraldab Eestis kiirgusohutustegevust (sh tuumaohutust) oma pädevuse piires Keskkonnaministeerium Keskkonnaameti kaudu, kaasates selleks teisi asjaomaseid asutusi ning võttes muu hulgas arvesse valdkonnapõhiseid käitamiskogemusi, otsustusprotsessi tulemusi, asjaomase tehnoloogia arengut ja teadusuuringuid. Kui Keskkonnaministeeriumi ülesanne on kiirgusohutusalase poliitika kujundamine ja valitsemisala juhtimine, siis Keskkonnaameti ülesandeks on selle poliitika elluviimine, seadustega pandud ülesannete täitmine, kiirgusvaldkonna juhtimine ja riiklik järelevalve. Keskkonnaameti ülesandeks on ka järelevalve looduskeskkonna ja -varade kasutamise üle, menetledes selleks nii keskkonnavalaseid vää- kui ka kuritegusid. Asutus osaleb kriisireguleerimisega seotud ülesannete täitmisel.

Kui tuumaohutusega seotud lubade menetlemise ja järelevalve korraldamiseks eraldi asutust ei looda ja sellega seotud tegevused lisatakse Keskkonnaameti ülesannete hulka, siis tuleks täiendavalt värvata kokku umbes 20–30 kõrgharidusega spetsialisti ning asutuse aastelarve suureneks vähemalt 1,5 miljoni euro võrra. Tuumaohutuse konventsiooni (CNS)³⁹ kohaselt peavad regulaatoril olema oma kohustuste täitmiseks vajalikud volitused, pädevus, raha ja personal.

IAEA soovitusel võiks riigis tuumaregulaatori siiski luua eraldiseisva asutusena, nagu oli Eestis aastatel 1996–2009, kui Keskkonnaministeeriumi allasutuseks kiirgusküsimustes oli juriidiliselt eraldiseisev Kiirguskeskus. Sellisel juhul suureneks asutuses töötavate inimeste arv administratiivpersonali arvelt. Tuumaregulaatori kompetentside hulka peaks kuuluma ka osa hetkel Tarbijakaitse ja Tehnilise Järelevalve Ameti (TTJA) vastutusvaldkonda kuuluvatest ülesannetest, mis puudutab ehitusloa taotluse läbivaatamist ja selle vastavuse hindamist. Seetõttu võiks tuumaregulaatori luua Keskkonnaameti kliima- ja kiirgusosakonnas ning TTJA ehitus- ja raudteeosakonnas olemasoleva personali ja pädevuste baasil.

³⁹ <https://www.riigiteataja.ee/akt/964536>.

Fermi Energia AS-i 2020. a „Teostatavusanalüüsi väikse moodulreaktori (VMR) sobivusest Eesti energiavarustuse tagamiseks ja kliimaeesmärkide täitmiseks 2030+“ andmete põhjal kulub riikliku pädevuse tekitamiseks ning õigusliku raamistiku loomiseks vähemalt 10 miljonit eurot. Tuumaenergia kasutuselevõtu kohta positiivse otsuse langetamise korral tuleks regulaator luua pärast Riigikogu heakskiitu, eeldatavasti 2024. aasta jooksul. Tuumaenergia kasutuselevõtu protsessi kiirendamiseks oleks üheks võimaluseks koos lõpparuandega heakskiitmiseks esitada ka juba tuumaregulaatori loomise ettepanek. See eeldab, et regulaatori loomiseks ja mehitamiseks on ettevalmistustega alustatud juba enne põhimõttelise otsuse tegemist – kaardistatud personalivajadus, pädevused, koostatud on inimressursside arendamise tegevuskava, planeeritud eelarve, ette valmistatud põhimäärus ning vajalike õigusaktide muutmise eelnõud. Tuumaregulaatori loomise ettevalmistamiseks on vaja luua Keskkonnaametisse juurde ametikoht, mille maksumuseks oleks 48 000 eurot aastas.

Lisaks tuumaregulaatorile on vaja personali juurde ka valdkonnaga puutumust omavates ministeeriumites ja teistes asutustes energeetika, planeeringute, inimressursside arendamise, hädaolukordadeks valmisoleku, õigusloome, julgeoleku küsimuste katmiseks.

2022. a lõpus valmib Keskkonnaministeeriumi tellitud analüüs, milles vaadatakse Eestis kiirgusohutuse valdkonna reguleerimist ning hinnatakse, kas tuumaregulaatorina võiks laiendada Keskkonnaameti volitusi või tuleks luua uus asutus. Samuti analüüsitakse, millised oleksid valdkondlikku puutumust omavate asutuste rollid ja vastutusvaldkonnad.

9.2. Tuumavastutus, tuumaohutust reguleerivad konventsioonid ja EL-i õigusaktid

Tuumaohutuse ja kiirguskaitse arengu suunamisel tuleb arvestada nii riigisiseste kui ka rahvusvaheliste kohustustega. Peamised kohustused on seotud rahvusvaheliste konventsioonide, Euroopa Liidu lepingu ning Euroopa Aatomienergiaühenduse (EURATOM) asutamislepinguga⁴⁰. Kõik rahvusvahelised tuumavastutuse režiimid põhinevad tuumavastutuse ühistel aluspõhimõtetel:

- Operaator vastutab – tuumarajatise operaator (mitte tarnija ehitaja vmt) vastutab eranditult tuumakahjustuste eest, välja arvatud vastutus nende kahjude eest, mille eest vastutab kolmas isik riigisisese lepinguõiguse või deliktiõiguse alusel.
- Vastutus on piiratud ajaliselt ja rahaliselt – operaatori vastutuse suurusele seatakse miinimum- ja maksimumpiirid ning nõuded tuleb esitada kindlaksmääratud aja jooksul alates tuumaintsidendi kuupäevast ja kuupäevast, mil ohver sai kahjust teada.
- Rahaline tagatis – operaatorilt tuleb nõuda proportsionaalset finantstagatist (likviidsed varad või kindlustus), et katta käitaja vastutust.
- Mittediskrimineerimine – mittediskrimineerimine kodakondsuse, alalise elukoha või elukoha alusel hüvitise maksmisel, nii et taotlejatel on nende asukohast olenemata juurdepääs hüvitisele.
- Ainujurisdiktsioon – antakse ühe riigi kohtutele, kelleks on üldiselt selle osapoole kohtud, kelle territooriumil tuumaintsident aset leiab.
- Õigusliku valiku reeglid – kehtestatakse nii, et riik koos pädevate kohtutega kohaldaks oma seadusi.

⁴⁰ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/?uri=CELEX:11957A/TXT>.

- Välismaiste kohtuotsuste tunnustamine ja täitmine – pädeva kohtu tehtud otsuseid peavad tunnustama ja täitma kõik teised osapooled ilma sisu uuesti läbi vaatamata (piiratud eranditega).
- Riiklik puutumatus – Viini ja Pariisi konventsioonide kohaselt ei saa vastutav riik või riigiasutus riigi puutumatusel kaitset tugineda.

Eesti on liitunud järgmiste tuumaohutuse valdkonna konventsioonidega:

- Tuumaavariist operatiivse teatamise konventsioon⁴¹. Konventsiooni kohaldatakse mis tahes avari korral, mille tagajärjel radioaktiivsed osakesed paiskuvad või võivad paiskuda keskkonda ja toovad või võivad tuua kaasa radioaktiivsete heitmete kandumise üle riigipiiride ning millel võiks kiirgusohutuse seisukohalt olla tähendus teisele riigile.
- Tuumaavarii või kiirgusliku avariilukorra korral abi andmise konventsioon⁴². Osalisriigid teevad konventsiooni sätete kohaselt koostööd omavahel ja IAEA-ga viivitamatu abi andmiseks tuumaavarii või kiirgusavarii olukorras, et vähendada nende tagajärgi ning kaitsta elu, vara ja keskkonda radiatsiooni ja radioaktiivsete heitmete mõju eest.
- Tuumamaterjali füüsilise kaitse konventsioon⁴³ ja selle muudatus⁴⁴. Konventsiooni ja selle muudatust kohaldatakse rahuotstarbel kasutatava tuumamaterjalile selle riigisisel kasutamisel, hoidmisel ja vedamisel, rahvusvaheliselt veetava tuumamaterjali suhtes ning rahumeelsetel eesmärkidel kasutatavatele tuumarajatistele. Konventsiooni eesmärk on saavutada ja hoida rahumeelsetel eesmärkidel kasutatava tuumamaterjali ja rahumeelsetel eesmärkidel kasutatavate tuumarajatiste ülemaailmset tõhusat füüsilist kaitset, ennetada nende materjalide ja rajatistega seotud kuritegusid kogu maailmas, kuritegude vastu võidelda ning hõlbustada sel otstarbel tehtavat osalisriikide koostööd.
- Tuumakahjustuste eest tsiviilvastutuse Viini konventsioon. Konventsioon reguleerib tuumaõnnetuste vastutuse küsimusi. Konventsiooni eesmärk on ühtlustada lepinguosaliste riiklike õigusakte, kehtestades minimaalsed normatiivid, et tagada finantsilist kaitset kahjustuste eest, mis võivad tekkida tuumaenergia teatud viisil rahumeelse kasutamise eesmärgil.
- Viini konventsiooni ja Pariisi konventsiooni rakendamise ühine protokoll, mis loob seose Viini konventsiooni ja Pariisi konventsiooni vahel, laiendades vastastikku mõlema konventsiooniga kehtestatud tuumakahjustuste tsiviilvastutuse erirežiimi eeliseid.
- Austria Vabariigi, Belgia Kuningriigi, Hispaania Kuningriigi, Madalmaade Kuningriigi, Iirimaa, Itaalia Vabariigi, Kreeka Vabariigi, Luksemburgi Suurhertsogiriigi, Portugali Vabariigi, Rootsi Kuningriigi, Saksamaa Liitvabariigi, Soome Vabariigi, Taani Kuningriigi, Euroopa Aatomienergiaühenduse ja Rahvusvahelise Aatomienergiaagentuuri tuumarelvade leviku tõkestamise lepingu III artikli lõigete 1 ja 4 rakendamise kokkuleppe lisaprotokoll⁴⁵. IAEA kaitsemeetmete

⁴¹ <https://www.riigiteataja.ee/akt/13090165>.

⁴² <https://www.riigiteataja.ee/akt/13090135>.

⁴³ <https://www.riigiteataja.ee/akt/13090105>.

⁴⁴ <https://www.riigiteataja.ee/akt/13096393>.

⁴⁵ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/?uri=CELEX%3A21999A0313%2801%29>.

süsteemi efektiivsuse tugevdamiseks suurendab kokkuleppe lisaprotokoll IAEA-le esitatavate andmete hulka ning inspektorite õigusi.

- Kasutatud tuumkütuse ja radioaktiivsete jäätmete ohutu käitlemise ühendkonventsioon. Eesmärk on kaitsta inimest ja keskkonda tsiviilvaldkondades tekkivate radioaktiivsete jäätmete ja kasutatud tuumkütuse käitlemisel tekkivate ohtude eest, rakendades ohutu käitlemise põhimõtteid.
- Tuumaohutuse konventsioon. Eesmärk on kohustada maismaal tuumarajatise omavaid riike säilitama ohutuse kõrge taseme, määraes rahvusvahelised standardid, mida need riigid peavad järgima.

Rahvusvaheliselt kasvab tuumaprogrammi arendamisel riigile surve liituda muude konventsioonidega, sh tuumavastutuse konventsiooniga⁴⁶ (*Convention on Supplementary Compensation for Nuclear Damage, CSC*), millel on hetkel küll üsna vähe osalisi (20), kuid millega liitumise eestvedajaks on USA, kes sel teemal ka praegu Eestiga regulaarselt kohtumisi on soovinud. USA, Kanada ja Jaapan on CSC-ga liitumise seadnud ka oma tuumatehnoloogia tarnimise eeltingimuseks. Konventsiooni toetajad väidavad, et see aitab USA tuumatehnoloogia eksportijaid, luues prognoositava rahvusvahelise vastutussüsteemi. Konventsiooniga liitudes on riik kohustatud liituma fondiga. Fond peab tagama püsivalt 300 000 miljoni Rahvusvahelise Valuutafondi arvestusühiku (SDRi) suuruse rahasumma olemasolu võimalike tuumaõnnetuste likvideerimiseks. Täpne summa, mille riik on kohustatud fondi tasuma, arvutatakse erinevate koefitsientide abil igale riigile eraldi tulenevalt tema territooriumil asuvate tuumarajatiste võimsusest. Poole ette nähtud summast on riik (läbi operatori) kohustatud fondi maksma kümne aasta jooksul konventsiooni ratifitseerimisest. Ilma töötavate tuumaelektrijaamadeta oleks CSC kalkulaatori kohaselt Eesti panus 15 183 SDRi (ca 18 000 eurot) ja 600 MW koguvõimsusega tuumaelektrijaama olemasolul 538 132 SDR-i (ca 639 000 eurot).

Konventsioonide järgi, millega Eesti on juba liitunud, liigituksime tuumaenergia kasutuselevõtmisel aruandluskohustuse poolest gruppi, kelle aruannetele, deklaratsioonidele ning nende läbivaatamisele rakendatakse detailsemaid nõudeid. See toob kaasa konventsiooni aruannete ning riiklike tuumamaterjali puudutavate aruannete ja deklaratsioonide koostamise eest vastutavate asutuste halduskoormuse märgatava kasvu.

Kiirgus- ja tuumaohutuse valdkonda reguleerivad EL-is järgmised Euroopa Liidu Nõukogu direktiivid:

- direktiiv 2013/59/Euratom, millega sätestatakse põhilised ohutusnormid töötajate ja muu elanikkonna tervise kaitseks ioniseerivast kiirgusest tulenevate ohtude eest ning tunnistatakse kehtetuks direktiivid 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom ning 2003/122/Euratom⁴⁷;
- direktiiv 2006/117/Euratom, 20. november 2006, radioaktiivsete jäätmete ja kasutatud tuumkütuse vedude järelevalve ja kontrolli kohta⁴⁸;

⁴⁶ <https://www.iaea.org/topics/nuclear-liability-conventions/convention-supplementary-compensation-nuclear-damage>.

⁴⁷ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013L0059&from=ET>.

⁴⁸ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006L0117&from=EN>.

- direktiiv 2014/87/Euratom, 8. juuli 2014, millega muudetakse direktiivi 2009/71/Euratom, millega luuakse tuumaseadmete tuumaohutust käsitlev ühenduse raamistik⁴⁹;
- direktiiv 2011/70/Euratom, 19. juuli 2011, millega luuakse ühenduse raamistik kasutatud tuumkütuse ja radioaktiivsete jäätmete vastutustundlikuks ja ohutuks käitlemiseks⁵⁰;
- direktiiv 2013/51/Euratom, 22. oktoober 2013, millega määratakse kindlaks nõuded elanikkonna tervise kaitsmiseks olmevees sisalduvate radioaktiivsete ainete eest⁵¹.

Lisaks direktiividele rakendatakse ka Euroopa Komisjoni otsekohalduvaid määruseid, nt komisjoni määrus (Euratom) nr 302/2005 Euratomi julgeolekumeetmete rakendamise kohta.

Tuumaenergia kasutuselevõtu seisukohast omavad suurimat rolli tuumaohutuse direktiivid 2014/87/Euratom ja 2009/71/Euratom, radioaktiivsete jäätmete käitlemise direktiiv 2011/70/Euratom, mille tuumarajatisi ning tuumkütust puudutavate sätete järgi on Eestile seni rakendatud ülevõtmise, aruandluse ja vastastikhindamiste erandeid. Vastavate sätete ülevõtmise vajadusega tuleb arvestada tuumaseaduse eelnõu ja selle alamaktide koostamisel ning valdkondlike õigusaktide muutmisel. Samuti tuleb täiendada aruandluse, vastastikhindamiste ja teavitamiskohustuste tõttu arvestada riigiasutuste halduskoormuse kasvuga.

Keskkonnaministeeriumi tellimusel valmib 2023. a esimese kvartali lõpuks analüüs, milles antakse ülevaade asjakohastest rahvusvahelistest õigusaktidest (konventsioonid, kokkulepped, protokollid), millega on Eesti juba liitunud, ning valdkondlikest EL-i õigusaktidest (EURATOM direktiivid). Samuti kaardistatakse rahvusvahelised õigusaktid, millega tuleb Eestil tuumaenergia kasutuselevõtmisel lisaks liituda, ning Euroopa Liidu direktiividest Eestile tuumaenergia kasutuselevõtu korral kohalduvad täiendavad nõuded.

⁴⁹ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0087&from=EN>.

⁵⁰ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/PDF/?uri=CELEX:32011L0070&from=EN>.

⁵¹ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ET/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013L0051&from=EN>.

10. Valdkondlike õigusaktide, pädevuste, oskusteabe ja olemasoleva tööjõu hetkeseis ning arenguvajadus

10.1. Kiirgus- ja tuumaohutust reguleerivad riigisisised õigusaktid

Põhiliseks olemasolevaks valdkondlikuks õigusaktiks kiirgus- ja tuumaohutuse reguleerimiseks on kiirgusseadus koos alamaktidega. Seal sisalduvad sätted ei ole aga piisavad selleks, et reguleerida tuumaelektrijaama rajamist ja käitamist.

Kiirguse valdkonda puudutavatest õigusaktidest saab välja tuua veel järgmised seadused:

- Karistusseadustik⁵² – ioniseeriva kiirgusega seotud süüteod.
- Hädaolukorrasedus⁵³ ja selle alamaktid – kiirgushädaolukordade lahendamise plaanid.
- Elektriturseadus⁵⁴ – § 22 lg 3, mis sätestab, et tuumaenergiat kasutava tootmiseladme abil võib elektrienergiat toota Riigikogu otsuse alusel.
- Keskkonnamõju hindamise ja keskkonnajuhtimissüsteemi seadus⁵⁵ – sätestab, et olulise keskkonnamõjuga tegevused, mille puhul tuleb hinnata keskkonnamõju, on mh tuumaelektrijaama või muu tuumaseadme ehitamine, sulgemine või dekommissioneerimine.
- Planeerimisseadus⁵⁶ – sätestab riikliku eriplaneeringu nõude elektrijaamadele alates 150 MW.
- Töötervishoiu ja tööohutuse seadus⁵⁷ – töötajate kaitse ning tervisekontroll.
- Autoveoseadus⁵⁸ – nõuded radioaktiivse materjali veole (ADR klass 7).

Tuumaprogrammi rakendamiseks tuleks tuumaenergia kasutuselevõtu positiivse otsuse korral vastu võtta eraldi tuumaseadus, mis sätestab õiguslikud alused tuumaenergeetikaks ja tuumamaterjali ja -kütuse käitlemisega seotud tegevuseks, põhilised ohutusnõuded ja isikute õigused, kohustused ja vastutuse seoses tuumarajatistega.

Selle kohta, milliseid seadusi tuleks veel täiendada või milliseid uusi regulatsioone luua, valmib detailsem ülevaade 2023. aasta esimeses kvartalis, kui valmib Keskkonnaministeeriumi tellitud töö tuumaprogrammiga alustamiseks vajaliku õigusraamistiku kaardistamisest koos tuumaseaduse eelnõuga. Töös hinnatakse olemasolevaid valdkondlikku puutumust omavaid riigisiseseid õigusakte ja tuumajaama käitamisega seotud valdkondade, nagu kiirguskaitse, hädaolukordadeks valmisolek, transport, ehitus jne täiendavat reguleerimise vajadust.

10.2. Olemasolev oskusteave

Kiirgus- ja tuumaohutuse küsimustes on riiklikuks kompetentsikeskuseks Keskkonnaameti kliima- ja kiirgusosakond, kus töötab 18 erinevate kiirgusalaste teadmistega inimest meditsiinikiirguse, tööstuslike kiirgusallikate, radioaktiivsete jäätmete käitlemise, radooni, kiirgusseire ja kiirgushädaolukordade valdkonnas. Keskkonnaministeeriumis on üldised teadmised kiirgusest kolmel töötajal. Kiirgussündmustele reageerimiseks on baasväljaõppe

⁵² <https://www.riigiteataja.ee/akt/128042022027>.

⁵³ <https://www.riigiteataja.ee/akt/117112021009>.

⁵⁴ <https://www.riigiteataja.ee/akt/118052022012>.

⁵⁵ <https://www.riigiteataja.ee/akt/103012022010>.

⁵⁶ <https://www.riigiteataja.ee/akt/129062022009>.

⁵⁷ <https://www.riigiteataja.ee/akt/122122021026>.

⁵⁸ <https://www.riigiteataja.ee/akt/122032022012>.

saanud Päästeameti, Politsei- ja Piirivalveameti, Kaitsepolitseiameti ning Maksu- ja Tolliameti töötajad. Asutusesiseselt koolitatakse Keskkonnaametis ka keskkonnainspektoreid, kelle ülesandeks on järelevalve kiirgustegevusloa omajate üle. Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi hallatavas AS-is A.L.A.R.A. on vähemalt kuuel inimesel olemas teadmised ja kogemused radioaktiivsete jäätmete käitlemisest. Keskkonnaameti, Keskkonnaministeeriumi ning AS-i A.L.A.R.A. töötajatel on valdavalt loodusteaduste, füüsika- või keemiaalane kõrgharidus ning erialased teadmised on omandatud asutusesisese väljaõppena ja IAEA pakutavatel koolitustel. Eraldi tuumaohutusele või -tehnoloogiale spetsialiseerunud ja eriväljaõpet saanud spetsialiste eespool nimetatud asutuses pole. Osade töötajate suuremad teadmised tuumatehnoloogiast on omandatud iseseisvalt tööülesannete täitmise käigus ning olnud tingitud praktilisest vajadusest hinnata nt naaberriikide tuumaelektrijaamadest lähtuvaid riske, osaleda EL-i õigusloome protsessides või rahvusvahelistel foorumitel, töörühmades ning konventsioonikohtumistel.

Üldised kiirguse, energeetika ja füüsika kompetentsid on olemas Tartu Ülikoolis, Keemilise ja Bioloogilise Füüsika Instituudis (KBFI), Tallinna Tehnikaülikoolis ning Tallinna Ülikoolis. Meditsiini kiirguse valdkonnas pakuvad väljaõpet ka Tartu Tervishoiu Kõrgkool ja Tallinna Tervishoiu Kõrgkool.

Suurimad teadmised ja kogemused tuumaenergeetikast on Eestis erasektoril – Fermi Energia AS-il, kelle meeskonda kuulub neli vastavat valdkondlikku kõrgharidust ning töökogemust omavat tuumaenergia spetsialisti. Lisaks koolitab Fermi Energia koostöös välismaiste koostööpartnerite ning IAEA kaasabil järjepidevalt oma meeskonna liikmeid tuumaenergia teemadel.

Eeltoodust lähtuvalt on Eestis hetkel olemas oskusteave riigi kiirgusohutuse tagamiseks, kuid tuumaprogrammi rakendamiseks pole hetkel vajalikul arvul tuumaohutuse valdkonnas pädevaid spetsialiste.

10.3. Kiirgusalase väljaõppe võimalused Eestis

Eestis pakutava kiirgus- ja tuumaohutusega seotud õppe (sh tasemeõppe ja koolitused) võib jagada kolme gruppi:

- 1) üldhariduslikud koolitused/kursused ja tasemeõppe haridus- ja täiendkoolitusasutustes;
- 2) kiirgustöötaja ja kiirgusohutuse spetsialisti koolitused;
- 3) pädevate asutuste töötajate koolitused.

Eestis on kehtestatud kiirgusekspertide tunnustamise süsteem. Hetkel on Eestis kaks tunnustatud meditsiini valdkonna kiirguseksperti, kes seaduse järgi saavad kiirgusohutusspetsialiste välja koolitada. Praegu toimuvad Eestis suhteliselt regulaarselt koolitused kiirgustöötajatele ja kiirgusohutuse spetsialistidele, samas ülejäänud eelnimetatud gruppidele pakutakse õpet harvem või üldse mitte.

Tuumaenergia teemal on Tallinna Tehnikaülikoolis alates 2021. aastast koostöös Fermi Energia AS-iga võimalik kuulata loengusarja nüüdisaegsest tuumaenergiast, kus antakse ülevaade 21. sajandil töötavate ja arendatavate tuumajaamade tööpõhimõtetest, ohutusest, opereerimisest, hooldusest, kütusetsüklist, rajamisprojektist, loamenetlusest ning ökonoomikast.

10.4. Riiklike pädevuste arendamine

Moodulreaktorite loastamise ja ohutusnõuete väljatöötamiseks tuleks luua/tuua Eestisse vastav oskusteave ja koolitada välja spetsialistid. Ohutusnõuete kehtestamiseks ja lubade väljastamiseks tuleks teha aktiivselt koostööd teiste riikide pädevate asutustega, kes omavad VMR-ide reguleerimisega kokkupuudet. VMR-idele kiirgustegevusloa väljastamise nõuete väljatöötamisega tegelevad mh Soome regulaator STUK, USA regulaator NRC, Kanada tuumaregulaator CNSC, aga ka IAEA, kes koondab liikmesriikide ekspertteadmiseid.

Novembris 2021 lepidi TET algatusel kokku Eesti osalemine USA rahastatavas tuumaenergia pädevuste suurendamise programmis FIRST, mille raames tutvustatakse Eesti osalejatele tuumaohutuse, -julgeoleku, kaitsemeetmete ja asukohtade valiku põhitõdesid, sidusrühmade kaasamist, tuumaprogrammide rahastamise põhimõtteid ja asukohavaliku kriteeriume.

Mais 2021 saatsid KBFI, TalTech ja Tartu Ülikool Haridus- ja Teadusministeeriumile, Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumile ning Keskkonnaministeeriumile ühispöördumise tuumaenergia strateegiliste pädevuste arendamise ettepanekutega. Kirjas sooviti riiklike baaskompetentside loomiseks eraldada teadusasutustele tuumaalasteks täiendkoolitusteks vähemalt 300 000 eurot aastas. Eelarvehendid kuluks kuue teaduri pädevuse arendamiseks. Olemasolevate kompetentside ja uurimistöö kogemuse pinnalt näevad KBFI, TalTech ja Tartu Ülikool vajadust arendada pädevust reaktoritehnoloogia, tuumajaama käitamise ja tuumkütuse tsükli valdkondades. Tuumahutuse, kiirguskaitse ning keskkonnaseirega seotud oskusteave on Eestile vajalik ka sõltumata tuumaenergia rakendamisest, sest naaberriikides (Rootsi, Soome, Venemaa) on tuumarajatised. Samuti on mehaanika, arvutimodelleerimise, riskianalüüsi jt arendatavate kompetentside hilisem rakendamine võimalik mistahes muus valdkonnas.

2022. aastal uuendati Eesti ja IAEA vahelist tehnilise koostöö raamkokkulepet perioodiks 2022–2027 ning sinna lisati ka tuumaenergia alaste pädevuste suurendamise projekt. Projekti raames on Eesti spetsialistidel võimalik tasuta osaleda IAEA korraldatavatel koolitustel ja seminaridel, mis käsitlevad tuumaenergia kasutuselevõtu erinevaid aspekte. Tuumahutuse kasutuselevõtuga seotud IAEA koolitustel on 2021–2022 osalenud Keskkonnaministeeriumi, Keskkonnaameti, AS-i A.L.A.R.A., Elering AS-i, Tartu Ülikooli ja Fermi Energia AS-i töötajad.

Tuumahutuse teemadel on Eesti spetsialistidele väljaõppevõimalusi pakkunud Prantsusmaa. *International Institute of Nuclear Energy (I2EN)* pakub ingliskeelseid magistriõppeprogramme tuumahutuse, tuumavaldkonna materjaliteaduse, tuumarakenduste ja tuumainseneri erialadel. Aastased õppemaksud magistriõppeprogrammides jäävad vahemikku 335–12 000+ eurot sõltuvalt sellest, kas õppekavale rakendatakse EL-i Erasmus programmist toetusmeetmeid.

Soomes on võimalik tuumahutusealast kõrgharidust omandada Lappeenranta ja Jyväskylä ülikoolis, kus õppemaks õppeaastas on 10 000–15 000 eurot. Rootsis pakuvad tuumahutuse vallas väljaõpet mitu ülikooli. KTH Royal Institute of Technology ja Uppsala ülikoolis jäävad tuumainseneri õppekava aastased õppemaksud vahemikku 15 000–20 000 eurot.

2022. a lõpuks valmib Keskkonnaministeeriumi tellitud inimressursside arendamise strateegia, milles analüüsitakse siseriiklike pädevuste arendamise vajadusi ja võimalusi valdkondades nagu tuumahutus, tuumajulgeolek, kaitsemeetmed, kiirguskaitse, juhtimissüsteemid, hädalukordadeks valmisolek jt. Strateegia eesmärgiks on saada ka sisend riikliku inimressursside arendamise poliitika arendamiseks, asutuste rollide ja vastutuse jaotuseks.

Kokkuvõte

Tuumaenergia abil toodetakse umbes 10% kogu maailma elektrienergiast ja see on hüdroenergia järel maailmas suuruselt teine vähese CO₂-heitega energiaallikas. 2022. a töötas IAEA andmetel 32 riigis kokku 441 tuumareaktorit ning ehitamisel oli 53 uut reaktorit.

IAEA andmetel plaanis maailmas 2021. a tuumaenergia kasutuselevõttu 26 riiki, kellest 10 on tuumaenergia kasutuselevõtuks otsuse juba teinud, ning 16 riiki, sh Eesti, on analüüsimise etapis. Rahvusvaheline Energiaagentuur (IEA) prognoosib 2050. aastaks maailmas tuumaenergia võimsuse kahekordistumist 415 GW-lt 2020. aastal enam kui 810 GW-ni 2050. aastal.

Sõda Ukrainas, Venemaa ebastabiilne käitumine energiaeksportijana, samuti Venemaale sanktsioonide kehtestamine on energiajulgeoleku kindlustamise vajadust teravdanud üle Euroopa. Seetõttu suurendatakse ja kiirendatakse taastuvenergiasse investeerimist ja selle arendamist. Tuumaenergia sobivust kaaluvad mitu riiki, sest seda nähakse osana energiatootmise mitmekesistamisest.

Taastuvenergia osakaalu kasvades on elektrijulgeolekus üha olulisem faktor elektrisüsteemi suutlikkus usaldusväärselt ja kulutõhusalt hakkama saada nõudluse ja pakkumise muutlikkuse ja ebakindlusega. Euroopa Komisjoni delegeeritud õigusaktiga lisati juulis 2022 maagaas ja tuumaenergiaga taksonoomia kategooriasse „Üleminekutegevused“, sest nenditi, et rohepöörde kontekstis tuleb taastuvenergia osakaalu suurendamisel siiski tagada ka elektrisüsteemi tasakaal, milleks omakorda on vajalik juhitavate võimsuste olemasolu süsteemis.

Pikaajaline arengustrateegia Eesti 2035, mille Riigikogu võttis vastu 2021. aastal, seab eesmärgi saavutada 2050. aastaks kliimanetraalsus. Arvestades globaalseid trende, on meil vaja jätkata Eestis kliimanetraalse elektritootmise poole liikumist, et meie elektritootmine konkurentsivõimeline püsiks. „Eesti riiklik energia- ja kliimakava aastani 2030“ ja „Eesti kliima-ambitsiooni tõstmise võimaluste analüüs“ on ühe võimaliku lahendusena välja pakkunud tuumaenergia kasutuselevõtmise pärast 2030. aastat. Enne Eestisse tuumajaama rajamise ettepaneku Riigikogusse otsustamiseks esitamist on vaja lisaks valdkondlike tehniliste teadmiste omandamisele teha ka põhjalik poliitiline ettevalmistustöö ning kaasata avalikkus analüüsi- ja otsustusprotsessi.

Vabariigi Valitsuse 5. novembri 2020 kabinetinõupidamise otsusega anti Keskkonnaministeeriumile ning Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumile koos teiste asjaomaste ministeeriumitega korraldus kokku kutsuda riiklik tuumaenergia töörühm. Tuumaenergia töörühma koosseis kinnitati valitsuskabineti nõupidamisel 8. aprillil 2021. Töörühma juhib Keskkonnaministeeriumi kantsler ning lisaks Keskkonnaministeeriumile kuuluvad töörühma Keskkonnaamet, Siseministeerium, Rahandusministeerium, Justiitsministeerium, Haridus- ja Teadusministeerium, Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, Kaitseministeerium, Välisministeerium, Sotsiaalministeerium ja Riigikantselei.

TET-i lõppeesmärk on kujundada avalikkusega kooskõlastatud seisukohad tuumaenergia kasutuselevõtmise võimaluste kohta Eestis ning esitada oma järeldused ja ettepanekud Vabariigi Valitsusele. 8. aprilli 2021 valitsuskabineti nõupidamise otsusega seati TET-i töö tulemuste esimese vahearuande esitamise tähtajaks hiljemalt september 2022. Terviklik

aruanne, mille põhjal on riigil võimalik tuumaenergia kasutuselevõtu kohta vastu võtta põhimõtteline otsus, peab valitsuskabineti 7. aprilli 2022 otsuse kohaselt valmima hiljemalt 2023. aasta lõpuks.

Tuumaelektrijaama kasutuselevõtmine sõltumata kasutusele võetavast tehnoloogiast hõlmab vähemalt 10–15 aastat ettevalmistavaid tegevusi ning vähemalt 100 aastat jätkuvaid tegevusi. Enne põhimõttelise otsuse vastuvõtmist esimese etapi lõpus peab analüüsima kõiki IAEA poolt ette nähtud 19 tuumaenergia kasutuselevõtu aspekti, sh tuvastada tuumajaama rajamiseks potentsiaalselt sobivad asukohad. Riigid peavad tuumaohutusnõuete, tuumajaamadele lubade andmise, järelevalve ja jõustamise jaoks looma oma riikliku raamistiku, mis hõlmab nii pädevaid asutusi kui ka õigusloomet. Õigusliku raamistiku, rahvusvaheliste kohustuste ja tuumaohutuse tagamise taristu väljaarendamisel ei ole vahet, kas tuumajaama arendajaks on riik või eraarendaja. Tuumaprogrammi rakendamiseks tuleks vastu võtta eraldi tuumaseadus, mis sätestab õiguslikud alused tuumaenergeetikaks ja tuumamaterjali ja -kütuse käitlemisega seotud tegevuseks, põhilised ohutusnõuded ja isikute õigused, kohustused ja vastutuse seoses tuumarajatistega. Lubade väljastamiseks ja ohutusnõuete väljatöötamiseks tuleks luua/tuua Eestisse vastav oskusteave ja koolitada välja spetsialistid.

Selleks, et hinnata riigi valmisolekut tuumaenergia kasutuselevõtuks, pakub IAEA liikmesriikidele tuumaenergia taristu INIR (*Integrated Nuclear Infrastructure Review*) ekspertmissiooni. Eesti esitas märtsis 2022 IAEA-le ametliku palve INIR missiooniks 2023. a teisel poolaastal. INIR-i käigus hindavad missiooni meeskonda kuuluvad IAEA töötajad ja rahvusvahelised eksperdid seda, kas riik on kõiki 19 tuumaenergia kasutuselevõtu aspekti piisava põhjalikkusega hinnanud ning vajalike tegevuste aja- ja tegevuskavad on realistlikud.

Jaanuaris 2022 loodi TET-i tegevuse toetamiseks ruumiplaneerimise alltöörühm, mis tegeleb tuumaelektrijaama ja lõppladustuspaiga asukohtade eeluuringu hanke ettevalmistamise ja tulemuste kontrollimisega. Alltöörühma juhib Rahandusministeeriumi regionaalvaldkonna asekanter ja see tegutseb vähemalt kuni asukohtade eelanalüüsi valmimiseni 2023. a teises kvartalis.

2022. a lõpuni on TET-i tegevusteks Keskkonnaministeeriumi eelarves 124 250 eurot (100 000 teadus- ja arendustegevuse eelarvest ja 24 250 põhieelarvest) ning 7. aprilli 2022 valitsuskabineti nõupidamise otsusega riigieelarvest lisavahendeid 250 000 eurot järgmisteks tegevusteks:

- Tuumaelektrijaama ja kasutatud tuumkütuse lõppladustuspaiga potentsiaalsete asukohtade eelanalüüs – kogumaksumus 100 000 eurot, töö valmib 2023. a teises kvartalis.
- Julgeoleku ja hädaolukordadeks valmisoleku analüüs – 50 000 eurot, töö valmib detsembris 2022.
- Soome tuumaregulaatori STUK ekspertanalüüs TET-i vahearuandele – 20 000 eurot, töö valmib novembris 2022.
- Meelsusuuring – 4250 eurot. AS-i Emor veebruaris tehtud uuringus „Tuumaeenergia valdkonna teadlikkus ning valmisolek tuumaenergia kasutuselevõtuks Eestis“ uuriti elanike teadlikkust tuumaenergiast, hirne ja ootusi ning info saamise kanalite eelistusi.
- 2022–2024 kommunikatsioonitegevusteks – 50 000 eurot.
- Tuumaeenergia töörühmale inimressursside arendamise strateegia koostamiseks ja regulatiivse raamistiku kaardistamiseks – 150 000 eurot. Töö valmimise tähtajaks on detsember 2022.

- Tuumaprogrammiga alustamiseks vajaliku õigusraamistiku kaardistamine ja tuumaseaduse eelnõu ajakohastamine ning seletuskirja koostamine – 100 000 eurot 2023. a esimeses kvartalis.

Peamiseks rahvusvaheliseks koostööpartneriks kõigil kiirgus- ja tuumaohutusega seotud teemadel on Eestile jätkuvalt IAEA, kes pakub koolitusi, konsultatsioone, ekspertmissioone, koostab juhendmaterjale ja rahvusvahelisi standardeid. Tuumaenergia teemadel on koostööd ja abi pakkunud USA, Prantsusmaa, Saksamaa, Jaapan, Kanada ja Soome.

Perioodil september 2022 kuni detsember 2023 jätkab TET IAEA juhendis ettenähtud 19 tuumaenergia kasutuselevõtu aspekti hindamist ning koostab paralleelselt Vabariigi Valitusele esitatavat lõpparuannet ja INIR missiooni ettevalmistamiseks vajalikku enesehindamise raportit.

Lõpparuande koostamiseks on vaja lisaks 2022. a eelarvest kavandatud tegevustele, et riigi poolt analüüsitaks tuumaprogrammi juhtimise, elektrivõrgu arendamise, rahastamise, hangete, keskkonnakaitse, kiirguskaitse, kaitsemeetmete, tuumkütuse tsükli ja jäätmete käitlemise teemasid. Rahastust vajab sidusrühmade laiem kaasamine ja eksperthinnangute tellimine. TET võtab lõpparuande koostamisel arvesse nii teiste riikide praktikat kui ka erasektori (Fermi Energia AS) tellitud analüüse (nt tarneahela ja rahastamisstrateegiate analüüs, makromajanduslik analüüs), mis vajavad sõltumatute ekspertide hinnangut. Teadusasutuste juurde on vaja täiendava kompetentsi loomist, et riigile oleksid tagatud pädevad partnerid ning riik saaks rohkem tuge ülikoolidelt.

Kasutatud kirjandus

1. TÜ minikursus „Kosmilisest kiirgusest tuumajaamani“
https://sisu.ut.ee/kiirgusest_tuumajaamani/tuumareaktor
2. Teabelehed Euroopa Liidus kohta. Tuumaenergia
<https://www.europarl.europa.eu/factsheets/et/sheet/62/tuumaenergia>
3. IAEA veebileht <https://www.iaea.org/topics/energy>
4. IAEA ARIS andmebaas: <https://aris.iaea.org/>
5. Kiirgusohutuse riiklik arengukava 2017–2027:
[file:///sise.envir.ee/Kasutajad\\$/KeM/48504034216/Downloads/KORAK%20arengukava%20\(2\).pdf](file:///sise.envir.ee/Kasutajad$/KeM/48504034216/Downloads/KORAK%20arengukava%20(2).pdf)
6. IAEA PRIS andmebaas: <https://pris.iaea.org/pris/home.aspx>
7. World Nuclear Association veebileht <https://world-nuclear.org/>
8. Fermi Energia AS-i teostatavusanalüüs „Teostatavusanalüüs väikse moodulreaktori (VMR) sobivusest Eesti energiavarustuse tagamiseks ja kliimaeesmärkide täitmiseks 2030+“ <https://fermi.ee/wp-content/uploads/2020/01/tuuma-raamat-final.pdf>
9. STIMSON „Bringing the Back-End to the Forefront Spent Fuel Management and Safeguards Considerations for Emerging Reactors“:
<https://www.stimson.org/2021/bringing-the-back-end-to-the-forefront/>
10. Elering. Eesti elektrisüsteemi varustuskindluse aruanne 2021
<https://elering.ee/sites/default/files/2021-12/Varustuskindlus%202021%20lk.pdf>
11. IEA „Nuclear Power and Secure Energy Transitions“. 2022
<https://www.iea.org/reports/nuclear-power-and-secure-energy-transitions>
12. Fermi Energia AS-i ja Deep Isolationi analüüs „Deep Isolation in Estonia. Qualitative Geological Readiness Assessment of Deep Isolation’s borehole solution in Estonia“
<https://fermi.ee/wp-content/uploads/2021/03/deep-isolation-gra-for-fermi-energia-final-report-02-feb-2021.pdf>

Lisa 1. Tuumaenergia tööühma liikmete nimekiri

1. Meelis Münt – Keskkonnaministeeriumi kantsler, tööühma esimees
2. Antti Tooming – Keskkonnaministeeriumi asestantsler, tööühma esimehe asetäitja
3. Reelika Runnel – Keskkonnaministeeriumi kantsleri nõunik, tööühma koordinaator
4. Ilmar Puskar – Keskkonnaameti kliima- ja kiirgusosakonna juhataja
5. Priit Laaniste – Siseministeeriumi sisekaitse ja kriisivalmiduse osakonna juhataja
6. Viola Murd – Siseministeeriumi pääste, hädaabi ja kriisivalmiduse asestantsler
7. Kaia Sarnet – Rahandusministeeriumi regionaalvaldkonna asestantsler
8. Katri-Liis Ennok - Rahandusministeeriumi planeeringute osakonna juhataja
9. Tõnis Saar – Justiitsministeeriumi kantsler
10. Heddi Lutterus – Justiitsministeeriumi asestantsler
11. Renno Veinthal – Haridus- ja Teadusministeeriumi teaduse, arenduse, kõrg- ja kutsehariduspoliitika asestantsler
12. Katrin Pihor – Haridus- ja Teadusministeeriumi teadus- ja arendustegevuse poliitika osakonna juhataja
13. Timo Tatar – Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi energeetika asestantsler
14. Jaanus Uiga – Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi energeetika osakonna juhataja
15. Kusti Salm – Kaitseministeeriumi kantsler
16. Marti Magnus – Kaitseministeeriumi kaitsevalmiduse osakonna juhataja
17. Kaja Tael – Välisministeeriumi kliima- ja energiapoliitika erivolitustega diplomaatiline esindaja
18. Andres Ideon – Välisministeeriumi Euroopa osakonna Põhja- ja Kesk-Euroopa ning regionaalse koostöö büroo lauaülem
19. Aive Telling – Sotsiaalministeeriumi rahvatervise osakonna keskkonnatervise ja kemikaaliohutuse juht
20. Ulla Saar – Sotsiaalministeeriumi tööala asestantsler (kuni juuli 2022)
21. Kristi Suur – Sotsiaalministeeriumi tööhõive osakonna tööturuteenuste juht
22. Triin Reisner – Riigikantselei strategiabüroo nõunik

Lisa 2. Ruumiplaneerimise alltöörühma liikmete nimekiri

1. Kaia Sarnet – Rahandusministeeriumi regionaalvaldkonna asekanstler, alltöörühma juht
2. Katri-Liis Ennok – Rahandusministeeriumi planeeringute osakonna juhataja
3. Alan Rood – Rahandusministeeriumi regionaalplaneerimise nõunik
4. Reelika Runnel – Keskkonnaministeeriumi kantsleri nõunik
5. Marily Jaska – Keskkonnaministeeriumi välisõhu ja kiirgusosakonna nõunik
6. Ilmar Puskar – Keskkonnaameti kliima- ja kiirgusosakonna juhataja
7. Karin Muru – Keskkonnaameti kliima- ja kiirgusosakonna nõunik
8. Marko Põld – Siseministeeriumi pääste- ja ohutuspoliitika osakonna nõunik
9. Kadri Auväärt – Kaitseministeeriumi keskkonnapoliitika ja ruumilise planeerimise juht
10. Indrek Gailan – Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi transpordi arengu ja investeeringute osakonna juhataja
11. Kati Tamtik – Tarbijakaitse ja Tehnilise Järelevalve Ameti ehitus- ja raudteeosakonna juhataja
12. Ingrid Teinemaa – Tarbijakaitse ja Tehnilise Järelevalve Ameti tehnikaosakonna juhataja
13. Andres Marandi – Geoloogiateenistuse hüdrogeoloogia ja keskkonnageoloogia osakonna juhataja
14. Madis Vasser – Eesti Rohelise Liikumise juhatuse liige
15. Peep Mardiste – Eesti Keskkonnaühenduste Koja esindaja
16. Reigo Lehtla – Eesti Linnade ja Valdade Liidu keskkonnanõunik

Lisa 3. Fermi Energia AS-i nägemus tuumaelektrijaama ehituse rahastamisest Eestis

Fermi Energia AS on seadnud eesmärgiks tuumaelektrijaam rajada erakapitalil põhineva rahastusega. 60% 500–600 MWe võimsusega tuumaelektrijaama ning võrguehituse investeeringust (ca 2 mld €) moodustaks laenukapital, millest ehitusaegne rahastus on garanteeritud ekspordikrediidiga, strateegiliste investorite laenudega ning pangalaenu osa on kaetud 15aastaste elektrimüügilepingutega. Investeeringu omakapitali puhul eeldatakse üle 50% eestimaist kapitali nii era-, institutsionaalsetelt kui tööstustarbijatest investoritelt. Eeskujuks on võetud Soome Mankala mudel, kuid uuendatud kujul ja pakutakse üle 2 GWh aastase tarbimisega Eesti, Läti ja Leedu tarbijatele 15aastase fikseeritud hinnaga (suurusjärg 55 €/MWh) lepinguid. Hetkel on Fermi Energia AS juba sõlminud eelkõkkuleppeid fikseeritud hinnaga elektri müümiseks mitmete tööstusettevõtetega ja 2023. a lõpuks soovitakse eelkõkkuleppeid Balti turul sõlmida 2 TWh mahus. Kuivõrd Fermi Energia AS-i kinnitusel on nende primaarne huvi uue tootmisvõimsuse riskimaandus ja rahastuskindlus, mitte elektriturul tulu maksimeerimine, püüab arendaja maksimaalse mahu (kuni 4,8 TWh ehk 56% Eesti 2021. aasta tarbimisest) katta ettemüügilepingutega.

Strateegiliste investoritena näeb Fermi Energia enda tänast osanikku Vattenfall AB-d ning enda koostööleppe partnereid Latvenergo AS-i ja Fortum Power and Heat OY-d, kellel eriti peale gaasi- ja elektrienergia tarnete katkemist Venemaa Föderatsioonist ja Fennovoima projekti katkemist on tõsine huvi osaluseks väikereaktori rajamise projektis, mis aitab tagada regionaalset elektrienergia varustuskindlust. Fermi Energia AS suurendab osakapitali ja osanikeringi samm-sammult aastatel 2023–2029 ning täheldab nii kodu- ja välismaiste finants- ja strateegiliste investorite tugevat huvi. Fermi Energia AS-i kinnitusel on nad avatud ka riigi osaluseks, kui riik on teinud teadliku otsuse tuumaenergia kasutuselevõtuks.