



Tuumaenergeetika olukorrast Eestis

Henri Ormus ja Marti Jeltsov
Fermi Energia/KBFI
TA Energeetikakomisjon
18.10.2021



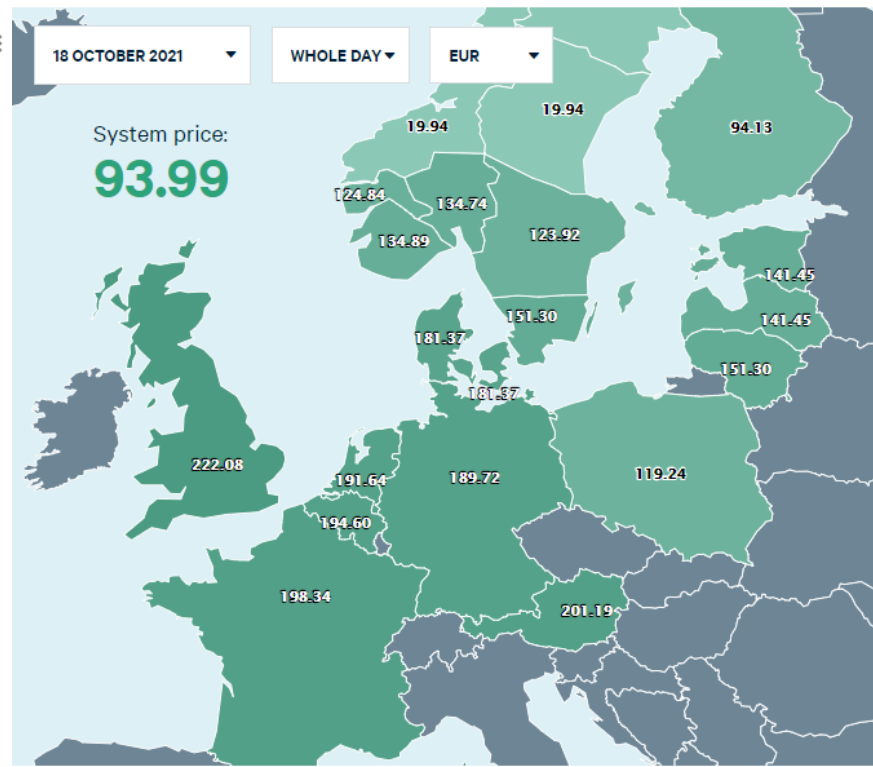
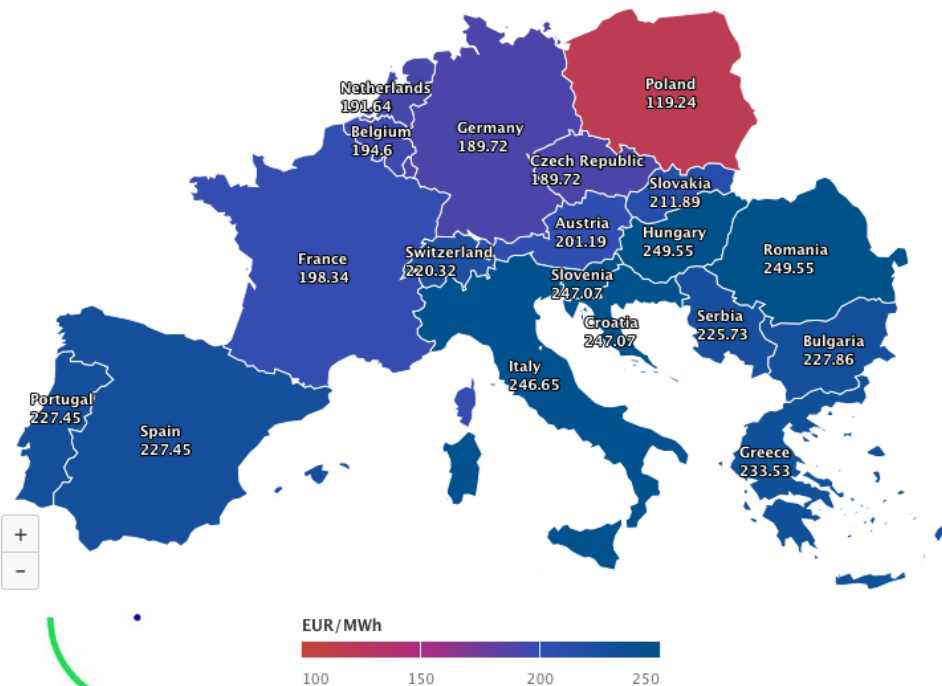
Sisukord

- Energeetika hetkeseis
- Miks tuumaenergia?
- Tuumajaamad meie ümber
- Evolutsioonilised ja revolutsioonilised tehnoloogiad



Elektri turg on KUUM!

Day-ahead average prices for 2021-10-18



FERMI.

TUUMAST räägitakse!

IAEA Releases Report on Nuclear Energy for a Net Zero World Ahead of COP26 Climate Summit

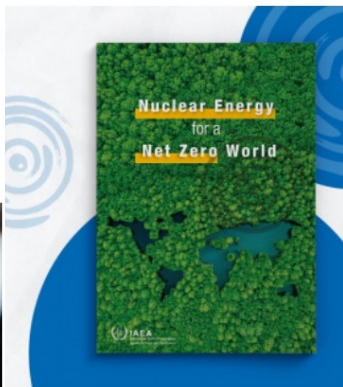
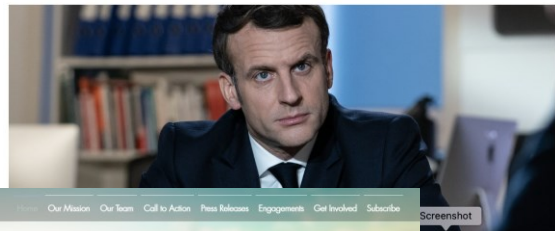
15 Oct 2021

NUCLEAR POLITICS

France / Macron Announces Plans For First SMR And Green Hydrogen From Nuclear Plants By 2030

By David Dalton
12 October 2021

President says Europe 'will never have' enough renewable energy capacity



Germans asked to keep reactors in operation

Germany's phase-out of nuclear energy will only lead to the country missing its 2030 carbon emissions target, 25 leading foreign and German environmentalists, journalists and academics have written in an open letter to the German public. They call on German politicians to be "brave enough" to change legislation to at least postpone the shutdown of the country's reactors.

Nuclear Policies 15 October 2021

WORLD NUCLEAR ASSOCIATION

Weekly Digest

Significant nuclear-related news items in perspective

Romania sets out to double nuclear power capacity

The Romanian government has adopted an integrated energy plan that calls for two MWe CANDU reactors at Cernavoda to be in operation by 2031 and the refurbishment of and

EU countries urge increased nuclear power

The energy and economy ministers from ten EU member states have called for nuclear to be "an affordable, stable and independent energy resource" to be urgently included in the framework of the EU's climate policy. Despite the issue being the Czech Republic, a push is opposed by German and European countries. The European Commission

wnn
world nuclear news

Ten EU nations call for nuclear's inclusion in taxonomy

11 October 2021

Share

Nuclear energy must be included in the framework of the European taxonomy before the end of this year, energy and economy ministers from ten EU member states said in a joint article published in several European newspapers yesterday. The ministers said nuclear energy is "an affordable, stable and independent energy resource". The Czech Ministry of Energy described the nations as a 'Nuclear Alliance'.



The European Commission building in Brussels (Image: Dimitris Vetsikas/Pixabay)

FINANCIAL TIMES

myFT

CLIMATE OPINION WORK & CAREERS LIFE & ARTS HOW TO SPEND IT Sign In Subscribe

Become an FT subscriber to read:

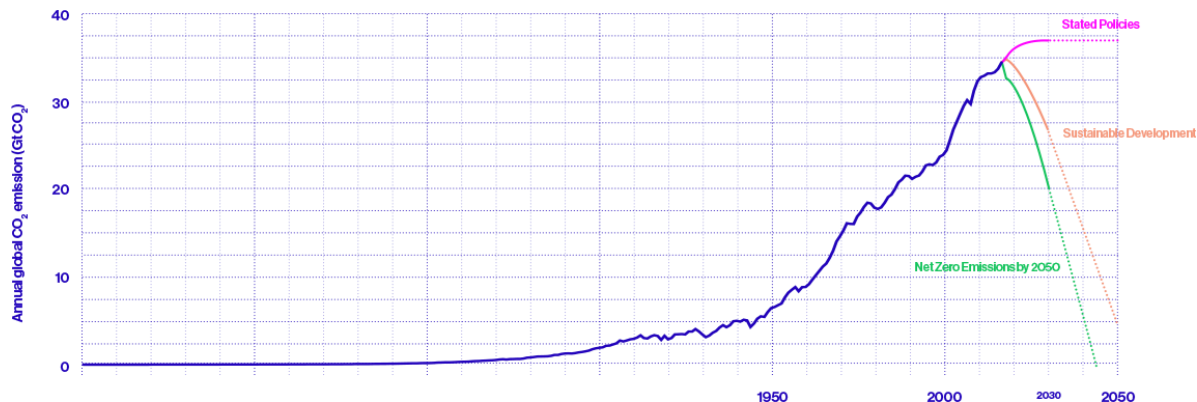
France bets on more nuclear power in face of Europe's energy crisis

What is the future of Europe?



Kliimaneutraalses maailmas tuleb fossiilkütuste kasutamine lõpetada

- € CO₂ hind tõuseb
- € Elektri hind tõuseb
- 600 väikereaktorit maailmas vaja aastaks 2030

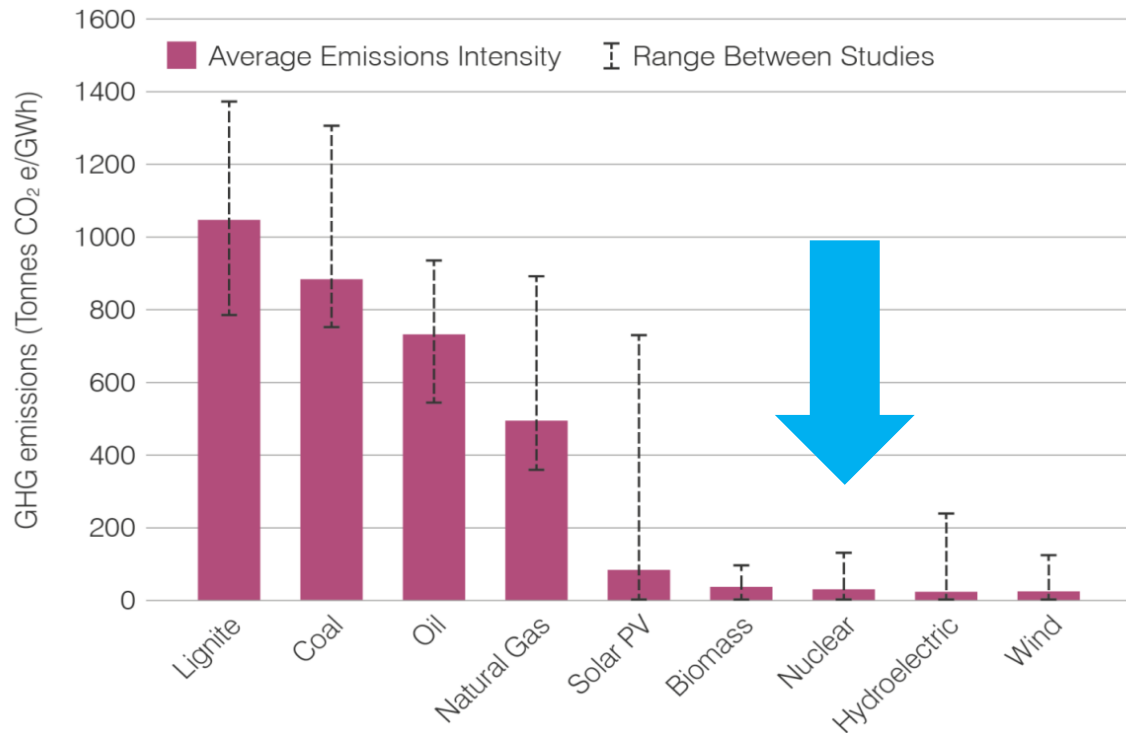


A blue-tinted photograph of a nuclear reactor core, showing the complex arrangement of fuel rods and structural components. The image is used as a background for the text.

MIKS TUUMAENERGIA?

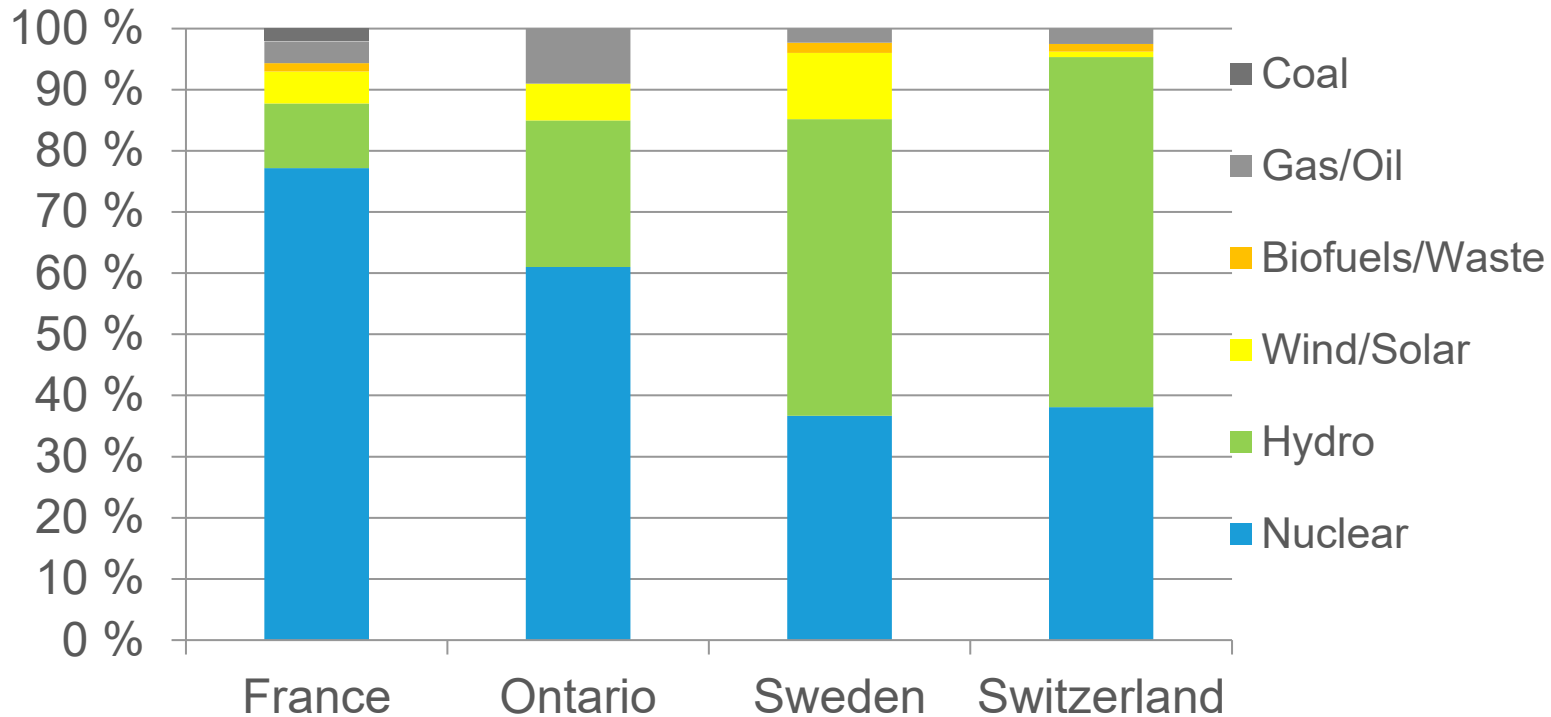
1. Tuumaenergia CO2 heitkogus toodetud kWh kohta üks madalaimaid

- See hõlmab kogu elutsükli heitkoguseid.
- Et saavutada kliimaeesmärke, elektri tootmine on vaja **dekarboniseerida** ja energia sektor on vaja **elektrifitseerida**.



Allikas: World Nuclear Association

Tõestus: Edu elektri dekarboniseerimisel

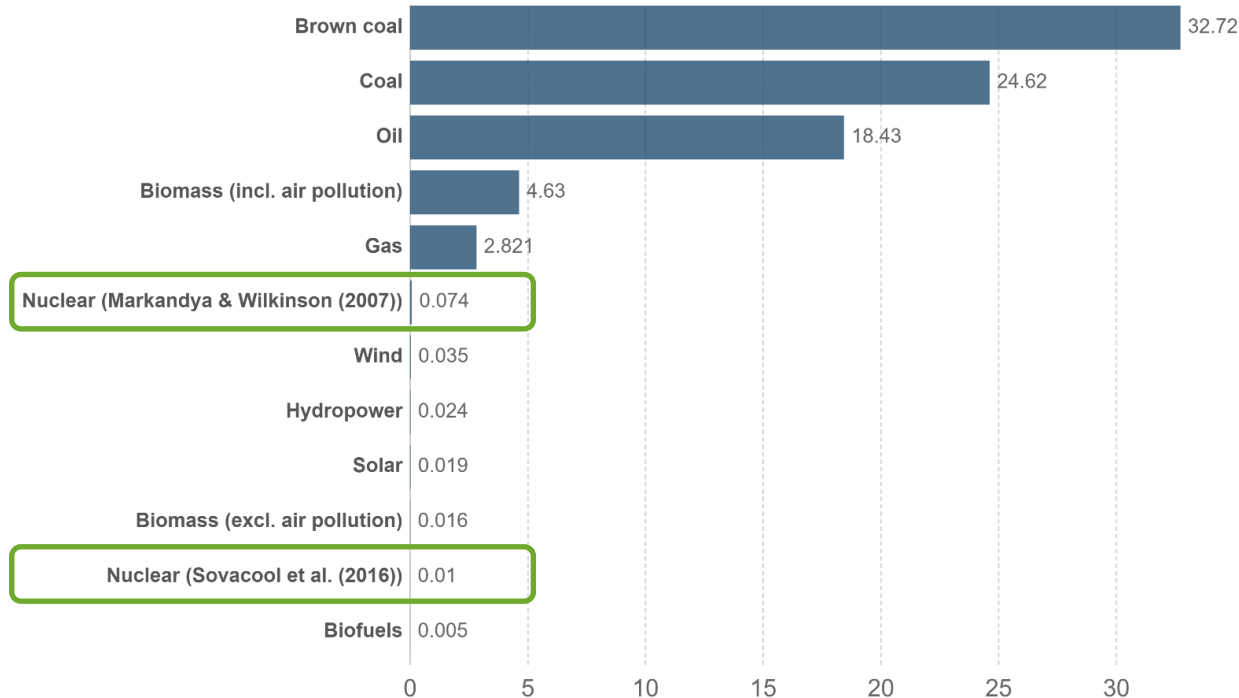


Allikas: World Nuclear Association

2. Tuumaenergia on üks ohutumaid energia tootmise viise

Surmade arv toodetud TWh energia kohta

Erinevate energiaallikate põhjustatud suremuse määr õhusaaste ja õnnetuste tagajärjel

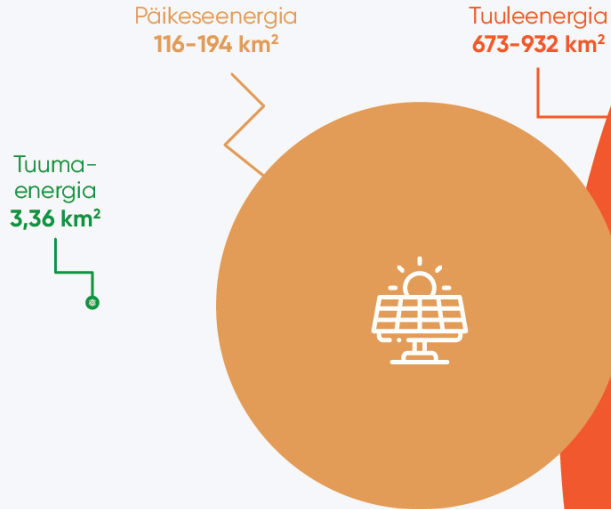


Source: Markandya & Wilkinson (2007); & Sovacool et al. (2016)

OurWorldInData.org/energy • CC BY

3. Tuumaenergia maakasutus on väga väike

1 000 MWh tuumajaamast toodetud elektrienergia jaoks läheb vaja pindala:

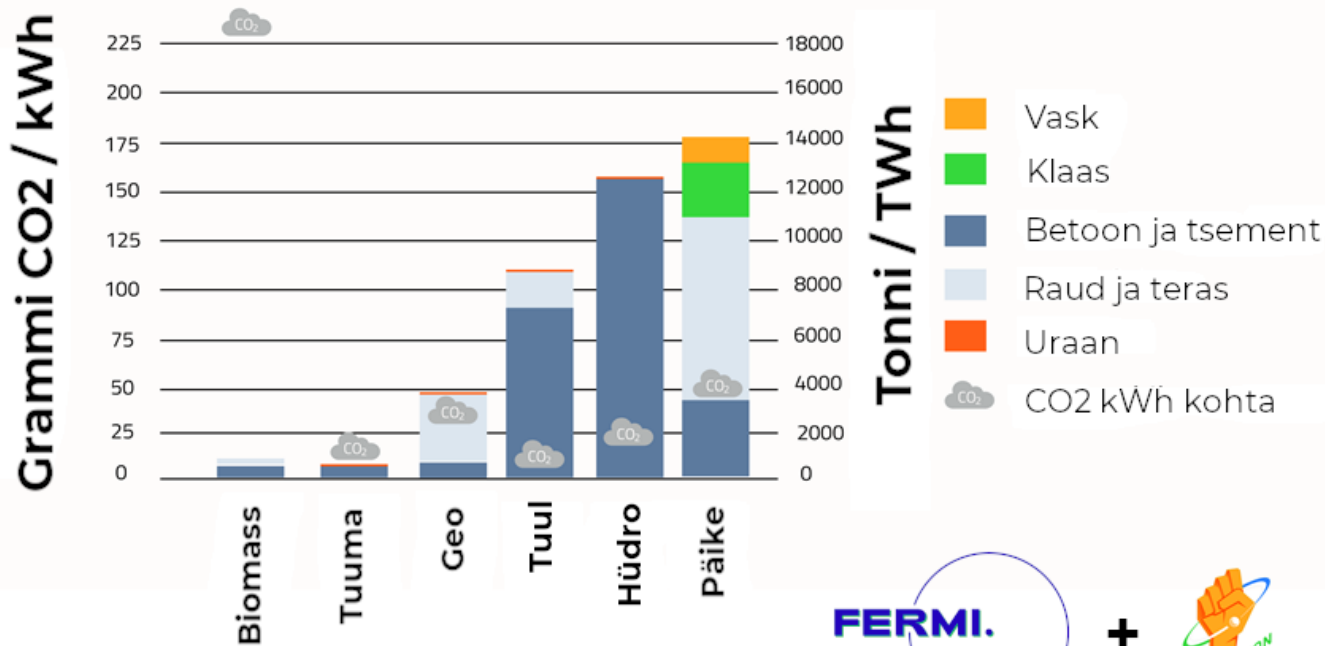


Energia tootmisel tuleb lisaks tootmisvõimsuse mahule (MW) hinnata ka seda, kui **suur on kasutustegur**, ehk kas tegu on pelgalt potentsiaaliga või reaalse tootismahuga. **Tuumajaamade kasutustegur**, ehk aeg, mil reaktor töötab, on umbes **90%**. Et **tuule- või päikese**park heitlikes ilmastikutingimustes sama palju elektrit suudaks toota, tuleb paigaldada rohkem tuulikuid ja paneele, mis võtavad ruumi. Tuuleparkide kasutustegur on ca **32–47%** ning **päikese**parkidel 17–28%.

4. Tuumaenergia ressursikasutus on väga väike

Materjalide kasutus ja elukaare CO2 heide energiaühiku kohta

Allikas: US DOE QTR 2015, WNA, IPCC2014



FERMI.

+



5. Tuumaenergia on jätkusuutlik

- EL Teadusuuringute Ühiskeskus (Joint Research Centre – JRC) hindas tuumaenergia tootmise kogutsükli mõjusid nii kliimaeesmärkide kui keskkonnamõjude osas, pöörates seal hulgas erilist tähelepanu tuumajäätmetele.
- JRC [raporti](#) järeldus: **tuumaenergia tootmine ei kahjusta inimeste tervist ega keskkonda rohkem kui ükski teine jätkusuutlik energiatootmise tehnoloogia** ehk tuumaenergia vastab roheeneriga tingimustele, on jätkusuutlik ja sobib EL taksonoomiasse

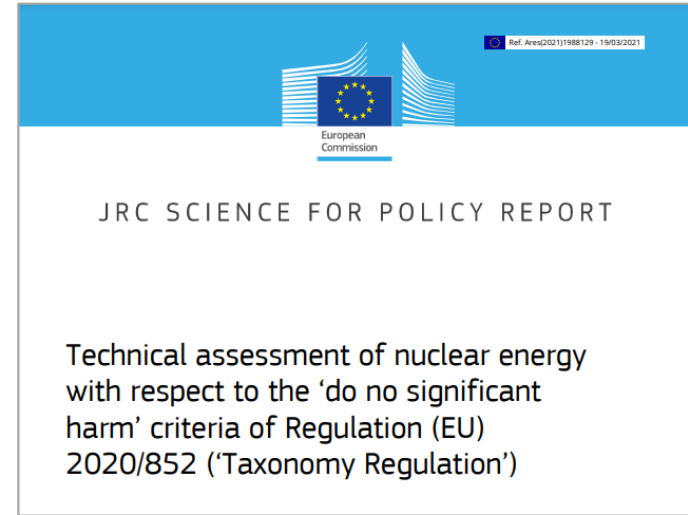
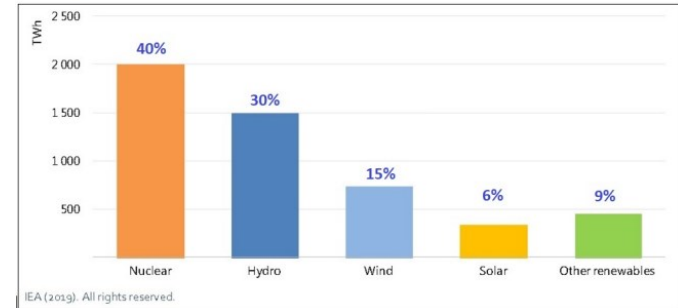


Figure 3.2-2. Low carbon electricity generation in advanced¹⁹ economies by source in 2018

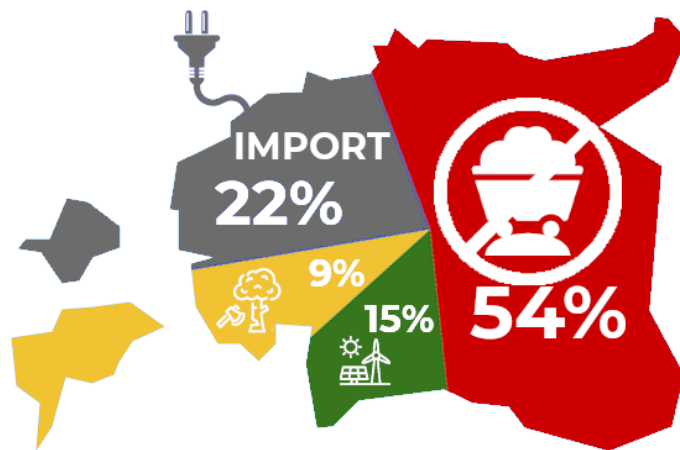




MIKS EESTI VAJAB TUUMAENERGIAT?

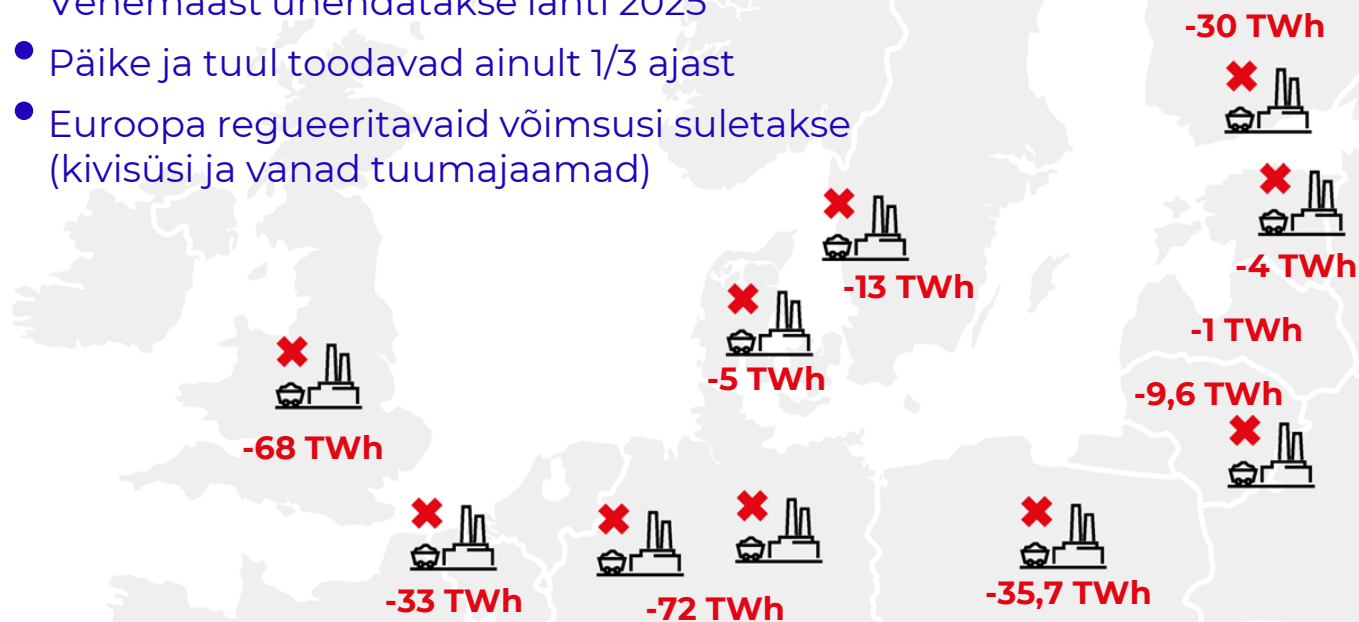
MIKS EESTI VAJAB TUUMAENERGIAT?

- Energia julgeolek
- Energia varustuskindlus
- Kõrgelt tasustatud **töökohad**
- **Maksutulu** riigile ja omavalitsustele
- **Kliimaeesmärgid** saavutatavad (CO2 ja NetZero)
- **Siseriiklik tootmine** (import -> eksport)
- **Reguleeritav ja puhas** energia
- **Kõrgtehnoloogiline** hüpe Eesti energeetikas
- **T&A** – lisanduv teadus ja arendustegevus



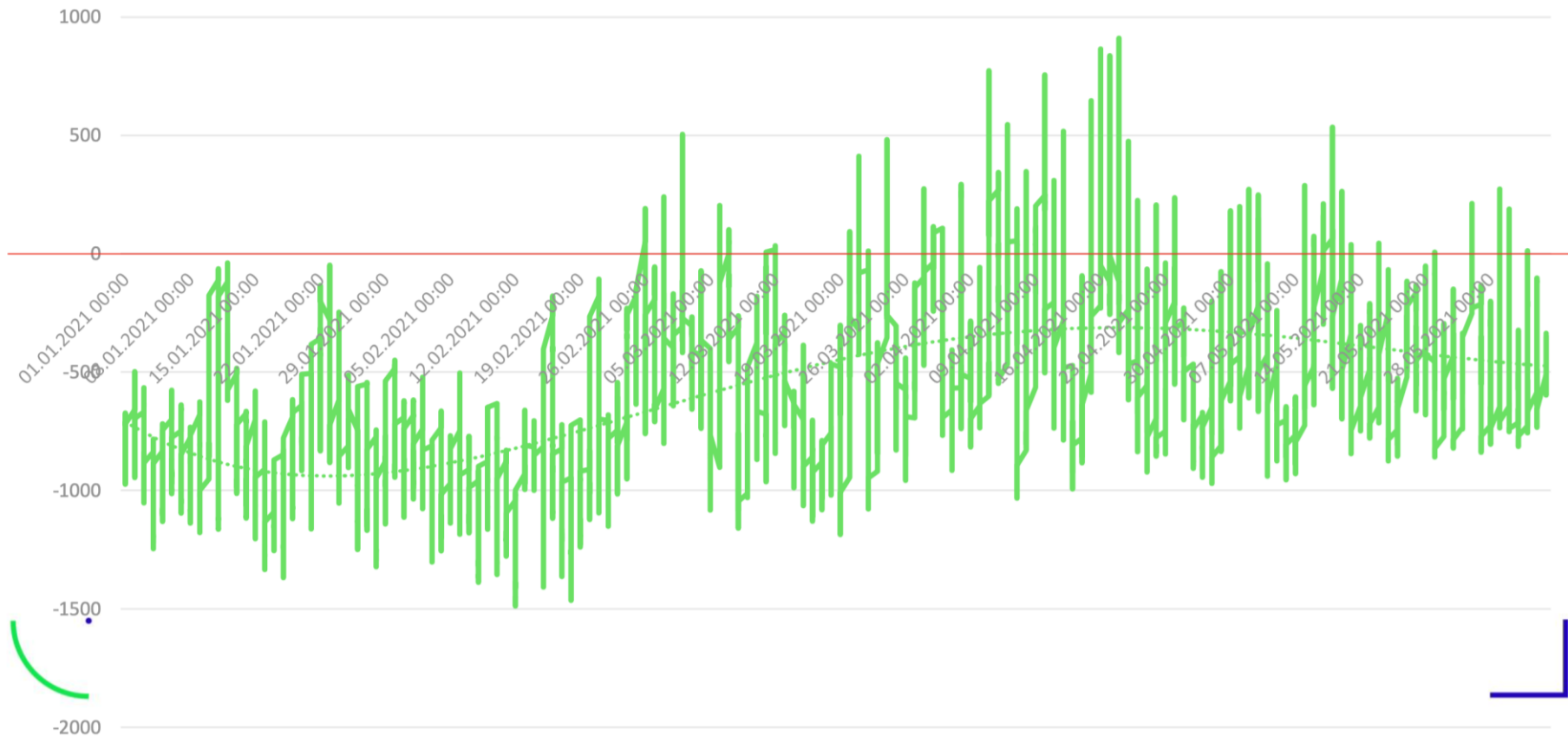
Eesti ja regiooni elektri defitsiit ainult kasvab

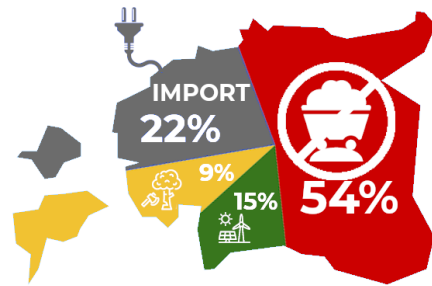
- Põlevkivi jaamad suletakse CO2 tõttu
- Venemaast ühendatakse lahti 2025
- Päike ja tuul toodavad ainult 1/3 ajast
- Euroopa reguleeritavaid võimsusi suletakse (kivisüsi ja vanad tuumajaamad)



Isegi kui:

Eesti taastuvad x4 = 1,5GWe tuult, 1 GWe päikest

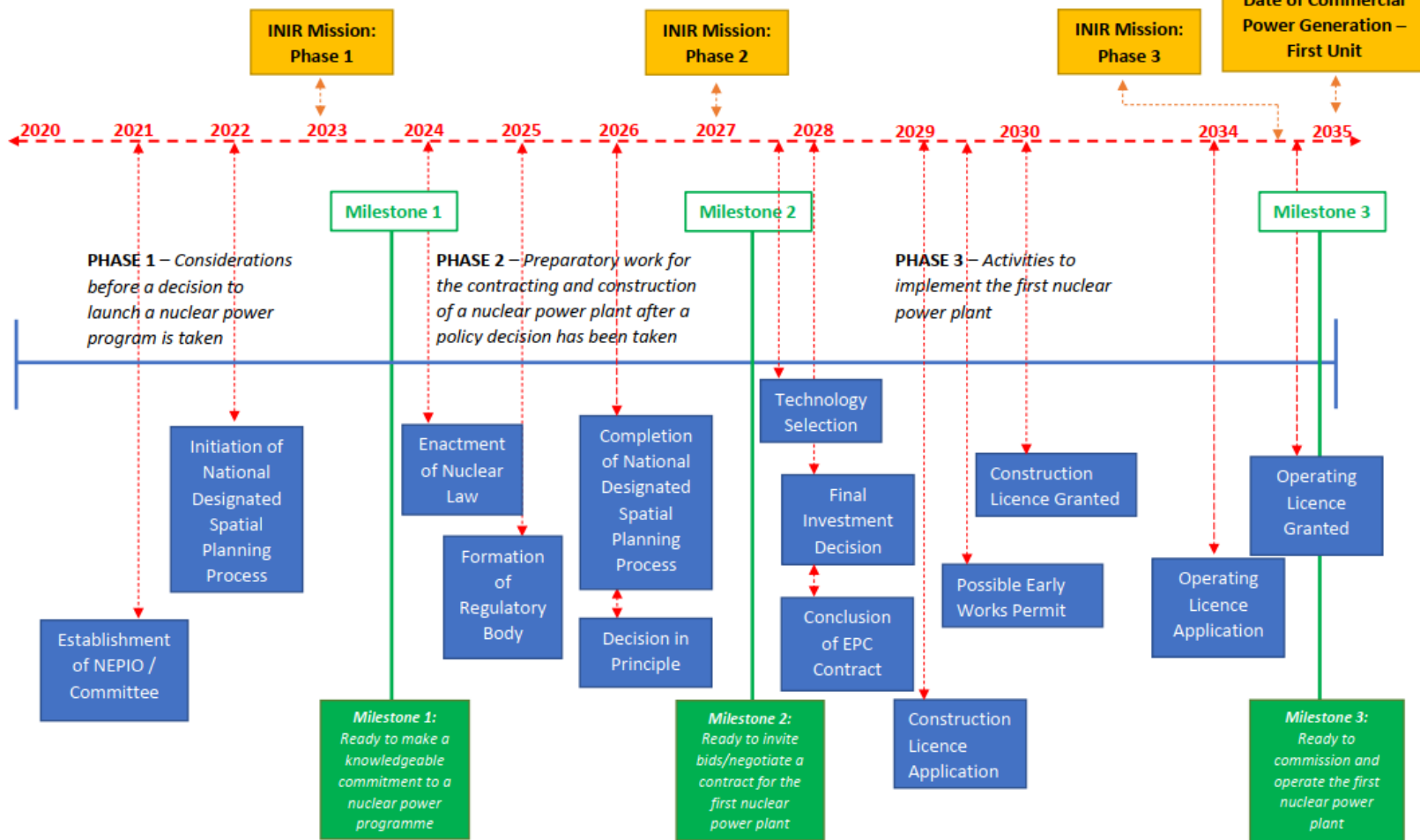




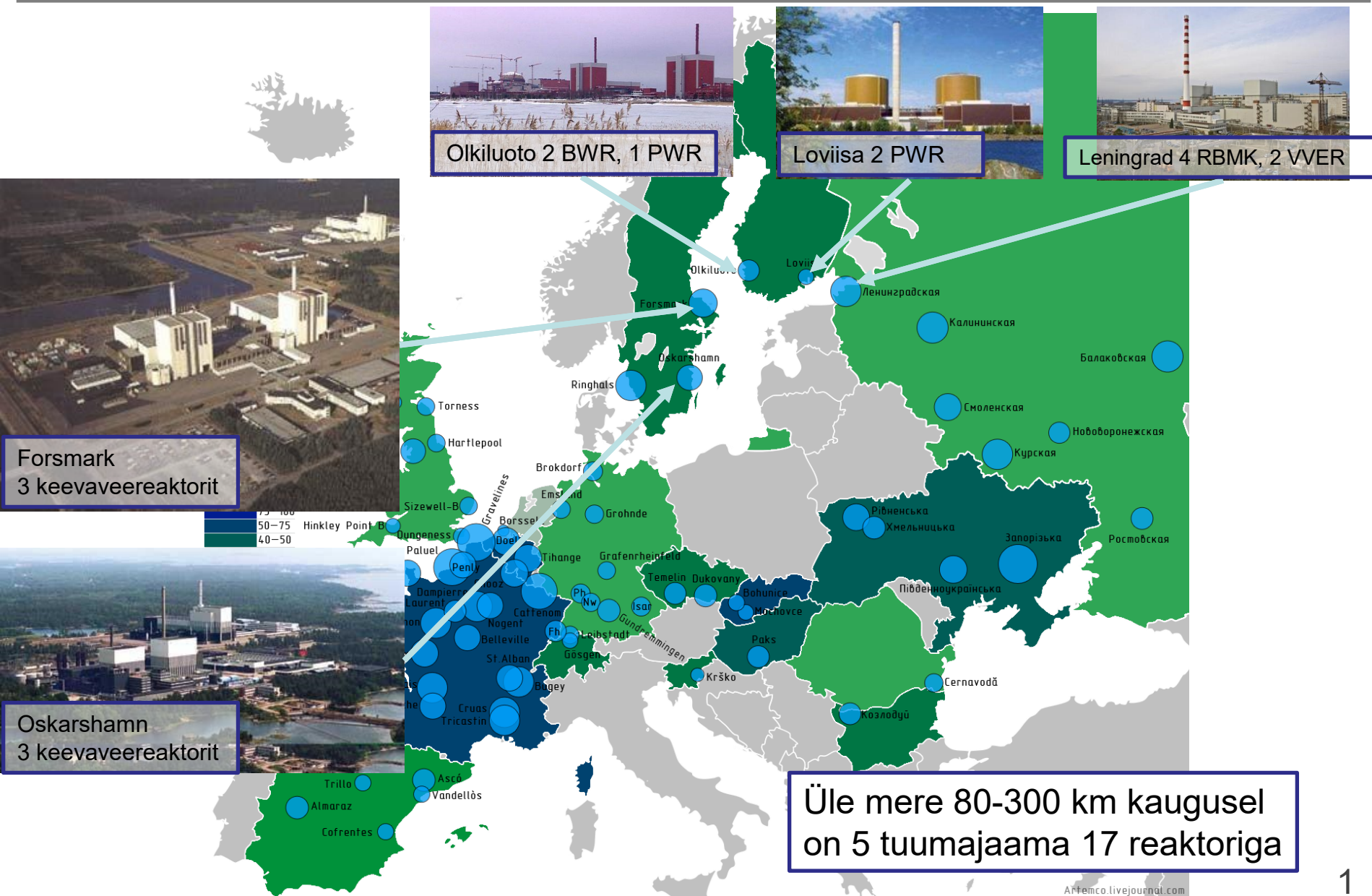
Kuidas saavutada süsinikneutraalsus?

- **Import?** – Ei ole majanduslik, ega sõltumatu
- **Taastuvad?** – Hüdrot ei ole. Päike/tuul vahelduvad ja pole siis kui vaja (talvel), väga suure lisakuluga (maakasutus + võrguühenduse + salvestamise vajadus)
- **Biomass?** – Meile ei meeldi metsade põletamine. Põletamine on CO₂ mahukas.
- **Gas?** – Not independent. And burning emits.
- Vaja on jätkusuutlikku lahendust: dekarboniseerimist, elektrifitseerimist – stabiilset ja reguleeritavat **tuumaenergiat!**

Eesti VMR tuumajaama arendusplaan

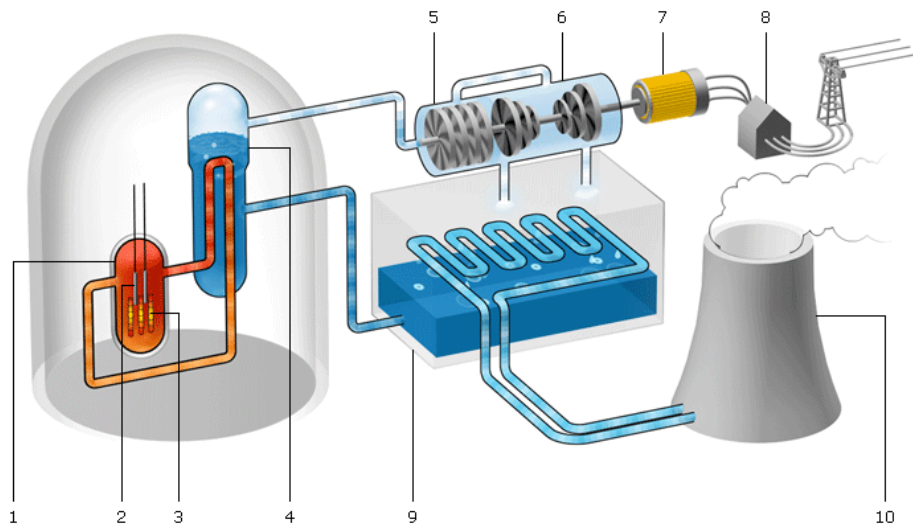


Reaktorid ümber Eesti

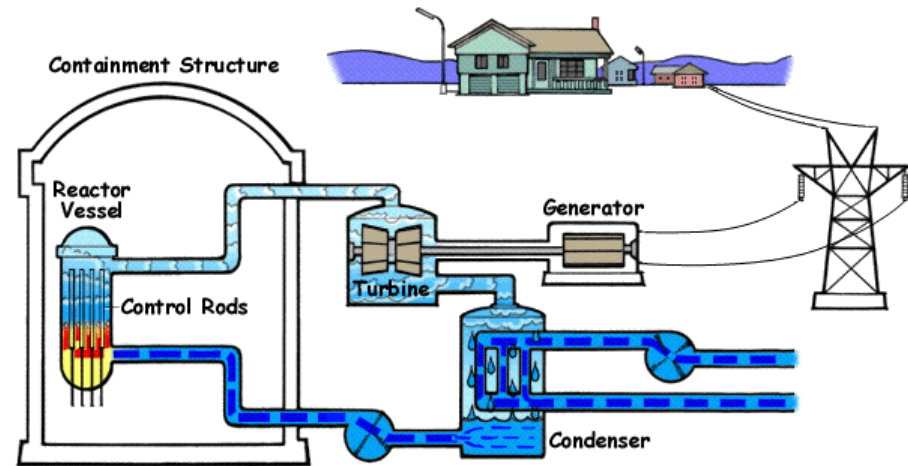


Tuumajaama tööpõhimõte

Surveveereaktor

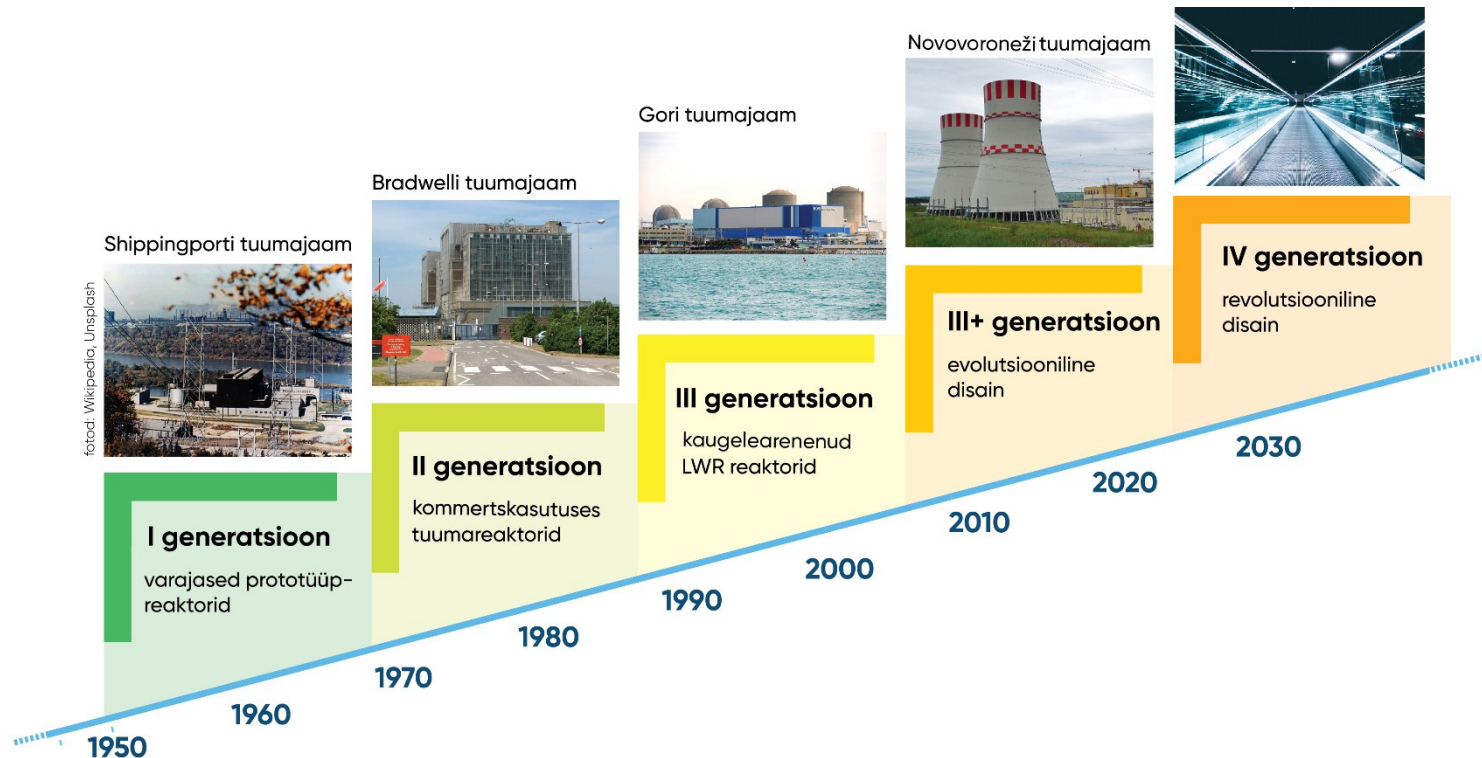


Keevaveereaktor



- Tuumade lõhustumisel eraldub soojus, mille abil aetakse vesi keema
- Keemisel tekib veeaur, mis ajab ringi turbiini ja elektrigeneraatorit nagu igas soojuselektrijaamas

Tuumaenergeetika põlvkonnad



Evolutsioon on stabiilne, loogiliste sammudega areng

- Suur kogemustepagas
- Arvukad õppetunnid
- Kohandatud ja optimaalsed süsteemid
- Parendused võivad siiski olla hüppeliselt suured

Revolutsioon on järsk, äkiline, radikaalne muutus

- Suured võimalused, kuid suur määramatus
- Aja ja ressursimahukas arendus, demonstreerimine, prototüüpimine ja kommertskasutus

Olulised tuumaenergia kaalutlustegurid

1. Jätkusuutlikum kütuse kasutamine

- Efektiivsem kütusekasutus (i.e. breeding)
- Jäätmete hulga ja radioaktiivsuse vähendamine (transmutation of minor actinides)

2. Majanduslik tasuvus ja konkurentsivõime

- Peab olema konkurentsivõimeline alternatiividega
- Moodullahendused ja tehasetootmine
- Väiksemad projektid on lihtsam ja kiirem teostada
- Kõrgem termiline kasutegur

3. Parendatud ohutus ja töökindlus

- Olulisel määral passiivseid, inimfaktorist sõltumatuid süsteeme
- Veelgi madalam tuuma sulamise tõenäosus või lausa välistatud
- Minimaalsed mõjud väliskeskkonnale (abi, evakuatsioon, reostus)

4. Turvalisus

- Kütus terroristide jaoks mitteatraktiivsel kujul
- Minimaalne tuumarelv materjali leviku oht

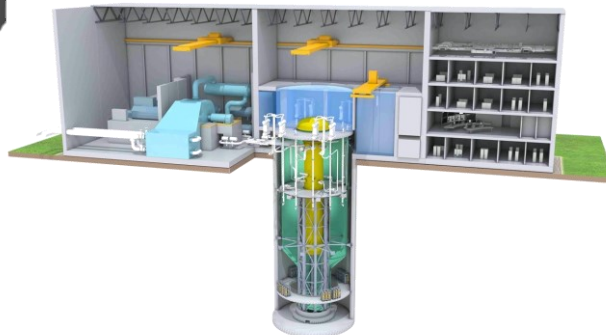
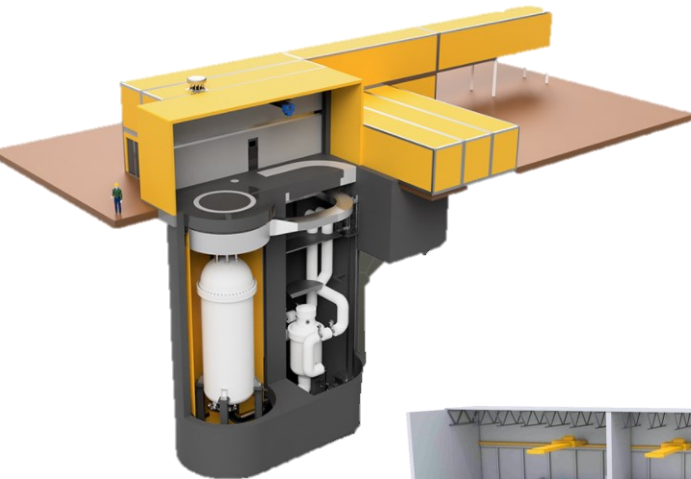
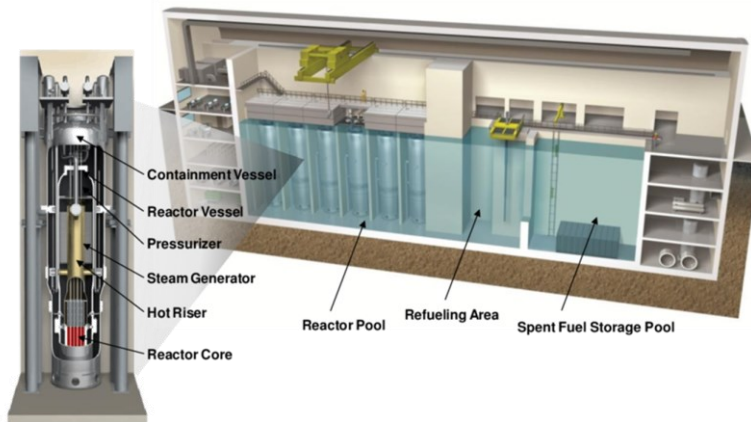
5. Sobivus elektrisüsteemi

- Peab vastama kohaliku elektrivõrgu vajadustele nii võimsuse kui toodangu stabiilsuse osas (nn lisateenused)

6. Tehnoloogia valmidus

- Ajalooliselt on uued tehnoloogiad asendanud vanu sammhaaval, mitte liiga radikaalselt
- Forsseerimine ei ole tõhus ei tehnoloogia arengu ega projektide realiseeritavuse mõttes
- Adekvaatse tarneahela olemasolu on väga tähtis

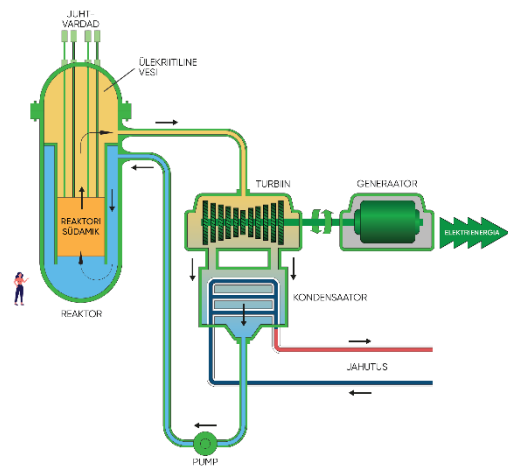
Eestile sobib väike reaktor



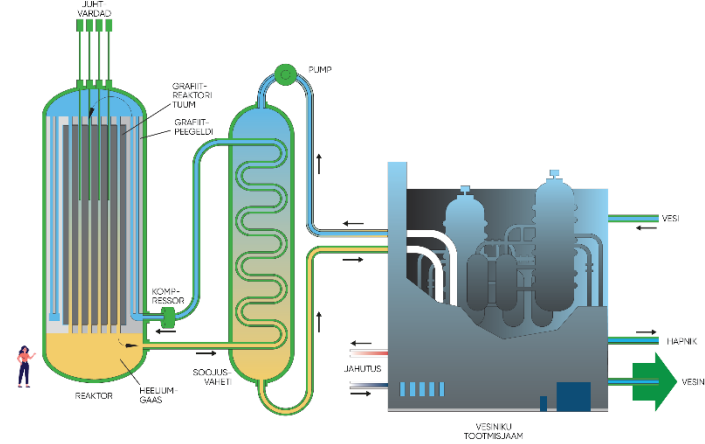
- Väiksemad määramatused projekteerimisel ja ehitusel
 - Moodulite valmistamine tehases
 - Komplekteerimine jaamas-> kvaliteet ja kulutõhusus
- Madal võimsus
 - Väiksem kütuse hulk
 - Vähem jäätmeid
 - Lihtsam (passiivselt) jahutada
- Hästi kaitstud
 - Kompaktsed, rõhukindlad ja mitmeseinalised ehitised
 - Maa-alused süsteemid
- Passiivsed süsteemid
 - Nii tavakäidu- kui kaitsesüsteemid
 - Toimib loodusjõududel, välise sekkumiseta
 - Vähem komponente

Revolutsioonilised IV põlvkonna kontseptid

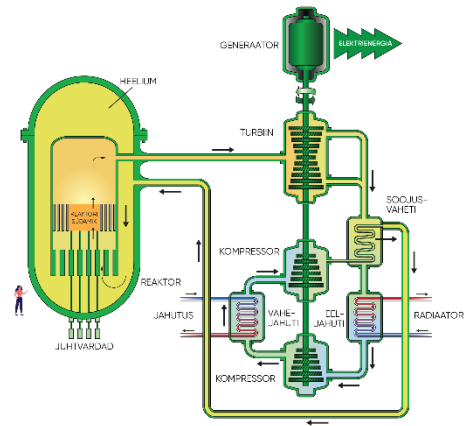
ÜLEKRIITILISE VEEGA JAHUTATAV REAKTOR (SCWR)



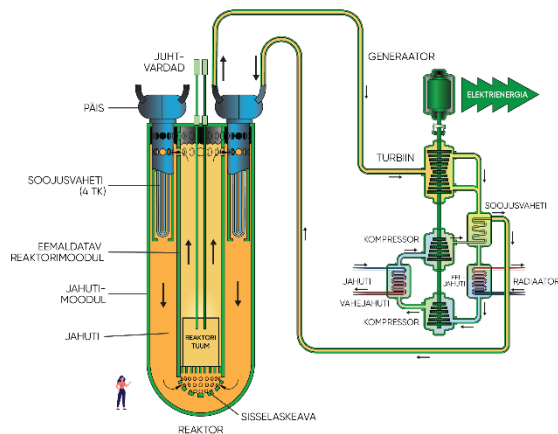
ÜLIKÕRGTEMPERATUURNE REAKTOR (VHTR)



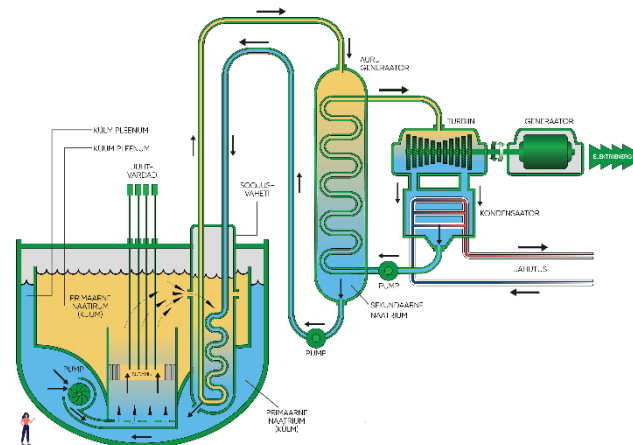
GAASJAHUTUSEGA KIIRE REAKTOR (GFR)



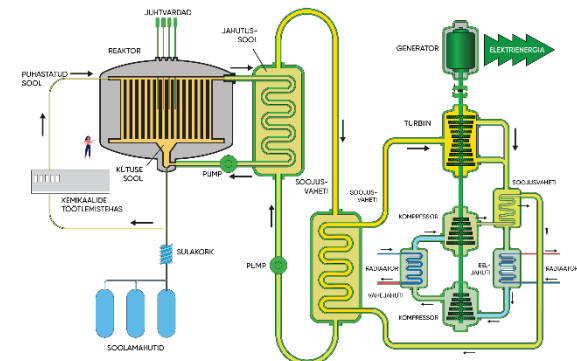
PLII/PLII-VISMUTJAHUTUSEGA KIIRE REAKTOR (LFR)



NAATRIUMJAHUTUSEGA KIIRE REAKTOR (SFR)



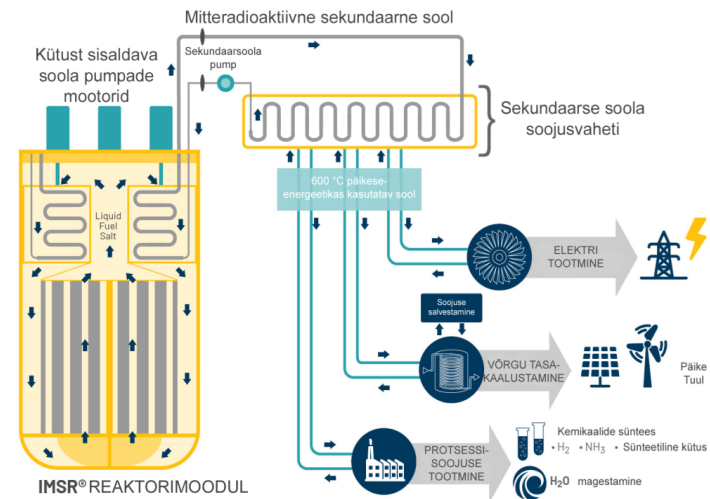
SULASOOLAREAKTOR (MSR)



Terrestrial Energy sulasoolareaktor IMSR



- Jaama võimsus 200-400 MWe
- Sulasooljahutusega
- Atmosfäärirõhk
- Kütusevälp 7 aastat
- 7 ha jaama pindala (400 MWe)



USNC mikroreaktor MMR



- Gaasjahutusega reaktor
- Elektriline võimsus 5-10 MW
- Väga töökindel kütus (TRISO)
- Koos energiasalvega (sulasool)
- Projekt kanadas GFP, ehitus 2026

**KUIDAS SAAB KÜTUS
USNC REAKTORISSE?**

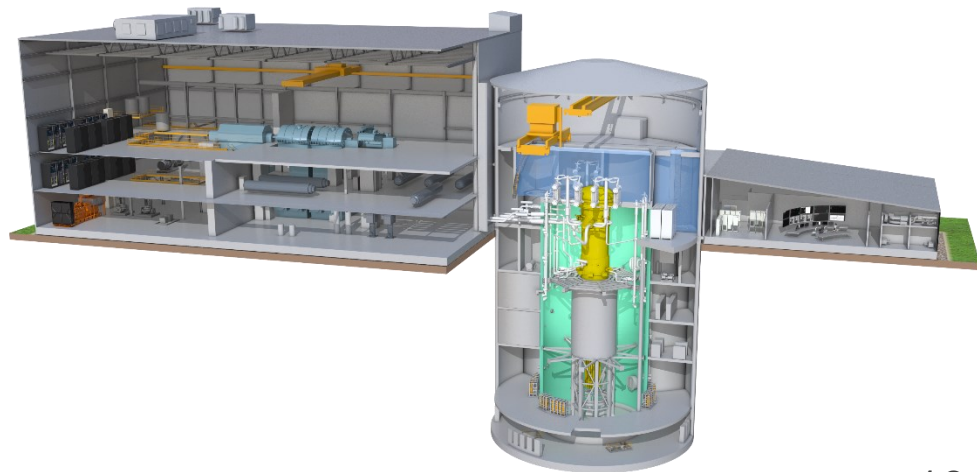


EVOLUTSIOONILISEMAID TEHNOLOOGIAID

GE-Hitachi väike keevaveereaktor BWRX-300



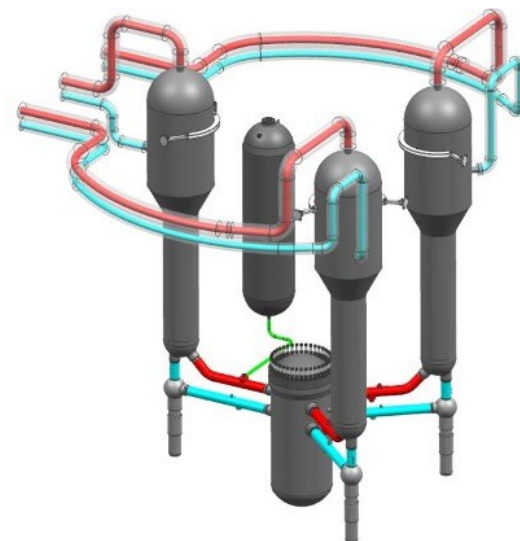
- Elektriline võimsus 300 MW
- Passiivne jahutus
- Tugineb pikal keevaveereaktorite kogemusel ja juba litsenseeritud ESBWR-il
- Jaama pindala <10 ha
- Rajamine Kanadas (OPG) ja USAs (TVA)



Rolls Royce UK SMR



- Surveveereaktor
- Võimsus u 450 MWe
- Väga modulaarne ja ökonoomne
- RR pikk kogemus surveveereaktorite ehitamisel
- Esimene ehituses 2030



NuScale VMR

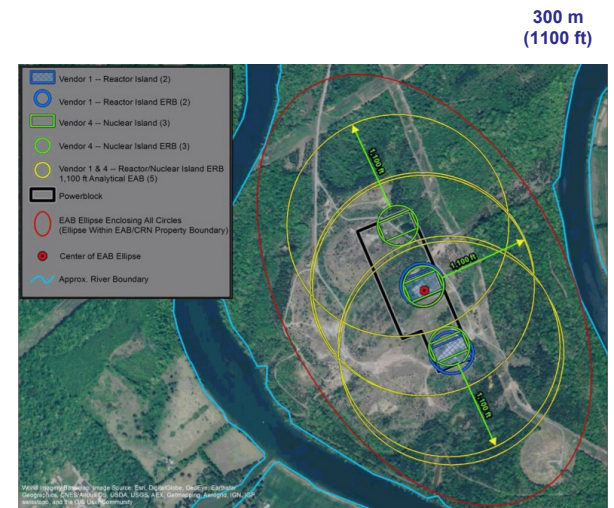
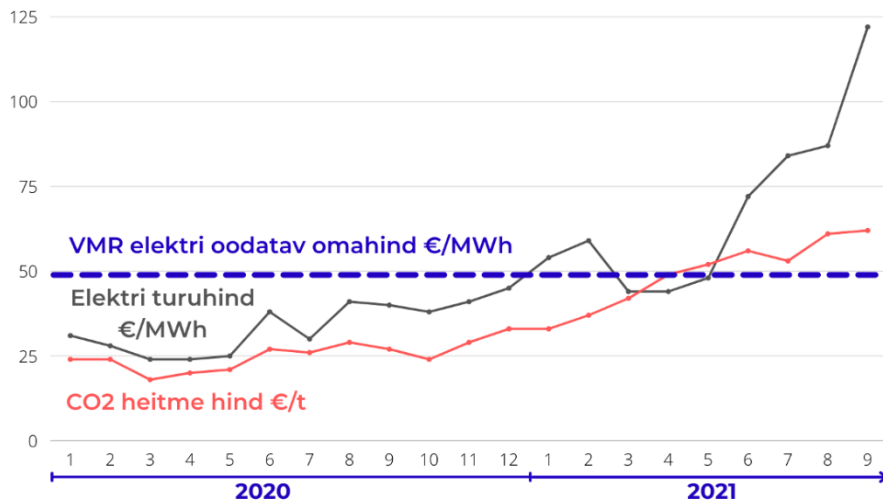
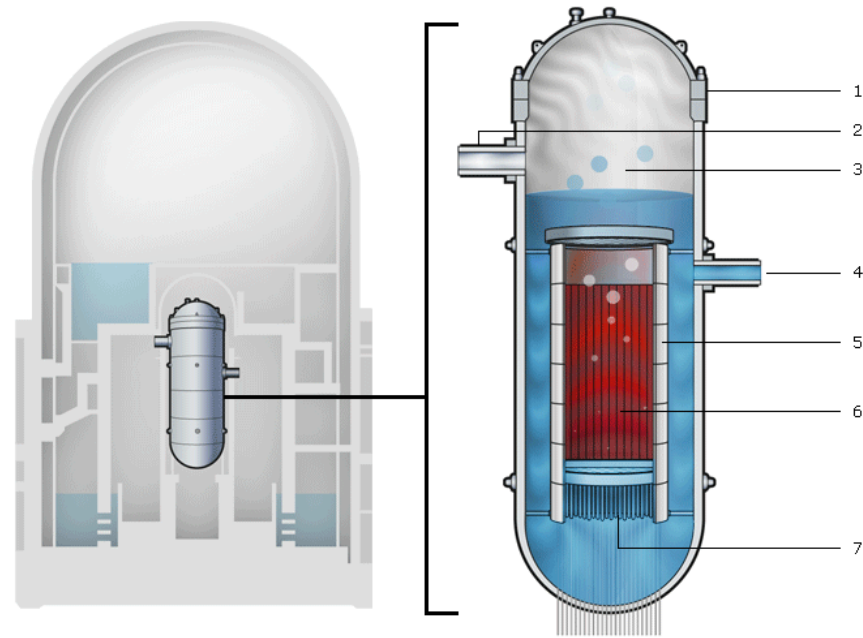


- Surveveereaktor
- 4-12 reaktorimoodulit jaamas
- Võimsus 50-80 MWe/moodul
- Heakskiidetud disain (NRC poolt)
- Jaam töös 2029-2030 (Carbon Fee Power Project Utah's)



Väikereaktorite ühised nimetajad

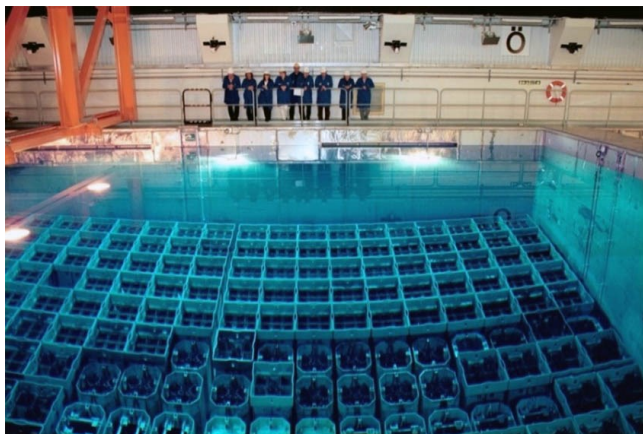
- ⑩ Suur roll passiivsetel süsteemidel nii tavarežiimis kui avariiolukordades
- ⑩ Väiga piiratud ohuala jaama ümber
- ⑩ Konkurentsivõimeline hind



Jäätmed - Vähenda, sorteerri, taaskasuta, lõppladesta

Märgladustus:

Esmane jahutus (mõned aastad)



Kuivladustus:

Vaheladustus (aastakümned)



Ümbertöötlus:

Eralda U, Pu, MAs, FPs

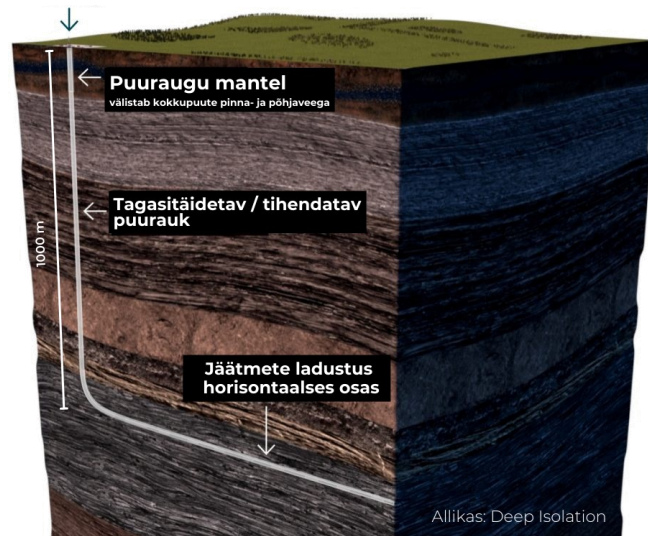


Süvageoloogiline lõppladustus:

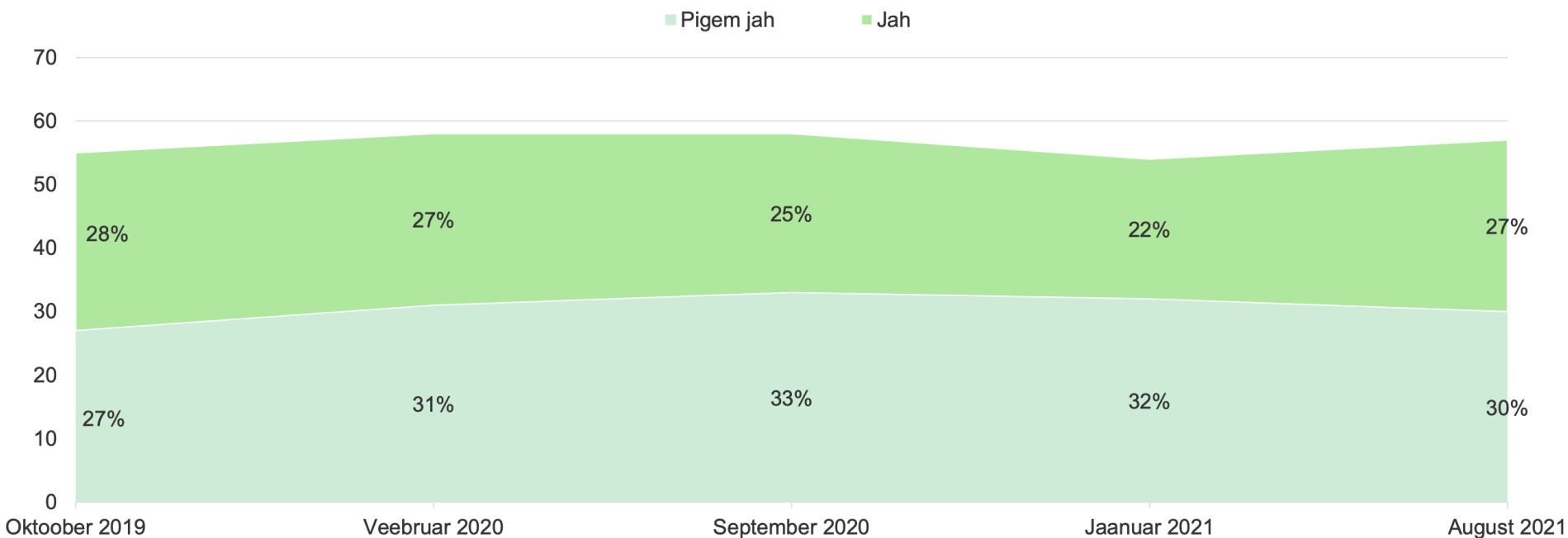
Ohutuim pikaajaline lahendus, mis kasutab nii looduslikke kui tehnoloogilisi barjääre vältimaks radioaktiivsete ainete leket

- Lõppladestamise lubatud tagajärg on kõrgendatud riskimäär 10^{-6} .
- Ehk maksimaalselt võib lõppladustamise tõttu lisaks ühel inimesel miljonist avalduda radiatsioonist tingitud haigusi nagu vähk.
- Võrdluseks, tänapäeva heaoluühiskondades saab üks inimene kahest oma elu jooksul vähktõve.

Puurtehnika



Kas pooldate uue põlvkonna väikese tuumajaama kasutamise kaalumist Eesti elektri varustuskindluse tagamiseks?



Kokkuvõte

Oluline on valida sisuliselt ja praktiliselt Eestile sobivaim tehnoloogia

Nii meie riigi kui elektrivõrgu omapäradest lähtuvalt on suur eelis väikereaktoritel



Täna kuulamast!

Allikaid:

- * Generation IV International Forum – www.gen-4.org
- * IAEA Power Reactor Information System – pris.iaea.org/PRIS/home.aspx
- * IEA – <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/nuclear>

└

Aitäh!

FERMI.

└

