

(Tuuma)energeetika

Marti Jeltsov

Fermi Energia tehnoloogiajuht

KBFI Tuumateaduse ja -tehnoloogia töörühma juht

Fermion suvekool

29-31 juuli 2024 | Mödriku

Sisukord

- Minust
- Miks me räägime tuumaenergeetikast?
- Miks sobib tuumaenergeetika Eestile?
 - Asukoht
 - Tehnoloogia ja selle valimine
 - Inimesed
- Mida teeb KBFI Tuumateaduse ja –Tehnoloogia uurimisrühm?



Minust



Nõo Reaalgümnaasium, 48B



Tartu Ülikool, BSc, Füüsika



KTH, PhD, Tuumaenergeetika



Vattenfall, Elektriturulud



Estflow, Arvutisimulatsioonid



Fermi Energia, Tehnoloogiajuht

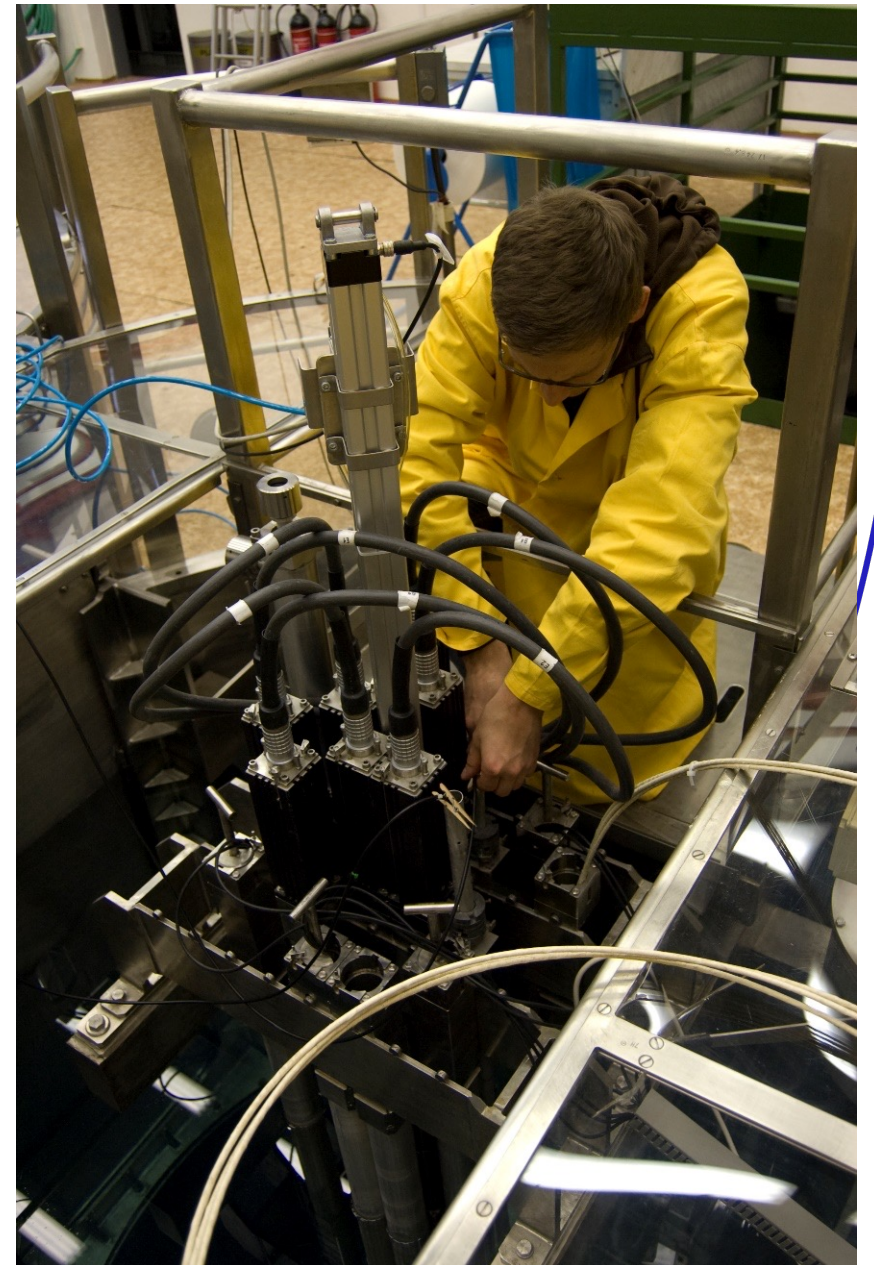


KBFI, Tuumateadus ja tehnoloogia uurimisrühma juht

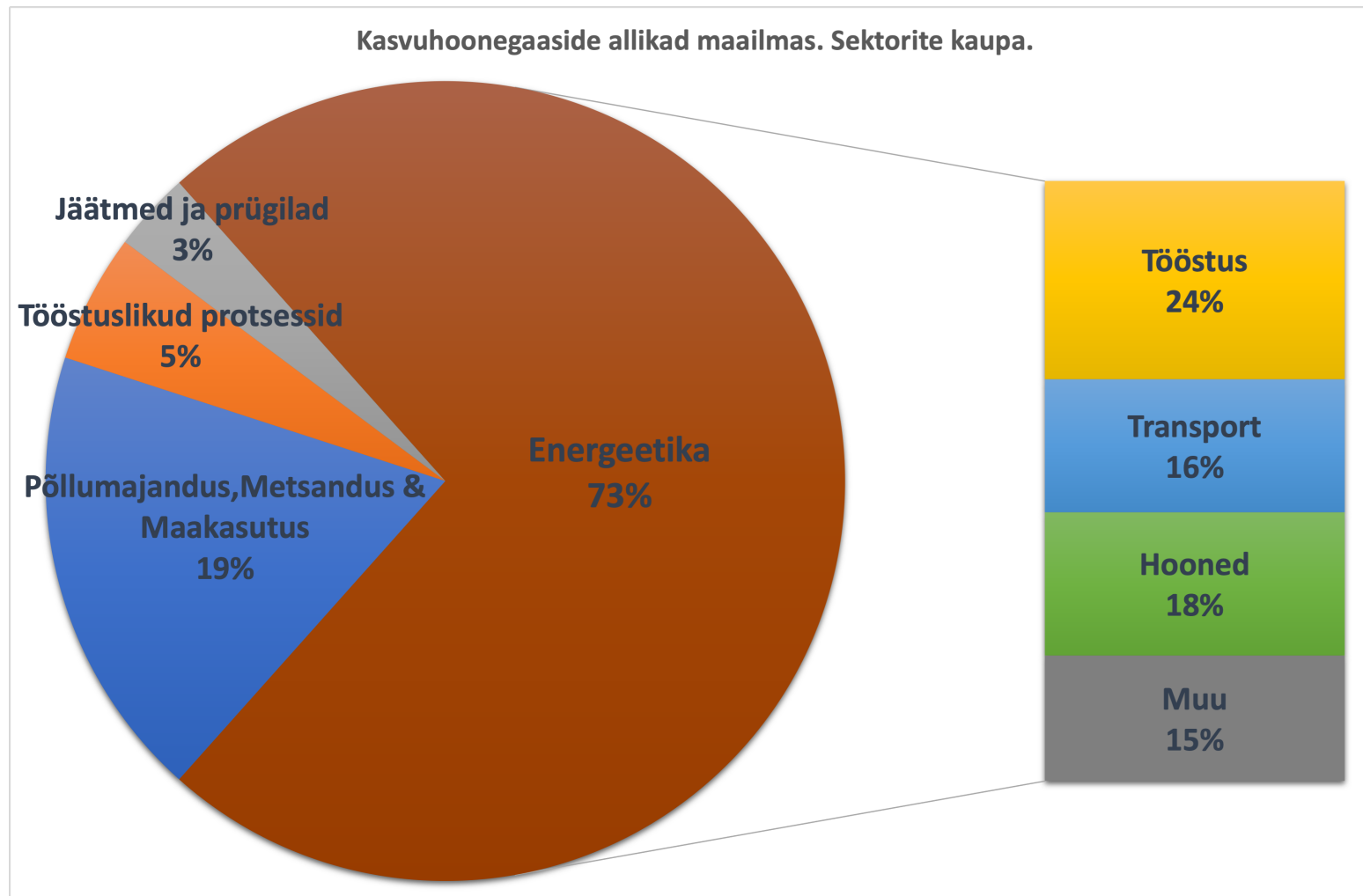
Eesti Masinatööstuse Liit

Rootsi Tuumaenergia Selts

Teaduste Akadeemia Energeetikakomisjon



Kliimasoojenemise vastu saamiseks tegutse energeetikasektoris



July 2023 Median CO2 Intensity (gCO2eq/kWh) and Power Consumption Breakdown (%)

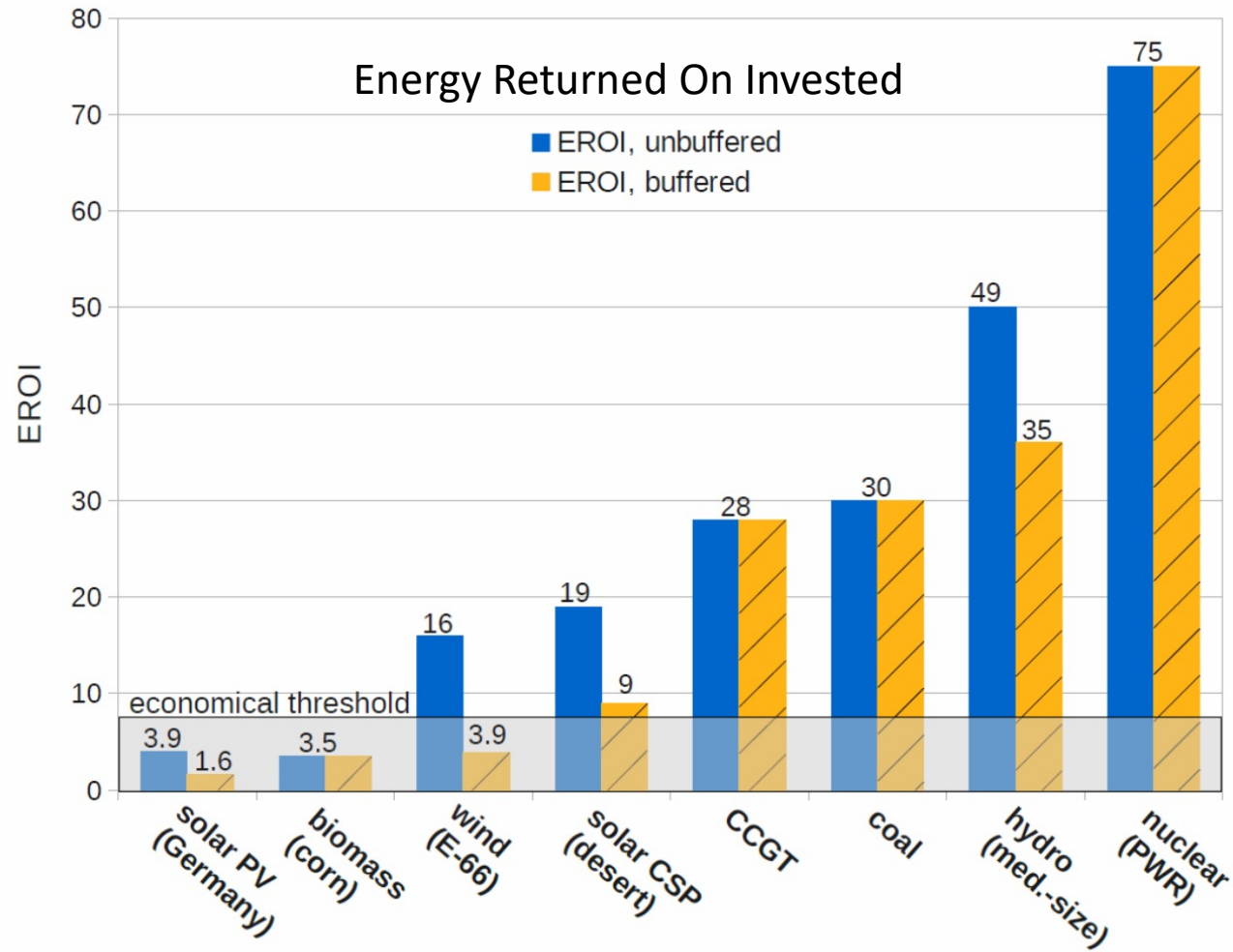
Zone	Carbon Intensity	Hydro	Nuclear	Wind	Solar	Geothermal	Biomass	Gas	Coal	Oil	Unknown	Hydro Discharge	Battery Discharge
Sweden	18	41.8%	33 %	19.5%	2.5%	0 %	0.1%	0.1%	0.1%	0 %	2.9%	0 %	0 %
Tasmania	23	75 %	0 %	20.5%	1.6%	0 %	0 %	0.3%	2.5%	0 %	0 %	0 %	0 %
Iceland	28	70.7%	0 %	0 %	0 %	29.3%	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Quebec	31	91.8%	0.8%	3.8%	0 %	0 %	3.2%	0.4%	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Finland	40	23 %	53 %	12.9%	2.9%	0 %	4.7%	2 %	0.9%	0 %	0.6%	0 %	0 %
France	43	12 %	64 %	7.8%	8.1%	0 %	1.4%	5.2%	0.1%	0.3%	0.1%	1 %	0 %
New Zealand	93	64 %	0 %	7.3%	0 %	16.9%	0 %	6.4%	3.7%	0 %	1.6%	0 %	0 %
East Denmark	98	14.8%	14.8%	34.8%	14.7%	0 %	11.6%	2.5%	4.1%	0.8%	1.9%	0.1%	0 %
West Denmark	100	24.3%	6.8%	35.5%	17.9%	0 %	5.1%	3.9%	5.4%	0.4%	0.6%	0.1%	0 %
Ontario	110	23.4%	50.7%	4.3%	0.6%	0 %	0.3%	20.5%	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Belgium	115	1.4%	43.2%	15.5%	17.1%	0 %	2.4%	17.6%	0.4%	0.1%	0.7%	1.6%	0 %
South Australia	162	1.7%	0 %	52.8%	12.7%	0 %	0 %	23.8%	8.3%	0.1%	0 %	0 %	0.5%
Spain	176	6.9%	23.4%	15.6%	21.1%	0 %	2.3%	26.4%	1.4%	0.1%	0.3%	2.4%	0 %
Great Britain	203	4.4%	20.2%	25.5%	10 %	0 %	4.1%	34.2%	0.5%	0 %	0.9%	0.2%	0 %
Netherlands	216	3.5%	6.1%	28.5%	25.7%	0 %	4 %	23.8%	6.8%	0.7%	0.9%	0.1%	0 %
California	229	13.6%	9.1%	11.2%	21.1%	2.7%	1.7%	37.6%	0.8%	0 %	0.6%	0 %	1.6%
Italy (North)	277	31.7%	9.2%	1.4%	8.9%	0.1%	2.2%	34.4%	1.5%	0.1%	7.5%	3.1%	0 %
New York ISO	317	19.2%	20.2%	1.9%	0 %	0 %	0.1%	56.7%	0 %	0 %	1.8%	0 %	0 %
Germany	326	8.1%	4.3%	22.8%	21.6%	0 %	9.9%	11.4%	18.1%	0.8%	0.7%	2.3%	0 %
Ireland	398	0.9%	1.5%	29.6%	0.9%	0 %	2.5%	55.5%	7.9%	1.2%	0.1%	0 %	0 %
Texas	421	0.1%	7.9%	19.4%	8.1%	0 %	0 %	49.7%	14.5%	0 %	0.2%	0 %	0 %
Alberta	439	4.9%	0 %	8.5%	4.3%	0 %	2.7%	66.9%	7.9%	0 %	4.8%	0 %	0 %
Victoria	480	9.3%	0 %	26.8%	6 %	0 %	0 %	1.6%	55.9%	0 %	0 %	0 %	0.3%
Western Australia	509	0 %	0 %	12.2%	10.2%	0 %	0.4%	44.5%	32.6%	0 %	0 %	0 %	0.1%
India (North)	520	25.2%	2.2%	1.7%	7.4%	0 %	0 %	2.1%	60.1%	0 %	1.3%	0 %	0 %
New South Wales	619	5.6%	0 %	10.8%	12.1%	0 %	0 %	2.2%	69.2%	0 %	0 %	0 %	0.1%
Queensland	694	1.5%	0 %	4.7%	15.4%	0 %	0.3%	8.1%	70 %	0 %	0 %	0 %	0.1%
South Africa	708	1.4%	4 %	5.5%	2.8%	0 %	0 %	0 %	81.4%	2.6%	0.2%	2.2%	0 %
Poland	739	2.5%	2.2%	10.3%	15.6%	0 %	2.1%	8.2%	56.2%	1.4%	0.3%	1.3%	0 %

Table: @GrantChalmers | Source: api.electricitymap.org | Methodology: <https://www.electricitymaps.com/methodology> Emission factors used to calculate CO2 Intensity can be found on the *Carbon intensity and emission factors* tab.

Some emissions factors are based on IPCC 2014 defaults, while some are based on more accurate regional factors. All zones are publicly available on the *Carbon intensity and emission factors* tab via Google docs link



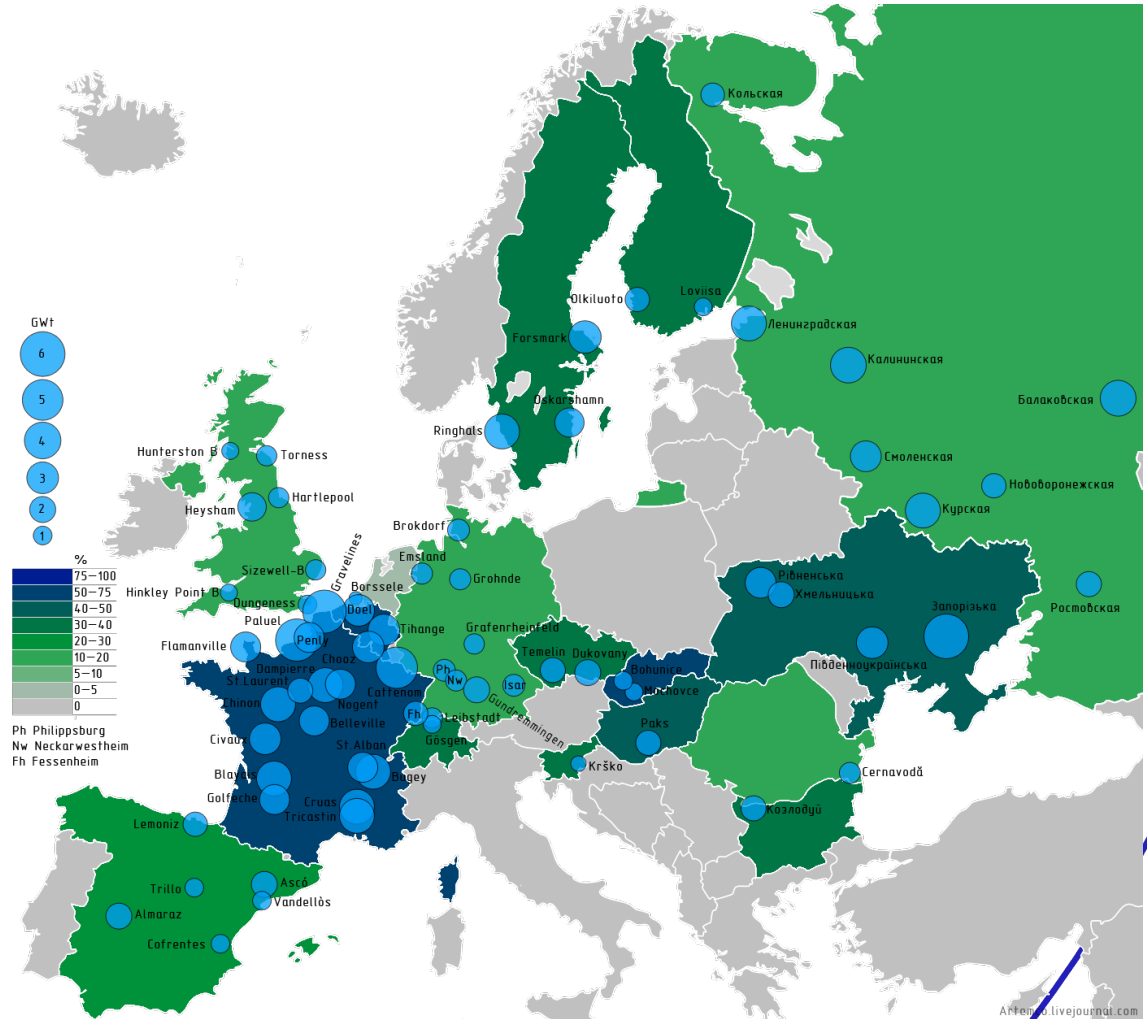
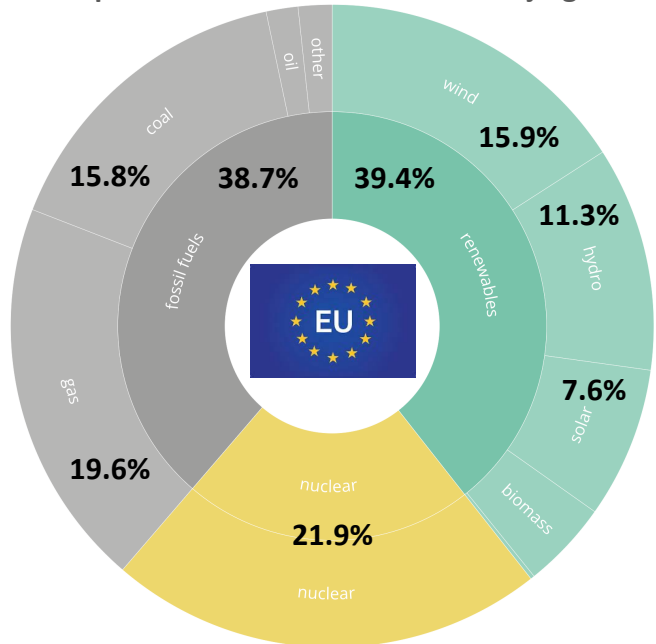
Energiatiledus loeb



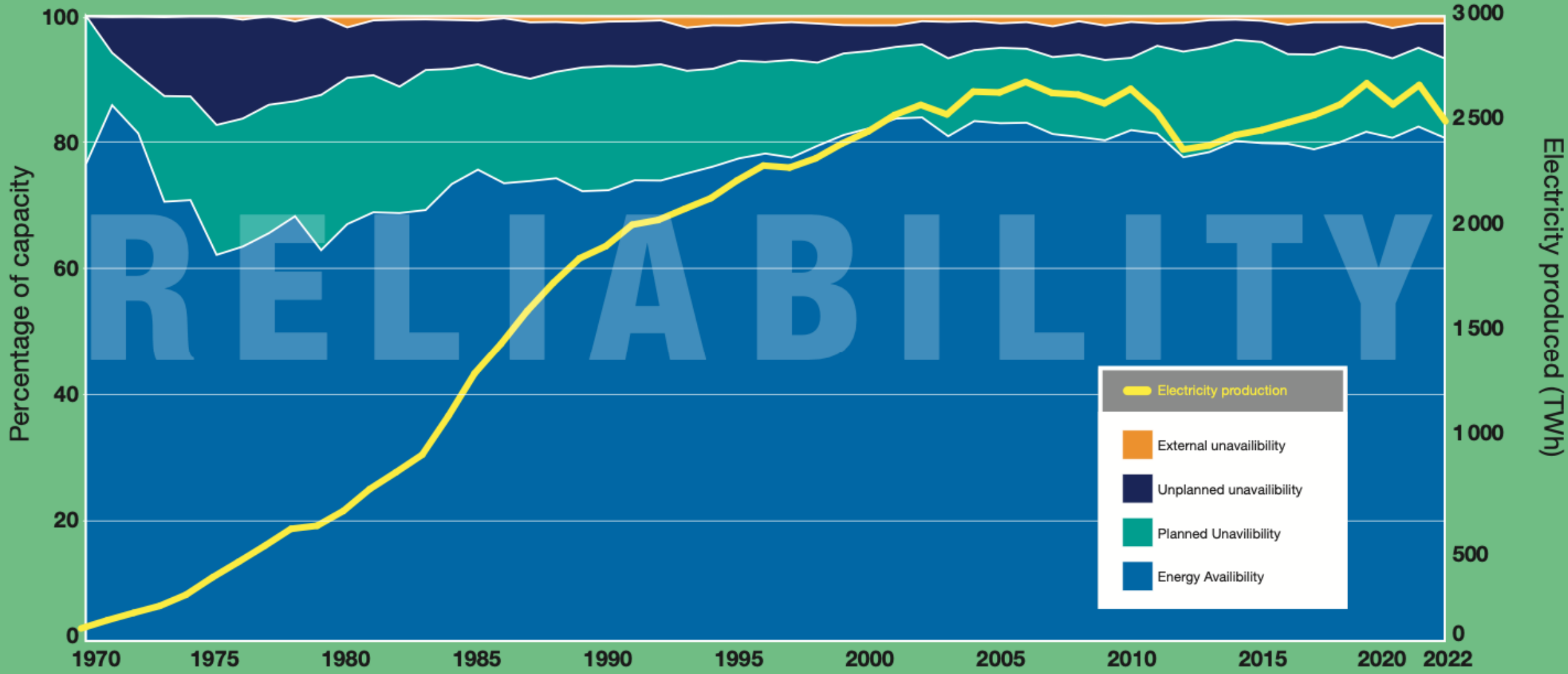
Tuumaenergia maailmas

- 416 reaktorit 31 riigis (375 GWe)
- 59 reaktorit ehitamisel (+61 GWe)
- 10% maailma elektrist
- 40-50% EU puhtast elektrist

Euroopa Liidu elektri tootmine kütuse järgi 2022.



Nuclear power performance



Jaamad naaberriikides

Soome

Reaktor	Tüüp	MWe	%	Võrku
Loviisa 1	PWR	507	88.1	1977
Loviisa 2	PWR	507	89.5	1980
Olkiluoto 1	BWR	890	92.7	1978
Olkiluoto 2	BWR	890	93.1	1980
Olkiluoto 3	PWR	1600	N/A	2022

Rootsi

Reaktor	Tüüp	MWe	%	Võrku
Forsmark 1	BWR	1040	84.5	1980
Forsmark 2	BWR	1121	83.0	1981
Forsmark 3	BWR	1172	85.6	1985
Oskarshamn 3	BWR	1400	81.2	1985
Ringhals 3	PWR	1074	78.5	1980
Ringhals 4	PWR	1130	82.3	1982



Maailma
Kashiwa

Jaama pindala: 4.2
Hiiumaa pindala: 9



Tepco to restart unit 7 at Kashiwazaki Kariwa nuclear plant in Japan

The development comes after a hiatus of more than a decade, during which all Japanese nuclear reactors were suspended.

May 14, 2024

Share 



The reactivation of unit 7 is part of a broader initiative that aims to bring five reactors nationwide back into operation by 2025. Credit: TTstudio/Shutterstock.com.

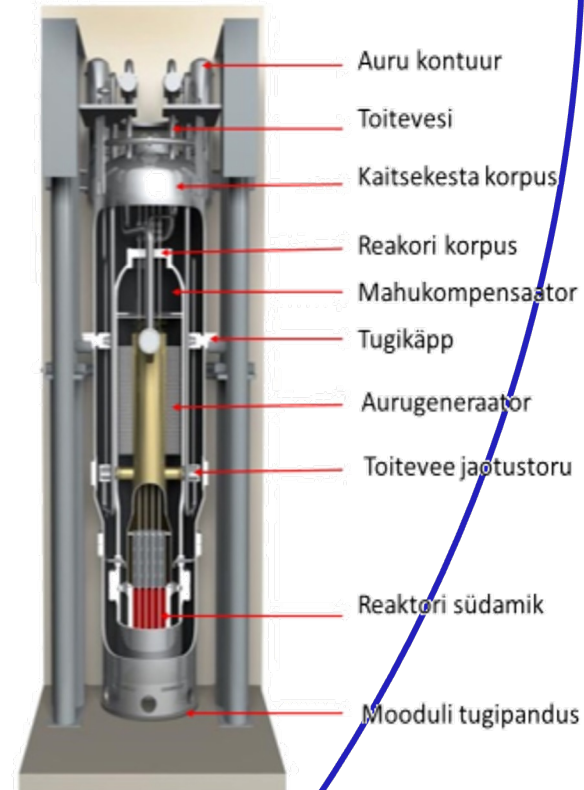
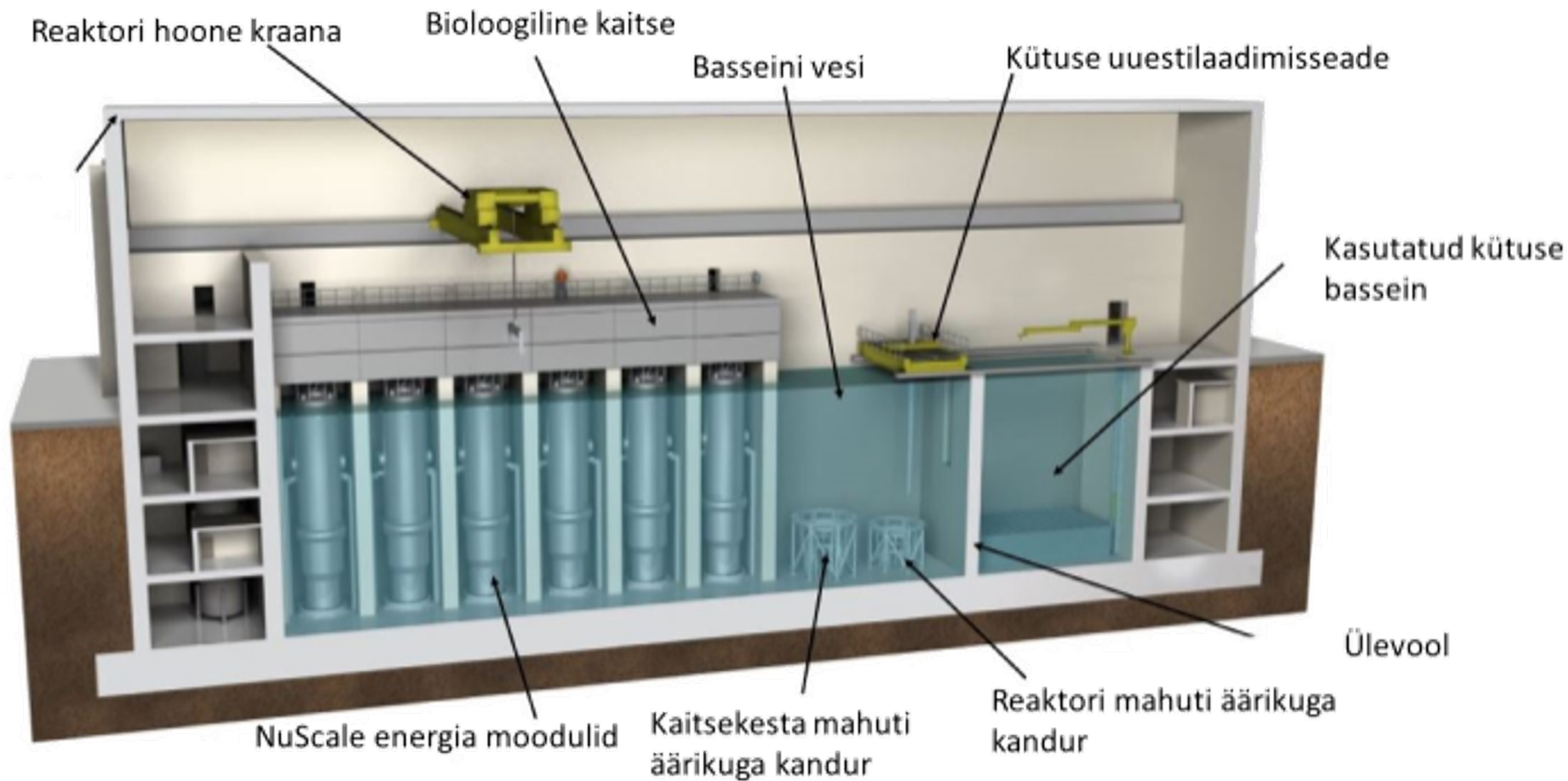
000 MWe)



UK SMR – Rolls Royce (400-470 MWe)



NuScale Voygr 60-77 MWe



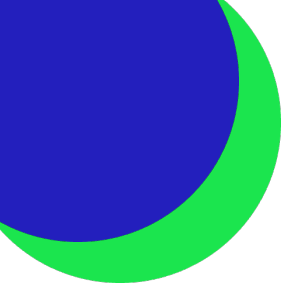
OPEN 100

Väike vesijahutusega reaktor, mille projekt on vabavarana kättesaadav

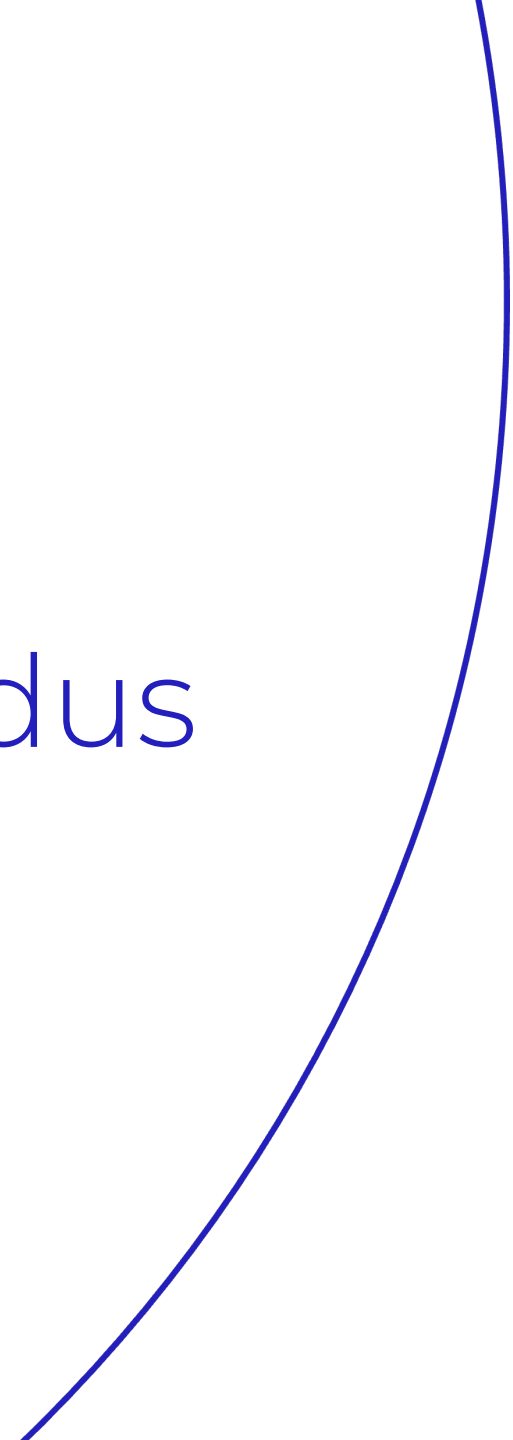
www.open100.com

Plaanid ehitada Poolasse



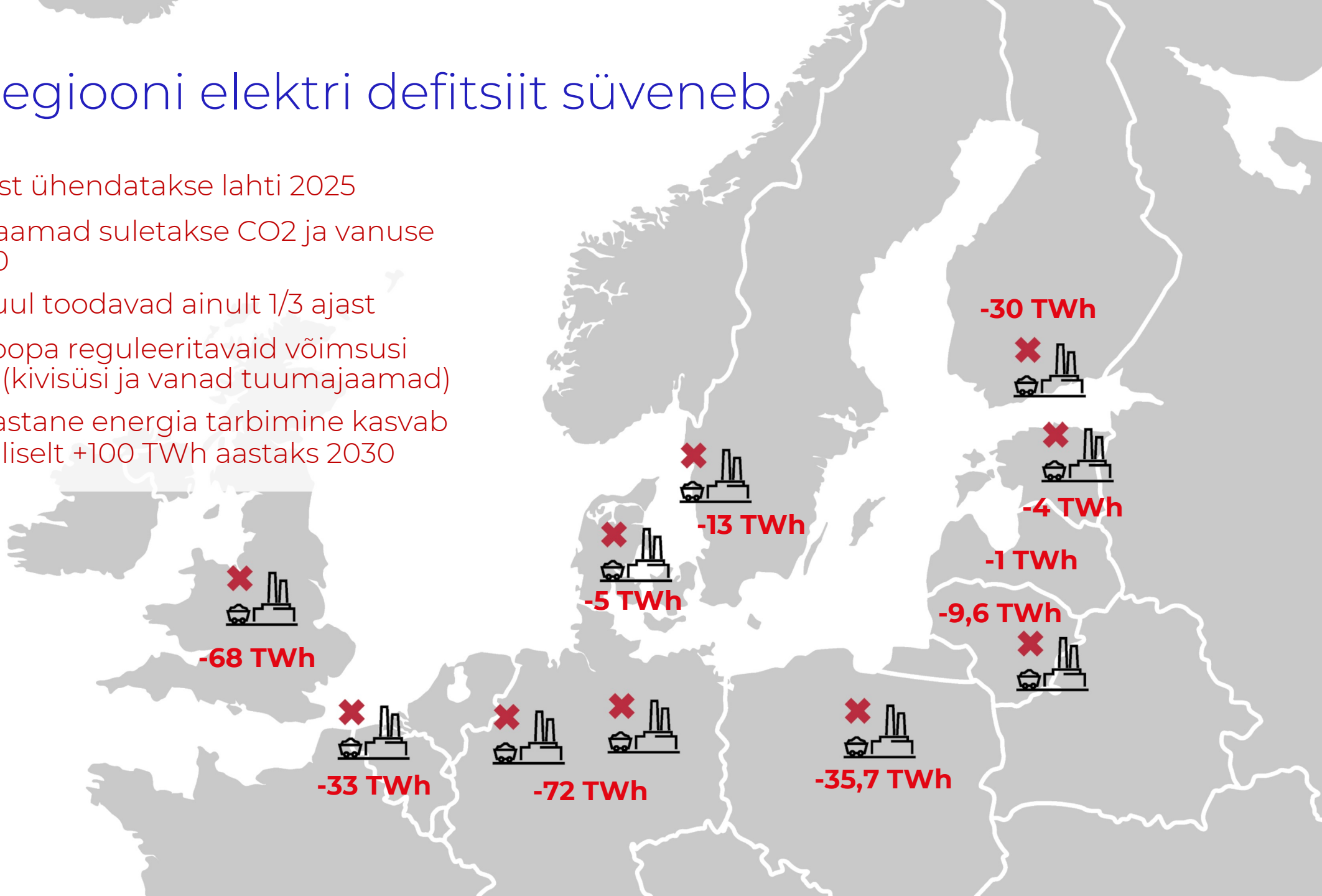


Eesti energiaportfelli kirjeldus



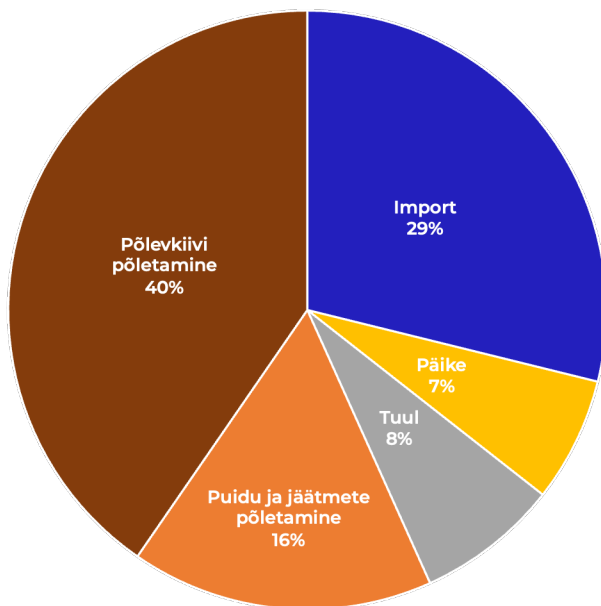
Eesti ja regiooni elektri defitsiit süveneb

- Venemaast ühendatakse lahti 2025
- Põlevkivijaamad suletakse CO2 ja vanuse tõttu 2030
- Päike ja tuul toodavad ainult 1/3 ajast
- Palju Euroopa reguleeritavaid võimsusi suletakse (kivisüsi ja vanad tuumajaamad)
- Põhjala aastane energia tarbimine kasvab hinnanguliselt +100 TWh aastaks 2030



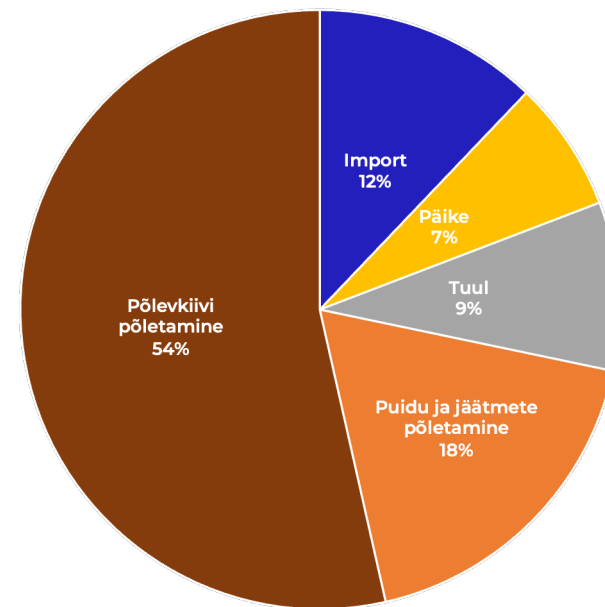
Eesti elektrienergia tootmisportfell

	Tootmine (TWh)	Tarbimine (TWh)	Tootmine/Tarbimine	Tuul (TWh / % tarb)	Päike (TWh / % tarb)
2018	10,4	8,4	123%	0,62 / 7.4%	0 / 0%
2019	6,1	8,2	74%	0,71 / 8.7%	0 / 0%
2020	4,4	8,0	55%	0,88 / 11%	0,13 / 1,6%
2021	5,9	8,4	70%	0,79 / 9.4%	0,33 / 3,9%
2022	7,3	8,2	90%	0,7 / 8%	0,5 / 6%
2023	4,9	8,6	57%	0,7 / 8%	0,7 / 8%



2021

Suur osakaal põlevkivil ja impordil

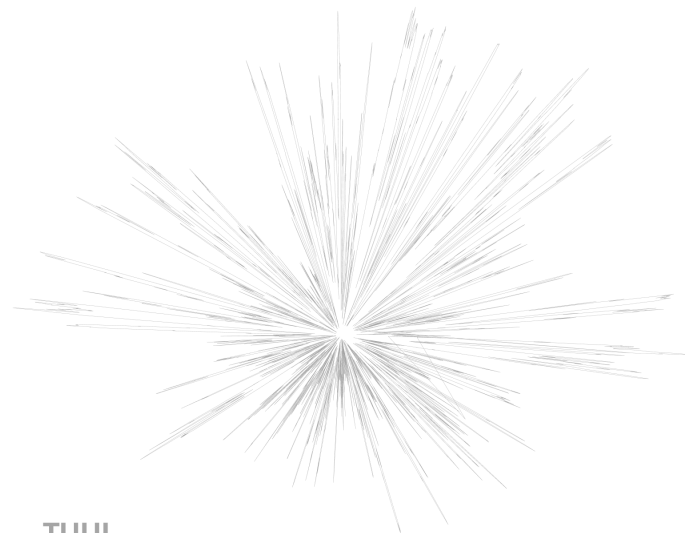


2022

Näitas kui oluline on varustuskindluse tagamisel kindla kodumaise võimsuse olemasolu. Kuniks puhtamaid alternatiive pole, on selleks meie põlevkivi. Aga see ei ole odav, 2022 hinnad olid kõrged.



Töötab 30% ajast

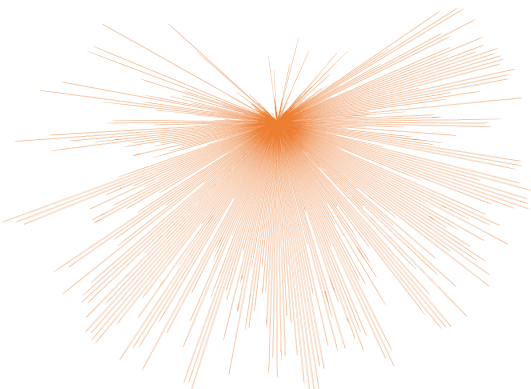


TUUL

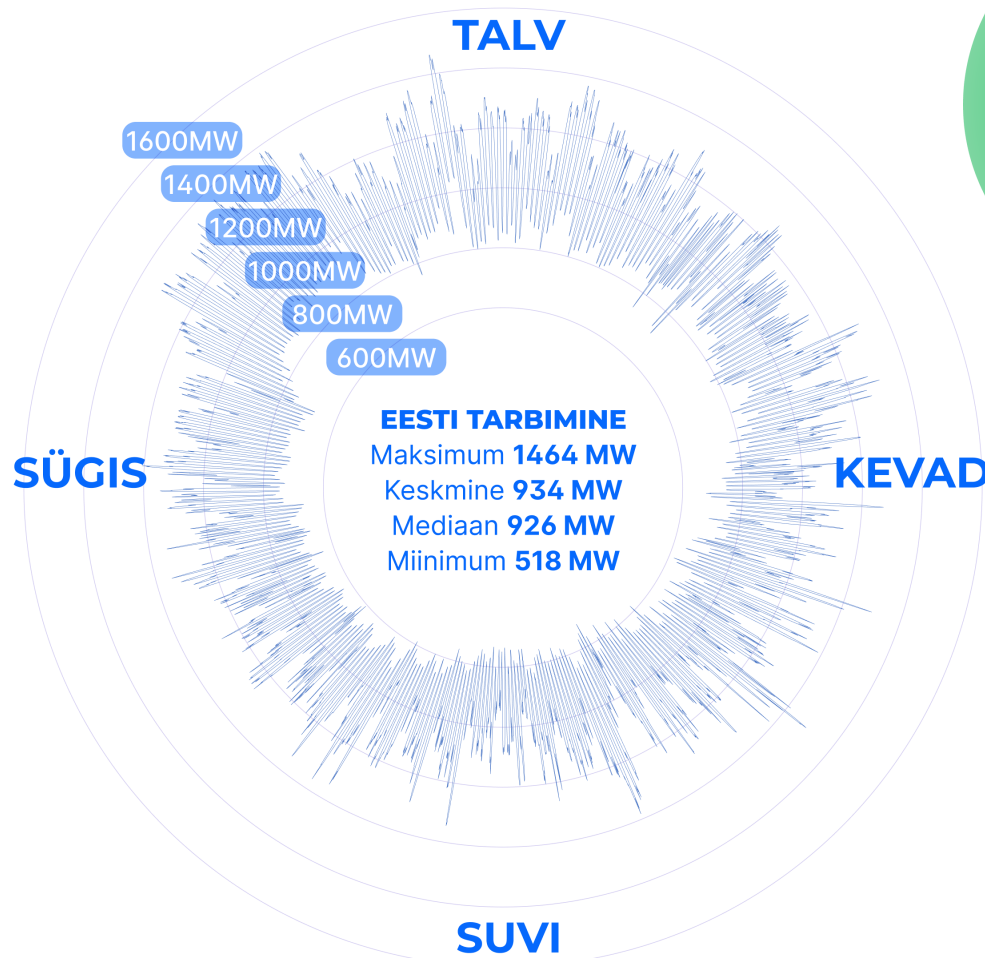
Maksimum **297 MW**
 Keskmine **78 MW**
 Mediaan **57 MW**

PÄIKE

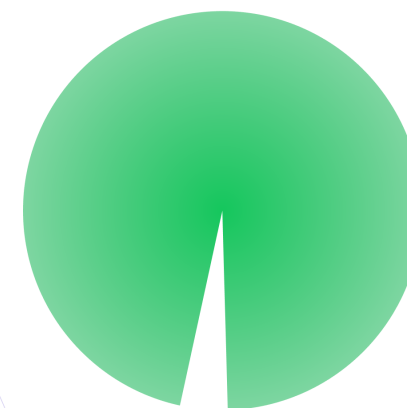
Maksimum **432 MW**
 Keskmine **64 MW**
 Mediaan **1,3 MW**



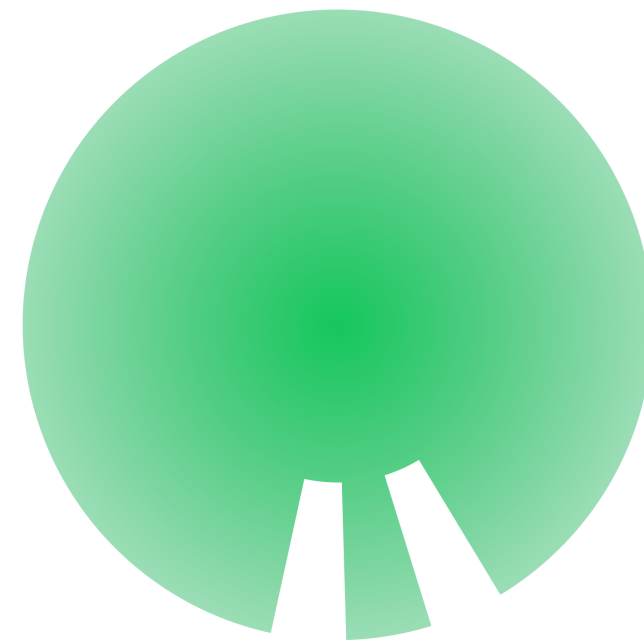
Töötab 10% ajast



Töötab 90% ajast

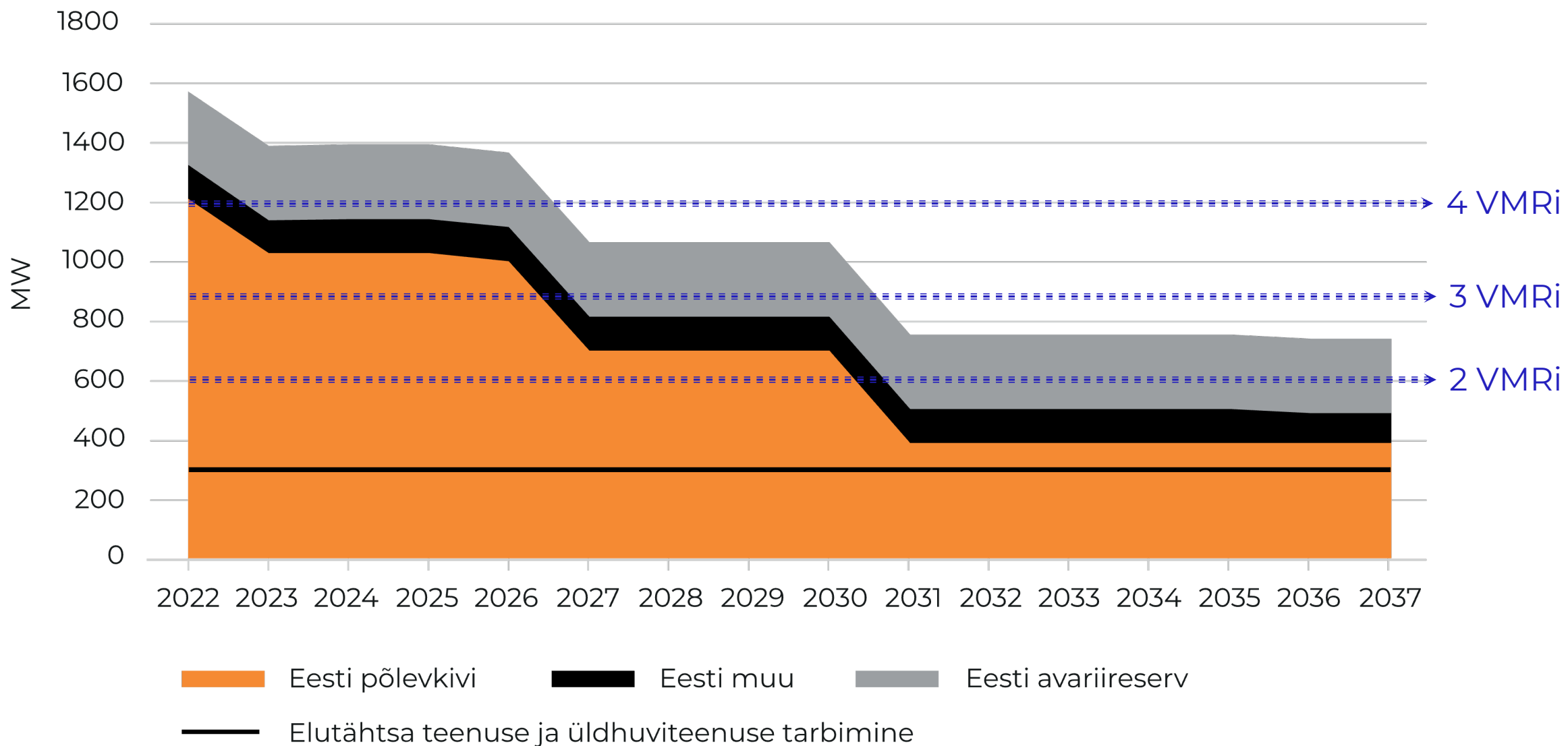


ÜKS REAKTOR
 Maksimum **280 MW**
 Keskmine **269 MW**
 Mediaan **280 MW**



KAKS REAKTORIT
 Maksimum **560 MW**
 Keskmine **539 MW**
 Mediaan **560 MW**

Eesti elutähtsa teenuse stsenaarium



Häid alternatiive Eestis napib

- **Import?** – Ei ole majanduslikult kasulik, ega sõltumatu
- **Gaas?** – Ei taga energiajulgeolekut, põletamine CO₂ mahukas.
- **Biomass?** – Meile ei meeldi metsade põletamine. Põletamine on CO₂ mahukas.
- **Taastuvad?** – Hüdrot ei ole. Päike/tuul vahelduvad ja pole siis kui vaja (talvel), suur lisakulu kogu süsteemile (maakasutus + võrguarenduse + salvestamise vajadus). Salvestamine võimalik vaid päevaste tippude katmiseks.

Vaja on jätkusuutlikku lahendust: dekarboniseerimist, elektrifitseerimist – stabiilset, reguleeritavat ja mõistliku hinnaga tootmist - tuumaenergiat!

Tuumaenergia eelised ja riskid

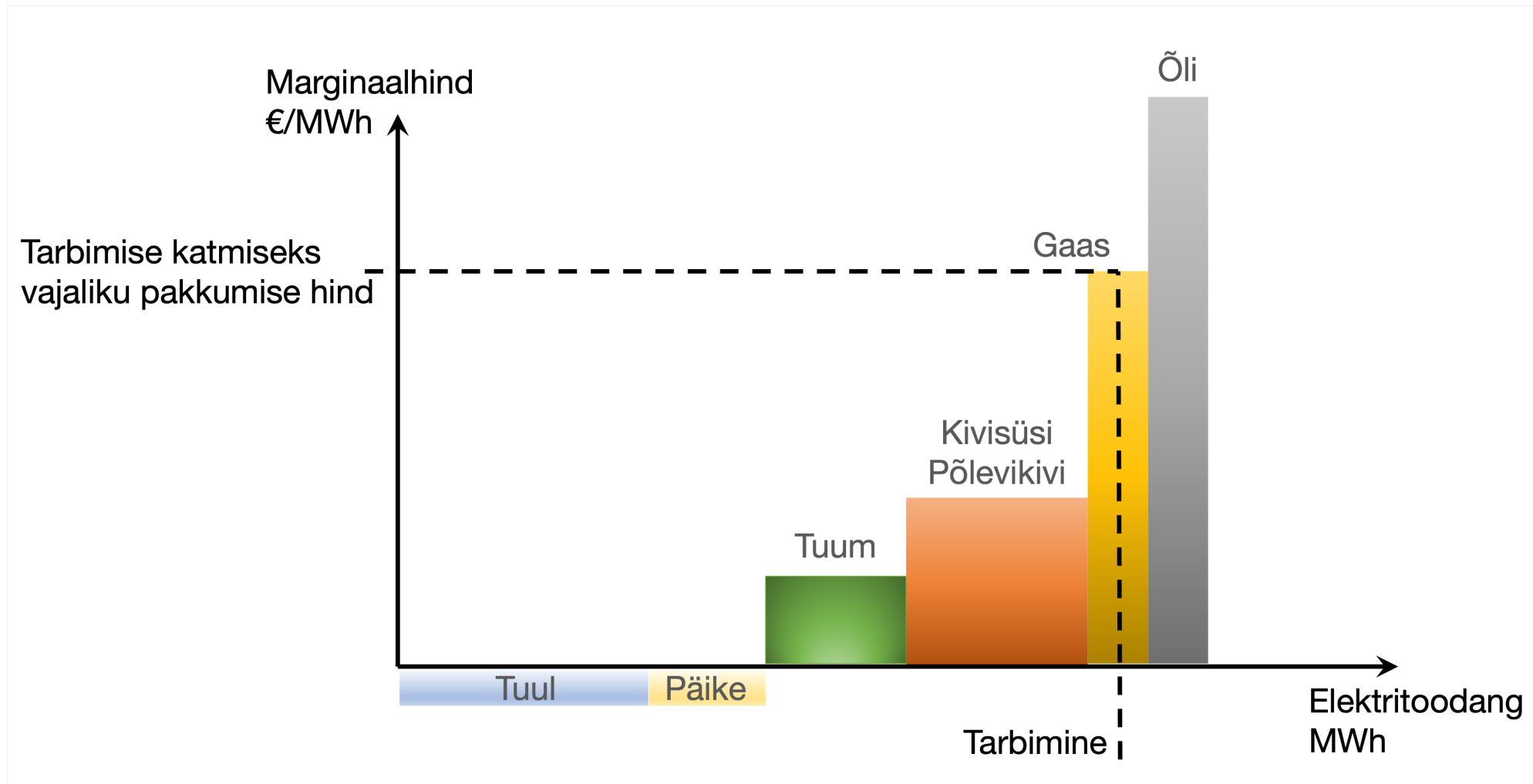
- Eelised

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

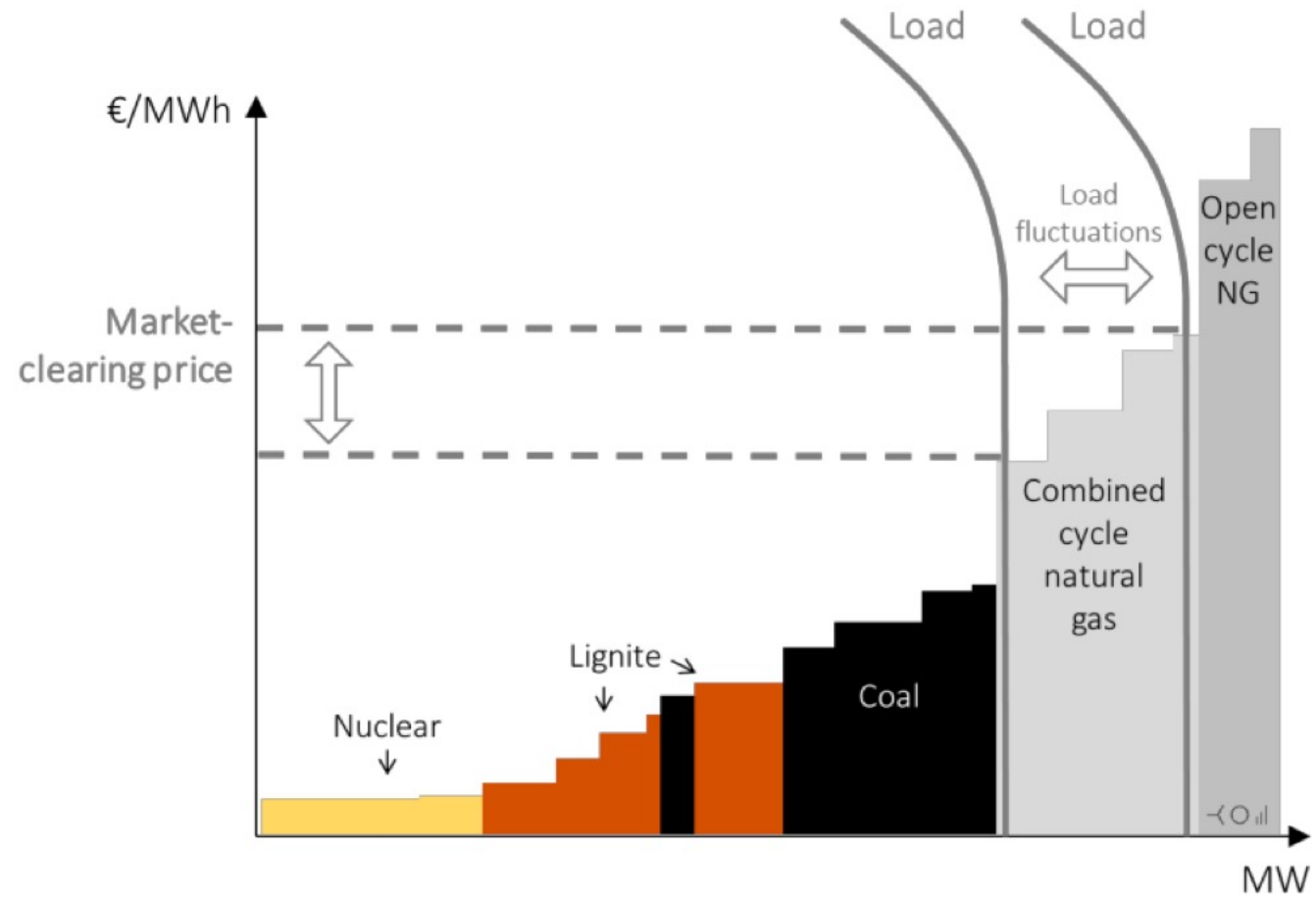
- Riskid

- **Kodanike vastuseis.** Küsitlused ja kohalikega suhtlemine näitavad vastupidist.
- **Regulaator puudub.** Uue ameti jaoks vajalike inimeste hulk ei ole suur. Kohalike kompetentside arendamine on juba töös ja saavutatav kui riik seda teha otsustab. Ka on olemas tugev rahvusvaheline tugi nii regulaatorile kui tuumajaama operaatorile.
- **Tehnoloogia viibib.** Tehnoloogia valikul tuleb silmas pidada just ajagraafikut ja rajamise usutavust. Olulised “tõendid” on tehnoloogia kasutuskogemus, käimasolevad loamenetlused, projekteerimise ja ehitamise lepingud.
- **Kulude kallinemine.** Varajane tehnoloogia valik võimaldab konkreetset ja täpset inimeste koolitamist, asukoha valikut ja projektipartnerite (projekteerimine ja ehitus) valikut, et maandada graafiku ja eelarve ületamise riske.

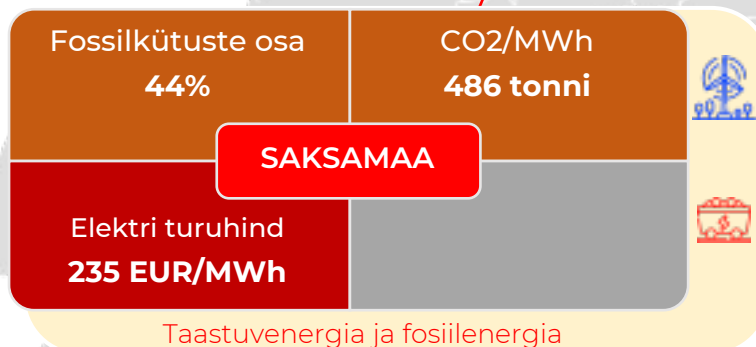
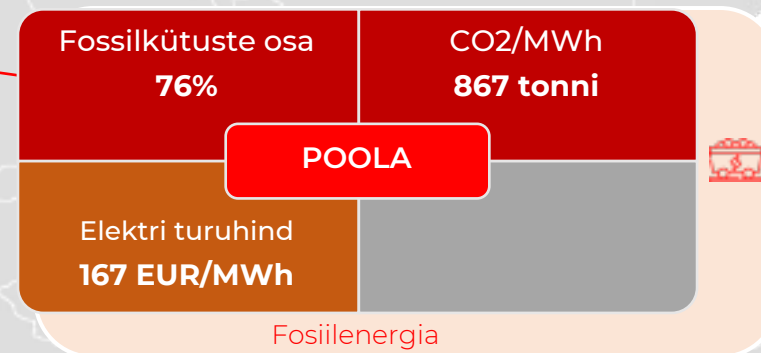
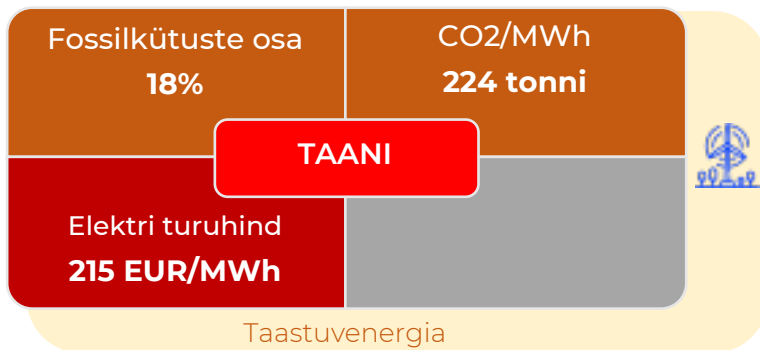
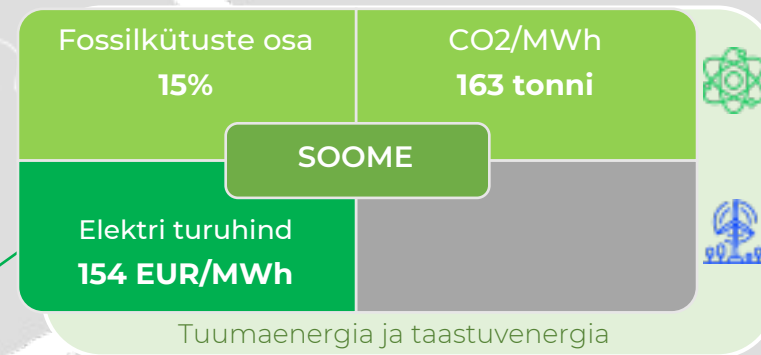
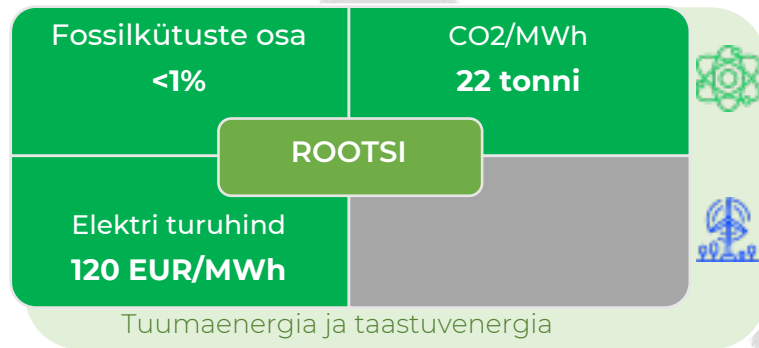
Kuidas kujuneb elektri hind?

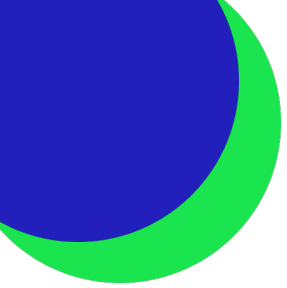


Elektritarbimine on visa painduma



Kes on 2022 a. võitjad ja kaotajad?





Asukoht – Tehnoloogia - Inimesed



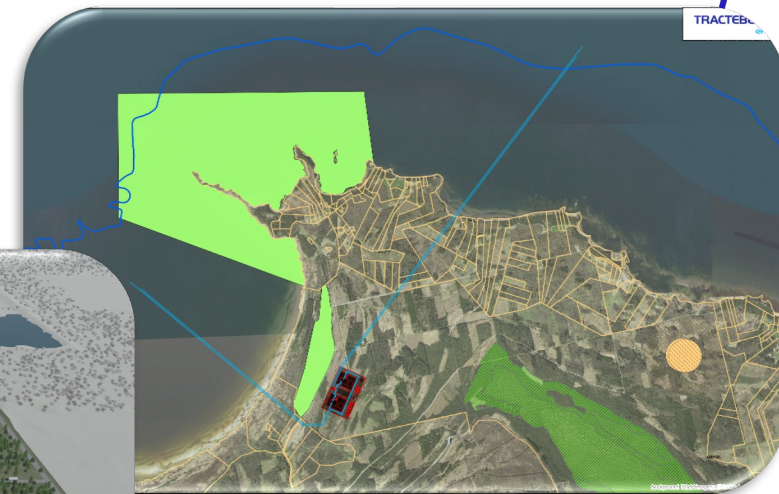
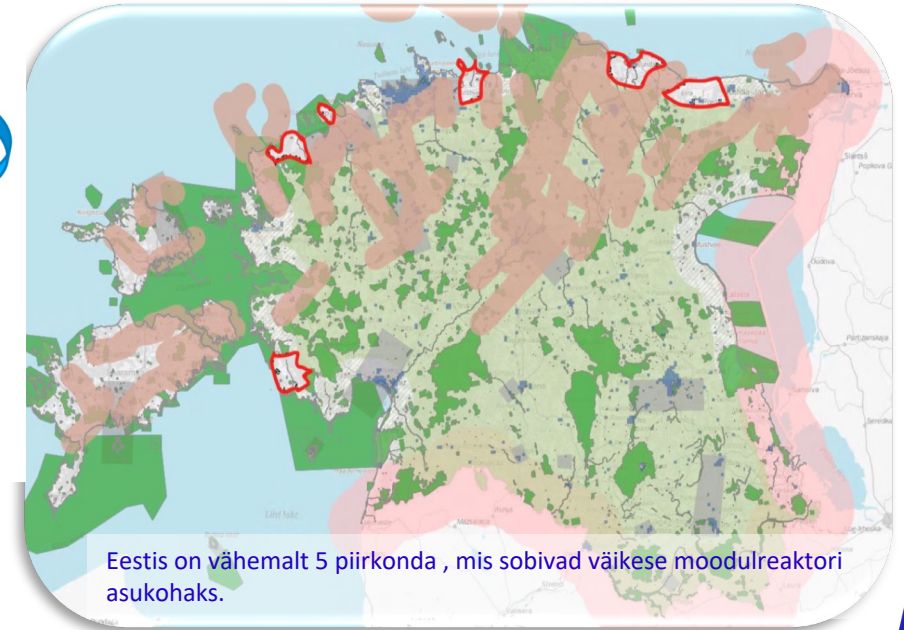
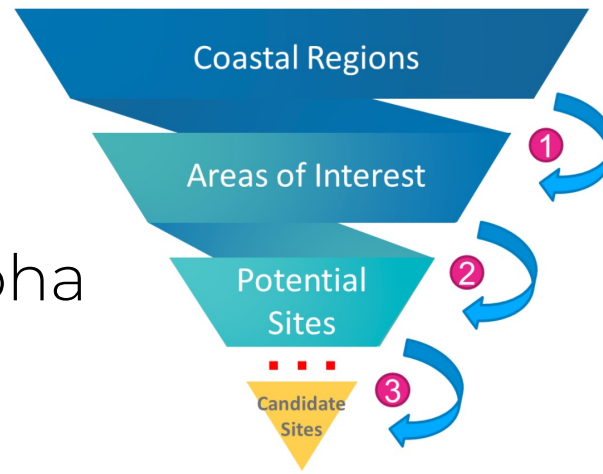
Asukoht

- Parimad tuvastatud asukoha kandidaadid

- Viru-Nigula vald
- Lüganuse vald

- Uuringud

- Asukohtade sõeluuring
- Jaama jahutuslahendused
- Ehitusgeoloogilised uuringud
- KSH/KMH programm
- Välised ohutegurid
- Asendiplaan



Reaktoritehnoloogia valik

Tuntud tehnoloogia: keevaveereaktor (BWR)

- Levinud reaktoritehnoloogia (USA, Jaapan; 7 reaktorit Soomes, Rootsis, Šveitsis)
- Esimene käivitati 1957 USA-s

Kogenud ettevõtte: General Electric Hitachi

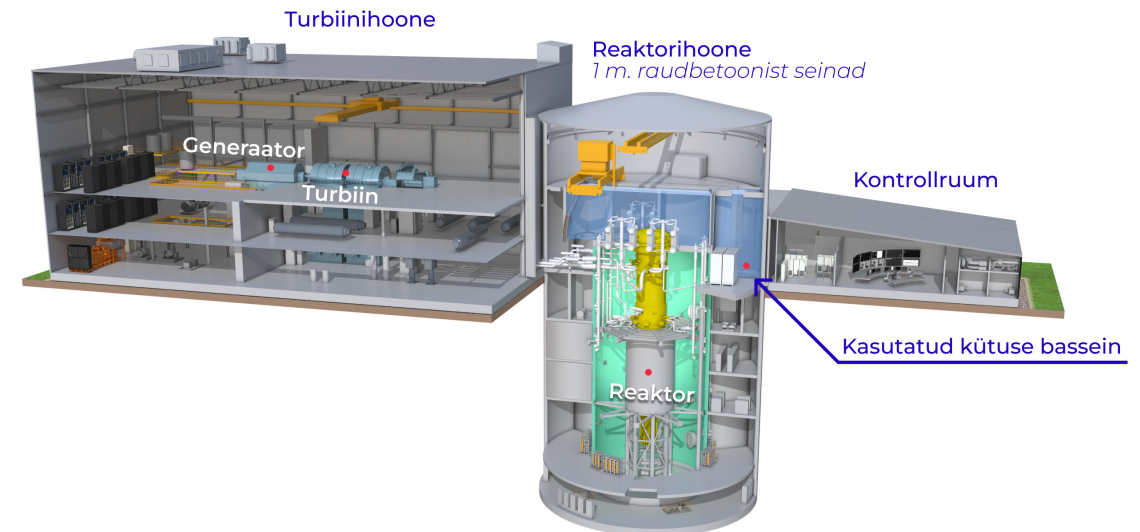
- 70a arendus-, ehitus- ja käidukogemust
- Kliendid Kanadas, USA-s, Poolas

Lihtne ja kaasaegne lahendus: BWRX-300

- Passiivne töörežiim ja ohutus, põhineb sertifitseeritud tehnoloogial ESBWR
- Komponentide ja kütuse tarneahel on olemas
- Kanadas ehituses, valmib 2028



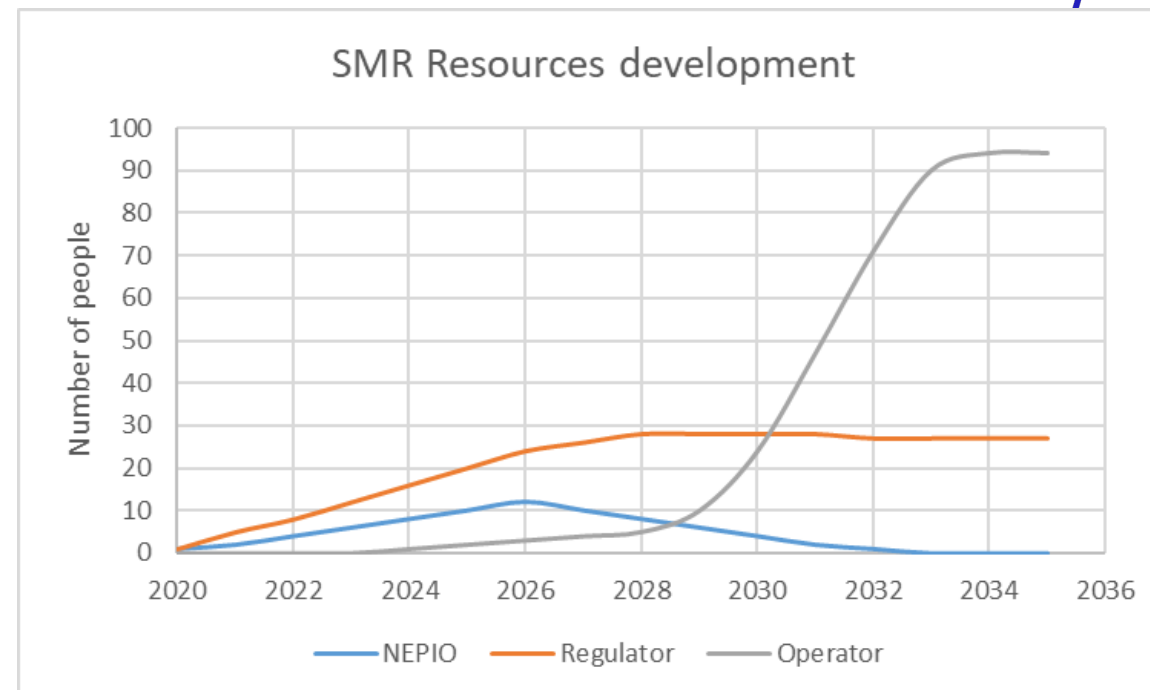
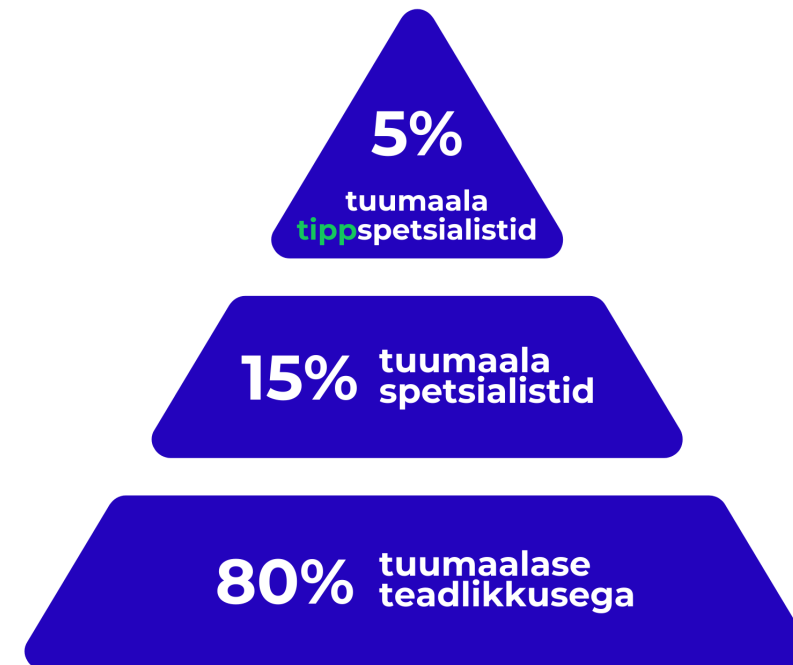
GE-Hitachi BWRX-300



Inimesed

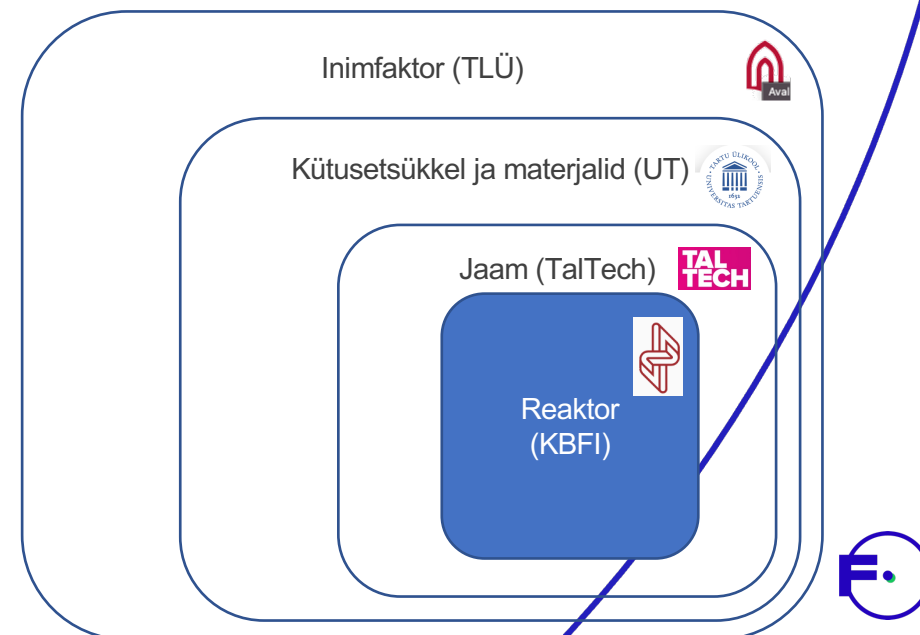
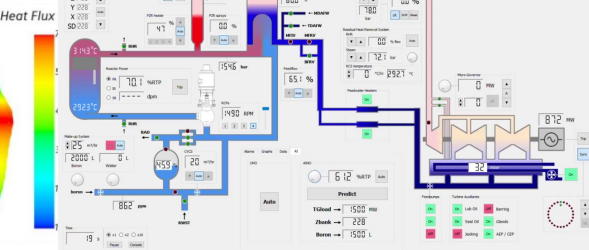
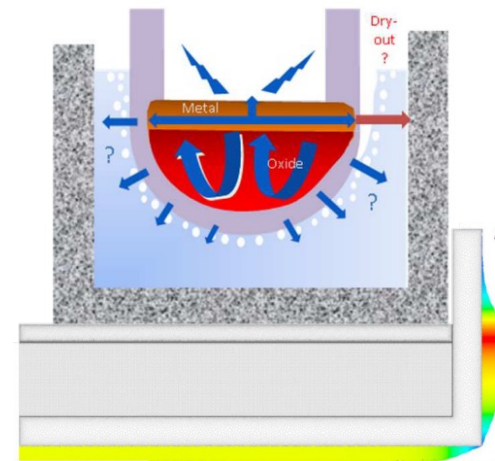
Jaotus eri tasemel ekspertteadmiste vahel:

- **5% tuumaala tippspetsialistid** - sügav tuumateadmine nt teadlased, põhilised projekteerimis- ja ohutuseksperdid
- **15% tuumaalal spetsialistid** - töötajad tugeva tuumaalase kogemusega nt protsessiinsenerid, käidu-, hooldus- ja järelvalvetöötajad
- **80% tuumaalase teadlikkusega** – töötajad ilma tuumaenergeetika alase taustata aga heade teadmistega tuumaohutuskultuurist ja tuumaala nüanssidest



Tegevused

- Teadustöö
 - VMRide kaitsevööndid - Kas ja miks ei vaja VMRid suuri kaitsevööndeid?
 - Passiivsed ohutussüsteemid - Kuidas jahutada kooriumi ilma elektri ja inimeseta?
 - Tark reaktorisimulaator - Kuidas juhtida tuumareaktorit tehisintellekti abil?
- Tuumatarkvara hankimine (NEA, NRC)
- Koolitused ja haridus
 - Loengud ja kursused ülikoolides ("Reactor physics", "Kaasaegne tuumaenergia", "Tuumatehnoloogia seminar")
 - Loengud "Fermion" suvekoolis ja Eesti koolides
 - Koolitusmaterjalide arendamine
 - Lõputööde juhendamine (TalTech, UT, TLÜ) – edukad magistriõpingud välismaal
- Koostöö
 - Valdkondade- ja asutustevaheline
 - Energiatehnoloogiad KBFIs (kõrgtemperatuurine vesinikutootmine)
 - TalTech, UT, TLÜ tudengite lõputööd
- Teavitustöö, nõustamine, konsultatsioonid



Kokkuvõte

- Stabiilse (ja soodsa hinnaga) elekter ja soojus on tarbijatele oluline
- Tuumaenergial on palju eeliseid ja see sobib Eestisse hästi
- Eesti suudab tuumaenergia kasutusele võtta: leidub asukohti, tehnoloogiaid ja inimesi.
- Varajane, kuid hoolikalt läbiviidud, tehnoloogiavalik võimaldab on tõhusa projektiarenduse eelduseks



Tänan!

FERMI.

