

Väikeste moodulreaktorite ohutusparameetrid

ALLAN VRAGER

FERMI ENERGIA OÜ LEPINGULINE PARTNER





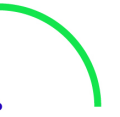
Eestisse kaalumisel olevad reaktorid

III+ põlvkonna reaktorid:

- NuScale Power Module™ SMR – PWR ehk surveveereaktor
- GE Hitachi Nuclear Energy BWRX-300 – BWR ehk keevveereaktor

IV põlvkonna reaktorid:

- Moltex Energy Ltd. Stable Salt Reactor SSR-300W - sulasoolareaktor
- Terrestrial Energy Inc. Integral Molten Salt Reactor IMSR-400 - sulasoolareaktor



Mõned ohutusalased terminid

- Aktiivsed ohutussüsteemid (active safety) - käivitumiseks ja töötamiseks vaja välist toiteallikat, jõudu, käivitavat tegevust või signaali.
- Passiivsed ohutussüsteemid (passive safety) – käivitumiseks ja töötamiseks on vaja ainult füüsikaseaduste toimimist.
- Olemuslik turvalisus (inherent safety) - reaktoril on mingi omadus, mis välistab teatud tüüpi õnnetuse.
- Konstruksioonist tulenev turvalisus (safety-by-design) - reaktorile on lisatud mingi teadlikult konstrueeritud lahendus, mis tekitab sarnase efekti nagu olemusliku turvalisuse korral.
- Jahutaja kao õnnetus (loss-of-coolant accident - LOCA) – reaktorist kaob jahutaja





Tegevused reaktori seiskamisel

- Ahelreaktsiooni seiskamine – seiskamisvarraste sisestamine ja neutronmürkide lisamine jahutusvedelikku.
- Reaktori jahutamine - peale reaktori seiskamist jätkub radioaktiivsete isotoopide lagunemine, mille käigus eraldub soojust, kohe peale reaktori seiskamist isegi kuni 7% reaktori soojuslikust nimivõimsusest. Aja jooksul see võimsus väheneb, kuid sõltuvalt reaktoris olevast kütuse kogusest, koostisest ja reaktori konstruktsioonist peab reaktorit jahutama isegi aastasadu.



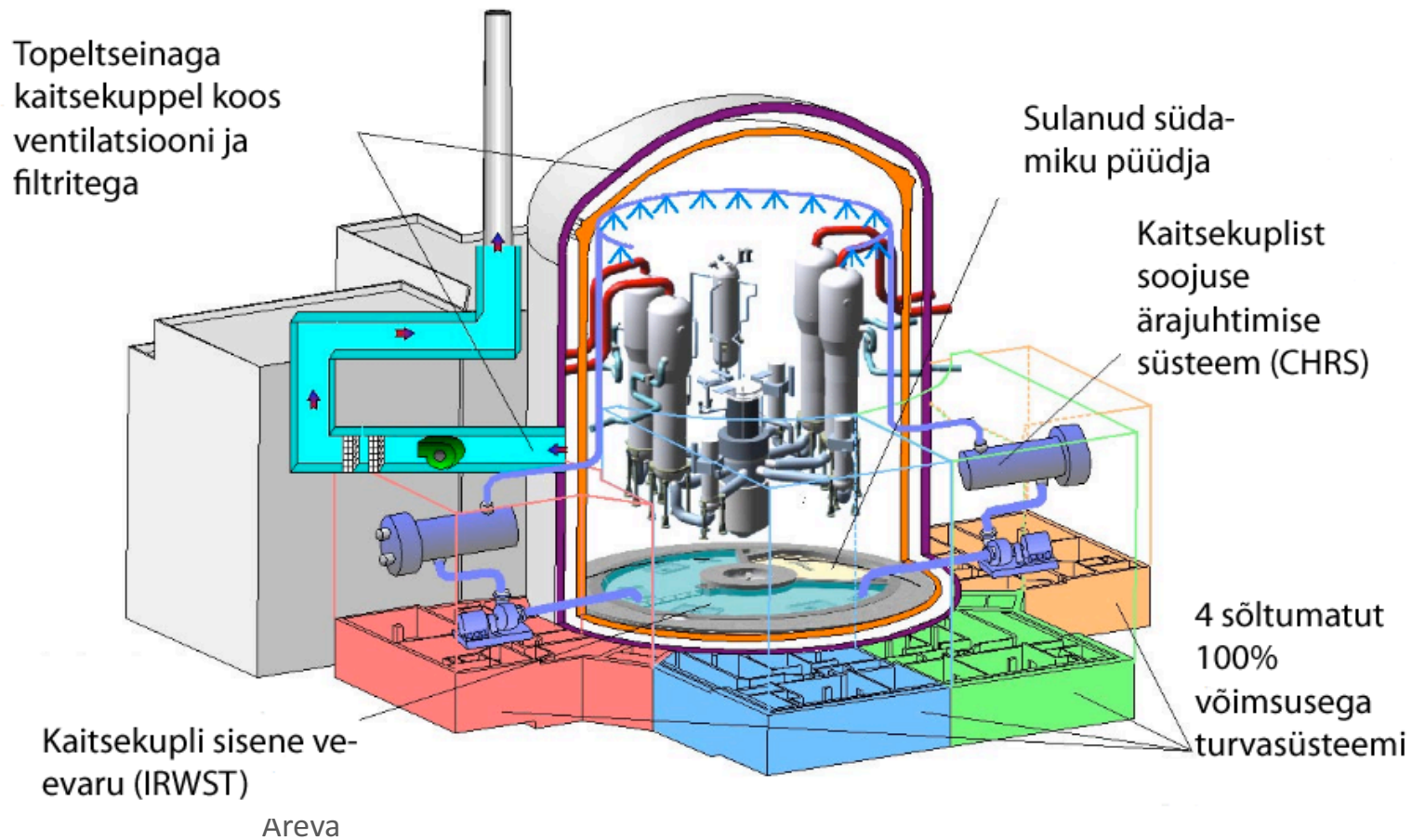


Väikeste moodulreaktorite eelised ohutuses

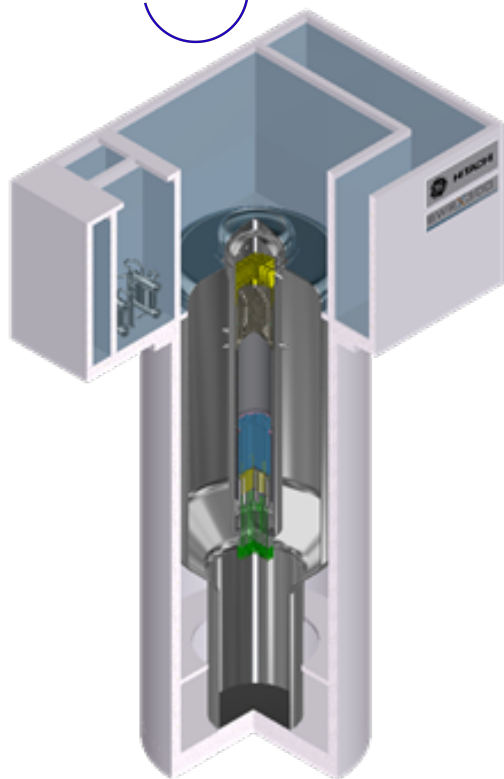
- Väikesem kütuse kogus reaktoris – vähem vaja jahutusvõimsust, lihtsam rakendada passiivset jahutust, võimalik ehitada lõplikult passiivselt ohutut reaktorit, suure õnnetuse korral vähem radioaktiivset materjali, mis võib välja paiskuda.
- Väiksem avariiolukorra planeerimise tsoon (Emergency Planning Zone EPR) – ligkaudu jaama territooriumi suurune vs. suurel reaktoril kuni paarikümne kilomeetri raadiusega
- Väiksem süsteemide arv – vähem võimalusi, et miski läheb katki
- Väiksem torustike ja pumpade kogus - väheneb LOCA tekkimise tõenäosus
- Väiksem seismiline maht ja mass – maavärinate korral purustuste tekkimise tõenäosus väiksem
- Väiksemad mõõtmed – materjali defektid omavad väiksemat mõju ohutusele ja valmistamine lihtsam
- Ehitatakse maa alla - vähendab võimalikke füüsilisi kahjustusi välistest allikatest
- Ehitatakse tehsases – võimalik tagada paremat kvaliteeti ja kvaliteedi kontrolli

FERMI.

EPR-i olulisemad turvasüsteemid



FERMI.



Reaktor reaktorihoones

GE Hitachi Nuclear Energy

BWRX-300



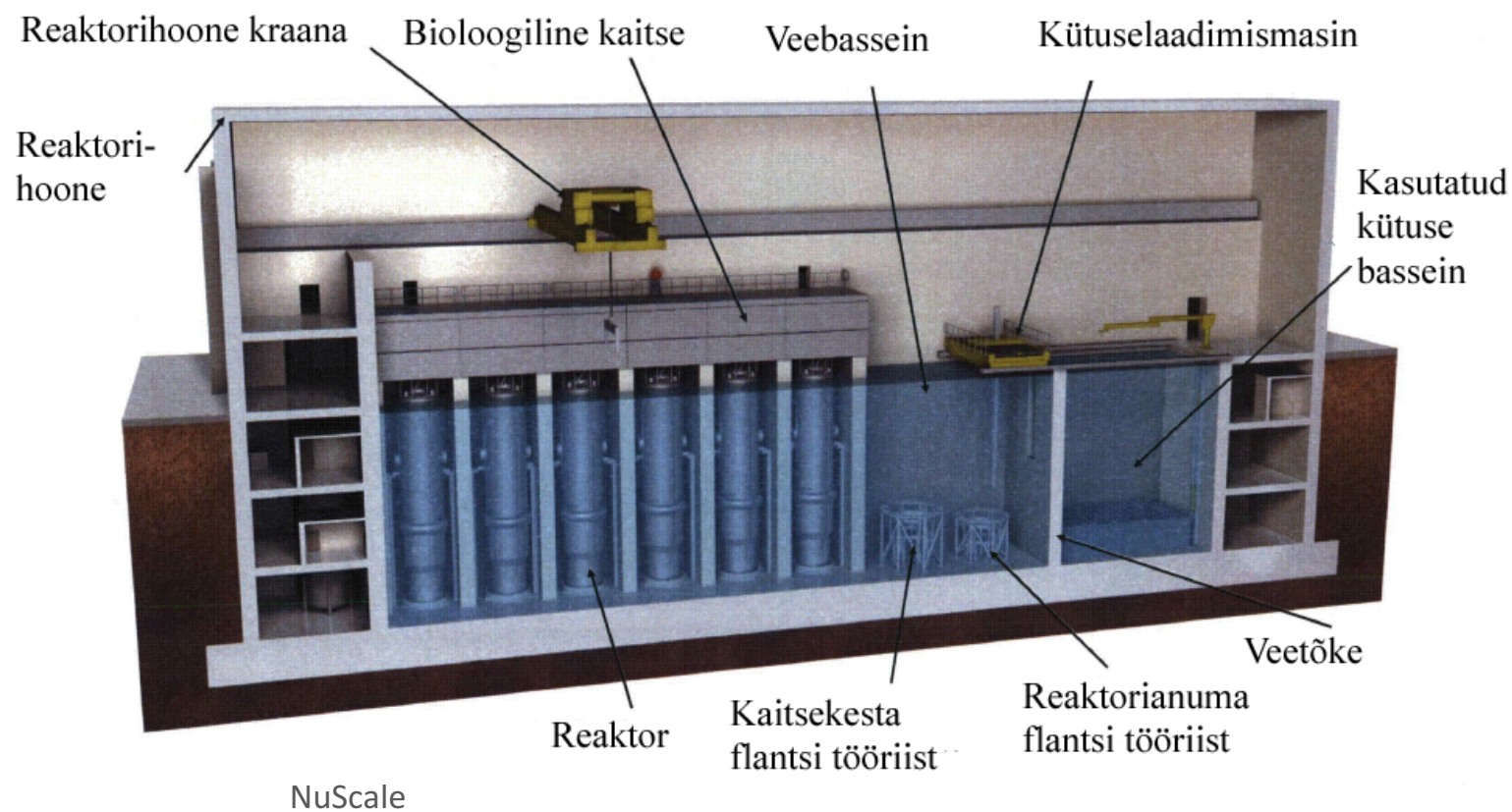
Reaktor



Passiivne avariijahutus läbi
isolaatorkondensaatori, vett jagub 7 päevaks

FERMI.

NuScale 12 reaktoriga jaama ristlõige





Sulasoolareaktorite olulisemad eelised ohutuses

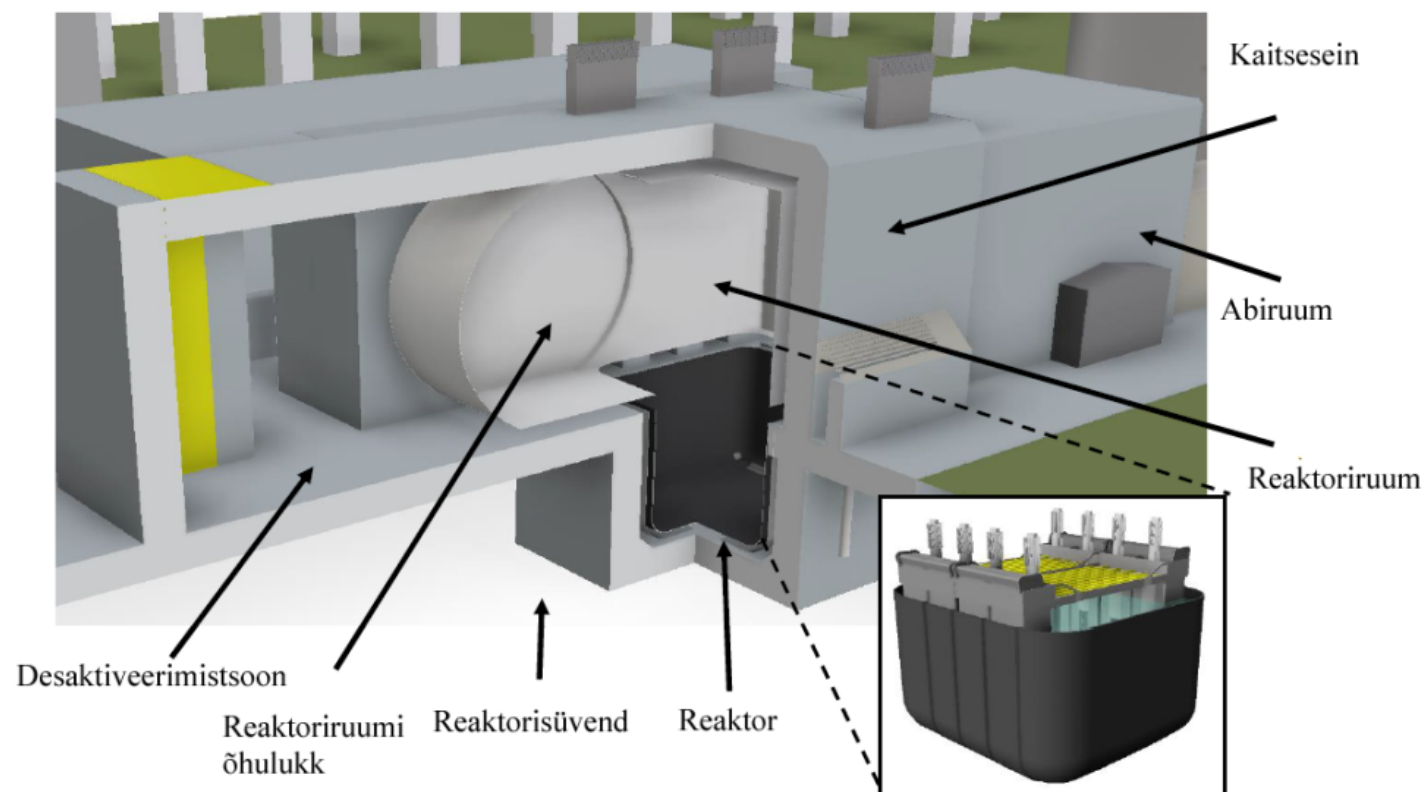
- Reaktoril on tugev negatiivne temperatuurikoefitsient - temperatuuri tõusmisel reaktoris väheneb reaktori võimsus ja 800°C juures on igasugune ahelreaktsioon katkenud isegi ilma seiskamisvarraste sisenemiseta.
- Lagunemissoojuse eemaldamiseks piisab reaktori korpuselt vabakonvektsiooni teel soojuse kandumisest õhule ja selle tagamiseks ei ole vaja mingeid pumpi ega vett.
- Enamus gaasilistest lõhustumisel tekkinud radioaktiivsetest isotoopidest (Cs-137 ja I-131) jäävad soola koostisesse keemiliselt seotutena ning õnnetuse korral ei paiskuks need atmosfääri ega leviks laiale maa-alale.



- Sool on suure soojusmahtuvusega ning keemistemperatuur on 1500°C juures, seega läheb väga palju aega ja energiat, kuni sool keema hakkaks ja tekkiks olukord radioaktiivsete aurude ja gaaside levimiseks. Seda ei saa juhtuda, sest pidevalt toimib passiivne õhuga jahutamine, mis on võimeline viima ära temperatuuri tõstmiseks keemistemperatuurini vajaliku soojuse.
- Reaktor ei ole rõhu all, ainus rõhk, mis tekib on tingitud soola pumpamisest. Tänu ülerõhu puudumisele ei saa reaktor plahvatada ega lekitada suures koguses soola.
- Õnnetuse korral peale reaktorist lekkimist sool jahtub ja muutub tahkeks ning tema levik seiskuks.
- Reaktoris kasutatav sool ei ole keemiliselt väga aktiivne ning õigete materjalide kasutamise korral on välditud reaktori seinte korrosioonist tekkiv oht.

FERMI.

Moltex Energy SSR-300W tuumasaar



Moltex Energy Ltd



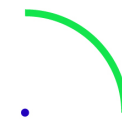
Terrestrial Energy Inc. IMSR-400



Terrestrial Energy Inc.

Core Damage Frequency (CDF) - reaktori kahjustumise sagedus

- See on tõenäosuslik parameeter, mis hindab kui sagedasti võib toimuda reaktori tuuma kahjustumist ehk kütusevarraste sulamist reaktoris ühe reaktori tööaasta kohta.
- Parimatel moodsatel suurtel generatatsioon III+ reaktoritel on see alla 10^{-7} .
- Ajaloolistel andmetel põhinedes oli vahemikus 1954 kuni 2011 töötanud reaktoritel CDF $7,6 \cdot 10^{-4}$ reaktori tööaasta kohta. Sel vahemikul kogunes 582 energeetilisel reaktoril ligikaudu 14400 reaktori töö-aastat ning tuuma sulamisi oli 11, mis teeb ühe sulamise iga 1309 aasta tagant.
- Valikus olevatest neljast reaktorist on see määratud ainult NuScale (10^{-10}) ning võib arvata et BWRX-il tuleks see veidi väiksem kui tema suurel vennal ESBWR-il ($1,7 \cdot 10^{-8}$).
- Sulasoolareaktoritele ei saa sama metoodikaga määrata, sest kütus on reaktoris juba sulanud olekus



Täna tähelepanu eest!

