

Väikesed Moodulreaktorid Ohutus

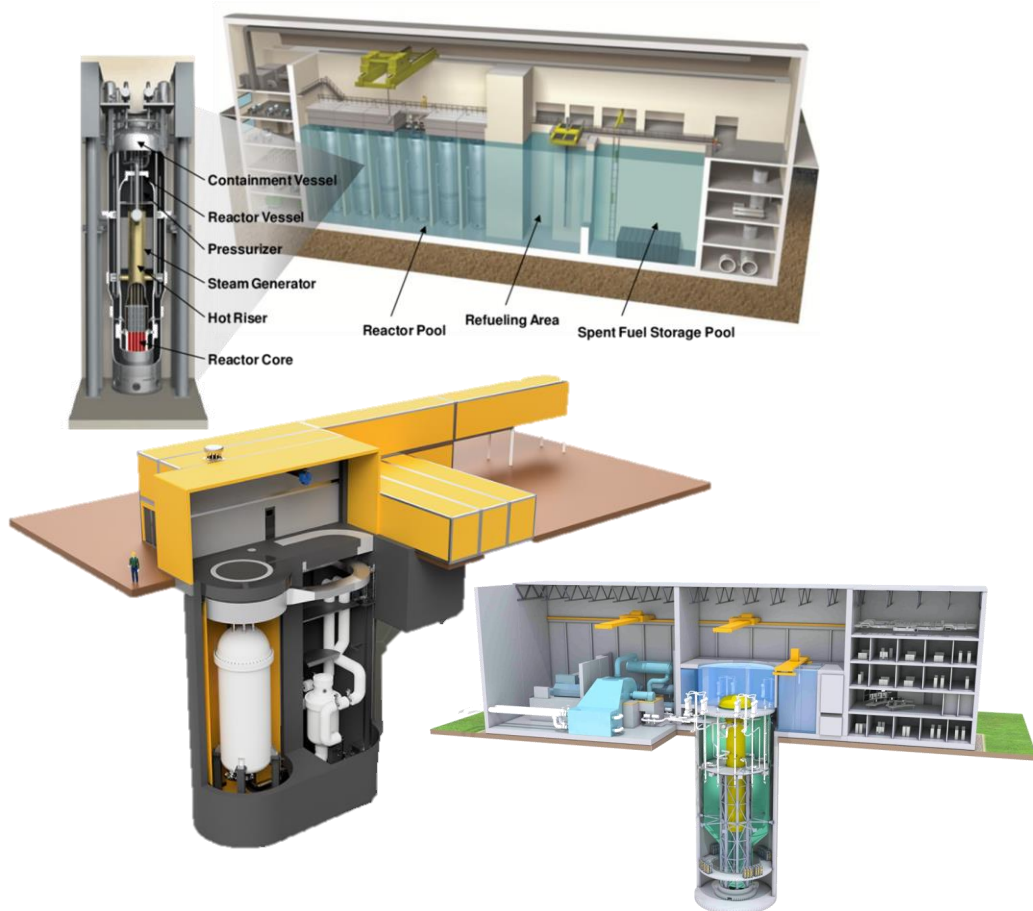
Rainer Kelk, Marti Jeltsov

KBFI Tuumateadus ja tehnoloogia

09.02.2021

Fermi Energia konverents „Leading the Force“

Väikesed moodulreaktorid ja nende ohutus



Väike ja madal võimsus

- Väiksem radioaktiivse materjali hulk.
- Väiksem kiirguse piirmäärade ületamise tõenäosus

Modulaarsus

- Komponentid valmistatakse tehases ja komplekteeritakse jaamas – kvaliteet ja kulutõhusus
- Radioaktiivne materjal jaotub väiksemate, täielikult kaitsesüsteemidega varustatud reaktorite vahel

Hästi kaitstud

- Jaamavälise riski maandamiseks on kasutusel kompaktsed, rõhukindlad, mitmeseinalised, maa-alused ja jahutusbasseinidesse paigutatud kaitsekestad

Passiivsed süsteemid

- Nii tavakäidu kui kaitsesüsteemid
- Toimib loodusjõududel, välise sekkumiseta
- Vähem komponente

Passiivne ohutus = väiksem risk

- Aktiivne – väline toiteallikas, jõud, käivitav tegevus, signaal
- Passiivne – füüsikaseadused (gravitatsioon, rõhk), materjaliomadused
 - Olemuslik ohutus
 - Disain, materjalid, kütus

$$\text{RISK} = \text{TAGAJÄRG} \times \text{TÕENÄOSUS}$$

Mida väiksem on õnnetuse risk, seda väiksem võib olla hädaolukorra planeerimistsoon

- Koostootmine
- Suurenenud usaldus elanikkonna seas

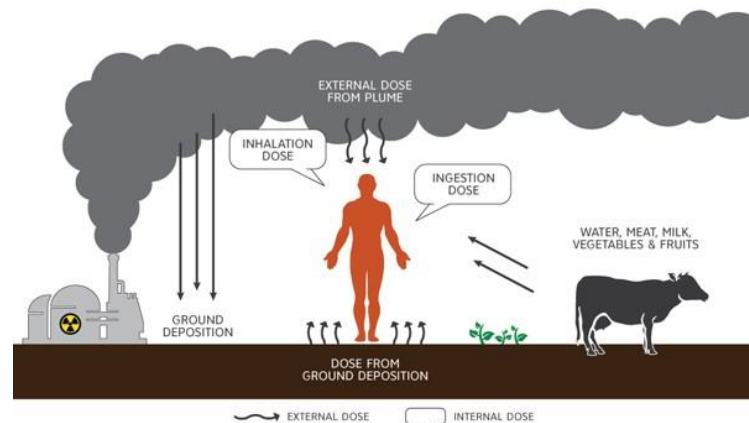
Mida väiksem on allikatunnus, seda väiksem on õnnetuse tagajärg

- VMRidel on väiksem allikatunnus

Mida suurem on passiivsete süsteemide tõendatud toimimine, seda väiksem on õnnetuse tõenäosus

Mis on hädaolukorra planeerimistsoon (HPT/EPZ)

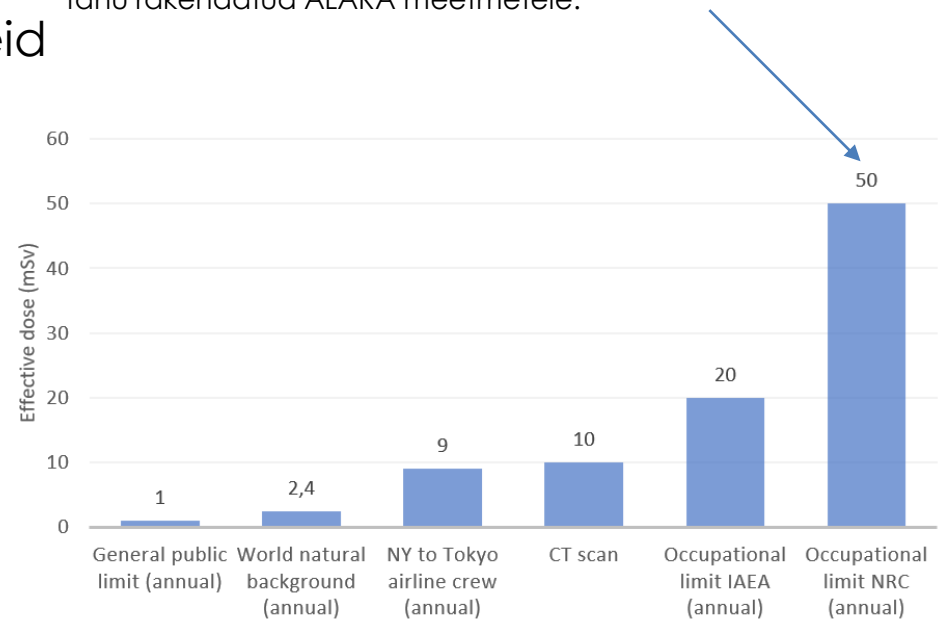
- Ala tuumajaama ümber, milles on valmisolek reageerida hädaolukorrale.
 - Kitsam, pilve kiiritusrada
 - Laiem, toidu ja veevaru kiiritusrada
- Planeerimistsoonide suurust mõjutavad :
 - Tehnoloogia** (radioaktiivse aine hulk, avariid, allikatunnus, kaitsesüsteemid, ...)
 - Kiirguskaitse regulatsioon** (doosi piirmäärad, sekkumistasemed,...)
 - Asukoht** (meteoroloogia, (hüdro)geoloogia,...)
 - Kohalikud kaalutlused** (infrastruktuur, rahvastik,...)
 - Planeerimistsoonide määramise meetodika** (ettekirjutatud või tehnoloogiaspetsifilisel riskianalüüsil põhinev)



Kiirguskaitse nõuded

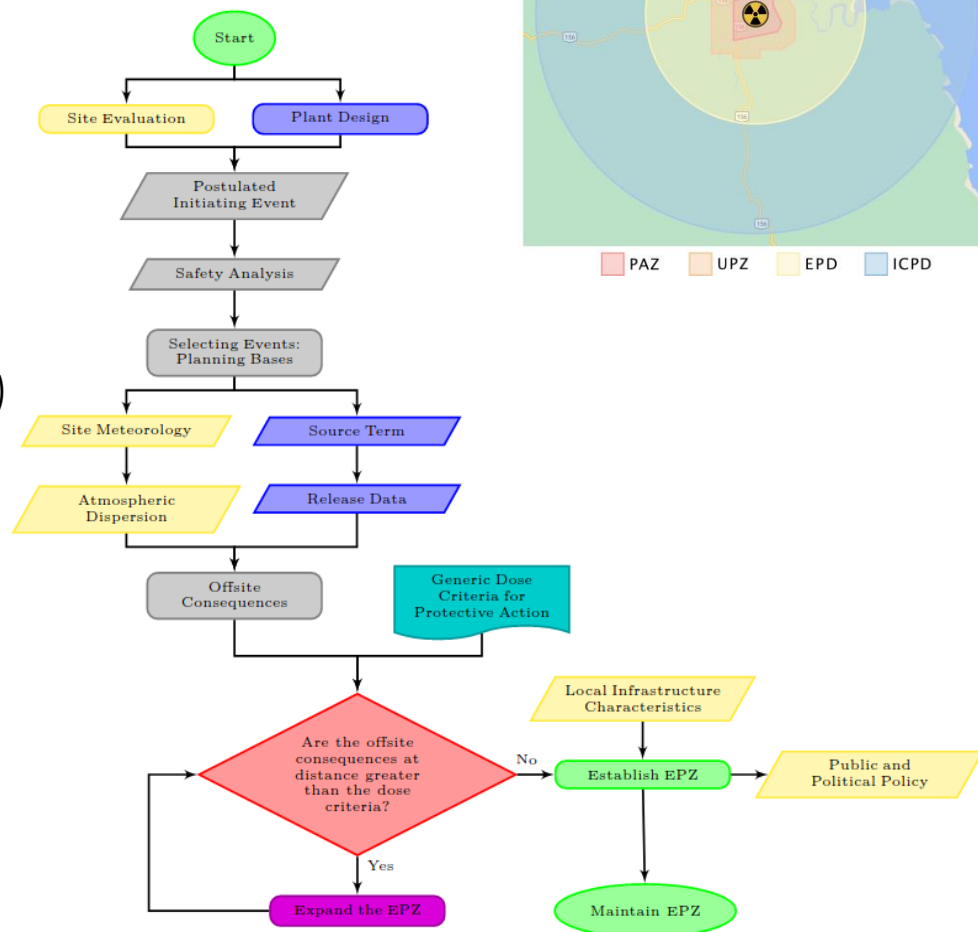
- Maailm järgib Rahvusvahelise Kiirguskaitse Komisjoni ICRP juhiseid
- IAEA = CNSC = EURATOM
 - Elanik:
 - Kuni 1 mSv/aasta
 - Kiirgustöötaja
 - Kuni 50 mSv/aasta
 - Kuni 100 mSv/5 aastat
- Eesti looduslik kiirgustase on maailma keskmisest kõrgem
 - Eesti ~3 mSv
 - Kerala rannik Indias 12,5 mSv
 - Põhja-Iraan 260 mSv
- Elu päästvate tegevuste puhul on piirmäär kõrgem (250 mSv USAs)

USAs ei vähendatud aasta keskmist piirmäära 20 mSv kuna 1987. aastaks jäid kiirgustöötajate keskmised doosid juba alla 20 mSv tänu rakendatud ALARA meetmetele.



IAEA soovitused kaitsevöönditele

- 2 Hädaolukorra Planeerimise Tsooni
 - Ettevaatusabinõu tsoon (PAZ)
 - Kiireloomuliste ohutusmeetmete planeerimistsoon (UPZ)
- 2 Hädaolukorra Planeerimise kaugust
 - Laiendatud planeerimiskaugus (EPD)
 - Allaneelamise ja toorainete planeerimiskaugus (ICPD)
- IAEA VMRide Regulaatorite Foorum leidis, et kehtiv metodoloogia sobib VMRidele

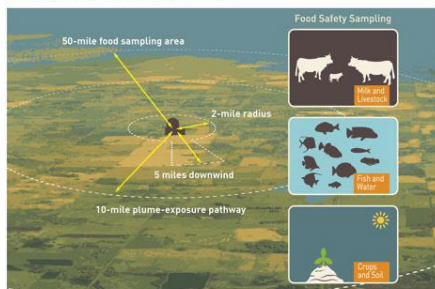


Riiklikud HPT regulatsioonid

USA NRC

- Ettekirjutav regulatsioon
 - 10-miili pilve leviku kiiritusrada
 - 50-miili toidu, vee tarbimise kaugus
- Uus regulatsioon kujundamisel:
 - Arvestab tehnoloogia eripärasid ja suurust (Mehhanistlik allikatunnus)
 - Põhineb riskianalüüsil
 - **Võimalus, et HPT piirneb jaama alaga**

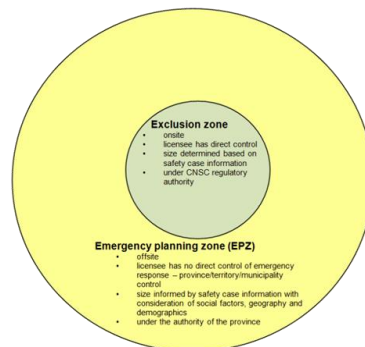
Emergency Planning Zones



Note: A 2-mile ring around the plant is identified for evacuation, along with a 5-mile zone downwind of the projected release path.

Kanada CNSC

- Tehnoloogiapõhine regulatsioon
 - Keelutsoon
Operaatori kontrolli all
 - Hädaolukorra planeerimistsoon
- Regulaatori, tervishoiuameti, kohalike omavalitsuste ja loataotleja koostöö



UK ONR

- Tehnoloogiapõhine regulatsioon
 - Detailne hädaolukorra planeerimistsoon DEPZ
 - Väline planeerimistsoon OPZ
- Täpsed suurused on asukohaspetsiifilised

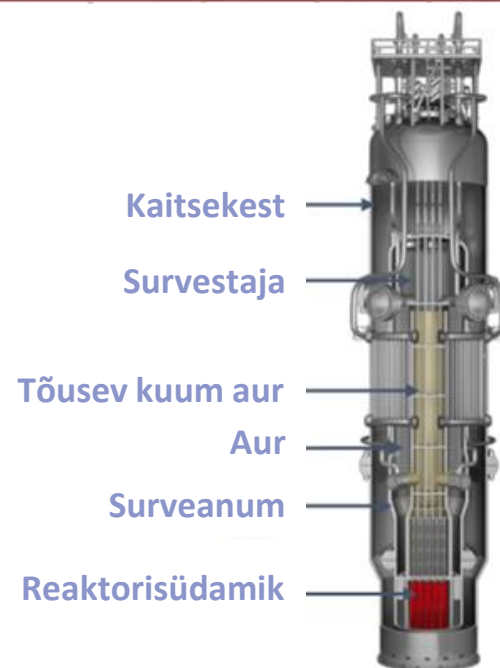


Näide: 6-7 km ala Sellafieldis (256 ha, 200 tuumarajatist, üle tuhande hoone)

NuScale (NuScale Corp.)

Integraalne surveveereaktor

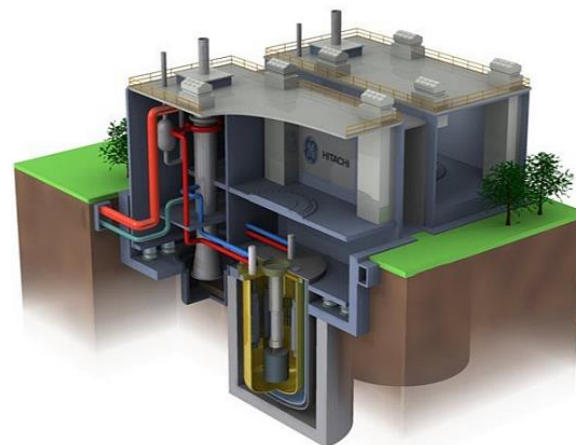
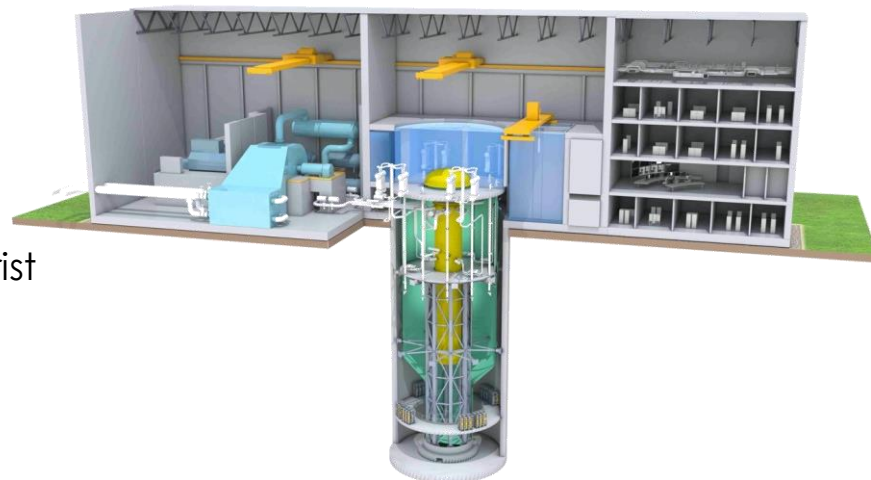
- 50-77 MWe
- 4-12 reaktorit jaamas
- Reaktoritehnoloogia NRC poolt heakskiidetud (Sept 2020)
- Nii tavakäidu- kui avariisüsteemid on passiivsed
- Jahutusvee kao õnnetus elimineeritud
- Eel-litsenseerimises Kanadas
- **Hädaolukorra planeerimistsoon**
 - 0.5 km (jaama ala suurusest)
 - Lihtsustatud/integraalne tehnoloogia
 - Väike radioaktiivsete ainete hulk (allikatunnus)
 - Mitmekihiline kiirguskaitse
 - Sõltumatud moodulid



BWRX-300 (GE-Hitachi)

10. põlvkonna keevaveereaktor

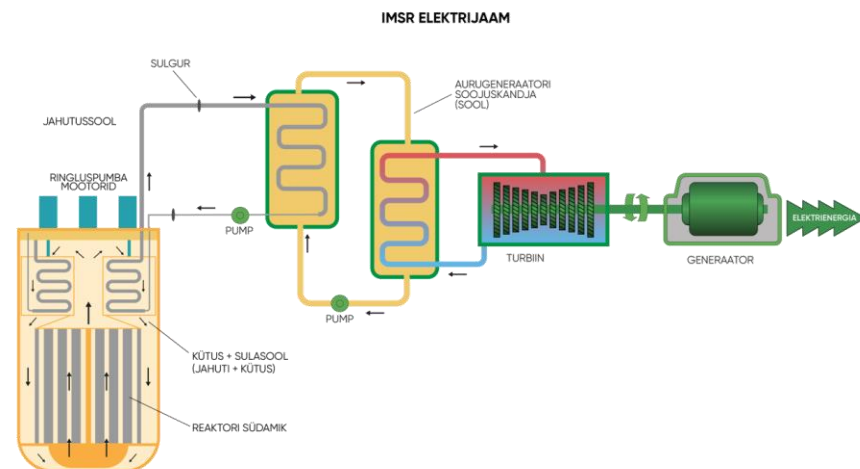
- 300 MWe
- väiksem versioon sertifitseeritud ESBWR reaktorist
- Teemaatiline litsentsimine käimas USAs, eel-litsentsimine Kanadas
- Passiivne ohutus
 - Piisavalt jahutus vett 7 päeva jaoks
 - Kõrgeima taseme avariisüsteemid on passiivsed
- Allikatunnus hinnatakse tehnoloogiapõhiselt (vähem konservatiivne lähenemine)
- **Hädaolukorra planeerimistsoon**
 - Sarnane TVA väikereaktori projektis leituga, ehk
 - Jaama ala või kuni paar km



IMSR (Terrestrial Energy)

Integraalne sulasoolareaktor (195 MWe)

- 195 MWe
- 7-aastane käidutsükkel
- Eel-litsentsimises USAs ja Kanadas
- Ohutuskaasus (safety case) põhineb sulasoolkütus/-jahuti lahendusel
 - Head soojuskandja omadused
 - Head kiirguskaitse omadused
- Radioaktiivsed ained on keemiliselt seotud sulasoolas.
Lenduvaid vääriskaase filtreeritakse.
- **Hädaolukorra planeerimistsoon**
 - Eesmärk: jaama ala
 - Esimesed konservatiivsed analüüsid indikeerivad, et halvima õnnetuse korral jääb kiirgusdoos oluliselt alla piirmäära juba 200 m kagusel



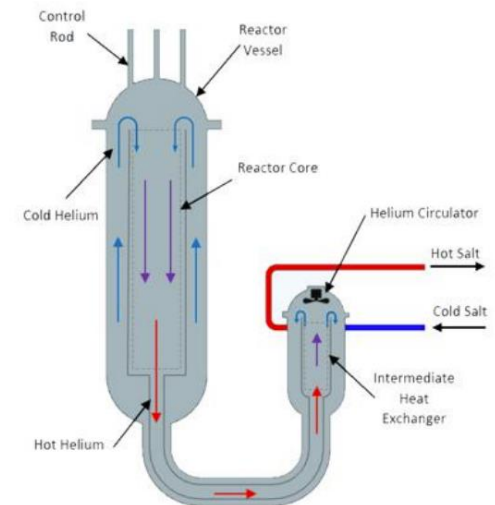
MMR (USNC)

IV põlvkonna kõrgtemperatuurne He-jahutusega reaktor

- 5 või 10 MWe
 - 20 või 10 aastane kütusevälp
- Eellitsenseerimine ja asukoha eeluuringud Kanadas, koostöö OPG-ga
 - Ohutuskasus tugineb väiksel võimsusel, madalal võimsustihedusel ja vastupidaval TRISO kütusel
- **Hädaolukorra planeerimistsoon:**
 - Esialgne hinnang: 30 m reaktorihoonest või 50 meetrit reaktorist
 - Jaamavälist evakueerimist ega varjestamist ei ole tarvis
 - Detailne ohutusanalüüs teostamisel



Helium Cycle



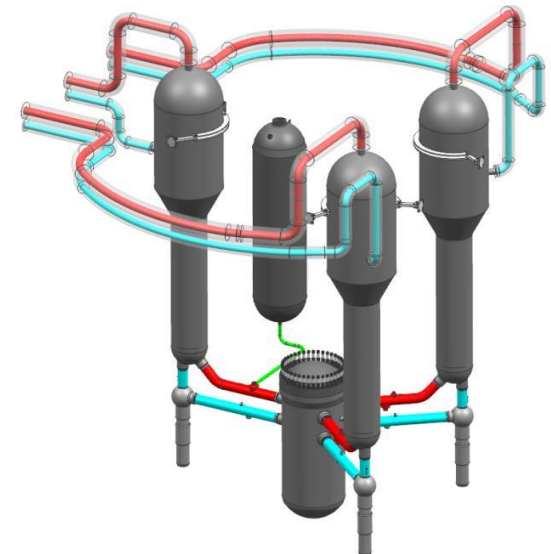
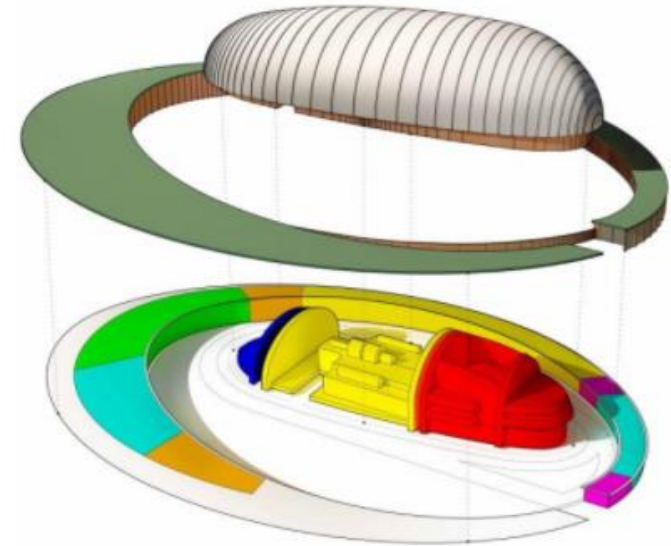
UK VMR

Surveveereaktor

- 400-470 Mwe
- Pikk tehnoloogiakogemus
- Konseptuaalse projekti faasis
- Litsentseerimine UK regulaatoriga hakkab 2021
- Modulaarne ehitus
- Aktiivsed süsteemid käitamiseks, passiivsed avariisüsteemid
- Esialgne allikatunnus on hinnantud Rolls Royce reaktorite käidukogemusest (vastavalt skaleeritud)

Hädaolukorra planeerimistsoon

- Suurus arvutatakse täpse allikatunnuse ja üldiste asukohaparametrite põhjal
- Lõplikult määratakse loataotlemise käigus



Tennessee Valley Authority (TVA) asukoha eel-litsents

4 vesijahutusega VMR tehnoloogia põhjal

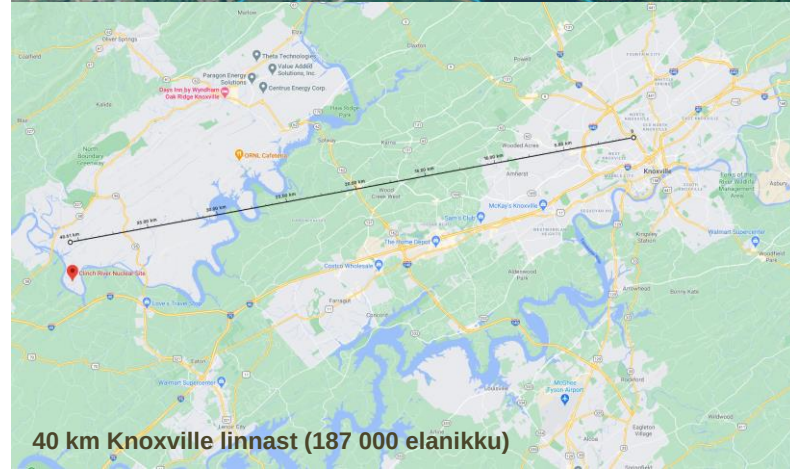
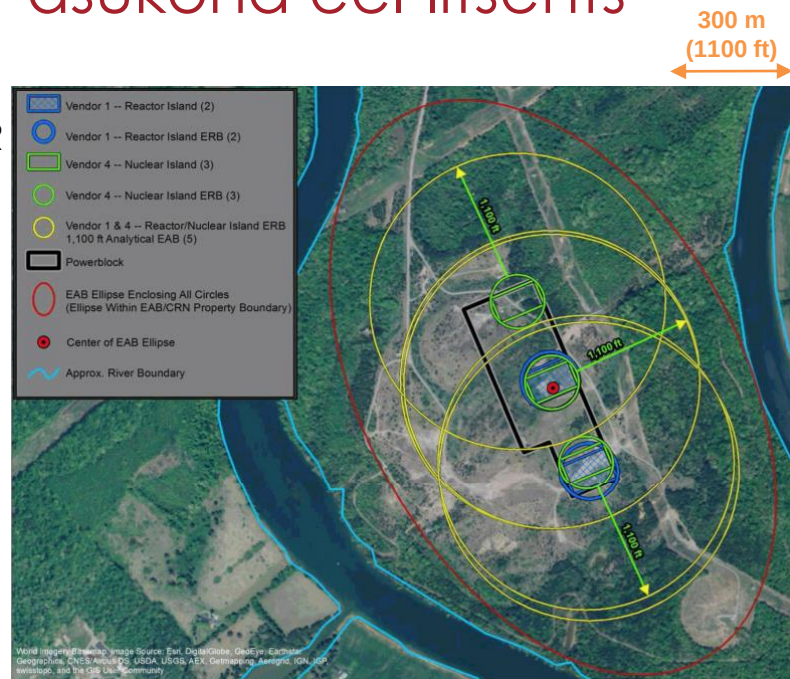
- mPower, NuScale, SMR-160, Westinghouse SMR
- Eeldused:
 - Maksimaalne reaktori võimsus 800 MWth
 - Maksimaalne jaama võimsus 2420 MWth
 - Passiivne ohutus
 - Ei vaja jaamavälisest elektrit, vett või muud sekkumist ohutuse tagamiseks

- Surrogaat-allikatunnus
 - Maksimaalne 4 päeva kumulatiivne heide isotoobi kohta lisaks 25+% ohutusmarginaal

- Taotleti erandit ettekirjutatud 10-miili hädaolukorraplaneerimistsoonist

- **Kaks hädaolukorra planeerimistsooni kinnitatud (kus kiirgusdoos alla 10 mSv)**

- Jaama ala (1 VMR vastab kriteeriumitele)
- 2-miili raadius (kõik 4 VMRi)
- Jaamaväliseid kiirgushädaolukorra plaane ei ole tarvis (tuleb näidata ka ehitusloa taotlemisel)
- 1.6 km madala asustustihedusega tsoon (149 inimest)



300 m
(1100 ft)

40 km Knoxville linnast (187 000 elanikku)

Kokkuvõte

- Tänapäevased regulatsioonid ei arvesta piisavalt uute tehnoloogiate omadustega, eriti USAs
 - Optimaalsed suurte jaamade jaoks
- Ülemaailmne trend: tehnoloogiaspetsiifiline, riskianalüüsil põhinev, skaleeritav litsenseerimine, sh planeerimistsoonide määramine
 - Võimalus standardiseerida VM Ride jaoks tulevikus
- Teadaolevatel (eelkõige tehnoloogia) andmetel on jaama alaga piirnev või tänasest oluliselt väiksem hädaolukorra planeerimistsoon realistlik
 - Lõplikud vastused kui esimesed jaamade konkreetsetes asukohtades rakenduvad