

Ohutus

FERMIONI SUVEKOOL 2023

Kaspar Kööp **09.08.2023** Kiviõli



Minust



TTÜ – Elektriajamid ja jõuelektronika



AAU – Sustainable Energy Planning and Management



KTH – Nuclear Energy Engineering

- MSc @ Nuclear Power Safety division
- PhD @ Nuclear Power Safety & Reactor Physics divisions



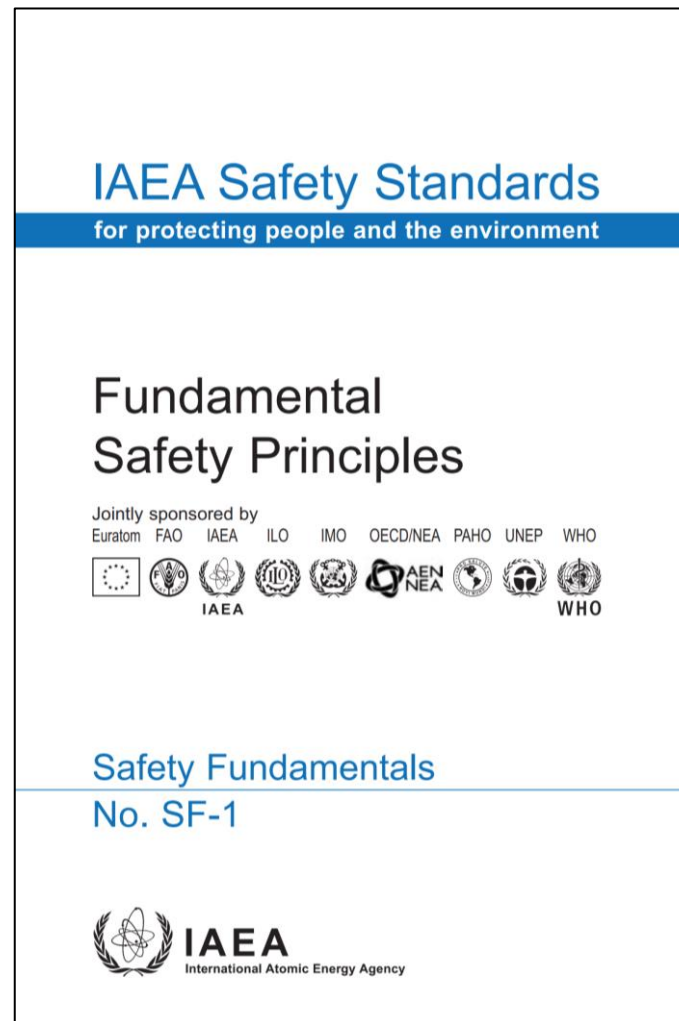
Definitsioonid

- Safety = Ohutus
- Security = Turvalisus (Julgeolek)
- Safeguards = Tuumamaterjali leviku tõkestamiseks tehtavad tegevused ja lepped



Ohutuse eesmärk

- Ohutuse põhieesmärk on kaitsta inimesi ja keskkonda ioniseeriva kiirguse kahjulike mõjude eest
- Tagamaks kõrgeima võimaliku ohutusstandardi saavutamist rajatiste käidul tuleb:
 - kontrollida inimeste kokkupuudet kiirgusega ja radioaktiivsete materjalide keskkonda sattumist;
 - piirata sündmuste tõenäosust, mis võivad viia kontrolli kaotamiseni tuumareaktori südamikku, tuuma ahelreaktsiooni, radioaktiivse allika või mõne muu kiirgusallika üle;
 - rakendada meetmeid selliste sündmuste tagajärgede leevendamiseks, kui need aset leiavad.



Ohutuspõhimõtted (IAEA SF-1)

Peamine vastutus ohutuse eest peab lasuma isikul või organisatsioonil, kes vastutab kiirgusriski põhjustavate rajatiste ja tegevuste eest

Tuleb luua jätkusuutlik tõhus ohutuse õiguslik ja riiklik raamistik, sealhulgas sõltumatu regulaator

Organisatsioonides, rajatistes ja tegevustes, mis on seotud kiirgusriskidega, tuleb luua ja säilitada tõhus ohutusjuhtimine

Rajatised ja tegevused, mis põhjustavad kiirgusriske, peavad andma üldist kasu

Kaitse peab olema optimeeritud, et tagada kõrgeim mõistlikult saavutatav ohutustase

Kiirgusriskide ohjamise meetmed peavad tagama, et ükski inimene ei kannaks vastuvõetamatut kahju ohtu

Inimesi ja keskkonda, nii praegu kui ka tulevikus, tuleb kaitsta kiirgusriskide eest

Tuuma- või kiirgusõnnetuste ennetamiseks ja leevendamiseks tuleb teha kõik praktilised jõupingutused

Tuleb korraldada hädaolukordadeks valmisolek ja tuuma- või kiirgusintsiidentideks reageerimine

Kaitsemeetmed olemasolevate või reguleerimata kiirgusriskide vähendamiseks peavad olema põhjendatud ja optimeeritud



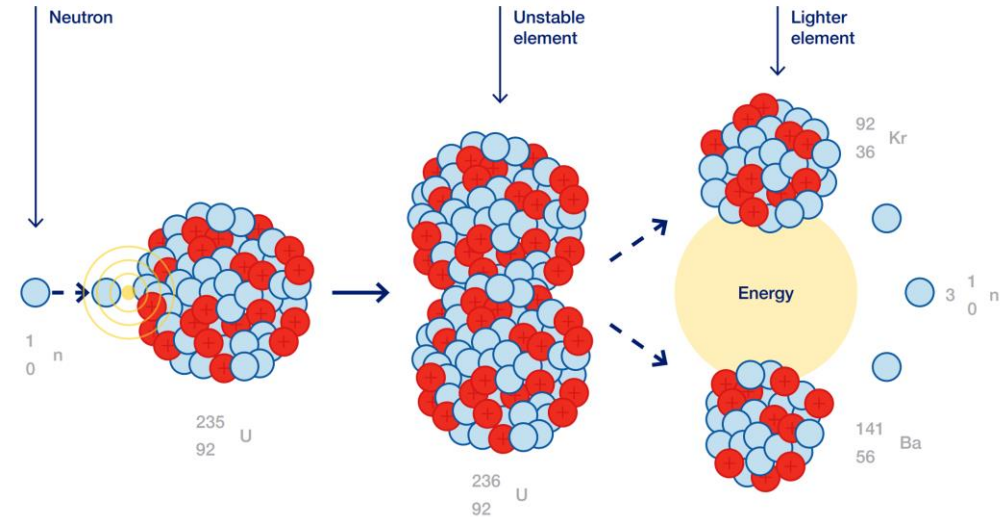
Ohutus tuumareaktoris



- **Et kaitsta inimesi ja keskkonda ioniseeriva kiirguse kahjulike mõjude eest** tuleb **vältida radioaktiivse materjali eraldumist** kütusest ja primaarahelast.
- Tuumareaktori ohutuse tagamise põhistrateegia on igas olukorras tagada:
 1. **ahelreaktsiooni peatamise võimekus, ja**
 2. **kütuse piisav jahutamine.**



Lõhustumisprotsess



- Põhiline osa reaktoris toodetud kasumlikust energiast tuleb lõhustumisprotsessis tekkinud **laguproduktide kineetilisest energiast**.
 - Laguproduktid “pidurduvad” kütuses ja nende kineetiline energia muundub soojusenergiaks.
- Uraani lõhustumisel tekkinud kiired neutronid aeglustuvad moderaatoris (näiteks vees).
- Kriitiline tasakaal saavutatakse kui reaktoris “toodetakse” sama palju neutroneid kui reaktori kütuses neeldub või reaktorist välja lekib.



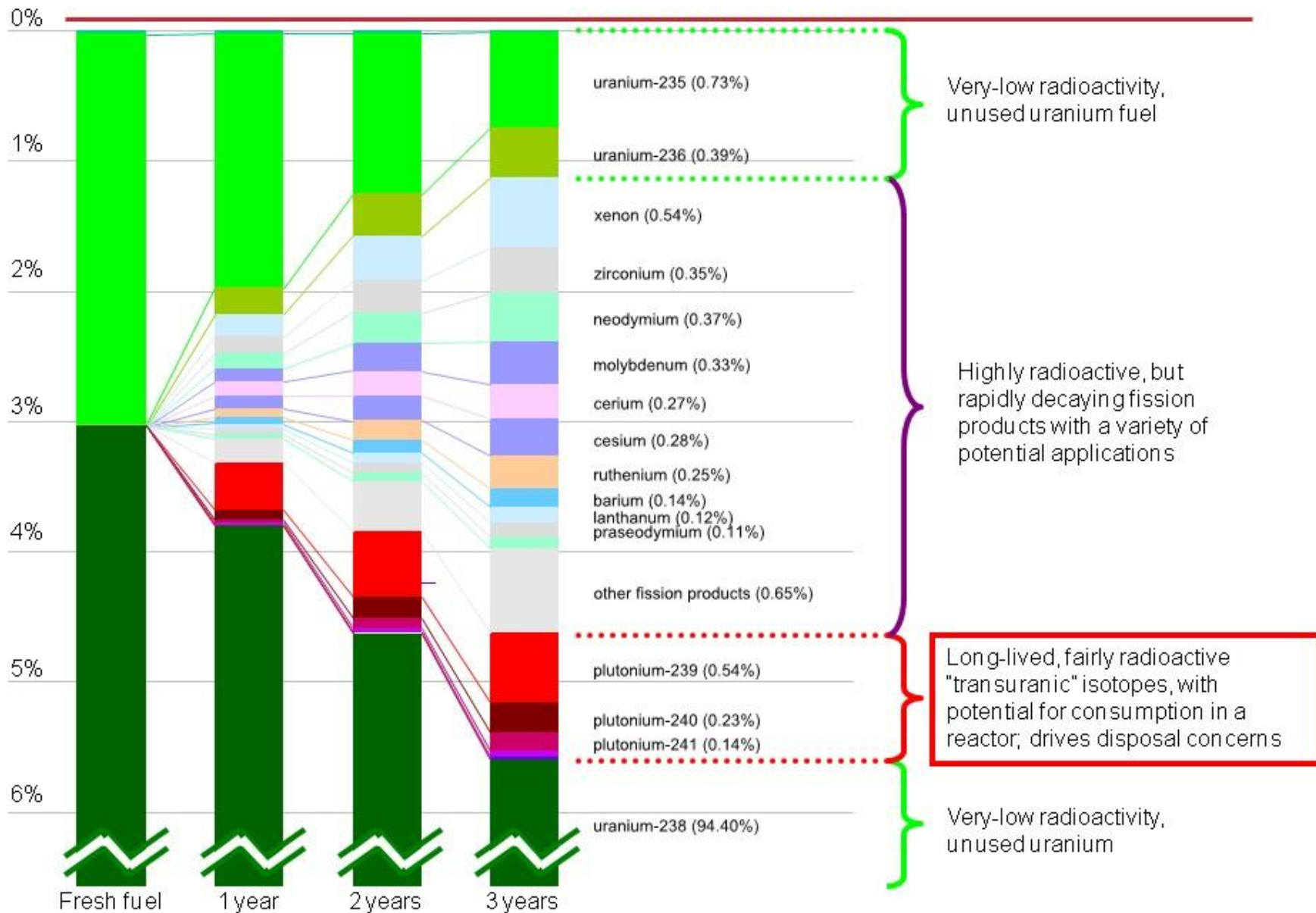
Kütus reaktoris

- Kergveereaktorite kütuseks on UO_2 . Silindrilisteks pelletiteks pressitud kõrge sulamistemperatuuriga (2800 C) keraamiline materjal tsirkooniumsulamist varrastes.
- Kütuse ja varda vahel on ~0.2 mm pilu. Kütuse vardad täidetakse survestatud inertse gaasiga (heeliumiga).
- Reaktori käidu ajal kütus paisub vardas; samal ajal muutub nii kütuse kui ka kütuse vardas olev survestatud gaas.
- Tahked radioaktiivsed lõhustumissaadused jäävad kütusesse ja ei pääse primaarahelasse eeldused, et kütuse vardad on terved.



Composition of Conventional Nuclear Fuel

(17x17 Westinghouse, 3% enr., 1100 day irradi, 33000 MWD/MTU, discharge composition, Origen Arp analysis)



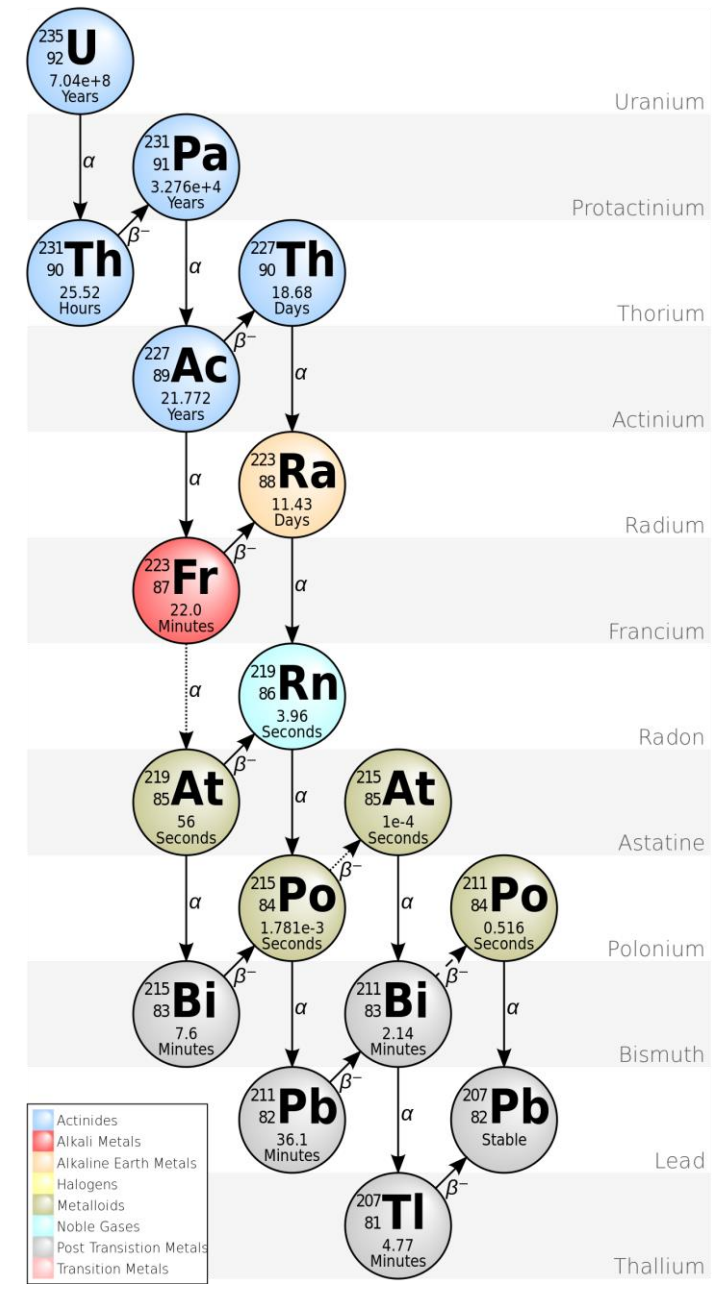
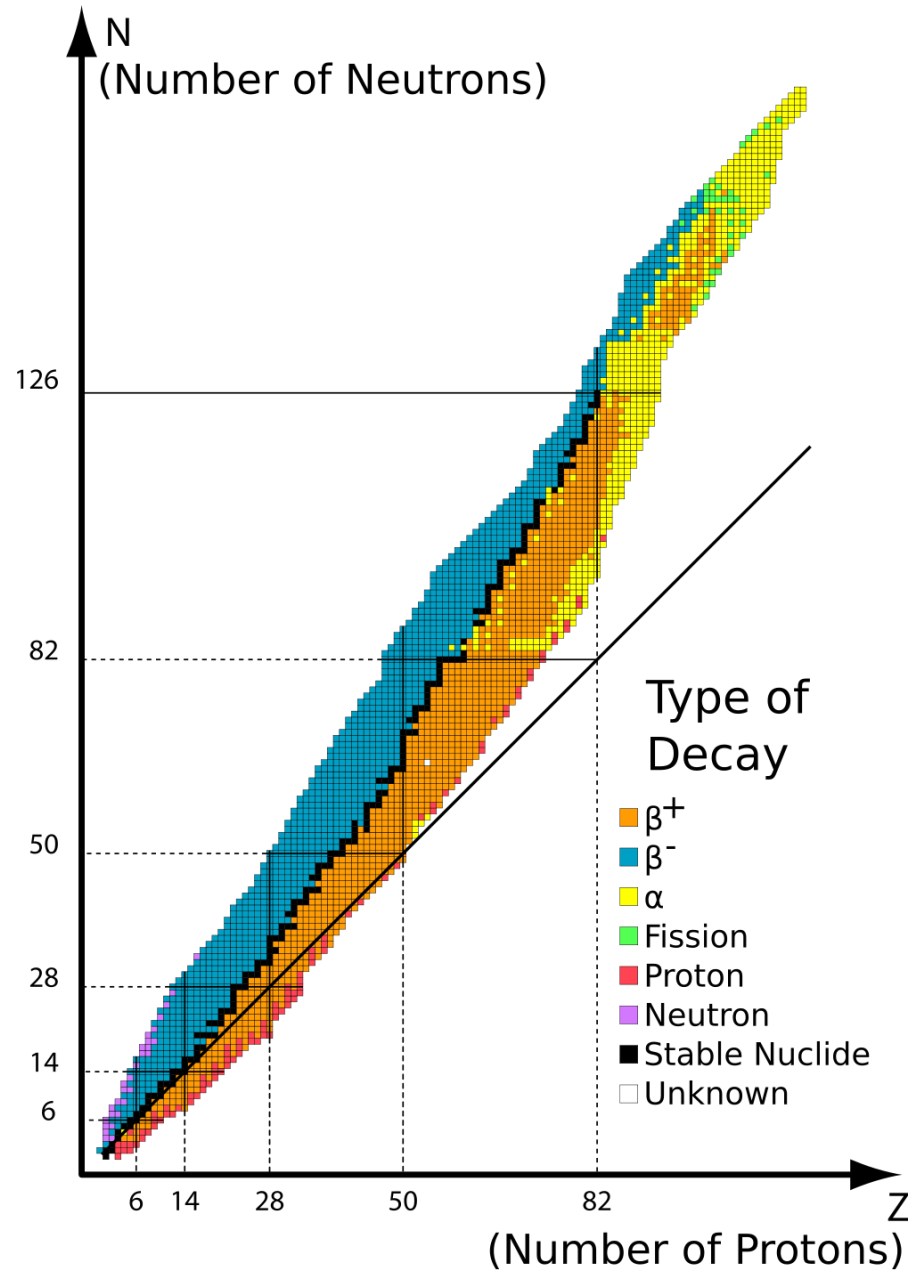
1 H																	2 He	
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	
55 Cs	56 Ba	*	71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	**	103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og

* Lantanoidid	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
** Aktinoidid	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

Perioodilisustabeli elementide grupid

Leelismetallid	Leelismuldmetallid	Lantanoidid	Aktinoidid	Metallid	Poolmetallid	Mittemetallid	Väärisgaasid
----------------	--------------------	-------------	------------	----------	--------------	---------------	--------------





Ioniseeriv kiirgus

Kiirgus, mis suudab ainet ioniseerida:

- Rasked laetud osakesed

α

- Elektronid-positronid

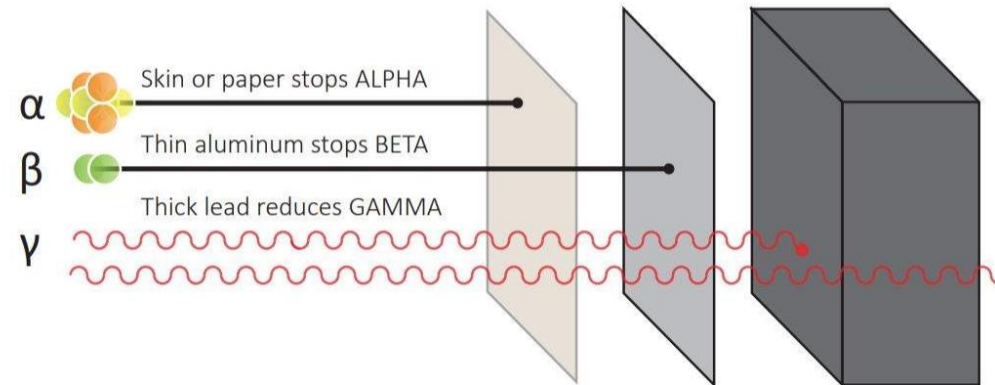
β^- / β^+

- Footonid

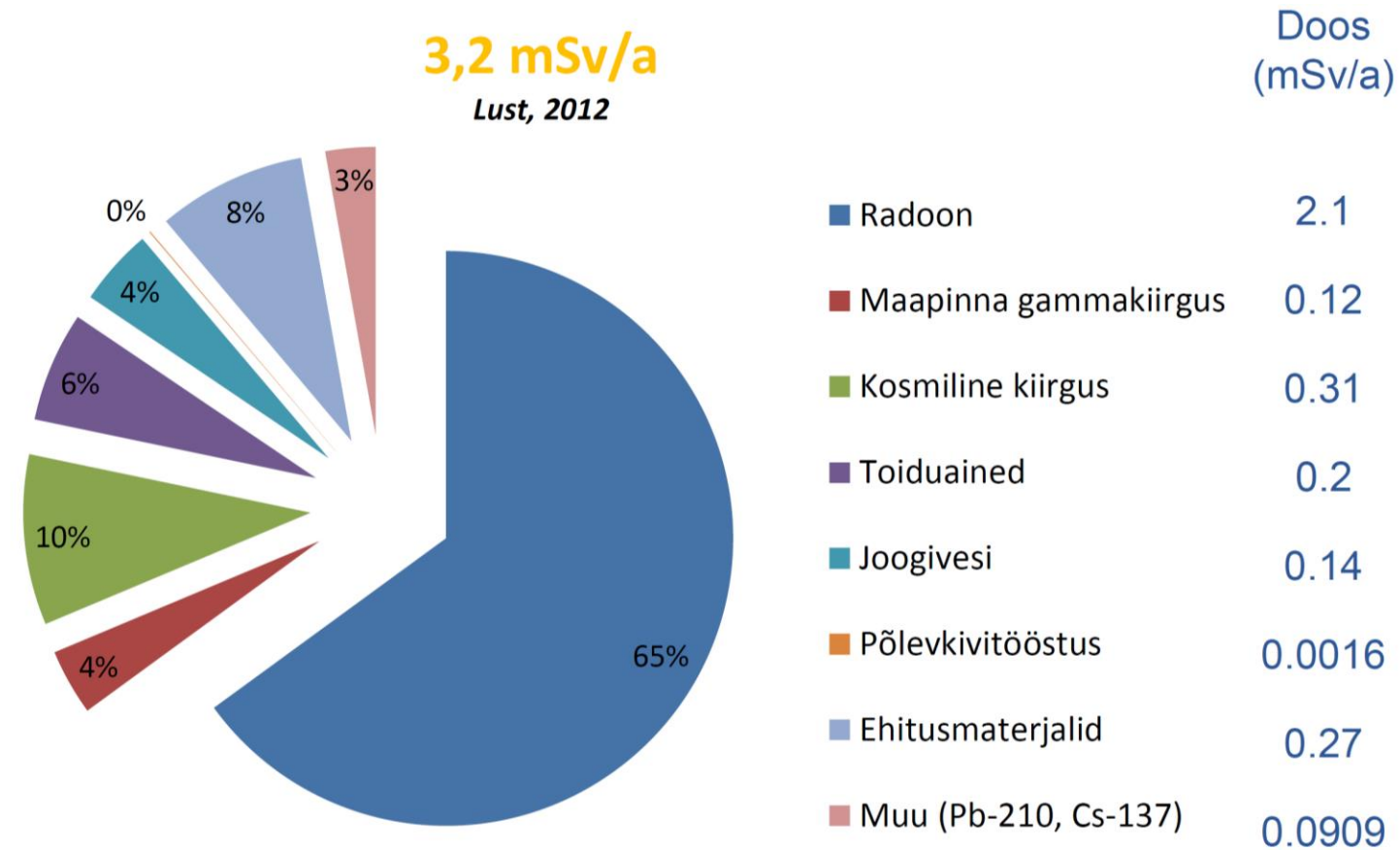
γ , röntgen (elektromagnetkiirgus energiaga > 100 eV)

- Elementaarosakesed

n



Keskmine aastane efektiivdoos Eestis



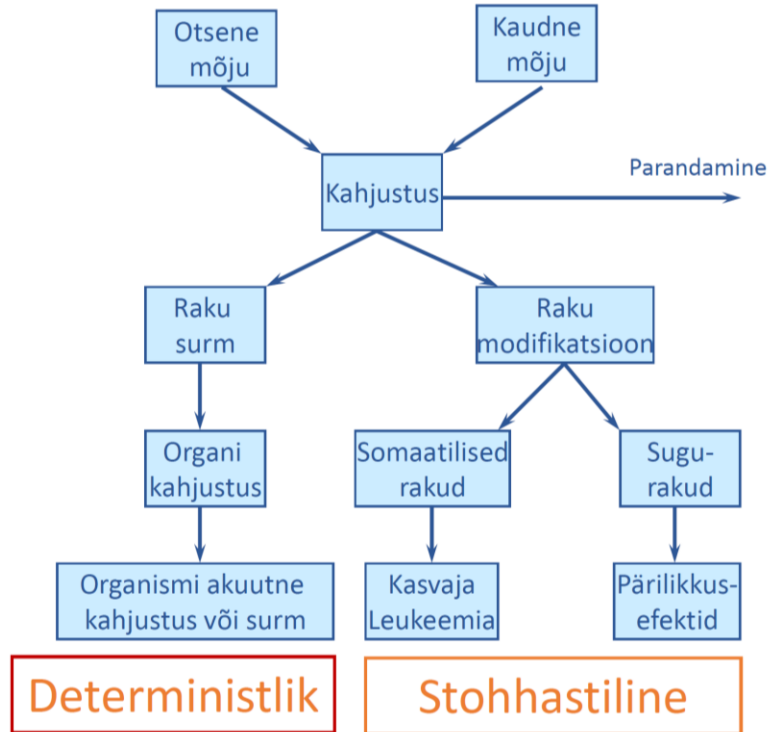
NB! Jooniselt puudub meditsiiniikiirgus!



Ioniseeriva kiirguse mõju organismile

Akuutsed efektid

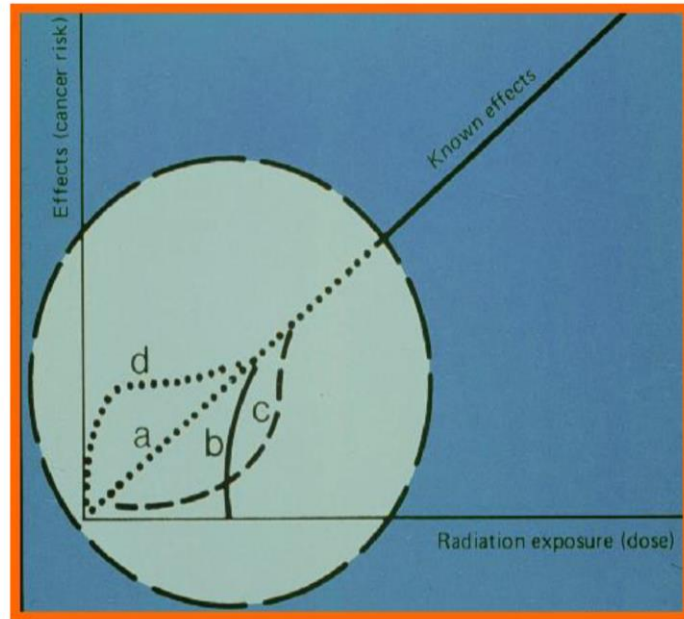
- Akuutne kiiritustõbi
 - ☐ iiveldus ja oksendamine
 - ☐ nõrkus ja väsimus
 - ☐ kehatemperatuuri tõus
 - ☐ muutused veres (leukotsüüdid, trombotsüüdid jm)
- Naha punetus, pigmentatsioon, põletus, nekroos
- Ajutine või alaline steriilsus
- Silmade kahjustused (konjunktiviit jm)
- Köhulahtisus
- Epilatsioon
- Verejooks



Viivisefektid

- Vähhkasvajate teke
 - Leukeemia
 - Muud vähhkasvajad
- Geneetilised defektid
- Sünnidefektid

Mis juhtub väikeste dooside korral?

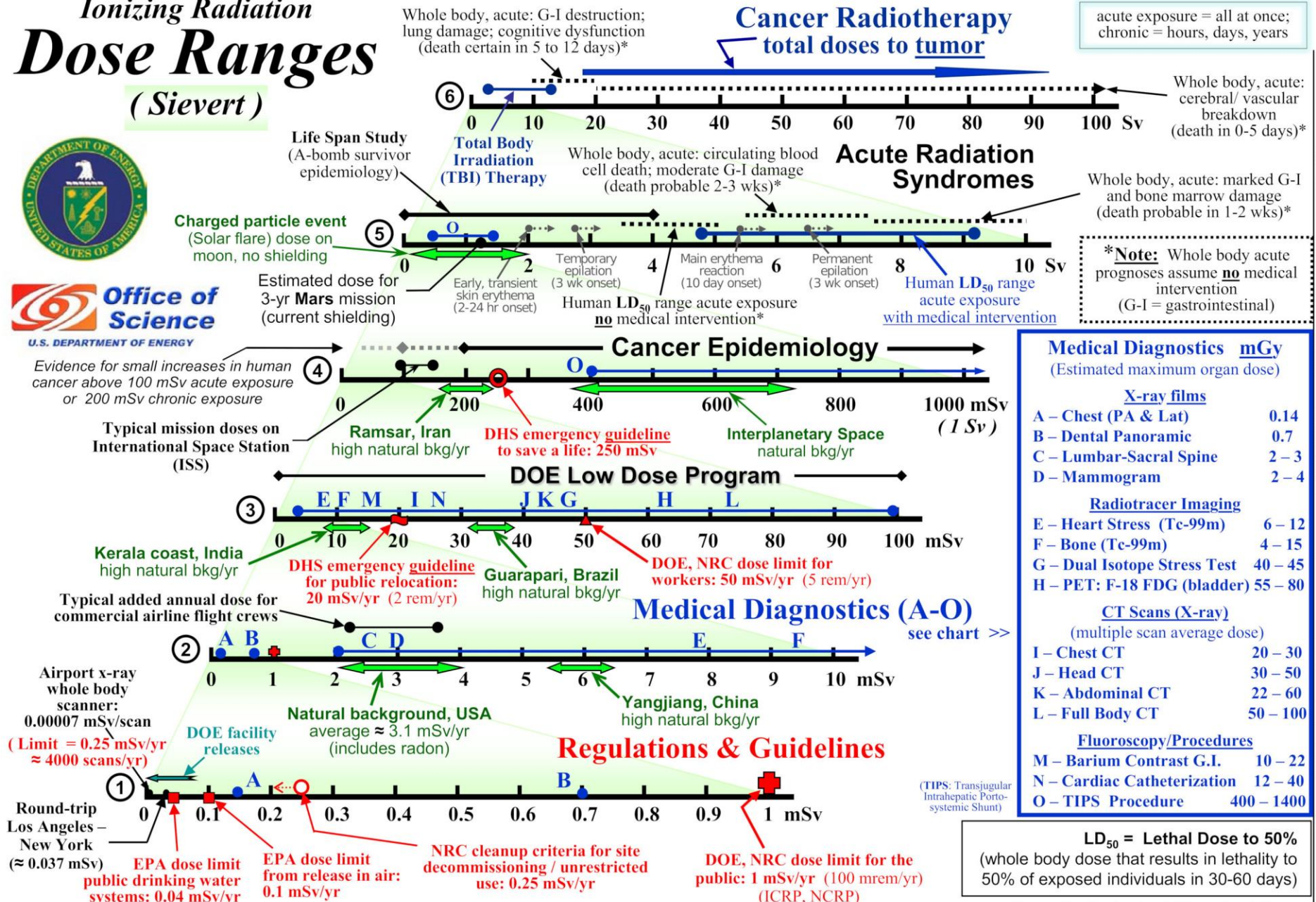


Võimalikud hüpoteesid

- a) Lineaarne
- b) Läviväärtus
- c) Väiksem doos = väiksem risk doosiühiku kohta
- d) Väiksem doos = suurem risk doosiühiku kohta

Tänapäeval eeldatakse **lineaarset läviväärtuseta** seost doosi ja stohhastiliste efektide esinemise riski vahel – **linear no-threshold (LNT) model**.

Ionizing Radiation Dose Ranges (Sievert)



acute exposure = all at once;
chronic = hours, days, years

Whole body, acute: cerebral/vascular breakdown (death in 0-5 days)*

Whole body, acute: marked G-I and bone marrow damage (death probable in 1-2 wks)*

***Note:** Whole body acute prognoses assume **no** medical intervention (G-I = gastrointestinal)

Medical Diagnostics <u>mGy</u> (Estimated maximum organ dose)	
<u>X-ray films</u>	
A - Chest (PA & Lat)	0.14
B - Dental Panoramic	0.7
C - Lumbar-Sacral Spine	2 - 3
D - Mammogram	2 - 4
<u>Radiotracer Imaging</u>	
E - Heart Stress (Tc-99m)	6 - 12
F - Bone (Tc-99m)	4 - 15
G - Dual Isotope Stress Test	40 - 45
H - PET: F-18 FDG (bladder)	55 - 80
<u>CT Scans (X-ray)</u> (multiple scan average dose)	
I - Chest CT	20 - 30
J - Head CT	30 - 50
K - Abdominal CT	22 - 60
L - Full Body CT	50 - 100
<u>Fluoroscopy/Procedures</u>	
M - Barium Contrast G.I.	10 - 22
N - Cardiac Catheterization	12 - 40
O - TIPS Procedure	400 - 1400

LD₅₀ = Lethal Dose to 50%
(whole body dose that results in lethality to 50% of exposed individuals in 30-60 days)

Dose Equivalent: 1 Sievert = 100 rem
= (absorbed dose x radiation quality)
Absorbed Dose: 1 Gray = 100 rad
1 Sv ≈ 1 Gy for x- and gamma-rays
("≈" stands for "approximately equal to")

NOTE: This chart was constructed with the intention of providing a simple, user-friendly, "order-of-magnitude" reference for radiation exposures of interest to scientists, managers, and the general public. In that spirit, most quantities are expressed as "dose equivalent" in the more commonly used radiation protection units, the rem and Sievert. Medical diagnostics are expressed as estimated maximum organ dose; as they are not in "effective dose" they do not imply an estimation of risk (no tissue weighting). Dose limits are in effective dose, but for most radiation types and energies the difference is numerically not significant within this context. It is acknowledged that the decision to use these units is a simplification, and does not address everyone's needs. (NRC = Nuclear Regulatory Commission; EPA = Environmental Protection Agency; DHS = Department of Homeland Security)
Disclaimer: Neither the United States Government nor any agency thereof, nor any of their employees, makes any warranty, express or implied, or assumes any legal liability or responsibility for the accuracy, completeness, or usefulness of any information disclosed.

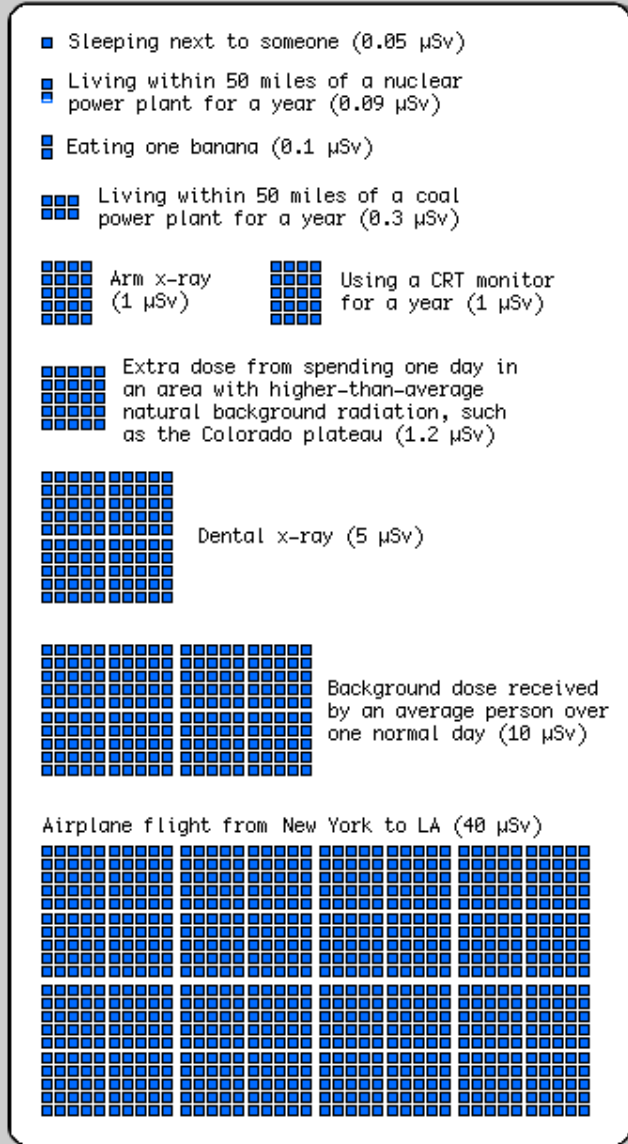
Chart compiled by NF Metting, Office of Science, DOE/BER. "Orders of Magnitude" revised June 2010
<http://www.lowdose.energy.gov/>

Source: Office of Biological and Environmental Research (BER), Office of Science, U.S. Department of Energy
<http://www.science.doe.gov/ober>

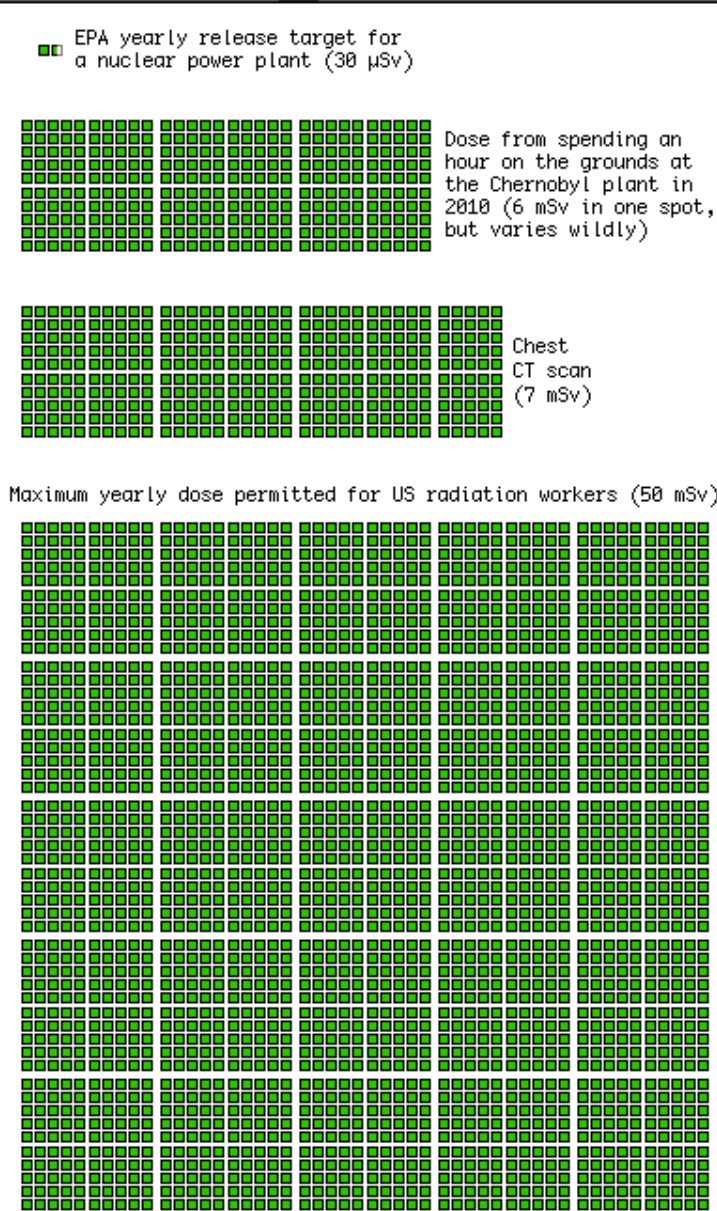
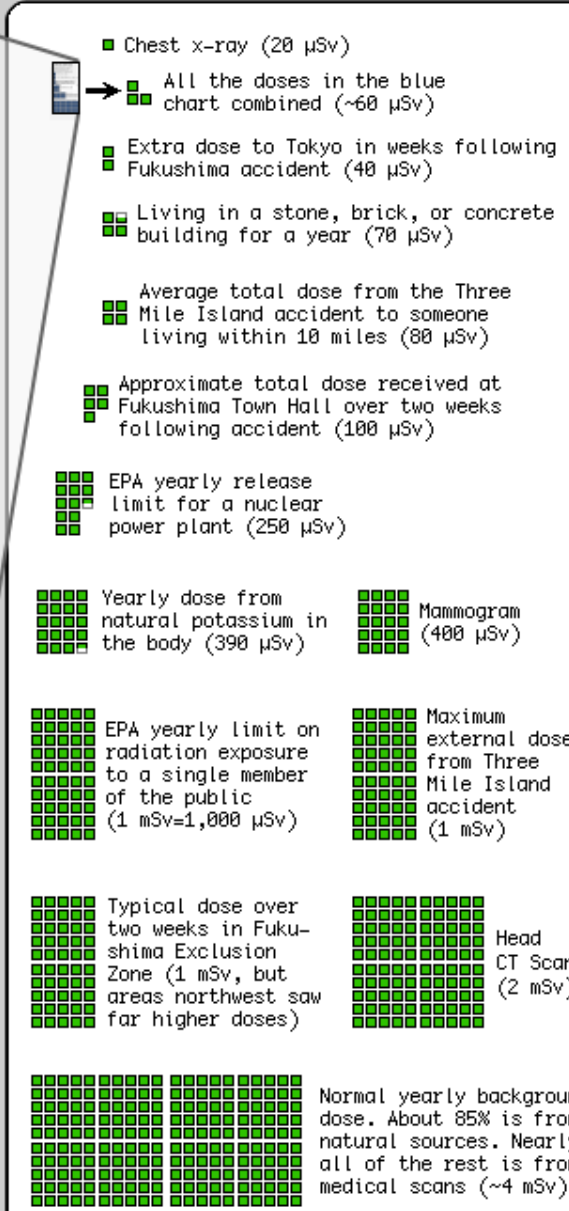


Radiation Dose Chart

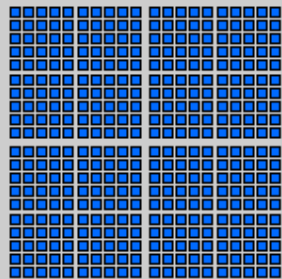
This is a chart of the ionizing radiation dose a person can absorb from various sources. The unit for absorbed dose is "sievert" (Sv), and measures the effect a dose of radiation will have on the cells of the body. One sievert (all at once) will make you sick, and too many more will kill you, but we safely absorb small amounts of natural radiation daily. Note: The same number of sieverts absorbed in a shorter time will generally cause more damage, but your cumulative long-term dose plays a big role in things like cancer risk.



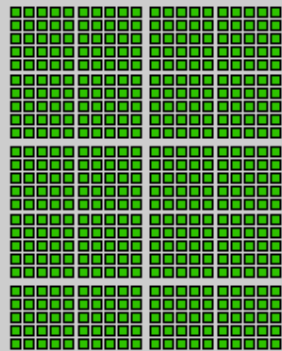
Using a cell phone (0 μ Sv)—a cell phone's transmitter does not produce ionizing radiation* and does not cause cancer.
 * Unless it's a bananaphone.



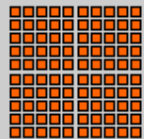
■ = (0.05 μSv)



■ = (20 μSv)



■ = (10 mSv)



■ = (1 Sv)

Ten minutes next to the Chernobyl reactor core after explosion and meltdown (50 Sv)



Sources:

- <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/cfr/part020/>
- www.nema.ne.gov/technological/dose-limits.html
- http://www.deq.idaho.gov/inl_oversight/radiation/dose_calculator.cfm
- http://www.deq.idaho.gov/inl_oversight/radiation/radiation_guide.cfm
- <http://mitnse.com/>
- http://www.bnl.gov/bnlweb/PDF/03SER/Chapter_8.pdf
- http://dels-old.nas.edu/dels/rpt_briefs/rerf_final.pdf
- <http://people.reed.edu/~emcmanis/radiation.html>
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Sievert>
- <http://blog.vornaskotti.com/2010/07/15/into-the-zone-chernobyl-pripyat/>
- <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fzact-sheets/tritium-radiation-fs.html>
- http://www.mext.go.jp/component/a_menu/other/detail/_icsFiles/afieldfile/2011/03/18/1303727_1716.pdf
- <http://radiology.rsna.org/content/248/1/254>

Approximate total dose at one station at the north-west edge of the Fukushima exclusion zone (40 mSv)

All doses in green chart combined (~75 mSv)

Radiation worker one-year dose limit (50 mSv)

Lowest one-year dose clearly linked to increased cancer risk (100 mSv)

Dose received by two Fukushima plant workers (~180 mSv)

Dose causing symptoms of radiation poisoning if received in a short time (400 mSv, but varies)

EPA guidelines for emergency situations, provided to ensure quick decision-making:

- Dose limit for emergency workers protecting valuable property (100 mSv)
- Dose limit for emergency workers in lifesaving operations (250 mSv)

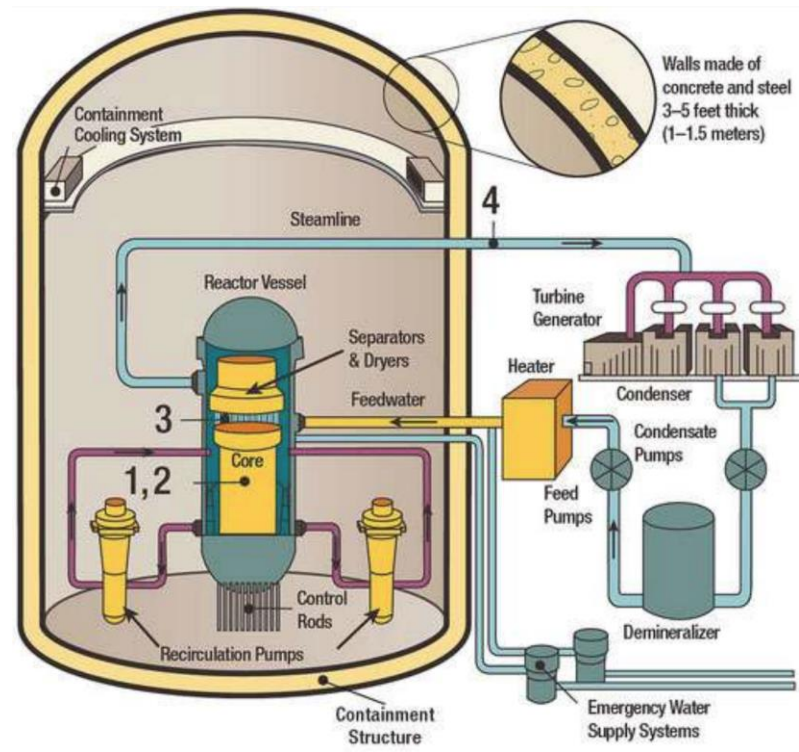
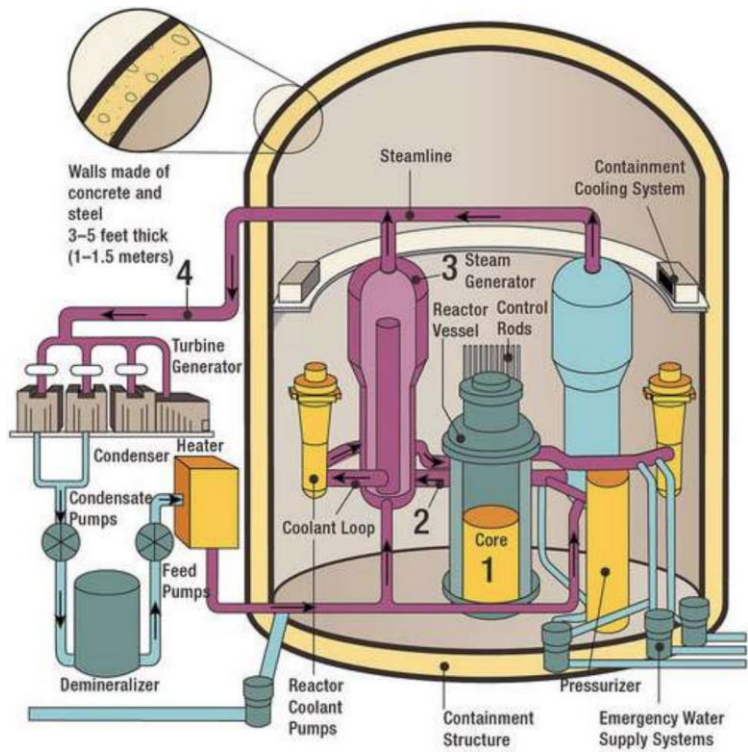
Severe radiation poisoning, in some cases fatal (2000 mSv, 2 Sv)

Usually fatal radiation poisoning. Survival occasionally possible with prompt treatment (4 Sv)

Fatal dose, even with treatment (8 Sv)

Chart by Randall Munroe, with help from Ellen, Senior Reactor Operator at the Reed Research Reactor, who suggested the idea and provided a lot of the sources. I'm sure I've added in lots of mistakes; it's for general education only. If you're basing radiation safety procedures on an internet PNG image and things go wrong, you have no one to blame but yourself.

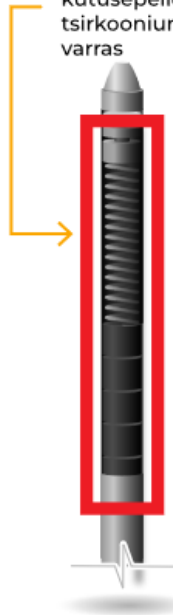




Barjäärid radionukliidide levikul

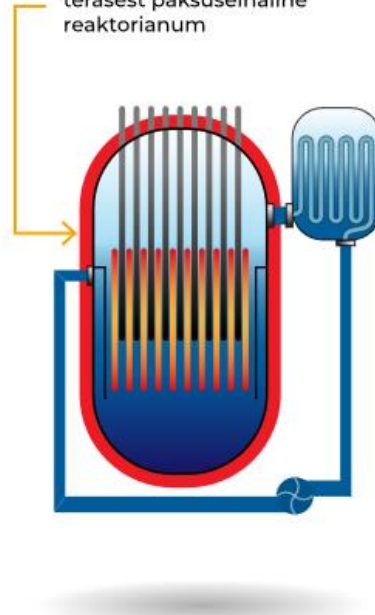
1 Barjäär

kütusepellet ja tsirkooniumisulamist varras



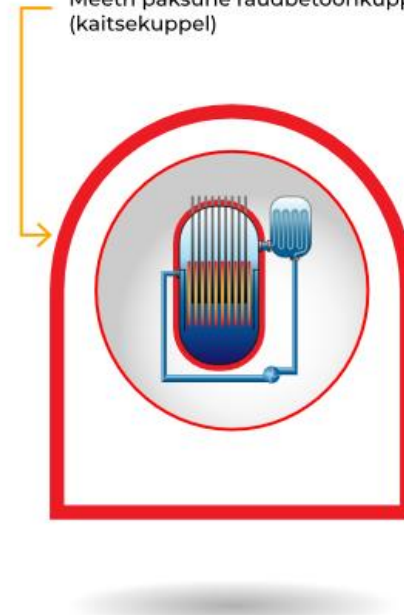
2 Barjäär

terasest paksuseinaline reaktorianum



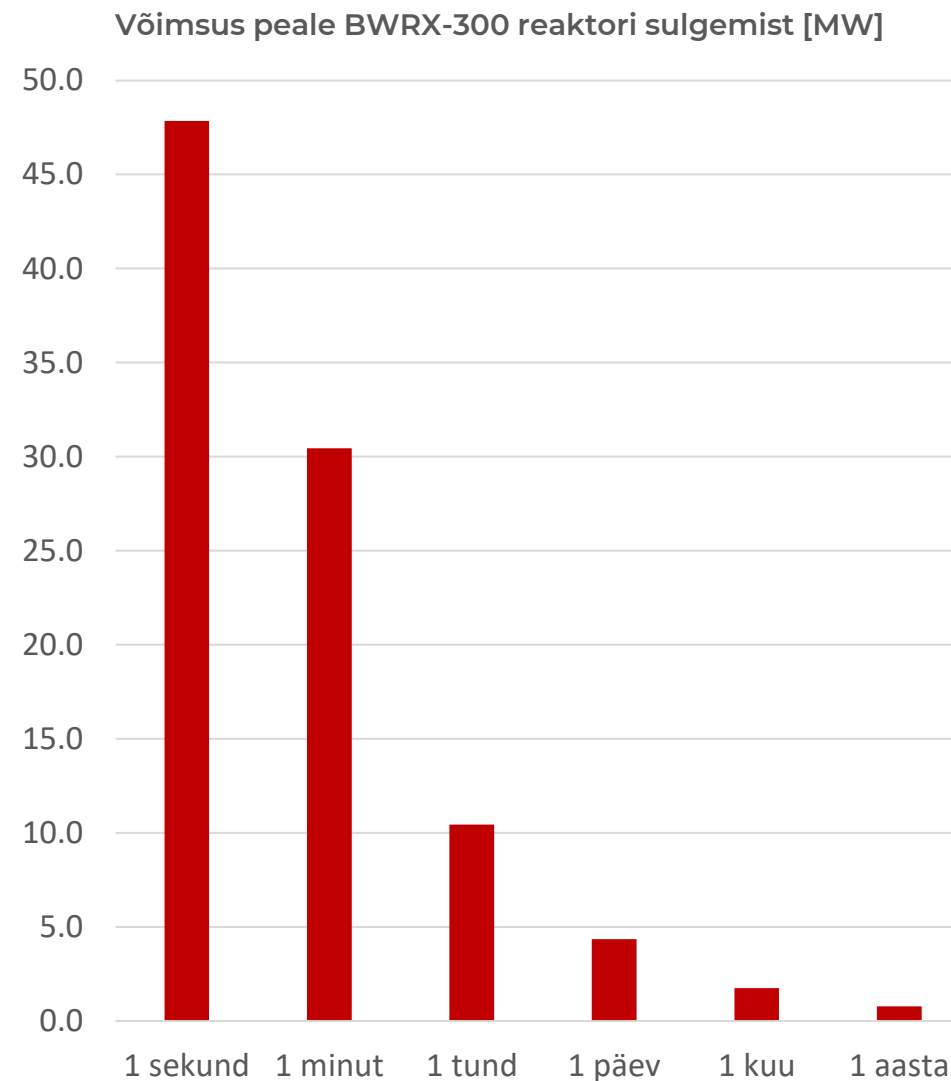
3 Barjäär

Meetri paksune raudbetoonkuppel (kaitsekuppel)



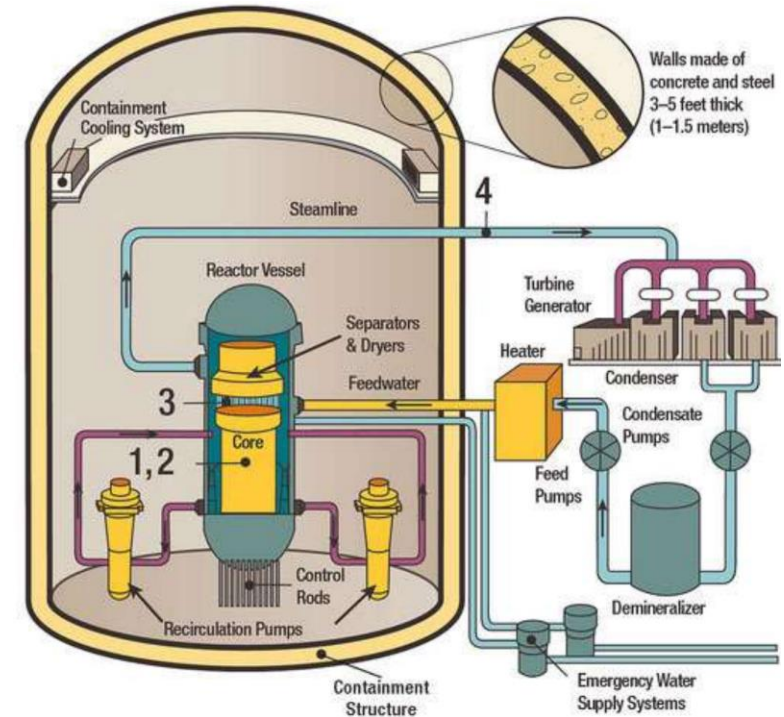
Väike aga võimas

- Üks lõhustumine = **~200 MeV**
- Et ajada 1 liiter vett toatemperatuurilt keema = **~ 10^{16} lõhustumist**
- Keskmiselt peavad neutronirikkad lõhustumisfragmendid pärast iga U-235 lõhustumist läbima kuus β - lagunemist.
 - 6 neutronit lagunevad 6 prootoniks.
 - Selle kiirguse neeldumine kütuses tekitab märkimisväärset hulgal soojust isegi siis, kui ahelreaktsioon reaktoris on peatatud.



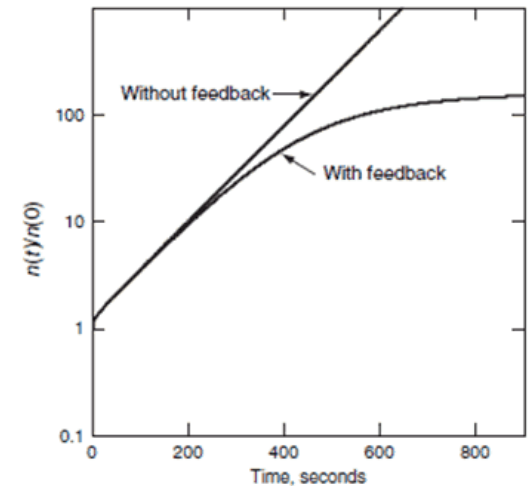
Reaktori võimsuse juhtimine

- Olenevalt tehnoloogiast saab reaktori võimsust juhtida:
 - **kontrollvarrastega,**
 - **jahutusvee taasringlus pumpadega (BWR),**
 - **jahutusvees lahustatud boori abil (PWR).**



Reaktiivsus

- Sõltub reaktori füüsilisest seisust:
 - moderaatori-jahutusmeediumi temperatuurist ja tihedusest, ja
 - kütuse kompositsioonist ja temperatuurist.
- Reaktiivsuse muutust, mis on tingitud mõne süsteemi parameetri muutusest, nimetatakse selle parameetri **reaktiivsuse koefitsiendiks**.
- Põhilised ohutuse seisukohast tähtsad reaktiivsuse koefitsiendid kergveereaktorites on:
 - kütuse temperatuuri koefitsient,
 - aeglusti temperatuuri koefitsient, ja
 - jahutusvedeliku $\cdot 1/\text{tiheduse}$ koefitsient.



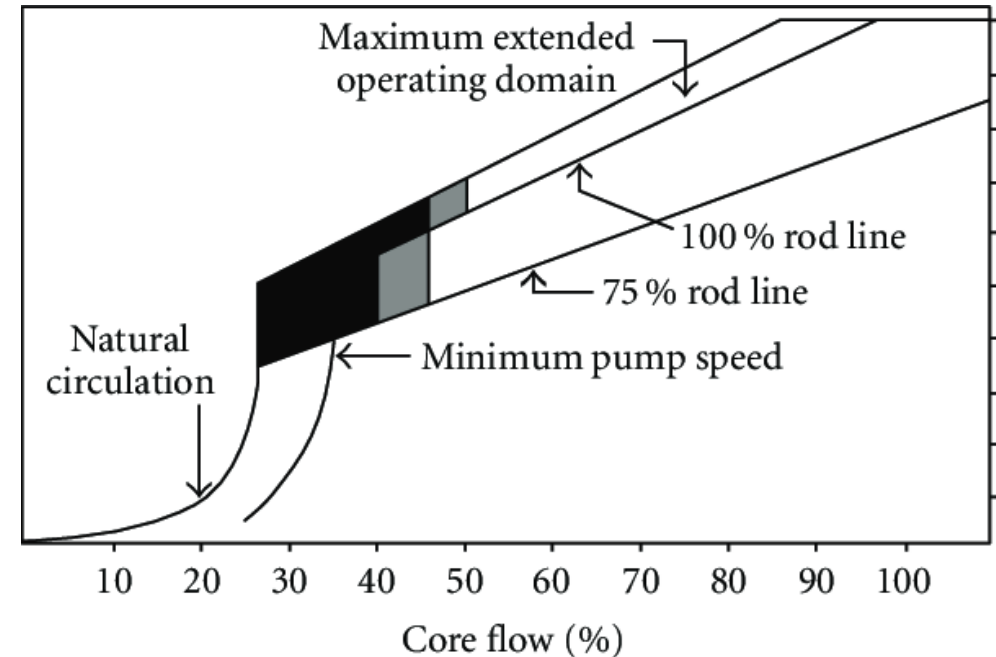
Reaktiivsuse koefitsiendid

- Põhiline **kütuse temperatuuri koefitsiendi** osa on nn **Doppleri mõju**.
 - Temperatuuri tõustes neutronite neeldumise tõenäosus U-238's suureneb ja seega on kütuse temperatuuri koefitsient kergveereaktorites alati negatiivne.
- **Aeglusti temperatuuri koefitsient** on kergveereaktorites (tavakäidu temperatuuridel) tugevalt negatiivne.
- **Jahutusvedeliku $*1/\text{tiheduse}*$ koefitsient** on peamiselt tähtis keevveereaktorites. Tiheduse langemisel (auru osakaalu tõusmisel) reaktiivsus väheneb, ehk koefitsient on negatiivne.
- Millisel kuulsal reaktoril oli jahutusvedeliku $*1/\text{tiheduse}*$ koefitsient positiivne?

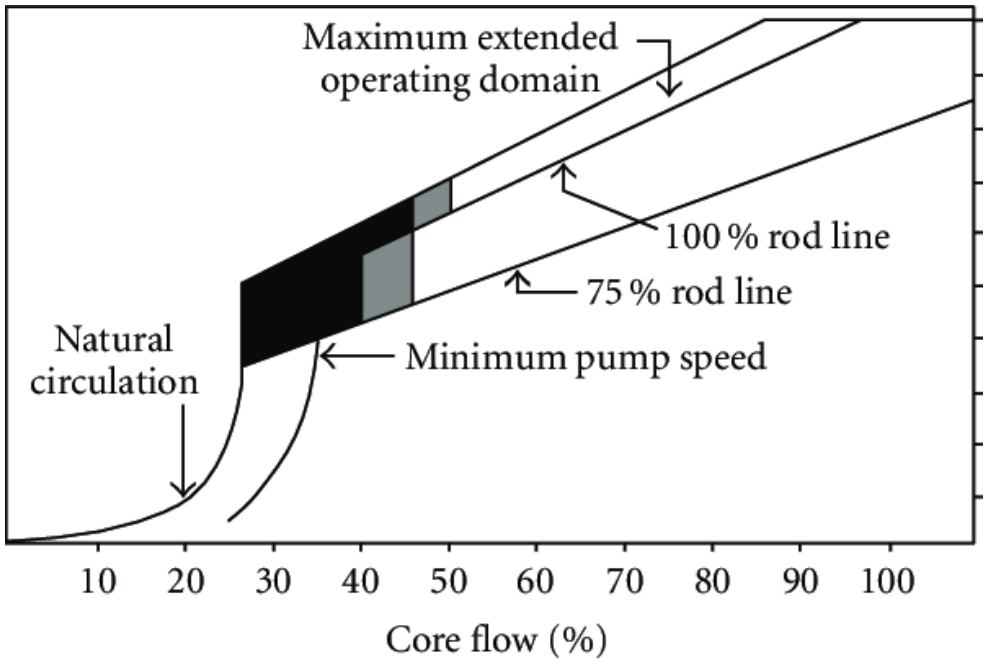
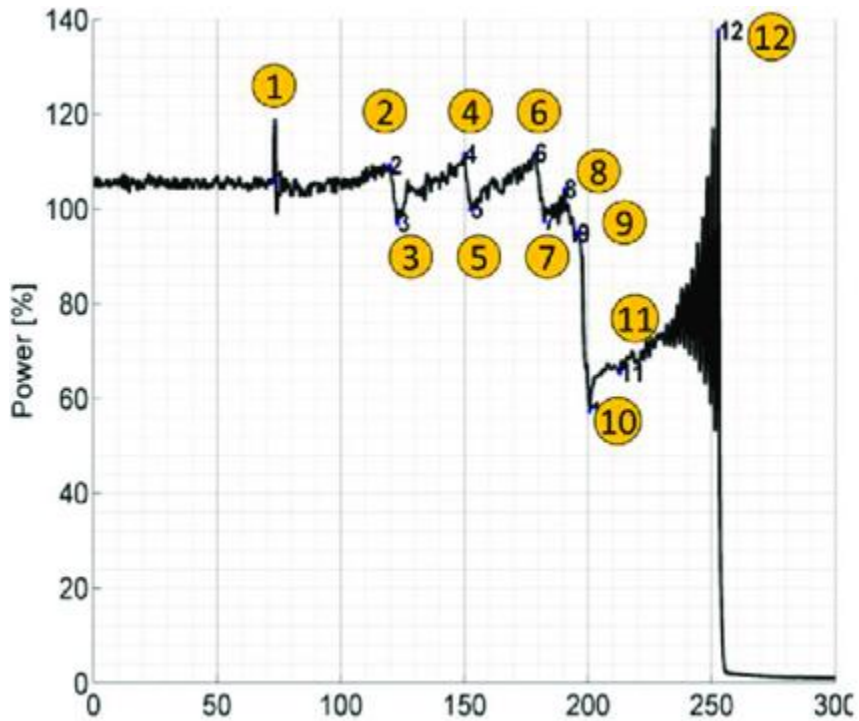


Stabiilsus

- Reaktori füüsiline olek muutub võimsuse muutumisel läbi materjali parameetrite (temperatuuride, tiheduste jne.).
- Muutus võimsuses põhjustab muutuse reaktiivsuses mis põhjustab muutuse võimsuses...
 - Kutsutakse **reaktiivsuse tagasisideks**.
 - Kui see on positiivne, on reaktor ebastabiilne.
 - Stabiilseks käiduks on vajalik negatiivne tagasiside.
- Tagasiside saab olla passiivne (materjali parameetrid) või konstrueeritud (kontrollsüsteemid).
- Olemuslikult ebastabiilse reaktori saab muuta stabiilseks läbi kontrollsüsteemide.

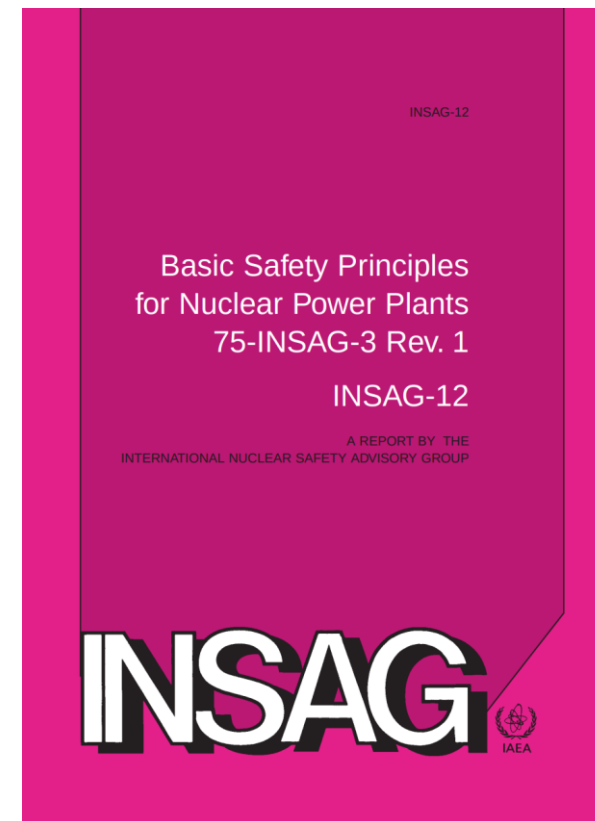


Oskarshamn 2 (1999 ebastabiilsus)



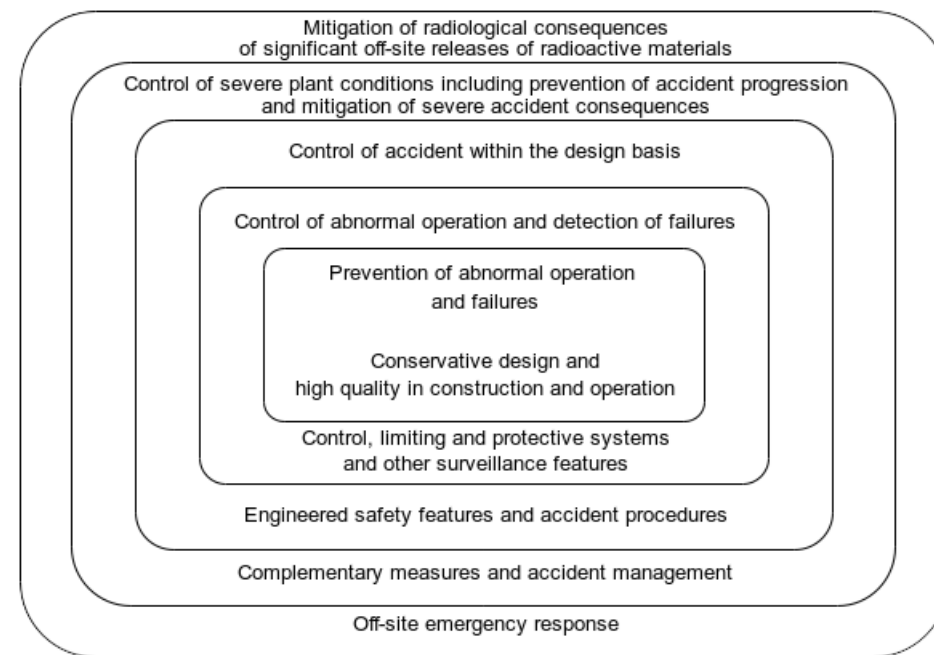
Süvakaitse (defence-in-depth) eesmärk

- Süvakaitse kontseptsiooni keskendub kaitsetasemetele ja tõketele, mis takistavad radioaktiivse materjali eraldumist keskkonda.
- Eesmärk on:
 - **kompenseerida võimalikke inimvigu ja komponentide rikkeid,**
 - **säilitada tõkete tõhusust, vältides jaama ja tõkete endi kahjustamist.**
 - **kaitsta elanikkonda ja keskkonda kahjude eest juhul, kui need tõkked ei ole piisavalt tõhusad.**



Süvakaitse kaitsetasemed

- IAEA süvakaitse põhimõtte sõnastus määrab kindlaks viis kaitsetaset:
 1. **Vältida kõrvalekaldeid tavapärasest tööst**
 2. **Tuvastada ja kontrollida kõrvalekaldeid**
 3. **Kaasata ohutussüsteeme ja protseduure, et vältida südramiku kahjustamist**
 4. **Leevendada õnnetuste tagajärgi**
 5. **Leevendada radioloogilisi tagajärgi**



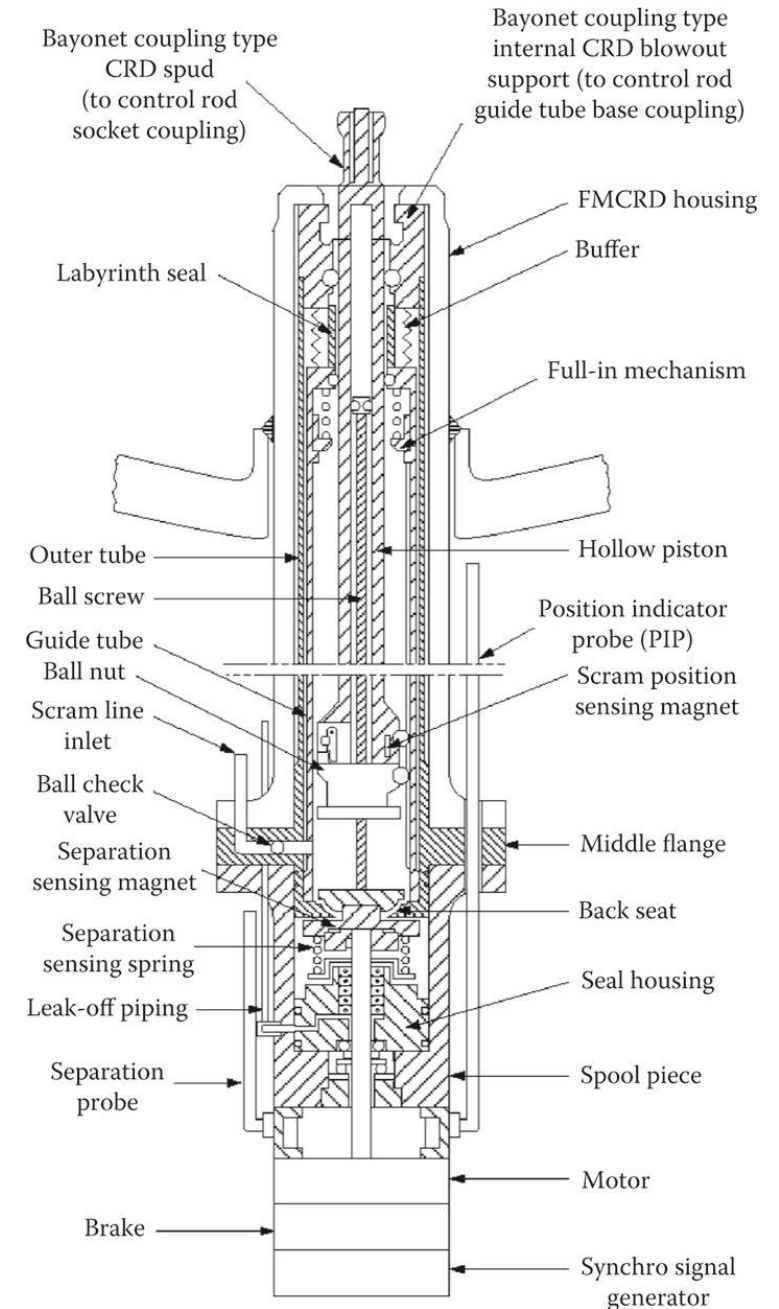
Ohutussüsteemid

- Ohutussüsteemid tagavad reaktori ohutu väljalülitamise ja jääsoojuse eemaldamise ning maandavad õnnetuste tagajärgi.
- Ohutussüsteemid, mida võib leida igas tuumajaamas:
 - **reaktori kaitsesüsteem (RPS);**
 - **hädaolukorra reaktori tuuma jahutussüsteem (ECCS);**
 - **hädaolukorra elektrisüsteem;**
 - **tõkkesüsteemid;**
 - **gaasipuhastussüsteemid;**



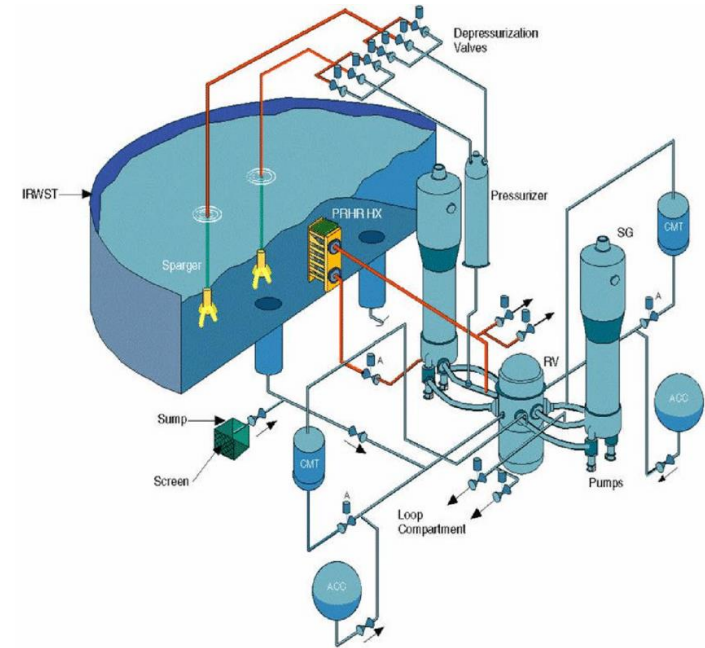
Reaktori kaitstesüsteem (RPS)

- Manuaalselt või automaatselt käivitatav süsteem, mis **seiskab ohutult ahelreaktsiooni** reaktoris.
- Näiteid parameetritest, mida automaatne kaitstesüsteem jälgib:
 - Tuuma siseneva ja väljuva jahutusvee temperatuuride vahe,
 - Rõhk suveanumas,
 - Jahutusvee vool primaarahelas,
 - Vedeliku tase aurugeneraatoris,
 - Turbiini ühenduse olemasolu jne.



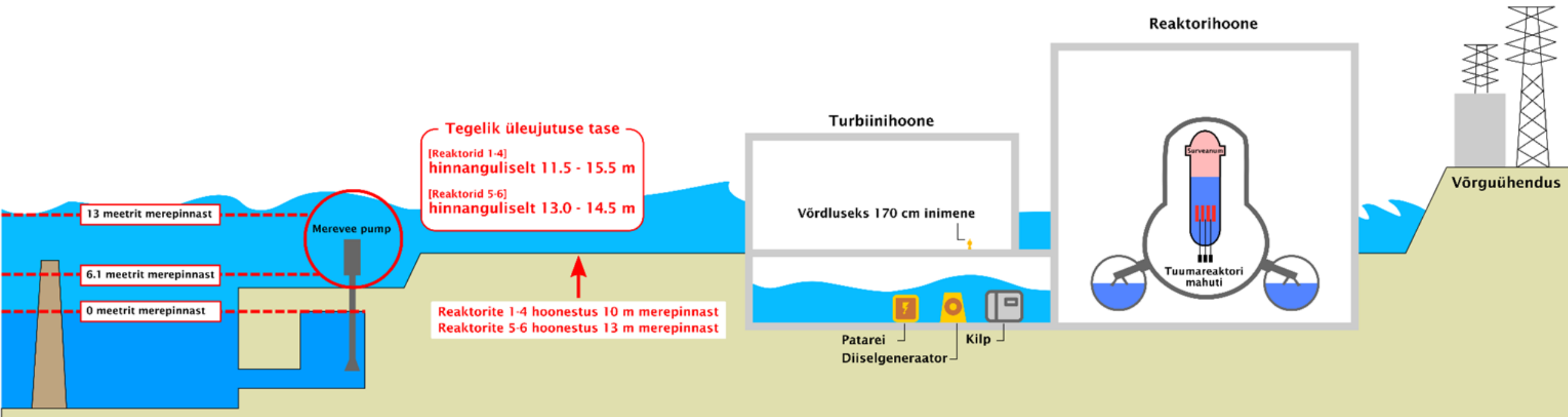
Hädaolukorra reaktorituuma jahutussüsteem (ECCS)

- Reaktorisüsteemi komponendid (pumbad, ventiilid/klapid, soojusvahetid, mahutid ja torustik), mis on spetsiaalselt ette nähtud **jääsoojuse eemaldamiseks reaktori tuumast** südamikujahutussüsteemi (reaktori jahutusvedeliku süsteemi) rikke korral.



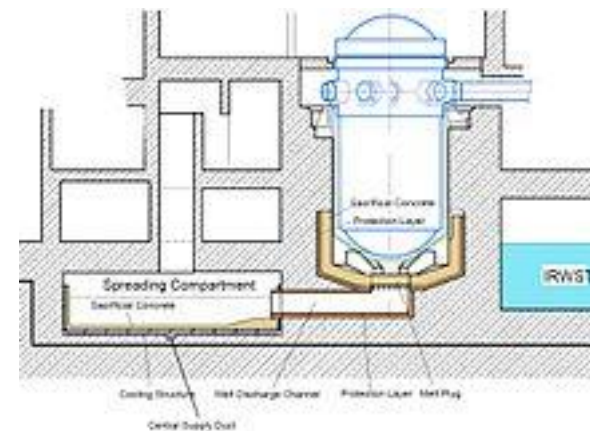
Hädaolukorra elektrisüsteem

- Peamiselt diiseligeneraatoritest ja akudest koosnev süsteem mille eesmärk on **tagada** jaama ohutussüsteemidele vajalik **elektrienergia**.



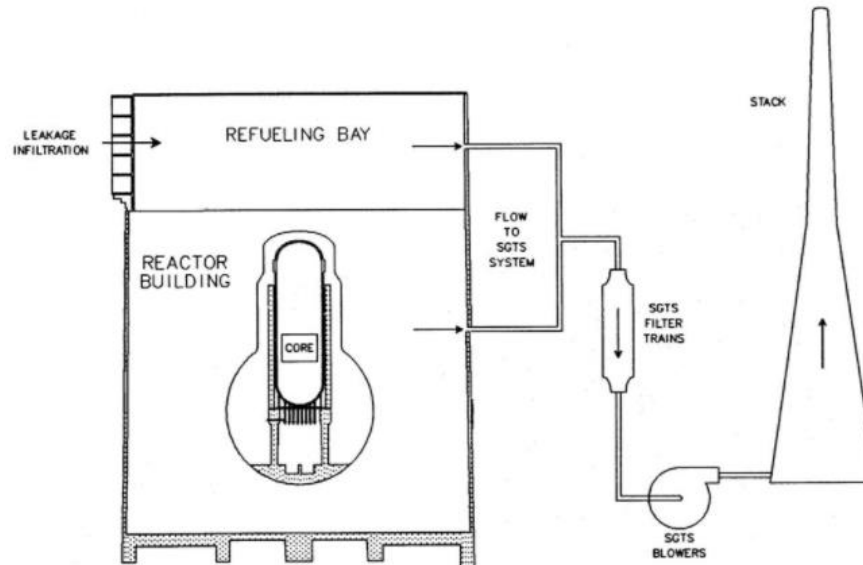
Tõkkesüsteemid

- Tõkkesüsteemide eesmärk on **ära hoida radioaktiivse materjali levik** keskkonda.
- Tõketeks / barjäärideks on:
 - Kütuse vardad
 - Reaktori surve anum
 - Reaktori kaitsehoone (või -hooned)
 - “Tuumapüüdjad” (näiteks EPR, SNR-300, ESBWR)



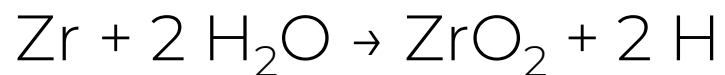
Gaasipuhastussüsteemid

- Süsteemi eesmärk on **pumbata** tuumajaamast **õhku väliskeskkonda**, tekitades tuumajaama välisruum (väljaspool kaitsehoonet) kerge alarõhu ja seega minimeerida radioaktiivse materjali levikut atmosfääri.
- Puhastussüsteem koosneb filtritest (HEPA + aktiivsüsi), eelsoojenditest, ventiilidest/klappidest, torustikust, mõõteriistadest ja juhtseadmetest.



Vesiniku teke ja plahvatusoht

- Tsirkooniumsulamist kütusevardad reageerivad kõrgetel temperatuuridel veeauruga, tootes vesinikku ja tsirkooniumoksiidi.

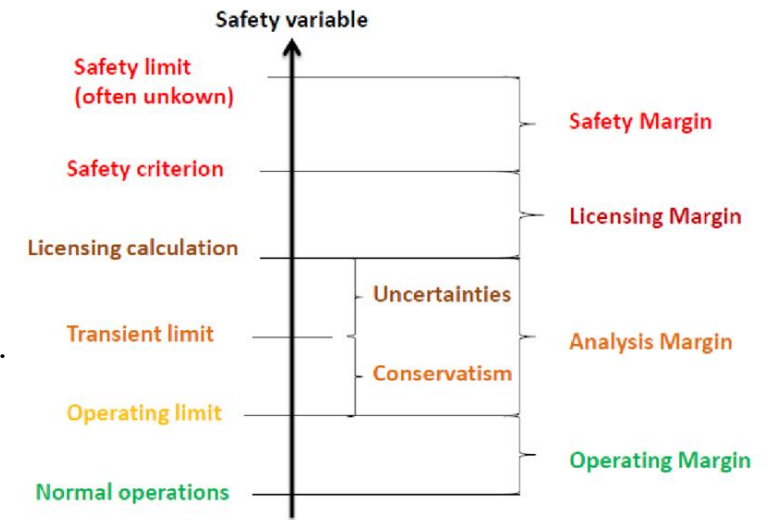


- Vesiniku tekkimise hetkeks on juba käimas raske tuumaõnnetus, kuna kütusevarraste temperatuur on üle 1200 C.
- Õnnetuse käigus alandatakse reaktori surveanumas rõhku, et võimaldada hädaolukorra reaktorituuma jahutussüsteemide tööd.
- Surve alandamisega lekib vesinik kaitsehoonesse, kus õige vesiniku / hapniku suhe ja süüde on piisav plahvatuse põhjustamiseks.



Ohutuse hindamine

- Ohutuse hindamisel kasutatakse peamiselt kahte tüüpi marginaale:
- **Deterministlikud** (arvutuslikud) ohutusvarud keskenduvad konservatiivsetele piirnormidele, mis põhinevad standarditel, mida riiklikud reguleerivad asutused aktsepteerivad.
 - Näiteks: kütusevarda maksimaalne temperatuur alla 1200 kraadi.
- **Tõenäosuslikud** ohutuseesmärgid püüavad kõrvaldada osa varasemale lähenemisviisile omasest konservatiivsusest.
 - Näiteks: Viga kontrollvarraste käidus $\leq 10^{-6}$



Ohutuse tõstmine uutes jaamades

- IAEA poolt defineeritud eesmärgid ohutuse tõstmiseks:
 - reaktoriuuma kahjustuse tõenäosuse vähenemine võrreldes praeguste jaamadega;
 - teatud raskete õnnetuste arvesse võtmine jaamade kavandamisel;
 - tagada võimalikult madal heide raskete õnnetuste korral, et lihtsustada hädaolukorra planeerimist;
 - operaatori koormuse vähendamine õnnetuse ajal parema inimese-masina liidese abil;
 - digitaalsete seadmete ja juhtimise vastuvõtmine;
 - **passiivsete komponentide ja süsteemide kasutuselevõtt.**



Passiivsed ohutussüsteemid

- Konventsionaalsed ohutussüsteemid sõltuvad **operaatori tegevusest, elektrienergiast** või **mehaanilisest käitamisest**. Seega on teoreetiliselt võimalik, et jaama elektrikatkestus või rasked loodusõnnetused võivad põhjustada südamiku sulamist ja radioaktiivse materjali heidet.
- Tehakse märkimisväärseid jõupingutusi passiivsete ohutussüsteemide väljatöötamiseks, mis ei vaja südamiku jahutamiseks aktiivseid sisendeid.
- Passiivsed ohutussüsteemid kasutavad ohutusega seotud funktsioonide täitmiseks passiivseid protsesse nagu **looduslik ringlus** või **aurustumine**, mis toimuvad ilma välise jõuta.

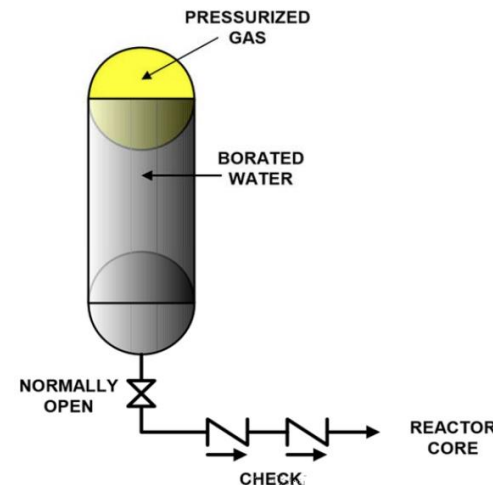


IAEA kategorooria	Süsteemi omadused	Näited
A	Ei saa väliseid signaalisendeid; Ei saa välise sisendina elektrit ega jõudu; Ei sisalda liikuvaid ega mehaanilisi osi; Ei sisalda liikuvat töövedelikku.	Füüsilised barjäärid; Kaitsehooned; Soojusjuhtivusel põhinevad soojusvahetid; Staatilised süsteemide komponendid.
B	Ei saa väliseid signaalisendeid; Ei saa välise sisendina elektrit ega jõudu; Ei sisalda liikuvaid ega mehaanilisi osi; Sisaldab liikuvat töövedelikku.	Rõhuerinevusel põhinevad süsteemid; Looduslikul ringlusel põhinevad süsteemid;
C	Ei saa väliseid signaalisendeid; Ei saa välise sisendina elektrit ega jõudu; On liikuvate või mehaaniliste osadega; Võib aga ei pruugi olla liikuvat töövedelikku.	Automaatsed rõhuvabastusventiilid; Membraantõkked filtreeritud ventilatsioonisüsteemis;
D	Võib passiivsete protsesside alustamiseks saada signaalisendi; Passiivse protsessi algatamiseks kasutatav energia tuleb hoiustatud allikatest (nt patareid, kõrgendatud vedelik); Võib sisaldada ainult passiivsete elementide käivitamiseks kasutatavaid aktiivseid komponente juhtimisseadmete, mõõteseadmete ja ventiilide kujul; Ei tohi olla manuaalselt käivitavad.	Gravitatsiooni kasutavad, patarei toidet vajavad süsteemid; Gravitatsiooni kasutavad kontrollvarraste süsteemid;

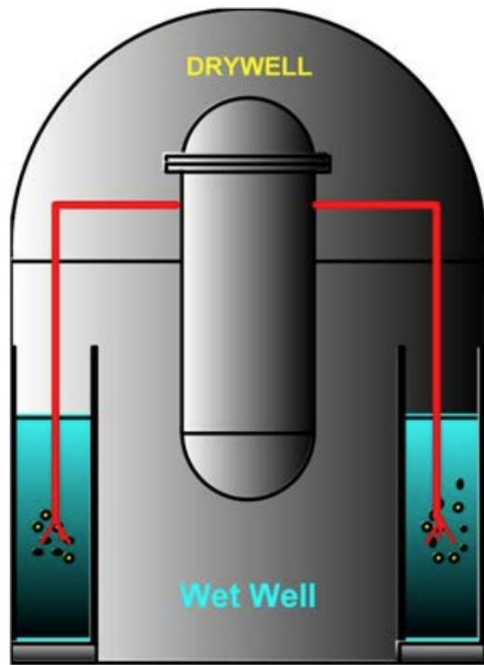


Näiteid passiivsetest ohutussüsteemidest

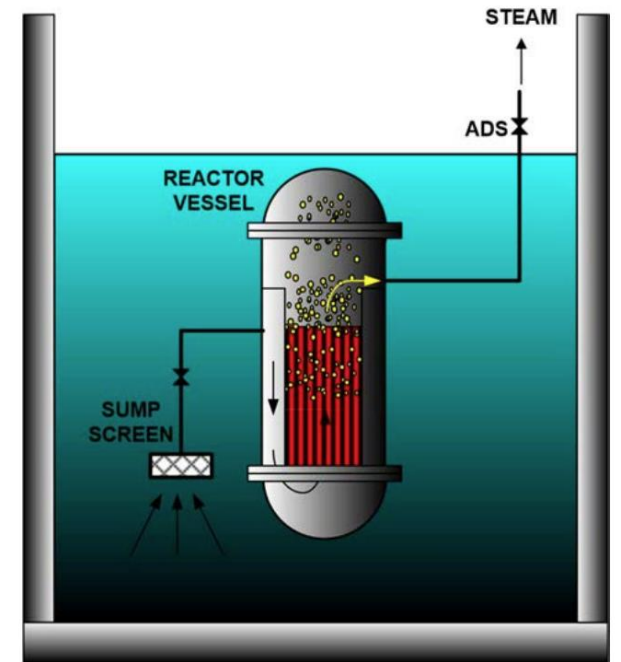
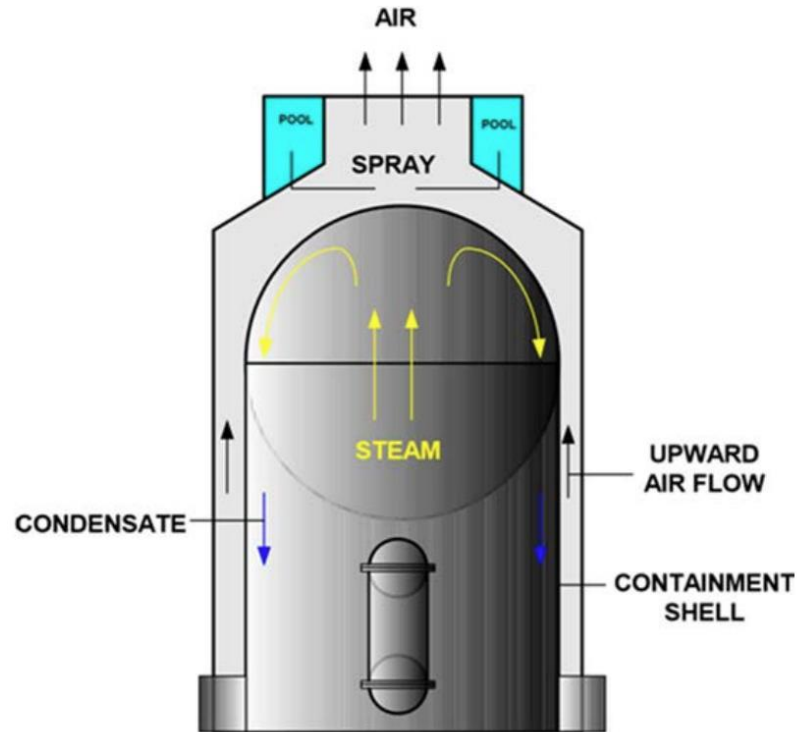
- **Eelsurve all olevaid akumulaatorid** koosnevad tavaliselt suurest paagist, mis on täidetud veega (boori lahus) ja survestatud täitegaasiga.
- Need paagid eraldatakse reaktori jahutusvedeliku süsteemist kontrollklappide abil. Kui rõhk jahutussüsteemis langeb alla gaasi rõhu, ventiilid avanevad ja boori lahus juhatakse reaktori südamikku.
- Kontrollklappide tõttu klassifitseeritakse akumulaatorid **C-kategooria** passiivseteks ohutussüsteemideks.



Näiteid passiivsetest ohutussüsteemidest 2

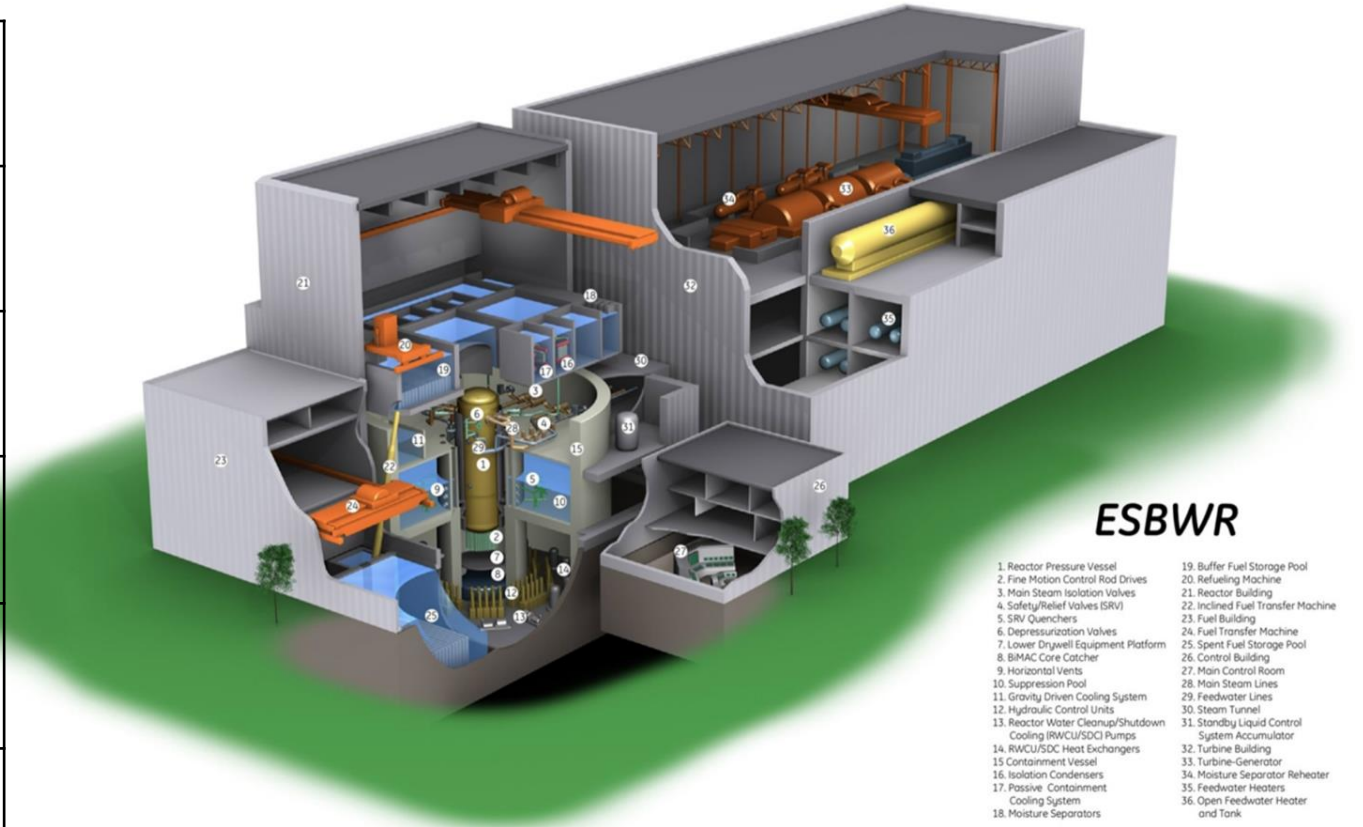


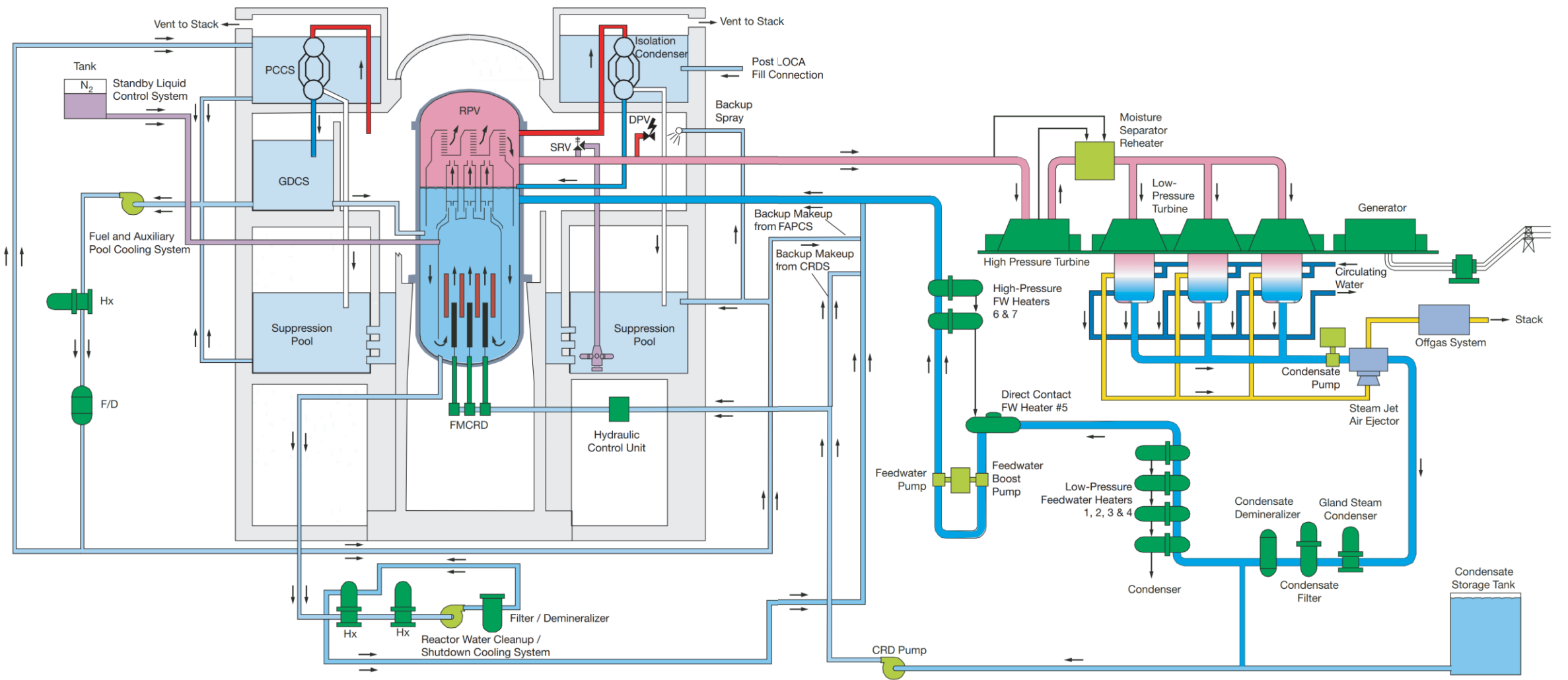
SUPPRESSION POOL



ESBWR

Soojusvõimsus	4500 MWt
Elektriline võimsus	1520 MWe
Rõhk süsteemis	7 MPa
Tuuma sisend ja väljund temperatuurid	215 C / 288 C
Kütusekoostete hulk	1132
Primaarahela pumпасid	0 (looduslik ringlus)

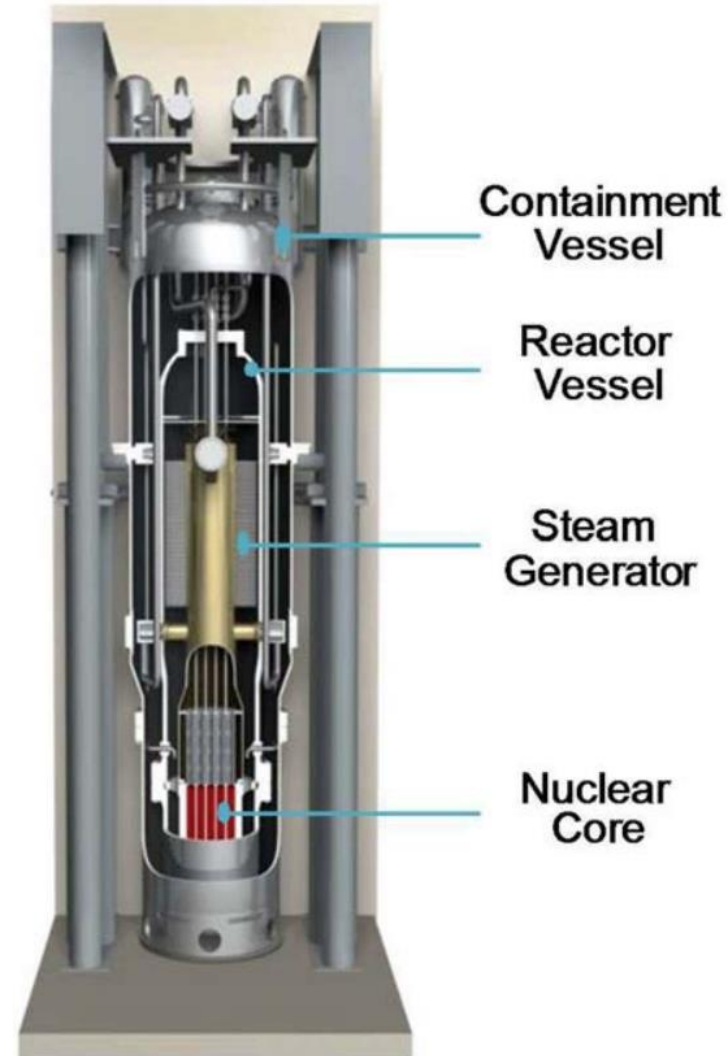


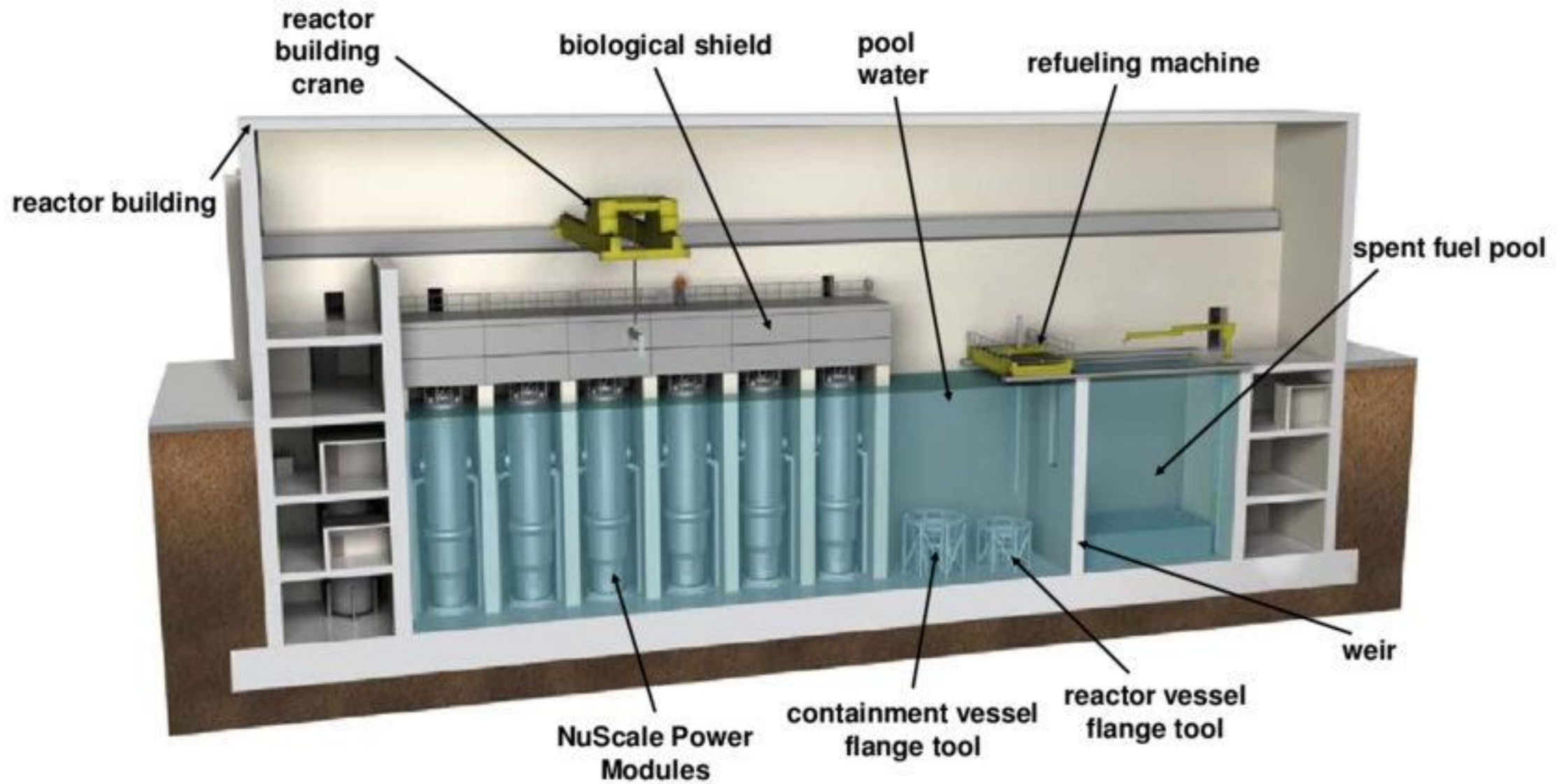




NuScale

Soojusvõimsus	160 MWt
Elektriline võimsus	50 MWe
Rõhk süsteemis	12 MPa
Tuuma sisend ja väljund temperatuurid	149 C / 302 C
Kütusekoostete hulk	37
Primaarahela pumpsid	0 (looduslik ringlus)







Passiivsete ohutussüsteemide puudused

- **Disaini puudused**
 - Nõrgad jõud (väike tiheduste / kõrguste vahe)
 - Piiratud töövedeliku maht
- Passiivsete ohutussüsteemide toimivus **sõltub** struktuuri ja funktsionaalsuse **terviklikkuse püsimisest**.
- **Segadused** passiivsuse **definitsiooniga**
- Puudulik **käidukogemus**



Ohutuskultuur

- Ohutuskultuur osutab sellele, kuidas organisatsioon **tähtsustab ja väärtustab ohutust.**
- Seda kujundavad kõigi töötajate ühised hoiakud, normid, uskumused ja väärtused.
- **Ohutuskultuur on tulem**, mitte sisend, kuid seda saab õigete sisenditega mõjutada.



Tervisliku ohutuskultuuri näitajad

**individuaalne vastutus ohutuse eest,
küsiv suhtumine,
vastutus otsuste tegemise eest,
tõhus suhtlus,
kõrge usaldus,
pidev õppimine.**

- On oluline, et organisatsiooni liikmed mõistaksid tõhusa ohutuskultuuri omadusi ja organisatsioonidel oleks võimekus hinnata selle tugevust ja kvaliteeti.



INES - rahvusvaheline tuumasündmuste skaala

- Üheks viisiks kuidas radioaktiivseid materjale käitavad organisatsioonid ja ettevõtted saavad panustada ohutuma tuumakäidu tulevikku on **läbipaistev ja enesekriitiline** sündmuste hindamine ja teavitustöö.
- INESE kasutamine on vabatahtlik ja skaala taseme valik juhtumi kirjeldamisel on organisatsiooni enda teha.
- Juhtumid

