Ohutus ja õnnetused

FERMIONI SUVEKOOL

Kaspar Kööp **07.08.2025** TalTech Virumaa Kolledž

Definitsioonid

- **Safety** = Ohutus
- **Security** = Turvalisus (julgeolek, füüsiline kaitse)
- **Safeguards** = Tuumamaterjali kontroll (selle leviku tõkestamiseks tehtavad tegevused ja lepped)

Mis tagab ohutuse tuumajaamas?

- **Järelevalve**
  - Asjakohane ja ohutusele suunatud regulatsioon
  - Pädev riiklik regulaator
- **Tehnoloogia**
  - Valideeritud käidupõhimõtted
  - Kvaliteetsed komponendid
  - Kontrollitud ehitus ja hooldus
- **Inimesed**
  - Tehnoloogia-spetsiifiline väljaõpe
  - Tugev ohutuskultuur

Ohutuse eesmärk

- **Ohutuse põhieesmärk on kaitsta inimesi ja keskkonda ioniseeriva kiirguse <u>kahjulike mõjude</u> 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 südamiku, 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 kanna vastuvõetamatu 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 kiirgusintsidentideks reageerimine

Kaitsemeetmed olemasolevate või reguleerimata kiirgusriskide vähendamiseks peavad olema põhjendatud ja optimeeritud

Ringhals 2 PWR

+

Ringhals 2 tolmuimeja põleng 2011

- Reaktor oli tavapärases kütusevahetuse ja hoolduse seisakus
- Kaitsehoone ülesurve testi käigus **süttis** sinna unustatud **tolmuimeja**
- Põles ~5 kg kummi, ~30 kg plastikut
- Rohkem kui **1 300 inimest** (seal hulgas ~150 koristajat) tegelesid põlengu likvideerimisega
- Sooritati ~12 000 mõõtmist spetsiaalsete mõõteriistadega ja tehti ~1 000 “vatitupsu” testi
- 7 kuu jooksul puhastati 6 340 m2 betoonist seina ja 5 100 m2 põranda pinda. **Maksumus ~20 000 000 €**

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:
  - ✓ **Reaktori piisav jahutamine**
  - ✓ **Ahelreaktsiooni peatamise võimekus**
  - ✓ **Füüsilised barjäärid radioaktiivse materjali leviku tõkestamiseks**

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.

FME-HIGH RISK ZONE FME-HIGH RISK

Barjäärid radionukliidide levikul

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 populatsiooni ja keskkonda kahjude eest juhul, kui need tõkked ei ole piisavalt tõhusad.

Süvakaitse kaitsetasemed

- IAEA süvakaitse põhimõtte sõnastus määrab kindlaks viis kaitsetaset:
    - **Tase1**: Vältida kõrvalekaldeid tavapärasest tööst
    - **Tase2**: Tuvastada ja kontrollida kõrvalekaldeid
    - **Tase3**: Kaasata ohutussüsteeme ja protseduure, et vältida südamiku kahjustamist
    - **Tase4**: Takistada õnnetuse levikut
    - **Tase5**: Leevendada radioloogilisi tagajärgi

BWRX-300 PSAR

Level of Defence/DL	Objective	Design Means	Operational Means
Level 1/DL1	Prevention of abnormal operation and failures	Conservative design and high quality in construction of normal operation systems, including monitoring and control systems	Operational rules and normal operating procedures
Level 2/DL2	Control of abnormal operation and detection of failures	Limitation and protection systems and other surveillance features (Safety Category 3)	Abnormal operating procedures/emergency operating procedures
Level 3/DL3	Control of design basis accidents	Engineered safety features (Safety Category 1)	Emergency operating procedures
Level 4a/DL4a	Control of design extension conditions to prevent core melt	Safety features for design extension conditions without core damage (Safety Category 2)	Emergency operating procedures
Level 4b/DL4b	Control of design extension conditions to prevent or mitigate the consequences of severe accidents	Safety features for design extension conditions with core damage (Safety Category 3)	Complementary emergency operating procedures/severe accident management guidelines
Level 5/DL5	Mitigation of radiological consequences of significant releases of radioactive materials	On-site and off-site emergency response facilities	On-site and off-site emergency plans

Postuleeritud õnnetused (DBA)

- **Definitsioon**: avarii või rike, mille võimalikkust on projekteerimisel arvesse võetud kasutades vastavaid projekteerimise kriteeriumeid ja konservatiivseid meetodeid. Projekteeritud ohutussüsteemid tagatavad, et radioaktiivse materjali lekked jäävad aksepteeritud piiridesse.
  - Alajahutus – sekundaarahela jahutuse puudulikkus (nt kondensaatori jahutusvee kadu)
  - Ülejahutus – sekundaarahela liigne jahtumine (nt jahutusvee eelsoojendite töö seisak)
  - Ületäitmine – reaktori jahutusvee ülekullus (nt ebavõrdsus jahutusvee voolu ja auru voolu vahel BWRis)
  - Voolu vähesus (LOFA) – reaktori tuumas jahutusvee voolu vähenemine (nt jahutusvee pumpade seisak)
  - Jahutusvee vähesus (LOCA) – reaktori jahutusvee koguse vähenemine (nt primaarahela leke)
  - Reaktiivsuse tõus (RIA) – kontrollimatu reaktiivsuse tõus süsteemis (nt kontrollvarda tuumast välja “kukkumine” BWRis)
  - Anomaaliad süsteemis ilma avariiseiskamiseta (ATWS) - suhteliselt sagedane anomaalne sündmus, millega kaasneb samaaegne avariiseiskumise ebaõnnestumine (nt jahutusvee kadu ilma avariiseiskamiseta)
  - Avariid kasutatud kütusega – avariid kasutatud tuumkütuse koostude käitlemisel ja ladustamisel (nt kütusekoostu kukkumine või kriitiline konfiguratsioon kütusehoidlas)
  - Välised sündmused – sündmus, mis saab alguse väljaspool jaama (nt maavärin, orkaan, lennuõnnetus)

Ohutussüsteemid

- Ohutussüsteemid tagavad reaktori ohutu väljalülitamise ja jääksoojuse eemaldamise ning maandavad õnnetuste tagajärgi.
- Ohutussüsteemid, mida võib leida igas tuumajaamas:
  - reaktori kaitsesüsteem (RPS);
  - teenindusveesüsteem (ESWS);
  - hädaolukorra reaktorituuma jahutussüsteem (ECCS);
  - hädaolukorra elektrisüsteem;
  - tõkkessüsteemid;
  - gaasipuhastussüsteemid;

Reaktori kaitsesüsteem (RPS)

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

Reaktori kaitsesüsteem (RPS)

Normal Configuration
(Hollow Piston resting on Ball Nut)

Hydraulic Scram
(Hollow Piston lifted from Ball Nut)

Teenindusveesüsteem (ESWS);

- Süsteemi ülesanne on **eemaldada soojusenergia jaama komponentidest**, mis vajavad jahutamist tavakäidu, ohutu seiskamise või DBA järgselt.

Hädaolukorra reaktorituuma jahutussüsteem (ECCS)

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

Hädaolukorra elektrisüsteem

- Peamiselt diiselgeneraatoritest 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 surveanum
  - Reaktori kaitsehoone (või -hooned)
  - “Tuumapüüdjad” (näiteks EPR, SNR-300, ESBWR)

Gaasipuhastussüsteemid

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

Kaitsehoone jahutuse süsteem

- PCCS töötab passiivselt, kasutades loodusliku tsirkulatsiooni, et eemaldada soojust mittekonventsionaalsetes tingimustes, ilma et oleks vaja aktiivseid komponente või aktiveerimissignaale.
- Õnnetuste käigus eemaldab PCCS kaitsehoonest soojust, vähendades temperatuuri ja rõhku. Soojusenergia viiakse kaitsehoone kohal asuvatesse seadmetesse ja basseinidesse.
- PCCS koosneb kolmest sõltumatust ahelast.
- Selle süsteemi esmane ohutusfunktsioon on hoida kaitsehoones rõhk ja temperatuur õnnetuste ajal kavandatud piirides.

Kui ohutu on tuumaenergia?

Surmade arv toodetud TWh energia kohta on üks väiksemaid.

Erinevate energiaallikate põhjustatud suremuse määr õhusaaste ja õnnetuste tagajärjel

Stabiilsus

- Reaktori füüsiline olek muutub võimsuse muutumisel läbi materjali parameetrite (temperatuuride, tiheduste jne.).
- Muutus võimususes 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)

Oskarshamn 2 (1999 ebastabiilsus)

- 25. veebruaril 1999 teostati Oskarshamn-2 reaktori juures alajaama hooldustöid.
- (1) Turbiin seiskus peale alajaamast võrgu kadumise signaali, mis reaktorini ei jõudnud ja reactor jätkas tööd nominaalvõimsusel.
- Jahutusvee eelsoojendite töö peatus ja jahutusvee temperatuur hakkas alanema, mis omakorda viis reaktoris võimsuse tõusule.
- Automaatrežiimil töötanud eaktori ringluspumbad vähendasid vee voolu reaktoris (2, 4, 6), mis alandas ajutiselt reaktori võimsust.
- Jahutusvee temperatuuri jätkuva alanemise tõttu kordus see protsess mitu korda.
- Operaator, märgates anomaaliat sisestas kontrollvardad osaliselt reaktorisse (9).
- Külmema jahutusvee vool aga jätkus, põhjustades reaktori võimsuse kiiret (võnkuvat) kasvu. Reaktor seiskus automaatselt saavutades võimsuse piirväärtuse (12).

Õnnetused tuumajaamades

1979 Three Mile Island

1986 Chernobyl

2011 Fukushima Daiichi

1979 – Three Mile Island (1/3)

- 28. märtsil 1979 kell 4 hommikul töötas TMI-2 reaktor 97% võimsusel (~930 MWe).
- Väike rike teisese jahutusringis põhjustas primaarjahutusvedeliku temperatuuri tõusu.
- Reaktor lülitus automaatselt välja.

1979 – Three Mile Island (2/3)

- Peale reaktori seiskumist avanes automaatselt jahutussüsteemi kaitseklapp. ~10 sekundi pärast oleks see pidanud sulguma, kuid jäi avatuks. Operaatorid uskusid, et kaitseklapp oli suletud, kuna instrumendid näitasid, et klapile saadeti sulgemise signaal.
- Reageerides jahutusvee kadumisele, surusid ohutussüsteemid automaatselt jahutusvett surveanumasse. Kui vesi ja aur kaitseklapi kaudu välja pääsesid, paiskus jahutusvesi survestisse, tõstes selles veetaset.
- Operaatorid vähendamisid ohutussüsteemi veevoolu hulka, kuna neid oli koolitatud, et veetase survestis on ainus usaldusväärne indikaator süsteemis oleva jahutusvee koguse kohta. Kuna survesti veetase tõusis, arvasid nad, et reaktorisüsteem on liiga vett täis.
- Auru/vee segu pani reaktori jahutuspumbad vibreerima ja operaatorid seiskasid pumpade töö kahjustuste vältimiseks. Sellega lõpeti reaktori südamiku aktiivjahutus.
- Jahutusvedelik kees, reaktori tuum katmata, kuumenes üle ja hakkas osaliselt sulama. Kell 6:22 suutsid operaatorid jahutusvedeliku vee kadumise surveanumast peatada.

1979 – Three Mile Island (3/3)

- Kell 19.50 taastati reaktori südamiku sundjahutuse, kui suutsid taaskäivitada ühe reaktori jahutusvedeliku pumba.
- Reaktori jahutussüsteemist pärinevad radioaktiivsed gaasid kogunesid abihoones asuvasse paaki. 29. ja 30. märtsil liigutasid operaatorid torude ja kompressorite süsteemi abil gaasi heitgaaside mahutitesse.
- Kompressorid ei olnud õhukindlad ja osa radioaktiivseid gaase jõudis läbi tahkete osakeste õhufiltrite (HEPA) ja söefiltrite, mis eemaldasid enamiku radionukliididest, keskkonda. Lühikese poolestusajaga ja bioloogiliselt inertsena ei kujutanud need tervisele ohtu.
- Õnnetus tekitas muret kiirgusest põhjustatud tervisemõjude võimalikkusest ümbritsevas piirkonnas. Enam kui 30 000 inimest, kes elasid õnnetuse ajal tuumajaamast viie miili radiuses, peeti 18 aastat vaatluse all, kuid mõju tervisele ei täheldatud. Ainus tuvastatav mõju oli psühholoogiline stress õnnetuse ajal ja vahetult pärast seda.
- Uuringud näitasid, et jaamast 10 miili raadiuses elavate inimeste keskmine kiirgusdoos oli 0,08 millisiivertit (mSv) ja mitte rohkem kui 1 mSv ühegi üksikisiku kohta.

2011 – Fukushima Daiichi

- 11. märtsil 2011 toimus Jaapani idakalda ligidal maavärin magnituudiga 9 ja suur osa taristust (elektrivõrk, teed, kanalisatsioon) purunes.
- Fukushima Daiichi töötavad reaktorid peatusid automaatselt tänu seismiliste sensorite signaalile.
- Maavärinale järgnenud tsunami ujutas jaama üle kahjustades hädaolukorra elektrisüsteemi.
- Aktiivjahutust vajanud reaktorites kuumenes kütus üle ja tuumasüdamikud said kahjustada.

Vesiniku teke ja plahvatusoht

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

$$Zr + 2\ H_2O \rightarrow ZrO_2 + 4\ H$$

- 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 parendamine uutes jaamades

- IAEA poolt defineeritud eesmärgid ohutuse tõstmiseks:
  - reaktorituuma 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 kategooria	Süsteemi omadused	Näited
A	Ei saa väliseid signaalisisendeid; 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 signaalisisendeid; 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 signaalisisendeid; 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 signaalisisendi; 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 käivitatavad.	Gravitatsiooni kasutavad, patarei toidet vajavad süsteemid; Gravitatsiooni kasutavad kontrollvarraste süsteemid;

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 märkimisväärsel hulgal soojust isegi siis, kui ahelreaktsioon reaktoris on peatatud.

Ohutuse tagamine: passiivjahutus

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 juhitakse reaktori südamikku.
- Kontrollklappide tõttu klassifitseeritakse akumulaatorid **C-kategooria** passiivseteks ohutussüsteemideks.

Näiteid passiivsetest ohutussüsteemidest 2

ESBWR

Soojusvõimsus	4500 MWt
Elektriline võimsus	**1600 MWe**
Rõhk süsteemis	7 MPa
Tuuma sisend ja väljund temperatuurid	215 C / 288 C
Kütusekoostete hulk	1132
Primaarahela pumpasid	0 (looduslik ringlus)

Vent to Stack
Vent to Stack
Tank
N_2
Standby Liquid Control System
PCCS
Isolation Condenser
Post LOCA Fill Connection
Backup Spray
RPV
DPV
SRV
GDCS
Moisture Separator Reheater
Low-Pressure Turbine
Generator
Backup Makeup from FAPCS
Backup Makeup from CRDS
Fuel and Auxiliary Pool Cooling System
High Pressure Turbine
Circulating Water
Hx
High-Pressure FW Heaters 6 & 7
Suppression Pool
Suppression Pool
Stack
Offgas System
Condensate Pump
F/D
Direct Contact FW Heater #5
Steam Jet Air Ejector
FMCRD
Hydraulic Control Unit
Feedwater Pump
Feedwater Boost Pump
Low-Pressure Feedwater Heaters 1, 2, 3 & 4
Condensate Demineralizer
Gland Steam Condenser
Condenser
Condensate Filter
Condensate Storage Tank
Hx
Hx
Filter / Demineralizer
Reactor Water Cleanup / Shutdown Cooling System
CRD Pump

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 õnnetuste ja juhtumite hindamine ja teavitustöö**.
- INESe kasutamine on vabatahtlik ja skaala taseme valik juhtumi kirjeldamisel on organisatsiooni enda teha.
- <u>Juhtumid</u>