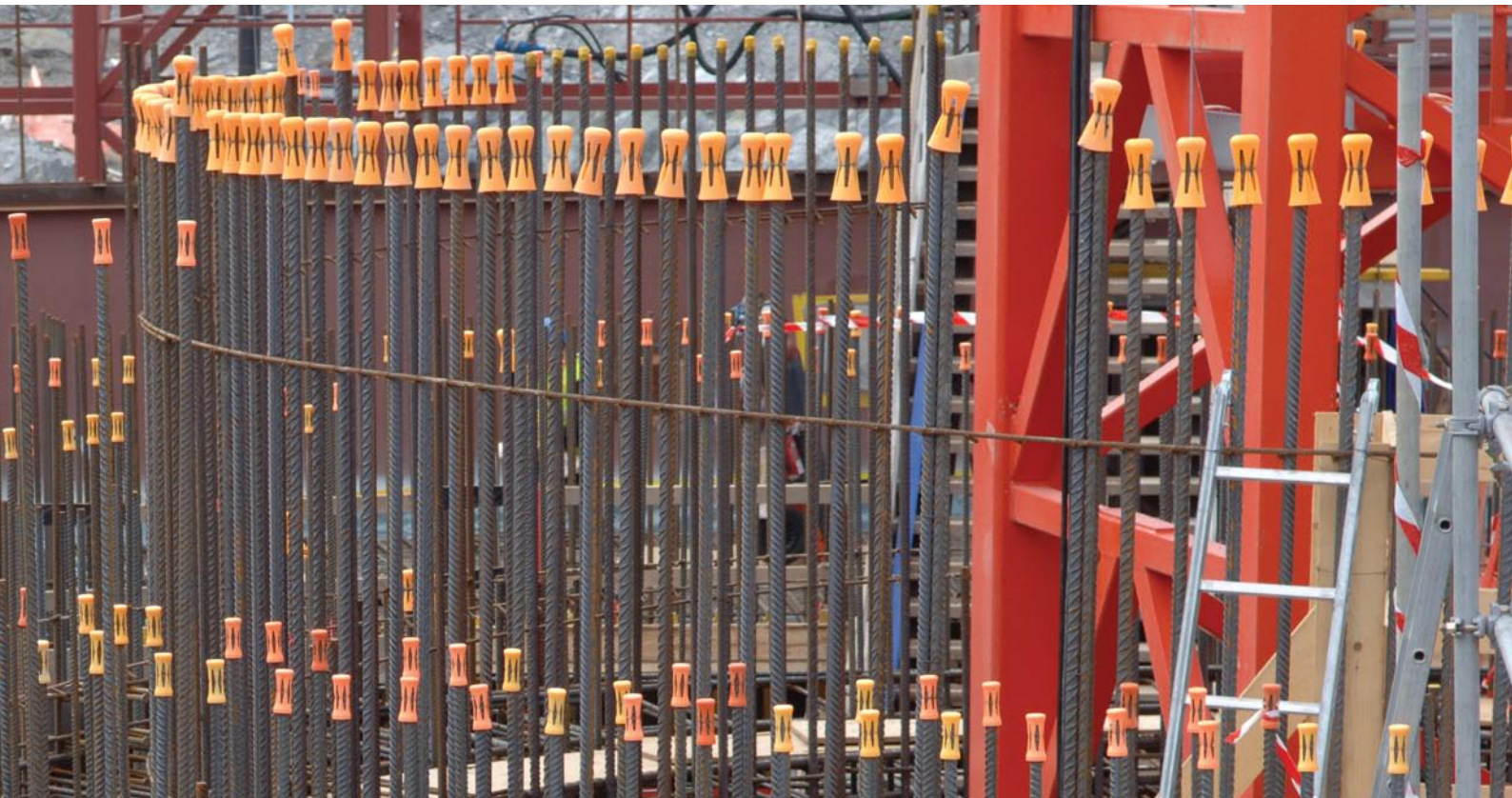


SÄTEILY- JA YDINTURVALLISUUSKATSAUKSIA



Ydinvoimalaitosten turvallisuus

Säteilyturvakeskus
Strålsäkerhetscentralen
Radiation and Nuclear Safety Authority



Ydinvoimalaitosten turvallisuus

Ydinenergian käyttö ei saa vaarantaa ympäristöään. Läntisissä teollisuusmaissa (OECD-maissa) on aina noudatettu periaatetta, jonka mukaan turvallisuus varmistetaan moninkertaisin järjestelyin. Vaarallinen tilanne voisi syntyä vain, jos monia vikoja ja käyttöhenkilökunnan virheitä sattuisi yhtä aikaa.

Tällaista turvallisuusperiaatetta noudattavilla laitoksilla ei ole sat-

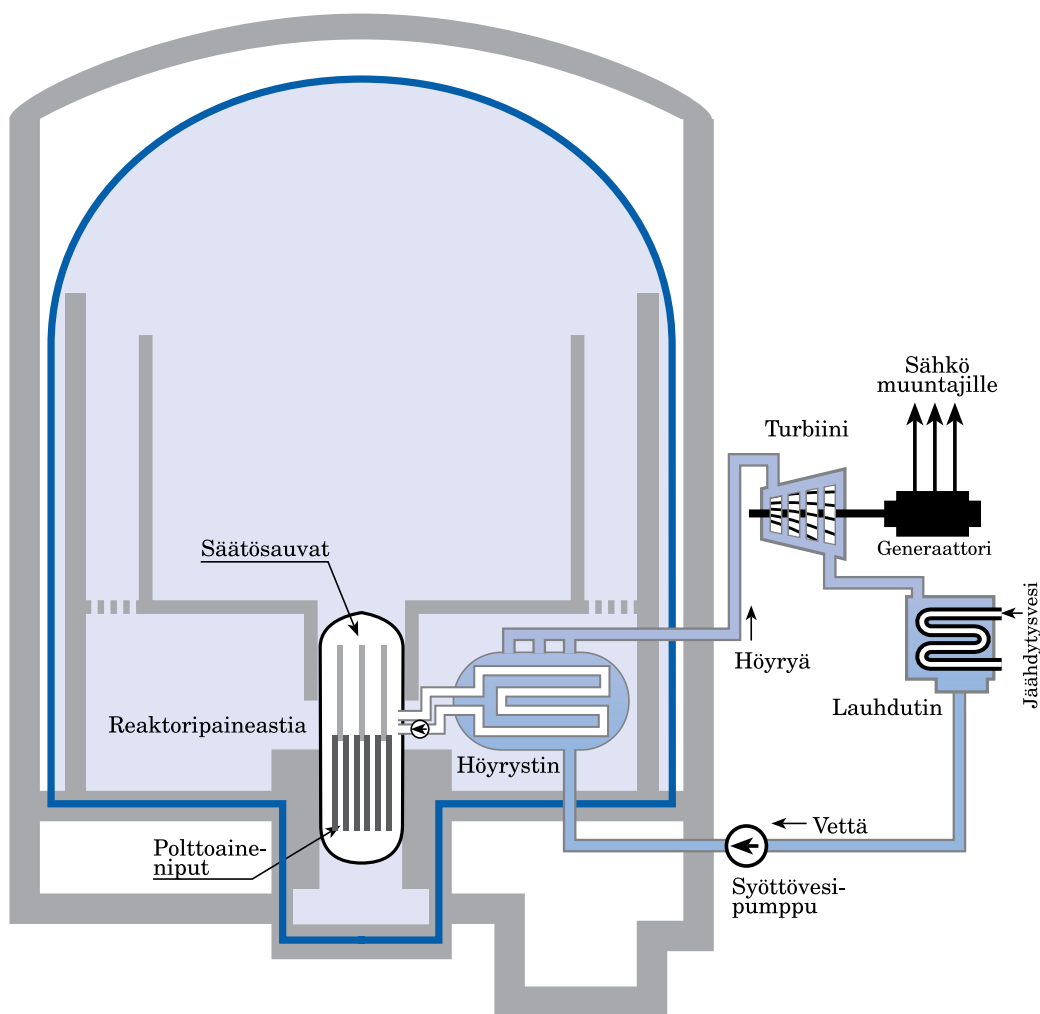
tunut yhtään onnettomuutta, jossa olisi radioaktiivisten aineiden päästöjen takia tarvittu toimenpiteitä väestön suojaamiseksi säteilyltä.

Laitoksen sisällä on säteilyä vapautunut esimerkiksi Harrisburgissa vuonna 1979, jolloin reaktorin sydän sulii jäähdytyspiirin vuodon vuoksi. Suojarakennus esti kuitenkin merkittävät päästöt ympäristöön.

Riskit huomioon jo laitoksia suunniteltaessa

Ydinenergian rauhanomainen käyttö aloitettiin 1950-luvulla ja tuotanto kasvaa edelleen. Vuoden 2007 loppuun mennessä ydinvoimalaitoksilta on kertynyt kokemuksia jo yli 12 000 käyttövuodelta.

Ydinenergian käytölle OECD-maissa on ollut tyypillistä laaja



Painevesityyppisen ydinvoimalaitoksen reaktori tuottaa lämpöä, jolla höyrystin keittää vettä höyryksi. Höyry pyörittää turbiinia, joka pyörittää generaattoria, joka puolestaan tuottaa sähköä. Kiehumusvesilaitoksessa ei ole höyrystintä, vaan höyry syntyy reaktorissa, jäähdytteen virratessa polttoainenippujen läpi.

Miten ydinvoimalaitoksessa tuotetaan sähköä?

Ydinvoimalaitoksen tuottama lämpö syntyy ydinreaktorissa. Reaktorin sydän on koottu metallikuorisista polttoainesauvoista, joiden sisällä on uraanidioksidipolttoainetta keraamisina tabletteina. Yhteensä sauvoja on muutamia kymmeniä tuhansia. Reaktorisydän on suljettu paineastian sisään.

Ydinpoltoaineen sisältämän uraanin ytimien halkeaminen, fissio, vapauttaa energiaa ja kuumentaa polttoaineen. Polttoaineesta lämpö siirtyy reaktorin jäähdytysveteen.

Kiehutusvesilaitoksessa osa jäähdytysvedestä höyrystyy reaktorissa ja laajenevaa höyryä käytetään pyörittämään turbiinia ja siihen kytkettyä sähkögeneraattoria.

Painevesilaitoksissa höyry tuotetaan höyrystimissä, joiden läpi reaktorissa kuumentunut korkeapaineinen vesi kulkee ohuissa putkissa.

Teollisuuden Voiman Olkiluodon voimalaitoksen kaksi toiminnassa olevaa yksikköä ovat kiehutusvesilaitoksia, ja kolmas rakenteilla oleva yksikkö on painevesilaitos. Fortum Power and Heatin Loviisan voimalaitoksen kaksi yksikköä ovat painevesilaitoksia.

Reaktorin tehon säätöön käytetään säätösauvoja. Niissä on voimakkaasti neutroneja imevää ainetta, esimerkiksi booria. Kun säätösauvoja työnnetään reaktorin sisään, ne imevät sisäänsä osan neutroneista ja hillitsevät ketjureaktiota. Reaktorin teho laskee. Säätösauvoilla reaktori voidaan myös sammuttaa nopeasti eli tehdä niin sanottu pikasulku.

kansainvälinen yhteistyö, voimakas panostus tutkimukseen ja kehitykseen, yksityiskohtaiset turvallisuusvaatimukset sekä riippumaton viranomaisvalvonta. Samojen periaatteita pyritään nykyään noudattamaan myös muissa ydinenergiamaissa.

polttoainemateriaalia. Pieni osa kaasumaisista fissiotuotteista tihkuu ulos polttoaineesta, mutta jää kuitenkin polttoainesauvan tiiviin suojakuoren sisään.

Toinen este on jäähdytyspiirin seinämä, joka pitää sisällään jäähdytysveteen joutuvat radioak-

tiiviset aineet. Jäähdytysvedestä radioaktiiviset aineet kerätään jäähdytteenpuhdistus- tai kaasujenkäsittelyjärjestelmän suodattiin ja tarvittaessa käsitellään ydinjätteenä.

Kolmas este on reaktorin jäähdytyspiiriä ympäröivä paineenkes-

Ydinreaktioissa syntyy radioaktiivisia aineita

Ydinvoimaan liittyvät riskit johtuvat reaktorissa syntyvien radioaktiivisten aineiden suuresta määrästä. Niiden pääsy ympäristöön on estettävä.

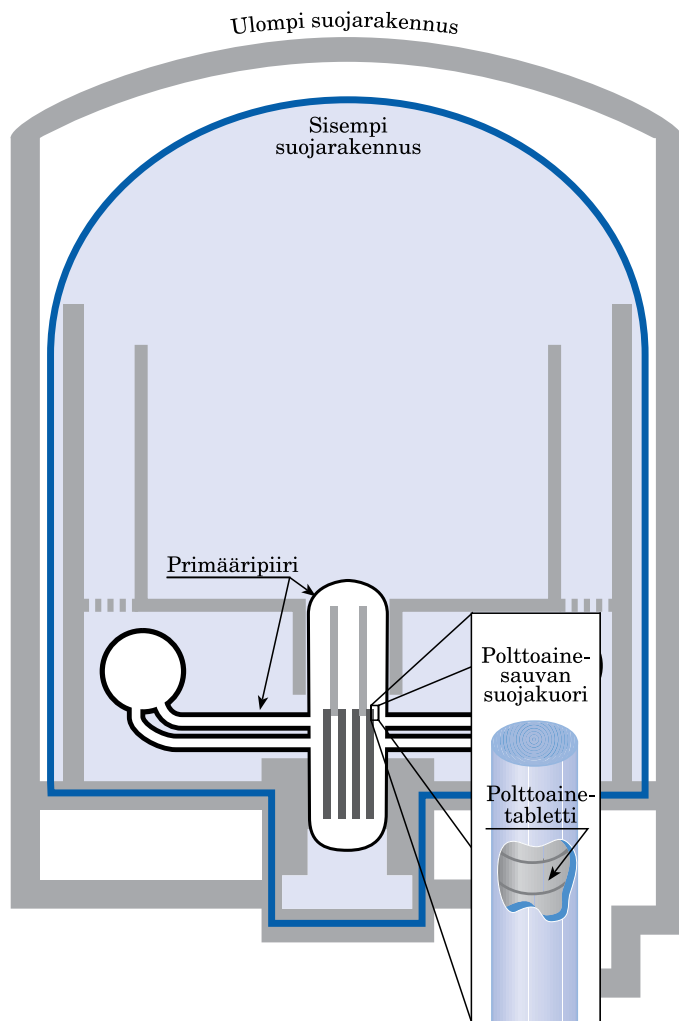
Ympäristön turvana moninkertaiset esteet

Yksi ydinturvallisuuden keskeisiä periaatteita on moninkertaisten esteiden järjestäminen radioaktiivisten aineiden ja ympäristön välille. Ensimmäinen este on itse ydinpoltoaine. Normaalikäytön aikana pääosa fissiotuotteista on kiinteää ja pysyy osana keraamista

Kaksi onnettomuutta

Yhdysvalloissa Harrisburgin lähistöllä olevan TMI-ydinvoimalaitoksen reaktori kuivui vuonna 1979, kun jäähdytysvesi vuoti auki juuttuneen varoventtiilin kautta ulos jäähdytyspiiristä. Laitoksen ohjaajat tulkitsivat tilanteen väärin ja pysäyttivät hätäjäähdytysjärjestelmän. Sydän ehti osittain sulaa ennen järjestelmän uutta käynnistystä. Suojarakennus esti merkittävät radioaktiivisten aineiden päästöt ympäristöön.

Ukrainassa sijaitsevan Tshernobylin ydinvoimalaitoksen reaktori hajosi räjähdysmäisesti Neuvostoliiton aikana vuonna 1986, kun reaktorissa normaalista tehoa tuottava ketjureaktio karkasi hallinnasta. Karkaaminen oli mahdollista, koska reaktorissa oli eräitä perustavaa laatua olevia suunnitteluvirheitä. Virheet on myöhemmin korjattu kaikissa yhä käytössä olevissa samantyyppisissä reaktoreissa.



Radioaktiivisten aineiden leviämisen peräkkäiset leviämissesteet ovat polttoaineen kaasutiivis suojakuori, primääripiiri ja suojarakennus. Radioaktiivisuutta on lähinnä polttoaineen sisällä. Suojarakennus suojaa ympäristöä voimalan vahingoilta ja voimalaa ympäristöstä tulevilta vaikutuksilta.

tävä ja kaasutiivis suojarakennus. Sen tehtävä on pitää sisällään jäähdytyspiirin vaurioituessa vapautuva radioaktiivisia aineita sisältävä höyry ja vesi.

Neljäs este on varsinaista suojarakennusta ympäröivä ulompi suojarakennus tai reaktorirakennus. Suojarakennusten väliin

jäävästä tilasta imetään ilmaa suodattimien kautta ulos, jolloin sisemmästä suojarakennuksesta mahdollisesti vuotavat radioaktiiviset aineet jäävät suodattimiin. Ulomman suojarakennuksen tehtävänä on myös suojata reaktoria ulkoisilta uhkatekijöiltä, kuten lentokoneen törmäykseltä.

Normaalikäytön aikana polttoainesauvojen suojakuoressa voi olla satunnaisia vuotoja, joiden seurauksena jäähdytyspiirin veteen voi vapautua vähän radioaktiivisia aineita. Pieniä määriä radioaktiivisia aineita syntyy myös rakennemateriaalien tai jäähdytysvedessä olevien aineiden aktivoitumisen, kun reaktorissa syntyvät neutronit törmäävät niihin.

Normaalikäytön aikana ydinvoimalaitoksen prosesseista poistetaan pieniä määriä jäähdytysvettä ja kaasuja. Kaasut poistetaan suodatettuina ilmastointipiipun kautta ilmakehään ja vedet lasketaan puhdistettuina mereen. Niiden mukana ympäristöön vapautuu erittäin pieniä määriä radioaktiivisia aineita.

Suomessa radioaktiivisten aineiden päästöt ovat olleet niin vähäisiä, että laitoksen lähellä asuville aiheutuneet säteilyannokset ovat olleet alle tuhannesosa luonnon taustasäteilyn aiheuttamasta säteilyaltistuksesta.

Päätavoitteena vakavien onnettomuuksien estäminen

Ydinvoimalaitos on ympäristön kannalta turvallinen, kun radioaktiiviset aineet pystytään pitämään laitoksen sisällä. Turvallisuussuunnittelun päämäärä onkin estää sellainen vakava onnettomuus, jossa reaktoriin kertyneitä radioaktiivisia aineita voisi vapautua polttoaineesta ja päästä ulos laitokselta. Länsimaisissa voimalaitoksissa tässä on onnistuttu hyvin.

Vain sellainen onnettomuus, joka vaurioittaisi sekä reaktoria että suojarakennusta voisi lisätä merkittävästi ympäristön asukkaiden säteilyaltistusta. Alle 20 kilometrin etäisyydellä onnettomuusreaktorista olevat ihmiset voisivat vakavan onnettomuuden sattuessa kärsiä välittömistä terveyshaitoista.

Vaikka välittömiä säteilyhaittoja ei esiintyisikään, onnetto-

muuden aiheuttama säteilyaltistus saattaa aiheuttaa joidenkin altistuneiden henkilöiden sairastumisen syöpään muutaman vuoden kuluttua. Lisäksi säteilyaltistuksen rajoittamiseksi tehtävät toimenpiteet hankaloittaisivat ihmisten elämää.

Reaktorin sammutus ja jäähdytys turvattava

Reaktorin vaurioituminen voisi johtua siitä, että ketjureaktion hallinta menetetään, reaktorin teho nousee äkillisesti ja polttoaine ylikuumenee. Tällaisen tapahtuman mahdollisuus on hyvin suunnitellussa reaktorissa kuitenkin käytännöllisesti katsoen poissuljettu.

Reaktorin sammutus varmistetaan häiriötilanteissa kahdella varmatoimisella riippumattomalla järjestelmällä. Suomessa käytettävät ydinreaktorit on lisäksi suunniteltu sellaisiksi, että häiriöiden yhteydessä niiden luonnonlakeihin perustuvat ominaisuudet hillitsevät ketjureaktion voimistumista.

Suurin onnettomuusriski johtuu siitä, että radioaktiivisten fission tuotteiden hajoaminen kehittää reaktorissa lämpöä vielä ketjureaktion pysähtymisen jälkeenkin. Mikäli polttoainesauvoja jäähdyttävä vesi menetetään, sauvat ylikuumenevat ja vaurioituvat.

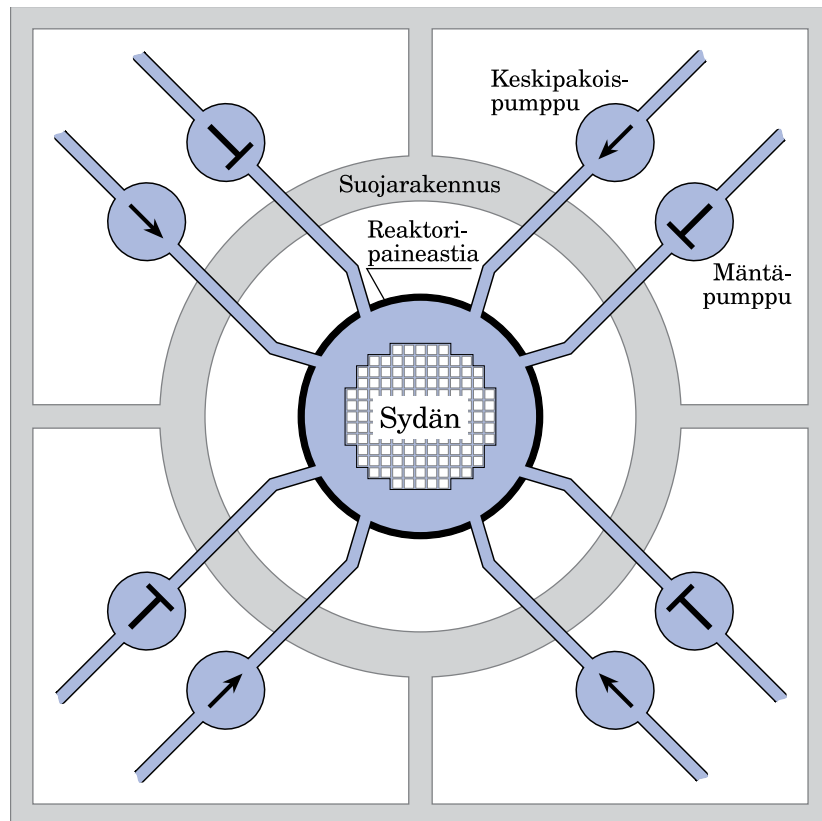
Vesi voi hävitä, jos jäähdytyspiiriin tulee vuoto. Ylikuumenemisen estämiseksi reaktori varustetaan hätäjäähdytysjärjestelmillä, jotka syöttävät reaktoriin uutta vettä. Vesi voi hävitä myös kiehumalla, ellei lämpöä saada siirrettyä pois reaktorin jäähdytyspiiristä. Lämmönsiirto reaktorin jäähdytyspiiristä meriveteen voidaan hoitaa useilla rinnakkaisilla jäähdytyspiireillä.

Sähkönsaannin varmistaminen on oleellinen osa ydinvoimalaitoksen turvallisuuden varmistamista, sillä useimmat turvallisuusjärjes-

telmät käyttävät sähkövirtaa. Sähkökatkon estämiseksi käytetään useita rinnakkaisia sähkölähteitä. Voimalaitoksilla on useita yhteyksiä valtakunnalliseen sähköverkkoon sekä suora yhteys lähistön muille voimalaitoksille. Lisäksi käytettävissä on useita laitoksen omia dieselkäyttöisiä varavoimageraattoreita. Yksikin niistä riittää tärkeimpien turvallisuusjärjestelmien käyttämiseen. Joitain

turvallisuusjärjestelmiä voidaan käyttää myös suoraan omilla dieselmoottoreillaan.

Eräissä uusissa reaktorisuunnitelmissa on mukana passiivisia, ilman sähköä tai muuta ulkoista käyttövoimaa toimivia turvallisuusjärjestelmiä. Niiden toiminta perustuu maan vetovoimaan, lämpötilaeroihin tai kaasunpaineeseen. Passiivisia turvallisuusratkaisuja on käytössä jo nykyis-



Olkiluodon voimalaitoksen hätäjäähdytysjärjestelmissä on neljä osajärjestelmää, joista kahden toiminta riittää reaktorin jäähdyttämiseen (rinnakkaisperiaate). Hätäjäähdytykseen voidaan lisäksi käyttää erilaisiin teknisiin ratkaisuihin, kuten keskipakoispumppuun tai mäntäpumppuun, perustuvia järjestelmiä (erilaisuusperiaate). Tulipalojen ja ulkoisten uhkien vaikutuksen vähentämiseksi osajärjestelmät on sijoitettu erillisiin tiloihin eri puolille reaktoria (erotteluperiaate).

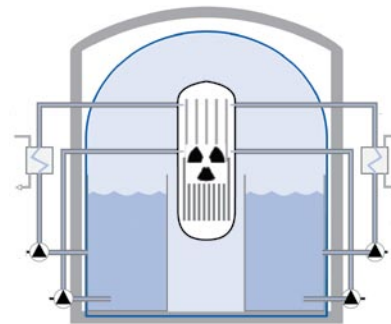
Radioaktiiviset aineet ja säteily

Fissioreaktio tapahtuu neutronin (sähköisesti varaukseton alkeishiukkanen) osuessa uraaniyttimeen, joka halkeaa kahdeksi kevyemmäksi ytimeksi ja samalla vapautuu muutama uusi neutroni. Nämä voivat puolestaan aiheuttaa uusia fissioita, syntyy ketjureaktio.

Fissiossa syntyy radioaktiivisia aineita. Ne ovat epävakaita ja hajoavat itsestään toisiksi alkuaineiksi. Hajoamisen yhteydessä ytimistä lähtee ionisoivaa säteilyä, joka on haitallista ihmisille ja elolliselle ympäristölle. Radioaktiivisia aineita syntyy ydinreaktoreissa myös neutronien aiheuttamissa aktivoitumisreaktioissa esimerkiksi rakennemateriaaleissa ja jäähdytysveden epäpuhtauksissa.

Suuren ainemäärän hajoamisnopeutta voidaan kuvata puoliintumisajalla, jonka kuluessa puolet alkuperäisistä ytimistä hajoaa. Puoliintumisajat voivat eri aineilla vaihdella sekunnin murto-osasta miljardeihin vuosiin.

Radioaktiiviset ytimet lähettävät säteilyä vain hajoamisen yhteydessä. Kun radioaktiivinen aine on yhden tai useamman hajoamisen tuloksena muuttunut vakaaksi, se ei enää lähetä säteilyä.



säkin laitoksissa. Esimerkiksi Loviisan ydinvoimalaitoksessa on kaasunpaineen avulla purkautuvat hätäjäähdytysvälikammiot.

Jos onnettomuutta ei saataisi hallintaan ja reaktori kuivuisi ja ylikuumenisi, radioaktiivisia aineita pääsisi ympäristöön vain, jos kaasutiivis ja ylipainetta kestävä suojarakennus vaurioituisi.

Turvallisuustavoitteet ovat kiristyneet

Nykyisin käytössä olevia ydinvoimalaitoksia suunniteltaessa 1960- ja -70-luvuilla katsottiin, että vakavan reaktorivaurion todennäköisyys on häviävän pieni eikä laitoksen rakenteita ole tarpeen suunnitella sen varalle. Sittemmin on onnettomuuden todennäköisyyttä pystytty vielä olennaisesti pienentämään. Samaan aikaan on turvallisuustavoitteita nostettu. 1970-luvulta lähtien onkin kiinnitetty yhä enemmän huomiota sydämen sulamiseen johtavien

vakavien onnettomuuksien mahdollisuuteen ja niiden seurausten rajoittamiseen.

Suomessa vaaditaan, että edes sydämen sulaminen ei saa johtaa suuriin radioaktiivisten aineiden päästöihin.

Turvallisuus on varmistettu monin tavoin

Turvallisuussuunnittelun lähtökohdaksi valitaan pahimmat mahdollisina pidettävät tapahtumat ja olosuhteet. Suunnittelussa otetaan huomioon laitoksen sisäiset tapahtumat kuten putkimurtumat ja tulipalot sekä ulkoiset tapahtumat kuten poikkeukselliset sääilmiöt, maanjäristykset ja lentokoneiden törmäykset.

Kaikkien näiden tapahtumien yhteydessä on kyettävä varmistamaan reaktorin sammutus ja jäähdytys sekä estämään radioaktiivisten aineiden leviäminen. Tätä varten suunnitellaan turvallisuusjärjestelmät, joiden toiminta

ja mitoitukset perustuvat laskennallisiin onnettomuusanalyysiin ja kokeelliseen tietoon. Laitoksen suunnittelun tasapainoisuutta arvioidaan myös tilastollisten ja todennäköisyyspohjaisten menetelmien avulla.

Ympäristön turvallisuudesta huolehditaan

Vaikka kaikki turvallisuusjärjestelmät pettäisivät ja radioaktiivisten aineiden päästöön johtava onnettomuus tapahtuisi, ympäristön turvallisuudesta on huolehdittava. Tämän takia ydinvoimalaitoksilla ja viranomaisilla on ennalta laaditut valmiussuunnitelmat. Onnettomuustilanteessa pelastusviranomaiset ja Säteilyturvakeskus seuraavat ympäristön säteilytasoa ja antavat ohjeita suojautumisesta.

TURVAJÄRJESTELMIEN SUUNNITELUN PERIAATTEET

Rinnakkaisperiaate

- Monia toisiaan korvaavia identtisiä osajärjestelmiä.
- Turvallisuustehtävä täytetään, jos esimerkiksi kaksi neljästä tai yksi kolmesta osajärjestelmästä toimii.

Erotteluperiaate

- Rinnakkaiset osajärjestelmät suunnitellaan niin, että niiden yhtäaikainen vaurioituminen on epätodennäköistä.
- Osajärjestelmät sijoitetaan eri tiloihin tai samassa tilassa kauas toisistaan.
- Osajärjestelmät erotetaan toisistaan toiminnallisesti ja toisiinsa liittyvien järjestelmien haitalliset vuorovaikutukset estetään.

Eri toimintaperiaatteiden käyttö

- Sama toiminto toteutetaan eri toimintaperiaatteisiin perustuvilla järjestelmillä.
- Esimerkiksi reaktorin sammuttaminen voidaan tehdä säätösauvojen avulla tai pumpaamalla booriliuosta reaktoriin.

Turvallisen tilan periaate

- Jos laite menettää käyttövoimansa, se päättyy laitoksen turvallisuuden kannalta mahdollisimman turvalliseen tilaan.
- Esimerkiksi sähkönsyötön menetys turvajärjestelmien käynnistämistä huolehtivassa suojausjärjestelmässä johtaa turvajärjestelmien käynnistymiseen.

Riittävä harkinta-aika

- Onnettomuuden alkuvaiheessa tarvittavat turvallisuustoimenpiteet käynnistyvät automaattisesti.
- Ohjaajille jää riittävästi aikaa harkita jatkotoimenpiteitä, tyypillisesti 30 minuuttia.
- Henkilökunta voi ryhtyä toimenpiteisiin aikaisemminkin, mutta automaattisia toimenpiteitä ei voida pysäyttää, ellei tilanne ole palannut normaaliksi.

Turvallisuus varmistetaan monella tasolla

Ydinvoimalaitoksen turvallisuuden varmistamisessa on syvyyttä siten, että yksittäiset viat tai inhimilliset virheet eivät vaikuta merkittävästi laitoksen turvallisuuteen kokonaisuudessaan. Jopa turvallisuuden tahallinen vaarantaminen estetään luotettavasti.

Ennalta ehkäisy

Ydinvoimalaitoksen tärkeiden laitteiden suunnittelussa sovelletaan korkeita laatuvaatimuksia ja riittäviä turvallisuusmarginaaleja. Suunnittelussa pyritään myös luontaisesti vakaisiin, epänormaaleja olosuhteita korjaaviin ratkaisuihin. Erityisesti reaktori suunnitellaan niin, että luontaiset takaisinkytkennät pyrkivät estämään tehon hallitsemattoman kasvun.

Voimalaitoksen laitteet luokitellaan turvallisuusmerkityksensä mukaan. Mitä tärkeämpään luokkaan laite kuuluu, sitä korkeampaa laatua vaaditaan sen valmistukselta ja kunnossapidolta.

Jotta voimalaitosta käytettäisiin mahdollisimman turvallisesti, kiinnitetään huomiota laadunvarmistukseen sekä erityisesti organisaation toimintaan, menettelytapoihin, koulutukseen ja ohjeistoon.

Suojaus

Onnettomuuksien varalta ydinvoimalaitokset varustetaan järjestelmillä, jotka havaitsevat häiriöt ja estävät niiden kehittymisen vakaviksi onnettomuuksiksi. Näillä järjestelmillä varmistetaan erityisesti reaktorin sammutus, reaktorisydämen jäädytys ja jälkilämmön poisto.

Seurauksien lieventäminen

Jos onnettomuutta ei pystytä ehkäisemään eikä estämään sen kehittymistä, on vielä mahdollista lieventää sen seurauksia. Tällöin on tärkeintä varmistaa, että suojarakennukseen liittyvät järjestelmät toimivat.

Ydinvoimaan liittyvät riskit johtuvat reaktorissa syntyvien radioaktiivisten aineiden suuresta määrästä. Näiden aineiden pääsy ympäristöön on estettävä. Tämän vaatimuksen täyttäminen varmistetaan moninkertaisin järjestelyin.

Lisätietoa

Katsaukset

Säteilyvaara ja suojautuminen (Syyskuu 2008)

Säteilyn terveysvaikutukset (Huhtikuu 2006)

Säteily- ja ydinturvallisuus -kirjasarja

Säteily ja sen havaitseminen

Säteily ympäristössä

Säteilyn terveysvaikutukset

Ydinturvallisuus

www.stuk.fi



Laippatie 4, 00880 Helsinki
Puh. (09) 759 881, fax (09) 759 88 500
www.stuk.fi

Yliopistopaino
Helsinki 2008