

YDINVOIMALA- ONNETTOMUUDET



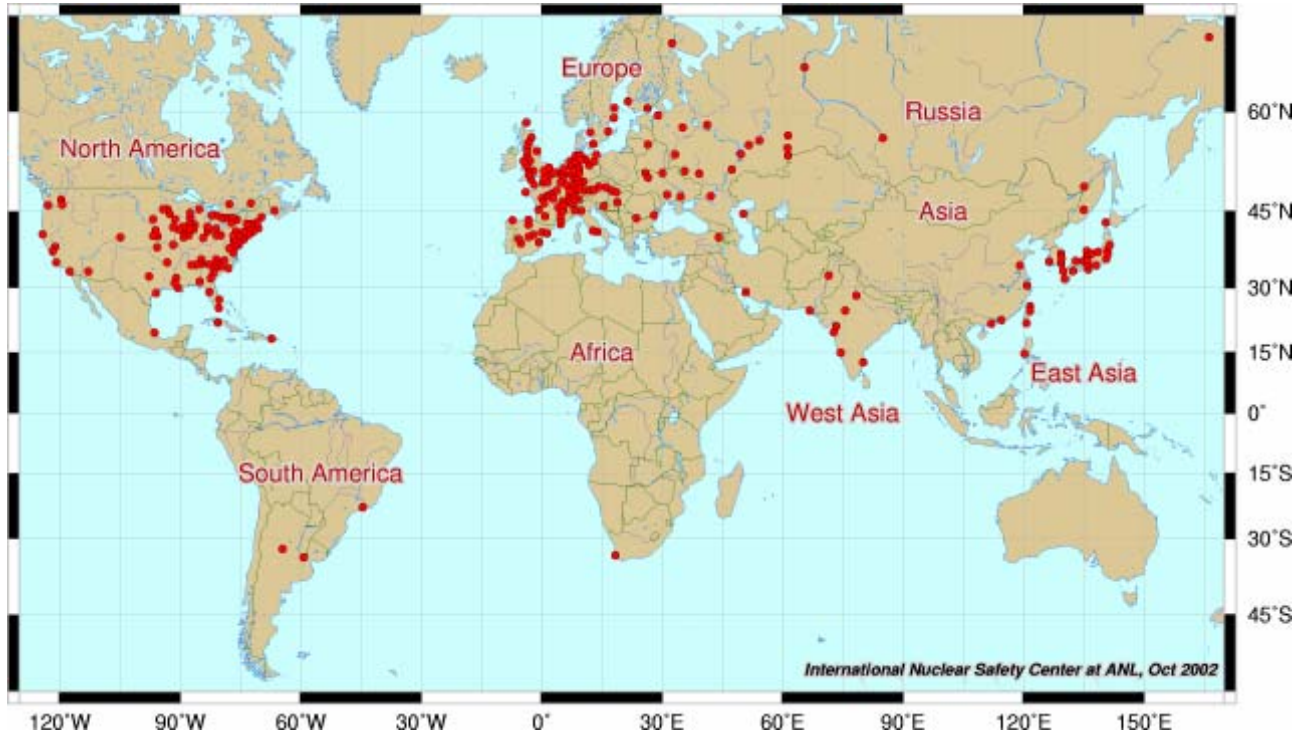
**MAIJA KAJOS
SUVI VIRTANEN**

1. Johdanto	s. 2
2. Yleistä	
2.1 Radioaktiivisuudesta	s. 3
2.2 Säteilyn terveysvaikutukset	s. 4
2.3 Ydinlaitokset	s. 5
3. Onnettomuuksien kansainvälinen vakavuusasteikko (INES)	s. 6
3.1 Luokitteluasteikko	s. 6
3.2 Luokiteltavat tapahtumat	s. 8
3.3 Ydinvoimalaitostapahtumat Suomessa	s. 8
4. Ydinonnettomuuksia 50 vuoden ajalta	s. 9
4.1 Windscalen reaktorionnettomuus	s. 11
4.2 Harrisburgin reaktorionnettomuus	s. 12
4.3 Tshernobylin ydinvoimalaonnettomuus	s. 12
4.3.1 Radioaktiivisten päästöjen kulkeutuminen	s. 14
5. Yhteenveto	s. 16
6. Viitteet	s. 17
7. Lähdeluettelo	s. 17

Kannen kuva: Miehet suorittavat säteilymittausta pellolla 30 kilomertin etäisyydellä Tshernobylin onnettomuusreaktorista toukokuussa 1986

1.Johdanto

Vuonna 2001 maailmassa oli kaupallisessa käytössä 438 ydinreaktoria ja rakennusvaiheessa 31 reaktoria. Käytössä olevien reaktoreiden yhteenlaskettu sähköteho oli noin 353 gigawattia.



Kuva 1. Maailman ydinvoimalaitosten sijaintipaikat vuonna 2002. Pisteet eivät siis kuvaa reaktoreiden lukumäärää, vaan samassa paikassa voi olla useampi reaktori. [1]

Suurimpia vaaratekijöitä ydinvoiman tuotossa ovat mahdolliset onnettomuudet itse ydinvoimalaitoksella, kuljetusonnettomuudet ja onnettomuudet käytetyn ydinpolttoaineen käsittelylaitoksilla. [2]

Vaikka reaktoreiden turvallisuuden hyväksi on tehty paljon työtä, ydinvoimaloissa on sattunut muutama sellainen onnettomuus, joista radioaktiivisia aineita on levinnyt ympäristöön. Normaalioloissa ei pienessä määrin ympäristöön pääsevistä radionuklideista ole väestölle terveydellistä haittaa.

2. Yleistä

2.1 Radioaktiivisuudesta

Radioaktiivisen aineen *aktiivisuus* ilmaisee, kuinka monta ydinmuutosta aineessa tapahtuu yhden sekunnin aikana. Aktiivisuuden yksikkönä käytetään becquerelia (Bq). Yksi becquerel tarkoittaa yhtä ydinmuutosta (ytimen virittyneen tilan laukeamista) sekunnissa. Becquerel on pieni yksikkö, joten usein käytetään myös yksiköitä kilobecquerel (kBq) ja megabecquerel (MBq). Aktiivisuus ilmaistaan usein aktiivisuutena paino- tai tilavuusyksikköä kohti, eli aktiivisuuspitoisuutena. Tällöin yksikkönä on Bq/l, Bq/kg tai Bq/m³.

Säteilyannos on suure, jolla kuvataan ihmiseen kohdistuvan säteilyn haitallisia vaikutuksia. Säteilyannoksen yksikkö on sievert (Sv). Sievert on suuri yksikkö, joten annoksesta puhuttaessa käytetään yleensä joko millisievertejä (mSv) tai mikrosievertejä (μSv).

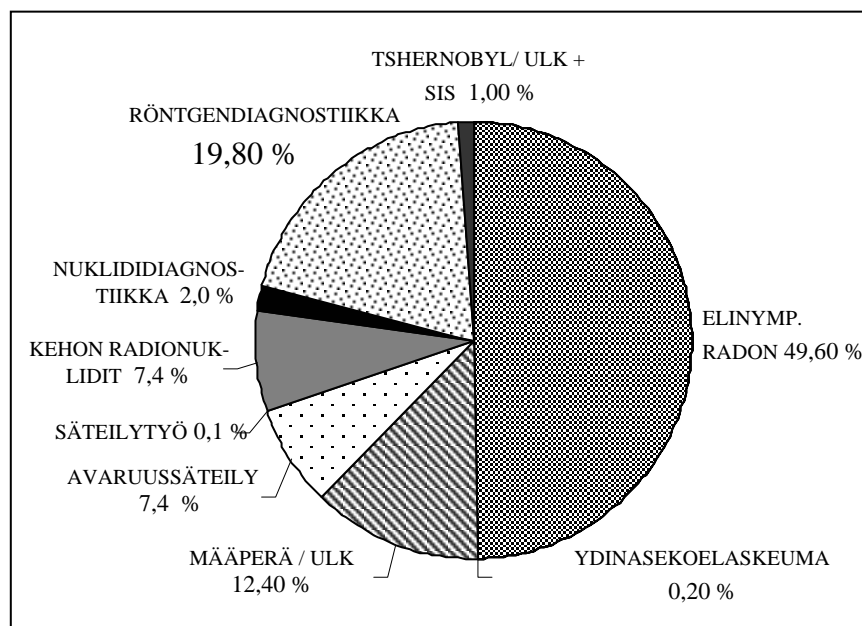
Ulkoisella säteilyannoksella tarkoitetaan kehon ulkopuoleisesta säteilylähteestä aiheutuvaa annosta ja sisäisellä annoksella kehossa olevista radioaktiivisista aineista aiheutuvaa annosta.

Annosnopeus ilmaisee, kuinka suuren säteilyannoksen ihminen saa tietyssä ajassa. Sen yksikkö on sievertiä tunnissa (Sv/h). Annosnopeudella kuvataan, kuinka vaarallista on oleskella tietyssä paikassa tietynlaisen säteilyn kohteena. Jos annosnopeus on suuri, lyhyessäkin ajassa saa suuren säteilyannoksen.

Suomalaisen keskimääräinen säteilyannos eri säteilylähteistä on noin 4 mSv vuodessa, joka on korkeimpia maailmassa. Säteilyannoksesta noin puolet aiheutuu sisäilman radonista. Kehossa olevista luonnon radioaktiivisista aineista aiheutuu noin 0,3 mSv ja röntgentutkimuksista noin 0,5 mSv. Tshernobylin laskeumasta arvioidaan aiheutuvan noin 0,04 mSv:n säteilyannos vuodessa.

Radonin osuus elinympäristön aiheuttamassa säteilyannoksessa on Suomessa merkittävästi maailman keskiarvoa suurempi. Suomen kallioperän yleisimmissä kivilajeissa, graniitissa ja gneississä, on suhteellisen runsaasti uraania ja toriumia, joiden hajoamistuote radon on. [3]

Kuva 2. Eri lähteiden osuus Suomen väestön keskimääräisestä vuotuisesta säteilyannoksesta [4]



6000 mSv	Annos, joka äkillisesti saatuna saattaa johtaa kuolemaan
1000 mSv	Annos, joka alle vuorokaudessa saatuna aiheuttaa säteily sairauden oireita (esim. väsymystä ja pahoinvointia)
100 mSv	Säteilytyöntekijöille suurin sallittu annos viiden vuoden aikana
4 mSv	Suomalaiselle säteilystä (sisäilman radon, röntgentutkimukset jne.) aiheutuva keskimääräinen annos vuodessa
2 mSv	Annos, jonka lentokoneessa työskentelevä saa kosmisesta säteilystä vuodessa
0,1 mSv	Keuhkojen röntgenkuvauksesta potilaalle aiheutuva annos
0,01 mSv	Hammasröntgenkuvauksesta potilaalle aiheutuva annos

Taulukko 1. Esimerkkejä säteilyannoksista [5]

2.2 Säteilyn terveysvaikutukset

Ionisoiva säteily voi vahingoittaa elävien solujen perimää. Soluvaurion kannalta ei ole merkitystä, onko kyseessä luonnonsäteily vai keinotekoinen säteily. Sillä on kuitenkin merkitystä, että saako ihminen säteilyannoksen pitkän vai lyhyen ajan kuluessa. Pienikin säteilyannos lisää hieman syöpäriskiä. Lyhyen ajan kuluessa saatu suuri säteilyannos voi tuhota paljon soluja ja aiheuttaa säteily sairauden, paikallisen vamman tai sikiövaurion.

Kaikki säteilyn aiheuttamat terveyshaitat johtuvat solun perimän eli DNA-molekyylin vauriosta. Kuitenkaan läheskään kaikki DNA-vauriot eivät johda terveyshaittaan. Säteily voi jättää solun perimään pysyvän muutoksen, mutaation. Kun mutaatioita on kertynyt useita ja jos ne ovat sattuneet solun jakautumisen kannalta keskeisiin geeneihin, voi seurauksena olla syöpäkasvain. Nopeimmin ilmenevä syöpälaji on yleensä leukemia. Muiden syöpälajien ilmaantumiseen kuluu aikaa keskimäärin yli 10 vuotta. Kansainvälinen säteilysuojelukomitea ICRP on arvioinut, että jos ihminen altistuu pitkän ajan kuluessa yhteensä yhden sievertin säteilyannokselle, nousee syöpäkuolemariski keskimäärin viisi prosenttia.

Pienten säteilyannosten aiheuttamaa syöpäriskiä ei voi käytännössä havaita väestössä, koska syöpä on niin tavallinen tauti. Esimerkiksi Tshernobylin laskeuma, jonka kokonaisannos suomalaiselle on keskimäärin 2 mSv, saattaa arvion mukaan aiheuttaa noin 500 syöpäkuolemaa Suomessa 80 vuoden aikana. Samana aikana miljoona ihmistä kuolee kuitenkin syöpään muista syistä, joten arvio Tshernobylin onnettomuuden vaikutuksista jää pelkästään laskennalliseksi.

Vakavassa säteilyonnettomuudessa kilpirauhasta voidaan suojata joditableteilla. Etenkin lasten on tärkeää ottaa joditabletteja, sillä säteily aiheuttaa lapsille herkemmin syöpää kuin aikuisille.

Raskauden aikana on vältettävä turhaa altistusta säteilylle. Pienehköt säteilyannokset eivät lisää epämuodostumien määrää, vaan lisää syntyvän lapsen riskiä sairastua syöpään.

Jos sikiö altistuu herkässä vaiheessa suurelle äkilliselle säteilyannokselle, saattaa lapsesta tulla pienikokoinen ja henkisesti jälkeenyäännyt. Muita kehityshäiriöitä on havaittu vasta erittäin suurten annosten jälkeen. Tällaiset säteilyannokset ovat seurausta äidille raskauden aikana annetusta sädehoidosta. Säteilyalistutus hyvin varhaisessa vaiheessa, ennen kuin raskaus on edes tiedossa, saattaa aiheuttaa varhaisen keskenmenon. Jos raskaus kuitenkin jatkuu, syntävä lapsi on todennäköisesti terve.

Paha palovamma voi syntyä sekunneissa, jos iho joutuu kontaktiin voimakkaan säteilylähteen kanssa. Vamma ei kuitenkaan tule heti näkyviin, vaan aluksi palanut ihoalue punottaa. Vasta parin viikon päästä iholle saattaa muodostua rakkuloita. Säteilypalovammojen hoito on usein vaikeaa ja hidasta. Vielä vuoden päästä alue saattaa mennä kuolioon, koska sen verenkierto on tuhoutunut.

Koko kehon altistuessa lyhyessä ajassa hyvin suurelle säteilyannokselle (yli yksi Sv), kehittyy säteilytauti. Jos ihminen saa lyhyessä ajassa 8 sievertin säteilyannoksen, on seurauksena lähes poikkeuksetta kuolema. Säteilytauti johtuu laaja-alaisesta solutuhosta. Herkimpiä säteilylle ovat elimet, joissa on runsaasti jakautuvia soluja.

Säteilyä ei havaitse astein. Ensimmäisenä oireena parin tunnin kuluessa on pahoinvointi, mutta varsinainen säteilytauti kehittyy vasta parin viikon kuluessa. Seurauksena on luuytimen lamaantuminen, joka johtaa kaikkien verisolujen määrän vähenemiseen ja sitä myötä infektioihin ja verenvuotoihin. Myös suoliston limakalvo vaurioituu. Säteilytauti johtaa kuolemaan noin kuukaudessa. Hyvällä hoidolla ennustetta voidaan parantaa.

Tavalliset kansalaiset ovat saaneet palovammaan, säteilytauteen tai kuolemaan johtaneita säteilyannoksia ainoastaan ydinaseiden käytön seurauksena sekä tilanteissa, joissa he ovat tietämättään käsitelleet voimakkaita teolliseen tai lääketieteelliseen käyttöön valmistettuja säteilylähteitä. [6]

2.3 Ydinlaitokset

Ydinvoimalaitokset ovat lämpövoimalaitoksia, joissa hiilen, kaasun tai öljyn sijaan lämmöntuottamiseen käytetään ydinhalkeamisessa eli fissiossa syntyvää lämpöenergiaa.

Ydinreaktorissa syntyvät radioaktiiviset aineet ovat peräisin fissiosta, tai ne syntyvät aktivoitumalla. Suurin osa syntyvistä radionuklideista on peräisin fissiosta. Halkeamistuotteet ovat radioaktiivisia, ja ne hajoavat edelleen radioaktiivisten välituotteiden kautta pysyviksi nuklideiksi.

Normaalitilanteissa fissiotuotteet pysyvät kaasutiiviiseen suojakuoreen suljettujen polttoainesauvojen sisällä. Suojakuoren vuotaessa pääsee jäähdytysveteen ja sieltä edelleen ympäristöön pieniä määriä fissiotuotteita.

Ydinvoimalaitosten reaktorit suunnitellaan niin, että kaikkien kuviteltavissa olevien häiriöiden yhteydessä niiden ominaisuudet hillitsevät ketjureaktion voimistumista. Tällöin reaktori sammuu itseksensä vakavien häiriöiden, esimerkiksi jäähdytyspiirin vuodon, seurauksena. Rakenteensa vuoksi ydinvoimalaitos ei voi räjähtää kuten ydinräjähdä.

Reaktorissa olevat radioaktiiviset aineet synnyttävät säteillessään lämpöä myös ydinvoimalaitoksen pysäyttämisen jälkeen. Tämä mahdollistaa reaktorivaurion. Lyhytikäisimpien radionuklidien hajottua pysäytetty reaktori jäähtyy vähitellen. Jos polttoainesauvojen jäähdytysvesi vuotaa tai höyrystyy sauvojen ympäriltä, sauvat ylikuumenevat ja hajoavat. Jos reaktorin hätäjäähdytysjärjestelmää ei saada toimimaan, murtuneista polttoainesauvoista leviää fissio- ja aktivoitumistuotteita reaktorin sisätiloihin. Jos jäähdytystä ei vielä tässäkään vaiheessa saada toimimaan, saattaa polttoaine sulaa. Tässä tilanteessa on erittäin todennäköistä, ettei reaktorin suojarakennus pysty estämään radioaktiivisten aineiden leviämistä ympäristöön. [7]

3. Onnettomuuksien kansainvälinen vakavuusasteikko (INES)

Ydinvoimalaitosten tapahtumista tiedottamiseen on kiinnitetty paljon huomiota Tshernobylin onnettomuuden jälkeen. Tiedottamista on osaltaan edistänyt kansainvälinen ydinlaitostapahtumien vakavuusasteikko INES (international nuclear event scale). Vakavuusluokka on tarkoitettu ydinlaitosonnettomuuksista tiedottamiseen, ja se voidaan määrittää nopeasti tapahtumapaikalla.

INES-asteikko kehitettiin kansainvälisenä yhteistyönä, johon osallistuivat Kansainvälinen atomienergiajärjestö IAEA ja Taloudellisen yhteistyön ja kehityksen järjestö OECD.

Vuonna 1990 INES otettiin koekäyttöön. Asteikko hyväksyttiin ydinvoimalaitostapahtumien osalta viralliseen käyttöön 1992 ja muiden ydinlaitosten osalta 1994. Tällä hetkellä asteikko on käytössä 60 maassa.

Suomessa luokituksessa vastaa Säteilyturvakeskus (STUK). Käytäntönä on, että voimayhtiö esittää Säteilyturvakeskukselle ehdotuksen vakavuusluokaksi ja STUK päättää luokasta.

IAEA pitää yllä tiedonvaihtoverkoston INES-asteikkoa käyttävien maiden välillä, ja sille ilmoitetaan vakavuusluokkaan 2 ja sitä ylempiin luokkiin kuuluvat tapahtumat. Pyrkimyksenä on saada IAEA:lle arvio vakavuusluokasta vuorokauden sisällä tapahtumasta. Myös alempien luokkien tapahtumista ilmoitetaan, jos ne ovat herättäneet kansainvälistä mielenkiintoa. IAEA puolestaan välittää tiedon osallistuville maille.

3.1 Luokitteluasteikko

7	Erittäin vakava onnettomuus
6	Vakava onnettomuus
5	Ympäristölle vaaraa aiheuttava onnettomuus
4	Laitosonnettomuus
3	Vakava turvallisuuteen vaikuttava onnettomuus
2	Merkittävä turvallisuuteen vaikuttava tapahtuma
1	Poikkeuksellinen turvallisuuteen vaikuttava tapahtuma
0	Ei merkitystä ydin- eikä säteilyturvallisuuden kannalta

Onnettomuuksien luokitteluperusteissa on otettu huomioon vaikutus ympäristöön, laitoksen turvallisuuteen ja säteilytilanteeseen sekä turvallisuuden varmistamiseen.

Luokka 7: Erittäin vakava onnettomuus

Suuressa ydinvoimalaitoksessa olevien radioaktiivisten aineiden merkittävä vapautuminen ympäristöön. Tällaiselle päästölle on tyypillistä, että se sisältää sekä lyhyt- että pitkäaikaisia fissiotuotteita. Onnettomuus saattaa aiheuttaa välittömiä terveyshaittoja, myöhemmin ilmeneviä terveyshaittoja laajoilla alueilla, jopa useissa maissa, sekä pitkäaikaisia ympäristövaikutuksia.

Esimerkkinä Tshernobylin onnettomuus Neuvostoliitossa (nyk. Ukraina) vuonna 1986.

Luokka 6: Vakava onnettomuus

Radioaktiivisten aineiden vapautuminen laajalle alueelle ympäristöön. Tällainen päästö johtaa vastatoimenpiteiden käynnistämiseen vakavien terveyshaittojen rajoittamiseksi.

Esimerkkinä Kyshtymin jälleenkäsittelylaitoksen onnettomuus Neuvostoliitossa vuonna 1957.

Luokka 5: Ympäristölle vaaraa aiheuttava onnettomuus

Radioaktiivisten aineiden vapautuminen ympäristöön. Tällainen päästö johtaa vastatoimenpiteisiin säteilyn myöhäisvaikutusten rajoittamiseksi.

Vaihtoehtoisesti vakavia vaurioita ydinlaitoksessa. Kysymykseen voi tulla ydinvoimalaitoksen reaktorin laaja vaurio, suuri hallitsematon tehonnousu (kriittisyys onnettomuus), tulipalo tai räjähdys, jonka seurauksena merkittävä määrä radioaktiivisia aineita leviää laitoksen tiloihin. Esimerkkeinä Windscalen reaktorionnettomuus Iso-Britanniassa 1957 ja Harrisburgin onnettomuus Yhdysvalloissa 1979

Luokka 4: Laitosonnettomuus

Radioaktiivisia aineita vapautuu ympäristöön, jolloin mahdollisesti tarvitaan joitakin laitoksen ulkopuolisia valvontatoimenpiteitä.

Onnettomuuden seurauksena yksi tai useampi laitoksen työntekijä kuolee samaansa säteilyannokseen.

Merkittäviä vaurioita ydinlaitoksessa, esimerkiksi reaktorin osittainen sulaminen, joka saattaa aiheuttaa pitkäaikaisen keskeytyksen reaktorin käyttöön.

Esimerkkeinä Windscalen jälleenkäsittelylaitoksen onnettomuus 1973, Saint Laurentin reaktorionnettomuus Ranskassa 1980 ja Buenos Airesin tutkimusreaktorionnettomuus 1983.

Luokka 3: Vakava turvallisuuteen vaikuttava tapahtuma

Vähäisiä päästöjä ympäristöön. Laitoksen ulkopuolisia vastatoimenpiteitä ei tarvita.

Tapahtuma, josta seuraa työntekijöille välittömiä terveyshaittoja aiheuttavia säteilyannoksia, tai huomattava määrä radioaktiivisia aineita leviää laitoksen sisätiloihin siten, että ne voidaan ottaa talteen ja varastoida jätteenä.

Tapahtuma, jossa yksittäinen turvajärjestelmän lisävika saattaisi johtaa onnettomuuteen tai tarvittavat turvajärjestelmät olisivat toimintakyvyttömiä estämään onnettomuuden häiriötilanteen seurauksena. Radioaktiivisten aineiden leviämistä ovat heikentyneet merkittävästi.

Esimerkkinä Vandellozin ydinvoimalaitoksen tulipalo Espanjassa vuonna 1989.

Luokka 2: Merkittävä turvallisuuteen vaikuttava tapahtuma

Tapahtuma, jossa on merkittävä puute turvallisuuteen vaikuttavissa tekijöissä, mutta joissa turvallisuus on edelleen varmistettu mahdollisesta lisäviasta huolimatta.

Tapahtuma, josta aiheutuu työntekijälle annosrajan ylittävä säteilyannos. Tapahtuma, joka johtaa radioaktiivisten aineiden merkittävään vapautumiseen laitoksen sisätiloissa alueille, joihin niiden ei ole suunniteltu pääsevän. Saastuneet tilat vaativat puhdistuksen ennen uudelleen käyttöönottoa.

Esimerkkinä Suomen ydinvoimalaitosilta Olkiluoto 2:n kytkinlaitosrakennuksen tulipalo vuonna 1991, sekä Loviisa 2:n sekundääripiirin syöttövesiputken katkeaminen vuonna 1993, joka johtui eroosiokorroosiosta aiheutuneesta putkien syöpymisestä.

Luokka 1: Poikkeuksellinen turvallisuuteen vaikuttava tapahtuma

Olellisesti normaalista poikkeava toiminta tai laitoksen käyttötila, joka voi olla seurausta laiteviasta, käyttövirheestä tai puutteellisista menettelytavoista.

Esimerkkinä pienen primääriputken katkeaminen edellyttäen, että kaikki katkeamisen varalle olevat turvajärjestelmät toimivat suunnitellusti. Luokkaan 1 voi kuulua myös jonkin turvajärjestelmän usean rinnakkaisen osan toimimattomuus, vaikka turvajärjestelmää ei kyseisessä tilanteessa tarvittaisikaan.

Luokka 0: Poikkeuksellinen tapahtuma

Tapahtuman turvallisuusmerkitys on niin vähäinen, ettei sitä voida sijoittaa varsinaiselle asteikolle. Luokkaan 0 kuuluu esimerkiksi reaktorin nopea pysäytys (pikasulku), jos kaikki laitoksen järjestelmät toimivat tilanteessa suunnitellulla tavalla. [8, 9]

3.2 Luokiteltavat tapahtumat

Ydinvoimalaitosten lisäksi myös muiden ydinlaitosten tapahtumien luokitteluun voidaan käyttää INES-asteikkoa. Tällaisia ovat esimerkiksi ydinjätevarastot, jälleenkäsittelylaitokset ja tutkimusreaktorit, sekä myös ydinpolttoaine- ja ydinjätehuollossa tarvittavissa kuljetuksissa sattuneisiin onnettomuuksiin. Luokitukset 6 ja 7 eivät kuitenkaan voi käytännössä olla muita kuin ydinvoimalaitoksissa tai ydinpolttoaineen jälleenkäsittelylaitoksissa tapahtuvia onnettomuuksia.

Suomessa INES-luokitusta käytetään seuraavissa laitoksissa tai toiminnoissa sattuneille tapahtumille: ydinvoimalaitokset, Otaniemen tutkimusreaktori, ydinjätteiden käsittely-, varastointi- ja loppusijoituslaitokset sekä tuoreen ja käytetyn ydinpolttoaineen käsittely, varastointi ja kuljetukset. STUK päättää tapauskohtaisesti näiden tapahtumien INES-luokan määrittämisestä. [10]

3.3 Ydinvoimalaitostapahtumat Suomessa

Suomen ydinvoimalaitosten tapahtumat ovat olleet korkeintaan luokkaa 2. [10]

vuosi	tapahtumien lkm	
	INES 1	INES 2
1977	1	0
1978	7	0
1979	2	0
1980	4	0
1981	8	1
1982	1	0
1983	2	0
1984	5	0
1985	3	1
1986	9	0
1987	2	1
1988	2	1
1989	4	1
1990	3	0
1991	2	1
1992	2	0
1993	3	1
1994	4	0
1995	5	0
1996	0	0
1997	4	0
1998	3	0
1999	5	0
2000	1	0
2001	1	0
2002	2	0
2003	7	0

4. Ydinonnettomuuksia 50 vuoden ajalta

Seuraavassa on listattu ydinonnettomuuksia. Lista sisältää ydinvoimalaonnettomuuksien lisäksi mm. kooreaktorionnettomuuksia ja onnettomuuksia jälleenkäsittelylaitoksissa.

1952 Kanada, Chalk River NRX-kooreaktori

Kooreaktorin ydin sulii, jonka seurauksena säteilyä pääsi ympäristöön. Puhdistukseen osallistui satoja työntekijöitä, joista ei ole tehty julkista terveysseurantaa.

1955 Yhdysvallat, EBR-I Idaho Falls

Testin aikana kooreaktorin ydin sulii osittain ja säteilyä levisi laajalle alueelle. Reaktori oli sellaista tyyppiä, että se olisi voinut teoriassa räjähtää kuin atomipommi. Kyseinen reaktori oli ensimmäinen hyödyntämiskelpoista sähköenergiaa tuottava ydinreaktori.

1957 Iso-Britannia, Windscafen ydinreaktori (nykyinen Sellafield)

Ydinreaktorin ydin sulii reaktoripalon seurauksena. Reaktorin räjähdys ja suurkatastrofi olivat hyvin lähellä. Noin 500 neliökilometriä maata saastui ja ainakin 100 ihmistä kuoli tai kuolee syöpään radioaktiivisten aineiden vuoksi.

1957 Neuvostoliitto, Kyshtym polttoainekäsittelylaitos

Polttoainesäiliö räjähti sen jäähtymisen pettäessä, jolloin 70-80 tonnia radioaktiivisia aineita pääsi ympäristöön. Arviolta 300 ihmistä kuoli ja tuhansia evakuoitiin kodeistaan. Onnettomuutta pidetään Tshernobylin jälkeen vakavimpana ydinonnettomuutena.

1958 Kanada, Chalk River NRU-kooreaktori

Useita polttoainesauvoja ylikuumeni ja rikkoontui reaktorin ytimessä, ja yksi sauvoista syttyi tuleen. Tuuletusjärjestelmän aukijumittumisen seurauksena radioaktiivisia aineita pääsi ympäristöön. Satoja onnettomuuden puhdistukseen osallistuneita työntekijöitä altistui säteilylle.

1961 Yhdysvallat, SL-1-koevoimala Idaho Falls

SL-1 reaktorin hallinta menetettiin ja reaktorirakennus murtui. Kolme työntekijää sai surmansa. Radioaktiivisia aineita pääsi ympäristöön. Onnettomuudessa kuolleiden miesten ruumiit olivat niin radioaktiivisia, että heidät haudattiin lyijyarkuissa, ja kädet piti varastoida erikseen muun ydinjätteen kanssa. Onnettomuuden yhtenä mahdollisena syynä on pidetty sabotaasia.

1966 Yhdysvallat, Fermi1-kooreaktori

Jäähtytysjärjestelmän rikkoutumisen seurauksena reaktorin ydin sulii osittain. Suuronnettomuus vältettiin täpärästi. Reaktori tuhoutui lopullisesti eikä sitä ole voitu puhdistaa, vaan se täytyy kokonaisuudessaan loppusijoittaa.

1967 Iso-Britannia, Chapelcrossin ydinreaktori

Yksi reaktorin ytimistä sulii osittain polttoainesauvojen rikkoontuttua. Plutoniumia ja muita radioaktiivisia aineita pääsi ilmakehään. Reaktori pysyi suljettuna kaksi vuotta. Onnettomuuden vakavuutta ja laajuutta peiteltiin useita vuosi.

1969 Sveitsi, Lucensin maanalainen kooreaktori

Jäähtytysjärjestelmän rikkoutumisesta seuranneessa onnettomuudessa suuria määriä säteilyä saastutti reaktoriluolaston. Onnettomuuden jälkeen luolasto suljettiin ja tukittiin.

1969 Ranska, Saint Laurentin ydinvoimala

Polttoaineen lastausvirhe aiheutti reaktoriytimen osittaisen sulamisen, jolloin radioaktiivisia aineita pääsi ympäristöön. Reaktori suljettiin vuodeksi.

1979 Yhdysvallat, Three Mile Island (Harrisburg)

Reaktori oli ollut toiminnassa vain kolme kuukautta, kun reaktorin ydin suli osittain ja radioaktiivisia aineita pääsi ympäristöön. Onnettomuuden aiheutti venttiilin jumiutuminen, jonka jälkeen työntekijät tekivät useita tulkinta- ja toimenpidevirheitä. Suuronnettomuus vältettiin täpärästi. Noin 100 000 ihmistä evakuoitiin voimalan lähialueilta. Radioaktiivisia aineita levisi runsaasti laitoksen sisätiloihin, mutta päästöt ympäristöön olivat vähäiset. Laitoksen sisäisten vaikutusten perusteella onnettomuus kuului luokkaan 5. Harrisburgin onnettomuus oli vakavin ydinonnettomuus Yhdysvalloissa.

1980 Ranska, Saint-Laurentin ydinvoimala

Ydinreaktori suli osittain polttoaineen vaihdossa tapahtuneessa onnettomuudessa. Reaktorirakenteesta irronnut metallilevy tukki kahden polttoainepun jäädytysvirtauksen, jonka seurauksena oli vakavia polttoainevaurioita. Radioaktiivisten aineiden päästöjä ympäristöön ei tapahtunut, mutta laitoksen sisäisten vaikutusten perusteella onnettomuus kuuluu luokkaan 4.

1981 Japani, Tsurugan ydinvoimala

Korjaustöiden yhteydessä voimalan sisällä sattui suuri radioaktiivinen vuoto, jolloin yli 70 työntekijää altistui säteilylle. Tapahtumaa peiteltiin 40 päivää. Vuoden 1981 aikana myös useita pienempiä vuotoja, ja kaiken kaikkiaan lähes 300 työntekijää altistui merkittävästi säteilylle. Myöhemmin ilmeni, että jo vuonna 1975 voimalaan oli vuotanut 13 tonnia radioaktiivista vettä, eikä tapahtumasta oltu raportoitu viranomaisille.

1983 Argentiina, Buenos Aires

RA-2-tutkimusreaktorissa tapahtui tehon äkillinen lyhytaikainen nousu (kriittisyysonnettomuus). Syynä onnettomuuteen oli, ettei turvallisuusohjeita noudatettu tehtäessä reaktorisydämeen muutoksia. Onnettomuus aiheutti 3-4 metrin päässä työskennelleen ohjaajan kuoleman.

1986 Neuvostoliitto, Tshernobylin ydinvoimala

Tähän saakka vakavin ydinonnettomuus, jonka takia suuria alueita saastui asuinkelvottomaksi. Onnettomuusvuoden aikana 116 000 ihmistä ja myöhemmin kymmeniä tuhansia joutui kodeistaan evakkoon. Tshernobylin ydinonnettomuuden takia kuoli tai kuolee arviolta jopa 30 000 ihmistä. Onnettomuuden taloudelliset ja sosiaaliset vaikutukset ovat olleet erittäin suuria.

1986 Yhdysvallat, uraaninrikastuslaitos Kerr-McGee Corp.

Yli sata ihmistä joutui sairaalahoitoon ja yksi kuoli, kun merkittäviä määriä radioaktiivisia aineita pääsi ympäristöön laitoksella sattuneen onnettomuuden seurauksena.

1987 Saksa, Hanaun ydinpolttoainelaitos

Satoja työntekijöitä altistui plutoniumille Hanaun polttoainelaitoksella sattuneessa räjähdyksessä. Onnettomuus salattiin 11 vuoden ajan. Laitos on lopullisesti suljettu ja alueen maaperä on saastunut radioaktiivisista aineista.

1989 Espanja, Vadellosin ydinvoimala

Tulipalo vaurioitti merkittävästi voimalan turvallisuusjärjestelmiä. Vauriot olisivat voineet aiheuttaa reaktorionnettomuuden. Onnettomuus johti reaktorin sulkemiseen.

1992 Ruotsi, Barsebäckin ydinvoimala

Reaktorissa tapahtui onnettomuus, joka johtui jäähdytysjärjestelmässä olleesta suunnitteluvirheestä. Vakavammalta onnettomuudelta vältyttiin ilmeisesti sen takia, että reaktori ei tapahtumahetkellä ollut täydellä teholla käynnissä.

1999 Japani, ydinpolttoaineen käsittelylaitos Tokaimurassa

Työntekijöiden virheen takia syntyi hallitsematon ydinreaktio, jolloin radioaktiivisia aineita levisi ympäristöön. Kaksi työntekijää kuoli onnettomuudessa ja yli 400 ihmistä altistui säteilylle.

2001 Iso-Britannia, Chapelcrossin ydinvoimala

24 korkea-aktiivista ydinpolttoainesauvaa putosi lattialle noin 15 metrin korkeudelta.

2002 Saksa, Brunsbüttelin ydinvoimala

Voimalassa sattui vetyräjähdys, ja voimalan sisätiloihin vuoti 260 litraa radioaktiivista vesihöyryä. Räjähdyksessä rikkoontui 2-3 metriä jäähdytysjärjestelmän putkea, mutta reaktorin omistajayhtiö halusi kuitenkin jatkaa reaktorin käyttöä. Viranomaisia informoitiin onnettomuudesta vasta viisi päivää myöhemmin, jolloin reaktori määrättiin välittömästi sammutettavaksi. [11]

4.1 Windscalen reaktorionnettomuus

Iso-Britanniassa sijaitsevassa Windscalen (nyk. Sellafield) ydinreaktorissa tapahtui onnettomuus 7.10.1957. Reaktori oli sotilaskäytössä ollut kaasujäähdytteinen luonnonuraanireaktori, jonka hidastimena käytettiin grafiittia. Reaktori ylikuumentui ja syttyi palamaan, jolloin hehkuvasta uraanipolttoaineesta vapautui ympäristöön suuri määrä radionuklideja. Suurin mitattu ulkoinen gammasäteilyn annosnopeus oli noin 40 mikrosieverttiä tunnissa.

Fissiassa syntyvät radioaktiiviset jalokaasut eivät muodosta kemiallisia yhdisteitä, joten vuodon sattuessa ne pääsevät helpoimmin ympäristöön. Myös Windscalen onnettomuudessa radioaktiiviset jalokaasut muodostivat suurimman ympäristöön päässeiden radionuklidien ryhmän. Niiden määrä oli käytännössä 100% ja koska tässä reaktortyyppissä ei ollut suojarakennusta, tulipalossa pääsi ympäristöön myös noin 10% reaktorin sisältämästä jodi 131:stä, 1% cesium 137:stä, ja 0,01% strontium 89:stä ja 90:stä. Nykyisin käytettävillä mittalaitteilla olisi varmasti havaittu useiden muidenkin radionuklidien määrät päästöissä.

Ainoa radionuklidi, jonka saannin vähentämiseksi oli tarpeen ryhtyä vastatoimiin, oli jodi 131. Maitoon kulkeutunut jodi aiheutti suurimmat säteilyannokset. Iso-Britannian terveysturvaviranomaiset päättivät, että jos jodin aktiivisuuspitoisuus on suurempi kuin 3700 Bq/l, ei maitoa päästetä yleiseen kulutukseen. Paikoitellen maidossa tavattiin jopa 20 000 Bq/l pitoisuuksia. 3700Bq/l ylittäviä jodipitoisuuksia tavattiin noin 500 km² alueella. Tutkimuksissa havaittiin, että maito oli ainoa kriittinen elintarvike.

Windscalen onnettomuudesta peräisin olevaa jodi 131:tä havaittiin Keski-Eurooppaa ja Skandinaviaa myöten. 3 km:n säteellä reaktorista havaittiin onnettomuudessa vapautunutta strontium 90:tä, jonka määrä ympäristössä oli keskimäärin 6 kBq/m². [12]

4.2 Harrisburgin reaktorionnettomuus

Harrisburgin reaktorionnettomuus sattui 28.3.1979 Three Mile Islandin 2-ydinvoimalaitosyksiköllä. Korjaustöissä sattui virhe, jonka johdosta höyrystimien syöttövesijärjestelmä pysähtyi kokonaan, ja henkilökunta teki virheen pysäyttäessään automaattisesti käynnistyneen hätäjähdytysjärjestelmän. Reaktorisydän paljastui ja ylikuumeni jatkuvan vuodon ja kiehumisen takia, ja polttoaineen suojakuoret sulivat, jolloin osa reaktorisydäimestä romahti. Sulaminen saatiin kuitenkin hallintaan ja vapautuneet fissio- ja aktivoitumistuotteet pysyivät pääosin reaktorin suojakuoren sisällä. Ympäristöön pääsi jalokaasuja ja jonkin verran jodi 131:tä.

Enimmillään ympäristön ilmanäytteissä havaittiin jodi 131:tä $0,9 \text{ Bq/m}^3$. Maitonäytteistä sitä löydettiin $0,5\text{-}1,5 \text{ Bq/l}$. Vesi- ja maanäytteissä ei todettu onnettomuudesta peräisin olevia radionuklideja. Harrisburgin onnettomuus oli ensimmäinen kaupallisessa käytössä olleessa ydinvoimalaitoksessa tapahtunut onnettomuus, josta pääsi radioaktiivisia aineita ympäristöön.

Noin 30 km:n säteellä voimalaitoksesta asui lähes 200 000 ihmistä, joista noin 80 000 lähti alueelta onnettomuutta seuranneen viikonlopun aikana. Varsin pian huomattiin, ettei ympäristön asukkailla ollut vaaraa. Suurin yksittäinen säteilyannos oli noin $0,4 \text{ mSv}$, jonka sai henkilö, joka oleskeli 10 tuntia puolentoista kilometrin etäisyydellä reaktorista. Arviot onnettomuuden myöhäisvaikutuksista vaihtelevat nolasta yhteen tai kahteen myöhäisvaikutukseen vuoteen 2000 mennessä. Jos reaktorin hätäjähdytysjärjestelmää ei olisi saatu toimimaan noin kolmen tunnin kuluttua onnettomuuden alusta, olisi reaktorin paineastia murtunut, ja seurauksena olisi ollut suuronnettomuus. [12]

4.3 Tshernobylin ydinvoimalaonnettomuus

Kaikkien aikojen pahin ydinonnettomuus sattui 24.4.1986 Tshernobylin ydinvoimalassa Neuvostoliitossa, nykyisen Ukrainan alueella. Voimalassa oli neljä reaktoria, ja onnettomuus tapahtui ajettaessa neljättä yksikköä alas huoltoseisokkiin. Alasajon yhteydessä haluttiin selvittää miten päägeneraattori pystyy syöttämään sähköä laitoksen tarpeisiin, kunnes varavoimadieselgeneraattorit käynnistyvät. Kokeen aikana tehtyjen operointivirheiden ja reaktorin suojauslaitteiden poiskytkemisen johdosta reaktorin teho pääsi äkillisesti nousemaan. Reaktorissa tapahtui räjähdys, jonka vaikutuksesta reaktorin kansi nousi ylös ja kaikki höyrynerottimelle menevät putket katkesivat. Tämä aiheutti toisen räjähdysten, joka heitti reaktorista ulos kuumaa radioaktiivista materiaalia ja laitoksella syttyi useita tulipaloja.

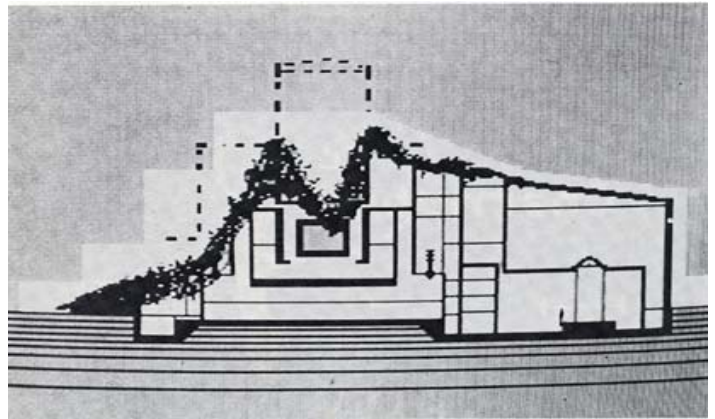
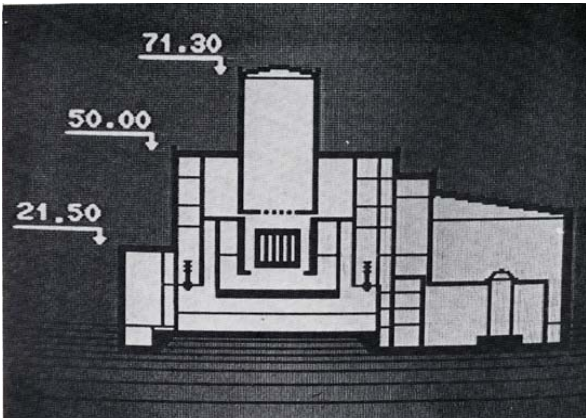
Sammutustoimintaan osallistuneet palomiehet saivat vaatteisiinsa ja iholleen suuria säteilyannoksia aiheuttaneita radioaktiivisia aineita. Noin 30 sammutus- ja pelastustöihin osallistunutta kuoli, useimmat yhdistettyihin palo- ja säteilyvammoihin. Reaktorin hidastimena käytetty grafiitti lämpeni ja syttyi palamaan noin vuorokaudessa. Grafiittipalo jatkui noin viikon ajan ja tukahtui vasta kun se päälle oli pudotettu suuri määrä täytemateriaalia.

Reaktorista vapautui kahdenlaisia päästöjä. Noin viisi prosenttia reaktorin polttoaineesta sinkoutui ympäristöön räjähdysten seurauksena. Isoimmat hiukkaset jäivät muutaman kymmenen kilometrin säteelle reaktorista. Pienimmät muutaman mikrometrin suuruiset hiukkaset kulkeutuivat ilmvirtausten mukana aina Skandinaviaan asti. Nämä hiukkaset olivat polttoaineuraania ja sen sisältämiä fissiotuotteita. Noin neljäsosa vapautuneista radionuklideista lähti reaktorista ensimmäisenä päivänä. Reaktorin grafiitin syttyä vapautui sieltä noin viikon ajan helposti haihtuvia radionuklideja, kuten cesiumia ja jodia. Molemmat tyyppisiä päästöjä kulkeutui Suomeen.

Seuraavasta taulukosta käy ilmi Tshernobylin onnettomuusreaktorin radionuklidien aktiivisuudet ja kokonaispäästö. Lukujen tarkkuuden on arvioitu olevan $\pm 50\%$. Päästö tapahtui 10 päivän aikana. Radioaktiivinen hajoaminen on otettu huomioon siten, että aktiivisuudet vastaavat ajankohtaa 6.5.1986. [13]

Nuklidi	Aktiivisuus reaktorissa Bq	Päästön osuus %
^{85}Kr	$3,3 \times 10^{16}$	- 100
^{133}Xe	$1,7 \times 10^{18}$	- 100
^{131}I	$1,3 \times 10^{18}$	20
^{132}Te	$3,2 \times 10^{17}$	15
^{134}Cs	$1,9 \times 10^{17}$	10
^{137}Cs	$2,9 \times 10^{17}$	13
^{99}Mo	$4,8 \times 10^{18}$	2,3
^{95}Zr	$4,4 \times 10^{18}$	3,2
^{103}Ru	$4,1 \times 10^{18}$	2,9
^{106}Ru	$2,0 \times 10^{18}$	2,9
^{140}Ba	$2,9 \times 10^{18}$	5,6
^{141}Ce	$4,4 \times 10^{18}$	2,3
^{144}Ce	$3,2 \times 10^{18}$	2,8
^{89}Sr	$2,0 \times 10^{18}$	4,0
^{90}Sr	$2,0 \times 10^{17}$	4,0
^{239}Np	$1,4 \times 10^{17}$	3
^{238}Pu	$1,0 \times 10^{15}$	3
^{239}Pu	$8,5 \times 10^{14}$	3
^{240}Pu	$1,2 \times 10^{15}$	3
^{241}Pu	$1,7 \times 10^{17}$	3
^{242}Cm	$2,6 \times 10^{16}$	3

Reaktorin räjähdys ja grafiittihidastimen palo nostivat vapautuneet radionuklidit usean kilometrin korkeuteen, josta ylävirtaukset kuljettivat saasteen nopeasti edelleen. Suomessa käytettävissä reaktoreissa ei voi sattua vastaavanlaista onnettomuutta, koska Suomen reaktoreissa käytetään hidastimena vettä. [13]



Kuva 3.

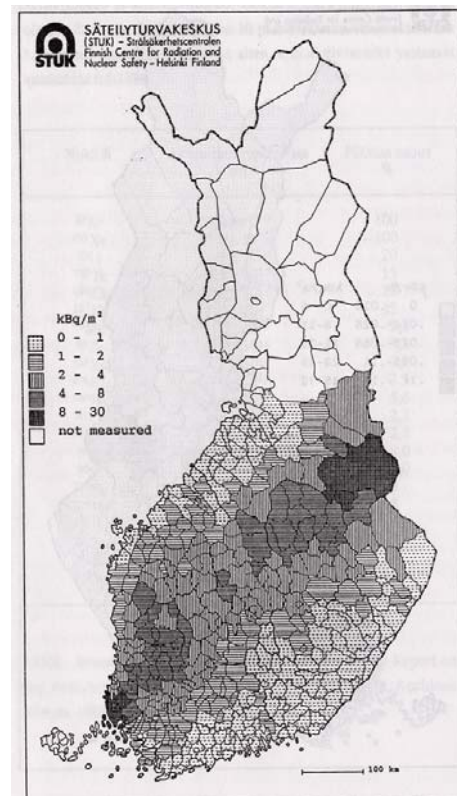
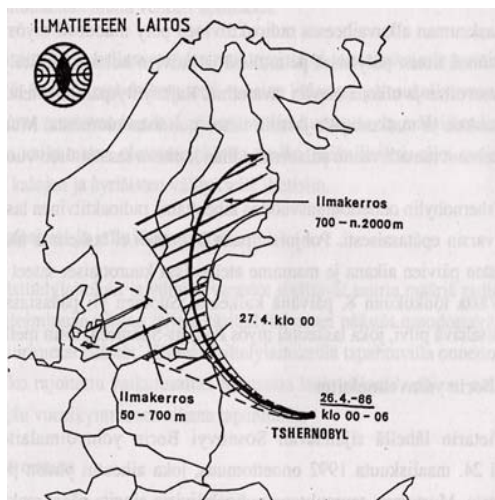
Yllä olevissa kuvissa Tshernobylin onnettomuusreaktori ennen ja jälkeen onnettomuuden. [14]

Tshernobylin ydinvoimalaonnettomuuden tiedotuksessa oli vakavia puutteita. Neuvostoliitto julkaisi ensimmäisen tiedon onnettomuudesta vasta kahden ja puolen vuorokauden kuluttua. Myös Suomessa tiedotus oli tehotonta ja perättömiä huhuja oli liikkeellä. Tämä saattoi osittain johtua siitä, että ydinonnettomuuden varalle kehitettyä varoitus- ja tiedotusjärjestelmää ei ollut ennen tarvittu, olihan onnettomuus ensimmäinen laatuaan.

4.3.1 Radioaktiivisten päästöjen kulkeutuminen

Onnettomuus sattui varhain lauantaiaamuna. Aamu oli sumuinen ja onnettomuuspaikan tuulet olivat heikkoja. Tällaisissa oloissa kuuma ilma pääsi helposti nousemaan 500-2000 metrin korkeuteen. Pääosa radioaktiivisesta pilvestä nousi 1000 metrin korkeuteen josta se lähti kulkeutumaan aluksi kohti Skandinaviaa. Sunnuntiaamuna pilvi saavutti Suomen eteläosan. Sunnuntain kuluessa se ylti koko Etelä-Suomeen, mutta törmäsi pohjoisesta tulevaan kylmään arktiseen ilmassaan. Myöhemmin ilmavirtausten suunnan muuttuessa tuulet kuljettivat Tshernobylistä radioaktiivisia aineita myös muualle, etupäässä Keski-Eurooppaan.

Ensimmäinen saastepilvi, joka sisälsi myös hienojakoista pölyä polttoaine-elementeistä, tuli Lounais-Suomeen Uudenkaupungin korkeudella ja jatkoi matkaansa suunnilleen Kuhmon yli itään. Tässä pilvessä zirkonium 95 oli yksi merkittävimmistä radionuklideista. Samoin pääosa strontium 90:stä tuli Suomeen ensimmäisen pilven mukana. Muutamat kuurosateet Uudenkaupungin alueella aamupäivällä 27.4. ja Nurmeksens-Kuhmon alueella iltapäivällä toivat tälle Suomen halki kulkevalle alueelle suurimman zirkonium- ja strontiumlaskeuman.



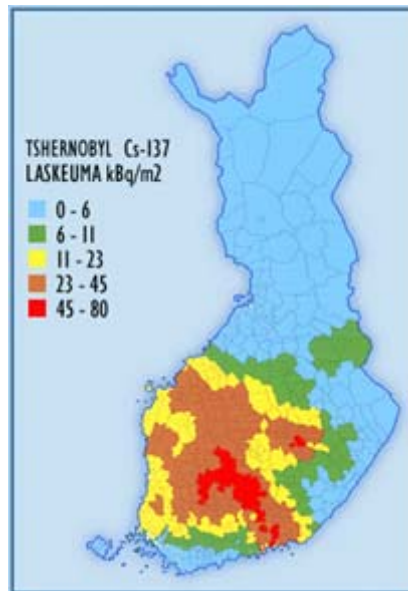
Kuvat 4 ja 5.

Vasemmalla onnettomuuden aiheuttaman päästön kulkeutuminen 26.4.1986 kohti Pohjoismaita 1,5-2 km korkeudella.

Oikealla onnettomuuden aiheuttama zirkonium 95-laskeuma Suomessa 26.4.1986. [13]

Pääosa radioaktiivisista aineista tuli Suomen yläpuolelle vasta maanantain kuluessa. Suurimmillaan radioaktiivisten aineiden pitoisuudet olivat Suomessa 28.4. illalla. Ilmasta mitattiin yli 30 radioaktiivista ainetta. Tiistaina 29.4. suurin osa Suomeen tulleesta radioaktiivisuudesta leijui noin 1500 metrin korkeudella Etelä-Suomen päällä. Radionuklidien pitoisuudet olivat tällä korkeudella kymmenkertaiset maanpintaan verrattuna. Pilvi ehti kuitenkin laimentua ja kulkeutua osittain pois ennen kuin sateet toivat radionuklidit maanpinnalle.

Kuva 6. Tshernobylin laskeuman aiheuttama arvioitu cesium 137-laskeuma Suomessa 1. 10. 1987. [15]



Parin kolmen päivän päästä ilma oli lähes täysin puhdistunut. Seuraavan kerran Tshernobylistä tuli radioaktiivisia aineita Suomeen noin parin viikon kuluttua onnettomuudesta. Määrät olivat kuitenkin pienempiä kuin ensimmäisessä pilvessä.

Ilmassa ja laskeumassa olevan jodi 131:n määrä oli toukokuun alkupäivinä 10-30-kertainen cesium 137:aan verrattuna, mutta heinäkuuhun mennessä sen määrä oli vähentynyt käytännössä merkityksettömäksi lyhyen puoliintumisaajan takia. Kevät tuli melko myöhään vuonna 1986, ja onnettomuuden aikaan maa oli vielä osittain jäässä tai lumen peittämä Helsinginkin korkeudella. Näin ollen osa laskeumasta kulkeutui sulavan lumen mukana vesistöihin ja edelleen mereen.

Maahan laskeutuneiden radionuklidien aiheuttama ulkoinen annosnopeus oli toukokuun alussa muutamilla paikkakunnilla noin 5 $\mu\text{Sv/h}$ (normaali taustasäteily on noin 0,1-0,2 $\mu\text{Sv/h}$). Suojaustoimet ovat tarpeen, jos säteilytaso ylittää 100 $\mu\text{Sv/h}$. Laskeuman alkuvaiheessa radioaktiivinen pöly muodosti myös saastumisvaaran maataloustöissä kuten peltotöissä ja kuivien heinien käsittelyssä. Pöly tarttui myös ajoneuvoihin ja ulkona oleviin tavaroihin. Rajanylityspaikoilla tehtiin pintakontaminaatiomittauksia ja matkustajille jaettiin tietoa puhdistautumisesta. Muutama Neuvostoliitossa saastunut junanvaunu palautettiin liian korkean saastumisen vuoksi.

Toukokuun lopussa annosnopeus oli enää alle kymmenesosa heti laskeuman jälkeen mitatusta arvosta.

Vuonna 1986 Tshernobylin onnettomuus aiheutti jokaiselle suomalaiselle keskimäärin 0,15 millisievertin ulkoisen säteilyannoksen. Vuoteen 1996 mennessä annos oli laskenut arvoon 0,02 mSv vuodessa. Tällä hetkellä suurin osa ulkoisesta säteilyannoksesta aiheutuu cesium 137:stä.

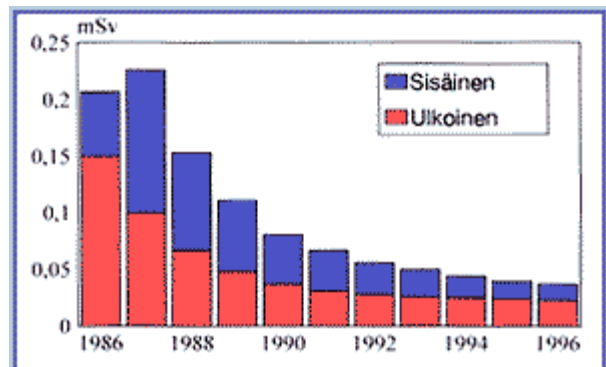
Sisäinen säteilyannos aiheutuu suurimmaksi osaksi ravinnon mukana kehoon joutuneista radioaktiivisista aineista. Ensimmäisenä vuonna onnettomuuden jälkeen suurimpia cesiumlähteitä ovat maito, liha ja muut maataloustuotteet, mutta jo vuodesta 1988 lähtien cesiumia on saatu eniten sisävesikaloista, metsäsienistä ja metsämarjoista. Maataloustuotteiden cesiumpitoisuudet laskivat nopeasti, kun taas luonnontuotteiden pitoisuudet ovat laskeneet hitaammin.

Ihmisten cesium-määrät olivat suurimmillaan kesällä 1987, jolloin suomalaisten cesium 137-pitoisuus oli keskimäärin 2000 becquereliä. Suurimman laskeuman alueella cesiumpitoisuus oli noin 4000 Bq, mutta runsaasti luonnontuotteita syöville henkilöillä pitoisuus oli 5-10-kertainen muihin verrattuna. Tällä hetkellä suomalaisten cesiumpitoisuus on noin 200 Bq, joka on pieni määrä verrattuna luonnosta peräisin olevaan kalium-40-isotooppiin. Sen pitoisuus on muutama tuhat becquereliä.

Suomalaiset saivat vuonna 1987 ruuan mukana radioaktiivisesta cesiumista keskimäärin 0,13 millisievertin suuruisen säteilyannoksen. Vuoteen 1996 mennessä sisäinen säteilyannos oli laskenut noin viidesosaan eli 0,02 millisievertiin vuodessa. Nykyisin annos aiheutuu lähes kokonaan cesium-137:stä. [13, 15]

Kuva 7.

Suomalaisten saamat keskimääräiset ulkoiset ja sisäiset annokset 11 ensimmäisen vuoden aikana Tshernobylin onnettomuuden jälkeen. [15]



Tshernobylin onnettomuusvuoden aiheuttama radioaktiivinen laskeuma Suomessa jakaantui varsin epätasaisesti. Laskeuma ei ulottunut ollenkaan pohjoisimpaan Suomeen ensimmäisten päivien aikana ja maan eteläisissä osissa kuuroittaiset sateet olivat hyvin paikallisia. Vasta toukokuun 8. päivänä Suomen yli kulkeutui pääasiassa radioaktiivista cesiumia sisältävä pilvi, joka laskeutui myös Pohjois-Suomeen, tosin melko vähäisenä. [13]

5. Yhteenveto

Ydinvoima on tehokas energianlähde, ja sen saasteettomuus ja puhtaus sekä vähäiset ympäristöhaitat ovat suuri etu. Tähän tulokseen päädytään, kun lasketaan kaikki onnettomuudet ja ydinenergiankäytöstä johtuneet vahingot tuotettua energiamäärää kohti. Jos vastaava määrä energiaa tuotetaan esimerkiksi hiilivoimaloilla, ovat vauriot ympäristölle ja ihmisten terveydelle moninkertaiset.

Ydinenergian haittapuolena on kuitenkin vakavien onnettomuuksien mahdollisuus, joiden vaikutukset ovat pitkäaikaisia. Pahimmillaan radioaktiiviset päästöt saattavat saastuttaa laajoja alueita vuosikymmenien ajaksi asuinkelvottomiksi.

Kuva 8.

Useimpien ydinvoimalaonnettomuuksien taustalla on inhimillinen erehdys.



6. Viitteet

1. http://www.insc.anl.gov/pwrmaps/map/world_map.php
2. Paakkola, Olli: Radioaktiivinen laskeuma ja elintarvikkeet. Huoltovarmuuskeskus, Helsinki 1994 (s. 15)
3. http://www.stuk.fi/sateilysta_lyhyesti
4. Marttila, Olli J.: Säteilysuojelun perusteet Limes ry:n graafiset laitokset, Helsinki 1997
5. <http://www.stuk.fi/sateilyvaara/paljonko.html>
6. http://www.stuk.fi/sateily_ja_ihminen/terveyshaitta.html
7. Paakkola, Olli: Radioaktiivinen laskeuma ja elintarvikkeet. Huoltovarmuuskeskus, Helsinki 1994 (s. 15, 17-18)
8. http://www.stuk.fi/ydinvoimalaitokset/ines_maaritelmat.html
9. Paakkola, Olli: Radioaktiivinen laskeuma ja elintarvikkeet. Huoltovarmuuskeskus, Helsinki 1994 (s. 19-20)
10. <http://www.stuk.fi/ydinvoimalaitokset/ines.html>
11. http://www.ydinvoima.net/ajankohtaista/vakavinta_ydinonnettomuutta.html (päivitetty 21.5.2002)
12. Paakkola, Olli: Radioaktiivinen laskeuma ja elintarvikkeet. Huoltovarmuuskeskus, Helsinki 1994 (s. 21-23)
13. Paakkola, Olli: Radioaktiivinen laskeuma ja elintarvikkeet. Huoltovarmuuskeskus, Helsinki 1994 (s. 23-28)
14. Mould, Richard F: Chernobyl –The real story. Pergamon Press, Oxford, England, 1988. (s. 32)
15. http://www.stuk.fi/sateily_ja_ihminen/tshernobyl_laskeuma.html

7. Lähdeluettelo

Lehto, Heikki ja Luoma, Tapani: Energia yhteiskunnassa. Kustannusosakeyhtiö Tammi, Jyväskylä 2000

Marttila, Olli J: Säteilysuojelun perusteet Limes ry:n graafiset laitokset, Helsinki 1997

Mould, Richard F: Chernobyl –The real story. Pergamon Press, Oxford, England, 1988.

Paakkola, Olli: Radioaktiivinen laskeuma ja elintarvikkeet. Huoltovarmuuskeskus, Helsinki 1994

Helsingin Sanomat 27.4.-14.5. 1986

www.stuk.fi

www.ydinvoima.net

www.insc.anl.gov