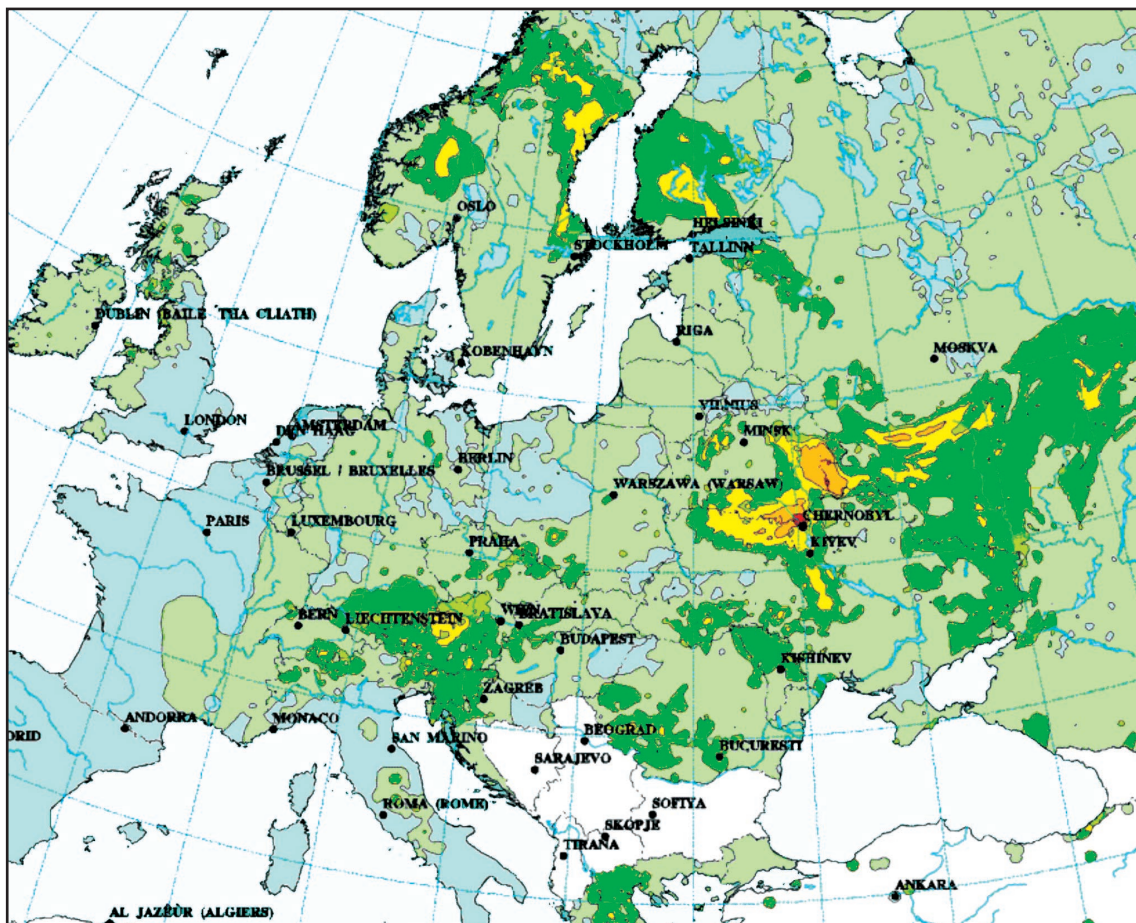


Tshernobyl 16 vuotta myöhemmin



Suomen Atomiteknillinen seura
Atomtekniska Sällskapet i Finland

TSHERNOBYLIN ONNETTOMUUS

Onnettomuuden syyt

Huhtikuun 26. päivänä 1986 sattunut Tshernobylin nelosreaktorin onnettomuus johtui perimmältään virheellisesti suunnitellusta reaktorista, joka ei täyttänyt länsimaissa jo 1960-luvulla vakiintuneita turvallisuusvaatimuksia. Tshernobylistä käytetty reaktorityyppi tunnetaan nimellä RBMK, grafiittihidasteinen kanavatyypinen reaktori. Reaktorin turvallisuusriskit olivat neuvostoliittolaisten asiantuntijoiden tiedossa. Samantyyppisillä reaktoreilla oli jo aiemmin sattunut ”läheltä piti” -tilanteita, jotka olivat paljastaneet reaktorin vaarallisuuden. Hallinnollinen järjestelmä, ja erityisesti riippumattoman toimivaltaisen turvallisuusviranomaisen puute, ei kuitenkaan antanut mahdollisuutta virheiden korjaamiseen.

Onnettomuuden välitön syy oli vaatimus tehdä tiettyjen turvalaitteiden testaamiseksi koe, joka oli jätetty suunnitelmien vastaisesti tekemättä reaktorin käyttöönottovaiheessa. Kokeen tekeminen olisi edellyttänyt reaktorin pysäyttämistä. Kesken kokeen valmistelun voimallaitokselle annettiin kuitenkin määräys tuottaa sähköä vielä vuorokauden verran. Suunnitelmien vastainen sähkön tuotannon jatkaminen edellytti reaktorin käyttämistä tavalla, jonka seurauksena se ajautui vaaralliseen tilaan. Tuotantomääräyksen täyttämiseksi oli myös tarpeen rikkoa tietoisesti turvamääräyksiä ja kytkeä pois päältä automaattisia turvajärjestelmiä. Kun lopulta saatiin lupa kokeen käynnistämiseen, reaktorin pysäytysjärjestelmien käyttö poikkeavassa tilanteessa johtikin päinvastaiseen tulokseen. Reaktorin teho ja lämmön tuotanto alkoivat kasvaa hallitsemattomasti ja nopeasti. Tämän jälkeen polttoaineen suojakuoret rikkoutuivat ja hyvin kuuma polttoaine joutui kosketuksiin jäähdytysveden kanssa. Veden kiivas kiehuminen aiheutti nopean paineen nousun reaktorissa ja lopulta valtavan höyryräjähdys, joka rikkoi koko reaktorin.

Päästöt kestivät 10 päivää

Reaktorin tuhonnut räjähdys oli niin voimakas, että minikäänlainen suojarakennus ei olisi kestänyt sitä ehjänä. Osa reaktorin polttoaineesta sinkoutui räjähdys seurauksena ilmaan. Hienojakoisempi pölymäinen aines lähti kulkeutumaan tuulen mukana, mutta suuremmat hiukkaset putosivat lähistölle aiheuttaen pelastustyöntekijöille myöhemmin suuria säteilyannoksia. Pääosa reak-

torin jäänteistä jäi kuitenkin avoimen taivaan alle alkuperäiselle paikalleen muodostaen kraatterin muotoisen kasan. Näitä reaktorin jäänteitä ei voitu millään keinolla jäähdyttää, vaikka ne tuottivat edelleen voimakkaasti lämpöenergiaa. Reaktorin jäänteiden kuumentuessa ja osin sulaessa samaan kasaan jäänyt reaktorin rakenneaineena ollut grafiitti syttyi palamaan ja pahensi tilannetta edelleen. Suuri kuumuus aiheutti ilmavirtauksen, joka nosti reaktorijäänteistä kaasumaisia ja höyrystyneitä radioaktiivisia aineita ikään kuin savupiipussa korkealle ilmaan.

Reaktorijäänteissä syttyneen tulipalon sammuttamiseksi ja päästöjen rajoittamiseksi, sekä myös uuden ketjureaktion käynnistymisen estämiseksi, reaktorijäänteiden päälle pudotettiin ilmakuljetuksilla suuria määriä booria, dolomiittia, hiekkaa, savea ja lyijyä. Tämän operaation hyödyllisyys onnettomuuden seurausten rajoittamiseksi oli kyseenalainen. Radioaktiivinen päästö tuhoutuneesta reaktorista jatkui voimakkaana, kunnes reaktorijäänteistä syntynyt sula massa oli syönyt puhki sitä kannatelleen paksun betonilaatan. Tämä tapahtui 6. päivänä toukokuuta. Sulan massan valuessa reaktorirakennuksen alempiin osiin ja levitessä siellä laajalle alueelle se jäähmettyi nopeasti kiinteäksi aineeksi, joka muistuttaa jäähmettyntä laavaa. Kiinteytymisen jälkeen päästöt loppuivat nopeasti lähes kokonaan.

Arvioiden mukaan noin 4 prosenttia reaktorin polttoainemäärästä pääsi onnettomuuden aikana ulos laitoksesta. Karkeasti ottaen radioaktiivisten aineiden kokonaispäästö on noin kahdeskymmenesosa niistä päästöistä, jotka ydinasekokeiden seurauksena pääsivät ilmakehään ennen kuin vuonna 1963 solmittiin osittainen ydin-koekieltosopimus. Laajoilla alueilla Euroopassa ja mm. suurimmassa osassa Suomea Tshernobylin laskeuman aiheuttamat väestön säteilyannokset olivat kuitenkin suurempia kuin ydinasekokeiden seurauksena saadut annokset.

Koko rikkoutuneen reaktorin kattava massiivinen teräsbetonirakennelma, ”sarkofagi”, rakennettiin heinä-marraskuussa 1986, ja nelosreaktori on siitä lähtien ollut sen peittäjä. Sen tärkein tehtävä on tarjota suoja suoraan laitosalueelle suuntautuvaa säteilyä vastaan. Tämän tehtävän se on täyttänyt, ja työskentelyolosuhteet laitosalueella ovat olleet siedettävät. Päästöjä rakennelma ei ole estänyt, koska sen katossa on ollut suurehkoja aukkoja. Näistä aukoista leviää ympäristöön edelleenkin pieniä

määriä radioaktiivisia aineita, mutta käytännössä niillä ei ole vaikutusta alueen säteilytilanteeseen. Käynnissä olevassa mittavassa kansainvälisessä hankkeessa on tarkoitus paketoita reaktorijäänteet turvallisempaan muotoon ja tehdä kestävämmät rakenteet nykyisen sarkofagin tilalle. Hankkeen on suunniteltu valmistuvan vuonna 2007.

Päästöjen leviäminen ja säteilytasot

Huomattavia päästöjä tapahtui 10 päivän ajan ja ne olivat voimakkaimmillaan alussa (räjähdykset) ja lopussa (sulaneen polttoaineen kuumuus). Alussa tulipalon kuumentama ilma nosti aineita jopa yli 2 km:n korkeuteen, myöhemmin enintään 400 metriin. Ilmakehän tila Itä-Euroopassa oli stabiili tai neutraali, ja korkealle joutuneet aineet saattoivat pysyä korkealla ja kulkeutua kauas lähtöpisteestä. Radioaktiivisen pilven alkuosat saapuivat Suomeen vuorokaudessa ja 2 vrk:n kuluessa pilvi ylsi Kokkola-Kajaani -linjalle. Lentomittausten mukaan aktiivisuutta oli eniten yli kilometrin korkeudessa. Suomessa laskeuma kertyi ensimmäisten 5 vrk:n aikana sekä kuivapoistuman että sadeiden vaikutuksesta. Paikalliset sadekuurot johtivat suuriin vaihteluihin eri paikkakuntien laskeumamääriä.

Ensimmäisessä vaiheessa päästöt suuntautuivat kohti Suomea ja Ruotsia. Päästöjen pitkistä kestoista johtuen päästöpilvet suuntautuivat vaihtelevasti kaikkialle Eurooppaan. Laskeuma tapahtui pääosin sadekuurojen vaikutuksesta ja täten paikalliset vaihtelut olivat suuria. Esitteen kansikuva havainnollistaa laskeuman jakaumaa Euroopassa.

Säteilytaso oli Suomessa alkuvaiheessa enimmillään 30-50-kertainen taustasäteilyn normaaliin tasoon verrattuna. Elokuussa 1986 ulkoisen säteilyn taso oli enää kymmenesosa alkuvaiheesta mitatuista huippuarvoista. Säteilyturvakeskuksen arvion mukaan suomalaisten saama säteilyannos Tshernobylistä 50 vuoden aikana on noin 2 mSv. Samanlaisen säteilyannoksen suomalainen saa keskimäärin noin puolessa vuodessa luonnon säteilystä.

YK:n tieteellinen komitea, UNSCEAR, on vuoden 1988 raportissaan arvioinut onnettomuuden aiheuttaman keskimääräisen koko eliniän kattavan säteilyannoksen vaihtelevan alueittain seuraavasti: Kaakkois-Euroopassa 1,2 mSv, Pohjoismaissa 0,94 mSv, Keski-Euroopassa 0,82 mSv, koko Neuvostoliitossa keskimäärin 0,51 mSv ja Lounais-Euroopassa luokkaa 0,02 mSv.

Tshernobylin työntekijät

Onnettomuutta ennen Tshernobylin työntekijät asuivat laitoksen lähellä olevassa Pripjatin kaupungissa. Evakuoinnin jälkeen perheet sijoitettiin väliaikaisiin asuntoihin, mutta heille rakennettiin varsin nopeasti uudeksi asuinalueeksi Slavutitshin kaupunki, joka sijaitsee 50 km laitoksesta itään. Slavutitshin asukasluku on noin 25000, josta yli kolmasosa on lapsia. Kaupungissa on maan nuorin väestö, korkein syntyvyys ja alhaisin kuolleisuus. Slavutitshin asukkailla on suhteellisen korkea elintaso ja mm. Ukrainan parhaiten varustetut kaupungit. Myös alueen koulut ja urheilutilat ovat erinomaiset, ja sen sairaala on yksi Ukrainan parhaista. Tshernobylin laitoksen lopullisen sulkemisen jälkeen Ukrainan valtio on aktiivisesti houkutelut kaupunkiin uutta yritystoimintaa verohelpotusten ja muiden erityisetujen turvin.

Työntekijöitä Tshernobylin voimalaitoksella oli ennen lopullista sulkemista noin 6000, ja heistä useimmille olisi edelleen työtä tarjolla laitoksen purkamisessa ja jätehuollossa. Monet ovat kuitenkin päättäneet muuttaa pois lähinnä Venäjän voimalaitoksiin, joissa heille on tiedossa mielenkiintoisempia tehtäviä. Muuttovirta alkoi jo paljon ennen laitoksen lopullista sulkemista ja aiheutti omalta osaltaan ongelmia laitoksen turvallisuudelle.

ONNETTOMUUDEN TERVEYSVAIKUTUKSET

Laitoksen käyttöhenkilöstö ja akuutit terveysvaikutukset

Tshernobylin laitoksella onnettomuusyönä työskennelleistä henkilöistä (palomiehistö mukaan lukien) osa sai vaikeita säteilyvammoja. Onnettomuusyönä laitosalueella menehtyi kolme henkilöä: yksi kuoli palovammoihin, yksi jäi sortuvien rakenteiden alle ja lisäksi yksi henkilö kuoli sydänkohtaukseen. Seuraavana aamuna 203 laitosalueella työskennellyttä henkilöä vietiin sairaalaan säteily sairauden epäilyn vuoksi. 134 tapausta vahvistettiin myöhemmin säteily sairaudeksi. Seuraavien viikkojen aikana 28 näistä henkilöistä kuoli. Vaikeat säteilypalovammat olivat useassa tapauksessa osasyynä kuolemaan. Eloanjääneistä 106 henkilöstä 11 oli kuollut vuoteen 1998 mennessä. Näistä kolme todennäköisesti on kuollut säteilyaltistuksen seurauksena, kaksi luuytimen krooniseen lamaan tuminen ja yksi leukemiaan. Muita kuolinsyitä ovat sepelvaltimotauti, maksan kovettumatauti ja keuhkotuberkuloosi, mitkä todennäköisesti eivät liity säteilyaltistukseen.

Kukaan laitosalueen ulkopuolella onnettomuuden aikana olleista ei kärsinyt akuutista säteily sairaudesta.

Lähialueet evakuoitiin

Väestön terveysvaikutusten ehkäisemiseksi Tshernobylin lähin kaupunki Pripjat (49 000 asukasta) evakuoitiin parin vuorokauden kuluessa onnettomuudesta. Toukokuun ensimmäisen viikon aikana evakuoitiin lisäksi yhteensä 50 000 ihmistä 30 km:n etäisyydelle asti ulottuvalta ympyränmuotoiselta suoja-alueelta. Seuraavina kuukausina evakuoitiin vielä 17 000 ihmistä pahiten saastuneista kylistä suoja-alueen ulkopuolelta. Evakuoitujen kokonaismäärä vuonna 1986 oli näin ollen 116 000. Asuminen ja aiheeton oleskelu suoja-alueella on edelleen kielletty, vaikka noin 1000 ihmistä palasikin sinne jo vuoden 1986 lopulla. Viranomaiset ovat hiljaisesti hyväksyneet paluumuuton.

Myöhemmin vuosina on siirretty vielä kymmeniä tuhansia ihmisiä Valko-Venäjän, Ukrainan ja Venäjän kylistä, joissa oli mitattu poikkeuksellisen korkeita säteilytasoja. Kansainvälisten asiantuntija-arvioiden mukaan nämä evakuoinnit eivät kuitenkaan olleet säteily suojelemissa hyvin perusteltavissa. Esimerkiksi suuri joukko suomalaisia saa

luonnon radioaktiivisista aineista normaalissa elinympäristössään vuosittain suuremman säteilyannoksen kuin evakuoidut ihmiset olisivat saaneet kyseisillä alueilla.

Puhdistustyöhön osallistuneet

Noin 600 000 ihmistä on virallisesti rekisteröity Tshernobylin puhdistustyöntekijäksi. Todellisuudessa kuitenkin vain 226 000 oli ollut töissä 30 km vyöhykkeen sisällä vuosina 1986-1987. Muiden osalta säteilyaltistus jäi vähäiseksi. Rekisteröitymistä on usein haettu taloudellisten etujen vuoksi.

Työntekijöiden säteilyannosten arviointi on osoittautunut vaikeaksi. Arvion mukaan eräät näistä henkilöistä, jotka olivat mukana poistamassa erittäin radioaktiivista materiaalia viereisen kolmosreaktorin katolta, ovat saattaneet saada jopa yli 250 mSv:n annoksia. Nämä annokset eivät olisi riittävän suuria aiheuttamaan säteily sairautta, mutta niihin liittyy lisääntynyt syöpäriski. Vuoden 1986 aikana työskennelleiden keskimääräinen annos on virallisten rekisteritietojen mukaan 170 mSv. Vertailukohteena mainittakoon, että Suomessa ydinvoimalaitoksella, sairaalassa, tutkimuslaitoksessa tai muualla säteilyalaista työtä tekevän henkilön vuosiannos ei keskimäärin saa ylittää 20 mSv, eikä minään yksittäisenä vuonna 50 mSv. Keskimäärin suomalaiset saavat vuosittain noin 4 mSv säteilyannoksen, josta noin puolet tulee huoneilman radonista.

Puhdistustyöntekijöiden terveyttä seurataan vuosittain. Yleinen sairastuvuus heidän joukossaan on ollut huomattavan suuri, ja työkyvyttömyys on hyvin yleistä. Työkyvyttömyyden syistä yleisimmät ovat neuropsykiatrisia ("hermostollinen väsymys", "vegetatiivinen epätasapaino", "paniikkihäiriö"). Sairastuvuusluvut eivät kuitenkaan korreloi annosryhmään. Lisäksi korkeista sairastuvuusluvuista huolimatta kokonaiskuolleisuus puhdistustyöntekijöiden joukossa on kuluneiden vuosien aikana ollut alhaisempi kuin muussa samanikäisessä väestössä. Tämä koskee myös syöpäkuolleisuutta. Sen sijaan joissakin tutkimuksissa on väkivaltaisten kuolemien, erityisesti itsemurhien, todettu hieman lisääntyneen.

Puhdistustyöntekijöiden säteilyannosten perusteella voidaan laskennallisesti arvioida, että 0,5 % heistä aikanaan kuolee säteilyn aiheuttamaan syöpään. Siten 2-3 % puhdistustyöntekijöiden kaikista tulevista syöpäkuolemista

johtuu säteilystä. Vaikka yksilökohtaiset annostiedot ovat epävarmoja, on kuitenkin mahdollista, että puhdistustyöntekijöiden rekisteritietojen avulla saadaan aikanaan lisää tietoa säteilyannoksen ja syöpäriskin suhteesta. Se, että toistaiseksi ei ole havaittu mitään lisäystä, johtuu osittain siitä, että kiinteiden syöpäkasvainten riski alkaa nousta vasta 10 vuotta altistuksesta.

Leukemia ilmestyy säteilyaltistuksen jälkeen aikaisemmin kuin kiinteät kasvaimet. Koska se on muuten harvinainen tauti, ylimäärä on helpommin havaittavissa. Puhdistustyöntekijöiden joukossa on tähän mennessä rekisteröity 145 leukemiatapausta, mikä on 50 tapausta enemmän kuin vertailu muuhun väestöön antaisi odottaa. Tulosta on kuitenkin kritisoitu, koska normaaliväestöä koskevaa tilastoa ei pidetä luotettavana.

Kilpirauhassyöpä on lisääntynyt

Onnettomuusalueen lähellä olleet ihmiset saivat kilpirauhaseensa merkittäviä säteilyannoksia radioaktiivisten jodipäästöjen vuoksi. On arvioitu, että satoja ihmisiä sai yli 10 000 mGy:n annoksia kilpirauhaseen ja 200 000 ihmistä keskimäärin 1000 mGy:n annoksia. Pienet lapset saivat suurimmat annokset.

Vuoden 1990 jälkeen kilpirauhassyöpätapausten määrä on lisääntynyt huomattavasti saastuneella entisen Neuvostoliiton alueella. Lisäys huomattiin ensimmäisenä Valko-Venäjällä Gomelin alueella, jossa vuosittainen sairaustapausten määrä nousi pian yli sataan kutakin miljoonaa alle 15-vuotiasta lasta kohti. Länsimaissa sairaustapausten määrä miljoonaa lasta kohti on 0,5-1. Lasten kilpirauhassyöpä on hoidettavissa, eikä hyvin hoidettuna yleensä johda kuolemaan.

Todettuja lasten kilpirauhassyöpätapauksia on tällä hetkellä vähän yli 1000 kappaletta. Noin yksi prosentti sairastuneista on kuollut. Suurin sairastumisriski on niillä, jotka altistushetkellä olivat alle viiden vuoden ikäisiä. Vanhemmilla lapsilla ja nuorilla riski on pienempi. Aikuisiässä altistuneilla ei ole osoitettu selvää lisäystä.

Jos tapausmäärään lasketaan mukaan, paitsi lapsuusiässä sairastuneet, myös kaikki ne, jotka altistushetkellä olivat alle 18-vuotiaita, kilpirauhassyöpien kokonaismääräksi saadaan 1800, minkä luvun YK:n tieteellinen komitea UNSCEAR ilmoittaa. Tässä luvussa on kuitenkin muka-

na joitakin satoja sellaisia tapauksia, jotka olisivat sairastuneet ilman säteilyäkin. Vanhimmat tästä ryhmästä ovat nyt jo yli 30-vuotiaita, jolloin kilpirauhassyöpä ei enää ole kovin harvinainen. Itsestään syntyneiden tapausten erottaminen säteilystä aiheutuvista ei ole mahdollista. Sen sijaan alle 15 vuoden ikäisinä sairastuneista melkein kaikki ovat varmasti säteilyn aiheuttamia.

On ilmeistä, että kilpirauhassyöpätapausten lisääntyminen on yhteydessä radioaktiivisen jodin päästöihin onnettomuuden aikana. Radiojodille altistuttiin päästön aikana hengityksen kautta sekä seuraavien viikkojen aikana elintarvikkeiden, erityisesti maidon kautta. Suurin osa syöpätapauksista olisi ollut vältettävissä, jos lapsille olisi annettu ajoissa joditabletteja, ja jos olisi heti alussa kielletty paikallisesti tuotetun maidon käyttö saastuneilla alueilla.

Muista säteilyvaikutuksista ei merkkejä

Erialaisten sairauksien lisääntymisestä Tshernobylin onnettomuuden seurauksena on julkaistu useita raportteja. Kilpirauhassyöpätapausten lisäksi tiedeyhteisö ei ole löytänyt yhteyttä muiden terveysvaikutusten ja säteilyn välillä. Esimerkiksi lasten leukemiatapausten määrässä ei ole tapahtunut mitään muutosta kymmenen vuoden aikana.

Onnettomuus aiheutti paljon sosiaalisia, taloudellisia ja psykologisia ongelmia sekä evakuoitussa väestössä että saastuneilla alueilla asuville. Väestönsiirrot toivat mukanaan omat ongelmansa tutun ympäristön ja sosiaalisten rakenteiden menetyksen myötä. Samalla Neuvostoliiton hajoamisen yhteydessä syntyneet taloudelliset ja sosiaaliset muutokset kärjistyivät tilannetta. Vanhempien ahdistus on varmasti usein heijastunut lapsiinkin. Kaikki nämä tekijät väistämättä vaikuttavat väestön yleiseen terveydentilaan. Suurin vaikutus sairastavuustilastoihin on kuitenkin sillä tekijällä, että saastuneilla alueilla asuville sekä evakuoituille ihmisille on tehty toistuvia terveystarkastuksia, jolloin kaikki poikkeavat löydökset on tilastoitu. Näin saatuja lukuja ei voi verrata sellaiseen väestöön, jonka pitää hakeutua hoitoon oma-aloitteisesti.

Mitään yhteyttä säteilyaltistuksen ja raskauden aikaisten häiriöiden välillä ei ole osoitettu. Ei ole löydetty säteilyaltistukseen yhdistettävää lisäystä epämuodostumien tai

muiden kehityshäiriöiden määrässä, kromosomipoikkeamissa kuten Downin syndroomassa, eikä kuolleina syntyneiden lasten määrässä.

Mahdollisia syöpätapauksia ei voida tilastollisesti havaita

Pidemmällä aikavälillä varmasti joitakin syöpätapauksia aiheutuu onnettomuuden seurauksena. Laskennallisesti kokonaismäärä koko maapallon väestössä voi olla jopa 30 000. Ilmenemisaika on ihmisen eliniän mittainen eli noin 80 vuotta. Kokonaismäärästä 40 % eli 12 000 arvioidaan esiintyvän entisen Neuvostoliiton alueella, jossa asukasmäärä oli 280 miljoonaa vuonna 1986. Siitä väestöstä noin 60 miljoonaa (runsas 20 %) kuolee syöpään muista syistä samana aikana, joten Tshernobylin laskeuman aiheuttama lisäys jää pelkästään laskennalliseksi. Tilastollisesti havaittavaa lisäystä ei ole odotettavissa.

Nykyisellä Venäjällä, Valko-Venäjällä ja Ukrainassa asuu yhteensä 5 miljoonaa ihmistä sellaisilla alueilla, joilla alkuperäinen cesiumlaskeuma ylitti määrätyn rajan (37 kBq/m^2). Tässä väestössä ylimääräisten syöpäkuolemien laskennallinen määrä on 3000. Kun syöpäkuolemia normaalisti on samana aikana yli miljoona, tälläkään alueella ei voi odottaa tilastollisesti havaittavaa lisäystä.

Pahiten saastuneilla alueilla (ns. tiukan kontrollin alueet) asuu nykyään vajaat 200 000 ihmistä. Syöpäkuolemien laskennallinen määrä tässä ryhmässä on 500, mikä on 0,25 % väestöstä ja vähän yli 1 % kaikista odotetuista syöpäkuolemista. Evakuoitujen 116 000 ihmisen joukossa laskennallisten syöpäkuolemien määrä on 200, mikä on alle 0,2 % väestöstä ja alle 1 % kaikista syöpäkuolemista.

Säteilyn yksiköitä:

Gray (Gy) on absorboituneen annoksen yksikkö. Se on tiettyyn kohteeseen (esim. kilpirauhanen) siirtynyt keskimääräinen energia jaettuna kohteen massalla (1 milligray = 1 mGy = 0,001 Gy).

Sievert (Sv) on edellisestä johdettu säteilyannosyksikkö, joka ottaa huomioon eri säteilylajien erilaiset biologiset vaikutukset (1 millisievert = 1 mSv = 0,001 Sv).

Becquerel (Bq) on radioaktiivisuuden yksikkö. Tietyn radioaktiivisen ainemäärän aktiivisuus on yksi Becquerel, kun siinä tapahtuu yksi ydinhajoaminen sekunnissa. Laskeumaa kuvaa johdettu yksikkö Bq/m^2 eli aktiivisuus pinta-alaa kohti ($\text{kBq/m}^2 = 1000 \text{ Bq/m}^2$).

TURVALLISUUS TSHERNOBYLIN JÄLKEEN

Tshernobylin voimalaitos

Ennen onnettomuutta Tshernobylin laitoksella oli käytössä neljä reaktoria ja kaksi uutta oli rakenteilla. Onnettomuusreaktori vaurioitui korjauskelvottomaksi. Keskenäisten yksiköiden rakentaminen keskeytettiin ja kolme muuta käytössä ollutta reaktoria pysäytettiin muutamien päivien kuluessa. Ne vaurioituivat myös osittain, mutta ne korjattiin ja käynnistettiin muutamien kuukausien kuluessa. Kakkosreaktori suljettiin uudelleen vuonna 1991 reaktorirakennuksen ulkopuolella sattuneen tulipalon jälkeen, eikä sitä ole enää käynnistetty. Ykkösreaktori suljettiin lopullisesti poliittisella päätöksellä 1990-luvun puolivälissä ja kolmosreaktori vuoden 2000 joulukuussa. Näköpiirissä olleen sulkemisen vuoksi laitosten turvallisuuden ylläpitämiseen investoitiin loppuvuosina hyvin vähän, ja ne olivat ennen sulkemistaan hyvin huonossa ja vaarallisessa kunnossa.

Kansainväliset turvallisuuden parannustoimenpiteet

Tshernobylin reaktoreiden rakenne ja reaktorifysiikka poikkeavat Suomessa ja muissa läntisissä maissa käytössä olevista reaktoreista. Tshernobylin kaltaisia reaktoreita on edelleen käytössä 13, ja ne kaikki sijaitsevat entisen Neuvostoliiton alueella. Niihin kaikkiin tehtiin jo pari viikkoa onnettomuuden jälkeen olennaiset muutokset, joilla estetään Tshernobylin nelosyksiköllä koetun räjähdysmahdollisuus. Sen jälkeen itse reaktoreiden ja laitosten muiden järjestelmien turvallisuutta on parannettu useilla muutoksilla. Nyt ne ovat paljon turvallisempia kuin vuonna 1986, mutta tietyt potentiaaliset onnettomuuskenaariot edustavat edelleen riskiä, jota ei hyväksyttäisi esimerkiksi EU-maissa. Laitosten rakenteesta riippumaton suuri turvallisuutta lisäävä tekijä on käyttöhenkilöstön muuttunut asenne turvallisuuteen. Henkilöstö tiedostaa olemassa olevat riskit ja suhtautuu niihin asianmukaisella vakavuudella, mikä on merkinnyt käytännössä selvästi havaittavaa muutosta kaikessa käyttö- ja kunnossapitotoiminnassa.

Pian onnettomuuden jälkeen perustettu World Association of Nuclear Operators (WANO) toimii eri puolilla maailmaa sijaitsevien ydinvoimalaitosten yhteiselimenä turvallisuuden parantamiseen ja varmistamiseen tähtäävissä toimissa. Entisen Neuvostoliiton alueella olevat ydinvoimalaitokset ovat aktiivisesti käyttäneet hyväkseen WANO:n tukea. Turvallisuutta on parannettu myös Kan-

sainvälisen Atomienergiäjärjestön, Euroopan Jälleenrakennus- ja Kehityspankin sekä EU:n TACIS-projekteissa.

Neuvostoliittolaiset julkaisivat yksityiskohtaisen raportin Tshernobylin onnettomuuden syistä runsaat neljä kuukautta onnettomuuden jälkeen. Pian sen jälkeen arvioitiin myös kaikissa läntisissä maissa, voitaisiinko omien laitosten turvallisuutta lisätä saatujen opetusten perusteella. Voimalaitosten erilaisuudesta johtuen selviä parannustarpeita ei tunnistettu, päinvastoin kuin esimerkiksi Harrisburgissa, USA:ssa vuonna 1979 sattuneen onnettomuuden jälkeen. Tuolloin onnettomuuden opetukset johtivat moniin tärkeisiin parannuksiin kaikilla läntisillä ydinvoimalaitoksilla.

Tärkeimpänä teknisenä kysymyksenä tarkasteltiin reaktorin nopean tehon kasvun mahdollisuutta: oliko kaikki mahdolliset häiriöt varmasti tunnistettu ja tutkittu ennakolta? Tarkastelun tuloksena löydettiin painevesireaktoreilla eräitä erittäin epätodennäköisiä tapahtumakulkuja, joissa reaktorin jäähdytysveteen liuotetun tehoa säättävän boorihapon pitoisuus voisi äkillisesti laimentua. Sen seurauksena tapahtuva reaktorin tehon nopea kasvu ei olisi Tshernobylin kaltainen räjähdys, mutta kuitenkin niin suuri onnettomuus, että joissakin maissa tämäkin riski haluttiin eliminoida. Esimerkiksi Loviisan voimalaitoksella muutettiin booriliuosten käsittelytapaa. Toimenpiteillä voidaan estää boorihapon nopea laimentuminen vielä aiempaa varmemmin. Muihin teknisiin parannuksiin eivät Tshernobylin opetukset antaneet läntisillä ydinvoimalaitoksilla aihetta.

Yleisesti noudatettavaksi käsitteeksi luotiin Tshernobylin onnettomuuden seurauksena "ydinenergian käytössä noudatettava turvallisuuskulttuuri". Turvallisuuskulttuurin puuttuminen oli selvästi keskeinen syy Tshernobylin onnettomuuteen. Turvallisuuskulttuuria ja keinoja sen edistämiseksi on tutkittu ja niistä on keskusteltu aktiivisesti 15 vuoden ajan. Tämän ansiosta on saavutettu turvallisuuden kannalta myönteistä kehitystä sekä alan organisaatioiden toiminnassa että alalla työskentelevien ihmisten asenteissa. Kaikkien ydinenergiaa käyttävien maiden osalta tärkeä kehityskäsi oli Kansainvälisen Ydinturvallisuussopimuksen solmiminen ja sopimuksen toteutumisen arvioimiseksi tehtävä säännönmukainen yhteistyö. Tämä sopimus on ensimmäinen kansainvälinen sopimus, jossa kaikki ydinenergiaa käyttävät maat ovat sitoutuneet tiettyjen turvallisuusvaatimusten täyttämiseen.

