



8

YDINMATERIAALIVALVONTA KANSAINVÄLISEN ASEVALVONNAN EDELLÄKÄVIJÄNÄ

Tapani Honkamaa, Marko Hämäläinen, Erja Kainulainen,
Elina Martikka, Mika Nikkinen, Tero Varjoranta

SISÄLLYSLUETTELO

8.1	Johdanto	322
8.2	Historiallinen tausta	324
8.3	Ydinaseet	324
8.4	Valvontasopimukset	335
8.5	Valvontamenetelmät	344

Ydinmateriaalivalvonnalla varmistutaan siitä, ettei ydinmateriaaleja tuoteta, käytetä tai siirretä ydinaseiden valmistamiseen. Ydinmateriaaleilla tarkoitetaan ydinaineita (uraania, plutoniumia ja toriumia) sekä laitteita ja tietoaaineistoja, joita voidaan käyttää ydinräjähteen kehittämisessä.

Ydinmateriaalivalvonnan kansainvälinen perusta on ydinsulkusopimus, jonka noudattamista ydinaseettomissa sopimusmaissa valvoo Kansainvälinen atomienergiajärjestö (IAEA). Euroopan Unionin alueella EU:n ydinmateriaalitoimisto, Euratom Safeguards, huolehtii alueellisesta ydinmateriaalivalvonnasta. Euratom Safeguardsin valvonta perustuu Euroopan atomienergiayhteisön perustamissopimukseen, jonka nojalla sillä on oikeus valvoa ydinmateriaalien käyttöä ja hankintaa yhteisön alueella. Tarkoitus on varmistaa, että ydinmateriaaleja käytetään siten, kuin niitä on ilmoitettu käytettävän. Valtiolla on jakamaton vastuu siitä, ettei sen alueella harjoiteta ydinsulkusopimuksen vastaista toimintaa. Kansallisesta ydinmateriaalivalvonnasta Suomessa huolehtivat Säteilyturvakeskus (STUK) ja kauppa- ja teollisuusministeriö.

Ydinaineet ja ydinmateriaalit

Ydinaineella tarkoitetaan ydinennergian aikaansaamiseen soveltuvia erityisiä halkeamiskelpoisia aineita ja lähtöaineita. Erityisiä halkeamiskelpoisia aineita ovat ^{239}Pu , ^{233}U ja isotooppien ^{235}U tai ^{233}U suhteen väkevöity eli rikastettu uraani. Lähtöaineita ovat luonnonuraani, köyhdytetty uraani ja torium. Ydinmateriaalilla tarkoitetaan ydinaineita sekä sellaisia muita aineita (esimerkiksi deuterium ja grafiitti), laitteita (muun muassa polttoaineen käsittelylaitteet), laitteistoja (muun muassa rikastus- ja jälleenkäsittelylaitokset), tietoaaineistoja ja sopimuksia, joita voidaan käyttää ydinaseisiin tai niiden suunnitteluun ja valmistukseen.

Luonnonuraani

Uraania esiintyy pieninä pitoisuuksina maaperässä, pohjavedessä ja merivedessä. Luonnonuraani (natural uranium) on suurimmaksi osaksi isotooppia ^{238}U . Luonnonuraanissa isotooppia ^{235}U on 0,7 prosenttia.

Rikastettu uraani

Jotta uraania voitaisiin käyttää ydinvoimalaitosten kevytvesireaktoreiden polttoaineena, se on rikastettava.¹ Rikastusprosessissa halkeavan (fissionituvan) isotoopin ^{235}U pitoisuutta lisätään 3–5 prosenttiin. Tämä niin sanottu matalasti rikastettu uraani (LEU = low enriched uranium, alle 20 % ^{235}U) soveltuu ydinvoimalaitosten polttoaineeksi.

Kun uraanin rikastusaste isotoopin ^{235}U suhteen on 20 prosenttia tai sitä enemmän, on kyseessä korkeasti rikastettu uraani (HEU = high enriched uranium). Korkeasti rikastettua uraania käytetään muun muassa tutkimusreaktoreiden polttoaineena ja neutroni-ilmaisimena käytettävissä fissiokammioissa. Myös ydinaseissa käytetään korkeasti rikastettua uraania, jonka ^{235}U -pitoisuus on 90–95 prosenttia.

Köyhdytetty uraani

Köyhdytetty uraani (depleted uranium) on uraanin rikastusprosessin sivutuote. Köyhdytetystä uraanista on poistettu luonnonuraanissa mukana olevat radioaktiiviset hajoamistuotteet. Koska uraani on hyvin raskas metalli, noin 1,7 kertaa tiheämpi, sitä hyödynnetään kohteissa, joissa tarvitaan suuri massa pienessä tilassa. Köyhdytettyä uraania on käytetty muun muassa purjevereiden köleissä ja lentokoneiden siivikkeiden vastapainoissa.

Raskaana alkuaineena uraani soveltuu hyvin erityisesti gammasäteilyn vaimentamiseen. Köyhdytettyä uraania käytetään tämän takia radioaktiivisten aineiden säteilysuojana.

Köyhdytettyä uraania on suuren tiheytensä takia käytetty myös tavanomaisissa aseissa, esimerkiksi panssaritorjunta-ammuksissa ja ohjuksissa. Köyhdytetystä uraanista valmistetut panssaritorjunta-ammukset ovat yleensä umpimetallisia nuolimaisia ammuksia, joissa ei ole räjähdyspanosta. Ammuksen läpäisykyky perustuu uraanin suureen tiheyteen ja karkaistun uraanin kovuuteen. Uraanilla on lisäksi polttovaikutus, sillä iskussa kuumentunut ja pirstoutunut uraanimetalli syttyy ilmassa palamaan. Ohjusten räjähtävissä taistelukärjissä uraanin käyttö voi perustua sirpaleiden suureen läpäisykykyyn ja polttovaikutukseen.

¹ Lainsäädännössä käytetään termiä rikastus. Muuten ydintekniikassa puhutaan usein (isotooppi)väkevöinnistä, sillä rikastus voi tarkoittaa myös uraanimalmin kemiallista rikastusta.

8.2 | Historiallinen tausta

Ydinaseiden aikakausi alkoi toisesta maailmansodasta. Pian tämän jälkeen heräsi tarve perustaa kansainvälinen järjestö, joka ryhtyisi huolehtimaan ydinennergian käytön rajoittamisesta rauhanomaisiin tarkoituksiin. Kansainvälinen atomienergiajärjestö, IAEA, perustettiin vuonna 1957. Järjestön tavoitteeksi kirjattiin toisaalta pyrkimys nopeuttaa ja laajentaa atomienergian käyttöä rauhan, terveyden ja hyvinvoinnin edistämiseksi kaikkialla maailmassa. Toisaalta sen tulee varmistua käytettävissään olevin keinoin siitä, ettei sen antamaa apua tai sen pyynnöstä tai sen johdolla tai valvonnassa annettua apua käytetä edistämään sotilaallisia tarkoituksia. Näiden tavoitteiden saavuttamiseksi IAEA:lle annettiin valtuudet valvontajärjestelmän kehittämiseen ja valvontaan.

Myös Euratomin juuret ovat toisen maailmansodan jälkeisessä Euroopassa ja tuolloin ydinennergiaan liittyneissä kysymyksissä. Toisaalta haluttiin varmistaa, että uraania riittäisi kaikille Euratom-sopimukseen liittyville maille ja toisaalta myös varmistaa, ettei näin hankittua uraania käytetty muuhun kuin ilmoitettuun tarkoitukseen.

Euratomin perustaminen painottui taloudellisten ongelmien ratkaisemiseen. Taustalla oli myös huoli ydinaseiden leviämisestä. Esimerkiksi Saksa oli jo aikaisemmin luopunut oikeudestaan hankkia ydinaseita. Ranska puolestaan kieltäytyi luopumasta oikeudestaan kehittää ydinaseita. Siksi Euratomille ei asetettu mitään ydinaseiden leviämisen estämiseen liittyvää päämäärää, vaan ainoastaan velvollisuus valvoa, ettei ydinmateriaaleja käytetä muuhun kuin aiottuun (ilmoitettuun) tarkoitukseen.

Perustamissopimus antaa periaatteessa Euratomille laajat oikeudet säännellä ydinmateriaalin käyttöä, hankintaa ja valvontaa yhteisön alueella. Euratomin perustamissopimuksen 86 artiklan mukaan: ”Erityiset halkeamiskelpoiset aineet ovat yhteisön omaisuutta”. Tällä artiklalla ei ole kuitenkaan ollut käytännössä merkitystä.

8.3 | Ydinaseet

Ydinräjähteet ja niiden rakenne

Ydinräjähdyksessä vapautuu lyhyessä ajassa hyvin suuri määrä energiaa polttosäteilynä (valo- ja lämpösäteily), paineaaltona (ilmapaine ja täri-

nä) ja niin sanottuna alkusäteilynä (gamma- ja neutronisäteily). Lisäksi energiaa vapautuu pitkän ajan kuluessa jälkisäteilynä, kun räjähdyksessä syntyneet radioaktiiviset aineet ja niiden tytärnuklidit hajoavat. Räjähdysenergia on peräisin joko raskaiden atomiydinten halkeamisesta (fissio) tai keveiden ydinten yhtymisestä (fuusio). Ydinfuusioon tarvitaan erittäin korkeita lämpötiloja.

Perinteisesti ydinpommin räjähdysvoimakkuus ilmoitetaan vastaavana määränä kemiallista TNT-räjähdysainetta (trotyyli eli trinitrotolueeni): räjähdyksessä vapautuva energia - lämpösäteily, paine-energia ja alkusäteily (mutta ei jälkisäteily, joka tyypillisesti edustaa noin 5–10 % kokonaisenergiasta) - on yhtä suuri kuin ilmoitetun suuruisen TNT-määrän räjähdysenergia. Yhden kilotonnin (kt) TNT:tä räjähtäessä vapautuu energiaa $4,2 \cdot 10^{12}$ joulea, joka esimerkiksi fissioräjähteissä vastaisi noin 50–60 gramman ydinainemäärän täydellistä fissioitumista.

Fissiomateriaalit ja -räjähteet

Käytännössä on kolme radionuklidia, joita voitaisiin käyttää materiaalina fissiopommin aikaansaamiseen. Nämä ovat uraani-isotoopit ^{233}U ja ^{235}U sekä plutoniumisotoppi ^{239}Pu . Periaatteessa ydinräjähdde voidaan valmistaa myös ^{237}Np :sta ja ^{241}Am :sta.

Uraani esiintyy luonnossa kolmen isotoopin seoksena, ^{234}U (0,005 %), ^{235}U (0,7 %) ja ^{238}U (99,3 %) Fissioräjähteitä varten on luonnonuraani rikastettava ^{235}U -isotoopin suhteen 90–95 prosenttiseksi, mikä yleensä tehdään joko kaasudiffuusio- tai sentrifugimenetelmällä. ^{233}U :a voidaan valmistaa ydinreaktorissa ^{232}Th :sta, mutta sitä ei tiedetä varmasti käytetyn ydinräjähteissä.

Plutonium on keinotekoinen alkuaine, jota valmistetaan ydinreaktorissa säteilyttämällä ^{238}U :a. Syntynyt plutonium erotetaan ydinpolttoaineesta, uraanista ja fissiotuotteista kemiallisesti jälleenkäsittelylaitoksessa. Plutoniumia (^{239}Pu) tarvitaan tietyn suuruisen pommiin selvästi vähemmän kuin urania (^{235}U).

Ydinasekelpoinen plutonium sisältää ainakin 93 % ^{239}Pu :ia, muita mukana olevia isotooppeja ovat ^{240}Pu , ^{241}Pu ja ^{242}Pu .

Fissiopommien toiminta perustuu ketjureaktioon, jossa uraanin tai plutoniumin fissiossa syntyvät neutronit (uraanilla keskimäärin 2,5 kutakin halkeamista kohti) vuorostaan halkaisevat uusia atomiytimiä. Yksittäi-

sessä fissiotapahtumassa vapautuu välittömästi energiaa noin $29 \cdot 10^{12}$ J (180 MeV). Fissiossa emittoituvilla neutroneilla on hyvin suuri nopeus ja ne liikkuvat vain muutaman senttimetrin matkan eli ajallisesti luokkaa 10^{-8} s ennen kuin törmäävät toiseen atomiytimeen ja mahdollisesti aiheuttavat sen halkeamisen. Jos yhdessä fissiossa vapautuneista neutroneista keskimäärin useampi kuin yksi saa aikaan uuden fission, lisääntyy neutronien määrä (ja samalla myös vapautuva energia) eksponentiaalisesti. Fissioräjähteet tehdäänkin sellaisiksi, että neutronien karkaaminen systeemistä ja absorboituminen läsnä oleviin atomiytimiin fissiota tuottamatta on mahdollisimman vähäistä. Neutronien karkaamistodennäköisyyttä voidaan pienentää heijastimilla, jotka heijastavat osan neutroneista takaisin ydinmateriaaliin mutta eivät absorboi niitä. Hyviä heijastinmateriaaleja ovat monet kevyet alkuaineet.

Plutoniumin isotooppien ^{240}Pu ja ^{241}Pu ydinfysikaaliset ominaisuudet ovat pommin toiminnan kannalta hankalia. ^{240}Pu absorboi neutroneja. Lisäksi se halkeaa spontaanisti ja vaikeuttaa ketjureaktion oikea-aikaista aloittamista. ^{241}Pu taas hajoaa (puoliintumisaika 14,4 vuotta) amerikumiksi, joka absorboi voimakkaasti neutroneja ja saattaa siten heikentää vanhojen plutoniumpommiin räjähdystehoa. Näiden isotooppien suhteellisesti suuri määrä aiheuttaa sen, että normaalien ydinvoimaloiden pitkään reaktorissa säteilytetty polttoaine ei sovellu ydinaseplutoniumin erotukseen.

Kriittinen massa on pienin määrä fissiokelpoista materiaalia, jossa itseään ylläpitävä ketjureaktio voi tapahtua. Kriittisen massan suuruus riippuu paitsi materiaalin ydinfysikaalisista ominaisuuksista myös sen tiheydestä - alikriittinen massa voidaan puristaa kriittiseksi - ja kemiallisesta puhtaudesta sekä fysikaalisesta ympäristöstä. Normaalitiheyksiselle pelkälle ^{235}U :lle tämä massa on noin 50 kg, mutta jos ydinmateriaali ympäröidään vaikkapa 10 cm paksulla berylliumheijastimella, pienenee kriittinen massa arvoon 14 kg. Vastaavasti plutoniumin kriittinen massa on metallurgisesta rakenteesta riippuen 10–17 kg, mutta sopivan heijastimen kanssa vain noin 6–8 kg.

Heti kun on koossa kriittistä massaa suurempi ydinainemäärä, voi tapahtua räjähdys, koska jo yksikin neutroni (esimerkiksi kosmisen säteilyn neutroni) riittää aiheuttamaan ketjureaktion. Tämän vuoksi fissiopommit rakennetaan esimerkiksi siten, että ne koostuvat kahdesta tai useammasta kriittistä massaa pienemmästä fissiilistä kappaleesta, jotka saatetaan yhteen vasta räjähdysketkellä. Yhdistämisen tulee tapahtua erittäin nopeasti, sillä muuten aiemmissa fissioissa vapautunut energia ehtii hajottaa materiaalin ennen kuin suunnitellut ketjureaktion viimeiset - ja sa-

malla tärkeimmät - neutronisukupolvet ehtivät syntyä. Tässä suhteessa myös neutroniheijastimella on tärkeä tehtävä. Se toimii tehostimena pitäen pommin materiaalia kasassa hiukan kauemmin, jotta nuo viimeiset neutronisukupolvet saavat mahdollisuuden muodostua.

Fissiilin materiaalin nopeassa yhteen saattamisessa on sovellettu ainakin kahta eri menetelmää. Tykkimenetelmässä (tai kanuunamenetelmässä) ”tykinputken” vastakkaisissa päissä on kaksi alikriittistä räjähdeosaa, jotka sitten ammutaan tavanomaisilla räjähdysaineilla toisiaan vasten. Implooosiomenetelmässä käytetään fissiilistä materiaalista tehtyä pallonkuorta, joka räjäytetään sisäänpäin kasaan sopivasti muotoilluilla kemiallisen räjähdysaineen segmenteillä eli niin sanotuilla linseillä. Implooosiomenetelmä on näistä kahdesta tehokkaampi, eikä tykkimenetelmää edes voi soveltaa plutoniumräjähteelle ^{240}Pu :n spontaanin fissioitumisen takia.

Ketjureaktion aloittamiseksi tarvitaan neutronilähde varmistamaan, että neutroni on paikalla juuri oikealla hetkellä kriittisen massan muodostuessa. Ajoitus on erittäin tärkeä, ja tästä syystä neutronilähdekin asennetaan usein vasta räjähdyshetkellä (esimerkiksi saattamalla beryllium tai boori yhteen alfa-aktiivisen radionuklidin kanssa, jolloin alfahiukkaset näiden aineiden ytimiin osuessaan aiheuttavat neutroniemissioita).

Kriittisen massan olemassaolo asettaa rajan fissiopommista saatavalle räjähdysvoimalle, koska se rajoittaa käyttökelpoisen fissioräjähdemateriaalin määrää. Erilaisten teknisten parannuskeinojen avulla voidaan lisätä fissiokelpoisen ydinaineen määrää ja saada se fissioitumaan tehokkaammin, mutta käytännössä fissioräjähteen tuottama suurin mahdollinen räjähdysenergia lienee noin 500 kilotonnia.

Fuusiomateriaalit ja -räjähteet

Fuusiopommeissa (lämpöydinpommeissa, ”vetypommeissa”) räjähdysenergia saadaan prosessista, jossa keveät alkuaineytimet yhtyvät toisiinsa ja muodostavat raskaampia ytimiä. Vedyn raskailla isotoopeilla – deuteriumilla ^2D ja tritiumilla ^3T – on neljä mahdollista fuusioreaktiota:

1. $^2\text{D} + ^2\text{D} \rightarrow ^3\text{He} + ^1_0\text{n}$ (0,52 · 10⁻¹² J, 3,3 MeV)
2. $^2\text{D} + ^2\text{D} \rightarrow ^3\text{T} + ^1_1\text{H}$ (0,64 · 10⁻¹² J, 4 MeV)
3. $^3\text{T} + ^2\text{D} \rightarrow ^4\text{He} + ^1_0\text{n}$ (2,82 · 10⁻¹² J, 17,6 MeV)
4. $^3\text{T} + ^3\text{T} \rightarrow ^4\text{He} + 2^1_0\text{n}$ (1,81 · 10⁻¹² J, 11,3 MeV)

Nähdään, että yhtä fuusioreaktiota kohti vapautuva energia on ainakin kertalukua pienempi kuin fissiossa vapautuva energia. Jos kuitenkin otetaan huomioon reaktioon osallistuvien nuklidien massat, havaitaan, että massayksikköä kohden fuusio tuottaa enemmän energiaa kuin fissio, deuteriumin ja tritiumin välisessä reaktiossa jopa nelinkertaisen määrän. Koska fuusiossa ei synny pitkäikäisiä radioaktiivisia aineita, pelkkä fuusioräjähdyks aiheuttaisi huomattavasti vähäisemmän radioaktiivisen saastumisen kuin fissiopommin räjäyttäminen.

Itseään ylläpitävä fuusioreaktio ei voi käynnistyä, ennen kuin siihen osalliset ytimet ovat saavuttaneet riittävän korkean energian, jotta ne voittavat ytimien positiivisesta varauksesta aiheutuvat poistoyöntävät voimat. Pommissa tämä energia tuotetaan nostamalla materiaalin lämpötilaa. Kuitenkin jo helpoimmin saavutettavissa oleva fuusioräjähdyks, deuteriumin ja tritiumin välinen fuusio, edellyttää noin 50–100 miljoonan asteen lämpötilaa, ennen kuin siitä tulee itseään ylläpitävä, ja tällaiset lämpötilat on mahdollista saada aikaan vain fissioräjähdyksen yhteydessä. Tämän takia fuusiopommeissa on pieni fissioräjähde sytyttimenä. Viimeisten parinkymmenen vuoden aikana on kuitenkin myös tutkittu mahdollisuutta tuottaa fuusioräjähdyks ilman fissiosytytintä, esimerkiksi suuntaamalla fuusioräjähteeseen intensiivinen laser- tai hiukkassuihku, mutta ilmeisesti mitään kovin konkreettista menestystä ei tässä ole vielä aseteknologian kannalta saavutettu.

Fuusioräjähdemateriaaleista deuteriumia on luonnostaan jonkin verran vedessä (yksi atomi 6 700 tavallista vetyatomia kohden, niin sanottu raskas vesi), josta se voidaan erottaa muun muassa elektrolyytisesti. Tritium sen sijaan on valmistettava joko raskasvesireaktoreissa tai säteilyttämällä litiumia (reaktiot ${}^1\text{n}_{\text{hidas}} + {}^6\text{Li} \rightarrow {}^4\text{He} + {}^3\text{T}$ ja ${}^1\text{n}_{\text{nopea}} + {}^7\text{Li} \rightarrow {}^4\text{He} + {}^3\text{T} + {}^1\text{n}_{\text{hidas}}$). Deuteriumin ja tritiumin seos on kemialliselta koostumukseltaan vetykaasua. Se voidaan paineella ja matalalla lämpötilalla saattaa nesteeksi, jota sitten on mahdollista käyttää fuusiopommin räjähdemateriaalina. Moderneissa ydinaseissa kuitenkin useimmiten käytetään toisena kevyenä alkuaineena litiumia, jolloin materiaali saadaan kiinteään olomuotoon. Kyseeseen tuleva yhdiste on litiumhydridi eli käytännössä litiumdeuteridi Li^2D (tai litiumtritidi Li^3T). Fissiosytytimen räjähdyksessä syntyvät neutronit tunkeutuvat litiumdeuteridin deuteriumytimiin ja muodostavat tritiumia, joka sitten fuusioituu deuteriumin kanssa. Litiumdeuteridin käyttö myös eliminoi sen mahdollisuuden, että räjähdde vanhenisi ja sen teho ratkaisevasti heikkenisi pommin sisältämän ”valmiin” tritiumin puoliintumisen takia (puoliintumisaika 12,3 vuotta).

Fuusioreaktiolla ei ole mitään kriittistä massaa, joten sen avulla voidaan periaatteessa saada aikaan miten suuria räjähdysenergioita tahansa. Käytännössä kuitenkin olisi hyvin vaikeaa sijoittaa suuri määrä fuusioräjähdemateriaalia sytyttimen ympärille ja samalla varmistaa, että riittävästi fuusioreaktioita ehtii tapahtua ennen kuin räjähdys sinkoaa materiaalin pois. Fissiopommeissa käytettävä (suurimassainen) heijastin-tehostin auttaisi jonkin verran asiaa, mutta ei riittävästi, sillä varsinaisena ongelmana on saada fuusioituva materiaali riittävän kuumaksi ja fuusioreaktiot käynnistymään sinä lyhyenä aikana, jonka fissioräjähdys kestää.

Ratkaisu perustuu aksiaaliseen pommirakenteeseen ja fissioräjähdyksessä syntyvien gamma- ja röntgensäteiden heijastumiseen. Pommin päässä sijaitsevan fissiosytyttimen räjähdyksessä emittoituva röntgensäteily etenee valon nopeudella sytyttimen keskustasta, heijastuu pommirakennetta ympäröivästä sisäpuolisesta (esimerkiksi paraboloidisesta) peilistä ja kohdistuu toisessa päässä olevaan fuusioräjähteeseen aiheuttaen siihen valtavat säteilypaineen, jonka seurauksena se samanaikaisesti sekä kuumenee että puristuu kokoon. Sopivalla geometrialla ja fuusiomateriaalin valinnalla – materiaali esimerkiksi on jaettu pienempiin osiin, jotka on päällystetty ohuella raskasmetalliabsorbaattorilla – on mahdollista saada aikaan röntgensäteilyn kohdistuminen fuusioituvaan aineeseen lähes yhtäkkisesti, jolloin räjähdyksestä seuraa hyvin suuri fuusioenergiasaalis. Suurimman ydinkokeen, Neuvostoliiton vuonna 1961 räjäyttämän, todennäköisesti tämän tyyppisen pommin voimakkuus oli noin 60 Mt (noin 3 000 kertaa Nagasakin pommia voimakkaampi ydinräjähdde).

Erilaisia ydinpommikonsepteja

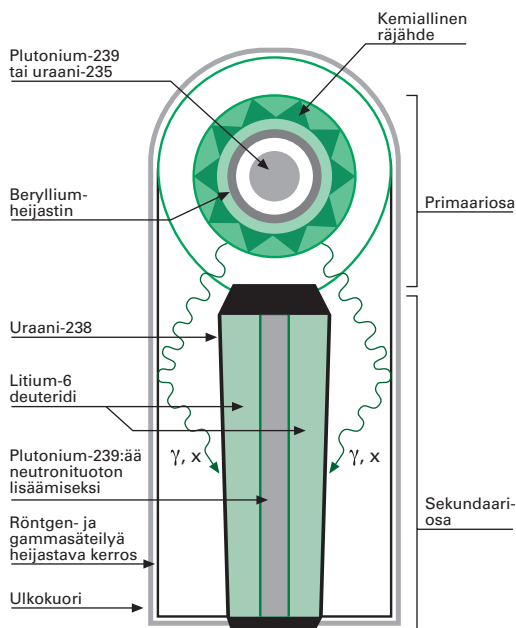
Mikäli tavallisissa fissiopommeissa uraani tai plutonium on onttona pallona ja pallon sisällä keskustassa on pieni määrä fuusiomateriaalia, fissioräjähdysten aiheuttamaa imploosiota seuraava puristuminen ja kuumeneminen aiheuttaisi pienen fuusioräjähdysten. Tästä syntyvä suuri määrä neutroneita lisäisi varsinaisessa räjähdemateriaalissa tapahtuvia fissioita ja kasvattaisi siten pommin voimakkuutta. Menetelmää sanotaan pommin tehostamiseksi eli ”boostaukseksi”.

Jos taas vetypommin heijastin-tehostin tehdään uraanista (^{238}U tai luonnonuraani), aiheuttavat fuusiossa vapautuvat hyvin energiset neutronit siinä fissioita, joissa vapautuva energia lisää pommin räjähdysvoimakkuutta. Tällaisia pommeja kutsutaan fissio-fuusio-fissio-pommeiksi, koska niissä energia vapautuu kolmessa vaiheessa. On luultavaa, että monet

nykyajan ydinpommit ovat tämän tyyppisiä kolmivaiheisia räjähteitä tai niiden muunnoksia (kuva 8.1). Tällaiset pommit ovat erittäin saastuttavia, sillä syntyvien radioaktiivisten aineiden määrä saattaa olla jopa satoja, ehkä peräti tuhansia kertoja suurempi kuin tavallisen kokoisessa fissiopommissa. Räjähdyksessä syntyy myös paljon plutoniumia, sillä fuusioneutronien tunkeutuminen ^{238}U -yttimeen tuottaa toisinaan fission sijasta plutoniumia.

Ydinräjähteitä voidaan myös ”suolata” toisin sanoen lisätä niiden aiheuttamaa radioaktiivista saastumista. Tämä tapahtuu sekoittamalla pommin rakenneosiin sellaisia alkuaineita, jotka aktivoituvat helposti nopeiden neutronien vaikutuksesta.

Neutronipommit eli lisätyn alkusäteilyn ydinaseet ovat vetypommeja, joiden räjähdysvoimakkuus on suhteellisen pieni – ehkä vain yhden kilotonnin luokkaa – mutta, jotka on suunniteltu neutronisäteilyn vaikutuksen maksimoimiseksi. Nämä räjähteet sisältävät mahdollisimman vähän materiaalia, joka absorboi neutroneita (niissä ei esimerkiksi ole heijastinta); päätavoitteena on panssaroiduissa ajoneuvoissa olevien sotilaiden tuhoaminen räjähdysen alkusäteilyllä (neutroni- ja gammasäteilyllä).



Kuva 8.1. Nykyaikaisen ydinpommin periaatteellinen rakenne

Pommi koostuu kahdesta pääsysteemistä: primaari- ja sekundaariosasta. Primaariosa on fissioräjähdde (tai tehostettu fissioräjähdde, ’boosteripommi’) ja sekundaariosa uraaniheijastimella (tehostimella) varustettu fuusioräjähdde. Primaariosan räjähdysessä syntyvä säteily heijastuu pommin rakenteista sekundaariosaan. Säteilypaineesta johtuva kuumeneminen ja kokoonpuristuminen aiheuttaa sekundaariosassa fuusioräjähdysen.

Ydinräjäytyksen vaikutukset

Ydinräjähdysen välittömät vaikutukset esiintyvät noin minuutin kulussa räjähdysketkestä. Näitä ovat painevaikutus (eli ilmanpaine ja värinä), lämpövaikutus (valo ja poltto), alkusäteily (gamma- ja neutronisäteily) sekä sähkömagneettiset ilmiöt (esimerkiksi sähkömagneettinen pulssi EMP). Radioaktiivinen laskeuma taas edustaa räjähdysen jälkisäteilyn vaikutusta.

Fissiopommin räjäytyksessä vapautuvasta energiasta noin 50 % on paine-energiaa, 35 % lämpösäteilyä, 5 % alkusäteilyä ja 10 % jälkisäteilyä. Fuusiopommin (kolmivaiheisen fissio-fuusio-fissio-pommin) räjähdysenergiasta puolet oletetaan usein tulevan fissioista. Neutronipommiräjähteissä paine-energian ja lämpösäteilyn osuus on edellisiä pienempi (40 % ja 25 %), kun taas alkusäteily on huomattavasti voimakkaampaa (30 % räjähdysenergiasta).

Esitetyt arviot ovat vain keskimääräisiä, sillä räjähdysenergian tarkka jakautuminen riippuu räjähteen yksityiskohtaisesta rakenteesta ja väliaineesta, jossa pommi räjäytetään (ilmassa, maan alla tai vedessä). Mitä korkeammalla ilmakehässä pommi räjäytetään, sitä vähäisempi on esimerkiksi paineiskuaallon osuus vapautuvasta energiasta. Toisaalta taas maanpintaräjähdykset aiheuttavat huomattavaa maa-aineksen radioaktiivista saastumista, jolloin tietysti jälkisäteilyn ”tehollinen” kokonaisuus (eli radioaktiivinen laskeuma) kasvaa.

Räjähdystapahtuma ja välittömät vaikutukset

Ydinpommin räjähtäessä kaikki pommin osien jäänteet kuumenevat useiden kymmenien miljoonien asteiden lämpötilaan ja höyrystyvät. Koska kaikki kaasut syntyvät pommin alkuperäisessä tilavuudessa, aiheuttaa höyrystyminen valtavan paineen, joka on noin miljoonakertainen normaali-ilmakehään verrattuna. Kuumat kaasut emittoivat lämpösäteilyä, pääosin röntgensäteitä, jotka absorboituvat (ilmaräjähdyksessä) ympäröivään ilmaan muutaman metrin säteelle. Samalla syntyy myös huomattava määrä sekundaarista säteilyä. Räjähdystä ympäröivässä kylmemmässä ilmassa tapahtuvien absorptio- ja emissioprosessien seurauksena syntyy valaiseva tulipallo ilmasta ja aseiden höyrystyneiden jäännösten materiaaleista.

Fissiopommin ydinhalkeamissa syntyvistä neutroneista osa jatkaa ketjureaktioita, mutta jotkut syöksyvät suurella nopeudella ulos tulipallosta ja muodostavat alkusäteilyn neutronikomponentin. Käytännöllisesti katsoen

koko neutronisäteily tapahtuu vain sekunnin murto-osan aikana, samoin kuin fissioihin liittyvä niin sanottu kerkeä gammasäteilykin. Pääosa gamma-alkusäteilystä on kuitenkin peräisin hyvin lyhytikäisistä fissiotuotteista. Alkusäteilyssä esiintyvä beetasäteily on merkityksetöntä, koska se ei juuri tunkeudu ulos tulipallosta. Fuusioräjähdyksissä syntyvien neutronien energia on suurempi kuin fissioneutronien energia, joten niiden ulottuvuus on vastaavasti jonkin verran suurempi. Pääosa näistä neutroneista tarvitaan silti ^{238}U -ytimien halkaisemiseen (kolmivaihepommeissa). Heti muodostumisen jälkeen tulipallo alkaa kasvaa ja nousta. Massan kasvassa pallo samalla jäähtyy ja muuttuu alun perin liki pyöreästä rengasmaiseksi. Noin minuutin kuluttua se ei enää lähetä näkyvää säteilyä. Räjähdykskorkeudella ja tulipallon säteellä on tärkeä merkitys varhaislaskeuman (lähilaskeuman) kannalta. Jos tulipallo koskettaa maan pintaa, maa-aines ja muut materiaalit höyrystyvät ja tempautuvat tulipalloon. Myös räjähdystä seuraavan imun vaikutuksesta tulipalloon voi tulla maata, joka pilven jäähtyessä sekoittuu radioaktiivisiin hajoamistuotteisiin ja muodostaa eri kokoisia hiukkasia. Näistä raskaimmat alkavat sitten hie-
man myöhemmin pudota painovoiman vaikutuksesta kohti maata ja muodostavat varhaislaskeuman eli yhden vuorokauden kuluessa maahan tulevan laskeuman.

Räjähdympilvi nousee kymmenessä minuutissa lakikorkeuteensa 3–30 kilometriin (pilven yläreuna). Nousukorkeus riippuu räjähdysvoimakkuudesta. Myöhäis- eli kaukolaskeuma koostuu räjähdyspilvessä olevasta hienojakoisesta aineksesta, joka nousee pilven mukana ylempiin ilmakerroksiin troposfääriin yläosaan tai stratosfääriin. Stratosfääriin asti joutuneet hiukkaset kiertävät ilmapvirtausten mukana ympäri maapalloa ja laskeutuvat maahan vasta vuosien kuluessa.

Tulipallon ympärille kehittynyt valtava paine etenee nopeasti kaikkiin suuntiin pallokuoren muotoisena seinämänä. Esteiden kohdalla paine ilmenee kerran tapahtuvana heilahduksena: paine nousee (ylipaine), laskee normaalipaineeseen ja sen alle (alipaine eli imu) ja palaa lopulta normaaliksi. Paineen suuruus vähenee kääntäen verrannollisena räjähdyspisteestä lasketun etäisyyden neliöön. Paineaallon kohdatessa maanpinnan se heijastuu. Tietyllä etäisyydellä suora ja heijastunut painerintama saattavat yhdistyä ja aiheuttaa korkeampia painehuippuja kuin pelkkä suora paineaalto. Maanalaisissa ydinräjäytyksissä paine ilmenee maan tärinänä, ”maanjäristyksenä”, mihin seisminen ydinkoevalvonta perustuu.

Kuumasta tulipallosta emittoituva lämpösäteily etenee suoraviivaisesti valon nopeudella ja vaimenee niinikään etäisyyden neliöön verran-

nollisena, joskin ilmassa tapahtuva absorptio ja sironta vielä tehostavat vaimenemista. Lämpösäteily emittoituu kahtena pulssina, joista ensimmäinen on vain muutaman millisekunnin pituinen. Se koostuu lähinnä ultraviolettisäteilystä, joka saattaa aiheuttaa sokaistumisen. Jälkimmäinen pulssi taas on kestoltaan joitakin sekunteja ja tuottaa pääosan lämpöenergiasta.

Ilmaräjähdyksessä syntyvä ionisoiva säteily ionisoi ympäröivää ilmaa hyvin tehokkaasti. Ionisaatioiden kautta vapautuneet niin sanotut Compton-elektronit aiheuttavat liikkeessaan sähkömagneettisen pulssin (EMP), joka - räjähdyskorkeudesta riippuen - saattaa edetä satojen, jopa tuhansien kilometrien päähän ja vaurioittaa lyhytkestoisuudestaan (muutamia mikrosekunteja) huolimatta suojaamattomia sähkölaitteita. Pulssi on luonteeltaan radioaaltojen kaltainen, mutta se sisältää kaikki spektrin aallonpituudet ja sen amplitudi on miljoonia kertoja suurempi kuin varsinaisilla radioaalloilla.

Taulukossa 8.1 on vertailtu eri suuruisten optimikorkeudella tapahtuvien ydinräjähdysten välittömiä vaikutuksia. Tällä korkeudella tehtyä räjäytystä seuraavan paineaallon tuhovaikutukset (eli tietyn suuruinen painehuippu) maanpinnalla ulottuvat mahdollisimman laajalle alueelle. Kun esimerkiksi tarkastellaan vahvojen rakennusten ja rakenteiden vakavia vaurioita (ylipainehuippu noin 100 kPa), on yhden kilotonnin räjähdyksessä optimikorkeus noin 200 metriä ja yhden megatonnin räjähdyksessä kaksi kilometriä.

Vaikutukset (räjähdys optimikorkeudella)	Etäisyys (km)			
	Räjähdysvoimakkuus			
	1 kt	10 kt	100 kt	1000 kt
Paine				
talojen väestönsuojat tuhoutuvat				3
vahvat rakennukset vaurioituvat korjauskelvottomiksi	0,4	0,8	1,6	3,5
heikot rakennukset vaurioituvat korjauskelvottomiksi	0,8	1,7	3,6	8
ikkunat särkyvät, vaurioita tulee oviin, väliseiniin	3,5	7,5	16	34
Poltto				
2. asteen palovammoja (rakkoja palaneissa paikoissa); helposti syttyvät aineet syttyvät tuleen	0,8	2,3	6,3	16
Radioaktiivinen alkusäteily				
lähies kaikki ihmiset saavat säteily sairauden, osa kuolee	0,9	1,3	1,8	2,5

Taulukko 8.1 Eri suuruisten ydinräjähdysten vaikutusetäisyyksiä

Radioaktiivinen laskeuma

Ydinräjähdyksessä ilmaan, veteen ja maaympäristöön joutuvien radioaktiivisten aineiden määrä ja koostumus riippuvat räjähteen ominaisuuksista, räjähdyskorkeudesta ja maanpinnan laadusta. Vallitsevat sääolot vaikuttavat voimakkaasti radioaktiivisten aineiden kulkeutumiseen ja laskeutumiseen maan pinnalle (laskeuma, katso taulukko 8.2). Suurissa räjähdyksissä epäsuotuisten sääolojen aikana laskeuman vaikutukset saattavat ulottua useiden valtioiden alueelle satojen, jopa tuhansien kilometrien etäisyydelle. Korkealla ilmassa tapahtuva räjähdys aiheuttaa useimmiten vain myöhäislaskeuman, joka on yleensä selvästi vähäisempi kuin pintaräjähdysten aiheuttama laskeuma.

Hiukkasten laskeutumisnopeuteen vaikuttavat muun muassa pilven hiukkaskokojakauma, sateet, ilmakehän turbulenssi sekä tuulen suunta ja nopeus eri korkeuksilla. Ydinpommikokeista tehtyjen havaintojen perusteella vain pieni osa hiukkasista on niin suuria (halkaisija yli 400

μm), että ne putoavat lähes välittömästi maahan. Ne hiukkaset, joiden koko on yli 40 μm , laskeutuvat maahan ensimmäisen vuorokauden aikana. Osa hiukkasista on niin pieniä, että ne saattavat nousta pilven mukana stratosfääriin asti ja laskeutua sieltä vasta vuosien tai vuosikymmenien kuluessa. Myöhäislaskeumassa saattaa silti esiintyä myös niin sanottuja kuumia hiukkasia.

Laskeumasta aiheutuvan ulkoisen säteilyn voimakkuus alkaa heiketä melko pian.

Taulukko 8.2 Radioaktiivisen laskeuman tärkeimmät nuklidit sisäisen ja ulkoisen altistuksen kannalta

Fissiotuotteet		Säteilylaji	Puoliintumisaika
Krypton 85 ¹	⁸⁵ Kr	β, γ	10,8 vuotta
Strontium 89	⁸⁹ Sr	β	50,5 vrk
Strontium 90	⁹⁰ Sr	β	29,1 vuotta
Zirkonium 95	⁹⁵ Zr	β, γ	64,0 vrk
Rutenium 103	¹⁰³ Ru	β, γ	39,3 vrk
Rutenium 106	¹⁰⁶ Ru	β	1,03 vuotta
Jodi 131	¹³¹ I	β, γ	8,04 vrk
Jodi 132	¹³² I	β, γ	2,30 tuntia
Cesium 136	¹³⁶ Cs	β, γ	13,2 vrk
Cesium 137	¹³⁷ Cs	$\beta(\gamma)$	30,7 vuotta
Barium 140	¹⁴⁰ Ba	β, γ	12,8 vrk
Cerium 141	¹⁴¹ Ce	γ	32,5 vrk
Cerium 144	¹⁴⁴ Ce	β, γ	285 vrk
Aktivoitumistuotteet			
Tritium	³ H	β	12,3 vuotta
Hiili 14	¹⁴ C	β	5730 vuotta
Mangaani 54	⁵⁴ Mn	γ	312 vrk
Rauta 55	⁵⁵ Fe	γ	2,73 vuotta
Plutonium 238	²³⁸ Pu	α, γ	87,7 vuotta
Plutonium 239	²³⁹ Pu	α, γ	24 100 vuotta
Plutonium 240	²⁴⁰ Pu	α	6560 vuotta
Plutonium 241	²⁴¹ Pu	α, γ	14,4 vuotta
Amerikium 241	²⁴¹ Am	α	433 vuotta

¹ ⁸⁵Kr on jalokaasu, jota esiintyy laskeumassa pieniä määriä hiukkasiin loukkuuntuneena.

Aluksi heikkeneminen tapahtuu varsin nopeasti, mikä johtuu siitä, että laskeumassa on mukana paljon lyhytikäisiä radioaktiivisia aineita. Kokeellisesti on havaittu, että laskeumasäteilyn voimakkuus pienenee niin sanotun seitsemän-kymmenen-säännön mukaisesti: tunti räjähdysen jälkeen mitatusta voimakkuudesta (edellyttäen että kyseisellä paikalla lähes kaikki laskeuma on jo tullut maahan) säteily heikkenee seuraavassa seitsemässä tunnissa kymmenesosaansa; kahdessa vuorokaudessa edelleen tästä kymmenesosaan ja niin edelleen. Säteilyn heikkenemisestä seuraa, että hyvinkin pahasti alussa saastuneilla alueilla voidaan suojautumistoimia helpottaa jo muutaman vuorokauden kuluttua.

Varhaislaskeuman saastuttamien maa-alueiden laajuuden ja vallitsevien säteilytasojen ennustamista varten on pelastusviranomaisilla käytettävissään sekä manuaalisia että atk-pohjaisia laskentamalleja, joista useimmat perustuvat niin sanottuun sikarimenetelmään.

Laskeuma aiheuttaa välittömän säteilyriskin lähinnä ulkoisen säteilyn ja radioaktiivisten aineiden hengittämisen kautta. Laskeuma voi saastuttaa myös elintarvikkeet. Rehu saattaa kontaminoitua ilmassa olevista radioaktiivisista aineista ja eläimet voivat hengittää saastunutta ilmaa. Viljelykasveihin radioaktiiviset aineet joutuvat joko suoraan ilmasta sateen tai kuivan laskeuman tuomina tai maasta juurioton kautta. Pintavesiin tulleet laskeumasta taas siirtyy osa vesiravintoketjujen kautta kalaan. On todennäköistä, että vakava laskeuma aiheuttaa useita erilaisia elintarvikkeiden tuottamista ja nauttimista koskevia pitkäkestoisiakin kieltoja ja suosituksia.

8.4 | Valvontasopimukset

Ydinmateriaalien tuottaminen, kansainvälinen kauppa, kuljetukset, varastointi ja käyttö ovat tiukan kansainvälisen valvonnan alaisia. Ydinmateriaalien leviäminen ydinaseisiin pyritään estämään niin tehokkaasti kuin se käytännössä on mahdollista. Kansainvälisellä tasolla ydinmateriaalien valvontajärjestelyt perustuvat moniin sopimuksiin, joista keskeisimpiä tarkastellaan seuraavassa.

Ydinsulkusopimus

Ydinsulkusopimuksen tarkoituksena on estää ydinasevaltioiden lukumäärän lisääntyminen, mutta samalla myös tarjota ydinaseettomille maille mahdollisuus päästä osalliseksi ydinvoiman rauhanomaisen käytön kehi-

tyksestä ja eduista. Sopimuksen sisältämä perusnormi on ydinaseen ja sotilaallisen teknologian kieltäminen niiltä mailta, joilla ei ollut ydinasetta sopimuksen allekirjoitushetkellä.

Sopimuksen mukaan ydinaseettomat valtiot sitoutuvat siihen, etteivät ne ota vastaan, hanki tai muuten valmista ydinaseita tai muita ydinräjähteitä, eivätkä myöskään ota vastaan minkäänlaista apua ydinaseiden tai muiden räjähteiden valmistamiseksi. Ydinasevaltiot sitoutuvat siihen, etteivät ne luovuta ydinaseita tai muita räjähteitä ydinaseettomien valtioiden suoraan tai epäsuoraan hallintaan, eivätkä avusta niitä sellaisen hankkimisessa. Sopimuksen mukaisia virallisia ydinasevaltioita ovat Yhdysvallat, Venäjä, Kiina, Iso-Britannia ja Ranska.

Suomi on ollut IAEA:n jäsenvaltio vuodesta 1958 lähtien ja ydinsulkusopimuksen osapuoli alusta alkaen. Suomi talletti ydinsulkusopimuksen ratifioimisasiakirjat 5.2.1969 ja sopimus astui voimaan 5.3.1970. Suomen kannalta liittyminen ydinsulkusopimukseen ei ollut ongelmallista, sillä Suomi oli Pariisin rauhansopimuksessa 1947 luopunut ydinaseen hankinnasta. Näin oli Suomen etujen mukaista ulottaa sama velvoite koskemaan mahdollisimman monta valtiota.

Valvontasopimus IAEA:n kanssa

Ydinsulkusopimuksen neuvotteluiden aikana oli selvää, että IAEA olisi sopivin kansainvälinen järjestö vastaamaan ydinmateriaalivalvonnasta. IAEA ei kuitenkaan ole ydinsulkusopimuksen osapuoli, vaan kyseinen sopimus on valtioiden välinen sopimus. Ydinsulkusopimuksessa valtio on sitoutunut yksipuolisesti alistamaan ydinaineet IAEA:n valvontaan ja neuvottelemaan sen kanssa valvontasopimuksen. Koska IAEA ei ole ydinsulkusopimuksen osapuoli, valvontasopimus on se oikeudellisesti merkittävä toimi, jolla valtio hyväksyy IAEA:n valvontajärjestelmän mukaisen valvonnan omalla alueellaan.

Ydinsulkusopimuksen solmimisen jälkeen IAEA:ssa neuvoteltiin ja sen hallintoneuvostossa hyväksyttiin mallisopimus, joka on julkaistu IAEA:n asiakirjana INFCIRC/153 (blue book). Tämän mallisopimuksen pohjalta valtiot joko yksin tai yhdessä toisten valtioiden kanssa neuvottelevat IAEA:n kanssa yksilöllisen valvontasopimuksen liitteineen.

Suomi neuvotteli ja allekirjoitti 11.6.1971 ensimmäisenä valtiona IAEA:n kanssa ydinsulkusopimukseen perustuvan valvontasopimuksen. Lopullisissa neuvotteluissa valvontakomitean suositus muokattiin Suomen tar-

peita vastaavaksi ja julkaistiin IAEA:n asiakirjana INFCIRC/155. Sopimus astui voimaan valtioista ensimmäisenä Suomessa 10.2.1972, ja oli Suomessa voimassa aina vuoteen 1995 asti, jolloin Suomesta tuli Euroopan unionin jäsen. Tällöin Suomi liittyi IAEA:n, Euroopan atomienergia-yhteisön ja Euroopan unionin ydinaseettomien jäsenvaltioiden väliseen valvontasopimukseen ja ”vanhan” valvontasopimuksen soveltaminen lopetettiin.

INFCIRC/153 -tyyppinen valvontajärjestelmä perustuu ilmoitettavaan ydinaineiden kirjanpitoon ja raportointiin sekä IAEA:n paikan päällä tekemiin tarkastuksiin. Se perustuu ajatukseen, jonka mukaan niin kauan kuin kaiken ydinmateriaalin todetaan olevan rauhanomaisessa käytössä, voidaan luottaa siihen, että sitä ei salaa voida käyttää ydinaseiden valmistamiseen. Valvonnan toteuttamiseksi IAEA:lle annettiin oikeus suorittaa tarkastuksia valtion ilmoittamissa ydinmateriaalin säilytyspaikoissa.

Euratom-sopimus

Euratomin valvontajärjestelmä perustuu ensisijaisesti Euroopan atomienergiayhteisön, Euratomin, perustamissopimuksen seitsemänteen lukuun, sen perusteella annettuun komission asetukseen 3227/76 ja siihen tehtyihin muutoksiin 220/90 ja 2130/93. Lisäksi Euratomin valvonta perustuu osittain IAEA:n kanssa solmittuun valvontasopimukseen (kolmikantasopimus) ja ydinalan bilateraalisopimuksiin Australian, Kanadan ja Yhdysvaltain kanssa.

Euratomin valvontajärjestelmä kohdistuu ydinaseettomiin ja ydinasevaltioihin. Valvontayhteistyö IAEA:n kanssa jakaa Euratomin jäsenvaltiot kahteen ryhmään, sillä kolmikantasopimuksen osapuolina ovat IAEA, Euratom ja EU:n ydinaseettomat valtiot. EU:n ydinasevaltioiden, IAEA:n ja Euratomin välinen yhteistyö perustuu ydinasevaltioiden vapaaehtoisuuden pohjalta tehtyihin valvontasopimuksiin. Euratomin järjestelmä eroaa IAEA:n järjestelmästä siten, että sen velvoitteet kohdistuvat suoraan kansallisiin laitoksiin ja yrityksiin. Euratom ei valvo suoranaisesti valtion velvoitteiden noudattamista, kuten IAEA, vaan asettaa velvollisuudet suoraan ydintoiminnan harjoittajille. Tämä ei kuitenkaan merkitse valtion velvoitteen lakkaamista, vaan valtiolla säilyy edelleen velvollisuus noudattaa ydinsulkusopimuksen mukaisia velvollisuuksia. Valtiolla on vastuu siitä, ettei sen alueella harjoiteta ydinsulkusopimuksen vastaista toimintaa.

Euratom ja IAEA - kolmikantasopimus

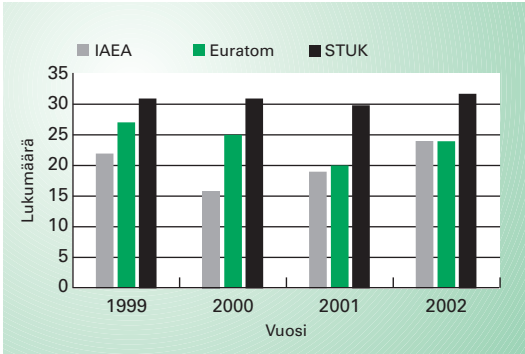
Suomen liittyminen Euroopan unioniin merkitsi samalla liittymistä Euratom-sopimukseen ja sen valvontajärjestelmän soveltamista Suomessa. IAEA, Euratom ja EU:n ydinaseettomat valtiot ovat solmineet keskenään Suomen ja IAEA:n välistä valvontasopimusta vastaavan kolmikantasopimuksen. Euratomin jäsenyyden myötä Suomi liittyi kolmikantasopimukseen, joka korvasi Suomen ja IAEA:n kahdenvälisen sopimuksen. Euroopan unionin ydinaseettomien jäsenvaltioiden, Euratomin ja IAEA:n välinen kattava valvontasopimus on julkaistu IAEA:n asiakirjana INFCIRC/193. Kummankin ydinasevaltion, Ranskan ja Iso-Britannian sekä Euratomin ja IAEA:n välillä on solmittu vapaaehtoiset valvontasopimukset.

Kolmikantasopimus eroaa useissa suhteissa kahdenvälisestä sopimuksesta. Selvin ero muihin valvontasopimuksiin on kolmikantasopimuksen yhteydessä solmittu pöytäkirja, joka katsotaan osaksi valvontasopimusta. Pöytäkirjalla pyritään erityisesti järjestämään Euratomin ja IAEA:n välinen käytännön yhteistyö.

IAEA:n kannalta sopimus merkitsee Euratomin valvontajärjestelmän melko laajaa hyväksikäyttöä taaten IAEA:lle mahdollisuuden itsenäisesti tehdä johtopäätöksensä valvonnan tuloksista. IAEA:lla on sopimuksen mukaan oikeus ja velvollisuus valvoa, ettei ydinaineita siirretä ydinsähteissä käytettäväksi. Voidaan siis luonnehtia, että Euratomin tehtävänä on tietojen kerääminen ja näiden alustava tarkastaminen sekä analysointi, ja IAEA:n tehtävänä on arvioida valvontajärjestelmästä saadut tulokset.

Kolmikantasopimuksen soveltaminen on merkinnyt tiettyä valvonnan päällekkäisyyttä, sillä IAEA ja Euratom ovat pitäneet kiinni oikeudestaan pystyä omien havaintojen perusteella itsenäisesti varmistamaan valvonnan tehokkuus.

Kolmikantasopimuksen toimeenpanemiseksi on perustettu yhteistyökomitea eli ”Liaison Committee”, joka muodostuu Euratomin ja IAEA:n välisistä edustajista. Komitean tehtävänä on pyrkiä koordinoimaan valvontayhteistyötä ja laatimaan tarvittaessa ehdotuksia yhteistyön kehittämiseksi. Kun yhteistyökomitea ei riittävästi kyennyt tehostamaan IAEA:n ja Euratomin välisiä yhteistyötä, se perusti syyskuussa 1991 työryhmän selvittämään keinoja yhteistyön parantamiseksi. Työryhmä suositteli vuonna 1992 uuden lähestymistavan omaksumista kolmikantasopimuksen toi-



Kuva 8.2 Ydinmateriaali-tarkastusten määrät Suomessa vuosina 1999–2002

meenpanemiseksi. Tämä niin sanottu ”New Partnership Approach” (NPA) hyväksyttiin uudeksi yhteistyömuodon pohjaksi.

NPA-järjestelyn päämääriin pyritään erilaisin keinoin, joiden taustalla on pyrkimys päällekkäisyyksien välttämiseen ja kulujen pienentämiseen. Pääperiaatteena on ”one-job-one-person”. Lisäksi pyritään yhtenäistämään käytäntöjä kaikilla yhteistyön alueilla: suunnittelemaan tarkastukset yhdessä, kehittämään yhteisiä toimintamuotoja, käyttämään yhteisiä menetelmiä ja niin edelleen. Kummallakin järjestöllä on oikeus päättää itsenäisesti, minkälaista valvontaa se harjoittaa velvollisuuksiensa täyttämiseksi. Lisäksi kummankin organisaation on voitava tehdä itsenäisesti johtopäätöksiä suorittamansa valvonnan perusteella. Tällä hetkellä kolmikantasopimusta pyritään soveltamaan koko yhteisön alueella NPA:n periaatteiden mukaisesti.

Kolmikantasopimusta on sovellettu Suomessa vuodesta 1995 alkaen. IAEA:n ja Euratomin toiminta ei muuttanut ratkaisevasti Suomessa tehtävää käytännön valvontaa. Kolmikantasopimus on kuitenkin käytännössä merkinnyt valvonnan lisääntymistä Suomessa.

Lisäpöytäkirja

1990-luvulla Persian lahden sodan jälkeen selvisi, että Irak oli kehittänyt salaista ydinasetta. Vaikka IAEA oli ilman huomautuksia valvonut Irakin sille ilmoittamia ydinaineita, maa oli kyennyt kehittämään laajan salaisen ohjelman. Tällöin IAEA:ssa ryhdyttiin laatimaan suunnitelmia valvontajärjestelmän tehostamiseksi, jotta se paremmin vastaisi vallitsevia olosuhteita.

Uskottavuuden palauttaminen vaati valvonnan kokonaisuudistuksen, jonka kiireellinen suunnittelu aloitettiin 1993 kaksivuotisena hankkeena valvontaa suorittavassa IAEA:ssa. Kokonaisuudistus toteutetaan hallinnollisesti valvontasopimuksen lisäpöytäkirjana. Sen mukainen valvonta aloitetaan Suomessa ja muissa EU-maissa vuonna 2003 tai 2004.

Vanhan ja uuden valvontajärjestelmän suurin ero on se, että vanhan järjestelmän puitteissa IAEA:n valvonta saattoi kohdistua vain valtion IAEA:lle ilmoittamaan ydinmateriaaliin eikä salaisia materiaaleja tai toimintoja voitu suoranaisesti etsiä. Perusajatus oli, että kun kaikki rauhanomainen materiaali oli valvonnassa, valvonnan ulkopuolelle ei voinut jäädä niin paljon materiaalia, että sen varaan olisi voinut rakentaa kokonaisen salaisen ydinaseohjelman. IAEA:n valvonnan tehokkuus ja tarkastusten taajuus sekä ajankohdat oli suunniteltu sellaisiksi, että vaikka ydinaseohjelmaan tarvittavat laitokset olisivat olleet olemassa, IAEA olisi havainnut niiden tarvitseman materiaalin ottamiset valvonnan alaisista laitoksista riittävän nopeasti.

Irak osoitti tämän lähtökohdan vääräksi. Irak antoi aikanaan IAEA:lle ilmoituksen ”kaikesta” ydinmateriaalista maassa, ja sitä ydinmateriaalia IAEA valvoi vuosia ongelmitta. Samaan aikaan Irak kuitenkin rakensi täysin erillisen salaisen ydinaseohjelman, joka ei tarvinnut mitään niistä ydinmateriaaleista, jotka olivat IAEA:n valvonnassa.

Uuden valvontajärjestelmän perustehtävänä on uskottavuuden palauttaminen antamalla varmuus siitä, ettei maassa ole salaisia ydinmateriaaleja tai -toimintoja. Vanha järjestelmä ei poistu, vaan se on tarkoitus integroida uuteen saumattomasti.

Uuden valvontajärjestelmän ydin on kerätä huomattavasti enemmän ja laajempia tietoja maan ydinohjelmasta, tehdä täydentäviä tarkastuksia ja muodostaa koko maata koskevat johtopäätökset. IAEA kerää tietoja sekä maalta itseltään että muista avoimista lähteistä. Näitä ovat esimerkiksi satelliitit, tieteelliset ja muut julkaisut, sähköiset mediat, kuten kaupalliset tietokannat, internet ja erilaiset kontaktit, joita IAEA:lla on (seminaarit, asiantuntijayhdistykset, alan yritykset) sekä laajoja alueita käsittävä ympäristössä olevien radioaktiivisten aineiden monitorointi.

Uudessa valvontajärjestelmässä pelkkä urania, plutoniumia ja toriumia koskeva informaatio ei enää riitä, vaan myös seuraavia tietoja erityisistä paikoista ja toiminnoista on ilmoitettava kansainvälisen valvonnan kohteeksi:

- Valtion kustantama, sen luvittama tai valvoma tutkimus- ja kehitystoiminta, joka liittyy ydinpolttoainekierto. Sopimuksessa rajataan valvonnan ulkopuolelle toimet, jotka liittyvät teoreettiseen tutkimukseen ja tieteelliseen perustutkimukseen. Tarkka rajanveto siitä, mitä tutkimuksia – esimerkiksi reaktoriturvallisuudesta – kuuluu valvonnan piiriin, ei kuitenkaan ole vielä täysin selvä.
- Laitosalueen kartta ja kuvaus jokaisesta rakennuksesta. Laitosalueella tarkoitetaan sopimuksessa myös tutkimuslaitoksia.
- Kuvaus niiden yritysten toiminnan laajuudesta, joiden yritystoimintaan sisältyvät tietyt sopimuksen liitteessä 1 listatut toiminnot. Tällaisia ovat esimerkiksi zirkoniumputkien, raskaan veden, deuteriumin, reaktorin säätösauvojen, käytetyn ydinpolttoaineen varastointiin tai kuljetukseen tarkoitettujen säiliöiden, grafiitin ja sentrifugiputkien valmistus ja koaminen.
- Tiedot uranikaivoksista sekä uraani- ja torium-malmien rikastuslaitoksista.
- Tiedot sellaisten laitteiden ja muiden aineiden kuin uraanin, plutoniumin ja toriumin maasta vienneistä, ja mikäli IAEA erityisesti pyytää myös maahan tuonneista, jotka on lueteltu sopimuksen liitteessä 2. Tällaisia ovat esimerkiksi reaktorit ja niiden osat, polttoaineen latauskoneet, säätösauvat, deuterium, raskasvesi, grafiitti, jälleenkäsittelylaitokset ja niitä varten erityisesti suunnitellut tai valmistetut laitteet, polttoaineen valmistuslaitokset, uraanin rikastamiseen tarkoitettut laitteet ja laitteet.
- Polttoainekiertoa koskevat 10-vuotissuunnitelmat, mukaan lukien tutkimus ja kehitystoiminta.
- Yleiskuvaus tutkimustoiminnasta, jota valtio ei rahoita eikä valvo, ja joka koskee pääasiassa uraanin rikastusta ja polttoaineen jälleenkäsittelyä. Tähän artiklaan sisältyy myös viittaus valvonnan kohteena oleviin ydinjätetutkimuksiin, jotka koskevat radioaktiivisten aineiden erottelua ja transmutaatiota.

Näiden tietojen kerääminen, kattavuuden ja oikeellisuuden tarkastaminen sekä toimittaminen IAEA:lle kansainvälistä valvontaa varten kuuluu kansallisten ydinmateriaaliviranomaisten tehtäviin.

Lisäpöytäkirjan mukaiset täydentävät tarkastuskäynnit

Lisäpöytäkirjan mukaan IAEA ei saa systemaattisesti ja mekaanisesti tarkastaa kaikkea sille toimitettua tietoa, joka yllä on esitetty. Jos tiedoissa on puutteita, epätarkkuuksia tai jos IAEA on saanut muuta kautta sellaista informaatiota, joka on ristiriidassa valtion toimittaman tiedon kanssa, IAEA:n on ensin pyydettävä valtiolta selvennyksiä ja lisätietoja. Mikäli tämä ei selvitä asiaa, järjestö voi tehdä niin sanotun täydentävän tarkastuksen.

Tällöin IAEA:n tarkastajilla on melko laaja pääsy

- mihin tahansa paikkaan laitosalueella
- tutkimuslaitoksiin, yrityksiin ja maahantuojien toimitiloihin
- kaikkiiin käytöstä poistettuihin laitoksiin ja paikkoihin, joissa ydinainetta on käytetty sekä
- kaikkiiin muihin IAEA:n nimeämiin paikkoihin, joista voidaan ottaa ympäristönäytteitä.

On tärkeätä huomata ero vanhan ja uuden valvontajärjestelmän tarkastusten välillä. Vanhassa järjestelmässä IAEA:n tehtävänä on todentaa systemaattisesti ja mekaanisesti kaikki sille ilmoitettu ydinmateriaali, kun taas uudessa järjestelmässä tällainen systemaattinen ja mekaaninen kaiken tarkastaminen on nimenomaan kielletty.

Jos IAEA aikoo tehdä uuden järjestelmän mukaisen niin sanotun täydentävän tarkastuksen, on sen syy ilmoitettava valtiolle etukäteen kirjallisesti samoin kuin mitä tarkastustoimia se aikoo tehdä.

Laajat pääsyoikeudet aiheuttavat erityisesti tutkimuskeskuksissa ongelmia muun muassa sen suhteen kuinka kaupalliset salaisuudet ja tärkeät innovaatiot pysyvät salaisina. Luottamuksellisuuteen on sopimuksessa kiinnitetty erityistä huomiota.

Käytännön valvonnan kannalta monet sopimuksen kohdat ovat vaikeahkosti tulkittavia eivätkä ole täysin yksiselitteisiä. Näitä voidaan tarkentaa sopimalla kirjallisesti niin sanotuissa liitännäisjärjestelyissä.

Vanhassa valvontajärjestelmässä valvontatoimet kohdistuivat ydinlaitoksissa oleviin ydinaineisiin, ja IAEA saattoi halutessaan tehdä valvontaa

riippumattomasti kansallisista viranomaisista. Kuten yllä olevasta voidaan havaita, IAEA:n uuden valvontajärjestelmän onnistuminen on riippuvaisempi kansallisen viranomaisen tasosta, työstä ja sen laadusta.

Valvontajärjestelmien yhteensovittaminen

Lisäpöytäkirjan mukanaan tuoma valvonnan muutos on suuri, ja se tähtää vanhan ja uuden valvontajärjestelmän yhteensovittamiseen siten, että valvonnan kustannukset eivät nouse. Sitä mukaan kun uusia valvontapiirteitä otetaan käyttöön joistain vanhoista on luovuttava. Tämä on mahdollista, sillä uusi järjestelmä antaa varmuutta siitä, että salaisia laitoksia ei ole. Näin vanhan järjestelmän mukaista tarkastusten määrää ja taajuutta voidaan vähentää. Olihan vanhan järjestelmän yhtenä lähtökohdana juuri se, kuinka kauan rauhanomaisesta käytöstä salaa otetun ydinmateriaalin teko räjähteeksi kestää, kun oletetaan, että tarvittavat laitokset ovat valmiina olemassa.

Kahdenväliset ydinalan sopimukset

Kun Suomi solmi valvontasopimuksen (INFCIRC/155) IAEA:n kanssa 10.2.1972, Suomella oli entuudestaan valvontasopimukset IAEA:n kanssa koskien valtion teknillisen tutkimuskeskuksen (VTT) reaktoria ja teknillisen korkeakoulun (TKK) alikriittistä miilua. Jotta Suomessa ei olisi jouduttu soveltamaan toisistaan poikkeavia järjestelyjä, Suomen ja IAEA:n välisessä valvontasopimuksessa säädettiin, että näiden projektisopimusten valvontaa lykättäisiin tämän valvontasopimuksen voimassaoloajaksi.

Projektisopimusten lisäksi Suomella oli kahdenväliset ydinalan yhteistyösopimukset Iso-Britannian, Ruotsin, Neuvostoliiton ja Yhdysvaltain kanssa. Sopimukseen sisältyi myös valvontaa koskevia määräyksiä. Myöhemmin Teollisuuden Voima Oy:n polttoainehankintojen myötä Suomi solmi kahdenväliset sopimukset Australian ja Kanadan kanssa ja antoi Kiinalle uraanin jälleenvientä koskevan sitoumuksen. Useimmat näistä sopimuksista on Euroopan unioniin liittymisen myötä korvattu Euratomin ja kyseisen osapuolen välisillä sopimuksilla. Suomen ja Venäjän rauhanomaista ydinenergian käyttöä koskevaa kahdenvälistä sopimusta jatkettiin vuonna 2000 viidellä vuodella.

Sopimusten avulla tuottajamaat haluavat varmistua, että niiden tuottamaa uraania tai muita ydinpolttoainekiertoon kuuluvia materiaaleja ja

palveluita ei käytetä ydinaseiden tai -räjähteiden valmistukseen. Sopimuksissa on yleensä asetettu ostajamaille materiaalin valvontaan ja jälleenvientiin liittyviä velvoitteita.

Kattava ydinkoekieltosopimus

Vuonna 1996 avattiin allekirjoituksia varten kattava ydinkoekieltosopimus (CTBT). Maat, jotka sopimuksen allekirjoittavat, lupaavat olla tekemättä ydinkokeita. Sopimus astuu voimaan vasta kun siinä nimetyt 44 merkittävää ydinteknologiaa hallitsevaa maata ovat ratifioineet sen. Suomi ratifioi CTBT-sopimuksen vuoden 1999 alussa. Ydinkoekieltosopimus on yksi merkittävimmistä ydinaseteknologiaa rajoittavista sopimuksista. Merkittävänä sen tekee erityisesti se, että kaikki viralliset ydinasemaat Yhdysvallat, Venäjä, Englanti, Ranska ja Kiina ovat allekirjoittaneet sopimuksen. Tosin kaikki maat eivät vuoden 2003 alkuun mennessä olleet ratifioineet sopimusta.

Ydinkokeita on tarvittu muun muassa seuraavista syistä: testataan vanhojen ydinaseiden toimivuus, saadaan lisätietoa entistä parempien aseiden kehittämiseksi ja testataan tietokoneohjelmia, joiden tarkoituksena on jäljitellä ydinräjähdysä.

Sopimus sisältää mittavan kansainvälisen valvontajärjestelmän, jolla todennetaan sopimuksen noudattaminen. Tarvittavien valvontajärjestelmien rakentaminen on vaativa tekninen tehtävä.

Sopimuksella perustetun kansainvälisen organisaation päämaja on sijoitettu Wieniin. Siellä toimii sopimuksen valmistelun sihteeristö, joka ylläpitää sopimuksen valvontajärjestelmien tietojenkäsittelyä varten luotua kansainvälistä tietokeskusta (IDC). Valvontajärjestelmästä saatavien tietojen reaaliaikainen keruu, prosessointi ja välittäminen on IDC:n päätehtävä.

8.5 | Valvontamenetelmät

Valvonnan kattavuus

Ydinmateriaali- eli safeguards-valvonnan päätarkoituksena on varmistaa, ettei ydinmateriaaleja tuoteta, käytetä tai siirretä ydinaseiden val-

mistamiseen. STUKin tehtävänä on ylläpitää ja kehittää kansallista ydinmateriaalien valvontajärjestelmää, valvoa luvanhaltijoiden toimia ja huolehtia ydinenergian rauhanomaista käyttöä koskevien kansainvälisten sopimusten ja velvoitteiden täyttämisestä. STUK valvoo ydinmateriaalien hankintoihin, kuljetuksiin, käyttöön ja varastointiin liittyviä suunnitelmia ja toimenpiteitä, radioaktiivisten aineiden kuljetuksia ja kuljetuspakkauksia sekä yhteistyössä tullin kanssa pyrkii estämään näiden aineiden lainvastaisen maahantuonnin ja kuljettamisen.

Lupajärjestelmä

Suomen kansallisesta ydinmateriaalivalvonnasta säädetään ydinenergialaissa ja -asetuksessa, joissa määritellään luvanvaraiset toiminnot. Lupajärjestelmän avulla saadaan tiedot ydinmateriaaleista ja -toiminnoista, jotta Suomen tekemien ydinenergian rauhanomaista käyttöä koskevien kansainvälisten sopimusten velvoitteet voidaan täyttää.

Ydinaineita ja -materiaaleja koskeviin toimintoihin tarvitaan aina ydinenergielain mukainen lupa. Tällaisia toimintoja ovat muun muassa hallussapito, valmistus, tuottaminen, käsittely, käyttö ja varastointi sekä kuljetus, luovutus, maahantuonti ja maastavienti. Myös uraania ja toriumia sisältävien malmien ja malmirikasteiden tuontiin ja vientiin tarvitaan ydinenergielain mukainen lupa. Valtioneuvoston myöntämä ydinlaitoksen käyttö lupa sisältää yleensä myös toiminnassa tarvittavat ydinmateriaalit, mutta materiaalien maahantuontiin tai maastavientiin tarvitaan erillinen lupa. Lupaa haetaan STUKilta, joka tarvittaessa siirtää hakemuksen käsittelyn kauppa- ja teollisuusministeriölle ja antaa samalla asiasta lausuntonsa.

Tiedot ydintoiminnoista

Lupajärjestelmän kautta STUKille toimitetaan yksityiskohtainen kuvaus laitoksista ja prosesseista, joissa valvonnan alaista materiaalia säilytetään tai käsitellään. Kuvaus sisältää laitoksen ja käyttäjän perustiedot, tiedot valvonnan alaisesta materiaalista mukaan lukien sen käytön, käsittelyn, siirrot ja kirjanpitojärjestelmän. Lisäksi selvitetään säteilysuojeluun ja turvallisuuteen liittyvät asiat. Luvanhaltijalta saadun kuvauksen perusteella STUK ja tarvittaessa kansainväliset valvontaorganisaatiot tekevät suunnitelman valvonnan käytännön toteuttamista varten.

Ydinmateriaalivalvonnan käsikirja

Ydinmateriaalien hankintoihin, kuljetuksiin, käyttöön, käsittelyyn ja varastointiin liittyen luvanhaltija huolehtii omalta osaltaan ydinaseiden leviämisen estämiseen tarvittavasta valvonnasta ja siihen liittyvien Suomen solmimien kansainvälisten sopimusten velvoitteiden täyttämisestä. Tätä tarkoitusta varten luvanhaltija laatii ja ylläpitää materiaalitasealueensa tai muun vastaavan kirjanpitoyksikön ydinmateriaalikäsikirjaa. Käsikirjassa on ohjeet siitä, miten ydinmateriaalien kirjanpito-, raportointi- ja muut valvontavelvoitteet hoidetaan.

Käsikirjalle on hankittava STUKin hyväksyntä. Valvontaan liittyen luvanhaltija toimittaa STUKille selvityksiä, ilmoituksia ja raportteja.

Kirjanpito ja raportointi

Kansallisen ydinmateriaalivalvonnan keskeiset menetelmät ovat ydinmateriaalien kirjanpito ja raportointi. Niiden avulla STUKilla ja luvanhaltijalla on ajantasainen tieto ydinmateriaalien hankinnasta, tuonnista, viennistä, kuljetuksesta, käsittelystä, käytöstä ja varastoinnista. Raportointia koskeva yleinen periaate on, että luvanhaltija raportoi ydinmateriaaleja koskevasta toiminnasta STUKille niin kattavasti, että tietojen avulla voidaan ajantasaisesti

- olla selvillä ydinmateriaaleja koskevista suunnitelmista
- olla selvillä ydinmateriaalin kulloisestakin sijaintipaikasta
- todeta, ettei ydinmateriaaleja käytetä ydinaseiden tai räjähteiden valmistukseen tai tuntemattomiin tarkoituksiin
- todeta, että ydinmateriaaleja käytetään lupaehtojen ja määräysten mukaisesti
- täyttää Suomen tai EU:n solmimien ydinenergia-alan kansainvälisten sopimusten velvoitteet.

Luvanhaltijan toimittamien ennakkoilmoitusten perusteella STUK tarkastaa toiminnan luvanvaraisuuden, tekee tarvittavat ilmoitukset ulkomaisille viranomaisille ja suunnittelee tarkastukset. Toimintaa ja ydin-

materiaaleja koskevat tiedot luvanhaltija vahvistaa STUKille kirjanpito- ja toimintaraporttein. Näiden ja vuosiraporttien perusteella STUK saa tarvittavat tiedot materiaalitalousalueella olevasta ydinmateriaalista. Tekemiensä tarkastusten perusteella STUK varmistaa, että ilmoitetut tiedot vastaavat todellisuutta.

Kirjanpitoasiakirjat

Luvanhaltijan velvollisuus on pitää kirjaa vastuullaan olevista ydinmateriaaleista STUKin antamien ohjeiden sekä Euroopan komission asetuksen ja muiden ohjeiden mukaisesti. Ydinmateriaalien kirjanpidossa noudatetaan yleisiä kirjanpitoperiaatteita. Tietojen oikeellisuus varmistetaan suunnittelemalla kirjanpito siten, että tiedonsiirrossa ja tietojenkäsittelyssä mahdollisesti tapahtuvat virheet paljastuvat.

Kirjanpito perustuu lähtötietoasiakirjoihin, joita ovat lähettäjältä saadut ydinmateriaalitiedot, ydinaine-erän mittausta- ja laskentatietoasiakirjat sekä muut vastaavanlaiset selvitykset. Perustiedosto on ydinmateriaalieräkohtainen tiedosto ydinaineista tai luettelo laitoksella olevasta ydinmateriaalista. Perustiedostoon kootaan ydinmateriaalierää koskevat tiedot koko niiden käyttö- ja varastointiajalta.

Pääkirja on ydinlaitosten kirjanpitokirja, johon kirjataan tuleva ja poistuva ydinaine varastomuutoskohtaisesti tapahtumien aikajärjestyksessä. Toimintakirjaan kirjataan päiväkirjamaisesti kaikki ne ydinmateriaaleihin liittyvät tapahtumat ja toimenpiteet, joilla saattaa olla merkitystä kirjanpidon kannalta. Tällaisia ovat esimerkiksi ydinmateriaalien lähetys ja vastaanotto, näiden valmistelu sekä erityisissä valvontasäännöksissä ja valvontasopimuksen laitoskohtaisissa liitteissä mainitut tapahtumat: muun muassa reaktorin alasajo, polttoainepun tarkastus ja korjaus (esimerkiksi eheyteen puuttuminen), sinettien poistaminen, polttoainesäiliöiden liikkeet ja täyttöaste.

Kirjanpitoimet suoritetaan aina välittömästi toimenpiteen jälkeen. Asiakirjat pidetään ajan tasalla ja aina tarkastettavissa. Pääkirjat ja toimintakirjat arkistoidaan koko laitoksen käytön ajan.

Raportointi

Raportoinnin periaatteena on, että luvanhaltija ilmoittaa STUKille ja Euratomille etukäteen ydinmateriaalivalvontaan liittyvistä merkittävistä tapahtumista ja vahvistaa tiedot jälkikäteen.

Kuva 8.3 Suomen ensimmäinen IAEA:lle toimittama varastomuutosraportti vuodelta 1972

Ydinmateriaalivalvonnan raportteja ovat ennakkoilmoitukset, kirjanpitoraportit ja toimintaraportit. Luvanhaltija toimittaa Euratomille ydinaineita koskevia varastomuutos- ja taseraportteja, taseraporttien liitteenä toimitettavia varastolistauksia sekä kansainvälisiä siirtoja koskevia raportteja, jotka Euratom toimittaa edelleen IAEA:lle. Edellä mainitut raportit luvanhaltija toimittaa suoraan Euratomille ja lähettää niistä kopion tiedoksi STUKille. Varastomuutosraportti laaditaan kaikista materiaalitasealueella tapahtuvista ydinainevaraston muutoksista. Näitä ovat esimerkiksi ydinaineen tuonti, vastaanotto, vienti sekä lähetys.

Tarkastukset laitospaikoilla

Ydinmateriaalivalvontaan liittyviä tarkastuksia STUK tekee yksinään ja yhdessä kansainvälisten tarkastajien (IAEA, Euratom Safeguards) kanssa. Niissä todennetaan, että todellinen ydinmateriaalitalanne ja suoritettujen toimenpiteiden laitoksella ovat lupaehtojen, ydinmateriaalikäsikirjan sekä sopimusvelvoitteiden mukaiset ja että ydinmateriaalien kirjanpito ja raportit vastaavat tätä tilannetta. Tarkastukset kohdistuvat varastomuutoksiin, ydinainevaraston määritykseen tai laitoksen koko ydinmateriaalivalvontajärjestelmään.

IAEA ja Euratom tekevät omat tarkastuksensa määräajoin, nykyään vähintään kolmen kuukauden välein. STUKin tarkastaja osallistuu IAEA:n

ja Euratomin tarkastuksiin tarkkailijana ja tekee samalla oman riippumattoman tarkastuksensa. Asiakirjatarkastusten ja ydinaine-erien todennuksen lisäksi IAEA ja/tai Euratom huoltavat valvontalaitteet (kamerat) ja vaihtavat tai tarkastavat sinetit. STUK käyttää ydinmateriaalin todentamisessa niin sanottuja ainetta rikkomattomia mittausmenetelmiä. Niissä käytettävät laitteet on erityisesti kehitetty säteilytetyn ydinpolttoaineen tarkastukseen laitospaikoilla.

Ydinainevaraston määrittämiseen kohdistuvassa tarkastuksessa STUK, IAEA ja Euratom todentavat, että laitospaikalla tehty yksityiskohtainen ydinaineluettelo on oikea ja täydellinen ja, että inventaari on oikein tehty. Lisäksi STUK tarkastaa polttoaineen sijoittelun asianmukaisuuden reaktorisydämessä hyväksymänsä lataussuunnitelman perusteella. Inventaaritarkastus tehdään pääsääntöisesti kerran vuodessa, ydinvoimalaitoksilla vaihtolatauksen yhteydessä, ennen reaktorin painesäiliön kannen sulkemista.

Luvanhaltijan valvontajärjestelmän tarkastuksessa STUK tarkastaa laitospaikan koko ydinmateriaalivalvontajärjestelmän. Tarkastuksen kohteena ovat järjestelmän kattavuus, laitoksen suunnittelutietoaasiakirjat, ydinenergialain mukaiset luvat, ydinmateriaalikäsikirja, ydinmateriaalien kirjanpito- ja raportointimenettelyt sekä laitoksen sisäiset tarkastukset ja sen organisaatio.

STUK laatii kaikista tekemistään ydinmateriaalitarkastuksista pöytäkirjan, johon kirjataan tarkastuksen kohteet, käytetyt menetelmät, erityishuomiot ja tarkastuksen tulos. Euratom ilmoittaa tarkastuksen tuloksista suoraan laitospaikalle, IAEA lähettää tarkastustensa tulokset Euratomin kautta STUKille.

Kattavan ydinkoekiellon valvontajärjestelmä

Kansainvälinen valvontajärjestelmä perustuu neljään teknologiaan: seismologia, hydroakustiikka, infrääni ja ilman radioaktiivisuusvalvonta. Yhtenä suunnittelukriteerinä on ollut se, että yhden kilotonnin räjähdys tulisi havaita, tapahtuipa se maassa, vedessä tai ilmassa. Myös räjähtäyksen peittävien toimien mahdollisuus on otettu huomioon.

Kansainvälinen tietokeskus IDC kerää tiedot valvontajärjestelmästä, prosessoi ne ja välittää tiedot edelleen kansallisille tietokeskuksille. Kansallisen tietokeskuksen tehtävänä on suodattaa IDC:n mittaustie-

doista ja analyyseistä ydinkokeisiin liittyvä tieto sekä antaa asiantuntija-arvio mahdollisista ydinkokeista. Suomessa kansallisen tietokeskuksen toiminnasta vastaa STUK.

Seisminen valvonta

Seismissä monitorointijärjestelmässä on 50 primaarista asemaa. Yksi näistä on Suomen FINES-asema Lahden lähellä. Tarvittaessa tietoja voidaan täydentää sekundaariverkolla, johon kuuluu 120 pienempää asemaa. Seismissen valvontajärjestelmän tekniset perusteet on jo kehitetty varsin pitkälle (GSETT-3 experiment).

Seismissen signaalien tietojenkäsittely IDC:ssä on korkeatasoista. Tietokone laskee reaaliajassa muun muassa havaitsemisrajaa maanjäristykselle. Tavallisesti tämä on noin 3,5 Richterin asteikolla, mutta se nousee selvästi (4–4,5) voimakkaan maanjäristyksen jälkeen. Häiriösignaali kestää noin 10 minuuttia, ja se vaikeuttaa ydinkokeen havaitsemista.

Hydroakustiikkaan perustuva valvonta

Hydroakustisen monitorointijärjestelmän perustana on kuusi vedenalaisia kuunteluasemaa. Lisäksi järjestelmää tukee viisi mantereella tai saarella sijaitsevaa seismistä asemaa. Sopimuksen mukaan tulevaa valvontajärjestelmää ei rakenneta sellaiseksi, että se pystyisi seuraamaan esimerkiksi sukellusveneidä liikkeitä.

Hydroakustiikan tietoliikenne on vaikea ongelma. Periaatteessa on kaksi ratkaisua: poiju ja radiolähetin tai kiinteä kaapelointi. Jälkimmäinen on kalliimpi, mutta teknisesti korkeatasoisempi ratkaisu ja lisäksi huoltokustannuksiltaan halvempi.

Infraääneen perustuva valvonta

Infraääniasemien määrä tulee olemaan 60. Yksittäinen mittausasema perustuu neljään mikrobarografiin. Yhden anturin vikaantuminen ei estä aseman toimintaa. Infraäänen avulla voidaan todeta yhden kilotonnin räjäytys ilmassa 2 000–2 500 kilometrin päässä. Laitteisto toimii taajuusalueella 0,01–10 Hz. Resoluutio on 0,01 Pa (1 Hz) ja dynaaminen alue ainakin 80 dB.

Infraäänen avulla voidaan paikata säteilyvalvonnan yksi heikkous: ilmaräjähdyksen paikka voidaan arvioida nopeasti ja luotettavasti.

Jos havainto tehdään vähintään kahdella asemalla, voidaan laskea räjäytyksen paikka sadan kilometrin tarkkuudella. Infraäänijärjestelmän antamien väärin hälytysten määrästä ei ole vielä luotettavaa arviota.

Säteilyvalvonta

Ydinkokeiden säteilyvalvonnassa käytetään seuraavia järjestelmiä:

- aerosolimittaus (radioaktiivisten hiukkasten keruu)
- jalokaasumittaus (ksenon)

Radioaktiivisten aerosolien ja hiukkasten havainnointi kuuluu keskeisenä osana kansainväliseen valvontaverkkoon. Näiden asemien lukumäärä tulee olemaan 80. Jalokaasumittalaitteet tullaan asentamaan neljällekymmenelle näistä asemista. Vaikeissa analyyseissä mittalaitteverkostoa tukee 16 laboratoriota; Säteilyturvakeskus Helsingissä on yksi näistä laboratorioista.

Jalokaasupäästön todennäköisyys on aina olemassa, olipa räjähdyspaikan geologinen suojaus miten hyvä tahansa. Lisäksi kokeen peittäminen seismiseltä valvonnalta rakentamalla suuri räjähdysonkalo maan alle suurentaa vääjäämättä jalokaasupäästöjen todennäköisyyttä. Siten jalokaasumittaukset ovat pelote, jonka olemassaolo sellaisenaan estää valtioita ryhtymästä salaiseen maanalaiseen ydinkokeeseen.

Ilman radioaktiivisuusvalvontaan tarvitaan hiukkasten suurtehokerääjä (yli 500 m³/h) ja tehokkuudeltaan vähintään 40 % HPGe-puolijohdeilmaisoin. Järjestelmä toimii kolmen vuorokauden syklistä: keräysaika 24 h, odotusaika 24 h ja suodattimen analyysi 24 h. Tällöin fissiopomille tyypillisten gammasäteitä emittoivien isotooppien havaitsemisraja on suuruusluokkaa 1–30 μBq/m³. Tuoreesta laskeumasta pommin voi tunnistaa tietyistä isotooppisuhteista: esimerkiksi $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs} < 0,01$ ja $^{95}\text{Nb}/^{95}\text{Zr} < 1$.

Jalokaasujen havaitsemisraja on tyypillisesti tuhatkertainen hiukkasmittaukseen verrattuna (1 mBq/m³). Kuitenkin jalokaasupäästö voi olla useita kertaluokkia suurempi kuin hiukkaspäästö, etenkin maanalaisten kokeiden yhteydessä tai räjäytyksessä, joka tehdään ilman ja veden rajapinnassa rankkasateiden aikaan.

Räjähdyspaikalla tapahtuvat tarkastukset

Sopimus antaa mahdollisuuden suorittaa myös epäilyllä räjähdyspaikalla tarkastuksia. Tällöin täytyy olla kuitenkin selkeä näyttö siitä, että jotain on tapahtunut. Tarkastustoimien aloittamisesta päättää allekirjoittajavaltioista koostuva sopimuksen valvonnan hallintoneuvosto.

Mahdolliset tarkastukset ovat hyvin tunkeilevia kohdemaan näkökulmasta, siksi niiden sisältöön ja mahdollisiin paikalla tapahtuviin toimenpiteisiin tulee kiinnittää erityistä huomiota.

KIRJALLISUUTTA

Marzano, Ilari. Kansainvälisen atomienergiajärjestön valvontajärjestelmän vahvistaminen. Helsingin yliopisto, Julkisoikeuden laitos, 1997.

Lindroos, Anja. Ydinsulkujärjestelmä ja Euratom. Tutkielma, Helsingin yliopisto, Julkisoikeuden laitos, 1997.

Varjoranta, Tero. Tehoa ydinmateriaalien valvontaan. ALARA 2/2000.

IAEA:n perussääntö, SopS 2/1998.

Euratomin perustamissopimus

Suomen tasavallan ja Kansainvälisen atomienergiajärjestön välinen valvontasopimus, SopS 2/1972.

Hallituksen esitys ydinaseiden leviämisen estämistä koskevan sopimuksen eräiden määräysten hyväksymisestä. HE 125/1968 vp.

Hallituksen esitys valvontasopimuksen eräiden määräysten hyväksymisestä. HE 196/1971 vp.

Ydinsulkusopimus, SopS 11/70

EU:n ydinaseettomien jäsenvaltioiden, Euroopan atomienergiayhteisön ja Kansainvälisen atomienergiajärjestön välillä ydinsulkusopimuksen III artiklan 1 ja 4 kohdan täytäntöönpanosta tehty sopimus, ns. Kolmikanta-sopimus, INFCIRC/193 (SopS 55-57/95).

Mallilisäpöytäkirja, INFCIRC/540. Vienna: International Atomic Energy Agency, 1997.

Ydinuhkat ja varautuminen. STUK-A123, Helsinki: Säteilyturvakeskus, 1995.

Paakkola O, Myllyniemi P. Ydinaseet - vaikutukset ja suojaus. Julkaisija Suomen Väestösuojelujärjestö. Helsinki: Helsingin Liikekirjapaino Oy, 1977.

Säteily ja ydinsota. Julkaisijat Lääkärien sosiaalinen vastuu ry ja Lääkärit ydinsotaa vastaan - toimikunta. Jyväskylä: Gummerus Oy, 1983.

Glasstone S, Dolan PJ. The effects of nuclear weapons. Third edition. Published by US Department of Defence and US Department of Energy, 1977.

Seufritz W. Energiewirtschaftliche Nutzung von Kernsprengmaterial. Atomwirtschaft 1993, 38: 437-440.

Sopimus täydellisestä ydinkoekiellosta, SopS 14/2001 ja 15/2001.