

# ELINTARVIKETEOLLISUUSLAITOSTEN JA NIIDEN YMPÄRISTÖN PUHDISTUSTOIMENPITEET SÄTEILYTILANTEESSA

T. Kantala

Tässä raporttisarjassa esitetyt johtopäätökset ovat tekijöiden johtopäätöksiä, eivätkä ne välttämättä edusta Säteilyturvakeskuksen virallista kantaa.

ISBN 952-478-039-9 (nid.)  
ISBN 952-478-040-2 (pdf)  
ISBN 952-478-041-0 (html)  
ISSN 0781-1705

Dark Oy, Vantaa, 2005

Myynti:  
STUK – Säteilyturvakeskus  
PL 14, 00881 Helsinki  
Puh. (09) 759 881  
Faksi (09) 7598 8500

## Alkusanat

Tämä tutkielma käsittelee elintarviketeollisuuslaitoksissa säteilytilanteessa tehtäviä suojautumis- ja puhdistustoimenpiteitä sekä puhdistustoimenpiteissä syntyvien radioaktiivisten jätteiden käsittelyä.

Tutkielma on tehty Helsingin yliopiston Eläinlääketieteellisen tiedekunnan Elintarvikehygienian laitokselle tekemäni syventävien opintojen tutkielman pohjalta, ja työtä rahoittivat Säteilyturvakeskuksen ohella Huoltovarmuuskeskus ja Elintarvikepooli.

Haluan kiittää työni ohjaajia Riitta Hännistä, Tarja Ikäheimosta ja Kari Sinkkoa Säteilyturvakeskuksesta sekä työni johtajaa professori Hannu Korkealaa Elintarvikehygienian laitokselta työn edistymisen kannalta tärkeitä neuvoista ja kommentteista koskien sekä työn sisältöä että tekstin muokkausta.

Suuret kiitokset Esa Latviolle Elintarvikepoolista kontaktien järjestämisestä elintarviketeollisuuslaitoksiin, sekä hänelle ja Kyösti Orrelle Huoltovarmuuskeskuksesta neuvoista työn sisältöä koskien, sekä siitä käytännön näkemyksestä jonka he työhön toivat.

Haluan kiittää myös Hannu Rämää Vaasan & Vaasan Oy:stä, Jouko Vuorenmaata Ingman Foods Oy Ab:lta, Heikki Saarista Helsingin Mylly Oy:stä, Antti Jormanaista HK Ruokatalosta sekä Keijo Valleniusta Kesko Oyj:lta, jotka vastasivat kysymyksiimme koskien elintarviketeollisuuslaitosten puhdistus- ja siivoustoimenpiteitä ja perehdyttivät meidät edustamiensa laitosten toimintaan.

*KANTALA Tuija. Elintarviketeollisuuslaitosten ja niiden ympäristön puhdistustoimenpiteet säteilytilanteessa. STUK-A212. Helsinki 2005, 92 s.*

**Avainsanat:** elintarviketeollisuuslaitos, puhdistustoimenpiteet, säteilytilanne, radioaktiivinen kontaminaatio

## Tiivistelmä

Ydinvoimalaitosonnettomuuden, ydinaseräjähdyksen tai muun säteilyvaaratilanteen seurauksena syntyvä radioaktiivinen laskeuma voi saastuttaa elintarvikkeet ja niitä tuottavat laitokset suoraan laskeumasta tai saastuneiden raaka-aineiden tai raaka-aineiden ja tuotteiden kuljettamiseen käytettävän ilman välityksellä. Radioaktiivinen kontaminaatio on pölyä, joka saastuttaa elintarvikkeet, raaka-aineet ja veden vain, jos sitä pääsee niihin. Kun säteilytilanteen uhka on olemassa, aloitetaan toimenpiteet, joilla elintarvikkeiden saastuminen voidaan estää tai sitä voidaan vähentää. Elintarviketeollisuuslaitoksen ilmanvaihto tulee pysäyttää ja tuotantotilat ja varastot eristää sulkeamalla ovet ja ikkunat. Suojaamattomina ovat elintarvikkeet ja raaka-aineet voidaan peittää. Tuotanto on yleensä syytä keskeyttää. Hyvällä ennakkosuojautumisella voidaan säteilytilanteen jälkeen suoritettavia puhdistustoimenpiteitä helpottaa ja niihin kuluva aikaa lyhentää huomattavasti.

Säteilytilanteen jälkeen elintarviketeollisuuslaitos on puhdistettava niin, että sen toimintaa voidaan jatkaa, tuotettavat elintarvikkeet ovat puhtaita ja turvallisia ja työntekijät voivat työskennellä tiloissa turvallisesti. Puhdistustoimenpiteet tulee suunnitella tarkasti ennen niiden aloittamista. Toimenpiteiden laatu riippuu laskeuman sisältämien radioaktiivisten aineiden ominaisuuksista ja määrästä, säästä ja vuodenajasta, puhdistettavan alueen ominaisuuksista sekä käytössä olevista resursseista. Itse tuotantolaitoksen ja -laitteiden puhdistamisen lisäksi on puhdistettava kuljetusajoneuvot ja -kalusto ja ne ulkoalueet, joista radioaktiivinen kontaminaatio voi levitä tuotantotiloihin ja tuotteisiin.

Laitosten sisätilojen puhdistukseen soveltuvat imurointi, lattioiden, seinien ja kattojen pesu ja pölyn pyyhkiminen. Vaikuttaa siltä, että laitoksen ja tuotantolaitteiden puhdistukseen normaalisti käytössä olevat menetelmät riittävät tehostettuina melko hyvin myös radioaktiivisen saasteen puhdistamiseen. Yleistäen voidaan sanoa, että laitoksessa tulee säteilytilanteen jälkeen suorittaa tehostettu suursiivous, jossa puhdistetaan myös normaalisti harvoin puhdistettavat rakenteet ja ilmastointikanavat sekä vaihdetaan ilmastointisuodattimet. Tuotantotiloista ja -laitteista ja tarvittaessa myös tuotteista tulee

ennen ja jälkeen puhdistuksen mitata radioaktiivisuus puhdistuksen tarpeen ja riittävyuden määrittämiseksi. Ulkoalueista tulee laitoksen ulkoseinien ja -katon lisäksi puhdistaa etenkin kulkuväylät, joita ajoneuvot ja ihmiset käyttävät. Käytökelpoisin menetelmä asfaltoitujen alueiden, rakennusten seinien ja kattojen puhdistukseen on pesu vedellä ja harjoilla, tai asfaltoitujen alueiden pesu kadunpesukoneilla ja kattojen katonpesukoneilla. Päällystämättömät ulkoalueet on puhdistettava, jos radioaktiivinen saaste voi levitä niiltä niin, että elintarvikkeet voivat saastua. Maan saastunut pintakerros voidaan poistaa tai haudata maan alle, tai maa-alue voidaan peittää puhtaalla maakerroksella tai asfaltilla. Kesällä nurmikon leikkaamisella ja talvella lumen poistamisella saadaan niissä oleva kontaminaatio poistettua tehokkaasti.

Puhdistustoimenpiteissä syntyvä jäte on radioaktiivista jätettä, jota ei voida aina hävittää kuten tavanomainen jäte. Kaikki mahdollinen jäte on kerättävä talteen. Kun radioaktiivisia jätteitä on paljon, eivät laitosten normaalit jätteidenkäsittelymenetelmät todennäköisesti riitä niiden käsittelyyn, ja ainakin katettuja jätteiden keräyspaikkoja tarvittaisiin lisää.

*KANTALA Tuija. Clean-up actions in food industry plants and their surroundings in a radioactive contamination situation. STUK-A212. Helsinki 2005, 92 pp.*

**Key words:** food industry plant, clean-up actions, radioactive contamination, radiation hazard situation

## Abstract

A radioactive fallout following a nuclear power plant accident, nuclear weapon explosion or other radiation hazard situation can contaminate foodstuff and food industry plants either directly from the fallout or through contaminated raw materials or air used for pneumatic transport of products and raw materials. Radioactive contamination usually appears as dust which can only contaminate foodstuff, raw materials and water if it gets into contact with them. In case of a threat of radioactive contamination situation, measures to prevent or diminish contamination of foodstuff must be immediately started. Ventilation of the plant must be stopped and the plant including storehouses must be isolated by closing all doors and windows. Unprotected foodstuff and raw materials can be covered. The production is usually best to be interrupted. Clean-up actions carried out after the radiation situation can be made easier, and their duration shorter, by appropriate protective measures taken beforehand.

After the radiation situation is over the food plant must be decontaminated so that the production can be restarted, and the products are proved clean and safe and it is safe for the employees to work again in the plant. Clean-up actions must be planned thoroughly before starting them. The quality of the actions depends on the amount and characteristics of radioactive substances in the fallout, current weather and season, characteristics of the area to be decontaminated and available resources. Decontamination of the plant and the production machines must be accompanied by decontamination of vehicles and equipment used for transportation of products and raw materials, as well as the outdoor areas from where contamination can spread into the plant and the products.

Vacuum-cleaning, washing of floors, walls and roofs and dusting can be used to clean up inner surfaces of the plant. It seems that clean-up methods normally used for the plant and the production machines, when intensified, are quite well enough also in a radioactive contamination situation. In general, an intensified large-scale cleaning must be performed in the plant, during which structures that are normally cleaned seldom and ventilation systems are also cleaned, and

ventilation filters are removed and replaced by new ones. Radioactivity must be measured inside the plant, from machines and if necessary also from the products before the clean-up actions to determine the need of decontamination, and after them to determine their sufficiency. Outside the plant, the walls and roof of the plant as well as the routes the vehicles and people use must be cleaned up. Asphalt surfaces, walls and roofs can be cleaned by washing them with water and brushes or street cleaning machines and roof cleaning devices. Uncovered outdoor areas must be cleaned up if radioactive contamination can spread from them in any way to contaminate foodstuff. Contaminated topsoil can be removed or buried, or the area can be covered with clean soil or asphalt. During summer most of the radioactive contamination can be removed by lawn moving, and on winter, if there is snow on the ground, by removing the snow.

Waste generated in the clean-up actions is radioactive, and it can not always be managed and disposed of as normal waste. All waste that can be collected, must be collected. The waste management and disposal methods normally used in the plant are probably not enough in a situation where there are large amounts of radioactive waste.

# Sisällysluettelo

ALKUSANAT	3
TIIVISTELMÄ	4
ABSTRACT	6
1 JOHDANTO	11
2 SÄTEILYYN LIITTYVIÄ KÄSITTEITÄ JA LYHENTEITÄ	13
3 RADIOAKTIIVINEN LASKEUMA	15
4 SÄTEILYTILANTEET JA UHKAKUVAT	17
4.1 Ydinvoimalaitosonnettomuus	17
4.2 Ydinaseet	19
4.3 Onnettomuudet ydinkäyttöisillä aluksilla	20
4.4 Vuodot maanalaisista ydinkokeista	20
4.5 Ydinpolttoaineen välivarastointiin ja kuljetukseen liittyvät onnettomuudet	21
4.6 Ydinpolttoaineen jälleenkäsittelyyn liittyvät onnettomuudet	21
4.7 Ydinkäyttöisen satelliitin putoaminen	22
4.8 Säteily terrorismin välineenä	22
5 ELINTARVIKETEOLLISUUSLAITOSTEN PUHDISTAMISEEN LIITTYVÄ LAINSÄÄDÄNTÖ	23
5.1 Omavalvontasuunnitelma	23
5.2 Elintarvikehuoneistojen rakenteelliset vaatimukset	24
5.3 Laitoksen puhdistaminen	26
5.4 Kuljetukset	27
5.5 Uusi kansallinen elintarvikelaki	28
6 KÄYTÄNNÖN PUHDISTUSTOIMENPITEET ELINTARVIKETEOLLISUUSLAITOKSISSA	29
6.1 Puhdistettavuuden huomioonottaminen laitoksen ja laitteiden suunnittelussa	30
6.2 Omavalvontasuunnitelma ja puhdistusohjelma	30



---

6.3	Puhdistus ja pesu käyttäen vettä	31
6.4	Kuivatuotteita valmistavien laitosten puhdistus	34
6.5	Saneerauspuhdistus	35
6.6	Vaikeasti puhdistuvia rakenteita eri elintarviketeollisuuden aloilla	35
7	ELINTARVIKKEIDEN SAASTUMINEN SÄTEILYTILANTEESSA	37
7.1	Elintarviketeollisuuslaitoksessa olevien elintarvikkeiden saastuminen	37
7.2	Ilmansuodatuksen vaikutus saastumiseen	38
7.3	Vesien saastuminen	38
8	ENNAKOIVAT TOIMENPITEET SÄTEILYVAARAN UHATESSA	39
8.1	Suojautuminen ulkoilmassa olevalta radioaktiiviselta pölyltä	39
8.2	Ennakoivat toimenpiteet elintarviketeollisuuslaitoksessa	40
9	PUHDISTUSTOIMENPITEET SÄTEILYTILANTEESSA	41
9.1	Puhdistustoimenpiteiden tehokkuuteen vaikuttavat tekijät	41
9.2	Radionuklidien puoliintumisajan vaikutus puhdistustoimenpiteisiin	41
9.3	Puhdistustoimenpiteiden tehokkuutta kuvaavat suureet	42
9.4	Puhdistustoimenpiteiden suunnittelu	42
9.5	Työntekijöiden turvallisuuden huomioonottaminen puhdistustoimenpiteitä suunniteltaessa	43
9.6	Puhdistustoimenpiteiden päämäärät elintarviketeollisuudessa	44
9.7	Elintarvikkeiden radioaktiivisuuspitoisuuksien yleiset toimenpidetasot	44
10	RADIOAKTIIVISEN KONTAMINAATION PUHDISTAMISEEN SOVELTUVAT PUHDISTUSMENETELMÄT	46
10.1	Huomioonotettavat asiat ennen puhdistustoimenpiteiden aloittamista	46
10.2	Päällystettyjen ulkoalueiden puhdistukseen soveltuvat menetelmät	46
10.3	Päällystämättömien maa-alueiden puhdistukseen soveltuvat menetelmät	49
10.4	Rakennusten kattojen puhdistukseen soveltuvat menetelmät	53
10.5	Rakennusten ulkoseinien puhdistukseen soveltuvat menetelmät	55

10.6	Rakennusten sisäpintojen puhdistukseen soveltuvat menetelmät	57
10.7	Teollisuuteen soveltuvat puhdistusmenetelmät	59
10.7.1	Saastuneiden metallipintojen puhdistus	59
10.7.2	Saastuneiden muovi- ja kalvopintojen puhdistus	62
10.7.3	Saastuneiden ilmastointikanavien puhdistus	63
10.7.4	Teollisuuslaitosten suodattimien poistaminen	63
10.8	Ydinvoimalaitoksessa käytettävät dekontaminaatio- menetelmät	64
11	TOIMINNAN UUDELLEENKÄYNNISTÄMINEN JA UUDELLEENSAASTUMISEN ESTÄMINEN	65
12	ELINTARVIKETEOLLISUUDEN KÄYTTÖÖN SOVELTUVAT PUHDISTUSMENETELMÄT	67
12.1	Ulkoalueiden ja rakennusten ulkopintojen puhdistus	67
12.2	Rakennusten sisäpintojen ja -tilojen puhdistaminen	68
12.3	Puhdistus tiloissa, joissa ei voida käyttää vettä	70
12.4	Kuljetusajoneuvojen ja -välineiden puhdistus	71
13	ELINTARVIKETEOLLISUUDEN NORMAALEISSA PUHDISTUSTOIMENPITEISSÄ SYNTYVIEN JÄTTEIDEN KÄSITTELY	72
14	RADIOAKTIIVISET JÄTTEET	73
14.1	Radioaktiivisten jätteiden luokittelu	73
14.2	Radioaktiivisten jätteiden hävittämisen periaatteet	73
14.3	Radioaktiivisten jätteiden hävittämistä koskevat ohjeet	74
14.4	Puhdistustoimenpiteissä syntyvien jätteiden käsittely	75
14.5	Jätteiden sijoittamisen suunnittelu	76
14.6	Jätteiden sijoittaminen	77
15	ELINTARVIKETEOLLISUUSLAITOSTEN JÄTTEIDEN- KÄSITTELYMENETELMIEN SOVELTUMINEN RADIOAKTIIVISTEN JÄTTEIDEN KÄSITTELYYN	80
	KIRJALLISUUSVIITTEET	81
	STUK-A-SARJAN JULKAISUJA	91

# 1 Johdanto

Elintarviketeollisuuslaitokset ja niissä tuotettavat elintarvikkeet voivat säteilytilanteessa saastua suoraan radioaktiivisesta laskeumasta, saastuneen raaka-aineen välityksellä tai raaka-aineiden ja tuotteiden kuljettamiseen käytettävän ilman välityksellä (Valmari ym. 2004). Säteilytilanne voi syntyä ydinvoimalaitosonnettomuuden, ydinaseiden käytön, maanalaisten ydinkokeiden, ydinkäyttöisen satelliitin putoamisen ja ydinkäyttöisillä aluksilla tai käytetyn ydinpolttoaineen käsittelyssä tapahtuvan onnettomuuden seurauksena, radioaktiivisten aineiden levitessä ympäristöön erilaisista säteilylähteistä sekä käytettäessä säteilyä terrorismin välineenä (Toivonen ja Lahtinen 1994; Aakko ja Salomaa 2003). Säteilytilanteen seurauksena syntyy radioaktiivinen laskeuma, kun ilmaan päässeet radioaktiiviset aineet laskeutuvat maahan, kasvien ja rakenteiden pinnalle ja vesistöihin pölyn ja sateen mukana (Roed 1997, Valmari ja Pöllänen 2003).

Kun säteilytilanteen uhka on olemassa, on ryhdyttävä ennakoiviin toimenpiteisiin, joilla voidaan suojella elintarvikkeita saastumasta radioaktiivisilla aineilla tai ainakin vähentää saastumista niin paljon kuin mahdollista. Säteilyturvakeskus ilmoittaa säteilytilanteesta sekä antaa suositukset tarvittavista suojelutoimenpiteistä eri viranomaisille (Aakko ym. 2000). Tärkeimmät ennakoivat suojelutoimenpiteet elintarviketeollisuuslaitoksissa ovat ilmanvaihdon pysäyttäminen, laitoksen tiivistäminen niin että ulkoilmaa pääsee sisään mahdollisimman vähän ja elintarviketuotannon keskeyttäminen.

Säteilytilanteen jälkeen radioaktiivisesti saastuneet alueet, tilat ja rakenteet on puhdistettava. Elintarviketeollisuuslaitos ja sen tuotantolaitteet ja -tilat on puhdistettava niin, että siellä tuotettavat elintarvikkeet ovat turvallisia. Radioaktiivisuus tuotantotiloissa ja -laitteissa sekä tuotettavissa elintarvikkeissa tulee selvittää säteilymittauksin sekä alkutilanteessa että puhdistustoimenpiteiden jälkeen. Puhdistustoimenpiteiden jälkeen on tärkeää huolehtia siitä, että puhdistettua rakennusta tai aluetta ei saastuteta uudelleen. Ympäristössä oleva radioaktiivinen saaste leviää helposti rakennuksiin ihmisten ja kuljetusajoneuvojen mukana.

Kirjallisuuskatsauksen tarkoituksena on koota tietoja siitä, millaisissa tilanteissa ja miten elintarvikkeet voivat saastua radioaktiivisesti, millaisilla ennakoivilla toimenpiteillä elintarvikkeiden saastumista voidaan vähentää tai estää sekä millaisia puhdistustoimenpiteitä voidaan käyttää elintarviketeollisuuslaitosten ja niiden ympäristön puhdistamiseen säteilytilanteessa niin, että laitoksissa tuotettavat elintarvikkeet ovat puhtaita ja turvallisia. Kirjallisuuskatsauksessa on kuvattu elintarviketeollisuuslaitoksissa normaalisti käytössä

olevia puhdistusmenetelmiä sekä koottu tämän hetken tietämys radioaktiivisesti saastuneiden alueiden, tilojen ja erilaisten materiaalien puhdistukseen soveltuvista menetelmistä. Kirjallisuuskatsauksessa on kuvattu myös elintarviketeollisuuden käyttämiä jätteidenkäsittelymenetelmiä sekä radioaktiivisten jätteiden käsittelyyn soveltuvia menetelmiä. Näiden pohjalta on pohdittu, mitkä radioaktiivisesti saastuneiden kohteiden puhdistukseen käytettävistä menetelmistä soveltuvat käytettäviksi elintarviketeollisuuslaitoksissa ja niiden ympäristössä, miten elintarviketeollisuuden normaalisti käyttämät puhdistusmenetelmät soveltuvat radioaktiivisen saasteen puhdistamiseen sekä miten elintarviketeollisuuden käyttämät jätteidenkäsittelymenetelmät soveltuvat radioaktiivisten jätteiden käsittelyyn.

Tutkielma on toteutettu yhteistyössä Säteilyturvakeskuksen, Elintarviketutkimuskeskuksen ja Huoltovarmuuskeskuksen kanssa.

## 2 Säteilystä liittyviä käsitteitä ja lyhenteitä

**Aktiivisuus** Kertoo radioaktiivisen aineen lähettämän säteilyn määrän. Aktiivisuus ilmaisee, kuinka monta ydinmuutosta ainemäärässä tapahtuu yhden sekunnin aikana. Aktiivisuuden yksikkö on becquerel (Bq).

**Aktivoitumistuote** Radioaktiivinen nuklidi, joka syntyy ydinreaktorissa neutronisäteilyn seurauksena, yleensä neutronien aiheuttamissa rakennemateriaalien ja jäähdytysveden sisältämien korroosiotuotteiden aktivoitumisreaktioissa.

**Annosnopeus** Ilmaisee, kuinka suuren säteilyannoksen ihminen saa tietynä aikana. Annosnopeutta käytetään yleensä kuvaamaan, kuinka vaarallista on oleskelu tietyssä paikassa tietynlaisen säteilyn kohteena. Annosnopeuden perusyksikkö on sievertiä sekunnissa (Sv/s), mutta koska sievert on hyvin suuri yksikkö, käytetään yleisemmin sievertiä tunnissa (Sv/h) tai vuodessa (Sv/a).

**Becquerel (Bq)** Aktiivisuuden mittayksikkö. Yksi becquerel tarkoittaa, että radioaktiivisessa aineessa tapahtuu yksi ydinmuutos (ytimen virittyneen tilan laukeaminen) sekunnissa.  $1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$ . Koska becquerel on hyvin pieni yksikkö, käytetään myös yksiköitä kilobecquerel (kBq), joka on 1 000 Bq, ja megabecquerel (MBq), joka on 1 000 000 Bq.

**Fissiotuote** Atomiydin, joka syntyy raskaan atomiytimen halkeamisreaktiossa eli fissiossa. Fissiossa syntyy kaksi tai useampi uusi atomiydin, jolloin vapautuu myös neutroneja ja energiaa.

**Isotooppi** Isotoopit ovat saman alkuaineen eri muotoja, jotka eroavat toisistaan ytimessä olevien neutronien lukumäärän ja ytimen ominaisuuksien suhteen.

**Nuklidi** Atomilaji, jonka määrittävät ytimessä olevien protonien ja neutronien lukumäärä ja ytimen mahdollinen epästabiili energiatila.

**Puoliintumisaika** Aika, jonka kuluessa puolet radioaktiivisen aineen ytimistä on hajonnut toiseksi ytimiksi ja kyseisen aineen aktiivisuus on vähentynyt puoleen alkuperäisestä.

**Sievert (Sv)** Säteilyannoksen yksikkö.  $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Koska sievert on hyvin suuri yksikkö, käytetään yleensä joko millisievertiä (mSv) tai mikrosievertiä ( $\mu\text{Sv}$ ). Yksi sievert on 1 000 millisievertiä eli 1 000 000 mikrosievertiä.

**Sisäinen säteily** Kehossa olevien radioaktiivisten aineiden lähettämä säteily, joka kohdistuu kehoon itseensä.

**Säteilyannos** Kuvaa säteilyn haitallisia vaikutuksia ihmiseen. Säteilyannoksen yksikkö on sievert (Sv). Ulkoisella säteilyannoksella tarkoitetaan kehon ulkopuolella olevasta säteilylähteestä aiheutuvaa säteilyannosta ja sisäisellä säteilyannoksella kehossa olevista radioaktiivisista aineista aiheutuvaa säteilyannosta.

**Ulkoisen säteily** Kehoon sen ulkopuolelta kohdistuva säteily.

### 3 Radioaktiivinen laskeuma

Säteilytilanteen seurauksena syntyy radioaktiivinen laskeuma, kun ilmaan päässeet radioaktiiviset aineet laskeutuvat maahan, kasvien ja rakenteiden pinnalle ja vesistöihin pölyn ja sateen mukana (Roed 1997, Valmari ja Pöllänen 2003). Laskeuma voi tulla maahan joko kuiva- tai märkälaskeumana, ja vallitsevat sääolot vaikuttavat päästöjen kulkeutumiseen ja laskeutumiseen (Severa ja Bár 1991, Willrodt 1993, Honkamaa ym. 2004). Kuivalaskeumassa hiukkaset kulkeutuvat ilmavirtauksen mukana pinnan välittömään läheisyyteen ja tarttuvat siihen. Märkälaskeumassa hiukkaset kulkeutuvat vesipisaroiden, sumun tai lumen mukana ja laskeutuvat maahan kuivalaskeumaa huomattavasti tehokkaammin (Meckbach 1997, Røed 1997, Valmari ja Pöllänen 2003). Hiukkasten laskeutumisnopeuteen vaikuttavat muun muassa pilven hiukkaskokojakauma, sateet, ilmakehän turbulenssi, tuulen suunta ja nopeus eri korkeuksilla sekä pinnan epätasaisuus (Honkamaa ym. 2004, Valmari ja Pöllänen 2003).

Radioaktiiviset nuklidit lähettävät alfa- beeta- tai gammasäteilyä tai niiden yhdistelmiä (Lund 1992, Paakkola 1994). Alfa- ja beetasäteily ovat hiukkas-säteilyä. Alfasäteilyn hiukkaset kulkevat ilmassa vain muutaman senttimetrin matkan (Sinkko 1988, Paakkola 1994, Sandberg ja Paltemaa 2002), ja ne pysähtyvät jo ihon kuolleeseen pintakerrokseen (Sandberg ja Paltemaa 2002, Pöllänen 2003). Beetasäteilyn hiukkaset kulkevat ilmassa muutamia metrejä (Sinkko 1988, Paakkola 1994). Ne voivat säteilyttää kehoa noin senttimetrin syvyyteen (Pöllänen 2003) ja aiheuttavat esimerkiksi ihoon palovammoja (Paile 2002). Gammasäteily on sähkömagneettista aaltoliikettä, joka on hyvin läpikäyvä. Säteily kantaa ilmassa jopa useita kilometrejä (Sinkko 1988, Paakkola 1994), ja vain raskas aine kuten betoni, teräs tai lyijy vaimentaa sitä tehokkaasti (Paakkola 1994). Gammasäteily heikkenee kymmenenteen osaan läpäistessään 20 cm betonia tai 30 cm raskasta tiiltä (Sinkko 1988). Elimistössä gammasäteily voi aiheuttaa muun muassa luuydin- ja suolistovaurioita (Paile 2002).

Radioaktiivisen laskeuman sisältämät tärkeimmät nuklidit sisäisen ja ulkoisen altistuksen kannalta sekä niiden tuottamat säteilylajit ja niiden puoliintumisajat on esitelty taulukoissa I ja II (ks. s. 16).

Ydinlaskeuma saattaa sisältää myös ns. kuumia hiukkasia, joissa höyrystyneet fissiotuotteet ovat tiivistyneet suuremmaksi partikkeliksi, tai ydinpolttolaitoksen palasia, joissa huonosti höyrystyneet fissiotuotteet ovat tallella. Niiden radioaktiivisuus on huomattavasti voimakkaampi kuin laskeumassa esiintyvien muiden hiukkasten. Tällaisten hiukkasten osuus on suurin lähilaskeumassa, mutta Tshernobylin ydinvoimalaitoksessa vuonna 1986 tapahtuneen onnettomuuden seurauksena syntyneessä laskeumassa kuumia hiukkasia levisi Pohjoismaihin asti (Elintarvikehuollon ydinlaskeumatyöryhmän mietintö 1988).

**Taulukko I.** Radioaktiivisen laskeuman sisältämät tärkeimmät fissiotuotteet (Mustonen ym. 1995, Ikäheimonen 2003, Honkamaa ym. 2004).

Fissiotuotteet	Säteilylaji	Puoliintumisaika
Strontium-89	$\beta$	50,5 vrk
Strontium-90	$\beta$	28,8 vuotta
Zirkonium-95	$\beta, \gamma$	64,0 vrk
Rutenium-103	$\beta, \gamma$	39,3 vrk
Rutenium-106	$\beta$	1,02 vuotta
Jodi-131	$\beta, \gamma$	8,02 vrk
Jodi-132	$\beta, \gamma$	2,30 tuntia
Cesium-137	$\beta, (\gamma)$	30,1 vuotta
Barium-140	$\beta, \gamma$	12,8 vrk
Cerium-141	$\gamma$	32,5 vrk
Cerium-144	$\beta, \gamma$	285 vrk

**Taulukko II.** Radioaktiivisen laskeuman sisältämät tärkeimmät aktivoitumistuotteet ja säteilylähteissä käytettäviä radioaktiivisia aineita (Mustonen ym. 1995, Ikäheimonen 2003, Honkamaa ym. 2004).

Aktivoitumistuotteet	Säteilylaji	Puoliintumisaika
Tritium	$\beta$	12,3 vuotta
Hiili-14	$\beta$	5 730 vuotta
Koboltti-60	$\beta, (\gamma)$	5,27 vuotta
Cesium-134	$\beta, \gamma$	2,06 vuotta
Iridium-192	$\beta, (\gamma)$	73,8 vrk
Plutonium-238	$\alpha$	87,7 vuotta
Plutonium-239	$\alpha$	24 100 vuotta
Plutonium-240	$\alpha$	6 560 vuotta
Plutonium-241	$\beta$	14,4 vuotta
Amerikium-241	$\alpha, (\gamma)$	432 vuotta
Curium-242	$\alpha$	163 vrk
Curium-243	$\alpha$	29,1 vuotta
Curium-244	$\alpha$	18,1 vuotta



## 4 Säteilytilanteet ja uhkakuvat

Tilanteita joissa voi syntyä uhkaava säteilyvaara ovat ydinvoimalaitosonnettomuus, ydinaseiden käyttö, onnettomuudet ydinkäyttöisillä aluksilla, vuodot maanalaisista ydinkokeista, onnettomuudet käytetyn ydinpolttoaineen väli-varastoinnissa, kuljetuksessa tai jälleenkäsittelyssä, ydinkäyttöisen satelliitin putoaminen, radioaktiivisten aineiden leviäminen ympäristöön erilaisista säteilylähteistä sekä säteilyn käyttö terrorismin välineenä (Toivonen ja Lahtinen 1994, Aakko ja Salomaa 2003).

### 4.1 Ydinvoimalaitosonnettomuus

Ydinvoimalaitosonnettomuuksissa radioaktiivisia aineita voi päästä ympäristöön eri määriä. Onnettomuuksia voi olla radioaktiivisten päästöjen suhteen mitättömistä tapahtumista hyvin vakaviin onnettomuuksiin. Suuri määrä radioaktiivisia aineita voi päästä ympäristöön ainoastaan vakavan reaktorivaurion seurauksena (Mustonen ym. 1995, Aakko ja Salomaa 2003). Radioaktiivisen laskeuman leviämiseen ja suuruuteen vaikuttavat muun muassa vallitseva säätila, maanpinnan laatu sekä alueen pinnanmuodostus. Alkuvaiheessa vaarallisimmat säteilylähteet ovat radioaktiivinen jodi ja ydinpolttoainetta tai vapautuneita fissiotuotteita sisältävät hiukkaset. Onnettomuuden jälkeisinä ensimmäisinä päivinä suurimman säteilyaltistuksen aiheuttavat ilmassa leijuvat radioaktiiviset aineet. Pitkällä aikajaksolla suurimman säteilyannoksen aiheuttavat laskeuman aiheuttama ulkoinen säteily ja saastuneiden elintarvikkeiden nauttiminen (Pöllänen ym. 2004).

Onnettomuustilanteessa on ympäristön kannalta merkitystä reaktorissa olevilla fissiotuotteilla. Reaktorin ympäröi paineastia ja kaasutiivis suojarakennus, ja laitoksessa on päästöjä rajoittavia suodatusjärjestelmiä. Jotta radioaktiivisia aineita pääsisi ympäristöön merkittävässä määrin, on näiden suojajärjestelmien vaurioituttava vakavasti sen lisäksi, että reaktorin polttoaine ylikuumentuu. Radioaktiiviset aineet voivat vapautua ilmakehään kaasumaisina tai hiukkasmaisina, ja maaperään sekä pinta- ja pohjavesiin laitoksesta mahdollisesti vuotavan veden seassa (Pöllänen ym. 2004).

Fissiotuotteiden vapautumiseen ydinpolttoaineista vaikuttavat niiden fysiikkaaliset ja kemialliset ominaisuudet, kuten esimerkiksi sulamis- ja kiehumispiste sekä reaktiivisuus muiden fissiotuotteiden, uraanidioksidin ja polttoaineen suojakuoren kanssa. Jalokaasut krypton ja ksenon ovat reaktorin tavanomaisessa käyttölämpötilassa pääosin sitoutuneina uraanidioksidipolttoaineen rakeisiin, vain pieni osa niistä on kaasumaisina polttoainesauvan suojakuoren sisällä. Kun lämpötila nousee, suurempi osa jalokaasuista vapautuu kaasutilaan (Pöllänen

ym. 2004). Reaktorionnettomuudessa jalokaasut vapautuvat helposti, mutta niiden vaarallisuus on pienempi kuin muiden radioaktiivisten aineiden, koska ne laimentuvat tehokkaasti levitessään ilmakehään eivätkä aiheuta laskeumaa (Pöllänen ym. 2004, Valmari ym. 2004). Jalokaasut eivät kulkeudu elintarvikkeisiin. Ne eivät sitoudu elimistöön hengityksen tai ruuansulatuksen kautta. Niiden puoliintumisaajat ovat lisäksi melko lyhyitä, jolloin niiden vaikutukset ovat lyhytaikaisia, tunneista noin vuorokauteen asti (Pöllänen ym. 2004).

Jodi ja cesium ovat huoneenlämpötilassa kiinteässä olomuodossa. Lämpötilan noustessa ne kaasuuntuvat ja vapautuvat suunnilleen samoin kuin jalokaasut. Jodi aiheuttaa ulkoista säteilyä päästöpilvestä ja sitoutuu elimistöön, erityisesti kilpirauhaseen, hengityksen kautta. Maahan laskeutunut jodi voi rikastua elintarvikkeisiin. Cesium on pitkällä aikavälillä merkittävin säteilyaltistuksen aiheuttaja. Maahan laskeutuneena se aiheuttaa ulkoista säteilyä sekä voi kulkeutua ravintoketjun kautta ihmiseen (Pöllänen ym. 2004). Cesium on kemiallisilta ominaisuuksiltaan kaliumin tapainen (Jones 1986, Paakkola ja Vuorinen 1987, Jones 1993), ja se jakaantuu melko tasaisesti koko elimistöön (Paakkola ja Vuorinen 1987).

Reaktorin polttoaineen lämpötilan noustessa tarpeeksi korkealle, noin 2000 celsiusasteeseen, reaktorissa oleva reaktorisydän sulaa (Fetter ja Tsipis 1981, Pöllänen ym. 2004). Jodi ja cesium sekä muut helposti höyrystyvät fissiotuotteet vapautuvat reaktorin polttoaineesta ensimmäisinä. Suhteellisen helposti vapautuva on esimerkiksi telluuri. Vaikeammin höyrystyvät aineet, joita ovat muun muassa zirkonium, plutonium ja amerikium, vapautuvat myöhemmin, ja niiden vapautumisosuudet ovat yleensä pieniä (Pöllänen ym. 2004).

Jodin ja cesiumin tärkeimmät yhdisteet CsOH ja CsI sekä muut höyrystyneet yhdisteet lukuun ottamatta jalokaasuja ja kaasumaista jodia tiivistyvät laitoksen suojarakennuksessa aerosolihiukkasiksi. Hiukkaset törmäilevät seiniin, lattioihin ynnä muihin pintoihin ja tarttuvat niihin. Ilmakehään vapautuvien päästöjen leviäminen ympäristöön riippuu muun muassa päästökorkeudesta, tuulen nopeudesta ja ilmapvirtausten pyörteisyydestä. Esimerkiksi kovalla tuulella päästöt ehtivät nopeammin etäämmälle, mutta samalla tuuli hajottaa ja laimentaa päästöjä tehokkaammin (Pöllänen ym. 2004).

Tshernobylin ydinvoimalaitoksella vuonna 1986 tapahtuneen onnettomuuden jälkeen Suomessa voitiin osoittaa yli kolmekymmentä radionuklidia maahan saapuneessa laskeumassa (Paakkola ja Vuorinen 1987, Sinkko 1988, Mustonen ym. 1995). Elintarvikkeiden kannalta osoittautuivat tärkeimmiksi alkuvaiheessa jodin isotooppi  $^{131}\text{I}$  ja ensimmäisen kuukauden jälkeen cesiumin isotoopit  $^{134}\text{Cs}$  ja  $^{137}\text{Cs}$  (Paakkola ja Vuorinen 1987, Rantavaara 1988).

## 4.2 Ydinaseet

Ydinaseiden käyttöön liittyvät uhkakuvat ovat joutuminen suoran ydinasehyökkäyksen kohteeksi, lähialueilla käytävä ydinasesota sekä harhautuneet ydinkärjet. Ydinaseen räjähdyskohdassa ja sen ympäristössä välitön tuho on totaalinen, ja laajat maa-alueet saastuvat radioaktiivisesta laskeumasta (Toivonen ja Lahtinen 1994). Säteilyvaarallisen alueen laajuus riippuu muun muassa ydinaseen koosta, pommimateriaalista, räjäytyskorkeudesta ja vallitsevasta säätilasta. Terveydelle haitallinen alue voi ulottua kymmenistä kilometreistä satoihin kilometreihin asti (Aakko ja Salomaa 2003).

Ydinaseräjähdyksessä lämpötila nousee niin korkeaksi, että kaikki räjähteen osat höyrystyvät (Mustonen ym. 1995, Honkamaa ym. 2004, Valmari ym. 2004). Ydinaseen räjähtämisestä seuraavat välittömästi painevaikutus, lämpövaikutus, alkusäteily sekä sähkömagneettiset ilmiöt (Paakkola 1994, Mustonen ym. 1995, Honkamaa ym. 2004). Alkusäteily on lähinnä gamma- ja neutronisäteilyä. Siinä esiintyvä alfasäteily on merkityksetöntä koska se ei juurikaan tunkeudu ulos räjähdysaiheuttamasta tulipallosta. Koko neutronisäteily tapahtuu noin sekunnin murto-osan aikana räjähdysaiheen jälkeen (Mustonen ym. 1995, Honkamaa ym. 2004). Noin minuutin kuluttua räjähdysaiheuttamasta tulipallo ei enää lähetä näkyvää säteilyä (Honkamaa ym. 2004). Jälkisäteilyn vaikutus aiheutuu radioaktiivisesta laskeumasta (Mustonen ym. 1995, Honkamaa ym. 2004).

Ensimmäisen vuorokauden kuluessa räjähdysaiheuttamasta tapahtuu lähilaskeuma jonka muodostavat suuret hiukkaset (Fetter ja Tsipis 1981, Eriksson 1986, Honkamaa ym. 2004, Valmari ym. 2004), joiden halkaisija on yli 40  $\mu\text{m}$  (Paakkola 1994, Mustonen ym. 1995, Honkamaa ym., 2004). Lähilaskeuma saattaa ulottua enimmillään muutamien satojen kilometrien päähän räjähdysaiheuttamasta. Ulkona suojaamattomina varastoitavat raaka-aineet ja tuotteet voivat saastua pahasti lähilaskeumasta (Valmari ym. 2004).

Kaukolaskeuman muodostavat pienet hiukkaset. Pienten hiukkasten nousukorkeus räjähdysaiheen jälkeen riippuu sääolosuhteista ja räjähdysaiheen energiasta. Jos hiukkaset jäävät troposfääriin, joka ulottuu maan pinnalta noin 10 kilometrin korkeuteen (Ilmatieteen laitos 2005), ne viipyvät siellä muutamia viikkoja ennen laskeutumistaan maahan esimerkiksi sateen mukana (Valmari ym. 2004). Jos hiukkaset pääsevät stratosfääriin, joka ulottuu noin 10 kilometrin korkeudelta 50 kilometrin korkeuteen asti (Ilmatieteen laitos 2005), ne saattavat laskeutua maahan vasta vuosien kuluessa räjähdysaiheuttamasta (Eriksson 1986, FAO 1989; Paakkola 1994, Mustonen ym. 1995, Honkamaa ym. 2004, Valmari ym. 2004).

Ilmaan, veteen ja maaympäristöön joutuvien radioaktiivisten aineiden määrä ja koostumus riippuvat muun muassa räjähteen ominaisuuksista, räjähdyskorkeudesta ja maanpinnan laadusta. Fissiopommien materiaaleina käytetään yleisimmin uraani-isotoopia  $^{235}\text{U}$  ja plutonium-isotooppia  $^{239}\text{Pu}$  (Mustonen ym. 1995, Honkamaa ym. 2004). Periaatteessa voidaan käyttää myös toista uraani-isotooppia  $^{233}\text{U}$ , neptuniumia  $^{237}\text{Np}$  sekä amerikumia  $^{241}\text{Am}$  (Honkamaa ym. 2004). Fuusiopommeissa käytetään deuteriumia ja tritiumia ( $^2\text{H}$  ja  $^3\text{H}$ ) (Mustonen ym. 1995, Honkamaa ym. 2004).

### **4.3 Onnettomuudet ydinkäyttöisillä aluksilla**

Ohjussukellusveneissä, eräissä muissa taistelualuksissa sekä arktisilla alueilla toimivissa jäänmurtaajissa käytetään teholähteinä ydinreaktoria (Toivonen ja Lahtinen 1994, Mustonen ym. 1995, Aakko ym. 2000). Aluksissa käytettävät reaktorit ovat suhteellisen pienikokoisia, ja niiden tehot ja niiden sisältämien radioaktiivisten aineiden määrät ovat huomattavasti pienemmät kuin ydinvoimalaitosten reaktoreissa. Tästä johtuen ydinkäyttöisellä aluksella tapahtuva vakava reaktorivaurio voisi aiheuttaa suojelutoimia vaativan säteilytilanteen vain paikallisesti (Mustonen ym. 1995, Aakko ja Salomaa 2003). Ydinkäyttöisissä sukellusveneissä on kuitenkin usein myös ydinaseita, jotka voivat vaurioitua vakavan reaktorionnettomuuden seurauksena. Vaikka ydinase ei räjähtäisi, räjähteen ydinainetta voisi silti päästä ilmakehään tai mereen (Toivonen ja Lahtinen 1994).

### **4.4 Vuodot maanalaisista ydinkokeista**

Maanalaiset ydinkokeet ovat huolellisesti valmisteltuja ja ne tehdään yleensä syvällä maaperässä.

On kuitenkin mahdollista, että ydinräjähdysten hyvin pienessä tilassa vapauttama suuri energiamäärä voi johtaa räjähdysten tuottaman raon kautta radioaktiivisten aineiden purkautumiseen ilmakehään. Räjähdyksipaineen seurauksena radioaktiivisia aineita voi myös vuotaa maanpinnalle maaperässä olevien huokosten kautta (Toivonen ja Lahtinen 1994, Aakko ym. 2000). Ainoastaan räjähdysten yhteydessä syntyvän suuren vuodon seurauksena voi ilmakehään päästä sellainen määrä radioaktiivisia aineita, että ne ovat havaittavissa koealueen ulkopuolella (Aakko ym. 2000).

## **4.5 Ydinpolttoaineen välivarastointiin ja kuljetukseen liittyvät onnettomuudet**

Tuoreen, käyttämättömän ydinpolttoaineen kuljetuksessa tapahtuva onnettomuus ei aiheuta säteilyvaaratilannetta ihmisille tai ympäristölle, koska tuore ydinpolttoaine säteilee hyvin vähän (Aakko ym. 2000, Aakko ja Salomaa 2003). Ydinvoimalaitosten reaktoreissa polttoaine on polttoainenippuina, jotka käytettyinä, niiden reaktorista poistamisen jälkeen, säilytetään vesialtaissa, joissa ne saavat jäähtyä ennen kuin ne siirretään välivarastoihin tai suoraan jälleenkäsittelylaitokselle. Käytetyn ydinpolttoaineen aktiivisuus vähenee nopeasti, sadasaan yhden vuoden kuluessa ja tuhannesosaan 40 vuoden kuluessa siitä, mitä se oli reaktorista poistettaessa (Toivonen ja Lahtinen 1994, Aakko ja Salomaa 2003). Välivarastoja on käytössä kolmenlaisia, vesiallas-, kuiva- ja kuljetussäiliövarastoja. Itse välivarastointilaitokset ovat turvallisia. Mahdollinen välivarastointiin liittyvä onnettomuustapaus voi olla polttoainenipun vaurioituminen sen siirtämisen yhteydessä. Siirrossa käytettäviin kuljetussäiliöihin eivät kuitenkaan kerralla mahdu kaikki niput, ja tehdyt analyysit osoittavat, että yhden säiliön ja sen sisältämien polttoainenippujen vaurioituminen ei aiheuta merkittävää säteilyvaaraa ympäristölle (Toivonen ja Lahtinen 1994).

Käytetyn ydinpolttoaineen kuljetuksessa käytetään erityisiä massiivisia kuljetussäiliöitä, jotka ovat hyviä säteilysuojia. Niiden kestävyys on täytettävä tietyt normit. Esimerkiksi kuljetusauton kolari ei saa aiheuttaa säiliöiden vaurioitumista (Toivonen ja Lahtinen 1994, Aakko ym. 2000, Aakko ja Salomaa 2003). Jos polttoaine-elementit rikkoutuvat niin pahasti, että itse polttoainemateriaalia pääsee leviämään ympäristöön, voi syntyä säteilyvaaratilanne. Kyseessä on paikallinen vaaratilanne, koska pitkään varastoidussa polttoaineessa on jäljellä lähinnä vain vaikeasti haihtuvia fissiotuotteita (Toivonen ja Lahtinen 1994).

## **4.6 Ydinpolttoaineen jälleenkäsittelyyn liittyvät onnettomuudet**

Suomen rajojen lähellä ei ole käytetyn ydinpolttoaineen jälleenkäsittelylaitoksia. Jälleenkäsittelylaitoksissa radioaktiiviset aineet ovat helposti leviävässä muodossa kuten esimerkiksi nestefaasissa. Jos jälleenkäsittelylaitoksessa tapahtuu kemiallinen räjähdys tai tulipalo, radioaktiivisia aineita, esimerkiksi plutoniumia, voi päästä ympäristöön. Kyseessä olisi pääasiassa paikallinen säteilytilanne (Toivonen ja Lahtinen 1994, Aakko ja Salomaa 2003).

## 4.7 Ydinkäyttöisen satelliitin putoaminen

Säteilyvaaratilanteen voi aiheuttaa ydinkäyttöisen satelliitin tai muun ydinkäyttöisen avaruusluotaimen putoaminen joko sen lähdön yhteydessä tai sen syöksyminen myöhemmin maan ilmakehään ilman, että se palaa kokonaan ilmakehän yläosissa. Tällaisissa tapauksissa radioaktiivisia aineita voi levitä laajalle alueelle (Toivonen ja Lahtinen 1994, Aakko ym. 2000). Satelliiteissa käytetään tehollisena ydinparistoja ja ydinreaktoreita. Ydinreaktoreissa käytetään polttoaineena tavallisesti korkeasti väkevöityä uraani-isotooppia  $^{235}\text{U}$ . Ydinparistoissa käytetään paljon plutonium-isotooppia  $^{238}\text{Pu}$  sekä muina tavallisina nuklideina muun muassa strontium-isotooppia  $^{90}\text{Sr}$  ja polonium-isotooppia  $^{210}\text{Po}$ . Maahan syöksyvä satelliitti voi aiheuttaa säteilyvaaran kymmenien tai jopa satojen kilometrien pituiselle kapeahkolle alueelle (Toivonen ja Lahtinen 1994). Väestöä uhkaava säteilytilanne voi syntyä, jos pariston sisältämää radioaktiivista materiaalia pääsee ympäristöön asutuilla alueilla (Toivonen ja Lahtinen 1994, Aakko ym. 2000).

## 4.8 Säteily terrorismin välineenä

Säteilyä voidaan käyttää myös terrorismin välineenä. Tällöin voi tulla kyseeseen esimerkiksi ydinräjähdeiden käyttö, lentokoneella tehty isku ydinvoimalaan tai niin kutsuttujen ”likaisten” pommien käyttö. Likaisissa pommeissa tavalliseen räjähdysaineeseen on sekoitettu jotain suhteellisen helposti saatavilla olevaa radionuklidia (Säteilyturvakeskus 2005). Tällaisen räjähdyskappaleen säteilyseuraukset jäävät suuressa mittakaavassa vähäisiksi. Myös varastettuja voimakkaita gammasäteilijöitä, kuten esimerkiksi sairaaloissa syövän sädehoidossa käytettäviä kobolttikanuunoiden lähteitä, voidaan käyttää terrorismiin.

Mahdollinen uhkatilanne voi olla myös elintarvikkeiden tai juomaveden tahallinen saastuttaminen radionuklideilla. Elintarvikkeiden tai niiden raaka-aineiden tahallinen saastuttaminen radioaktiivisilla aineilla voi tapahtua missä tahansa ravintoketjun osassa matkalla pelloilta pöytään (WHO 2002). Vaikka elintarvikkeiden tahallista kemiallista tai mikrobiologista saastuttamista suuremmissa mittakaavassa tiedetään tapahtuneen harvoin, ovat pienimuotoisemmat tihutyöt ja häiriköinti mahdollisia. Elintarvikkeiden saastuttamiseen on tehokkain sellainen aine tai yhdiste, jota kuluttaja ei voi elintarvikkeesta aistein havaita (Pakkala 2002).

## 5 Elintarviketeollisuuslaitosten puhdistamiseen liittyvä lainsäädäntö

Terveydensuojelulain (1994) elintarvikemääräykset koskevat kaikkia elintarvikehuoneistoja lukuun ottamatta eläimistä saatavien elintarvikkeiden elintarvikehygieniasta annetun lain (1996) alaisia laitoksia. Terveydensuojelullailla säädellään elintarvikehuoneistojen olosuhteita (Niemi 1998). Terveydensuojeluasituksen (1994) elintarvikehuoneistoja koskevien vaatimusten mukaan elintarvikehuoneisto on pidettävä hyvässä kunnossa ja puhtaana, ja se on siivottava säännöllisesti. Siivouksessa käytettäville välineille ja aineille on oltava erilliset, asianmukaisesti varustetut säilytystilat. Elintarvikehuoneistoissa käytettävien eri pintojen ja elintarvikkeiden käsittelyyn käytettävien koneiden, laitteiden, välineiden ja astioiden on oltava helposti puhdistettavia ja tarvittaessa desinfioitavissa.

Laki eläimistä saatavien elintarvikkeiden elintarvikehygieniasta (1996) antaa eläimistä saatavia elintarvikkeita käsitteleviä elintarvikehuoneistoja koskevia määräyksiä. Tämä velvoittaa laitoksen laatimaan ja toteuttamaan omavalvontajärjestelmän elintarvikehygienisten epäkohtien syntymisen estämiseksi. Omavalvontajärjestelmän tai -suunnitelman yhtenä osana on kaikilla elintarvikelaitoksilla oltava jossain muodossa laitoksen puhdistusohjelma.

Eläinlääkintölainsäädäntö-kokoelman asetuksissa ja päätöksissä (liha-hygieniä-asetus, 2001, maidon ja maitopohjaisten tuotteiden valmistukselle asetettavat hygieniavaatimukset [maitohygieniä-asetus], 2001, kalahygieniä, 2000, munavalmisteille ja niiden valmistukselle asetettavat hygieniavaatimukset [munavalmistepäätös], 1995, linnunmunien hygieniavaatimukset [munahygieniäpäätös], 1998, ja varastolaitosten hygieniavaatimukset, 2001) annetaan tarkempia määräyksiä ja suosituksia eri laitoksille. Seuraavassa on kerrottu näistä määräyksistä ja suosituksista käyttäen lähteenä edellä mainittuja asetuksia ja päätöksiä.

### 5.1 Omavalvontasuunnitelma

Lihaa ja lihavalmisteita käsittelevän laitoksen ja maitoa tai maitopohjaisia tuotteita käsittelevän laitoksen omavalvontajärjestelmän tai -suunnitelman tulee sisältää puhdistusohjelma ja puhtauden tarkkailuohjelma, jossa on oltava kuvaus päivittäisen puhdistuksen ja desinfioimisen suorittamisesta tarvittaessa huone- ja laitekohtaisesti. Myös käytettävät välineet, aineet ja puhdistusajankohdat on kuvattava. Lihaa ja lihavalmisteita käsittelevässä laitoksessa käytettävistä puhdistus- ja desinfioimisaineista on oltava laadittuna luettelo, maitoa

tai maitopohjaisia tuotteita käsittelevässä laitoksessa käytettävien puhdistus- ja desinfiomisaineiden käytöstä on oltava ohjeet. Lihaa ja lihavalmisteita käsittelevän laitoksen puhdistusohjelmaan on kuuluttava myös kuljetusajoneuvojen puhdistuksen valvonta.

Kalastustuotteita tai niistä saatuja raakavalmisteita tai jalosteita valmistavan, varastoivan tai muutoin käsittelevän laitoksen ja munapakkaamon omavalvontasuunnitelmaan on kuuluttava puhdistusohjelma. Munavalmisteita valmistavan ja käsittelevän laitoksen omavalvontasuunnitelmaan on kuuluttava puhdistuksen hallintaohjelma.

Munapakkaamon puhdistusohjelmaan on kuuluttava suunnitelma kuljetusajoneuvojen ja välineiden pesusta ja desinfioinnista. Kalastustuotteita käsittelevän laitoksen puhdistusohjelmaan suositellaan kuuluvaksi käytettävien kuljetusvälineiden puhdistus. Molempien laitosten puhdistusohjelmassa suositellaan kuvattavaksi päivittäisen puhdistuksen ja desinfiomisen suorittaminen tarvittaessa huone- ja laitekohtaisesti sekä puhdistukseen käytettävät välineet ja puhdistusajankohdat. Suosituksena on, että laitoksissa käytettävistä pesu- ja desinfiomisaineista on laadittu luettelo.

Eläimistä saatavien elintarvikkeiden varastotilan eli varastolaitoksen omavalvontasuunnitelmaan on kuuluttava puhdistusohjelma ja puhtauden tarkkailuohjelma. Siinä suositellaan olevan kuvaus päivittäisen puhdistuksen ja desinfiomisen suorittamisesta tarvittaessa huone- ja laitoskohtaisesti. Käytettävät välineet, aineet ja puhdistusajankohdat suositellaan myös kuvattaviksi.

Elintarvikelaitoksissa käytettävien puhdistus- ja desinfiomisaineiden on oltava Elintarvikeviraston hyväksymiä. Ajantasainen lista Elintarvikeviraston hyväksymistä puhdistus- ja desinfiomisaineista on Elintarvikeviraston internet-sivuilla ([www.elintarvikevirasto.fi/valvonta/](http://www.elintarvikevirasto.fi/valvonta/)).

## **5.2 Elintarvikehuoneistojen rakenteelliset vaatimukset**

Terveysturvallisuusasetuksessa (1994) on annettu elintarvikehuoneistojen rakenteelliset vaatimukset. Käytettävien rakenteiden, pinnoitteiden, materiaalien ja kalusteiden sekä elintarvikkeiden valmistukseen tai muuhun käsittelyyn käytettävien koneiden, laitteiden, välineiden ja astioiden on oltava helposti puhdistettavia sekä tarvittaessa desinfioitavissa ja sellaisia, ettei niistä joudu elintarvikkeisiin haitallisia aineita. Lattioissa on oltava viemäriin yhdistetty lattiakaivo sekä tarkoituksenmukaiset laitteet lattian huuhtelua varten sellaisissa huonetiloissa, joissa lattia joutuu olemaan jatkuvasti märkänä tai sitä joudutaan puhdistamaan usein, tai se on muuten puhtaanapidon kannalta tarpeellista. Lattian tulee viettää lattiakaivoon.



Lihahygienia-asetuksessa (2001), maidon ja maitopohjaisten tuotteiden valmistukselle asetettavissa hygieniavaatimuksissa (maitohygienia-asetus) (2001), kalahygienia-asetuksessa (2000), munavalmisteille ja niiden valmistukselle asetettavissa hygieniavaatimuksissa (munavalmistepäätös) (1995), linnunmunien hygieniavaatimuksissa (munahygieniapäätös) (1998), ja varastolaitosten hygieniavaatimuksissa (2001) on annettu eri teollisuuslaitoksille laitoksen rakenteita koskevia tarkempia määräyksiä ja suosituksia, joita käydään läpi seuraavassa.

### **Lattiat**

Eläimistä saatavia elintarvikkeita käsittelevän laitoksen lattioiden on oltava tehty kestävästä, helposti puhdistettavasta aineesta, joka voidaan desinfioida. Lattiakaivot on oltava lattioissa lihaa ja lihavalmisteita, munia ja munavalmisteita ja kalastustuotteita käsittelevien laitosten tuotantotiloissa sekä varastolaitoksissa, maitoa tai maitopohjaisia tuotteita käsittelevän laitoksen niissä tiloissa, joiden lämpötila on yli 0 °C ja joissa käsitellään tai säilytetään pakkaamattomia tai nestemäisiä tuotteita, sekä tarvittaessa tiloissa, joissa munia käsitellään ja säilytetään ja joiden kautta niitä kuljetetaan. Varastolaitoksen tiloissa, joiden lämpötila on jatkuvasti alle 0 °C tai joissa säilytetään vain pakattuja tuotteita, ei tarvitse olla lattiakaivoja. Lattioiden on oltava siten kaltevat, että pesuvesi valuu lattiakaivoihin.

### **Seinät, katot, ovet ja laitoksen muut rakenteet**

Laitoksen sisäseinien ja -rakenteiden on oltava ehjiä, sileäpintaisia ja helposti puhdistettavia, ja ne tulee olla tehty kestävästä ja tiiviistä aineesta. Niissä ei saa olla ruostetta eikä niistä saa irrota maalia. Laitoksen sisäpuolisten kattojen ja ylärakenteiden on oltava helposti puhtaana pidettäviä. Ovien on oltava kestävästä ja helposti puhtaana pidettävästä materiaalista, sekä lihaa ja lihavalmisteita käsittelevässä laitoksessa ja munapakkaamoissa lisäksi sileitä, lihaa ja lihavalmisteita käsittelevässä laitoksessa ruostumattomia, ja munapakkaamoissa syöpymättömiä. Saumojen on oltava tiiviitä.

Lihaa ja lihavalmisteitä käsittelevän laitoksen pinnoissa ja sisärakenteissa ei saa käyttää puuta eikä muutakaan huokoista ainetta. Tuotantotiloissa ei saa olla avattavia ikkunoita. Huoneista, joissa säilytetään tai käsitellään suojaamatonta lihaa, ei saa olla suoraa kulkuyhteyttä ulos. Maitoa tai maitopohjaisia tuotteita käsittelevällä laitoksella on suosituksena, että ilmanvaihtokanavat ovat sellaisia että ne voidaan puhdistaa.

### **Koneet, laitteet ja kalusteet**

Elintarvikkeiden kanssa suoraan kosketukseen joutuvien tai elintarvikkeiden kanssa samoissa tiloissa käytettävien koneiden, laitteiden, kalusteiden ja välineiden on oltava valmistettu kestävästä, helposti puhtaana pidettävästä ja desinfioitavasta aineesta, joka ei ruostu. Lihaa ja lihavalmisteita käsittelevässä laitoksessa ei saa olla käytössä puisia välineitä tai kalusteita.

Kiinteästi asennettujen koneiden ja laitteiden tulee munapakkaamoissa olla, ja lihaa ja lihatuotteita käsittelevissä laitoksissa niiden suositellaan olevan sijoitettu niin, että ne on helppo pitää puhtaana.

### **5.3 Laitoksen puhdistaminen**

Lihaa ja lihatuotteita, maitoa ja maitopohjaisia tuotteita, kalastustuotteita ja munavalmisteita käsittelevissä laitoksissa, munapakkaamoissa ja varastolaitoksissa on oltava saatavissa riittävästi talousvettä. Pelkästään teknisiin tarkoituksiin voidaan käyttää myös muunlaista vettä. Lihaa ja lihatuotteita käsittelevässä laitoksessa on oltava riittävä määrä vesipisteitä tai pesujärjestelmä tilojen ja laitteiden pesua varten. Maitoa ja maitopohjaisia tuotteita käsittelevässä laitoksessa on oltava riittävästi paikkoja ja välineitä laitteiden, astioiden, työvälineiden ja suojarusteiden puhdistamista ja desinfioimista varten. Munavalmisteita käsittelevässä laitoksessa on oltava työvälineiden pesupaikoissa saatavilla kuumaa vettä välineiden pesua varten. Laitoksessa on myös oltava erillinen tila ja tarpeelliset välineet kiinteiden ja siirrettävien säiliöiden ja astioiden puhdistamista ja desinfioimista varten.

Maitoa ja maitopohjaisia tuotteita, kalastustuotteita ja munavalmisteita käsittelevien laitosten, munapakkaamojen ja varastolaitosten tilat, laitteet ja välineet on pidettävä puhtaina ja hyväkuntoisina. Lihaa ja lihatuotteita ja munavalmisteita käsittelevien laitosten ja munapakkaamojen tilat on pidettävä hyvässä järjestyksessä ja puhdistettava ja desinfioitava vähintään kerran päivässä. Lihaa ja lihatuotteita ja munavalmisteita käsittelevissä laitoksissa ja munapakkaamoissa ne on pidettävä riittävän puhtaina myös työpäivän aikana. Munavalmisteita käsittelevissä laitoksissa olevat munavalmisteiden siirtämiseen tarkoitetut suljetut putkistot on varustettava puhdistusjärjestelmällä, joka varmistaa niiden kaikkien osien puhdistumisen ja desinfioitumisen. Maitoa ja maitopohjaisia tuotteita käsittelevän laitoksen tilat on puhdistettava erillisen ohjelman mukaisesti.

## 5.4 Kuljetukset

Terveydensuojeluasetuksessa annetaan vaatimuksia myös elintarvikkeiden kuljetukselle. Kuljetukseen käytettävät ajoneuvot ja muut kuljetusvälineet on pidettävä puhtaina. Kuljetuksessa on käytettävä tiiviisti suljettavaa ajoneuvoa, jollei elintarvikkeita ole pakattu siten, että ne ovat kuljetuksen aikana suojattuina kastumiselta, jäätymiseltä, pölyntyemiseltä ja muulta likaantumiselta. Elintarvikkeiden kuljetukseen käytettävät kuljetusastiat on puhdistettava eri käyttökertojen välillä (Terveydensuojeluasetus 1994).

Lihahygienia-asetuksessa (2001), maidon ja maitopohjaisten tuotteiden valmistukselle asetettavissa hygieniavaatimuksissa (maitohygienia-asetus) (2001), kalahygienia-asetuksessa (2000), munavalmisteille ja niiden valmistukselle asetettavissa hygieniavaatimuksissa (munavalmistepäätös) (1995), linnunmunien hygieniavaatimuksissa (munahygieniapäätös) (1998) ja varastolaitosten hygieniavaatimuksissa (2001) on annettu eri teollisuuslaitoksille määräyksiä ja suosituksia kuljetuksiin liittyen.

Lihan ja lihavalmisteiden, munien ja munavalmisteiden, maidon ja maitopohjaisten tuotteiden sekä kalastustuotteiden kuljetukseen käytettävien kuljetusvälineiden sisäpintojen on oltava valmistettu materiaalista, joka on helppo pestä ja desinfioida. Lihan ja lihavalmisteiden ja maidon ja maitopohjaisten tuotteiden kuljetukseen käytettävien kuljetusvälineiden valmistusmateriaalin on oltava lisäksi sileää ja syöpymätöntä.

Munien ja munavalmisteiden kuljetukseen käytettävät astiat on pidettävä puhtaina ja hyväkuntoisina ja tarvittaessa desinfioitava. Munat on suojattava kuljetuksen aikana kontaminoitumiselta tai muilta haitallisilta vaikutuksilta.

Maidon ja maitopohjaisten tuotteiden kuljetusvälineet ja kuljetuslaatikot on pidettävä puhtaina ja ennen lastausta niiden puhtaus on varmistettava. Kuljetusvälineiden on oltava tiiviitä. Maitoa ja maitopohjaisia tuotteita käsittelevässä laitoksessa on oltava tilat ja varustus maidon ja maitopohjaisten tuotteiden kuljetuksessa käytettävien säiliöiden, laatikoiden ja rullakoiden sekä kuljetusvälineiden pesua ja mahdollista desinfiointia varten. Laitoksen lastaus- ja purkauspaikan ulkoalue sekä ajotiet laitoksen alueella on päällystettävä pölyämättömällä materiaalilla.

Lihan ja lihatuotteiden kuljetusvälineen on oltava puhdas. Hyönteiset ja pöly eivät saa päästä kuljetusvälineisiin, ja kuljetusvälineiden on oltava vesi-tiiviitä. Lihaa ja lihatuotteita käsittelevässä laitoksessa on myös kuljetusvälineiden puhdistuksen ja desinfiointien oltava järjestetty.

## **5.5 Uusi kansallinen elintarvikelaki**

Tällä hetkellä (kesällä 2005) on valmisteilla uusi kansallinen elintarvikelaki, jonka on tarkoitus tulla voimaan vuoden 2006 alussa. Uudessa laissa nykyisiä lakeja on tarkoitus yhtenäistää ja selkeyttää, niin että uusi elintarvikelaki korvaa voimassa olevan elintarvikelain, eläimistä saatavien elintarvikkeiden elintarvikehygieniasta annetun lain sekä terveydensuojelulain elintarvikehygieniää koskevan luvun. Lailla säädetään elintarvikkeita koskevista yleisistä vaatimuksista sekä niiden valvonnan järjestämisestä. Uuden lain pohjana on uudistuva EU-lainsäädäntö (Elintarvikelakityöryhmän muistio 2004).

Uudessa laissa elintarvikehuoneistoja ei enää tulla jakamaan erikseen hygienialain ja terveydensuojelulain alaisiin elintarvikehuoneistoihin, vaan määräykset koskevat yhtäläisesti kaikkia elintarvikehuoneistoja. Elintarvikehuoneiston määritelmä tulee kattamaan myös elintarvikkeiden kuljetusvälineet. Käytännössä tällä hetkellä voimassa olevien elintarvikkeita koskevien lakien mukaiseen sääntelyyn ei ole tulossa suuria muutoksia (Elintarvikelakityöryhmän muistio 2004).

## 6 Käytännön puhdistustoimenpiteet elintarviketeollisuuslaitoksissa

Eri elintarviketeollisuuden alat asettavat erilaisia vaatimuksia laitoksien puhdistustoimenpiteille ja -tekniikoille. Laissa annettuja määräyksiä ja vaatimuksia on noudatettava, mutta on muistettava että nämä vaatimukset ovat minimivaatimuksia. Jokaisen elintarvikehuoneiston kohdalla on erikseen harkittava, mitä muita vaatimuksia kyseisen huoneiston toiminnan laatu ja laajuus huomioiden tulee asettaa. Tämä vaatimustaso kirjataan ensisijaisesti toiminnanharjoittajan omavalvontasuunnitelmaan (Niemi 1998), joka elintarvikehuoneistolla on terveysuojelulain (1994) mukaan oltava. Yleisperiaatteet puhdistustoimenpiteissä ovat kuitenkin lähes kaikilla elintarviketeollisuuden aloilla samat.

Perustan käytännön puhtaanapidolle luo siivoussuunnitelma, joka tulisi aina laatia kohdekohtaisesti. Jokaisen kohteen mahdolliset erikoisvaatimukset tai toimintatavat on otettava huomioon (Saarinen 2001).

Elintarvikelaitoksen puhdistukseen sisältyy sekä päivittäisiä että harvemmin, viikoittain, kuukausittain tai muutaman kerran vuodessa, tehtäviä puhdistustoimenpiteitä (Vilo 1987). Sellaiset pinnat ja laitteet, jotka voivat kontaminoida elintarvikkeen, tulee pestä vähintään päivittäin. Tuotantotilojen tehopuhdistus tehdään säännöllisesti, ja sen yhteydessä laitteet puretaan pienempiin osiin kuin päivittäisessä pesussa (Puhdistusohjelma ja puhtauden... 2003).

Laitoksen rakenteissa olevien puhdistuksen kannalta erityisten kohteiden puhdistus on tehtävä suunnitelmallisesti, ja siinä on otettava huomioon kohteiden omat puhdistus- ja desinfiointiohjeet. Tällaisia kohteita ovat muun muassa ilmanvaihto-, vesi- ja viemäriputket, sähkölaitteet, johtoarinat, katot ja ylärakenteet, laitteiden ja kaappien päällystät sekä katkaisijoiden ja sähkölaitteiden ympäristät. Muita tärkeitä puhdistuskohteita ovat esimerkiksi pakkaus- ja viipalointikoneet sekä kuljetushihnat ja kuljettimien telat (Puhdistusohjelma ja puhtauden... 2003).

Useissa elintarviketeollisuuslaitoksissa osa puhdistustoimenpiteistä hoidetaan laitoksen oman henkilökunnan voimin, mutta suuremman puhdistuksen hoitavat työpäivän päätyttyä lähes kokonaan ulkopuoliset siivouspalveluyrittäjät, joiden työ tapahtuu ennalta laadittujen työohjeiden mukaisesti.

## **6.1 Puhdistettavuuden huomioonottaminen laitoksen ja laitteiden suunnittelussa**

Puhdistustoimenpiteet tulisi ottaa huomioon jo teollisuuslaitosta suunniteltaessa (Ranta 1996, Lehtinen 1998), ja laitteiden puhdistamisen ja ylläpidon helppous tulee ottaa huomioon jo laitteen suunnitteluvaiheessa. Laitteen pitää olla helposti purettavissa osiin puhdistusta varten ja uudelleen kasattavissa sen jälkeen, ellei laitetta puhdisteta ns. CIP eli Cleaning-In-Place -tekniikalla (Hayes, 1995, Saloniemi ja Wirtanen 2002). Elintarvikkeen kanssa kosketuksessa olevien pintojen tulee kestää niin elintarvikkeita kuin pesu- ja desinfiointiliuoksia kaikissa käytetyissä olosuhteissa (Saloniemi ja Wirtanen 2002, Hauser ym. 2004). Elintarviketeollisuuslaitoksen kalusteissa ja laitteissa päämateriaali on ruostumaton teräs. Lattioissa ovat yleisesti käytettyjä karhennetut muovimassapinnoitteet. Rakenteiden tulisi olla selkeitä, tiiviitä ja ehjiä ja kotelointien helposti avattavissa. Lattiakaivoja on hyvä sijoittaa laitteiden lähelle niin että niiden pesuedet ohjautuvat viemäriin (Lehtinen 1998). Rikkinäisiä ja vaikeasti puhdistettavia pintoja ei saisi olla (Rapila 2001).

## **6.2 Omavalvontasuunnitelma ja puhdistusohjelma**

Elintarviketeollisuuslaitoksen hygieniavalvonnan perustana on HACCP (Hazard Analysis Critical Control Points) -periaatteisiin pohjautuva omavalvonta (Niemi 1998). Elintarviketurvallisuuden ja -hygienian kannalta olennaisen tärkeää on ehkäistä fysikaalinen, kemiallinen ja mikrobiologinen kontaminaatio ja ehkäistä mikrobien kasvu (Pakkala 1998). Laitoksen puhdistussuunnitelman tulisi syntyä viimeistään rakennussuunnitteluvaiheessa (Lehtinen 1998). Puhdistusohjelmassa on selostettava puhdistus- ja desinfiointitoimenpiteet tarvittaessa huone- ja laitekohtaisesti. Myös puhdistusajankohdat, -aineet ja -välineet kuvataan. Laitoksessa käytettävistä puhdistus- ja desinfiointiaineista laaditaan luettelo ja niistä on oltava käyttöturvallisuustiedotteet. Laitoksen puhdistusohjelmaan sisällytetään kuljetusajoneuvojen ja muiden kuljetusvälineiden säännöllinen pesu ja desinfiointi sekä ajoittain toteutettava tehopuhdistus (Puhdistusohjelma ja puhtauden... 2003). Laitteiden, laitoksen pintojen, harvemmin puhdistettavien koneiden, välineiden ja käsien puhdistukselle sekä henkilökunnan hygienialle tehdään kaikille oma suunnitelmansa (Lehtinen 1998).

### 6.3 Puhdistus ja pesu käyttäen vettä

Osana pesua suositellaan käytettäväksi tarvittaessa mekaanista puhdistusta, harjaa tai liinaa. Pinttynyt lika on aina puhdistettava mekaanisesti (Puhdistusohjelma ja puhtauden... 2003). Yleisperiaatteeltaan puhdistuksessa voidaan ensimmäiseksi suorittaa kuivapuhdistus joko harjaa tai imuria käyttäen, jonka jälkeen pestävä kohde huuhdellaan irtolian poistamiseksi. Tämän jälkeen suoritetaan varsinainen pesu, joka suljetussa laitteistossa tapahtuu kiertopesuna (suljettujen prosessien puhdistus tai CIP eli Cleaning-In-Place) ja avoimilla pinnoilla vaahtopesuna (avoimien prosessien puhdistus). Pesun jälkeen pinnat huuhdellaan lian ja pesuainejäämien poistamiseksi. Viimeisenä suoritetaan desinfiointi joka tuhoaa pinnoille jääneet mikrobit ja estää niiden kasvun (Arpiainen ym. 2002). Hygienialain mukaisen laitoksen puhdistukseen saa käyttää vain talousvettä (Puhdistusohjelma ja puhtauden... 2003).

#### Avoimien prosessien puhdistus

Avoimien prosessien puhdistus tarkoittaa laitoksessa olevien pintojen ja laitteiden puhdistusta avoimina, niin että esimerkiksi laitteet puretaan osiin, jotta ne saadaan puhdistettua huolella (Thomas 2001). Avoimien prosessien puhdistusmenetelmä on käytössä suurimmassa osassa kiinteitä elintarvikkeita valmistavissa teollisuuslaitoksissa.

Elintarviketeollisuudessa avoimien prosessilaitteiden pintojen pesuun käytetään vaahtopesua (Hayes 1995, Arpiainen ym. 2002). Avoimien prosessien puhdistus voidaan jakaa manuaaliseen ja puoliautomoitutuun pesuun. Manuaalisen puhdistuksen periaatteet ovat samat kuin kotitalouksissa esimerkiksi astianpesussa (Thomas 2001). Puoliautomoitoidussa pesussa voidaan käyttää matala- tai korkeapainepesua. Avoimien prosessien puhdistuksessa korkeapainepesu ei ole suositeltava menetelmä, sillä se kuluttaa pintoja ja voi siirtää likaa paikasta toiseen muun muassa roiskeina ja vesisumuna (Vilo 1987, Puhdistusohjelma ja puhtauden... 2003), jolloin lika kulkeutuu jo puhdistetuille pinnoille ja uudelleenkontaminoi ne (Thomas 2001). Suositeltavin pesumenetelmä on matalapainepesu, jossa käytetään noin 15–20 barin painetta (Puhdistusohjelma ja puhtauden... 2003), jolloin aerosoleja ei synny (Thomas 2001). Normaali pesumenetelmä ei välttämättä riitä puhdistamaan voimakkaasti likaantuvia pintoja, esimerkiksi uunia ja kattiloita, joihin lika yleensä palaa kiinni. Näiden puhdistamiseen voidaan käyttää erityisiä menetelmiä, kuten esimerkiksi kaustista soodaa tai vastaavaa aggressiivista puhdistusainetta. Erilaisia spesifisiä puhdistusmenetelmiä on suuri määrä (Thomas 2001).

Elintarviketeollisuudessa on käytössä myös tunnelipesureita, joilla pestään laitteita tai kappaleita suljetuissa tunneleissa, joissa melko pienillä paineilla ja suurilla nestevirtauksilla saadaan aikaan tavoiteltu pesutulos.

Pestävät kappaleet liikkuvat tunnelipesureissa kuljetinta pitkin ja tunnelissa olevat pesusuuttimet suihkuttavat kappaleisiin pesunestettä. Joissain tunnelipesuissa käytetään myös ultraäänitekniikkaa (Arpiainen ym. 2002). Tällöin puhdistettava materiaali upotetaan pesunesteeseen, johon luodaan ultraäänielementtien avulla voimakas ultraäänikenttä, joka pesee tasaisesti koko kappaleen (Kivelä 1996, Arpiainen ym. 2002). Mekaanisen likaa irrottavan vaikutuksen saa aikaan nesteessä tapahtuva kaasukuplien luhistuminen (Hayes 1995, Kivelä 1996, Wirtanen 2002). Tapahtumaa kutsutaan kavitaatioksi, ja sillä tarkoitetaan kaasukuplien ja tyhjiöiden syntymistä, kun ultraääniaaltojen voimakkuus on riittävän suuri (Wirtanen 2002). Ultraäänipesureita käytetään etenkin juustonvalmistusteollisuudessa (Wirtanen 2002) esimerkiksi juustomuottien puhdistukseen (Kivelä 1996).

Puhdistustapahtuman kulku voi noudattaa seuraavaa kaavaa:

- Esivalmistelut, esimerkiksi pesua kestävämmien kohteiden puhdistaminen ja suojaaminen (Martikainen 1998).
- Irtolian poistaminen puhdistettavalta pinnalta (Saarinen 2001). Irtonainen jäte voidaan poistaa laitteista kaapimalla ja lattioilta esimerkiksi lastalla. Koneet ja laitteet puretaan pesua varten (Puhdistusohjelma ja puhtauden... 2003).
- Esipesu (Martikainen 1998, Thomas 2001). Pinnat ja laitteet huuhdellaan viileällä vedellä (Puhdistusohjelma ja puhtauden... 2003). Alkuhuuhtelu on koko puhdistuskäytännön tärkein vaihe, ja huuhtelun jälkeen laitoksen tulisi näyttää käytännöllisesti katsoen visuaalisesti puhtaalta (Thomas 2001).
- Lian irrottaminen ja sen kiinnittyminen pesuaineeseen (Saarinen 2001) vaahdotuksen ja mekaanisen pesun avulla (Martikainen 1998). Pesuaine levitetään pestäville pinnoille ja irrotetuille osille ja vaahdon annetaan vaikuttaa (Hayes 1995, Puhdistusohjelma ja puhtauden... 2003). Vaahdon vaikutusaikana pinnat hangataan hankauslevyllä tai -pesimellä, jossa on pesuaineliuosta (Puhdistusohjelma ja puhtauden... 2003).
- Lian poishuuhtelu pesuaineliuksen mukana (Saarinen 2001) matalapaineisella vedellä (Puhdistusohjelma ja puhtauden... 2003).
- Pinnan kuivattaminen tai kuivaaminen (Saarinen 2001), josta huolehditaan parhaiten ilmastoinnin avulla (Puhdistusohjelma ja puhtauden... 2003).

Käytännössä esimerkiksi lihanjalostusteollisuudessa ennen varsinaisen pesun aloittamista suojataan painevedelle arat kohteet. Lastalla, harjalla, lapiolla tai



märkäimurilla poistetaan kiinteä lika-aines. Varsinainen pesu aloitetaan pintojen esipesulla haalealla vedellä, sen jälkeen levitetään vaahtopesuaine. Pesuaine-vaahdon vaikutusajan jälkeen pinnat pestään matalapainepesurilla. Lattiat kuivataan lastalla tai märkäimurilla. Lopuksi puhdistetaan lattiakaivojen ritilät. Painevedelle arat kohteet pyyhitään erikseen kostealla. Ilmastointisuodattimien vaihdosta ja ilmastointikanavien, höyrystinpussien, höyrystimien ja niiden tippuvesialtaiden puhtaanapidosta huolehtiminen säännöllisesti on myös tärkeää (Matikkala 1998).

### **Suljettujen prosessien puhdistus**

Suljettujen prosessien puhdistuksen periaate on puhdistaa putket ja astiat ”paikallaan” purkamatta niitä osiin, niin sanottuna kiertopesuna. Huuhteluvesi, pesuaine ja desinfektioaine kierrätetään kontrolloidusti puhdistettavilla pinnoilla (Paloranta 1984, Romney 1990, Thomas 2001). CIP on käytössä laajasti maidonjalostus-, olut- ja virvoitusjuomateollisuudessa, missä suljettujen tankki- ja putkijärjestelmien läpi siirretään suuria määriä nesteitä (Hayes 1995, Thomas 2001). Meijereissä CIP:iä käytetään suljettujen meijerilaitteiden, putkistojen, säiliöiden, lämmönsiirtimien, separaattoreiden, venttiilien, pumppujen ym. laitteiden pesuun (Luotola 1998).

CIP:iä käytettäessä puhdistusprosessi seuraa yleensä seuraavanlaista kaavaa:

- Irtolian poistaminen (Hayes 1995, Thomas 2001).
- Esipesukierto kaiken löyhästi kiinnittyneen lian poistamiseksi (Romney 1990).
- Pesuainekierto, joka nostaa lian pinnalta ja pidättää, suspensoi tai liuottaa sen pesuaineeseen (Romney 1990, Hayes 1995).
- Huuhtelu pesuainejäämien ja liukenemattoman lian poistamiseksi (Romney 1990, Hayes, 1995).
- Tarvittaessa desinfektio (Thomas 2001).

Putkistojen puhdistuksessa on periaatteena pitää putket koko ajan täynnä turbulentsesti virtaavaa vettä (Thomas 2001). Putkistojen elintarvikkeen kanssa kosketuksissa olevien pintojen täytyy olla kosketuksissa myös puhdistus- ja desinfiointiliuosten kanssa (Saloniemi 2002). Puhdistumiseen vaikuttavista tekijöistä kiertopesuissa ehdottomasti tärkein on mekaniikka, kuten virtaus ja suihkut. Virtauksen on oltava turbulentsista, eli virtausnopeuden on oltava vähintään 1,5 m/s (Luotola 1998, Chisti ja Moo-Young 1994, Arpiainen ym. 2002). Käytännön olosuhteissa sen tulee olla yli 2 m/s (Chisti ja Moo-Young

1994, Luotola 1998), koska putkistoissa oleva virtausesteet, kuten mutkakohdat, haaroittuvat putkistot, taskut, liitoskohdat, venttiilit ym. ovat puhdistumisen kannalta hankalia (Thomas 2001), ja aiheuttavat painehäviötä ja hidastavat virtausta (Luotola 1998, Arpiainen ym. 2002).

Esimerkiksi meijereissä kiertopesut hoidetaan automatisoiduissa pesukeskuksissa, missä ovat pesuliuossäiliöt sekä huuhteluvesisäiliöt säätölaitteineen. Pesuliokset kerätään talteen, ts. samaa pesuliuosta kierrätetään kohteessa pesukeskuksen kautta (Hayes 1995, Luotola 1998). Pesuliuoksina käytetään sekä emäksisiä että happamia liuoksia (Paloranta 1984, Chisti ja Moo-Young 1994, Luotola 1998), emäksiset ovat natriumhydroksidi- tai natriumhydroksidi/kaliumhydroksidipohjaisia, happamat typpihappopohjaisia (Chisti ja Moo-Young 1994, Luotola 1998, Arpiainen ym. 2002). Pesuliuosten uusiutuminen tapahtuu osittain kunkin pesutapahtuman yhteydessä eli osa kiertävästä pesuliuoksesta (aluksi palaava likaisin liuos) ohjataan viemäriin ja pesuliuossäiliössä tapahtuu automaattisesti väkevöinti säädetylle tasolle (Chisti ja Moo-Young 1994, Luotola 1998). Ajoittain puhdistetaan itse pesukeskuksen säiliöt kiertopesuilla mm. mahdollisten saostumien poistamiseksi (Luotola 1998). Joissain laitoksissa on vielä käytössä myös kertakäyttöliuoksia (Luotola 1998), jotka käytetään vain kerran, jonka jälkeen ne ohjataan viemäriin (Hayes 1995).

Astioiden ja säiliöiden puhdistukseen käytetään yleensä suihkusuutinta. Suurien astioiden ja säilytystankkien seinämiin ruiskutetaan puhdistusliuosta ruiskutuslaitteella, ja puhdistusliuos kerätään talteen astian poistoaukosta ja palautetaan CIP-kiertoon (Tamplin 1990, Hayes 1995). Pesurilla on saatava aikaan mekaaninen vaikutus, ja pesuliuos on saatava valumaan koko säiliön pinnoilla ja mahdollisten sekoittimien ja jäähdytysankkurien ym. pinnoilla. Säiliöpesut ovat pääosin ”valutuspesuja”, joissa mekaaniset voimat ovat heikkoja. Käytännössä meijeriprosessien laitteissa on hankalasti peseytyviä, monimutkaisia laitteita ja kuumennettavia pintoja, minkä vuoksi pesut eivät ole välttämättä täysin optimaalisia (Luotola 1998).

## **6.4 Kuivatuotteita valmistavien laitosten puhdistus**

Kuivia elintarvikkeita valmistavassa laitoksessa vettä ei voida käyttää puhdistukseen samassa laajuudessa kuin muissa laitoksissa, ja puhdistus suorite- taankin parhaiten imuroimalla (Hayes 1995). Leipomoissa puhdistilojen päivittäisessä puhdistuksessa käytetään imurointia ja pyyhintää (Ranta 1996). Myös vaahtopesua voi olla mahdollista käyttää, jos puhdistusvaahto poistetaan imuroimalla eikä vedellä huuhtelemalla (Hayes 1995). Avoimien lattiapintojen pesemiseen voidaan käyttää lattioiden pesuun suunniteltuja suuralakoneita (Kaukonen 1985).

Myllyssä vilja kulkee suljetussa putkistossa. Putkistot puhdistetaan imuroinnilla, paineilmapuhalluksella ja puhdistusajoilla, vettä ei käytetä. Puhdistusajoissa putkistoon syötetään puhdasta viljaa niin kauan että ulos tuleva vilja on myös puhdasta. Tuotantotilat puhdistetaan imuroimalla, harjaamalla sekä pyyhkimällä kostealla. Jauho- ja viljasiilot on puhdistettava niin, että niihin mennään sisälle suorittamaan puhdistus (Saarinen 2005).

Leipomoissa vettä käytetään lattioiden ja taikinanteokoastioiden ja -laitteiden pesuun. Tuotantolaitteet ja valmistuslinjat puhdistetaan yleensä vuoroittain, lähinnä imuroimalla. Tuotantotilat puhdistetaan viikoittain tuotantoseisokin aikana. Lattiat pestään, vapaat lattiat ajettavalla pesukoneella, muut osat harjalla, ja imuroidaan. Raaka-aineiden ja valmiiden tuotteiden varastotilat siivotaan kerran viikossa imuroimalla ja pesemällä lattiat. Suurempi siivous tehtailla tehdään yleensä kerran vuodessa tuotannon seisokin aikana, siivoukseen kuluu suuressa tehtaassa aikaa noin kaksi viikkoa. Tällöin siivotaan sellaisetkin paikat, joihin ei tuotannon ollessa toiminnassa päästä. Paistouunit nuohotaan yleensä noin kerran vuodessa tuotantoseisokin aikana (Rämä 2005).

## **6.5 Saneerauspuhdistus**

Elintarvikeviraston ohjeen ”Puhdistusohjelma ja puhtauden tarkkailuohjelma hygienialain mukaisessa laitoksessa” (2003) mukaan laitoksessa tehdään saneerauspuhdistus, kun laitos on kontaminoitunut ihmiselle tautia aiheuttavalla mikrobilla. Tällainen puhdistus vaatii aina huolellista suunnittelua ja selvitystyötä. Saneerauspuhdistuksen ajaksi laitoksen tai puhdistettavan tilan toiminta keskeytetään. Laitteet puretaan mahdollisimman perusteellisesti, mekaaninen puhdistus tehdään mahdollisimman tehokkaasti, ja kuumakäsittelyjä ja muita toimenpiteitä käytetään tarvittaessa ongelman laadusta riippuen. Saneerauspuhdistuksen jälkeen laitokselta otetaan pintapuhtaus- ja tuotenäytteitä ongelman poistumisen toteamiseksi (Puhdistusohjelma ja puhtauden... 2003).

## **6.6 Vaikeasti puhdistuvia rakenteita eri elintarviketeollisuuden aloilla**

Elintarviketeollisuuslaitoksissa on monimutkaisia rakenteita ja laitteita jotka asettavat haasteita puhdistukselle. Elintarvikehygienian kannalta ongelmallisissa laitteissa on rakenteita, jotka keräävät likaa ja/tai vaikeuttavat tehokasta pesua ja desinfiointia. Eri elintarviketeollisuuden aloilla on erilaisia laitteita, ja myös hygienian kannalta ongelmalliset laitteet vaihtelevat osittain eri aloilla

(Saloniemi 2002). Puhdistuksen kannalta ongelmallisia laitteita ja rakenteita on tutkittu lähinnä elintarvikepatogeenien, kuten esimerkiksi *Listeria monocytogenes*in säilymisen kannalta, mutta todennäköisesti samat laitteet ja rakenteet ovat ongelmallisia puhdistuksen kannalta yleisestikin sekä puhdistettaessa niitä radioaktiivisesta kontaminaatiosta.

Meijereissä tarvitaan maitoa varten erilaisia putkistoja ja säiliöitä. Meijerteollisuudessa puhdistuksen kannalta ongelmallisia laitteita ovat putkistot, tankit, kuljettimet, annostelu- ja täyttökoneet ja jäähdyttimet (Cotton ja White 1992, Pritchard ym. 1995, Miettinen ym. 1999, Saloniemi 2002). Tankkien ja säiliöiden pitää olla suunniteltu siten, että ne tyhjäntyvät itsestään. Putkien tulee olla hieman kallistettuja nesteen kulkusuuntaan, jotta niihin ei jää elintarvikkeita tai pesuliuoksia. Putkistojen tulee olla riittävästi tuettuja, jotta ne eivät taivu mutkalle, koska mutkiin voi kertyä elintarviketta tai pesuliuoksia (Saloniemi ja Wirtanen 2002, Hauser ym. 2004). Putkistoissa tulee mahdollisuuksien mukaan välttää myös ns. kuolleita alueita joihin voi kertyä elintarviketta tai likaa (Chisti ja Moo-Young 1994, Hayes 1995, Saloniemi ja Wirtanen 2002).

Kalateollisuudessa usein rakenteeltaan monimutkaisia ja puhdistuksen ja desinfioinnin kannalta vaikeita laitteita ovat suolauslaitteet, nahanpoistolaitteet ja filerointi- ja viipalointikoneet (Autio ym. 1999, Rørvik 2000, Fønnesbech Vogel ym. 2001, Saloniemi 2002). Autio ym. (1999) totesi tutkimuksessaan, että automaattinen injektiosuolauskone ei puhdistunut pesuissa kunnolla ja siihen kertyi rasvaa ja proteiinia kaloista.

Lihateollisuudessa viipalointi- ja kuutiointilaitteet ja pakkauskoneet ovat monimutkaisia laitteita joissa on hygienian ja puhdistuksen kannalta epäedullisia rakenteita (Lundén ym. 2002, Saloniemi 2002, Jormanainen 2005). Myös kuljettimet ja putkistot ovat yleensä vaikeita puhdistaa (Jormanainen 2005). Leipomossa puhdistuksen kannalta hankalia kohteita ovat tuotantolinjojen alla olevat tilat, tuotantolinjojen yläpuoliset kohteet, ilmanvaihtokanavat ja kaapelihyllyt (Rämä 2005).

## **7 Elintarvikkeiden saastuminen säteilytilanteessa**

Ennen radioaktiivista laskeumaa tuotetut valmiit elintarvikkeet saastuvat laskeuman aikana periaatteessa samalla tavalla kuin bakteerikontaminaatiossa (Jones 1986). Radioaktiivinen kontaminaatio on kuitenkin pölyä, joka ei lisäännä elintarvikkeessa kuten bakteerit, eikä samanlaisilla desinfiointitoimenpiteillä, joilla bakteerit voidaan tappaa, ole aina vaikutusta elintarvikkeet saastuttaneisiin radioaktiivisiin partikkeleihin. Laskeuma ei vahingoita varastoituja elintarvikkeita eikä suojattuja rehuja ja juomavettä. Elintarvikkeet, niiden raaka-aineet, rehut ja vesi saastuvat vain, jos radioaktiivista pölyä pääsee niihin (Elintarvikehuollon ydinlaskeumatyöryhmän muistio 1988). Elintarvikkeet saastuttaneiden radioaktiivisten partikkeleiden määrä, koko ja fyysikaaliset ominaisuudet sekä saastuneen elintarvikkeen ominaisuudet, kuten pakkaus ja olomuoto (nestemäinen vai kiinteä), ratkaisevat mihin toimenpiteisiin elintarvikkeiden osalta ryhdytään (Jones 1986).

### **7.1 Elintarviketeollisuuslaitoksessa olevien elintarvikkeiden saastuminen**

Elintarviketeollisuuslaitoksessa tuotettavat elintarvikkeet voivat saastua suoraan radioaktiivisesta laskeumasta, saastuneen raaka-aineen välityksellä tai ilmaa käyttävässä teollisuudessa raaka-aineiden ja tuotteiden kuljettamiseen käytettävän ilman välityksellä. Ilmaa käytetään elintarviketeollisuudessa muun muassa jauhojen ja muiden tuotteiden pneumaattiseen kuljettamiseen. Ulkoilmaan päässeitä radioaktiivisia aineita voi radioaktiivisen pilven ylikulun aikana päätyä teollisuuslaitoksen sisään ottamaan ilmaan. Vaikka ilmaa ei tuotannossa käytettäisikään, sisäilmassa olevat radioaktiiviset hiukkaset voivat laskeutua suojaamattomien tuotteiden ja raaka-aineiden pinnalle (Valmari ym. 2004). Jauhomyllyissä voidaan myös suodattaa poistoilmaa, jotta siinä olevat tuotehiukkaset palautetaan prosessiin. Raportissa STUK-A209 (Valmari ym. 2004) todetaan, että voidaan olettaa, että kaikki ne radioaktiivisia aineita sisältävät hiukkaset, jotka eivät ole kiinnittyneet tuotehiukkasiin aiemmin, tekevät sen poistoilman suodatuksessa. Poistoilman suodattaminen siis lisää tuotteen saastumista (Valmari ym. 2004).

## 7.2 Ilmansuodatuksen vaikutus saastumiseen

Jos teollisuuslaitoksen käyttämä ilma on suodatettua, osa ilmassa olevista hiukkasista jää suodattimeen. Vähiten tehokkaasti suodattimiin jäävät 0,1–1 µm kokoiset hiukkaset, joka on juuri se kokoluokka, johon ydinvoimalaitosonnettomuudessa vapautuvat cesium ja jodi rikastuvat. Suodattimet keräävät isoja, yli 1 µm kokoisia hiukkasia tehokkaammin, ja myös alle 0,1 µm kokoiset hiukkaset pidättyvät suodattimen kuituihin sitä paremmin mitä pienempiä ne ovat. Tavalliset suodattimet eivät myöskään poista kaasumaista jodia, jonka poistamiseen tarvittaisiin esimerkiksi aktiivihiilisuodattimia (Valmari ym. 2004).

## 7.3 Vesien saastuminen

Pintavedet saastuvat radioaktiivisesta laskeumasta kuten maa-alueetkin. Talvella jääpeite estää ja hidastaa radioaktiivisten aineiden pääsyä veteen, ja saastuminen tapahtuu tällöin pääasiassa vasta jäiden sulamisen jälkeen (Aakko ym. 2000). Vesilaitoksilla on yleensä jonkin verran vettä varastoituna, ja vedenkäsittelystä aiheutuu aina viive ennen kuin saastunut vesi menee jakeluun (Aakko ym. 2000, Hänninen 2004). Vesistöjen saastuminen ei täten välttämättä näy heti juomaveden saastumisena (Aakko ym. 2000). Saastunut raakavesi myös puhdistuu osittain veden käsittelyssä (Hänninen 2004). Laskeuman jälkeen puhtainta on pohjavesi, joka on yleensä hyvin suojassa laskeuman välittömiltä vaikutuksilta (Aakko ym. 2000, Hänninen 2004). Radioaktiivisen laskeuman jälkeen pintaveden käyttöä sekä elintarvikkeiden valmistukseen että teollisuuslaitosten puhdistukseen voidaan joutua rajoittamaan tai kieltämään se kokonaan. Tarvittaessa siirrytään käyttämään juomavetenä ainoastaan pohjavettä (Aakko ym. 2000).

## 8 Ennakoivat toimenpiteet säteilyvaaran uhatessa

Kun säteilytilanteen uhka on olemassa, on ryhdyttävä ennakoiviin toimenpiteisiin, joilla voidaan suojella elintarvikkeita saastumasta radioaktiivisilla aineilla tai ainakin vähentää saastumista niin paljon kuin mahdollista. Säteilyturvakeskus ilmoittaa säteilytilanteesta sekä antaa arvion siitä, kuinka kauan aikaa kuluu, kunnes laskeuma saapuu tietylle alueelle. Tänä aikana tulisi arvioida odotettavissa olevan laskeuman vakavuusaste sekä sen aiheuttamat seuraukset (IAEA 1994b). Suojelutoimenpiteet täytyy aloittaa mahdollisimman nopeasti sen jälkeen kun säteilyvaarasta on saatu tieto, jo ennen kuin radioaktiivinen pilvi on saapunut alueelle tai välittömästi pilven saapuessa, jos halutaan, että niistä on höytyä (IAEA 1994b, Aakko ym. 2000).

Suojaus- ja puhdistustoimenpiteiden laatu riippuvat laskeuman tai päästön sisältämien radionuklidien ominaisuuksista ja määrästä, vuodenaikasta ja säästä, sen alueen ominaisuuksista johon laskeuma tulee (Severa ja Bár 1991, IAEA 1994b), sekä myös toimenpiteisiin käytettävissä olevista resursseista (Wilkins ym. 1993).

Radioaktiivisen kontaminaation leviämisestä ulkoilmasta sisätiloihin ei ole olemassa juurikaan tutkimuksia. Varsinkin kun kyseessä on kuivalaskeuma, radioaktiivisia partikkeleita kulkeutuu ilman mukana myös rakennusten sisälle. Mitä suurempi on rakennuksen ilmanvaihto ja mitä epätiivimpi rakennus on, sitä enemmän partikkeleita kulkeutuu sisätiloihin (Andersson 1996, Ulvsand 1997).

### 8.1 Suojautuminen ulkoilmassa olevalta radioaktiiviselta pölyltä

Yksinkertaisin tapa suojautua ulkoilman epäpuhtauksilta on siirtyminen rakennuksen sisälle ja ikkunoiden ja ovien sulkeminen sekä ilmanvaihdon kytkeminen pois päältä (Mustonen ym. 1995, Sirén 2002). Sulkutilan aikaansaamiseksi ilmanvaihtokanavat voidaan myös tukkia (Sirén 2002). Näin tulee toimia myös radioaktiivisen pilven ylikulun aikana (Aakko ym. 2000). Tällöin epäpuhtauksien ainoaksi siirtymisreitiksi rakennuksen sisään jää rakennusvaippa. Se ei ole koskaan täysin tiivis, vaan lämpötilaerojen ja tuulen vaikutuksesta ulkoilma ja sen mukana epäpuhtaudet tunkeutuvat aina jossain määrin sisätiloihin rakennusvaipassa olevien vuotorakojen, läpivientireikien ja muiden vuotokohtien kautta. Pelkkää sulkutilaa tehokkaammin ulkoilman epäpuhtauk-

silta voidaan suojautua ylipaineistamalla rakennus suodatetulla ulkoilmalla (Sirén 2002). Näillä toimenpiteillä voidaan suojata sekä rakennuksessa olevat ihmiset että elintarvikkeet, joita rakennuksessa on varastoituina tai joita siellä valmistetaan.

## **8.2 Ennakoivat toimenpiteet elintarviketeollisuuslaitoksessa**

Elintarviketeollisuuslaitoksissa radioaktiivisen pilven ylikulkuun tai muuhun laskeumatilanteeseen tulee mahdollisuuksien mukaan varautua ennakoivasti, jotta siitä aiheutuvia haittoja ja vaaroja tuotannolle, jo valmiille elintarvikkeille ja laitoksessa työskenteleville ihmisille saadaan vähennettyä. Laitos tulee tehdä niin tiiviiksi kuin mahdollista pysäyttämällä ilmanvaihto ja eristämällä tuotantotilat ja varastot mahdollisimman hyvin sulkemalla ovet ja ikkunat (Valmari ym. 2004, Euranos 2005). Varsinkin ilmaa käyttävien teollisuuslaitosten, kuten jauhomyllyjen, tuotanto olisi pystyttävä keskeyttämään ennen kuin päästöpilvi ehtii tehdaspaikkakunnalle (Valmari ym. 2004). Varastossa olevia elintarvikkeita ja raaka-aineita voidaan suojata myös peittämällä ne pressuilla, muovikalvoilla tai muilla vastaavilla (Willrodt 1993). Elintarvikkeet tulisi suojata ilmatiiviisti (Rantavaara 1991). Varsinainen elintarviketuotanto on yleensä edullisinta keskeyttää (Valmari ym. 2004, Euranos 2005).



## 9 Puhdistustoimenpiteet säteilytilanteessa

### 9.1 Puhdistustoimenpiteiden tehokkuuteen vaikuttavat tekijät

Puhdistustoimenpiteiden tehokkuuteen vaikuttavat sekä laskeumassa olevien radionuklidien ominaisuudet että lukuisat muut asiat. Kuivalaskeumassa radioaktiivinen materiaali tarttuu rakennusten ja teiden pinnoille osittain heikosti ja osittain vahvemmin (Meckbach 1997) ja jää yleensä vain materiaalin pinnalle (Roed 1997), kun taas märkälaskeumassa tarttuminen pintoihin on suhteellisen voimakasta (Meckbach 1997), ja esimerkiksi maa voi saastua syvemmältäkin kuin vain pinnalta (Roed 1997). Myös sen pinnan ominaisuuksilla, jolle laskeuma tulee, on suuri vaikutus puhdistustoimenpiteiden tehokkuuteen. Jos pinnalla on pölyä ja radioaktiivinen materiaali tarttuu osittain irrallisiin pölypartikkeleihin, se on yleensä helpompi poistaa pinnalta (Meckbach 1997).

Radionuklidit myös reagoivat usein kemiallisesti puhdistettavan pintamateriaalin kanssa (Severa ja Bár 1991), mikä vaikuttaa puhdistustehokkuuteen. Puhdistustehokkuus on erilainen erilaisilla pintamateriaaleilla, ja eri pintamateriaaleille joudutaan käyttämään erilaisia puhdistusmenetelmiä. Mitä pidempi aika laskeuman muodostumisesta kuluu, sitä voimakkaammin radioaktiivinen materiaali kiinnittyy pinnalle (Meckbach 1997). Myös puhdistustoimenpiteiden oikeanlaisella toteuttamisella on suuri merkitys lopullisen puhdistustehon kannalta (Strategy 2003).

### 9.2 Radionuklidien puoliintumisajan vaikutus puhdistustoimenpiteisiin

Laskeuman saapumisen jälkeen seuraa ajanjakso jonka aikana lyhyen puoliintumisajan omaavat radionuklidit hajoavat eivätkä tuota puhdistuksen kannalta ongelmia. Pidemmän ajan kuluttua ongelmia ja elintarvikkeiden radioaktiivista saastumista aiheuttavat pääasiassa pitkäikäisemmät radionuklidit, joiden reitti elintarvikkeisiin käy tällöin lähinnä kasvien kautta (IAEA 1994b). Tällöin kyse ei ole enää elintarvikkeiden suorasta saastumisesta, vaan niiden saastumisesta kontaminoituneiden raaka-aineiden kautta.

Jodi-132 (puoliintumisaika 2,30 tuntia), jodi-131 (puoliintumisaika 8,02 vuorokautta) ja cesium-136 (puoliintumisaika 13,2 vuorokautta) hajoavat niin nopeasti, että noin parin kuukauden kuluttua laskeumasta niitä ei ole enää ympäristössä. Sen sijaan esimerkiksi cesium-137 (puoliintumisaika 30,7 vuotta) säilyy ympäristössä pitkään.

Puhdistustoimenpiteitä suunniteltaessa on tärkeää tietää, mitä radionuklideja laskeuma sisältää. Joskus on tärkeää aloittaa puhdistustoimenpiteet hyvin nopeasti, joskus taas, lyhytikäisten radionuklidien kyseessä ollessa, saattaa olla kannattavampaa odottaa niiden hajoamista kuin aloittaa varsinaiset puhdistustoimet (Lindhé 1997). Elintarvikkeet voidaan myös valmistaa varastointia kestäviksi ja jakaa ne kulutukseen muutamaa kuukautta myöhemmin, kun lyhytikäiset radionuklidit ovat hajonneet (Rantavaara 1991).

### **9.3 Puhdistustoimenpiteiden tehokkuutta kuvaavat suureet**

Radioaktiivinen kontaminaatio voidaan yrittää poistaa puhdistettavalta pinnalta, jolloin pinnalla oleva radioaktiivisuus (aktiivisuus/pinta-alayksikkö) vähenee. Tällaisten puhdistusmenetelmien tehokkuutta kuvaavana suureena käytetään puhdistuskerrointa (decontamination factor). Se määritellään pinnalla ennen puhdistusta olevan aktiivisuustiheyden suhteena pinnalla puhdistuksen jälkeen olevaan aktiivisuustiheyteen (Severa ja Bár 1991, Meckbach 1997).

Toiset, lähinnä piha-alueiden puhdistuksessa käytettävät puhdistusmenetelmät eivät varsinaisesti ”puhdista” radioaktiivista kontaminaatiota, koska kontaminoitunutta materiaalia ei poisteta, vaan annosnopeutta (dose rate) vähennetään. Tällaisten menetelmien tehokkuuden kuvaamiseen käytetään annoksen vähennyskerrointa (dose reduction factor), joka määritellään ennen puhdistusta ilmassa olevan annosnopeuden suhteena puhdistuksen jälkeen ilmassa samalla korkeudella olevaan annosnopeuteen (Meckbach 1997).

Mitä suurempi numeerinen arvo puhdistuskertoimella tai annoksen vähennyskertoimella on, sitä parempi on kyseisen puhdistusmenetelmän tehokkuus. Puhdistuskerroin ei kuitenkaan suoraan kerro sitä kuinka puhdistettavan kohteen säteilyannos vähenee, koska eri pinnat vaikuttavat eri tavoin säteilyannokseen. Eri pinnat vaikuttavat myös elintarvikkeen saastumiseen eri tavoin (Sinkko 2005).

### **9.4 Puhdistustoimenpiteiden suunnittelu**

Puhdistustoimenpiteet tulee aina suunnitella tarkasti ennen työn aloittamista. Ennen puhdistustoimenpiteiden aloittamista on syytä ottaa laitoksen rakenteista ja tuotantolaitteista näytteitä joista mitataan radioaktiivisuus. Näin saadaan selville mikä on alkutilanne ennen puhdistustoimenpiteitä.

Pahiten saastuneet kohteet tulee puhdistaa ensin, ja toisaalta puhdistaminen tulee aloittaa ylhäältä, katoilta, edeten seinille ja viimeiseksi maahan (Severa ja Bár 1991, Andersson 1996, Ulvsand 1997). Näin tulee toimia vaikka

maa olisikin pahiten kontaminoitunut, jotta ei uudelleenkontaminoida jo puhdistettuja kohteita (Andersson 1996, Ulvsand 1997). Elintarviketeollisuuslaitosten tuotantotiloja puhdistettaessa on tuotantolaitteet syytä suojata kattojen, seinien ja lattioiden puhdistuksen ajaksi, jotta niiden kontaminaatiota ei lisätä esimerkiksi roiskuvan pesuveden välityksellä. Myös eri puhdistusmenetelmien käytännöllisyys ja toteutettavuus tulee ottaa huomioon, esimerkiksi erikoiskaluston tai -työkalujen saatavuuden sekä kustannusten osalta (Roed 1997).

Puhdistustoimenpiteisiin kuluva aikaa voidaan ainakin karkeasti arvioida sen mukaan, kuinka kauan laitoksen normaaliin suursiivoukseen kuluu aikaa. Jos koko laitos säteilytilanteen jälkeen puhdistetaan täydellisesti, kuluu tähän aikaa vähintään yhtä kauan kuin esimerkiksi laitoksessa kerran vuodessa tehtävään suurempaan puhdistukseen. Mitä suurempi laitos on, sitä kauemmin myös puhdistukseen luonnollisesti kuluu aikaa.

## **9.5 Työntekijöiden turvallisuuden huomioonottaminen puhdistustoimenpiteitä suunniteltaessa**

Puhdistustoimenpiteet tulee toteuttaa niin pian kuin mahdollista laskeumatilanteen mentyä ohi, mutta niitä suunniteltaessa tulee myös ottaa huomioon puhdistustyöntekijöiden säteilyaltistus (Lindhé 1997, Strategy 2003). Työntekijöiden säteilyaltistuksen kannalta ei yleensä ole kannattavaa aloittaa puhdistustoimenpiteitä välittömästi laskeuman jälkeen. On kuitenkin otettava huomioon myös nopean puhdistuksen tarve joissain kohteissa ja yritettävä löytää tasapaino tämän ja työntekijöiden säteilyturvallisuuden välillä (Lindhé 1997).

Työntekijöillä tulee olla tarpeelliset suojarusteet, joihin kuuluvat suojavaatteet, käsineet, puhdistettavat jalkineet tai kenkäsuojat, hengityssuojaimet ja tarvittaessa suojakypärä (Strategy 2003, Hänninen 2005). Suojavaatteiden tulee olla vedenpitävät, jos työskennellään kosteissa olosuhteissa. Jos ilmassa on paljon radioaktiivisia aineita tai jos toiminta kestää pitkään, ei yksinkertainen kertakäyttöinen hengityssuojain riitä suojaamaan radioaktiiviselta kontaminaatiolta. Tällöin on käytettävä puoli- tai kokonaamarisuodattimia, jotka suojaavat hyvin hiukkasmaisilta aineilta, tai koneistettuja hengitysilmalaitteita (Hänninen 2005). Työntekijöiden saamaa säteilyannosta tulee valvoa dosimetreilla. Korkeilla paikoilla työskenneltäessä tarvitaan rakennustelineitä tai nostureita sekä turvaköysiä (Strategy 2003).

## **9.6 Puhdistustoimenpiteiden päämäärät elintarviketeollisuudessa**

Puhdistustoimenpiteiden tarkoituksena on vähentää ympäristöstä saatavaa ulkoista säteilyannosta ja estää säteilyannoksen uudelleenjakautuminen ja leviäminen laajemmalle alueelle (Strategy 2003). Elintarviketeollisuudessa tarkoituksena on erityisesti estää elintarviketuotteiden kontaminoituminen ja varmistaa niiden sekä laitoksessa työskentelevien työntekijöiden turvallisuus.

Yleisesti ottaen rakennusten puhdistuksessa voi olla erilaisia päämääriä. Rakennus voidaan puhdistaa niin, että sen käyttöä voidaan jatkaa annosnopeuden laskettua, sitä voidaan käyttää johonkin muuhun kuin alkuperäiseen käyttötarkoitukseensa tai niin, että se voidaan purkaa nopeammin (Severa ja Bár 1991).

Elintarviketeollisuuslaitoksissa, niiden tuotanto- ja varastotiloissa sekä elintarvikkeiden ja niiden raaka-aineiden kuljetukseen käytettävissä kuljetusvälineissä puhdistus tulee suorittaa niin, että tuotetut elintarvikkeet ovat turvallisia. Elintarvikkeiden käyttökelpoisuus on varmistettava säteilymittauksilla (Hänninen 2004).

## **9.7 Elintarvikkeiden radioaktiivisuuspitoisuuksien yleiset toimenpidetasot**

Euroopan unionissa on säädetty ennakkoon onnettomuustilanteiden varalta yleiset toimenpidetasot radioaktiivisuuspitoisuuksille eri elintarvikkeissa. Nämä arvot on esitetty taulukossa III. Näitä enimmäisarvoja suositellaan käytettäväksi elintarvikkeiden yleisinä toimenpidetasoina säteilyvaaratilanteessa. Euroopan unionin neuvosto voi komission esityksestä myös tehdä erillispäätöksen tilannekohtaisten enimmäisarvojen käyttöönotosta onnettomuuden jälkitilanteessa (Aakko ym. 2000, VAL 1.1, 2001).

**Taulukko III.** Yleiset toimenpidetasot aktiivisuuspitoisuuksille eri elintarvikkeissa (Aakko ym. 2000, VAL 1.1, 2001).

Radionuklidit	Aktiivisuuspitoisuus, Bq/kg			
	Vauvan ruoka	Maitotuotteet ja nestemäiset elintarvikkeet	Muut elintarvikkeet	Vähän käytettävät elintarvikkeet, esim. mausteet
Strontium-isotoopit	75	125	750	7 500
Jodin isotoopit	150	500	2 000	20 000
Plutonium- ja transplutonium-isotoopit	1	20	80	800
Muut radionuklidit joiden puoliintumisaika on yli 10 vrk, esim. <sup>134</sup> Cs ja <sup>137</sup> Cs	400	1 000	1 250	12 500

## **10 Radioaktiivisen kontaminaation puhdistamiseen soveltuvat puhdistusmenetelmät**

### **10.1 Huomioonotettavat asiat ennen puhdistustoimenpiteiden aloittamista**

Ennen puhdistustoimenpiteeseen ryhtymistä tulee huomioida sen toteuttamisen kannalta oleelliset käytännön seikat kuten työvälineiden kuljetukseen tarvittava kuljetuskalusto, sähkön- ja vedensaanti alueella, puhdistustoiminnassa syntyvien jätteiden säilytys paikanpäällä ja niiden poiskuljetus sekä siinä tarvittava kuljetuskalusto. Nestemäisten jätteiden käsittely ja ilmastointi vaatii oikeanlaisia toimenpiteitä, jotka tulee ottaa huomioon jo puhdistusta suunniteltaessa. Jätteiden säilytystapa riippuu siitä, kuinka ne tullaan lopuksi käsittelemään. Nestemäisen jätteen kuljetukseen tarvitaan säiliöitä tai tankkeja ja karkeammille partikkeleille suodatusmenetelmä. Radionuklidit poistetaan liuoksesta haihduttamalla, saostamalla, ioninvaihdolla tai elektrokemiallisilla menetelmillä. Kemiallisia puhdistusaineita käytettäessä on huolehdittava siitä, että sisätiloissa työskennellessä ilmanvaihto ja tuuletus ovat riittävät, koska puhdistusaineita sisältävät säiliöt ovat yleensä yläosastaan avoimia (Strategy 2003).

Jos radioaktiivinen laskeuma tulee maahan ja rakennusten katoille talvella aikana, jolloin ne ovat lumikerroksen peitossa, on ensimmäinen puhdistustoimenpide lumen poistaminen. Jos lunta on riittävän paksu kerros ja lumi poistetaan nopeasti, saadaan sen mukana poistettua huomattava osa radioaktiivisesta saasteesta.

### **10.2 Päälystettyjen ulkoalueiden puhdistukseen soveltuvat menetelmät**

Asfaltilla tai betonilla päälystettyjen maa-alueiden kuten piha-alueiden, torien ja teiden puhdistamiseen radioaktiivisen laskeuman jälkeen voidaan käyttää harjaimurointia, pesua sekä teiden höyläystä. Kivilaatoilla laatoitettujen alueiden säteilyä voidaan vähentää kääntämällä laatat (Strategy 2003).

#### **Päälystettyjen alueiden puhdistukseen käytettävien puhdistusmenetelmien tehokkuuteen vaikuttavat tekijät**

Puhdistustehokkuuteen vaikuttavat muun muassa puhdistettavalla alueella ennen radioaktiivista laskeumaa olleen pölyn määrä ja alueen pinnan ominaisuudet (Strategy 2003). Laskeuman jälkeen, ajan kuluessa, kontaminantti-

partikkelit kiinnittyvät voimakkaammin asfaltti- tai betonipintaan, ja mitä myöhemmin puhdistus suoritetaan, sitä huonompi sen teho on. Liikenne levittää kontaminaatiota laajemmalle alueelle. Puhdistustehokkuuteen on vaikutusta myös sillä, kuinka tasaisesti alue saadaan puhdistettua, ja missä kunnossa ja kuinka tasainen alueen pinta on. Päälystettyjä alueita pestäessä pesuaineiden käyttö pelkän veden lisäksi lisää puhdistustehoa (Severa ja Bár 1991).

### **Imurointi ja puhdistus kadunpesukoneilla**

Asfaltti- tai betonipäälysteisten teiden tai muiden alueiden imurointi tai pesu voidaan suorittaa erityisillä teiden imurointiin tarkoitetuilla harjaimureilla ja pesuun tarkoitetuilla laitteilla (Severa ja Bár 1991, Strategy, 2003). Laitteissa on yleensä pyörivä harjaosa, joka lakaisee tien pintaa, ja imuri, joka imee tiestä irronneen pölyn sitä varten olevaan säiliöön. Yleensä laitteet myös suihkuttavat tien pintaan vettä, joka estää irronneen pölyn leijailun takaisin tien pintaan (Meckbach 1997, Strategy 2003). Tämä on tärkeää radioaktiivisen pölyn leviämisen estämiseksi.

Teiden tai muiden alueiden ympärillä olevat ojat tulee puhdistaa huolellisesti, koska radioaktiivinen kontaminaatio kertyy yleensä niihin (Strategy 2003). Jos kadunpuhdistuskone ruiskuttaa tien pintaan vettä, on puhdistusteho hieman parempi kuin käytettäessä konetta, joka ei tätä tee (Strategy 2003). Imuroinnilla ja kadunpesukoneilla saavutetaan puhdistuskerroin 2–3, jos puhdistus suoritetaan heti kuivalaskeuman jälkeen. Märkälaskeuman jälkeen tai myöhemmin kuivalaskeuman jälkeen puhdistuskerroin on 1–1,4 (Meckbach 1997).

Puhdistuksessa syntyvä radioaktiivinen jäte kerääntyy koneen pölysäiliöön (Meckbach 1997, Strategy 2003), joka on tämän jälkeen kokonaisuudessaan radioaktiivista jätettä.

### **Pesu**

Asfaltti- tai betonipäälysteiset alueet voidaan pestä vedellä käyttäen paloletkuja, painepesureita (Severa ja Bár 1991, Meckbach 1997, Strategy 2003), puutarhalletkuja, harjoja ja vastaavia pesuun soveltuvia välineitä (Severa ja Bár 1991). Pesuun käytettävä vesi voidaan tarvittaessa kesäaikaan pumpata myös luonnonvesilähteestä. Pakkasella pesuun käytettävän veden tulee olla lämmintä. Alueen pesun jälkeen sitä ympäröivät katuojat tulee myös puhdistaa huolellisesti. Teitä tai alueita, joita ei ole viemäroity, ei tule pestä (Strategy 2003).

Käytettäessä pesuun paloletkuja tai painepesua saadaan heti kuivalaskeuman jälkeen puhdistuskertoimeksi 2–3. Myöhemmin tai märkälaskeuman jälkeen puhdistuskertoimeksi saadaan paloletkuilla 1–1,2 ja painepesulla 1,5–2 (Meckbach 1997).

Puhdistuksessa syntyy sekä kiinteää että nestemäistä radioaktiivisesti saastunutta jätettä, jotka ovat sekoittuneet keskenään (Strategy 2003) ja jota on käytännössä mahdotonta kerätä (Meckbach 1997, Strategy 2003). Puhdistustoimia tehtäessä on oltava erityisen huolellisia sen suhteen että kontaminaatiota ei levitetä teiden varsille (Strategy 2003).

### **Teiden höyläys**

Tiehöylä kuorii tien pinnasta ohuen, noin yhden senttimetrin paksuisen kerroksen jauhamalla asfaltin/betonin (Meckbach 1997, Strategy 2003). Kontaminaatio ei juurikaan tunkeudu asfalttiin, joten lähes kaikki kontaminaatio saadaan näin poistettua. Höylässä on yleensä pyörivä harja joka kerää asfaltti/betonimurskan (Strategy 2003).

Puhdistustehokkuuteen vaikuttaa höyläyksen tasaisuus (Meckbach 1997, Strategy 2003). Puhdistuskertoimeksi saadaan 50–100 (Meckbach 1997). Höyläyssyvytyteen vaikuttavat tien pinnan tasaisuus ja kunto sekä se kuinka hyvin murskattu asfaltti/betoni saadaan kerättyä talteen. Radioaktiivista jätettä on murskattu asfaltti/betoni (Strategy 2003).

### **Katukivilaattojen kääntäminen**

Radioaktiivisen laskeuman jälkeen radioaktiivinen kontaminaatio on kiinnittynyt katukivien yläpinnalle. Kääntämällä ne niin, että kontaminoitunut yläpinta tulee maata vasten ja puhdas alapinta ylöspäin, saadaan säteilyä maan pinnalla vähennettyä (Meckbach 1997, Strategy 2003). Säteilyn vähentymisen tehokkuuteen vaikuttavat katukivien paksuus (Meckbach 1997, Strategy 2003) ja materiaali sekä kivillä päällystetyn alueen laajuus (Strategy 2003). Annoksen vähennyskertoimeksi saadaan 4–6 riippuen laattojen paksuudesta, se on suurempi, kun laatat ovat paksampia (Meckbach 1997). Menetelmässä ei synny radioaktiivista jätettä (Meckbach, 1997, Strategy 2003).

### **Lumen poiskerääminen**

Jos maa on radioaktiivisen laskeuman tullessa lumen peitossa, saadaan radioaktiivinen kontaminaatio poistettua keräämällä ja poistamalla lumi, jolle radionuklidit ovat laskeutuneet (Severa ja Bár 1991, Strategy 2003). Menetelmä sopii sekä päällystettyjen että päällystämättömien maa-alueiden puhdistamiseen. Lumi on kerättävä pois ennen ensimmäistä laskeuman jälkeistä suojasäätä (Strategy 2003). Suojasäällä radioaktiivinen saaste kulkeutuu maahan saakka lumen sulaessa (Andersson 1996, Strategy 2003). Jos maassa on lunta suhteellisen paksu kerros, saadaan radioaktiivinen kontaminaatio poistettua keräämällä pois lumi, tai jos lumikerros on hyvin paksu, sen päällyskerros (noin 5–10 cm).



Poistamalla lumi radioaktiivinen kontaminaatio vähenee noin 90–97 % (Strategy 2003).

Menetelmä sopii lähinnä suurten, aukeiden alueiden puhdistamiseen. Lumenluontiin voidaan pienemmillä alueilla käyttää lapioita ja lumikolia ja suuremmilla traktoreita tai muuta auraskalustoa. Radioaktiivisesti saastunut lumi tulee kerätä ja hävittää oikein, joissain tapauksissa saattaa olla mahdollista hävittää lumi mereen (Strategy 2003).

### **10.3 Päälystämättömien maa-alueiden puhdistukseen soveltuvat menetelmät**

Radioaktiivisen laskeuman jälkeen radionuklidit kerääntyvät maan pintakerrokseen, ja niiden kulkeutuminen syvemmälle maaperään riippuu sekä radionuklidien itsensä että maan ominaisuuksista (Vovk ym. 1993). Cesium-laskeuma säilyy lähes aina useiden vuosien ajan maan pintakerroksessa, muutamien senttimetrien syvyydessä (Vovk ym. 1993, Strategy 2003). Myös melko liikuvien radionuklidien, kuten strontium-isotoopin <sup>90</sup>Sr, pystysuora siirtyminen maassa on yleensä hidasta (Jouve ym. 1993).

Päälystämättömien maa-alueiden puhdistamiseen radioaktiivisesta kontaminaatiosta tai radioaktiivisen säteilyn vähentämiseen alueella on monia keinoja. Säteilyä voidaan vähentää peittämällä kontaminoitunut maa-alue puhtaalla maalla, hautaamalla maan pintakerros maan sisään, poistamalla ohut pintakerros ja päälystämällä maa-alue tämän jälkeen puhtaalla maakerroksella tai asfaltilla, kyntämisellä, leikkaamalla ruoho pois ruohopeitteisillä alueilla sekä ajamalla pidempi heinä paalaus koneella. Varsinaiseen puhdistamiseen, jossa radioaktiivisesti saastunut materiaali poistetaan, voidaan käyttää maan pintakerroksen poistamista tai talvella lumen poistamista.

#### **Päälystämättömien alueiden puhdistukseen käytettävien puhdistusmenetelmien tehokkuuteen vaikuttavat tekijät**

Hautaamis- ja kaivamistoimenpiteissä puhdistustehokkuuteen vaikuttavat maan ominaisuudet, se kuinka tasaisesti radionuklidit ovat jakautuneet maahan sekä se kuinka nopeasti laskeuman jälkeen toimenpide tehdään. Esimerkiksi hyvin irtonaista maata on vaikea kaivaa niin, että haluttu lopputulos saadaan aikaiseksi. Ajan mittaan radionuklidit kulkeutuvat syvemmälle maa-ainekseen. Maassa olevat suuret kivet sekä talvella pakkaneen ja lumi saattavat vaikeuttaa tai estää toimenpiteitä (Strategy 2003).

Peitettäessä kontaminoitunut maa-alue tehokkuuteen vaikuttavat muun muassa peittävän maa- tai asfalttikerroksen paksuus (Meckbach 1997, Strategy 2003), peitettävän alueen laajuus, peittoon käytetyssä maassa tai

asfaltissa mahdollisesti oleva kontaminaatio sekä peitettävän maa-alueen tasaisuus. Asfalttia käytettäessä säteilysuojan tehokkuuteen vaikuttaa myös asfalttikerroksen tiheys, joka riippuu asfaltin tekoon käytettyjen kivien ominaisuuksista (Strategy 2003).

### **Kaivaminen ja saastuneen maakerroksen hautaaminen**

Jos maa-aluetta ei ole laskeuman jälkeen kynnetty tai maata ei ole käännetty muulla tavalla, saadaan kaivamalla ja hautaamalla maan pintakerros syvemmällä olleen maakerroksen alle tai kyntämällä maa-alue aikaiseksi tehokas suoja säteilyä vastaan (Strategy 2003). Hyvin pienillä alueilla saastunut maakerros voidaan haudata syvemmälle maan alle käsin lapiota käyttäen.

”Tavallisessa” kaivamisessa maata kaivetaan noin 30 cm syvyydelle (Meckbach 1997, Strategy 2003), ja pintakerros mahdollisine ruohopeitteineen haudataan syvemmällä olevan maa-aineksen alle (Strategy 2003). Annoksen vähennyskertoimeksi saadaan tällöin 4–6 (Meckbach 1997).

”Kolminkertaisessa kaivamisessa” (triple digging) kolmen maa-aineskerroksen paikat vaihdetaan pystysuunnassa. Lähes kaikki radioaktiivinen saaste on päällimmäisessä, noin 5 cm syvyisessä maakerroksessa, joka haudataan alimmaiseksi kääntämällä kerros niin että ruohopinta osoittaa alaspäin. Alin, noin 15–20 cm syvyinen maakerros asetetaan edellisen päälle, ja keskimmainen, myös noin 15–20 cm syvyinen kerros asetetaan päällimmäiseksi kääntämättä maakerrosta. Maakerros, joka sisältää radioaktiivisen jätteen, tulee näin haudatuksi siten että säteily määrä vähenee huomattavasti (Andersson, 1996; Strategy, 2003). Annoksen vähennyskertoimeksi saadaan 4–15 (Meckbach 1997).

Saastuneen maakerroksen hautaaminen syvemmälle tuo radioaktiivisen saasteen toisaalta lähemmäksi pohjavettä, mutta cesium on kuitenkin yleensä sitoutunut voimakkaasti maa-ainekseen (Strategy 2003). Maa-aluetta, jossa radioaktiivisesti kontaminoitunut maa-aines on haudattu, ei myöhemmin saa kyntää syvältä, jotta estetään kontaminoituneen maa-aineksen nousu uudelleen maan pinnalle (Severa ja Bár 1991, Strategy 2003). Menetelmissä ei synny radioaktiivista jätettä (Meckbach 1997, Strategy 2003).

### **Maan päällyskerroksen poistaminen**

Poistamalla koko saastunut maan pintakerros saadaan säteilyä vähennettyä huomattavasti (Segal 1993, Strategy 2003). Maan päällyskerros voidaan poistaa käsin lapioiden tai koneellisesti kaivinkoneilla, erilaisilla maansiirtolaitteilla ja -traktoreilla, ja kuljettaa pois kuorma-autoilla (Severa ja Bár 1991, Vovk ym. 1993, Andersson 1996, Strategy 2003). Maanäytteestä tehdyn gammaspektrometrin analyysin avulla saadaan määritettyä kuinka syvälle maahan cesium on kulkeutunut ja kuinka syvä maakerros on poistettava (Strategy 2003). Pois-

tamalla maan päällyskerros koneellisesti saadaan annoksen vähennyskertoksi 10–30 (Meckbach 1997).

Jos poistettava maakerros on hyvin ohut, esimerkiksi kuivalaskeumassa se saattaa olla jopa vain 1 senttimetrin paksuinen, voidaan käyttää paperiteollisuudessa syntyvää myrkytöntä kuona-ainetta ligniiniä helpottamaan pintakerroksen poistamista. Ohut kerros veteen liuotettua ligniiniä ruiskutetaan maahan. Se sekoittuu ohuessa pintakerroksessa olevien maapartikkelien kanssa, jolloin syntyy kerros, joka voidaan kuoria pois kaapimalla, ja samalla poistuu radioaktiivinen kontaminaatio. Mahdollinen ruoho tulee leikata mahdollisimman lyhyeksi läheltä maan pintaa ennen ligniinin levittämistä. Jos maan kosteus on suuri, voi olla että ligniini ei kuivu tarpeeksi ja muodostuva ”pinnoite” ei kestä kaapimista. Ligniiniä käytettäessä kontaminaatiota saadaan vähennettyä noin 65–85 % (Strategy 2003).

Kaikki poistettu maa-aines on radioaktiivista jätettä, jonka määrä riippuu siitä kuinka paksu maakerros poistetaan (Strategy 2003).

### **Maa-alueen peittäminen puhtaalla maakerroksella tai asfaltilla**

Joissain tapauksissa radioaktiivisesti saastuneet maa-alueet, esimerkiksi sellaiset, joilla ihmiset oleskelevat paljon, voidaan peittää puhtaalla, radioaktiivisesti saastumattomalla maakerroksella (Severa ja Bár 1991, Meckbach 1997, Strategy 2003) tai asfaltilla säteilyn vähentämiseksi (Severa ja Bár 1991, Strategy 2003). Nämä toimenpiteet tulevat kyseeseen lähinnä silloin, kun maan päällyskerros on ensin poistettu, jolloin jäännössäteilyn määrää saadaan vähennettyä jäljelle jääneen maan peittämisellä. Käytettäessä peittämiseen 10 cm paksuista maakerrosta saadaan annosta vähennettyä noin 75–85 %. 5–6 cm paksuisella asfalttikerroksella annosta saadaan vähennettyä 50–75 % (Strategy 2003).

Puhtaalla maalla voidaan peittää myös ruohopeitteisiä maa-alueita. Peittämiseen käytettävä maa-aines voidaan tuoda alueelta, jolle radioaktiivista laskeumaa ei ole tullut, tai se voidaan kaivaa maan alta niin syvältä, että kontaminaatio ei ole kulkeutunut sinne asti (Strategy 2003). Toimenpiteissä ei synny radioaktiivista jätettä (Meckbach 1997, Strategy 2003).

### **Maan kyntäminen**

Kyntämisessä maan pintakerros hautautuu maan sisään, eli saastunut pintamaa siirretään muokkauskerroksen alle, jolloin säteily maan pinnalla vähenee (FAO 1989, Rantavaara 1991, Severa ja Bár 1991, Prister ym. 1993, Strategy 2003). Kyntämiseen voidaan käyttää erilaisia kyntöauroja. Matalakynnössä maa kynnetään noin 25 cm syvyydeltä (Meckbach 1997, Strategy 2003), jolloin kynnettävän maakerroksen paksuuden on oltava vähintään 30 cm. Syväkynnössä

maa kynnetään noin 45 cm syvyydeltä, ja maakerroksen paksuuden on oltava vähintään 50 cm (Strategy 2003). Säteilyä vähentävä vaikutus on parempi, jos kynnetään syvemmältä (Vovk ym. 1991, Strategy 2003). Matalakynnöllä annosta saadaan vähennettyä 50–75 %, syväkynnöllä 83–90 % (Strategy 2003). Syväkyntöä ei voida suorittaa tavallisella auralla, vaan se vaatii erikoiskaluston (Elintarvikehuollon ydinlaskeumatyöryhmän muistio 1988). Jos toimenpide onnistuu teknisesti, se on erittäin tehokas (Rantavaara 1991).

”Kuorinta ja hautaus” -kynämisessä (skim-and-burial ploughing) maan pinnasta kuoritaan noin 5 cm paksuinen kerros, jossa radioaktiivinen kontaminaatio on, ja se haudataan noin 45–50 cm syvyydelle nostamalla kuoritun kerroksen alla oleva maakerros sen päälle (Lehto 1994, Meckbach 1997, Strategy 2003). Säteily vähenee tällöin tehokkaasti, annoksen vähennyskertoimeksi saadaan 6–15 (Meckbach 1997). Toimenpide vaatii kuitenkin erikoiskaluston (Lehto 1994, Meckbach 1997, Strategy 2003).

Maassa olevat suuret kivet ja talvella pakkasen jäädyttämä maa ja lumi-kerros saattavat estää kynnämisen (Strategy 2003). Kynnämisessä ei synny radioaktiivista jätettä (Lehto 1994, Meckbach 1997, Strategy 2003).

### **Ruohonleikkaus**

Ruohopeitteisellä alueella laskeuman mukana tullut radioaktiivinen kontaminaatio, varsinkin kun kyseessä on kuivalaskeuma ja ruohopeite on tasainen ja tiheä, jää suurimmaksi osaksi ruohoon eikä kulkeudu maahan asti (Severa ja Bár 1991, Strategy 2003). Jotta radioaktiivisen kontaminaation kulkeutuminen maahan saataisiin estettyä, on ruoho leikattava mahdollisimman pian laskeuman jälkeen (Severa ja Bár 1991, Andersson 1996, Meckbach 1997, Strategy 2003), ennen ensimmäistä sadetta (Strategy 2003). Sade levittää kontaminaation nopeasti maahan asti (Strategy 2003). Ruohonleikkaukseen suositellaan ruohonleikkuria joka kerää leikatun ruohon säiliöönsä (Meckbach 1997, Strategy 2003). Jos tällaista ei ole, on leikattu ruoho kerättävä huolellisesti haravoimalla, koska se on radioaktiivista jätettä. Ruoho tulee leikata mahdollisimman lyhyeksi, mahdollisimman läheltä maata (Strategy 2003).

Säteilyn vähenemisen tehokkuuteen vaikuttavat ruohon leikkuupituuden ja leikatun ruohon keräämiseen käytetyn huolellisuuden sekä laskeumasta ruohon leikkaamiseen kuluneen ajan lisäksi muun muassa maanpinnan tasaisuus, sekä se kuinka suuri osa maa-alueesta on ruohon peitossa (Strategy 2003). Kun ruoho leikataan kuivalaskeuman jälkeen ennen ensimmäistä sadetta, saadaan annoksen vähennyskertoimeksi noin 3. Märkälaskeuman jälkeen annoksen vähennyskertoimeksi saadaan noin 1,3 (Meckbach 1997). Alueille, jotka eivät ole ruohon peitossa, on tarvittaessa käytettävä muita puhdistusmenetelmiä (Strategy 2003).

### **Nurmen keruu**

Nurmi voidaan kerätä erityisellä nurmenkeruulaitteella, joka kuorii nurmen ja sen alla olevan ohuen maakerroksen laattoina tai rullina (Jouve ym. 1993, Lehto 1994, Meckbach 1997, Strategy 2003). Maan pintakerros, jossa radioaktiivinen kontaminaatio sijaitsee, tulee tällöin poistetuksi. Kerättävän nurmimaton tulee olla tasainen, jotta keruu onnistuu. Keruulaitteet ovat myös hyvin herkkiä kiville (Jouve ym. 1993, Lehto 1994, Strategy 2003). Nurmenkeruulla saadaan annoksen vähennyskertoimeksi 3–20 (Meckbach 1997). Kerätty nurmi ja maakerros ovat radioaktiivista jätettä (Strategy 2003).

## **10.4 Rakennusten kattojen puhdistukseen soveltuvat menetelmät**

Radioaktiivisen kontaminaation puhdistamiseen katoilta voidaan käyttää painepesua, pesua vesiletkuilla, erityisiä katonpesulaitteita sekä ”viimeisenä keinona” myös koko katon vaihtamista uuteen. Jos puhdistus tehdään mahdollisimman pian saastumisen jälkeen, siitä saadaan pesemällä poistettua yleensä yli 60 %. Muutaman kuukauden kuluttua saaste on kiinnittynyt kattomateriaaliin tiukasti, jolloin saman puhdistustehokkuuden saavuttamiseksi joudutaan käyttämään suurempaa vedenpainetta (Andersson 1996).

### **Katon puhdistuksen suunnittelu ja puhdistustehoon vaikuttavat tekijät**

Puhdistettaessa katto pesemällä, on peseminen aina aloitettava katon korkeimmalta kohdalta. Jos kyseessä on harjakatto, peseminen aloitetaan katon harjalta. Näin varmistetaan kaiken kontaminoituneen veden valuminen alas katolta kaivoihin tai räystäskouruihin, niin että kontaminaatiota ei vain siirretä katon osasta toiseen. Kattoa kiertävät räystäskourut sekä rännit tulee puhdistaa huolellisesti katon pesun jälkeen. Jos räystäskouruja ei ole ja pesuvesi valuu maahan, on saastunut maa-alue puhdistettava katonpesun jälkeen (Strategy 2003).

Erilaisten katonpesutekniikoiden puhdistusteho riippuu muun muassa pesuun käytetyn veden lämpötilasta ja paineesta sekä kontaminanttiaerosolien ominaisuuksista. Kuumen veden (lämpötila n. 60–80 °C) ja pesuaineen käyttö parantavat tehoa. Myös kattomateriaali vaikuttaa puhdistustehoon, paras teho saavutetaan pestäessä alumiini- tai teräskattoja tai silikonikäsiteltyjä liuskekivilaattakattoja. Huonoin teho saavutetaan liuskekivilaatta-, savi- ja betoni-kattoja pestäessä. Pakkasella pesuun käytetyn veden täytyy olla lämmitettyä (Strategy 2003).

Kattoja pestäessä syntyy nestemäistä jätettä, jonka seassa oleva kiinteässä muodossa oleva jäte sisältää lähes kaiken radioaktiivisuuden. Suodattamalla vesi saadaan kiinteä jäte eriteltyä ja jäljelle jäänyt vesi voidaan hävittää tai mahdollisesti kierrättää (Strategy 2003).

### **Kattojen pesu**

Kattojen pesuun voidaan käyttää painepesua sekä pesua vedellä ja harjalla. Harjapesu soveltuu etenkin orgaanisen aineksen poistamiseen katolta. Katon painepesulla saadaan suihkuttamalla katolle vettä korkealla paineella irrotettua kontaminaatio katon pinnasta ja huuhdottua se alas katolta. Veden virtauksen katolle on oltava jatkuva, jotta kaikki kontaminaatio varmasti huuhtoutuu pois katolta. Jos painepesulaitteistoa ei ole saatavilla, voidaan tarvittaessa käyttää esimerkiksi paloletkuja. Tällöin pesuteho on kuitenkin, pienemmästä vedenpaineesta johtuen, huonompi (Strategy 2003). Heti kuivalaskeuman jälkeen saadaan puhdistuskertoimeksi paloletkuja käytettäessä 1,5–2, painepesulla 1,6–2,2. Myöhemmin tai märkälaskeuman jälkeen puhdistuskertoimeksi saadaan paloletkuja käytettäessä 1–1,3, painepesulla 1,4–2 (Meckbach 1997). Kesäaikana, jos vesijohtovettä ei ole saatavilla, voidaan vesi tarvittaessa pumpata myös luonnonvesilähteestä (Strategy 2003).

Katto voidaan pestä myös katonpesulaitteella (Meckbach 1997, Strategy 2003) joka pesee katon kuuman, paineella tulevan veden pyörittämällä suuttimilla. Katonpesulaitteessa on pyörivät harjat, joita pyörittää paineistettu ilma. Laite on kiinnitetty jatkettavaan tankoon jolla sitä voidaan käyttää joko maasta käsin tai katolta. Katonpesulaitteita käytettäessä kontaminaatiota saadaan vähennettyä 50–85 % (Strategy 2003). Menetelmän ongelmana on pesuun käytetyn veden saastuminen ja saasteen leviäminen sen välityksellä (Sinkko 2005).

### **Lumen poistaminen katolta**

Jos radioaktiivinen laskeuma tulee talvella ja katolla on tällöin lunta, saadaan katon kontaminaatio poistettua lähes kokonaan poistamalla katolla oleva lumi. Myös jos kattoa peittää esimerkiksi sammalkerros, saadaan se poistamalla puhdistettua katto lähes kokonaan (Strategy 2003).

### **Katon vaihtaminen**

Koko katon purkaminen ja korvaaminen uudella on kallista ja suuritöistä, joten sitä käytetään lähinnä viimeisenä vaihtoehtona, jos muita puhdistusmenetelmiä ei jostain syystä voida käyttää (Strategy 2003). Vaihtamalla koko katto saadaan lähes kaikki katolla ollut radioaktiivisuus poistettua (Meckbach 1997, Strategy

2003), vaikkakin (yleensä pieni) osa radioaktiivisesta kontaminaatiosta on saattanut tunkeutua katonalaisiin puurakenteisiin (Strategy 2003). Puhdistuskertoimeksi saadaan siis lähes 100 (Meckbach 1997).

Myös katolla olevat räystäskourut ja rännit tulee vaihtaa. Radioaktiivista jätettä on kaikki poistettu kattomateriaali.

## **10.5 Rakennusten ulkoseinien puhdistukseen soveltuvat menetelmät**

### **Huomioonotettavat asiat ennen puhdistustoimenpiteiden aloittamista**

Tiiltä, betonia ja kiveä olevien ulkoseinien puhdistamiseen voidaan käyttää pesua vedellä, hiekkapuhallusta tai ammoniumkäsittelyä. Puuseinät voidaan puhdistaa mekaanisesti hankaamalla tai kaapimalla, ja myös painepesua vedellä voidaan joissain tapauksissa käyttää puuseinille (Strategy 2003). Ikkunat voidaan pestä vedellä ja pesuaineella esimerkiksi painepesurilla.

Käytettäessä vettä tulee varmistaa, että puhdistettava seinä on vedenkestävä, eli vesi ei pääse rakennuksen sisätiloihin puhdistuksen yhteydessä. Puhdistusmenetelmien käyttö edellyttää veden- ja sähkönjakelun toimimista, joissain tapauksissa tosin vettä voidaan tarvittaessa pumpata myös luonnonvesilähteestä, joskin puhdistustehon kannalta lämpimän veden käyttäminen on parempaa kuin kylmän (Strategy 2003). Seinien puhdistaminen on aina aloitettava seinän yläosasta ja puhdistusta jatketaan järjestelmällisesti alaspäin niin, että seinän yläosa ei kontaminoidu uudelleen (Severa ja Bár 1991, Strategy 2003). On myös pidettävä huolta siitä, että seinältä pesty radioaktiivinen materiaali varmasti pestään alas maahan asti, eikä sitä vain siirretä seinällä yhdestä paikasta toiseen. Seinän alla oleva maa-alue tulee puhdistaa sen jälkeen kun seinä on puhdistettu. Talvella pakkanen saattaa olla este veden käyttämiselle, tai ainakin se saattaa edellyttää kuumen veden käyttämistä (Strategy 2003).

### **Pesu**

Seinät voidaan pestä esimerkiksi suihkuttamalla vettä paloletkuilla, pesemällä harjoilla tai painepesulla. Tarkoituksena on irrottaa saaste seinän pinnalta ja pestä se pois. Jatkuvalle vedenvirtauksella varmistetaan, että radioaktiivinen saaste kulkeutuu maahan asti, eikä jää seinän alaosiin. Painepesu soveltuu varsinkin tiili-, betoni- ja kiviseinille, käytettäessä sitä puuseiniin on varmistettava, että seinä on varmasti vedenpitävä (Strategy 2003). Painepesussa syntyy yleensä runsaasti roiskevettä, ja radioaktiivisesti saastunut vesi kontaminoi helposti ympäristöä. Pesu alhaisemmalla paineella esimerkiksi paloletkuilla on

parempi vaihtoehto. Pesuilla saadaan paras puhdistustulos, kun se suoritetaan mahdollisimman pian saastumisen jälkeen. Kun saaste on kiinnittynyt tiukasti seinän pintaan, varsinkin savi- ja tiiliseiniin, sen poistaminen on vaikeampaa (Andersson 1996).

Puhdistustehokkuuteen vaikuttavat käytetyn veden määrä/aikayksikkö sekä veden paine. Nostamalla veden lämpötilaa noin 60–80 °C:een ja käyttämällä lisäksi puhdistusaineita, saadaan puhdistustehoa parannettua. Seinän materiaalilla ei juurikaan ole vaikutusta puhdistustehoon (Strategy 2003).

Kun puhdistus suoritetaan heti kuivalaskeuman jälkeen, saadaan pese-mällä alhaisemmalla paineella, esimerkiksi paloletkuilla, puhdistuskertoimeksi 1,5–2, ja painepesulla 1,6–2,2. Myöhemmin tai märkälaskeuman jälkeen puhdistuskertoimeksi saadaan paloletkuja käytettäessä 1–1,3 ja painepesulla 1,2–2 (Meckbach 1997).

Pesussa syntyy sekä nestemäistä että kiinteää radioaktiivista jätettä. Lähes koko kontaminaatio on kiinteässä jätteessä (Strategy 2003). Jätteiden kerääminen on käytännössä mahdotonta (Meckbach 1997, Strategy 2003).

### **Hiekkapuhallus**

Hiekkapuhallus soveltuu lähinnä tiili-, betoni- ja kiviseinien puhdistukseen. Hiekkapuhallus irrottaa seinän pinnasta ohuen kerroksen, jonka mukana irtoaa radioaktiivinen kontaminaatio. Märkähiekkapuhallusta suositellaan käytettäväksi mieluummin kuin kuivahiekkapuhallusta, sillä vaikka kuivahiekkapuhalluksen puhdistusteho on käytännössä sama kuin märkähiekkapuhalluksen, kuivahiekkapuhallusta käytettäessä syntyy runsaasti radioaktiivista pölyä, joka leviää ympäristöön (Meckbach 1997, Strategy 2003).

Puhdistustehokkuuteen vaikuttavat käytetyn veden ja hiekan määrä/m<sup>2</sup>, käytetty paine sekä hiekan laatu. Tehokkainta on kvartsihiekkä, jonka jyvien läpimitta on 0,5–2 mm. Puhdistettavan seinän materiaalilla ei juurikaan ole vaikutusta puhdistustehoon (Strategy 2003). Märkähiekkapuhalluksella saadaan puhdistuskertoimeksi 5 (Meckbach 1997).

Puhdistuksessa syntyy nestemäistä jätettä, jonka seassa on myös kiinteää jätettä, joka sisältää lähes kaiken radioaktiivisen saasteen. Jätteen kerääminen on käytännössä mahdotonta (Strategy 2003).

### **Ammoniumkäsittely**

Ammoniumkäsittely soveltuu käytettäväksi tiili-, betoni- ja kiviseinien puhdistukseen. Veteen laimennettua 0,1-molaarista ammoniumnitraattiliuosta ruiskutetaan puhdistettavalle seinälle matalalla paineella käyttäen pumppua ja letkua. Cesium- ja ammoniumionit ovat kemiallisesti hyvin samanlaisia, ja



seinällä olevat cesiumionit voivat vaihtua ammoniumioneihin, jolloin seinän kontaminaatio vähenee. Vedenvirtauksen seinällä on oltava jatkuvaa, jotta kaikki kontaminaatio kulkeutuu varmasti maahan asti. Ammoniumkäsittelyn jälkeen seinä huuhdellaan puhtaalla vedellä korroosiovaikutuksen vähentämiseksi (Strategy 2003).

Puhdistustehokkuuteen vaikuttavat ammoniumliuoksen ruiskutusaika seinälle sekä cesiumin kemiallinen muoto. Paras teho saadaan puhdistettaessa korkeassa lämpötilassa poltettuja tiiliä. Menetelmällä saadaan kontaminaatiota vähennettyä noin 35–50 % heti saastumisen jälkeen ja muutamaa vuotta myöhemmin 10–25 %. Puhdistusprosessissa syntyy nestemäistä radioaktiivista jätettä, jonka kerääminen on käytännössä mahdotonta (Strategy 2003).

### **Puuseinien mekaaninen hiominen**

Mekaaninen hiominen soveltuu käytettäväksi lähinnä maalattujen puuseinien puhdistukseen. Hiomiseen käytetään sähköllä toimivia hiomalaitteita. Hiominen poistaa seinän pinnalta muutaman millimetrin paksuisen kerroksen ja samalla myös seinän pintaan kiinnittyneen radioaktiivisen saasteen (Strategy 2003).

Puhdistustehokkuuteen vaikuttavat kontaminanttien partikkelikoko, suurikokoiset partikkelin irtoavat helpommin kuin pienikokoiset, sekä hiontasyyvyys. Kontaminaatiota saadaan vähennettyä noin 35–60 %. Hiomisessa syntyy kiinteää, pölymäistä radioaktiivista jätettä, jonka kerääminen on käytännössä mahdotonta (Strategy 2003).

## **10.6 Rakennusten sisäpintojen puhdistukseen soveltuvat menetelmät**

Radioaktiivisesti kontaminoituneiden sisätilojen puhdistukseen soveltuvat normaalit siivoustoimenpiteet, kuten lattioiden ja mattojen imurointi, lattioiden pesu ja pölyjen pyyhkiminen muilta pinnoilta, joita tehostetaan (Severa ja Bár 1991, Strategy 2003). Varsinaisen laskeumatilanteen mentyä ohi sisätiloihin kulkeutuu edelleen kontaminaatiota ulkoa esimerkiksi ihmisten mukana kengänpohjissa (Strategy 2003). Jos sisätiloissa on huonekaluja tai muita kohteita jotka eivät ole radioaktiivisesti saastuneita tai ne aiotaan puhdistaa jossain muualla, ne tulee siirtää ulos rakennuksesta ennen puhdistustoimenpiteiden aloittamista (Severa ja Bár 1991).

Hyvin pienet partikkelit ovat hankalia puhdistaa imuroinnilla tai pölyjen pyyhkimisellä, mutta kun pienet partikkelit kiinnittyvät suurempiin pölypartikkeleihin, siivoustoimien teho paranee. Kengänpohjissa tai muuten, esimerkiksi tuulen mukana, ulkoa tuleva kontaminaatio on yleensä kiinnittyneenä

suurempiin hiekka- ja pölypartikkeleihin, ja sen poistaminen on suhteellisen helppoa. Lattioiden pesulla saadaan kontaminaatiota vähennettyä 35–65 % (Strategy 2003).

Lattiat voidaan puhdistaa imuroimalla, pesemällä ja hankaamalla harjoilla, räteillä ja pesusienillä tai erityisillä lattianpesukoneilla (Severa ja Bár 1991). Imuroinnissa tai lattioiden pesussa tulee kiinnittää huomio siihen että koko lattia-ala tulee varmasti puhdistettua huolellisesti. Käytettävässä pölynimurissa tulee mielellään olla tehokas ulosmenevän ilman suodatin, jolloin kontaminaation leviämisen imurista uudelleen ilmaan estetään. Paras olisi imuri, jonka poistoilma menee suoraan ulos. Lattioiden ja muiden pintojen pesussa tulee käyttää pesuaineita. Puhdistustehokkuuteen vaikuttavat myös lattian pintamateriaalin ja mattojen ominaisuudet sekä alun perin pinnalla ollut pölymäärä, sillä suuret pölyhiukkaset sitovat kontaminaation helpommin puhdistettavaan muotoon. Myös esimerkiksi pölynimurien suodattimien tulee mielellään olla ns. vanhoja, koska niissä oleva pöly auttaa sitomaan kontaminanttipartikkeleita ja näin tehostaa puhdistusta (Strategy 2003).

Maalatut pinnat voidaan puhdistaa pesemällä ja pyyhkimällä ne sopivaa pesuainetta käyttäen (IAEA 1989, Severa ja Bár 1991), liuottamalla maalipinta pois orgaanisilla liuottimilla tai poistamalla maalikerros kaliumhydroksidilla tai erityisillä maalinpoistoaineilla (Severa ja Bár 1991) tai mekaanisella hionnalla (IAEA 1989, Severa ja Bár 1991). Maalaamattomat puupinnat voidaan puhdistaa poistamalla saastunut pinta hiomalla hiekkapaperilla, hiomakankaalla, hiomakivellä, kuorimalla tai höyläämällä, tai pesemällä pinta pesuaineella ja vedellä (IAEA 1989, Severa ja Bár 1991) käyttäen harjoja, rättejä ynnä muita (Severa ja Bár 1991).

Lasipinnat voidaan puhdistaa pesemällä ne sopivilla pesuaineilla. Lasia voidaan myös hangata voimakkaasti harjoilla tai räteillä puhdistuksen tehostamiseksi. Metallipinnat, kuten messinki, nikkeli, hopea, alumiini, kupari ja niin edelleen, voidaan pyyhkiä räteillä tai sienillä joko kuivina tai pesuainetta sisältävällä vedellä (IAEA 1989, Severa ja Bár 1991).

Kankaiset kohteet voidaan puhdistaa kuivina erilaisilla pölynpoistomenetelmillä, esimerkiksi imuroimalla (Severa ja Bár 1991). Muovipintojen puhdistukseen soveltuu pesu vedellä ja pesuaineella (IAEA 1989).

Siivouksessa syntyy sekä nestemäistä että kiinteää radioaktiivista jätettä. Käytetyt pesuvedet, pesussa käytetyt rätit, pesusienet ynnä muut siivousvälineet sekä kontaminoituneet pölynimurien suodattimet ja pölypussit ovat kaikki radioaktiivista jätettä (Strategy 2003).

## 10.7 Teollisuuteen soveltuvat puhdistusmenetelmät

### 10.7.1 Saastuneiden metallipintojen puhdistus

#### Mekaaninen puhdistus

Metallipinnat voidaan puhdistaa mekaanisesti esimerkiksi imuroimalla, harjaamalla, hankaamalla tai pesemällä painepesurilla, tai poistamalla saastunut pinta kokonaan esimerkiksi kuiva- tai märkähiekkapuhalluksella tai hiomalla (Severa ja Bár 1991, Strategy 2003). Mekaanista puhdistusta voidaan käyttää myös yhdessä muiden puhdistusmenetelmien kuten kemiallisen puhdistuksen kanssa. Mekaaniset puhdistusmenetelmät sopivat hyvin huokoisten pintojen puhdistukseen, koska muiden menetelmien teho niiden puhdistamisessa on suhteellisen huono (Strategy 2003).

Puhdistettavan pinnan kontaminaation voidaan odottaa vähenevän vesipainepesua, imurointia/harjausta ja hiontaa käytettäessä 80–90 % ja hiekkapuhallusta käytettäessä 75–95 %. Painepesussa käytettävän veden lämpötilan täytyy olla vähintään 5 °C, jotta puhdistusteho on hyvä. Teho on sitä parempi, mitä lämpimämpää vettä käytetään. Imuroinnin puhdistusteho paranee, jos imuroitava pinta on kuiva ja tasainen ja jos puhdistettavat partikkelit ovat kooltaan pieniä ja sitoutuneita pölyyn. Ennen pintojen hiomista tai hiekkapuhallusta on puhdistettavalta pinnalta poistettava öljy ja rasva. Hiekkapuhalluksen tehoa voidaan parantaa käyttämällä karkeampaa hiekkaa (Strategy 2003).

Alumiinipintoja ei tule puhdistaa hiekkapuhalluksella pölyn aiheuttaman räjähdysvaaran vuoksi. Hiekkapuhalluksen yhteydessä saattaa myös syntyä staattista sähköä, joten maadoitus tulee järjestää. Räjähdysvaara on olemassa myös silloin, kun radioaktiivinen saaste on sekoittunut tulenarkaansa nesteeseen tai pölyyn, jolloin puhdistukseen ei tule käyttää imurointia (Strategy 2003).

Hionnassa, imuroinnissa/harjauksessa ja kuivahiekkapuhalluksessa syntyy kiinteää jätettä. Märkähiekkapuhalluksessa syntyy lisäksi nestemäistä jätettä ja vesipainepesussa pelkästään nestemäistä jätettä. Imuroinnissa syntyvä jäte kertyy imurin suodattimeen, kuivahiekkapuhalluksessa ja hionnassa syntyvä jäte on vaikeaa kerätä. Jos nestemäistä jätettä ei kerätä, se kertyy likavesiviemäreiden kautta jätevedenpuhdistamoon (Strategy 2003).

#### Kemiallinen puhdistus

Kemiallisissa puhdistustoimenpiteissä käytetään veden lisäksi kemiallisia puhdistusaineita, ja ne voidaan jaotella pehmeiksi ja koviksi. Pehmeissä toimenpiteissä käytetään syövyttämättömiä reagensseja kuten detergenttejä eli pintaaktiivisia aineita, komplekseja muodostavia aineita ja laimeita happoja ja

emäksiä. Näitä käytetään, kun pinta täytyy saada puhdistettua pintamateriaalia vaurioittamatta. Kovissa toimenpiteissä käytetään vahvoja happoja ja emäksiä sekä muita syövyttäviä aineita. Kemiallinen puhdistus sopii käytettäväksi metallipintojen, rakennusten metalliosien ja koneiden osien puhdistukseen. Puhdistusreagenssi on tankissa, jossa on ruiskutusjärjestelmä, joka ruiskuttaa puhdistusliuosta puhdistettavalle pinnalle ja kierrättää liuosta. Pienet esineet voidaan puhdistaa myös upottamalla ne puhdistusliuokseen. Tekniikalla voidaan myös poistaa radionuklideja sekä laitteiden sisäosissa olevista että muuten vaikeasti lähestyttävistä pinnoista (Strategy 2003).

Puhdistusprosessissa on kolme vaihetta, joissa käytetään eri kemikaaleja. Ensin metallioksidikalvot liuotetaan alkalisesti hapettamalla tai pelkistämällä. Tämän jälkeen radionuklidit sidotaan ja poistetaan käyttämällä pinta-aktiivisia aineita ja kompleksointiaineita. Pinta-aktiivisena aineena voidaan käyttää mitä tahansa hydrofobista ainetta. Lopuksi puhdistettava pinta passivoidaan (Strategy 2003). Eri vaiheisiin käytetyt kemikaalit on lueteltu taulukossa IV.

Puhdistus voidaan suorittaa joko staattisella (ilman virtausta) tai dynaamisella (virtauksen kanssa) menetelmällä. Karkeilla pinnoilla dynaamisella tekniikalla saadaan parempi puhdistusteho kuin staattisella tekniikalla. Puhdistustehoa voidaan yleensä parantaa nostamalla liuoksen lämpötilaa ja konsentraatiota. Dynaamisessa tekniikassa tehokkuuteen vaikuttavat myös liuoksen virtausnopeus sekä vaikutusaika pinnalla. Tehoa voi heikentää esimerkiksi puhdistettavan pinnan sisältämien kemikaalien ja puhdistusliuoksen kemikaalien välinen yhteensopimattomuus. Puhdistusprosessin aikana

**Taulukko IV.** Saastuneiden metallipintojen kemiallisen puhdistuksen eri vaiheissa käytetyt kemikaalit (Strategy 2003).

Liuottamiseen käytetyt kemikaalit	Kompleksointiaineet		Passivaatioon käytetyt kemikaalit
	Pehmeä menetelmä	Kova menetelmä	
Kaliumpermanganaatti (KMnO <sub>4</sub> )	EDTA	Natriumbisulfaatti (NaHSO <sub>4</sub> )	Typpihappo (HNO <sub>3</sub> )
Kaliumhydroksidi (KOH)	Sitruunahappo (C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>6</sub> )	Natriumsulfaatti (Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	Fosforihappo (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )
Natriumhydroksidi (NaOH)	Oksaalihappo (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O <sub>4</sub> )	Ammoniumoksaatti (NH <sub>4</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> )	Rikkihappo (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )
Trinatriumfostaatti (Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )		Ammoniumsitraatti [(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HC <sub>6</sub> H <sub>5</sub> O <sub>7</sub> ]	Vetyperoksidi (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )

puhdistusliuokseen kertyy kontaminantteja, ja kun niiden konsentraatio kasvaa, voi puhdistettava pinta tai esine kontaminoitua uudelleen puhdistusliuoksen välityksellä. Pehmeillä tekniikoilla kontaminaatiota saadaan vähennettyä noin 50–90 %, kovilla tekniikoilla 90–100 % (Strategy 2003).

Kemiallisen puhdistusmenetelmän haittana on siinä syntyvien nestemäisten jätteiden suuri määrä. Puhdistustoimenpiteiden jokaisessa vaiheessa syntyvät jätteet on kerättävä erikseen, koska radioaktiivinen materiaali on pääosin kompleksinmuodostusvaiheessa syntyvässä jätteessä (Strategy 2003).

### **Elektrokemiallinen puhdistus**

Elektrokemiallinen puhdistus on käytännössä kemiallista puhdistusta avustettuna sähkövirralla, jota käytetään poistamaan pinnalta metalli- ja oksidikerrokset (Severa ja Bár 1991, Strategy 2003). Puhdistettavien pintojen tai esineiden on oltava valmistettu sähköä johtavasta materiaalista, kuten rautapohjaisesta metalliseoksesta, kuparista, alumiinista, lyijystä tai molybdeenista. Menetelmä soveltuu lähinnä koneiden ja työkalujen erikoisosien puhdistamiseen, osissa voi olla monimutkaisiakin rakenteita. Puhdistettava esine voidaan upottaa elektrolyyttiliuokseen (Strategy 2003).

Elektrokemiallinen puhdistaminen on hyvin tehokas menetelmä, se poistaa kontaminaation jopa 100 %:sti. Ennen menetelmän käyttöä on puhdistettavalta pinnalta poistettava öljy, rasva, oksidit, maali ja muut pinnoitteet, jotka huonontavat puhdistustehokkuutta. Puhdistustehokkuutta voidaan parantaa nostamalla käytettävän kemiallisen puhdistusliuoksen konsentraatiota. Elektrokemiallisen puhdistuksen toteuttamiseen vaaditaan erityinen sähkökiillotusjärjestelmä. Toimenpiteen aikana muodostuu höyryä, jonka haihtumisen kontrolloimiseksi on puhdistusliuossäiliön yhteydessä oltava vetokaappi (Strategy 2003).

Elektrolyytteinä käytettäviä aineita ovat fosforihappo, typpihappo ja orgaaniset hapot. Passivaatioprosessiin käytetään samoja aineita kuin kemiallisessa puhdistuksessa, eli typpihappoa, fosforihappoa, rikkihappoa tai vetyperoksidia. Menetelmässä syntyy nestemäistä radioaktiivista jätettä, joka on sen suurin haittapuoli (Strategy 2003). Haittapuolena on myös puhdistustoimenpiteissä tarvittavan kaluston monimutkaisuus (Severa ja Bár 1991).

### **Ultraäänikäsittely yhdistettynä kemialliseen puhdistukseen**

Menetelmässä tuotetaan ultraäänigeneraattorilla ultraääntä, joka muunnetaan lyhytaaltoiseksi värähtelyksi saamaan aikaan hankausefekti, joka irrottaa radionuklideja puhdistettavan esineen pinnalta. Ultraääni tuotetaan nestesäiliössä, jossa on kemiallista puhdistusliuosta sekä puhdistettava esine. Mekaanisen likaa irrottavan vaikutuksen saa aikaan nesteessä tapahtuva pienten kaasukuplien muodostuminen ja luhistuminen (Severa ja Bár 1991, Hayes 1995, Kivelä 1996,

Wirtanen 2002). Tapahtumaa kutsutaan kavitaatioksi, ja sen teho on samaa luokkaa kuin harjoilla tapahtuvat mekaanisen pesun (Severa ja Bár 1991). Kontaminaatiota saadaan vähennettyä 90–99 % (Strategy 2003).

Menetelmä soveltuu lähinnä metallisten työkalujen puhdistamiseen, jos niiden osissa on monimutkaisia rakenteita (Strategy 2003). Menetelmän toteutuskelpoisuus on kuitenkin geometrisesti hyvin monimutkaisten esineiden pesussa kyseenalainen, koska ei voida olla varmoja että puhdistusteho on samanlainen kaikissa esineen osissa (Severa ja Bár 1991). Menetelmässä syntyy neste-mäistä radioaktiivista jätettä, joka on sen suurin haittapuoli. Jätteen määrä riippuu puhdistusliuosta sisältävien säiliöiden koosta (Strategy 2003).

### **Irrotettavan polymeerimassan käyttö**

Saastunut pinta puhdistetaan levittämällä pinnalle polymeerimassaa ja poistamalla se, kun polymeeri on kovettunut ja muodostanut pinnalle kuivan kalvon. Polymeerikalvon mukana pinnalta irtoaa sillä ollut radioaktiivinen kontaminaatio. Menetelmää voidaan käyttää tasaisten metallipintojen, erityisesti ilmanvaihtojärjestelmien ja koneiden osien puhdistukseen (Strategy 2003). Myös erityisiä irrotettavia maaleja voidaan käyttää radionuklideilla saastuneen pinnan puhdistamiseen. Pinta maalataan erikoismaalilla, ja kun maali on kuivunut, se poistetaan, ja mukana poistuu huomattava osa kontaminaatiosta (Severa ja Bár 1991).

Menetelmän puhdistustehokkuus riippuu mm. puhdistettavan pinnan ominaisuuksista, esimerkiksi ruostuneen tai lohkeilleen metallipinnan puhdistuksessa teho on huomattavasti alempi kuin puhtaan pinnan puhdistuksessa. Kontaminaatiota saadaan vähennettyä noin 75–97 %. Menetelmässä käytettävä polymeerimassa on tehty vedestä ja PVA:sta (polyvinyyli alkoholi) suhteessa 90 % vettä ja 10 % PVA:ta, ja sen pH on säädetty noin 1:een typpihapolla. Menetelmässä syntyvä jäte on kiinteää ja koostuu irrotetusta polymeerimassasta (Strategy 2003).

### **10.7.2 Saastuneiden muovi- ja kalvopintojen puhdistus**

Saastuneet muoviset, keraamiset, lasiset tai pinnoitetut rakennusten tai koneiden osat voidaan puhdistaa pesemällä ne kemiallisilla puhdistusliuoksilla kolmivaiheisessa prosessissa, joka sisältää liuottamisen, kompleksoinnin ja passivaation. Menetelmä soveltuu myös laitteiden sisällä olevien osien tai muiden ”piilossa” olevien pintojen puhdistukseen. Käytettävät kemikaalit riippuvat puhdistettavien pintojen kemikaalienkestävyydestä, yleensä käytetään syövyttämättömiä tai lievästi syövyttäviä aineita. Puhdistukseen voidaan käyttää joko dynaamista tai staattista menetelmää (Strategy 2003).

Monivaiheisessa puhdistusprosessissa käytetään liuotukseen esimerkiksi ionisoitua vettä, kompleksointiin pinta-aktiivista ainetta ja kompleksointiainetta sekä passivaatioon rikkihappoa (Strategy 2003).

Puhdistusmenetelmän tehokkuuteen vaikuttaa voimakkaasti puhdistettavan pinnan pintakerroksen koostumus. Puhdistustehoa voidaan lisätä nostamalla liuoksen lämpötilaa ja konsentraatiota, sekä dynaamisessa prosessissa säätelemällä liuoksen virtausnopeutta ja vaikutusaikaa pinnalla. Puhdistusvälineinä käytetään esimerkiksi painepesureita, pesusieniä, harjoja ja rättejä. Kontaminaatiota saadaan vähennettyä 90–99,9 %. Menetelmässä muodostuu nestemäistä radioaktiivista jätettä (Strategy 2003).

Muovi- lasi- ja kalvopintojen puhdistuksessa saadaan aikaa hyvä puhdistustulos myös käyttämällä mekaanisena puhdistusmenetelmänä imurointia ja sen jälkeen poistettavia pinnoitteita (Strategy 2003).

### **10.7.3 Saastuneiden ilmastointikanavien puhdistus**

Ilmastointikanavat voivat säteilytilanteessa saastua voimakkaasti. Niiden puhdistaminen käsittää teollisen imuroinnin, pesun kemiallisilla puhdistusaineilla sekä kapeissa ilmastointikanavissa sähköisen, pyörivän puhdistusharjan käytön. Suurissa kanavissa, joiden läpimitta on 50 cm luokkaa tai enemmän, puhdistus on yleensä suoritettava menemällä sisään kanavaan. Ilmastointikanava voi myös olla mahdollista avata ja pestä painepesurilla (Strategy 2003).

Puhdistustehokkuuteen vaikuttavat radioaktiivisten saasteaerosolien ominaisuudet, pesuun käytetyn veden lämpötila sekä painepesua käytettäessä veden paine ja määrä. Ilmastointikanavien ulosjohtavat osat ovat usein rasvaisia ja niissä voi olla pölyä, ja niiden tehokas puhdistaminen vaatii lämpimämmän veden käyttämistä. Painepesulla saadaan kontaminaatiota vähennettyä 80–97 % ja imuroinnilla 80–90 %. Puhdistuksessa syntyy sekä kiinteää että nestemäistä radioaktiivista jätettä. Imuroimalla kuiva jäte saadaan kerättyä imureiden suodattimiin (Strategy 2003).

### **10.7.4 Teollisuuslaitosten suodattimien poistaminen**

Ilmastointijärjestelmien, tuulettimien ja lämmityslaitteiden suodattimet saattavat saastua säteilytilanteessa voimakkaasti. Poistamalla saastuneet suodattimet ja korvaamalla ne uusilla ja puhtailla, saadaan poistettua huomattava määrä radioaktiivisuudesta, jopa 100 %. Tehokkaita tuloksia saadaan aikaan myös vaihtamalla ajoneuvojen suodattimet. Puhdistumisen tehokkuus riippuu suodatinten saastumisasteesta, niiden olinpaikoista, malleista ja suojarakenteista. Radioaktiivista jätettä ovat poistetut suodattimet (Strategy 2003).

## 10.8 Ydinvoimalaitoksessa käytettävät dekontaminaatiomenetelmät

Ydinvoimalaitoksessa radioaktiivisesti kontaminoituneen alueen puhdistuksessa otetaan huomioon kontaminoituneen alueen laajuus, säteilyn voimakkuus ja aktiivisuustaso. Näiden perusteella valitaan puhdistukseen sopiva pesumenetelmä sekä käytettävä pesuaine (Heponeva, 2004).

Helposti kiinnittyneen lian poistoon käytetään märkäpyyhintää, jonka aikana irronnutta likaa huuhdellaan pois kappaleen pinnalta jatkuvasti pienellä vesivirtauksella. Kevyesti kiinnittyneen lian poistoon käytetään myös korkeapainepesua lämpimällä vedellä tarvittaessa tehostettuna pesuaineilla. Paine-pesua voidaan käyttää myös esikäsittelytoimenpiteenä lähes kaikille puhdistettaville kohteille. Lujasti kiinnittyneen lian, esimerkiksi oksidikerrosten poistamiseen käytetään märkäpuhallusta, jossa veden mukana puhalletaan lasikuulapuhallushiekkaa tai keraamista hiekkaa. Lasikuulapuhallusta hellävaraisempi menetelmä pinnalle on happokäsittely ultraäänialtaassa, jota voidaan käyttää ruostumattomien materiaalien puhdistamiseen. Happoliuoksen valmistamiseen käytetään oksaalihappoa, sitruunahappoa ja ammoniakkaa. Edellisiä parempi puhdistustulos saadaan sähkökemiallisella käsittelyllä, jossa käsittelyliuoksena käytetään natriumsulfaattia tai kaliumsulfaattia (Vuori, 2004).



## 11 Toiminnan uudelleenkäynnistäminen ja uudelleensaastumisen estäminen

Elintarviketeollisuuslaitoksen toiminta voidaan käynnistää, kun laitos ja tuotantolaitteet ja -tilat on puhdistettu niin, että siellä tuotettavat elintarvikkeet ovat turvallisia. Suurissa tuotantolaitoksissa koko laitoksen siivoamiseen ja puhdistamiseen kuluu hyvin pitkä aika, useita viikkoja. Jos tuotantotilat voidaan jakaa osiin, jotka on mahdollista sulkea tiiviisti niin että kun yksi osa saadaan puhdistettua, siellä voidaan aloittaa tuotanto samalla kuin toista osaa puhdistetaan, tuotanto voidaan saada ainakin osittaisena käyntiin nopeammin.

Se, kuinka laaja puhdistus laitoksessa on tehtävä ennen tuotannon uudelleenkäynnistämistä, riippuu aina kyseessä olevasta tilanteesta. Ensisijaisesti on tärkeintä puhdistaa tuotantolaitteet ja -tilat. Jos kontaminaatiota jää sellaisiin laitoksen rakenteisiin, joista se ei voi saastuttaa tuotteita tuotantoprosessin aikana, tuotanto voidaan todennäköisesti aloittaa ennen niiden puhdistusta. Toisaalta on otettava huomioon myös laitoksen työntekijöiden säteilyturvallisuus.

Jotkin radionuklidit voivat kiinnittyä rakenteisiin ja esimerkiksi tuotantolaitteiden pinnoille niin voimakkaasti, että ne eivät huolellisellakaan puhdistuksella irtoa. Tällöin on todennäköistä, että ne eivät irtoa myöskään valmistettaviin tuotteisiin valmistusprosessin aikana. Sekä tuotantolaitteista että itse tuotteista on tarpeen ottaa näytteitä joista mitataan radioaktiivisuus, jotta tuotteiden puhtaudesta ja turvallisuudesta voidaan varmistua. Myös laitokseen tulevien raaka-aineiden radioaktiivisuus on mitattava niiden puhtauden varmistamiseksi. Joissain tapauksissa on varmasti hyödyllistä valmistaa tuotetta koeerä, jotta saadaan selville saastuuko tuote valmistusprosessin aikana tuotantolaitteista.

Radioaktiivisesti saastunut ulkoilma puhdistuu siinä vaiheessa, kun tuuli on kuljettanut viimeisetkin radioaktiiviset aineet kyseisen paikan ohi. Ulkoilmassa voi tämän jälkeen olla aineita, jotka ovat aiemmin laskeutuneet maahan ja nousevat tuulen mukana myöhemmin uudelleen ilmaan. Tästä aiheutuva aktiivisuuspitoisuus on kuitenkin vähäinen verrattuna varsinaisen päästöpilven aktiivisuuteen ja on vain poikkeustapauksissa ongelma ilmaa käyttävälle teollisuudelle. Tuotanto voidaan ilman käytön puolesta käynnistää uudelleen jo siinä vaiheessa, kun on varmaa, että radioaktiivinen pilvi on poistunut paikkakunnalta (Valmari ym. 2004).

Puhdistustoimenpiteiden jälkeen on tärkeää huolehtia siitä, että puhdistettua rakennusta tai aluetta ei saastuteta uudelleen. Ympäristössä oleva radioaktiivinen saaste leviää helposti rakennuksiin ihmisten ja tavaroiden liikkuaessa

sisälle ja ulos. Elintarviketeollisuuslaitoksessa tuotantotilat olisi hyvä eristää niin, että kulku niihin tapahtuu vain erityisten sulkutilojen kautta, joissa vaatteet ja kengät vaihdetaan puhtaisiin ja joissa tulevien raaka-aineiden kuljetussäiliöt ja -laatikot mahdollisesti puhdistetaan. Myös kuljetusajoneuvot ja muut kuljetuksiin käytettävät välineet on tärkeää puhdistaa niin, että laitokseen ei tuoda kontaminaatiota ulkopuolelta niiden välityksellä. Kuljetuskaluston puhdistaminen on tärkeää myös siksi, että laitokseen tuotavat puhtaat raaka-aineet eivät kontaminoidu niiden välityksellä.

## 12 Elintarviketeollisuuden käyttöön soveltuvat puhdistusmenetelmät

Kappaleessa 10 on esitelty erilaisia radioaktiivisesti saastuneiden alueiden, rakennusten ja rakenteiden puhdistamiseen soveltuvia puhdistusmenetelmiä. Kaikki nämä eivät kuitenkaan sovellu ainakaan sellaisenaan käytettäväksi elintarviketeollisuudessa, koska elintarviketeollisuudessa on otettava huomioon myös elintarvikehygieeniset näkökohdat ja elintarvikkeiden turvallisuus, ei ainoastaan mekaanisen puhdistuksen tehokkuus. Osa menetelmistä on myös sellaisia, että niiden käytännön toteuttaminen olisi hyvin vaikeaa ja suuritöistä sekä myös kallista. Seuraavassa on pohdittu, mitkä menetelmät todennäköisimmin soveltuisivat käytettäväksi elintarviketeollisuuslaitosten ja niitä ympäröivien alueiden puhdistukseen, ja miten elintarviketeollisuudessa normaalisti käytössä olevat puhdistus- ja siivousmenetelmät soveltuisivat ja riittäisivät radioaktiivisen saasteen puhdistamiseen.

### 12.1 Ulkoalueiden ja rakennusten ulkopintojen puhdistus

Elintarviketeollisuuslaitosten ulkoalueiden puhdistukseen käytettävien menetelmien valinta riippuu muun muassa käytössä olevista resursseista, työvälineistä ja -koneista, työntekijöistä sekä ulkoalueiden laajuudesta ja pintojen materiaaleista. Tärkeintä on puhdistaa ne ulkoalueet, joilta radioaktiivinen saaste voi kulkeutua tuotettaviin elintarvikkeisiin tai niiden raaka-aineisiin. Tällaisia alueita ovat ennen kaikkea kulkuväylät, joita laitoksen alueella liikuttaessa käytetään. Yleensä, ja ainakin suuremmissa laitoksissa, laitoksen piha-alueet tai ainakin kulkuväylät ovat asfaltoituja. Myös laitoksen ulkoseinät ja katto tulee puhdistaa, jotta niissä oleva radioaktiivinen saaste ei leviä laitoksen ympäristöön ja sitä kautta kulkeudu laitoksessa tuotettaviin elintarvikkeisiin.

Jos radioaktiivinen laskeuma on tullut talvella aikana, jolloin piha-alueilla, niin päällystetyillä kuin päällystämättömillä, ja rakennusten katoilla on lunta, on ensimmäinen puhdistustoimenpide lumen poistaminen. Tällöin lumen pinnalle kiinnittynyt radioaktiivinen saaste saadaan poistettua. Piha-alueiden kulkuväylät pidetään kuitenkin talvella avoimena auringolla, ja jos niillä on lunta hyvin ohut kerros tai ei lainkaan, on niiden puhdistukseen käytettävä myös muita menetelmiä.

Käytännössä käyttökelpoisin menetelmä asfaltoitujen alueiden, rakennusten seinien ja kattojen puhdistukseen on pesu, joko käyttäen vettä, esimerkiksi paloletkuja, ja harjoja, tai koneita. Asfaltoitujen piha-alueiden pesuun

voidaan käyttää kadunpesukoneita ja kattojen pesuun katonpesukoneita. Pesu suuripaineisella vedellä ei ole suositeltavaa, koska vaikka se irrottaakin lian ja saasteen tehokkaasti, se myös levittää roiskeveden mukana saastetta ympäristöön ja uudelleenkontaminoi helposti jo puhdistettuja alueita (Andersson 1996). Ulkoseinien puhdistaminen märkähiekkapuhalluksella saattaa myös olla käyttökelpoinen menetelmä.

Asfaloitujen alueiden höyläys ja katukivilaattojen kääntäminen ovat todennäköisesti ainakin suuressa mittakaavassa hyvin työläitä toteuttaa. Katon vaihtaminen kokonaan on hyvin tehokas tapa poistaa radioaktiivinen saaste käytännössä kokonaan, mutta sen toteuttaminen on kallista ja työlästä, ja se saattaisi tulla kyseeseen lähinnä vain joissain erikoistapauksissa ”viimeisenä keinona”, jos muita menetelmiä ei jostain syystä voida käyttää. Ulkoseinien puhdistuksessa seinien ammoniumkäsittely ja puuseinien mekaaninen hiominen ovat käytännön tilanteessa todennäköisesti melko työläitä ja hitaita toteuttaa.

Elintarviketeollisuuslaitosten piha-alueilla on yleensä jonkin verran myös päällystämättömiä maa-alueita. Näiden puhdistaminen on mietittävä tapauskohtaisesti sen mukaan, miten alueet sijaitsevat ja millaista maastoa ne ovat. Jos alueet ovat sellaisia että radioaktiivien saaste voi levitä niiltä esimerkiksi valuvan sadeveden tai tuulen mukana niin lähelle tuotantolaitosta, että elintarvikkeiden tai laitoksen saastuminen on mahdollista, on alueet puhdistettava. Kesällä, kun nurmikkoalueilla on kasvava nurmi, voidaan ruoho leikata ja näin vähentää radioaktiivisen kontaminaation kulkeutumista maahan saakka. Muista päällystämättömien maa-alueiden puhdistukseen soveltuvista menetelmistä käyttökelpoisimpia ovat todennäköisesti maan saastuneen pintakerroksen poistaminen tai hautaaminen kaivamalla, tai maa-alueen peittäminen puhtaalla maakerroksella tai asfaltilla. Päällystämättömien maa-alueiden puhdistuksessa maan kyntäminen ja nurmen keruu eivät käytännössä todennäköisesti sovellu elintarviketeollisuuslaitoksen piha-alueiden käsittelyyn.

## **12.2 Rakennusten sisäpintojen ja -tilojen puhdistaminen**

Elintarviketeollisuuslaitosten sisätilojen puhdistamiseen soveltuvat käytännössä imurointi, lattioiden, seinien ja kattojen pesu ja pölyjen pyyhkiminen. Maalattujen pintojen puhdistukseen lisäksi käytettävissä olevat maalipinnan poistamiseen käytettävät liuottamismenetelmät ja hiominen eivät käytännössä ainakaan suuressa mittakaavassa ole todennäköisesti toteuttamiskelpoisia menetelmiä. Myöskään maalaamattomien puupintojen hiominen ei ole paras mahdollinen puhdistusmenetelmä sen työläyden vuoksi sekä siksi, että hiomisessa syntyy pölyä jonka mukana radioaktiivinen saaste leviää ympäristöön.

Elintarvikelaitosten tuotantotilat ja -laitteet puhdistetaan normaalistakin usein ja hyvin elintarvikehygieenisistä syistä sekä jo lainkin pohjalta, joten vaikuttaisi siltä että laitoksissa käytössä olevat puhdistusmenetelmät riittävät melko pitkälti myös radioaktiivisen saasteen puhdistamiseen.

Tuotantotiloissa on myös sellaisia osia ja rakenteita joita ei normaalisti puhdisteta yhtä usein kuin esimerkiksi varsinaisia tuotantolaitteita. Tällaisia ovat mm. katot ja kattorakenteet, katossa ja seinien yläosissa olevat kaapelihyllyt ja putkistot, sähkökaapit ja ilmanvaihtokanavat. Varsinkin tuotantolaitteiden yläpuolella olevista rakenteista voi radioaktiivista pölyä pudota alas tuotantolaitteisiin, jolloin elintarvikkeiden saastuminen on mahdollista myös sen jälkeen, kun itse tuotantolaitteet on puhdistettu. Tuotantotiloissa täytyy ensisijaisesti puhdistaa kaikki sellaiset rakenteet, joista radioaktiivinen kontaminaatio voi kulkeutua tuotettaviin elintarvikkeisiin. Toinen tärkeä huomioonotettava näkökohta on työntekijöiden säteilyturvallisuus. Jotta elintarviketuotantoa voidaan jatkaa, on tilojen oltava niin puhtaat, että työntekijät voivat työskennellä niissä turvallisesti.

Elintarviketeollisuuslaitoksissa suoritetaan normaalisti yleensä noin kerran vuodessa suurempi siivous, jolloin puhdistetaan myös ne rakenteet, joita ei normaaleissa päivittäisissä tai viikoittaisissa siivouksissa puhdisteta. Ilmastointikanavat puhdistetaan yleensä normaalisti tätäkin harvemmin. Yleisesti voitaisiin sanoa, että säteilytilanteen jälkeen elintarviketeollisuuslaitoksessa tulee suorittaa tehostettu suursiivous, jossa puhdistetaan myös nämä normaalisti harvoin puhdistettavat laitoksen rakenteet sekä ilmastointikanavat ja vaihdetaan ilmastointisuodattimet. Säteilytilanteen jälkeisiin puhdistustoimenpiteisiin voidaan myös arvioida kuluvan aikaa ainakin yhtä kauan kuin laitoksen normaaliin suursiivoukseen.

### **Tuotantolaitteiden puhdistus**

Tuotantolaitteet ovat eri elintarviketeollisuuden aloilla hyvin erilaisia ja niiden puhdistukseen on käytössä erilaisia erikoismenetelmiä. Puhtaiden ja turvallisten elintarvikkeiden tuottamiseksi tuotantolaitteiden puhtaus on normaalistakin tärkeää, ja normaaleja puhdistustoimenpiteitä tehostamalla saadaan hyvin todennäköisesti myös laitteisiin päässyt radioaktiivinen kontaminaatio puhdistettua pois. Tuotantolaitteiden ja -tilojen puhdistuksessa on tärkeää puhtausnäytteiden ottaminen ja radioaktiivisuuden mittaaminen niistä, sekä ennen että jälkeen puhdistuksen, jotta voidaan selvittää ensinnäkin ovatko tuotantolaitteet saastuneet, ja puhdistuksen jälkeen se, kuinka hyvin puhdistus on tehonnut. Näin saadaan tietoa myös siitä tarvitaanko lisäpuhdistusta.

Jos tuotantolaitteet ovat saastuneet niin, että niitä ei saada normaaleilla puhdistustoimenpiteillä puhtaiksi, on esimerkiksi suljettuja putkistoja, joita ei normaalisti puhdistusta varten pureta osiin, tarvittaessa purettava jotta puhdistus saadaan suoritettua tarpeeksi hyvin. Suljettujen putkistojen ja tuotantolinjojen saastumista ja puhdistumista kontrolloidaan käytännössä parhaiten mittaamalla niillä valmistettavien tuotteiden radioaktiivisuus.

Tuotantotiloja puhdistettaessa on tuotantolaitteet syytä suojata kattojen, seinien ja lattioiden puhdistuksen ajaksi, jotta esimerkiksi niiden puhdistamisessa käytetty vesi ei roiskuessaan kontaminoi laitteita. Puhdistaminen tulee aloittaa ylhäältä eli katoilta, edeten seinille ja viimeiseksi lattioille, jotta ei uudelleenkontaminoida jo puhdistettuja kohteita.

Kappaleessa 10 kuvatut metalli- ja muovipintojen erikoispuhdistusmenetelmät tulevat käytännössä todennäköisesti kyseeseen lähinnä joidenkin tuotantolaitteiden erikoisosien puhdistuksessa.

## **12.3 Puhdistus tiloissa, joissa ei voida käyttää vettä**

Myllyissä ja muissa kuivia elintarvikkeita valmistavissa laitoksissa sekä myös useimpien muiden elintarviketeollisuuslaitosten kuivaraaka-aineväaraasteissa ei aina voida käyttää puhdistukseen vettä.

Tällaisissa tiloissa puhdistus suoritetaan yleensä imuroimalla ja pyyhkimällä kostealla, lattioita voidaan puhdistaa erityisillä lattianpesukoneilla. Jos tällainen laitos saadaan suojattua hyvin ennen säteilytilannetta, niin että laitoksen sisätiloihin ei pääse suuria määriä radioaktiivista saastetta ja pölyä, riittävät normaalisti käytössä olevat puhdistustoimenpiteet tehostettuina todennäköisesti myös säteilytilanteen jälkeiseen puhdistukseen. Radioaktiivisuus alkutilanteessa ennen puhdistustoimenpiteitä ja puhdistuksen jälkeen on tärkeää mitata puhtausnäytteistä, jotta saadaan selville puhdistustoimenpiteiden riittävyys.

Myllyissä viljan kuljettamiseen käytettävät putkistot ovat suljettuja, mutta myös niiden puhtaus on varmistettava näytteillä. Jos putkistot ovat saastuneet, ne on puhdistettava käytössä olevilla menetelmillä, kuten puhdistusajoilla ja imuroinnilla, kunnes valmistettava tuote on puhdasta. Tarvittaessa ja sen ollessa mahdollista voidaan joitain putkistojen osia joutua purkamaan, jotta ne saadaan puhdistettua riittävästi.

Jos esimerkiksi myllyn sisätiloihin pääsee radioaktiivista saastetta ja radioaktiivista pölyä on myllyn ilmassa olevassa jauhopölyssä, on puhdistaminen hyvin vaikeaa ja se vie todennäköisesti hyvin pitkän ajan. Tämän vuoksi mahdollisimman hyvä ennakkosuojautuminen ennen säteilytilannetta on varsinkin myllyissä erityisen tärkeää.

## **12.4 Kuljetusajoneuvojen ja -välineiden puhdistus**

Elintarvikkeiden ja niiden raaka-aineiden kuljetukseen käytettävien kuljetusajoneuvojen ja muiden kuljetusvälineiden, kuten laatikoiden, konttien, lavojen ja rullakoiden puhdistukseen soveltuvat käytännössä samat menetelmät kuin laitosten sisätilojen ja -rakenteiden puhdistukseen. Näitä ovat mekaaninen pesu joko painepesurilla tai esimerkiksi vettä ja harjoja käyttäen, imurointi ja pölyjen pyyhkiminen. Erikoismateriaaleja olevien rakenteiden puhdistukseen voidaan käyttää kullekin materiaalille soveltuvia puhdistusmenetelmiä joita on kuvattu kappaleessa 10.

## **13 Elintarviketeollisuuden normaaleissa puhdistustoimenpiteissä syntyvien jätteiden käsittely**

Elintarviketeollisuuslaitosten normaaleissa siivous- ja puhdistustoimenpiteissä syntyvät jätteet kuljetetaan yleensä kaatopaikalle laitoksen muun jätehuollon mukana. Jätteet lajitellaan, yleensä energia-, bio-, ongelma- ja sekajätteisiin. Laitoksilla on usein jätteenpuristusyksiköjä, ja jätteet varastoidaan laitoksen alueella ulkona oleville jätelavoille tai jätesiiiloihin. Jätelavat ja -siilot tyhjenetään säännöllisesti, yleensä jätteenkäsittelyfirmojen toimesta. Tyhjennyskertojen tiheys riippuu laitoksen koosta ja siitä kuinka paljon jätettä sen toiminnassa syntyy. Yleensä jätelavat tyhjenetään vähintään kerran viikossa.

Elintarviketeollisuuslaitosten siivoustoimenpiteissä käytetty vesi menee yleensä jätevesiviemärien kautta viemäriverkkoon ja sitä kautta jätevedenkäsittelylaitokselle.



## 14 Radioaktiiviset jätteet

Radioaktiivisella jätteellä tarkoitetaan radioaktiivisia aineita sisältävää materiaalia, esinettä tai rakennetta, jolle ei ole suoranaista käyttöä (ST 6.2, 1999, Ruokola ym. 2004). Radioaktiivisille jätteille on tyypillistä se, että niitä ei voida hävittää, vaan ne täytyy eristää luotettavasti elinympäristöstä (Ruokola ym. 2004) ja tehdä vaarattomiksi (ST 6.2, 1999).

Radioaktiivisesti saastuneiden tilojen ja alueiden puhdistustoimenpiteissä syntyy sekä nestemäistä, kiinteää että kaasumaista radioaktiivista jätettä (Andersson 1996, Ulvsand 1997).

### 14.1 Radioaktiivisten jätteiden luokittelu

Radioaktiiviset jätteet jaetaan aktiivisuustason mukaan matala-, keski- ja korkea-aktiivisiin jätteisiin (NEA 1991, Severa ja Bár 1991, IAEA 1994a, YVL 8.3, 1996, Ruokola ym. 2004). Matala-aktiivisten jätteiden aktiivisuuspitoisuus on alle 1 MBq/kg. Keskiaktiivisten jätteiden aktiivisuuspitoisuus on yli 1 MBq/kg, mutta ei yli 10 GBq/kg. Korkea-aktiivisten jätteiden aktiivisuuspitoisuus on yli 10 GBq/kg (YVL 8.3, 1996, Ruokola ym. 2004). Radioaktiiviset jätteet luokitellaan myös lyhyt- ja pitkäikäisiin (NEA 1991, IAEA 1994a, Ruokola ym. 2004). Lyhytikäisissä jätteissä vallitsevien radioaktiivisten aineiden puoliintumisaika on enintään 30 vuotta (Ruokola ym. 2004). Pitkäikäisissä jätteissä on huomattavasti radioaktiivisia aineita joiden puoliintumisaika on yli 30 vuotta (NEA 1991, Ruokola ym. 2004).

### 14.2 Radioaktiivisten jätteiden hävittämisen periaatteet

Radioaktiivisten jätteiden hävittämiseen käytetyt strategiat voidaan jakaa kolmeen ryhmään: ”laimenna ja levitä” (dilute and disperse), ”tiivistä ja tallenna” (concentrate and retain) (ICRP 1998, Ruokola ym. 2004) sekä ”viivästä ja vähennä” (delay and decay) (Ruokola ym. 2004). Menetelmä, jolla jätteet tehdään vaarattomiksi, riippuu jätteen laadusta, aktiivisuudesta ja jätteessä olevien radionuklidien ominaisuuksista (ST 6.2, 1999).

Laimenna ja levitä -periaate liittyy usein kaasumaisten ja nestemäisten aineiden käsittelyyn: vähäisen radioaktiivisuuden mutta suuren tilavuuden omaava osa päästetään ympäristöön, jossa pitoisuudet laimenevat edelleen radioaktiivisten aineiden levitessä ilmakehässä ja vesistöissä, ja valtaosa radioaktiivisuudesta tiivistetään kiinteäksi radioaktiiviseksi jätteeksi. Tiivistä ja tallenna -periaate tarkoittaa radioaktiivisen jäteaineen saattamista tiiviiseen,

pysyvään muotoon ja sen eristämistä elinympäristöstä loppusijoittamalla jätepakkaukset. Viivästä ja vähennä -periaatetta käytettäessä radioaktiivinen jäte varastoidaan, kunnes sen aktiivisuus vähenee alle sallittujen rajojen. Menetelmä on käyttökelpoinen lähinnä silloin, kun jätteen radionuklidien puoliintumisajat ovat korkeintaan noin sata päivää (Ruokola ym. 2004).

Radioaktiivisten jätteiden hävittämistä ja sijoittamista suunniteltaessa yleissääntö on, että jätteet on voitava hävittää niin että siitä ei aiheudu ihmisille ja ympäristölle haittaa, jota ei voida hyväksyä (Lehto ja Paajanen 1994, Lehto 1997, IAEA 1999). Radionuklidien kulkeutuminen pois sijoituspaikalta veden mukana (Lehto ja Paajanen 1994, Lehto 1997) ja siten radioaktiivisten aineiden leviäminen ympäristöön on voitava estää (ST 6.2, 1999). Myös ihmisten, eläinten ja kasvien juurten tunkeutuminen alueelle (Lehto ja Paajanen 1994, Lehto 1997) ja radioaktiivisten jätteiden joutuminen asiattomien käsiin (ST 6.2, 1999) on voitava estää. Jätteet täytyy myös suojata eroosiolta (Lehto ja Paajanen 1994, Lehto, 1997).

### **14.3 Radioaktiivisten jätteiden hävittämistä koskevat ohjeet**

Säteilyturvakeskuksen ST-ohjeessa 6.2, Radioaktiiviset jätteet ja päästöt annetaan radioaktiivisia jätteitä ja niiden hävittämistä koskevia ohjeita. Kiinteä jäte voidaan käsitellä kuten tavanomaiset laboratoriojätteet, jos siinä on beeta- tai gammasäteilyä lähettävien radionuklidien aktiivisuus enintään 10 kBq kilogrammassa ja alfasäteilyä lähettävien radionuklidien aktiivisuus enintään 1 kBq kilogrammassa.

Kiinteä vähäaktiivinen jäte voidaan toimittaa kaatopaikalle tai jätteenpoistolaitokseen, jos yhdessä jätepakkauksessa oleva aktiivisuus on enintään  $2,5 \text{ ALI}_{\text{min}}$  ja annosnopeus pakkauksen pinnalla on enintään  $5 \text{ } \mu\text{Sv}$  tunnissa. ALI tarkoittaa vuosisaantorajaa (Annual Limit on Intake).  $\text{ALI}_{\text{min}}$ -arvot kuvaavat kyseisen radionuklidin pienintä vuosisaantorajaa ja ne on määritetty erikseen jokaiselle radionuklidille.  $\text{ALI}_{\text{min}}$ -arvot eri radionuklideille on esitetty Säteilyturvakeskuksen ST-ohjeessa 6.2 ([www.stuk.fi/saannosto/ST6-2.html](http://www.stuk.fi/saannosto/ST6-2.html)).

Viemäriverkkoon päästettävien jätteiden aktiivisuus saa olla yhdellä kerralla päästettäessä enintään  $2,5 \text{ ALI}_{\text{min}}$ , mutta ei kuitenkaan suurempi kuin 100 MBq. Päästettäessä radioaktiivisia aineita ulkoilmaan on päästöt rajoitettava niin, että enimmäiskonsentraatio päästöaukon välittömässä läheisyydessä on enintään yksi sadasosa säteilyöntekijän hengitysilmaille johdetusta konsentraatorajasta. Kyseinen konsentraatoraja lasketaan jokaiseen tilanteeseen erikseen ottaen huomioon annosmuuntokertoimet, aineen kemiallinen muoto ja päästettävien hiukkasten koko.

Ohjeet koskevat normaalitilanteessa syntyviä radioaktiivisia jätteitä. Onnettomuustilanteessa, varsinkin sen ollessa laaja-alainen, voidaan antaa erilaisia ohjeita puhdistustoimenpiteissä syntyneiden jätteiden käsittelyyn ja hävittämiseen.

## **14.4 Puhdistustoimenpiteissä syntyvien jätteiden käsittely**

### **Nestemäiset jätteet**

Pesuun käytetyt vedet voi joissain tapauksissa olla mahdollista kerätä talteen, mutta käytännössä tämä voi usein olla vaikeaa tai mahdotonta, jolloin vesi valuu muun jäteveden mukana viemäriverkostoon. Jos nestemäisen jätteen kerääminen on mahdollista, sen tilavuutta voidaan pienentää suodatusmenetelmillä (Andersson 1996, Ulvsand 1997).

Nestemäisten radioaktiivisten jätteiden tiivistämiseen voidaan käyttää muun muassa ioninvaihtoa, mekaanista suodatusta (Andersson 1996, Ruokola ym. 2004), haihdutusta, kemiallista saostusta, sentrifugointia, ultrasuodatusta, käänteistä osmoosia ja polttoa (Ruokola ym. 2004). Mekaaniseen suodatukseen on käytännössä käytetty polymeerikuitutekstiiliä jonka huokoskoko on 0,14 mm (Andersson 1996).

### **Lumi**

Radioaktiivisesti saastunut lumi voidaan mahdollisesti hävittää mereen (Andersson 1996, Severa ja Bár 1991, Ulvsand 1997), jossa syntyvä radioaktiivisten aineiden pitoisuus on usein merkityksetön (Andersson 1996). Keski- ja matala-aktiivisten jätteiden upotus meriin on ollut yleinen käytäntö vielä parikymmentä vuotta sitten (Ruokola ym. 2004), mutta vuonna 1994 radioaktiivisten jätteiden upottaminen meriin kiellettiin kansainvälisellä sopimuksella (IAEA 1994c). Länsimaat lopettivat sen jo vuonna 1983 ja Neuvostoliitto/Venäjä 1990-luvun alkupuolella.

### **Kiinteät jätteet**

Kiinteän radioaktiivisen jätteen määrä voi olla hyvin suuri kun puhdistetaan laajoja maa-alueita. Onnettomuustilanteessa on usein käytännöllisintä ja edullisinta hävittää jäte puhdistettavan alueen läheisyyteen, eikä lähteä kuljetta-  
maan sitä kaukana oleville sijoituspaikoille (Andersson 1996, Ulvsand 1997). Kiinteiden radioaktiivisten jätteiden tilavuutta voidaan pienentää polttamalla, kokoonpuristamalla, paloittelemalla, sulattamalla (Ruokola ym. 2004) tai lahot-  
tamalla (Sinkko 2005).

Kiinteän jätteen sijoituspaikka voidaan rakentaa maansiirtotoimilla (Andersson 1996, Ulvsand 1997). Sijoitettaessa radioaktiivisia jätteitä maaperään tai maanpinnan yläpuolisiin kumpuihin on pohjaveden saastuminen estettävä rakentamalla sijoituspaikkojen ympärille ojituksia (Lehto ja Paajanen 1994, Andersson 1996).

### **Kiinteiden radioaktiivisten jätteiden polttaminen**

Polttaminen ei tuhoa jätteen radioaktiivisuutta vaan osa siitä jää tuhkaan ja osa leviää ympäristöön savukaasujen mukana. Tästä syystä polttaminen ei yleensä sovellu radioaktiivisten jätteiden hävittämiseen. Mahdollinen biologisten jätteiden poltto riippuu jätteiden radioaktiivisuudesta sekä siitä millaisessa polttolaitoksessa ne poltetaan. Säteilyaltistuksen kannalta merkittävät polttoaineissa olevat radionuklidit päätyvät poltossa tuhkaan (Vetikko ym. 2004). Radioaktiivisen tuhkan käsittelystä on annettu ohjeita Säteilyturvakeskuksen ST-ohjeessa 12.2, Rakennusmateriaalien ja tuhkan radioaktiivisuus (2003).

Tuhkalle on asetettu toimenpidearvot, joiden tarkoituksena on rajoittaa tuhkan radioaktiivisuudesta aiheutuvaa säteilyaltistusta (ST 12.2, 2003). Toimenpidearvot on asetettu erikseen tuhkan erilaista käyttöä varten, ja ne löytyvät Säteilyturvakeskuksen ST-ohjeesta 12.2. Esimerkiksi tuhkan käsittelystä työntekijälle aiheutuvan säteilyaltistuksen toimenpidearvo on 1 mSv vuodessa. Tuhkan radioaktiivisuus on tarpeen mitata, jos on perusteltua epäillä, että siitä voi aiheutua toimenpidearvoa suurempi säteilyannos (Vetikko ym. 2004). Toimenpidearvon mahdollisen ylittymisen arviointiin voidaan käyttää aktiivisuusindeksiä, joka lasketaan materiaalista mitatuista radioaktiivisten aineiden aktiivisuuspitoisuuksista. Jos tuhkan käsittelystä laskettu aktiivisuusindeksi on pienempi tai yhtä suuri kuin 1, ei tuhkan käsittelystä aseteta radioaktiivisuuden johdosta rajoituksia. Jos aktiivisuusindeksi on suurempi kuin 1, tuhkan käsittelyssä tulee työntekijöiden suojelusta huolehtia Säteilyturvakeskuksen ST-ohjeen 12.1, Säteilyturvallisuus luonnonsäteilylle altistavassa toiminnassa ([www.stuk.fi/saannosto/ST12-1.html](http://www.stuk.fi/saannosto/ST12-1.html)), mukaisesti. Jos tuhkan käsittelystä laskettu aktiivisuusindeksi on pienempi tai yhtä suuri kuin 1, voidaan tuhka radioaktiivisuutensa puolesta sijoittaa valvotulle kaatopaikalle (ST 12.2, 2003).

## **14.5 Jätteiden sijoittamisen suunnittelu**

Normaalitilanteessa, kun radioaktiivisten jätteiden loppusijoituspaikan valitsemiseen ja jätteidenkäsittelylaitoksen suunnitteluun on aikaa, suunnittelussa otetaan huomioon maantieteelliset, ekologiset, rakenteelliset ja sosiaaliset tekijät ja tutkimukset, säätekijät ja turvallisuusanalyysit (Lehto ja

Paajanen 1994, Lehto 1997). Onnettomuustilanteessa suuria määriä radioaktiivista jätettä on hävitettävä ja sijoitettava nopeasti, jolloin myös jätteiden sijoituspaikat on valittava nopeasti käyttäen hyväksi valmiina olevia tietoja alueista. Jätteiden kuljetus, hävittäminen tai sijoittaminen täytyy myös pystyä tekemään jo valmiina olevilla laitteilla. Tällöin esimerkiksi mahdollisuus sijoittaa jätteet peruskallioon tai betonikaivantoihin on todennäköisesti hyvin rajoitettua (Lehto ja Paajanen 1994).

Jos radioaktiivisen jätteen loppusijoituspaikkoja ei ole olemassa, täytyy jäte sijoittaa väliaikaisesti säilytyspaikkoihin. Tshernobylin ydinvoimalaitos-onnettomuuden jälkeen vuonna 1986 suuri määrä radioaktiivisia jätteitä täytyi hävittää nopeasti, eikä loppusijoituspaikkoja ollut olemassa. Jätteet varastoitettiin maanpinnalle kumpuihin, jotka peitettiin ensin polyetyleenikalvolla ja sen jälkeen vielä puhtaalla maa-aineksella. Kumpujen pohjat vuorattiin niin että nesteet eivät pääse valumaan ympäristöön (Lehto ja Paajanen 1994, Lehto 1997).

## 14.6 Jätteiden sijoittaminen

### Maaperäsijoitus

Jätteiden hautaamista maaperään on käytetty yleisesti normaalin yhdyskunta-jätteen hävittämiseen, ja sitä on käytetty monissa maissa myös radioaktiivisen jätteen hävittämiseen (Lehto ja Paajanen 1994, Lehto 1997). Radioaktiivinen jäte haudataan maaperään kaivettuun jätekaivantoon (Severa ja Bár 1991, Lehto ja Paajanen 1994, Andersson 1996, Lehto 1997, Ulvsand 1997). Kaivannot ovat yleensä laakeita kaivantomaisia kuoppia, joiden seinämien kaltevuus on 45°–90° riippuen maa-aineksen ominaisuuksista. Kaivannon pohja on yleensä pohjavesitason yläpuolella. Päälystetyn kaivannon pinta voi olla maanpinnan korkeudella tai muodostaa kummun sen yläpuolelle (Lehto ja Paajanen 1994, Lehto 1997). Kaivanto voidaan peittää savikerroksella, joka estää sadeveden, pintaveden, eläinten ja kasvien juurten tunkeutumisen jätteisiin (Severa ja Bár 1991, Lehto ja Paajanen 1994, Lehto 1997). Savikerros voidaan suojata eroosiota vastaan peittämällä se maakerroksella ja kylvämällä siihen heinää (Lehto ja Paajanen 1994, Lehto 1997).

### Pintakummut

Radioaktiiviset jätteet voidaan sijoittaa myös maanpinnan yläpuolella oleviin kumpuihin (Severa ja Bár 1991, Lehto ja Paajanen 1994, Andersson 1996, Lehto 1997, Ulvsand 1997). Tämä voidaan tehdä yksinään tai se voidaan yhdistää

maaperään kaivettuihin jätekaivantoihin (Lehto ja Paajanen 1994). Jättekumpu voidaan rakentaa esimerkiksi kahden luonnollisen kukkulan väliin (Andersson 1996, Ulvsand 1997). Alueilla, jotka eivät sovellu hyvin jätteiden hautaamiseen esimerkiksi korkean pohjaveden pinnan vuoksi, voi jätteiden sijoittaminen maan pinnalla oleviin kumpuihin olla turvallisempi vaihtoehto kuin niiden hautaaminen maaperään. Kumpuun sijoitetut radioaktiiviset jätteet vaativat voimakkaan suojan tuulta, pintavettä, sadetta ja muita ulkoisia tunkeutujia vastaan. Suojina voidaan käyttää esimerkiksi soraa, kiviä tai vastaavia materiaaleja. Kummun vuoraamiseen on monia vaihtoehtoja. Siihen käyvät esimerkiksi savi, asfaltti ym., riippuen maa-aineksen ominaisuuksista ja kosteudesta sekä ilmaston tyypistä (Lehto ja Paajanen 1994, Lehto 1997).

### **Luonnolliset laaksot ja syvänteet**

Sopivan geologisen rakenteen omaavia laaksoja ja syvänteitä on käytetty erityisesti uraanikaivosten mineraalijätteiden sijoittamiseen. Niitä voidaan käyttää myös hätätilanteessa, jossa suuri määrä kiinteää matala-aktiivista jätettä täytyy saada hävitettyä. Tarvittaessa syvänteen pohja ja seinämät on tasoitettava, tiivistettävä ja vuorattava huonosti läpäisevällä kerroksella, esimerkiksi savella tai savipitoisella maalla. Täytetty syvänteen on peitettävä sopivalla materiaalilla (Lehto ja Paajanen 1994, Lehto 1997).

### **Vanhat kaivokset ja kuopat**

Maanalaisiin kaivoksiin tai avoimiin kuoppiin voidaan sijoittaa suuria määriä matala-aktiivista radioaktiivisten aineiden siivouksessa syntynyttä jätettä. Kaivoskuilut ja avoimet kuopat sijaitsevat yleensä syvällä normaalin pohjavesirajan alapuolella. Kuiluihin pääsee yleensä kosteutta ja vettä peruskalliossa ja kaivoskuilujen seinissä olevien halkeamien kautta, joten kuilujen tiivistämiseen ja jätteiden sijoittamiseen joudutaan usein käyttämään erikoistekniikoita. Yleensä vanhojen kaivosten käyttäminen radioaktiivisen jätteen sijoituspaikaksi vaatii ennalta huolellisia geologisia ja hydrogeologisia tutkimuksia (Lehto ja Paajanen 1994, Lehto 1997).

### **Peruskallioluolat**

Matala- ja keskiaktiivisen ydinjätteen sijoittamista peruskallioon tehtyihin luoliin ja tunneleihin on tutkittu ja suunniteltu monissa maissa. Suomessa on Olkiluodossa käytössä ydinvoimalajätteiden sijoittamiseen peruskallioluola, jonka yläosa sijaitsee 60 metriä maanpinnan alapuolella. Ydinonnettomuus-tilanteessa syntyvistä jätteistä konsentroidut pesuedet, lietteet ja tuhkat voitaisiin sijoittaa peruskallioluoliin, jos niitä on käytettävissä. Muuntyyp-

pisten jätteiden, kuten saastuneen maa-aineksen, sijoittaminen peruskallioon olisi kuitenkin todennäköisesti kalliimpi vaihtoehto kuin niiden hautaaminen maaperään tai sijoittaminen maanpäällisiin kumpuihin (Lehto ja Paajanen 1994, Lehto 1997).

## **15 Elintarviketeollisuuslaitosten jätteiden- käsittelymenetelmien soveltuminen radioaktiivisten jätteiden käsittelyyn**

Säteilytilannetta seuraavien elintarviketeollisuuden puhdistustoimenpiteiden seurauksena syntyvä jäte on käytännössä kaikki radioaktiivista. Kaikki jäte, joka on mahdollista kerätä talteen, olisi kerättävä. Käytännössä todennäköisesti kaiken muun paitsi puhdistukseen käytetyn veden kerääminen onnistuisi. Jätettä on paljon, joten laitoksen alueelle olisi mitä ilmeisimmin järjestettävä ylimääräisiä jätelavoja tai muita jätteidenkeräyspaikkoja. Jätteet tulisi kerätä niin, että niissä oleva radioaktiivisuus ei pääse leviämään ympäristöön ja puhdistustoimenpiteitä suorittavien työntekijöiden säteilyturvallisuus säilyy. Jätelavat olisi pystyttävä peittämään.

Puhdistukseen käytetyn veden kerääminen talteen on käytännössä todennäköisesti mahdotonta, joten vesi valuu todennäköisesti normaalin jäteveden tapaan viemäriverkkoon. Laitosten ulkopintojen puhdistukseen käytetty vesi valuu ja imeytyy maahan, jollei pihalla ole viemäreitä joihin vesi voidaan ohjata. Veden ohjaaminen viemäriin, jos se vain on mahdollista, on suositeltavaa, koska tällöin voidaan vähentää radioaktiivisen saasteen leviämistä laitoksen ympäristöön.

Säteilyturvakeskuksen ST-ohjeessa 6.2 annetaan ohjeita radioaktiivisten jätteiden hävittämiseen sekä aktiivisuusraja-arvoja, joiden mukaan hävittämistapa valitaan. Jätteiden radioaktiivisuus olisikin mitattava ennen niiden hävittämistä, jotta saadaan selville tarvitaanko normaalista poikkeavia jätteenkäsittelytoimenpiteitä.

Tilanteessa, jossa radioaktiivista jätettä on paljon ja jätteen radioaktiivisuus on korkea, eivät elintarviketeollisuuden normaalisti käyttämät jätteiden keräys- ja hävitysmenetelmät riitä puhdistustoimenpiteissä syntyvien jätteiden käsittelyyn. Säteilytilanteessa viranomaiset voivat antaa tilanteen mukaan erilaisia ohjeita radioaktiivisten jätteiden käsittelystä ja hävittämisestä.



## Kirjallisuusviitteet

Aakko K, Asikainen M, Hänninen R, Paile W, Rantavaara A, Saxén R, Tikkinen J, Varjoranta T. Säteilyvaaratilanne. Kirjassa: Holopainen M (toim.). Ympäristöterveyden erityistilanteiden opas. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2000:4. Helsinki: Sosiaali- ja terveysministeriö; 2000. s. 119–165.

Aakko K, Salomaa S. Säteilyvaaratilanteet ja suojautuminen. Kirjassa: Pöllänen R (toim.). Säteily ympäristössä. Säteily- ja ydinturvallisuus 2. Helsinki: Säteilyturvakeskus; 2003. s. 351–370.

Andersson KG. Evaluation of early phase nuclear accident clean-up procedures for Nordic residential areas. NKS/EKO-5 (96) 18. NKS. Roskilde: Risø National laboratory; 1996.

Arpiainen M, Salo S, Wirtanen G. Pesut mikrobien poistajana prosessipinnoilta. Kirjassa: Wirtanen G (toim.). Laitehygieniä elintarviketeollisuudessa. Hygienia-ongelmien ja *Listeria monocytogenes* hallintakeinot. VTT Publications 480. Espoo: VTT; 2002. s. 107–113.

Autio T, Hielm S, Miettinen M, Sjöberg AM, Aarnisalo K, Björkroth J, Mattila-Sandholm T, Korkeala H. Sources of *Listeria monocytogenes* contamination in a cold-smoked rainbow trout processing plant detected by pulse-field gel electrophoresis typing. Applied and Environmental Microbiology 1999; 65: 150–155.

Chisti Y, Moo-Young M. Clean-in-place systems for industrial bioreactors: design, validation and operation. Journal of Industrial Microbiology 1994; 13: 201–207.

Cotton LN, White CH. *Listeria monocytogenes*, *Yersinia enterocolitica* and *Salmonella* in dairy plant environments. Journal of Dairy Science 1992; 75: 51–57.

Elintarvikehuollon ydinlaskeumatyöryhmän mietintö. Puolustustaloudellinen suunnittelukunta; 1988.

Elintarvikelakityöryhmän muistio. Työryhmämuistio MMM 2004:16. Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriö; 2004. <[http://www.mmm.fi/tiedoteliitteet/tr2004\\_16.pdf](http://www.mmm.fi/tiedoteliitteet/tr2004_16.pdf)>

Eriksson Å. Maatalouteen ja elintarvikkeisiin kohdistuva uhka. Suomen Eläinlääkärilehti 1986; 92: 304–311.

Euranos [homepage on the Internet]. European approach to nuclear and radiological emergency management and rehabilitation strategies. Research project under the European Commission's 6th Framework Programme, EURATOM Research and Training Programme on Nuclear Energy (2002–2006), contract no. FI6R-CT-2004-508843 [updated 2005 April]. <<http://www.strategy-ec.org.uk/EURANOS/euranos.htm>>

FAO. Radioactive fallout in soils, crops and food. Rome: FAO soils bulletin 1989; 61.

Fetter SA, Tsipis K. Catastrophic releases of radioactivity. Scientific American 1981; 244: 33–39.

Fonnesbech Vogel B, Huss HH, Ojeniyi B, Ahrens P, Gram L. Elucidation of *Listeria monocytogenes* contamination routes in cold-smoked salmon processing plants detected by DNA-based typing methods. Applied and Environmental Microbiology 2001; 67: 2586–2595.

Hauser G, Curiel GJ, Bellin H-W, Cnossen HJ, Hofmann J, Kastelein J, Partington E, Peltier Y, Timperley AW. Hygienic equipment design criteria. EHEDG Document 8. 2<sup>nd</sup> ed. EHEDG; 2004.

Hayes PR. Food microbiology and hygiene. 2<sup>nd</sup> ed. Chapman & Hall; 1995.

Heponeva M. Puhdistusohje. TVO ohje, tunnus 104446. Teollisuuden Voima Oy; 2004.

Honkamaa T, Hämäläinen M, Kainulainen E, Martikka E, Nikkinen M, Varjoranta T. Ydinmateriaalivalvonta kansainvälisen asevalvonnan edelläkävijänä. Kirjassa: Sandberg J (toim.). Ydinturvallisuus. Säteily- ja ydinturvallisuus 5. Helsinki: Säteilyturvakeskus; 2004. s. 321–353.

Hänninen R. Säteilytilanteen aiheuttamat uhkat elintarvikehuollolle. Alueellisen maanpuolustuskurssin täydennyskurssi: päivittäistavarahuolto, suurkeittiöiden varautuminen ja elintarvikehuollon valmius. 9.11.2004, luentokalvot.

Hänninen R. Suojautuminen säteilytilanteessa. NBC - koulutus ensivaiheen toimijoille. Pelastusopisto, Kuopio, 17.03.2005, luentokalvot.

IAEA. Principles and techniques for post-accident assessment and recovery in a contaminated environment of a nuclear facility. IAEA Safety guides. IAEA Safety Series No. 97. IAEA, Vienna; 1989.

IAEA. Classification of radioactive waste. A safety Guide. IAEA Safety Series No. 111-G-1.1. IAEA, Vienna; 1994a. <[http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub950e\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub950e_web.pdf)>

IAEA. Guidelines for Agricultural Countermeasures Following Accidental Release of Radionuclides, A joint undertaking by the IAEA and FAO. IAEA Technical Reports Series No. 363. IAEA; 1994b.

IAEA. The Annual Report for 1994. IAEA; 1994c. <<http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep94/anr9404.html>>

IAEA. Near surface disposal of radioactive waste: safety requirements. IAEA Safety Standards Series No. WS-R-1. IAEA; 1999. <[http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/P073\\_scr.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/P073_scr.pdf)>

ICRP. Radiological protection policy for the disposal of radioactive waste. Annals of the ICRP. ICRP publication 77. ICRP; 1998.

Ikäheimonen TK. Determination of transuranic elements, their behaviour and sources in the aquatic environment. Dissertation, Faculty of Science, University of Helsinki. STUK-A194. Helsinki: Säteilyturvakeskus, Helsinki; 2003. <<http://ethesis.helsinki.fi/julkaisut/mat/kemia/vk/ikaheimonen/determin.pdf>>

Ilmatieteen laitos [kotisivu internetissä, päivitetty toukokuu 2005]. <<http://www.ilmatieteenlaitos.fi>>

Jones B. Ydinaseiden vaikutukset kotieläimiin ja elintarvikkeisiin. Suomen Eläinlääkärilehti 1986; 92: 312–318.

Jones B-EV. Management methods of reducing radionuclide contamination of animal food products. The Science of the Total Environment 1993; 137: 227–233.

Jormanainen A. Suullinen tiedonanto. HK Ruokatalo, Vantaa, 16.2.2005.

Jouve A, Schulte E, Bon P, Cardot AL. Mechanical and physical removing of soil and plants as agricultural mitigation techniques. *The Science of the Total Environment* 1993; 137: 65–79.

Kalahygienia. Eläinlääkintölainsäädäntö. Maa- ja metsätalousministeriön asetus nro 16/EEO/2000, 2000.

Kaukonen A-L. Meijerin siivous. *Siivoussektori* 1985; (6): 41-42.

Kivelä T. Easier cheese mould cleaning by ultrasonics. *Scandinavian Dairy Information* 1996; 10 (1): 34–35.

Laki eläimistä saatavien elintarvikkeiden elintarvikehygieniasta. Suomen säädöskokoelma 1996, (1195).

Lehtinen M-L. Puhtaanpidon huomioonottaminen elintarvikehuoneistojen suunnittelussa eli miten luodaan olosuhteet, joissa työtä voi tehdä puhtaasti ja vaivattomasti. *Elintarvike ja Terveys* 1998: (1): 31–32.

Lehto J. Novel methods for reclamation of contaminated soil. In: Lehto J (ed). *Cleanup of large radioactive-contaminated areas and disposal of generated waste. Final report of the KAN2 project. TemaNord 1994:567. Copenhagen: The Nordic Council of Ministers; 1994. p. 132–135.*

Lehto J. Management and disposal of radioactive waste from clean-up operations. In: Strand P, Skuterud L, Melin J (eds). *Reclamation of contaminated urban and rural environments following a severe nuclear accident. NKS (97) 18. Risø: Nordic Nuclear Safety Research; 1997. p. 117–133.*

Lehto J, Paajanen A. Review of cleanup of large radioactive-contaminated areas. In: Lehto J (ed). *Cleanup of large radioactive-contaminated areas and disposal of generated waste. Final report of the KAN2 project. TemaNord 1994:567. Copenhagen: The Nordic Council of Ministers; 1994. p. 3–21.*

Lihahygienia. Eläinlääkintölainsäädäntö. Maa- ja metsätalousministeriön asetus nro 16/EEO/2001, 2001.

Lindhé JC. Radiation protection and safety of workers. In: Strand P, Skuterud L, Melin J (eds). Reclamation of contaminated urban and rural environments following a severe nuclear accident. NKS (97) 18. Risø: Nordic Nuclear Safety Research; 1997. p. 134–145.

Linnunmunien hygieniavaatimukset (Munahygieniapäätös). Eläinlääkintölainsäädäntö. Maa- ja metsätalousministeriön päätös 4/EEO/1998, 1998.

Lund G. Radiation and radiological protection. Östhammar: Strålskyddspoolen AB; 1992.

Lundén JM, Autio TJ, Korkeala HJ. Transfer of persistent *Listeria monocytogenes* contamination between food-processing plants associated with a dicing machine. Journal of Food Protection 2002; 65: 1129–1133.

Luotola J. Suljettujen prosessien puhdistus. Kehittyvä elintarvike 1998; (3): 13–15.

Maidon ja maitopohjaisten tuotteiden valmistukselle asetettavat hygieniavaatimukset (maitohygenia-asetus). Eläinlääkintölainsäädäntö. Maa- ja metsätalousministeriön asetus nro 31/EEO/2001, 2001.

Martikainen A. Elintarviketeollisuuden avoimien prosessien puhdistus. Kehittyvä Elintarvike 1998; (3): 16–17.

Matikkala M. Tuotantolaitoshygenia ja puhtaanapito. Elintarvike ja terveys 1998; (1): 25–28.

Meckbach R. Countermeasures in the urban environment. GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit; 1997. p. 1.1–2.16.

Miettinen MK, Björkroth KJ, Korkeala HJ. Characterization of *Listeria monocytogenes* from an ice cream plant by serotyping and pulse-field gel electrophoresis. International Journal of Food Microbiology 1999; 46: 187-192.

Munavalmisteille ja niiden valmistukselle asetettavat hygieniavaatimukset (Munavalmistepäätös). Eläinlääkintölainsäädäntö. Maa- ja metsätalousministeriön päätös nro 11/EEO/95, 1995.

Mustonen R, Aaltonen H, Laaksonen J, Lahtinen J, Rantavaara A, Reponen H, Rytömaa T, Suomela H, Toivonen H, Varjoranta T. Ydinuhkat ja varautuminen. STUK-A123. Helsinki: Säteilyturvakeskus; 1995.

NEA. Disposal of radioactive waste: review of safety assessment methods. A report of the Performance Assessment Advisory Group of the Radioactive Waste Management Committee OECD Nuclear Energy Agency. OECD; 1991. p. 15–23.

Niemi V-M. Siivousta ja puhtaanapitoa koskevat terveydensuojelusäännökset. Elintarvike ja Terveys 1998; (1): 4–9.

Paakkola O. Radioaktiivinen laskeuma ja elintarvikkeet. Helsinki: Huoltovarmuuskeskus; 1994. s. 90–124.

Paakkola O, Vuorinen A. Tshernobylin vaikutukset elintarvikevalvontaan. Sosiaalinen Aikakauskirja 1987; (2): 25–27.

Paile W. Säteilyvammat. Kirjassa: Paile W (toim.). Säteilyn terveysvaikutukset. Säteily- ja ydinturvallisuus 4. Helsinki: Säteilyturvakeskus; 2002. s. 49–63.

Pakkala P. Elintarvikehuoneistojen hygienia -riskit ja niiden ehkäisy. Elintarvike ja Terveys 1998; (1): 10–16.

Pakkala P. Elintarvikkeiden kemiallinen ja mikrobiologinen saastuttaminen. Ympäristö ja Terveys 2002; (8): 42–45.

Paloranta P. Laitoshygienia ja puhtaanapito maidonjalostusteollisuudessa. Ympäristö ja terveys 1984: 704–710.

Priester BS, Perepelyatnikov GP, Perepelyatnikov LV. Countermeasures used in the Ukraine to produce forage and animal food products with radionuclide levels below intervention limits after the Chernobyl accident. The Science of the Total Environment 1993; 137: 183–198.

Pritchard TJ, Flanders KJ, Donnelly CW. Comparison of the incidence of *Listeria* on equipment versus environmental sites within dairy processing plants. International Journal of Food Microbiology 1995; 26: 375–384.

Puhdistusohjelma ja puhtauden tarkkailuohjelma hygienialain mukaisessa laitoksessa. Eläinlääkintölainsäädäntö. Elintarvikeviraston ohje Dnro 662/32/03, 2003.

Pöllänen L, Ristonmaa S, Sandberg J, Vilkamo O. Varautuminen häiriöihin ja onnettomuuksiin ydinvoimalaitoksilla. Kirjassa: Sandberg J (toim.). Ydinturvallisuus. Säteily- ja ydinturvallisuus 5. Helsinki: Säteilyturvakeskus; 2004. s. 169–205.

Pöllänen R. Radioaktiiviset aineet, säteily ja ympäristö. Kirjassa: Pöllänen R (toim.). Säteily ympäristössä. Säteily- ja ydinturvallisuus 2. Helsinki: Säteilyturvakeskus; 2003. s. 11–34.

Ranta M. Leipomoiden puhtaanapito. Elintarvike ja Terveys 1996; (3-4): 102–105.

Rantavaara A. Radioaktiiviset aineet elintarvikkeissa. Ympäristö ja Terveys 1988: 208–215.

Rantavaara A. Radioaktiivinen laskeuma ja elintarvikkeet – voiko ruoan saastumista estää? Kotitalous 1991; (5-6): 37–39.

Rapila M. Käytännön näkemyksiä elintarvikehuoneistojen puhtaanapidosta. Elintarvike ja Terveys 2001; (5): 39-41.

Roed J. The Urban Environment. In: Strand P, Skuterud L, Melin J (eds). Reclamation of contaminated urban and rural environments following a severe nuclear accident. NKS (97) 18. Risø: Nordic Nuclear Safety Research; 1997. p. 1–17.

Romney AJD. Principles of cleaning. In: Romney AJD (ed). CIP: Cleaning in Place. 2<sup>nd</sup> ed. Cambridgeshire: Society of Dairy Technology; 1990. p. 1–6.

Ruokola E, Eloranta E, Hutri K-L, Tikkinen J. Radioaktiiviset jätteet. Kirjassa: Sandberg J (toim.). Ydinturvallisuus. Säteily- ja ydinturvallisuus 5. Helsinki: Säteilyturvakeskus; 2004. s. 269–318.

Rämä H. Suullinen tiedonanto. Vaasan & Vaasan Oy:n Kotkan tehdas, Kotka, tammikuu 2005.

Rørvik LM. *Listeria monocytogenes* in the smoked salmon industry. *International Journal of Food Microbiology* 2000; 62: 183–190.

Saarinen H. Suullinen tiedonanto. Helsingin mylly, Järvenpää, 24.2.2005.

Saarinen J. Elintarvikehuoneistojen puhtaanapito. *Elintarvike ja Terveys* 2001; (5): 34–38.

Saloniemi K. Ongelmalliset laitteet eri elintarviketeollisuuden aloilla. Kirjassa: Wirtanen G (toim.). *Laitehygieniä elintarviketeollisuudessa. Hygieniäongelmien ja *Listeria monocytogenes* hallintakeinot*. VTT Publications 480. Espoo: VTT; 2002. s. 36–42.

Saloniemi K, Wirtanen G. Laitteiden hygieenisesti ongelmalliset rakenteet ja erilaiset ratkaisumallit. Kirjassa: Wirtanen G (toim.). *Laitehygieniä elintarviketeollisuudessa. Hygieniäongelmien ja *Listeria monocytogenes* hallintakeinot*. VTT Publications 480. Espoo: VTT; 2002. s. 57–62.

Sandberg J, Paltemaa R. Ydin- ja säteilyfysiikan perusteet. Kirjassa: Ikäheimonen TK (toim.). *Säteily ja sen havaitseminen. Säteily- ja ydinturvallisuus 1*. Helsinki: Säteilyturvakeskus; 2002. s. 11–63.

Segal MG. Agricultural countermeasures following deposition of radioactivity after a nuclear accident. *The Science of the Total Environment* 1993; 137: 31–48.

Severa J, Bár J. *Handbook of radioactive contamination and decontamination. Studies in Environmental Science 47*. Czechoslovakia: Elsevier; 1991.

Sinkko K. Säteilyn peruskäsitteitä. *Ympäristö ja Terveys* 1988: 182–185.

Sinkko K. Henkilökohtainen tiedonanto. Säteilyturvakeskus, Helsinki, huhtikuu 2005.

Sirén K. Sisälle suojautuminen ulkoilman epäpuhtauksilta. *Ympäristö ja Terveys* 2002; (8): 28–29.

ST 6.2. Radioaktiiviset jätteet ja päästöt. Helsinki: Säteilyturvakeskus; 1999. <<http://www.stuk.fi/saannosto/ST6-2.html>>



ST 12.2. Rakennusmateriaalien ja tuhkan radioaktiivisuus. Helsinki: Säteilyturvakeskus; 2003. <<http://www.stuk.fi/saannosto/ST12-2.html>>

Strategy [homepage on the Internet]. Sustainable restoration and long-term management of contaminated rural, urban and industrial ecosystems. A multinational project funded by the European Commissions Fifth Framework programme (EURATOM), [updated 2005 April]. Strategy Countermeasures Templates, updated 2003. <<http://www.strategy-ec.org.uk/cms/countermsrs.htm>>

Säteilyturvakeskus [kotisivu internetissä, päivitetty toukokuu 2005]. <<http://www.stuk.fi/>>

Tamplin TC. Spray cleaning of vessels. In: Romney AJD (ed). CIP: Cleaning in Place. 2<sup>nd</sup> ed. Cambridgeshire: Society of Dairy Technology; 1990. p.122–152.

Terveydensuojeluasetus. Suomen säädöskokoelma 1994, (1280).

Thomas P. Hygiene management in food factories. Chadwick House Group Limited, [2001] p. 67–90.

Toivonen H, Lahtinen J. Äkillinen säteilyvaara – uhka ihmiselle ja ympäristölle. Suomen Lääkärilehti 1994: 700–706.

Ulvsand T. Early phase clean-up actions after nuclear accidents, guidelines for the planner. Final report of the Nordic Nuclear Safety Research Project EKO-5. NKS (97) FR8. NKS; 1997.

VAL 1.1. Säteilysuojelun toimenpiteet säteilyvaaratilanteessa. Helsinki: Säteilyturvakeskus; 2001.

Valmari T, Pöllänen R. Radioaktiiviset aineet ulkoilmassa. Kirjassa: Pöllänen R (toim.). Säteily ympäristössä. Säteily- ja ydinturvallisuus 2. Helsinki: Säteilyturvakeskus; 2003. s. 59–109.

Valmari T, Rantavaara A, Hänninen R. Radioaktiivisten aineiden siirtyminen päästöpilven kulkeumisen aikana tuotettaviin elintarvikkeisiin. STUK-A209. Helsinki: Säteilyturvakeskus; 2004.

Varastolaitosten hygieniavaatimukset (varastoasetus). Suomen säädöskokoelma 2001, (1077).

Vetikko V, Valmari T, Oksanen M, Rantavaara A, Klemola S, Hänninen R. Energiateollisuudessa syntyvän puutuhkan radioaktiivisuus ja sen säteilyvaikutukset. STUK-A200. Helsinki: Säteilyturvakeskus; 2004.

WHO. Terrorist threats to food: guidance for establishing and strengthening prevention and response systems. Food safety issues, Food Safety Department, World Health Organization; 2002.

Wilkins BT, Howard BJ, Desmet GM, Alexakhin RM, Maubert H. Strategies for deployment of agricultural countermeasures. *The Science of the Total Environment* 1993; 137: 1–8.

Willrodt C. Agrotechnical countermeasures to be applied before and during deposition of radioactive fallout. *The Science of the Total Environment* 1993; 137: 21–29.

Vilo P. Käytännön siivoustoimintaa elintarviketeollisuudessa: TLK:n teollisuuden siivous. *Elintarvikeylioppilas* 1987; (2): 46–49.

Wirtanen G. Ultraäänipuhdistustekniikka mikrobien tuhoamisessa. Kirjassa: Wirtanen G (toim.). Laitehygieniä elintarviketeollisuudessa. Hygieniäongelmien ja *Listeria monocytogenes* hallintakeinot. VTT Publications 480. Espoo: VTT; 2002. s. 113–125.

Vovk IF, Blagoyev VV, Lyashenko AN, Kovalev IS. Technical approaches to decontamination of terrestrial environments in the CIS (former USSR). *The Science of the Total Environment* 1993; 137: 49–63.

Vuori P. Dekontaminoinnin yleisohje. TVO ohje, tunnus 105770. Teollisuuden Voima Oy; 2004.

YVL 8.3. Radioaktiivisten jätteiden käsittely ja varastointi ydinvoimalaitoksessa. Helsinki: Säteilyturvakeskus; 1996. <<http://www.stuk.fi/saannosto/YVL8-3.html>>