



**MTTK**

**MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS**

**Tiedote 14/87**  
**Osa 1**

**TOIVO YLÄRANTA**  
Maanviljelyskemian ja -fysiikan osasto

**Radioaktiivinen laskeuma ja säteilyvalvonta**

**ARJA PAASIKALLIO**  
Keskuslaboratorio

**Radionuklidien siirtyminen viljelykasveihin**

MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS

TIEDOTE 14/87

Osa 1

TOIVO YLÄRANTA

Radioaktiivinen laskeuma ja säteilyvalvonta

ARJA PAASIKALLIO

Radionuklidien siirtyminen viljelykasveihin

Maanviljelyskemian ja -fysiikan osasto

Keskuslaboratorio

31600 JOKIOINEN

(916) 881 11

ISSN 0359-7652

## ESIPUHE

Tshernobylin reaktorionnettomuus 26.4.1986 varoitti meitä siitä vakavasta uhkasta, jonka radioaktiivinen laskeuma saattaa aiheuttaa elintarviketuotannolle. Reaktorionnettomuuden vaikutukset elinympäristöömme ja ihmisiin jäänevät vähäisiksi. Tilanne opetti kuitenkin, että meidän on entistä paremmin varauduttava torjumaan radioaktiivisten päästöjen vaikutukset maataloustuotannossa. Tämän vuoksi ylijohtaja Esko Poutiainen asetti 22.5.1986 työryhmän, jonka tehtävänä oli laatia tutkimustietoon perustuva kirjallinen selvitys radioaktiivisen laskeuman vaikutuksista maataloudessa ja peruselintarviketuotannossa sekä tehdä esitykset toimenpiteistä, joilla radioaktiivisen säteilyn vahingollisia vaikutuksia maataloudessa voitaisiin ennakolta ehkäistä tai lievittää.

Raportin tuli sisältää ainakin seuraavat asiakokonaisuudet:

- radionuklidien siirtyminen ravinto- ja rehuksveihin sekä eri tekijöiden vaikutukset siirtymän voimakkuuteen ja sadon käyttökelpoisuuteen,
- radionuklidien siirtyminen rehuista eläimiin ja eläintuotteisiin sekä vaikutukset eläinten terveyteen ja tuotantoon,
- riskirajat ihmisillä ja eläimillä mikäli mahdollista,
- suositukset toimenpiteistä, joilla radioaktiivisen laskeuman haittavaikutuksia maataloudessa ja elintarviketuotannossa voidaan ennakolta ehkäistä tai niitä lievittää,
- pahimmat tiedonpuutteet ja ehdotukset tutkimustehtävistä, joihin olisi lähitulevaisuudessa panostettava,
- ehdotukset valmiustason parantamiseksi maa- ja metsätalousministeriön alalla koskien tiedon hankintaa, neuvontaa ja tiedottamista.

Nyt valmistunut raportti on laadittu kolmena osana siten, että vanhempi tutkija Arja Paasikallio on käsitellyt radionuklidien siirtymistä ravinto- ja rehuksveihin, erikoistutkija Vappu Kossila radionuklidien siirtymistä rehusta eläimiin ja eläintuotteisiin sekä radionuklidien vaikutuksia eläinten terveyteen ja tuotantoon ja erikoistutkija Toivo Ylärinta radioaktiivista laskeumaa yleensä sekä ehdotuksia valmiustason parantamiseksi maa- ja metsätalousministeriön alalla koskien tiedon hankintaa, neuvontaa ja tiedottamista.

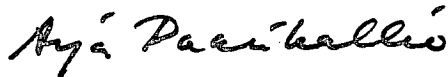
Raportin valmistelun aikana on maatalouden säteilysuojelukysymyksiä käsitelty monissa muissakin työryhmissä, joiden käyttöön osa raportin sisällöstä on

luovutettu. Hallitus on äskettäin julkaissut uusitut periaatteet valtion tiedotustoiminnassa. Hallituksen päätöksessä säännellään muun muassa erityistilanteiden ja poikkeusolojen tiedottaminen. Näin on pieni osa Tshernobylin reaktorionnettomuuden esilletuomista puutteista jo korjattu.

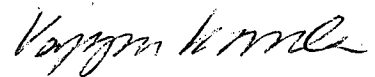
Jokioisissa toukokuun 27. päivänä 1987



Erikoistutkija, MMT Toivo Ylärinta  
työryhmän puheenjohtaja



Vanhempi tutkija, FL Arja Paasikallio



Erikoistutkija, MMT Vappu Kossila

Toivo Ylärinta

## **RADIOAKTIIVINEN LASKEUMA JA SÄTEILYVALVONTA**

	sivu
1. Radioaktiivista säteilyä aiheuttavat vaaratilanteet	1
2. Radioaktiivinen laskeuma	4
3. Radioaktiivisen säteilyn mittayksiköt	7
4. Radioaktiivisen säteilyn annosrajoitukset	9
5. Säteilyvalvonta, -tutkimus ja -tiedottaminen	12
5.1. Säteilyvalvonta	12
5.2. Maa- ja metsätalousministeriön tehtävät ohjeiden laadinnassa ja tiedotuksessa	16
5.3. Tutkimus ja koulutus	22
Kirjallisuusluettelo	26

## Radioaktiivinen laskeuma ja säteilyvalvonta

### 1. Radioaktiivista säteilyä aiheuttavat vaaratilanteet

Radioaktiivisten aineiden päästöt ilmakehään voivat aiheuttaa säteilyannoksia useita altistustaita pitkin. Tärkeimmät näistä ovat radioaktiivisesta pilvestä ja laskeumasta tuleva ulkoinen säteily sekä radioaktiivisen ilman hengittämistä ja saastuneen ravinnon nauttimisesta aiheutuva sisäinen altistus.

Säteilyvaaratilanteen voivat aiheuttaa ydinaseiden käyttö, ydinaseiden kuljetusonnettomuudet, ydinvoimalaonnettomuudet, käytetyn ydinpolttoaineen kuljetusonnettomuudet ja käytetyn ydinpolttoaineen jälleenkäsittelylaitokset.

YK:n pääsihteerin toinen ydinaseraportti valmistui heinäkuussa 1980. Se on julkaistu suomeksi nimellä "Kokonaistutkimus ydinaseista" (ANON. 1984a). Ydinasevarastojen kokonaisteho saattaa vastata miljoonaa Hiroshima-pommia, eli noin 13 miljardia tonnia trotyyliä. Ydinasevalloilla arvioidaan olevan strategisia ja taistelukentän käyttöön tarkoitettuja ydinaseita yhteensä noin 50 000, joiden yhteinen räjähdysvoima on noin 20 000 Mt.

Radioaktiivisen säteilyn vaaratilanteet on yleensä liitetty sekä strategisten että taktisten ydinaseiden käyttöön. Ydinvoimaloiden suuronnettomuusriski on yleensä arvioitu hyvin pieneksi. Konventionaalisten energiamuotojen hinnan jyrkkä kohoaminen, energian kulutuksen voimakas kasvu sekä havahtuminen elinympäristömme saastumisen vähentämispyrkimyksiin ovat lisänneet paineita ydinenergian lisääntyvään käyttöön sähköntuotannossa monissa maissa. Niinpä vuoden 1985 loppuun mennessä maapallolla oli toiminnassa 374 ja rakenteilla 157 ydinreaktoria (ANON. 1986a). Käytössä olevien ydinreaktorien sähköteho oli noin 250 000 MW.

Reaktoreita on useita tyyppjä, joista tärkeimmät ovat: kevytvesireaktorit, (kiehutusvesireaktorit, painevesireaktorit), raskasvesireaktorit, kaasujäähdytteiset reaktorit ja hyötöreaktorit. Arvioiden mukaan kevytvesireaktorit vastaavat 90 %:sta maapallon ydinvoimakapasiteettia vuonna 2000.

Ydinenergian turvallisen käytön epäilijöitä on riittänyt. Voimayhtiöt ja muut ydinenergian puolestapuhujat ovat joutuneet turvautumaan laajoihin tiedotuskampanjoihin luodakseen suurelle yleisölle ja päättäjille myönteisen kuvan ydinvoimaloiden turvallisuudesta sekä ydinvoimaloissa syntyvien radioaktiivisten jätteidien hallinnasta.

Niinpä muun muassa Suomen Atomiteknillinen Seura r.y. painotti vuonna 1979 ilmestyneessä vihkosessaan "Energiahuolto ja ydinenergia" (ANON. 1979): "Mahdollisuus suureen ydinvoimalaonnettomuuteen on olemassa ainoastaan sellaisessa tilanteessa, jossa reaktoria ei pystytä jäädyttämään eli poistamaan siitä lämpöä yhtä nopeasti kuin sitä reaktorin toiminnassa vapautuu" ja "Varsinaisen suuronnettomuuden mahdollisuudet supistuvat täten siis vain siihen tapaukseen, jossa jäädytyspiirissä oleva vesi menetetään jonkin vuodon tai laitoksen käytössä ilmenevän häiriön vuoksi ja että tätä menetystä ei pystytä riittävän nopeasti korvaamaan. Kaikki tällaiset tilanteet ovat hyvin epätodennäköisiä".

Totta lieneekin, ettei ydinvoimala voi räjähtää ydinpommin tavoin, vaan suuronnettomuuden vaikutukset laitoksen ympäristössä johtuvat onnettomuuden yhteydessä tapahtuvasta radioaktiivisten aineiden vuodosta. Tshernobylin reaktorionnettomuus vuoden 1986 huhtikuun lopulla osoitti, että ydinvoimaloiden suuronnettomuuksien todennäköisyysarviointi on melko turhaa niin kauan kuin ei ole järjestelmää, joka pystyy estämään ihmisen virheellisestä toiminnasta johtuvat onnettomuudet. Tshernobylin onnettomuushan tapahtui reaktorin tehon alasajotilanteessa, jolloin samanaikaisesti valmistauduttiin turbogeneraattorilla suoritettavaan kokeeseen. Operaattorit tekivät useita virheitä, joiden vuoksi reaktori joutui tilaan, jossa se ei ollut enää turvallisesti hallittavissa (PETROSYANTS 1986). Kun lisäksi lähes kaikki reaktorin automaattiset suojausjärjestelmät oli kytketty pois päältä eikä tietokonepohjaisen valvontajärjestelmän varoituksia ja toimintaohjeita otettu huomioon, karkasi reaktori lopulta täysin hallinnasta. Äkillistä reaktorin tehon nousua seuranneissa höyry- ja vetyräjähdyksissä ja tulipaloissa pääsi ilmaan suuret määrät radioaktiivisia aineita.

Ennen Tshernobylin reaktorionnettomuutta oli painotettu, että suurimman säteilyvaaran ympäristölle aiheuttavat radioaktiiviset kaasut (ksenon ja krypton) ja eräät matalassa lämpötilassa höyrystyvät aineet kuten radioaktiivinen jodi (esimerkiksi BLOMQUIST 1984). Tshernobylin reaktorionnettomuuden kaltaisessa tilanteessa, jossa hengitysilman radioaktiivisuus ja ulkoisen säteilyn tasot jäävät pieniksi lukuunottamatta reaktorin lähiympäristöä määrää onnettomuuden vakavuuden suuressa määrin sen vaikutus elintarviketuotantoon. Jos radioaktiivisen laskeuman saapuessa kasvukausi ei ole vielä alkanut tai se on aivan alkuvaiheessa, eivät lyhytikäiset radionuklidit kuten I-131 aiheuta suurta vaaraa elintarviketuotannolle. Tshernobylin opetuksen valossa on entistä enemmän kiinnitettävä huomiota sellaisiin elintarvikkeiden, elintarviketuotannon ja viljelymaan saastumisen kannalta pahoihin pitkäikäisiin saastenuklideihin kuten  $^{137}\text{Cs}$  ja  $^{90}\text{Sr}$ . Radioaktiivisen cesiumin ja strontiumin vaarat on tähän saakka liitetty lähes yksinomaan ydinaseräjähdyksen saastelaskeumiin.

Ydinvoimaloiden reaktorisydän sisältää suunnattomat määrät radioaktiivisia aineita. Esimerkiksi sähköteholtaan 1100 MW:n kiehutusvesireaktorin peruslataus on 149 uraanitonnia. Polttoainelatauksesta uusitaan vuosittain 1/3-1/5, joka sisältää 2,9 % fissiotuotteita, 0,9 % plutoniumia ja 0,07 % muita transuraaneja eli uraania raskaampia alkuaineita (HEINONEN ym. 1978). Esimerkin kiehutusreaktorista poistetaan vuodessa yli 1070 kg fissiotuotteita, 330 kg plutoniumia ja 25 kg muita transuraaneja. Verrattuna 20 kt:n  $^{235}\text{U}$ -räjähteen synnyttämään 1 kg:n fissiotuotemäärään on ydinvoimaloiden sisältämä radioaktiivisuus todella suuri.

Reaktorissa olevista radioaktiivisista aineista on valtaosa reaktorin käyttöolosuhteissa kiinteässä muodossa. Onnettomuusolosuhteissa todennäköisesti vain pieni osa radioaktiivisista aineista pääsee vapautumaan ympäristöön. Esimerkiksi Tshernobylin reaktorionnettomuudessa vain muutama prosentti reaktorisydämen kokonaisaktiivisuudesta vapautui.

Käytettyä, reaktorista poistettua, ydinpolttoainetta kuljetetaan useiden vuosien jäähtymisen jälkeen erityisissä kuljetusta varten suunnitelluissa kuljetussäiliöissä. Tällainen raskas, tukeva säiliö voi vaurioitua törmäyksessä, tulipalossa tai muussa onnettomuudessa kuljetuksen aikana siten, että radioaktiivisia aineita pääsee leviämään ympäristöön. Näin mahdollisesti syntyvä säteilyvaaratilanne rajoittuu todennäköisimmin paljon suppeammalle alueelle kuin ydinaseen käyttöä tai vakavasta ydinvoimalaonnettomuudesta syntyvä laskeuma.

Käytetyn ydinpolttoaineen jälleenkäsittelylaitoksessa saadaan halkeamatta jäänyt uraani ja plutonium erotetuksi muista aineosista. Lisäksi syntyy erityyppisiä ja aktiivisuudeltaan erilaisia jätteitä. Nykyinen suuntaus on saattaa nestemäinen korkea-aktiivinen jäte kiinteään olomuotoon, jonka aiheuttama riski ympäristölle on oikein varastoituna nykykäsitysten mukaan vähäinen. Jälleenkäsittelylaitosten toimintahäiriöt voivat aiheuttaa paikallisia säteilyvaaratilanteita. Tästä on esimerkkinä Sellafielldin laitos Pohjois-Englannissa. Jälleenkäsittelyteollisuuden kapasiteetti on taantunut huomattavasti viime vuosina. Niinpä maapallolla on toiminnassa vain muutamia käytetyn ydinpolttoaineen jälleenkäsittelylaitoksia.

Tshernobylin reaktorionnettomuuden vaikutukset elinympäristöömme ja ihmisiin jäänevät melko vähäisiksi. Tshernobyl-onnettomuus oli onni ihmiskunnalle siksi, että se herätti ihmiset ydinenergiaunestaan. Nyt uskotaan, että vakavakin ydinvoimalaonnettomuus on mahdollinen. Tilannetta pitäisi kuitenkin osata hyödyntää. Nyt on entistä helpompi vaatia ydinvoimaloiden toimintavarmuuden tehostamista sekä onnettomuusriskien minimointia. Nyt voimme saada lisätietoa siitä, missä



kohdin tutkimusta, koulutusta ja tiedottamista olisi parannettava vastaisen ydinvoimalaonnettomuuden varalta. Lienee myös paikallaan miettiä, miten käytännössä voimme tehostaa valmiustasoa säteilyvaaratilannetta varten.

## 2. Radioaktiivinen laskeuma

Fissiossa, jota käytetään hyväksi fissioräjähteissä ja ydinvoimaloissa, uraani-235 ( $^{235}\text{U}$ ) halkeaa kahteen osaan, jolloin lämmön ja säteilyn lisäksi syntyy fissiotuotteita.  $^{235}\text{U}$ :n lisäksi voidaan fissioräjähteessä käyttää plutonium-239:ää ( $^{239}\text{Pu}$ ) ja  $^{233}\text{U}$ :a. Kuitenkaan ei tiedetä yhtään fissioräjähdettä rakennetun uraani-233:sta. Ydinvoimaloissa syntyy säteilytyksen aikana luonnon uraanista ( $^{238}\text{U}$ ) plutoniumia, joista tärkein isotooppi on  $^{239}\text{Pu}$ . Uraanipolttoaineen säteilytyksen loppuvaiheessa saattaa kevytvesireaktorissa tuotetusta energiasta neljäsosa olla peräisin plutoniumin fissioista.

Fissiossa syntyy noin 80 primääristä radioaktiivista ydinlajia, radionuklidia, joista useimmat tuottavat radioaktiivisia "tyttäriä", sekundäärisiä fissiotuotteita. Fissiossa muodostuu suhteellisesti eniten tuotteita massalukujen 90 ja 105 sekä 130 ja 145 välillä. Kaikkiaan syntyy fissiossa 200-300 erityyppistä atomia, joista valtaosa on radioaktiivisia. Näiden puoliintumisaika vaihtelee sekunnin murto-osista kymmeneen vuosiin. Useimmat fissiotuotteista ovat varsin lyhytikäisiä, joten syntynyt radioaktiivisuus laskee nopeasti.

Kevyet atomit voivat liittyä toisiinsa hyvin korkeassa, noin sadan miljoonan asteen lämpötilassa. Tällöin muodostuu raskaampia atomeja ja vapautuu hyvin paljon ydinenergiaa. Ainoa radionuklidi, jota syntyy tai tarvitaan fuusiossa, on tritium, vedyn raskain isotooppi. Helpoimmin toteutettavissa olevassa fuusio-reaktiossa yhtyvät vedyn isotoopit deuterium ( $^2\text{H}$ ) ja tritium ( $^3\text{H}$ ) heliumiksi. Koska maapallon kaikki ydinvoimalat ovat fissiovoimaloita, käytetään fuusiota hyväksi vain ydinräjähteissä. Sytyttimenä käytettävä fissioräjähdde synnyttää edellä mainitut 200-300 radionuklidia. Sekä fissiossa että fuusiossa vapautuu neutroneja, jotka aktivoivat ympäristön alkuaineita radioaktiivisiksi.

Ydinaseiden vaikutuksista ja suojautumisen perusteista on annettu yleistietoja Suomen Väestönsuojelujärjestön kustantamassa kirjassa "Ydinaseet - vaikutukset ja suojautuminen" (PAAKKOLA ja MYLLYNIEMI 1977). Kun ydinräjähdys tapahtuu maan pinnassa tai suhteellisen lähellä sitä, höyrystyy osa maaperästä ja fissiotuotteet sekä ydinräjähteen höyrystyneet osat sekoittuvat keskenään. Radioaktiivisen pilven noustessa nostaa imu vielä lisää pölyä ja maata radioaktiiviseen pilveen. Osa sulassa tilassa olevista fissiotuotteista tarttuu pölyhiukkasten pintaan ja muodostuu suurehkoja hiukkasia. Fissiotuotteiden lisäksi voi maahiukkasiin kiin-

nittyä myös hiukkasia, joita on syntynyt maassa neutronien aktivoimina. Radioaktiiviset hiukkaset lähtevät kulkemaan tuulien mukana ja putoavat vähitellen maahan radioaktiivisena laskeumana.

Ne radioaktiiviset hiukkaset, joiden halkaisija on suurempi kuin 400  $\mu\text{m}$  eli 0,4 mm, putoavat pilvestä jo sen nousuvaiheessa räjähdysen nollapisteeseen. Hiukkaset, joiden koko on 40-400  $\mu\text{m}$ , laskeutuvat pääosiltaan ensimmäisen vuorokauden aikana ja muodostavat lähilaskeuman. Kevyempi aines kulkeutuu tuulten mukana ja samalla osa siitä laskeutuu alas. Vuorokaudessa radioaktiivista pölyä voi levitä satojenkin kilometrien päähän. Radioaktiivisen pölypilven kulkeutuminen on riippuvainen eri ilmakerroksissa vallitsevasta säästä, esimerkiksi tuulen suunnasta ja nopeudesta, ilmakehän stabiilisuudesta sekä sateesta. Kovalla tuulella päästöpilvi etenee nopeasti, mutta kuitenkin samalla hajaantuu ja laimenee tehokkaasti. Myös maanpinnan muoto vaikuttaa saastepilven kulkeutumiseen. Hienojakoisin radioaktiivinen pöly saattaa kiertää koko maapallon ympäri korkeissa ilmakerroksissa. Se laskeutuu hyvin hitaasti viikkojen ja kuukausien, jopa vuosien kuluessa. Megatonniluokan räjähteiden radioaktiivinen pilvi nousee tropopausiin (10-12 km) yläpuolelle stratosfääriin. Ydinasekokeista saatujen tietojen perusteella arvioidaan radioaktiivisten hiukkasten jäävän stratosfääriin 1/2-3 vuoden puoliintumisajalla. Suurin osa niistä putoaa 40-50 leveysasteiden välillä sillä pallonpuoliskolla, jossa räjähdys on tapahtunut.

Ydinräjähdyksessä syntyvä lähilaskeuma aiheuttaa ensimmäisten tuntien ja päivien aikana melkein yksinomaan ulkoisen säteilyvaaran. Sisäinen säteilyvaara lähilaskeumatilanteessa syntyy, jos suojaamattomat ihmiset tai eläimet hengittävät sisäänsä radioaktiivisia hiukkasia. Jos elintarvikkeita, vettä tai rehua on säilytetty niin, että radioaktiivinen pöly saastuttaa ne, voi sisäinen säteilyannos nousta huomattavan suureksi.

Radioaktiiviset aineet voivat kulkeutua kasviin joko suoraan laskeumasta lehvistön kautta tai maasta juuriston ottamana. Osa laskeuman alkuaineista voi myös kiinnittyä kasvin pintaan. Vuodenaika ja kasvukauden vaihe laskeuman saapuessa vaikuttavat ratkaisevasti siihen, mikä on kasvien suoran saastumisen osuus laskeumasta. Vuodenaika määrää pääasiassa myös sen, kuinka merkittävä säteilyannos saadaan ravinnon kautta lyhytikäisistä radionuklideista, esimerkiksi  $^{131}\text{I}$ :sta,  $^{89}\text{Sr}$ :sta ja nuklidiparista  $^{140}\text{Ba}$ - $^{140}\text{La}$ . Elintarvikkeiden saastumisen kannalta tärkeimmät fissiotuotteet ovat  $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  ja  $^{137}\text{Cs}$  (taulukko 1).

Radioaktiivisten päästöjen vaikutusta ihmisiin ja elinympäristöömme yleensä on vaikea ennustaa yksittäisissä tapauksissa. Vaikutusten arvioimiseksi on tehty erilaisia laskentamalleja. NORDLUND ym. (1985) ovat kehittäneet mallin ilmaan

Taulukko 1. Uraanin hajoamisessa, fissiossa, syntyvät elintarvikkeiden saastumisen kannalta tärkeimmät hajoamistuotteet (LEDERER ja SHIRLEY 1978).

Radionuklidi	Puoliintumisaika	Säteilylaji ja energiamaksimi, MeV
Strontium-89	50,6 päivää	$\beta^-$ 1,46
Strontium-90	28,8 vuotta	$\beta^-$ 0,55
Jodi-131	8,04 päivää	$\beta^-$ 0,61, 0,34 $\gamma$ 0,36, 0,64
Cesium-137	30,2 vuotta	$\beta^-$ 0,51
Cesium-134	2,06 vuotta	$\beta^-$ 0,66

joutuvien radiaktiivisten päästöjen kaukokulkeutumisen ja sen aiheuttamien säteilyannosten laskemiseksi. Annosteinä voidaan mallissa käsitellä suora ulkoinen säteily pilvestä ja maahan laskeutuneesta radioaktiivisuudesta, radioaktiivisen ilman hengityksen kautta aiheuttama altistus ja ravintoainetiet (maito, liha, vihannekset, vilja, juurekset).

Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen ydinvoimatekniikan laboratoriossa on kehitetty tietokoneohjelma ARANO (Assessment of Risks of Accidents and Normal Operation) (KAKKO ja PARTANEN 1984). Tämän ohjelman avulla arvioidaan radioaktiivisten päästöjen aiheuttamia säteilyannoksia ja niistä väestölle koituvia terveysvaikutuksia ja taloudellisia menetyksiä. ARANO-ohjelman nautinta-annosmallia AGRID voidaan käyttää ravinnon mukana tulevan aktiivisuuden aiheuttaman sisäisen säteilyannoksen laskentaan.

KAKKO ja PARTANEN (1984) tarkastelivat joidenkin esimerkkiajojen avulla saastuneen ravinnon aiheuttamien säteilyannoksien merkitystä radioaktiivisuuspäästön kokonaisannoksessa. Yleensä nautinta-annosreitti osoittautui tärkeäksi. Varsinkin pienien päästöjen tapauksissa, jotka eivät johda minkäänlaisiin annoksen rajoitustoimiin, ravinnon mukana tuleva annos voi olla jopa kolme neljäsosaa väestön kymmenien vuosien kuluessa saamasta kokonaisannoksesta. Suurien onnettomuuksien päästöissä väestölle kertyvää nautinta-annosta pienennettäisiin saastuneiden viljelymaiden tuotteille asetettavilla käyttörajoituksilla. Nämä toimenpiteet johtavat kuitenkin huomattaviin taloudellisiin menetyksiin.

### 3. Radioaktiivisen säteilyn mittayksiköt

Atomilajia, jota luonnehtivat tietty protoniluku  $Z$  ja nukleoniluku  $A$ , sanotaan nuklidiksi. Nuklidit voivat olla joko pysyviä tai pysymättömiä. Nuklidia, jonka elinikä on määritettävissä joko suoraan tai välillisesti, sanotaan radioaktiiviseksi. Radioaktiivinen hajoaminen on tilastollinen ilmiö. Tietyn radionuklidierän jokainen ydin on hajoamisessaan kaikista muista ytimistä riippumaton. Hajoamista ei siis voida nopeuttaa fysikaalisin keinoin. Hajoamisten lukumäärää aikayksikössä sanotaan kyseisen näytteen aktiivisuudeksi ( $A$ ):

$$A = e^{-\lambda t} A_0 \frac{1}{s}, \text{ missä}$$

$A_0$  = lähteen aktiivisuus alkuhetkellä  $t = 0$

$\lambda$  = hajoamisvakio

Radioaktiivisen hajoamisen nopeuden ilmoittamiseen käytetään usein puoliintumisaikaa ( $T_{1/2}$ ).  $T_{1/2}$  on se aikaväli, jonka kuluessa näytteet aktiivisuus vähenee puoleen, joten aktiivisuus

$$A = 2^{-t/T_{1/2}} A_0$$

Fysikaalisen puoliintumisajan  $T_{1/2}$  lisäksi on käytössä käsitteet biologinen ja efektiivinen eli tehollinen puoliintumisaika ( $T_{1/2b}$  ja  $T_{1/2e}$ ). Johonkin elimen kerääntyneen radioaktiivisen aineen määrä pienenee sekä fysikaalisen hajoamisen että elimen toiminnan kautta, niinpä

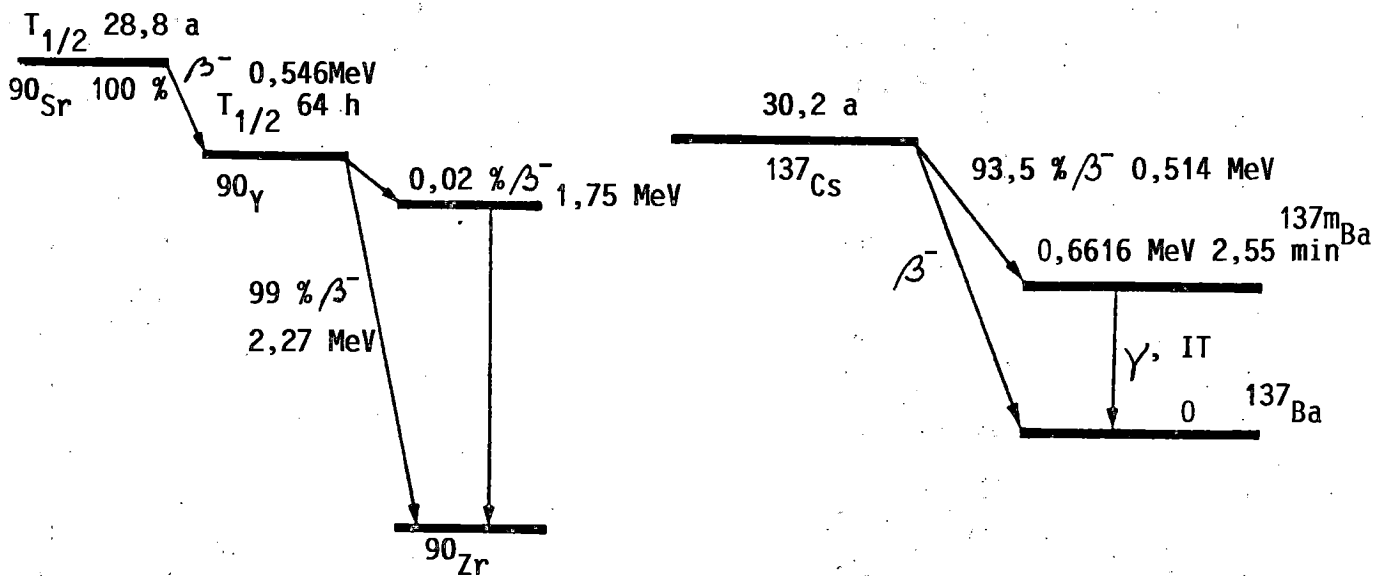
$$T_{1/2e} = \frac{T_{1/2} \cdot T_{1/2b}}{T_{1/2} + T_{1/2b}}$$

SI-järjestelmän mukainen radioaktiivisuuden yksikkö on becquerel, Bq. 1 Bq:n aktiivisuus on sillä ainemäärällä, jossa tapahtuu yksi ydinhajoaminen sekunnissa (taulukko 2). Yleensä se ilmoitetaan pinta-ala-, tilavuus- tai massayksikköä kohden (ANON. 1983a), esimerkiksi 1 Bq/m<sup>2</sup> (aktiivisuuskate  $A_s$ ), 1 Bq/m<sup>3</sup> (aktiivisuuskonsentraatio  $c_A$ ) tai 1 Bq/kg (ominaisaktiivisuus  $\alpha$ ). Vanha käytöstä poistuva radioaktiivisuuden yksikkö on curie, Ci.

$$1 \text{ Ci} = 3,700 \cdot 10^{10} \text{ Bq} = 37,00 \text{ GBq}$$

Hajotessaan ydin lähettää usein sekä hiukkasia että sähkömagneettista säteilyä eli gammakvantteja (kuva 1). Hiukkaset ovat joko alfa- ( $\alpha$ ) tai beetahiukkasia (negatroneja  $\beta^-$ ) tai positroneja ( $\beta^+$ ). Myös raskaan ytimen spontaani fissio eli halkeaminen kahdeksi keskiraskaaksi ytimeksi on mahdollinen. Alfahiukkasen muo-

dostavat kaksi protonia ja kaksi neutronia (= heliumatomin ydin). Beetahiukkasella ja positronilla on yhtä suuri varaus ja lepomassa kuin elektronilla. Nuklideja sanotaan niiden lähettämän säteilyn perusteella  $\alpha$ - ja  $\beta^-$ ,  $\beta^+$ - tai gamma-aktiivisiksi. Yksityiskohtaiset kuvaukset säteilystä, sen ominaisuuksista ja mittaamisesta käyvät ilmi muuan muassa Teknillisten Tieteiden Akatemia r.y.:n julkaiseman Instrumenttianalytiikka-sarjan osasta 6 "Säteilymittaukset" (KAHLOS ym. 1984).



Kuva 1.  $^{90}\text{Sr}$ :n ja  $^{137}\text{Cs}$ :n hajoamiskaavio.  $^{90}\text{Zr}$  ja  $^{137}\text{Ba}$  ovat stabiileja nuklideja (LEDERER ja SHIRLEY 1978).

Kun säteily kohtaa väliaineen, se absorboituu siihen kokonaan tai osittain riippuen säteilyn ja väliaineen välisistä vuorovaikutuksista. Elävässä kudoksessa absorboitunut säteilyn energia voi saada aikaan biologisia muutoksia. Säteilyn väliaineessa aiheuttaman ionisaation määrää mittaa suure, jota kutsutaan säteilytykseksi (taulukko 2). Absorboituneen energian määrää väliaineessa mittaa absorboitunut annos. Absorboituneen annoksen SI-yksikkö on gray (Gy,  $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$ ). Säteilyn terveydellisten haittavaikutusten riskiä kuvaa annoskvivalentti, jonka SI-yksikkö on sievert (Sv). Yksityisten radionuklidien vaarallisuus eläinkudoksessa riippuu niiden fysiologisista rikastusominaisuuksista, tehollisesta puoliintumisajasta ja nuklidin säteilyn laadusta. Raskaat energiarikkaat hiukkaset ovat vaarallisia, koska ne luovuttavat suuren energiamäärän lyhyelle matkalle.

Taulukko 2. Eräitä ionisoivaan säteilyyn liittyviä suureita ja yksiköjä (ANON. 1984a).

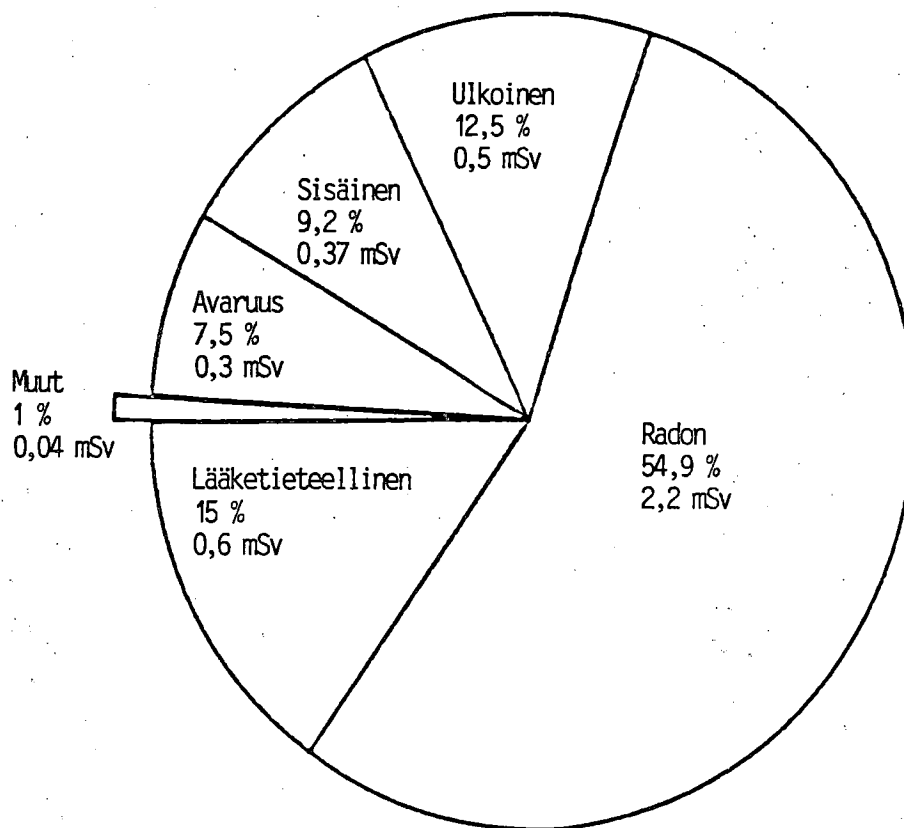
Suure	Määritelmä	Perinteellinen yksikkö	SI-yksikkö	Huomautuksia
Säteilytys	Gamma- tai röntgen-säteiden aiheuttaman ionisaation määrä kuivan ilman massayksikköä kohden	röntgen (R)	coulombia kilogrammaa kohden (C/kg)  1 C/kg = 3876 R	
Säteilyn voimakkuus tai annosnopeus	Säteilytys aikayksikköä kohden	röntgeniä tunnissa (R/h) tai sekunnissa (R/s)	ampeeria kilogrammaa kohden (A/kg)  1 A/kg = 3876 R/s	
Annos (absorboitunut annos)	Absorboivaa massayksikköä kohden absorboituneen energian määrä	rad 1 rad = 0,01 J/kg	gray (Gy) 1 Gy = 1 J/kg = 100 rad	1 R:n säteilytys vastaa noin 0,9 radin annosta ilmassa tai pintakudoksessa sekä noin 0,7 radia sisäkudoksissa (keskimääräinen koko kehon annos)
Annosnopeus	Annos aikayksikössä	radia tunnissa (rad/h) tai sekunnissa (rad/s)	graytä sekunnissa (Gy/s) 1 Gy/s = 100 rad/s	
Annosekvivalentti	Annos laskettuna eri säteilytyyppien suhteellisiin biologisiin vaikutuksiin nähden	rem	sievert (Sv)	Tämä suure on säteilysuojelun siviili-(rauhan ajan) standardien perustana. Ydinräjähdysten enimmänsäteilyn osalta on on annosekvivalentti reminä suunnilleen yhtä paljon kuin annos radina.

#### 4. Radioaktiivisen säteilyn annosrajoitukset

Eliöiden säteilyn sietokyky on suuri. Somaattisesti harmittomista taustasäteilyn annoksista on noin 100-kertainen turvallisuusmarginaali somaattisesti haitallisiin ja niistä noin 10-kertainen vakaviin, kuolemaa aiheuttaviin annoksiin (MIETTINEN 1986).

Ihmisen vuotuinen säteilyannos Suomessa on keskimäärin noin 4 mSv (ANON. 1986b, kuva 2). Luonnonsäteilyn aiheuttamasta annoksesta suurin osa aiheutuu radonin hajoamistuotteiden lähettämästä alfasäteilystä. Ulkoinen säteily on pääasiassa maankamarasta ja rakennuksista tulevaa gammasäteilyä. Lisäksi säteilyä saadaan lihasten <sup>40</sup>K:sta, avaruudesta ja sellaisista pitkäikäisistä luonnon radioaktii-

visista aineista, jotka joutuvat elimistöön hengityksen, ravinnon tai juomaveden mukana. Säteilyn lääketieteellinen käyttö aiheuttaa vuosittain 0,6 mSv:n lisäannoksen. Tshernobylin reaktorionnettomuus toi vuonna 1986 runsaan 0,5 mSv:n säteilyannoksen.



Kuva 2. Vuotuinen säteilyannos Suomessa 1985 (ANON. 1986b).

Ionisoivasta säteilystä johtuvien vaurioiden estämiseksi ja pienentämiseksi on säteilyn käytön valvonta Suomessa asetettu yhteiskunnan valvontatoimenpiteiden alaiseksi. Vuonna 1957 tuli maassamme voimaan säteilysuojauslaki (174/57). Muita säteilysuojauslainsäädäntöön liittyviä säädöksiä ovat säteilysuojausasetus (328/57) sekä sosiaali- ja terveysministeriön päätös säteilysuojauksesta (596/68). Ydinenergian rauhanomaista käyttöä varten on oma lainsäädäntönsä säädöksineen.

Useimpien maiden, myös Suomen, säteilysuojelulainsäädäntö perustuu kansainvälisen säteilysuojelutoimikunnan ICRP:n suosituksiin (ANON. 1984b). Näihin suosi-

tuksiin kuuluvat myös annosrajoitukset. Suurimmat sallitut vuosiannokset työsään säteilyn alaisiksi joutuville henkilöille ovat:

- sukurauhaset, verta muodostavat elimet, koko keho	50 mSv
- iho, kilpirauhanen, luusto	300 mSv
- kädet, kyynärvarret, jalkaterät, nilkat	750 mSv
- rajoitettu annos muille elimille	150 mSv

Säteilykohteen vaikutuspiirissä eläville henkilöille sovelletaan annosrajoja, jotka ovat kymmenesosa edellä olevista.

Tshernobylin reaktorionnettomuuden yhteydessä ovat nousseet esille elintarvikkeiden radioaktiivisuuden ylimmät sallitut raja-arvot. Niitä on katsottu tarvittavan päätettäessä elintarvikkeiden kelvollisuudesta ravinnoksi. Lisäksi raja-arvot antavat tiedottamisessa jonkinlaisen kiinnekohdan arvioitaessa yksittäisten mittaustulosten merkittävyyttä.

ICRP:n suositusten (ANON. 1984b) mukaan ei ole tarvetta vastatoimenpiteisiin, jos väestölle elintarvikkeista aiheutuva säteilyrasitus on onnettomuuden yhteydessä alle 5 mSv vuodessa koko keholle tai 50 mSv yksittäiselle elimelle. Tuntien eri radionuklidien biologisen vaarallisuuden sekä väestön ruokavalion koostumuksen ja ruuan kulutuksen on mahdollista laskea ylimmät sallitut elintarvikkeiden radionuklidipitoisuudet.

Elintarvikkeiden nautintakelpoisuutta määrittävät tärkeimmät lait ovat: Elintarvikelaki 526/41, maidontarkastuslaki 558/46 ja lihantarkastuslaki 160/60. Näiden lakien ja niiden nojalla annettujen asetusten ja päätösten perusteella maa- ja metsätalousministeriö asetti Tshernobylin reaktorionnettomuuden jälkeen suurimmat sallitut  $^{131}\text{I}$ :n ja  $^{137}\text{Cs}$ :n aktiivisuudet maidossa ja lihassa. Maidon  $^{131}\text{I}$ -aktiivisuuden raja-arvo on 2000 Bq/l ja  $^{137}\text{Cs}$ :n 1000 Bq/l.  $^{137}\text{Cs}$ :n raja-arvo naudan- ja sianlihassa on 1000 Bq/kg. Maidon ja lihan lisäksi kuuluu myös kananmunien ja kananmunavalmisteiden radioaktiivisuusvalvonta maa- ja metsätalousministeriölle. Muiden elintarvikkeiden esimerkiksi kasvikunnan tuotteiden ja yleisesti kaikkien prosessoitujen elintarvikkeiden radioaktiivisuusvalvonta kuuluu kauppa- ja teollisuusministeriölle.

Suomalaiset kuluttavat keskimäärin henkeä kohti 60 kg lihaa vuodessa. Lihan  $^{137}\text{Cs}$ -aktiivisuuden raja-arvo 1000 Bq/kg tuottaisi vuodessa noin 0,8 mSv:n ylimääräisen säteilyannoksen. Tämä on vain viidesosa suomalaisten normaalisti



keskimäärin saamaa vuotuista säteilyannosta.

Mitään kansainvälisesti yhteisiä raja-arvoja eri elintarvikkeiden radioaktiivisuudelle ei ole asetettu. Käsitukset siitä, miten suuri säteilyannos voidaan väestölle sallia, vaihtelevat. Tshernobylin reaktorionnettomuuden jälkeen on eri maissa asetettu suuri joukko mitä erilaisempia raja-arvoja. Osa niistä on selvästi sellaisia, etteivät ne perustu realistisiin arvioihin väestölle sallittavista säteilyannoksista, vaan ne ovat tahallisen tiukkoja. Käytännössä tilanne tulee määräämään, millaiset aktiivisuusarvot kulloinkin sallitaan.

Turhan tiukkojen raja-arvojen asettamisella voidaan ihmisille antaa liioiteltu kuva elintarvikkeiden radioaktiivisuustasojen vaarallisuudesta. Tästä voi olla seurauksena elintarvikkeiden käytön vinoutuminen siten, että todella tärkeiden ravintoaineiden, alkuaineiden ja vitamiinien saantimäärissä tulee paljon haitallisempia muutoksia kuin pienehköjen säteilyannosten nauttimisesta. Toisaalta voidaan myös joutua tilanteeseen, jolloin ajattelemattomasti asetettuja säteilyraja-arvoja joudutaan nostamaan, koska puhtaita elintarvikkeita ei ole lainkaan saatavissa tai taloudelliset tappiot tulisivat kohtuuttoman suuriksi, jos elintarvikkeet todetaan ravinnoksikelpaamattomiksi. Ylimpien sallittujen aktiivisuusraja-arvojen yht'äkkäinen nostaminen ei tietenkään ole viranomaisten toimenpiteiden uskottavuuden kannalta hyväksi.

## 5. Säteilyvalvonta, -tutkimus ja -tiedottaminen

### 5.1. Säteilyvalvonta

Säteilyvalvonnan järjestämisessä noudatetaan säteilysuojuslain ja -asetuksen, terveydenhoito- ja elintarvikelainsäädännön sekä väestönsuojelulain ja -asetuksen säännösten ohella ohjevihkosessa "Säteilyvalvontaohje viranomaisia varten" (ANON. 1984c) esitettyjä määräyksiä. Ydinvoiman rauhanomaisessa käytössä sattuneen suuronnettomuuden aiheuttamaa säteilyvaaratilannetta on kuvattu sisäasiainministeriön pelastusosaston julkaisussa "Ohje ydinvoimalaitosonnettomuuden varalta laadittavista suunnitelmista" (ANON. 1985a). Säteilyvalvontaohjeen mukaan Säteilyturvakeskus toimii säteilysuojelun yleisenä asiantuntijana. Säteilyvalvontaan osallistuvien virastojen, laitosten ja muiden elinten tehtävät määräytyvät kunkin varsinaisen toimialan mukaan.

Säteilyvalvonnan kannalta keskeiset valtakunnalliset toimeenpanoviranomaiset

ja heidän tehtävänsä esitetään taulukossa 3. Normaaliaikana toimenpiteisiin ryhdytään säteilyvalvontatietojen ilmoittamisjärjestelmään kuuluvan viranomaisen tai laitoksen havainnon perusteella ja Säteilyturvakeskuksen tilannearvion pohjalta. Maa- ja metsätalousministeriölle kuuluvat eläinten suojaamistoimenpiteet, maatalouden tuotantoon ja elintarvikkeiden käsittelyyn kohdistuvat toimenpiteet, kun taas lääkintöhallitukselle (poikkeusoloissa lääkintäylijohdolle) elintarvikkeiden ja veden käyttörajoitukset. Kauppa- ja teollisuusministeriölle kuuluvat elintarvikkeiden tuotantoa ja kauppaa koskevat määräykset.

Taulukko 3. Valtakunnalliset toimeenpanoviranomaiset säteilyvaaratilanteessa (ANON. 1984c).

Toimeenpanoviranomainen		Toimenpiteet	Toimenpiteisiin ryhtymisen peruste
Normaaliaikana	Poikkeusoloissa		
Sisäasiainministeriö	SM:n johtokeskus	suojauminen ja muut väestönsuojelutoimenpiteet	havaintoverkon ilmoitus tai STUK/SVA:n esitys <sup>1)</sup>
Päeesikunta	Päeesikunta	puolustusvoimien sisäiset toimenpiteet	havaintoverkon ilmoitus tai STUK/SVA:n esitys
Lääkintöhallitus	Lääkintäylijohto	elintarvikkeiden ja veden käyttörajoitukset	STUK/SVA:n esitys
Maa- ja metsätalousministeriö	Maa- ja metsätalousministeriö	eläinten suojaamistoimenpiteet, maatalouden tuotantoon ja elintarvikkeiden käsittelyyn kohdistuvat toimenpiteet	STUK/SVA:n esitys, lääkintöhallituksen/lääkintäylijohtoon lausunto
Kauppa- ja teollisuusministeriö	Kauppa- ja teollisuusministeriö	elintarvikkeiden tuotantoa ja kauppaa koskevat määräykset, elintärkeän teollisuuden tuotantoa koskevat määräykset	lääkintöhallituksen/lääkintäylijohtoon esitys tai STUK/SVA:n esitys ja lääkintöhallituksen/lääkintäylijohtoon lausunto

<sup>1)</sup> STUK = Säteilyturvakeskus

SVA = säteilyvalvonta-asiantuntijaryhmä

Säteilyvalvontaan osallistuvat seismologian laitos, Ilmatieteen laitos, sisäasiainministeriö, Puolustusvoimat ja Säteilyturvakeskus. Säteilyvalvontaverkon muodostavat sisäasiainministeriön ja Puolustusvoimien ylläpitämät noin 270 säteilymittausasemaa (ANON. 1982, ANON. 1986c). Asemat on varustettu geigermitarilla Wallac RDA 31. Valvonta-aseilla voidaan havaita sellainen ympäristön

radioaktiivinen saastuminen, joka aiheuttaa ulkoisen säteilyn annosnopeuden selvän nousun normaalitaustasta. Pienemmät muutokset ympäristön radioaktiivisuuden määrässä ja koostumuksessa havaitaan tutkimalla ilma- tai sadevesinäytteitä. Ilmapölynäytteitä kerätään jatkuvasti Säteilyturvekeskuksen sekä Ilmatieteen laitoksen asemilla. Tarvittaessa Puolustusvoimat keräävät ilmapölynäytteitä ylemmistä ilmakerroksista. Ennakkovaroitus säteilyvaaratilanteesta voidaan saada myös seismisten havaintojen avulla, ulkomaalaisista havainnoista tai yksikertaisesti ilmoituksena ydinvoimala- tai vastaavasti onnettomuudesta. Säteilyvaaratilanteessa voidaan määrätä kaikki radioaktiivisuuden mittausasemat tehostettuun mittaustoimintaan.

Säteilyvalvontaan liittyvää laboratoriotointa suorittaa normaaliaikana pääasiassa Säteilyturvakeskus. Laboratoriotoinnin tavoitteena on kehittää ja ylläpitää valmiutta, jotta tarvittaessa voidaan:

1. havaita radioaktiivisuuden kohoaminen ja varoittaa muita viranomaisia,
2. selvittää radioaktiivisen laskeuman koostumus sen käyttämisen ennustamiseksi,
3. selvittää ravinnon, ilman ja veden välityksellä saatavan sisäisen säteilyannoksen suuruus,
4. käsitellä ulkoisen säteilyn havaintoverkkojen mittaustulokset säteilyvalvonta-asiantuntijaryhmän käyttöön.

Säteilyturvakeskus seuraa normaaliaikana ilman, veden ja elintarvikkeiden radioaktiivisuuspitoisuutta kerätyistä näytteistä suoritettujen määritysten avulla. Tämän lisäksi suoritetaan ihmisen radioaktiivisuusmittauksia.

Eräät muut valtion tutkimuslaitokset sekä eräät yliopistojen ja korkeakoulujen laitokset suorittavat rajoitetussa laajuudessa säteilyvalvontaan liittyvää laboratoriotointa. Erityisesti mainittakoon Helsingin yliopiston radiokemian laitos, joka tutkii radionuklidien kulkua ravintoketjuissa. Valtion muiden tutkimuslaitosten osallistuminen säteilyvalvontaan liittyviin tehtäviin on viime vuosina supistunut huomattavasti siitä, mitä se oli 1960-luvun alussa samalla, kun Säteilyturvakeskuksen toiminta on laajentunut.

Korkeakoulujen osuus on kriisitilanteessa pääasiassa nähtävä siten, että ne antavat kalusto- ja henkilöstöapua, kun taas valtion tutkimuslaitosten osuus on pääasiassa asiantuntija-avun antaminen säteilysuojeluviranomaisille järjestettäessä laitosten erikoisalaa koskevaa näytteenottoa ja vaaratilanteessa mahdol-

listen vastatoimenpiteiden suunnittelua.

Lääkintöhallitus on määrännyt säteilyvalvonnan paikallislaboratorioiksi maidontarkastuslain, lihantarkastuslain, elintarvikelain ja terveydenhoitolain ja niiden nojalla annettujen määräysten valvontaa suorittavia laboratorioita 53 kappaletta. Laboratoriot ovat kunnallisia elintarvike- ja maidontarkastuslaboratorioita (ANON. 1983b). Näiden laboratorioiden tulee pystyä kriisiaikana huolehtimaan toiminta-alueensa ravinnon ja veden nautintakelpoisuuden tutkimisesta radioaktiivisuuden suhteen yhdessä alue- ja keskuslaboratorioiden kanssa. Ne keräävät myös pyydettyä Säteilyturvakeskukselle elintarvike- ja ympäristönäytteitä.

Paikallislaboratoriot ovat varustetut yhdenmukaisilla gamma-aktiivisuuden mittaustaitteistolla. Niiden mittausvalmiutta käytettiin hyväksi Tshernobyl-reaktorionnettomuuden jälkeen.

Poikkeusoloissa maahamme perustetaan kolmitasoinen säteilyvalvonnan laboratorioverkko, joka käsittää Säteilyturvakeskuksen perustaman keskuslaboratorion, kolme aluelaboratoriota ja noin 50 paikallislaboratoriota. Keskuslaboratorio toimii lääkintäylijohtajan alaisena. Keskuslaboratorion tehtäviin kuuluu muun muassa tehdä selvityksiä, jotka edistävät puhtaiden maataloustuotteiden ja muiden elintarvikkeiden tuotantomenetelmien kehittämistä.

Paikallislaboratorioiden mittaustoiminnan tarkoituksena kriisiaikana on lajitella näytteet sellaisiin, joita ei tule nauttia ja todennäköisesti vaarattomiin. Jälkimmäisten osalta suorittaa aluelaboratorio tarkemman analyysin. Jos elintarvikkeiden kokonaisaktiivisuus on alle ilmoitusrajan, voidaan niitä nauttia vaaratta muutamia päiviä. Tässä ajassa alue- ja keskuslaboratorio saa oman analyysinsä valmiiksi. Jos näytteen radioaktiivisuus ylittää sulkurajan, määrätään elintarvikkeelle tai vedelle nauttimiskielto, kunnes alue- tai keskuslaboratorio selvittää sen suhteen vaadittavat toimenpiteet. Sulkuraja asetetaan tilannekohtaisesti.

Säteilyvalvontaverkosto on Suomessa niin tiheä, että sillä pystytään kohtuullisen tarkasti havaitsemaan laskeuman alueelliset annosnopeuserot eri puolilla Suomea. Laskeumatilanteessa saattaa silti tulla kysymyksiä, jotka edellyttäisivät riittävän nopeaa säteilytilanteen havainnointia maatilakohtaisesti (kotieläinten reutilanne, joumavesi). Näytteiden ottaminen oikeaoppisesti, lähettäminen paikallislaboratorioon ja vastauksen odottaminen vie silloin todennäköisesti liikaa aikaa, jos onnistuu lainkaan. Liikkuva mittauskalusto tietenkin helpottaisi tilannetta. Keskuslaboratoriolla ja aluelaboratorioilla on liikku-

via laboratorioita. Näiden tehtävänä on kuitenkin ensisijaisesti näytteiden hankinta. Ne voivat myös tilanteesta riippuen suorittaa kenttämittaustehtäviä. Näytemittauksia liikkuvissa yksiköissä häiritsee saastetilanteessa esiintyvä korkea tausta.

Paikallislaboratoriot pitävät säteilymittauskysymyksissä yhteyttä omaan aluelaboratorioonsa. Oman toiminta-alueensa elintarvikkeita käsitteleviin tai valmistaviin suuriin tuotantolaitoksiin tulee luoda yhteydet ja järjestää ohjeiden ja mittaustulosten vaihto sujuvaksi. Paikallislaboratorioiden tulisi pystyä toimimaan elintarvikkeiden ja veden radioaktiivisuuskysymyksissä asiantuntijana oman toiminta-alueensa terveysviranomaisille, väestönsuojeluelimille, teollisuudelle ja väestölle. Paikallislaboratorioilta tullaan laskeumatilanteessa varmasti myös kysymään, mitkä elintarvikkeet ovat turvallisia ja kuinka niitä mahdollisesti puhdistetaan.

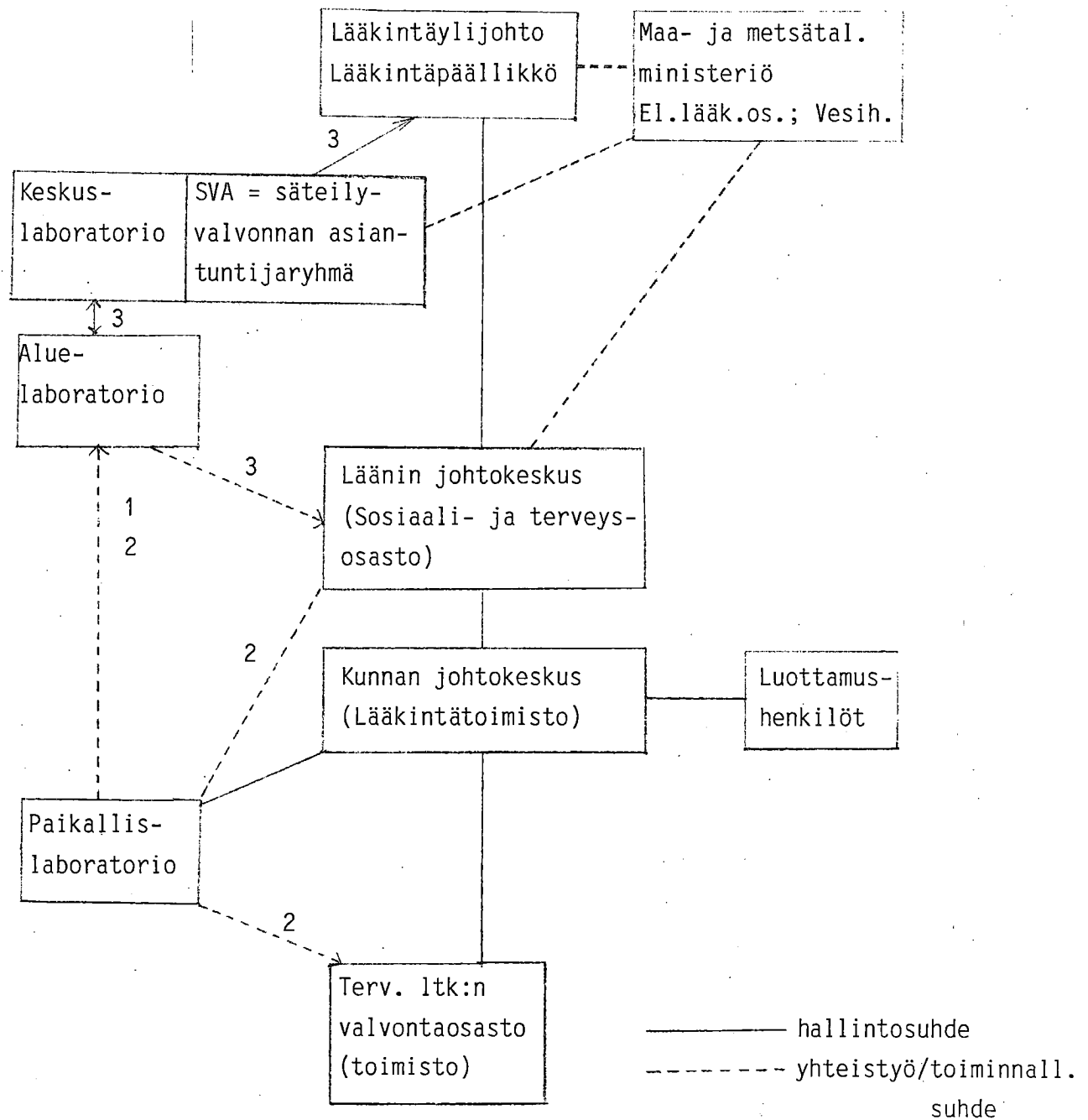
Paikallislaboratoriotoimintaa voi olla useissa pisteissä paikallislaboratorion toiminta-alueella. Kullekin paikallislaboratoriolle on määrätty se aluelaboratorio, johon se poikkeusoloissa toiminnallisesti tukeutuu. Hallintoasioissa paikallislaboratoriot toimivat kunnan johtokeskuksen alaisuudessa.

Kuvassa 3 on esitetty kaavio poikkeusolojen säteilyvalvonnan laboratoriotoiminnassa saatujen elintarvike- ja vesivalvonnan tulosten kulusta. Määräykset tarvittavista toimenpiteistä antaa kukin viranomainen toimivaltansa puitteissa.

## 5.2. Maa- ja metsätalousministeriön tehtävät ohjeiden laadinnassa ja tiedotuksessa

Tilanteessa, jossa elintarvikkeiden ja veden saastuminen saattaa vaatia toimenpiteitä, kokoaa Säteilyturvakeskus (poikkeusolojen organisaatiossa Keskuslaboratorio) mittaus- ja tutkimustulokset ja varoittaa lääkintöhallitusta (lääkintäyhtiöjohtoa) sekä maataloustuotannosta ja elintarviketeollisuudesta vastaavia viranomaisia. Säteilyturvakeskuksella on siis hyvin keskeinen rooli radioaktiivisen säteilyn aiheuttamassa vaaratilanteessa, joka saattaa aiheuttaa erityistoimenpiteitä maataloustuotannossa.

Tshernobylin reaktorionnettomuus ja sen jälkihoito ovat osoittaneet todeksi sen, minkä olisi luullut olevan tiedossa jo 1950- ja 1960-luvuilla ilmakehässä suoritettujen ydinasekokeiden ympäristövaikutuksia tutkittaessa. Peruselintarviketuotanto on erittäin haavoittuva radioaktiivisten aineiden laskeumalle kasvukauden aikana. Etukäteen on täysin mahdotonta tarkalleen ennustaa ydinvoimala-



Kuva 3. Elintarvike- ja talousvesivalvonnan tulosten kulku poikkeusoloissa (ANON. 1984c, SALO ja PAAKKOLA 1984).

- 1) Mittaustulokset
- 2) Sulkurajan ylitykset
- 3) Elintarvikkeiden ja veden radioaktiivisuustiedot ja toimenpidesuosituks

onnettomuuksista tai ydinaseiden käytöstä Suomeen joutuvien radioaktiivisten aineiden määrää ja laatua sekä päästöjen ajankohtaa. Tämän vuoksi radioaktiivisten päästöjen haittavaikutusten ennakoarviointi maataloustuotannon kannaltakin on mahdotonta. Säteilyturvakeskuksen osalta tehtävä helpottuisi jonkin verran, mikäli Säteilyturvakeskuksessa lisättäisiin maataloudellista asiantunte-  
musta (kasvin- ja kotieläintuotanto).

Tshernobylin reaktorionnettomuuden yhteydessä kävi selvästi ilmi, ettei viranomaisten välinen ja väestöön kohdistuva tiedotustoiminta ollut hallinnassa parhaalla mahdollisella tavalla. Asiaa on yritetty selitellä muun muassa sillä, ettei säteilyvalvontaan osallistuvien elinten keskinäistä varoitusrajaa, säteilyannosnopeutta 1 mR/h, koskaan ylitetty puhumattakaan annosnopeudesta 20 mR/h, joka viimeistään edellyttää väestön varoittamista (ANON. 1984c). Sen sijaan viranomais-  
ten kesken noudatettava ilmoitusraja 0,07 mR/h, joka on 5-10-kertainen taustalukemaan verrattuna, ylitettiin monilla paikkakunnilla. On ilmeistä, että varoitusraja 1 mR/h on liian korkea, sillä olisi hyödyksi, mitä varhemmin voitaisiin varautua mahdollisesti pahenevaan ja pitkäänkin kestävään säteilytilanteeseen. Maataloustuotannossa suojaustoimenpiteet eivät yleensä ole toteutettavissa kovin nopeasti.

Tshernobylin reaktorionnettomuuden jälkeen maa- ja metsätalousministeriö suositti, ettei lypsylehmiä laskettaisi laitumille, ennenkuin noin kuukausi olisi kulunut onnettomuudesta eli 26.5.1986. Tämä suositus tehtiin, koska haluttiin varmistaa, että nurmirehun radioaktiivisuus ehtisi vähentyä sekä radioaktiivisen jodin puoliintumisen että nurmen kasvun myötä. Myös vesisateen tiedettiin huuhtovan pois osan kasvuston radioaktiivisuudesta. Suositus oli helppo tehdä, koska lehmiä ei oltu ehditty päästää laitumille ennen laskeuman saapumista. Lisäksi laskeuma ajoittui lyhyelle, noin viikon ajalle. Suosituksen tekemisessä tarvittiin tietoja, joita ei automaattisesti saatu, koska vakavampaan laskeumatilanteeseen suunnitellut "hälytysrajat" eivät ylittyneet ja laukaisseet säteilytietojen välitysjärjestelmää. Tilanteessa, jossa eläimet jo ovat ulkoruokinnassa ja kasvukausi pitkällä, voi Tshernobyl-laskeumaa vakavampi tilanne olla hyvin mutkikas. Ovathan nurmirehuvarastot jo tuolloin ehtyneet.

Säteilyvalvontasuojan mukaan kukin säteilyvalvontaan osallistuva laitos tai viranomainen ilmoittaa havainnoistaan säteilyvalvontatietojen ilmoittamisjärjestelmän mukaisesti ja julkistaa tämän jälkeen havaintonsa harkintansa mukaan joko aktiivisesti tai tiedotusvälineiden pyytäessä havaintotietoja. Aktiivinen tiedotustoiminta on siis vapaaehtoista. Sen sijaan kukin valtakunnallinen viranomainen tiedottaa omalla alallaan läänien ja kuntien viranomaisille toimen-

piteistä. Tiedotusjärjestelmää laadittaessa ei ole otettu riittävästi huomioon, että informaatioyhteiskunnassa selityksiä ja tietoja on annettava avoimesti. Muussa tapauksessa ruokitaan väestön epäluuloja ja mielikuvitusta pahimmassa tapauksessa hallitsemattomaan hysteriaan asti.

Maataloustuotannon osalta tietojen pakkosyöttö ei ole riittävä, sillä säteilyvaaratilanne ja etenkin laskeumatilanne voi vaatia maataloustuotannossa erityistoimenpiteitä. Epäselvyys toimenpiteistä kussakin toimintatilanteessa synnyttää kysymyksiä, joihin on saatava asianmukainen vastaus.

Tiedottaminen viljelijäväestölle on mahdollista, mikäli päätöksenteossa tarvittava tieto on käytettävissä ja mikäli järjestelmä on niin selkeä, että päätöksistä vastuussa oleva viranomainen löytyy ja osaa tehtävänsä. Tiedottajalla pitää siis olla asianmukainen säteilyalan tuntemus.

Peruselintarviketuotantoon mahdollisesti kohdistuvien erityistoimenpiteiden vuoksi olisi säteilyvaaratilanteita varten nimettävä maa- ja metsätalousministeriön "kriisiryhmä", jossa olisi edustaja/edustajia ainakin maa- ja metsätalousministeriöstä, Säteilyturvakeskuksesta, Maatalouskeskusten Liitosta, Ilmatieteen laitokselta ja elintarviketeollisuudesta (Elintarviketeollisuusliiton nimeämänä). Tämä ryhmä voisi olla nopeasti päättämässä maataloudellisista toimenpiteistä ja erityisohjeista sekä valvoisi ja ohjaisi niiden toimeenpanoa. Tämä ryhmä olisi maataloustuotannon asiantuntijana yhteydessä poikkeusoloissa Säteilyturvakeskuksessa toimivaan säteilyvalvonnan asiantuntijaryhmään. Säteilyvalvonnan asiantuntijaryhmän tehtävänä on antaa suosituksia keskuslaboratorion tilannearvion perusteella erityisesti sellaista toimenpiteiden osalta, joilla saattaa olla laajat taloudelliset tai yhteiskunnalliset vaikutukset.

Säteilyvaaratilanteessa maa- ja metsätalousministeriön olisi varauduttava antamaan ohjeita maanviljelijöille ainakin seuraavista asioista:

- pelto- ja puutarhaviljely, viljelytekniikka, sadon käsittely ja sadon säilytys
- kotieläinten suojaaminen, hoito ja ruokinta sekä rehun säilytys ja käyttö
- maatiläväestön elintarvikkeiden ja juomaveden suojaaminen ja käyttö
- maatalon työntekijöiden ja asukkaiden suojaaminen

Säteilymittaustulosten saanti nopeasti ja oikeassa muodossa maa- ja metsätalousministeriössä ohjeita valmistelevien virkamiesten käyttöön on välttämätöntä. Siksi on tärkeää, että maa- ja metsätalousministeriöllä on suorat ja valmiit yhtey-



det ja vartavasten nimetyt yhteyshenkilöt näytteitä ottaviin ja mittauksia tekeviin organisaatioihin.

Mittaustulosten saanti maa- ja metsätalousministeriöön voitaisiin esimerkiksi järjestää siten, että maa- ja metsätalousministeriön määräämät vastuuhenkilöt olisivat tulostulosten piirissä. Säteilyturvekeskus (keskuslaboratorio) toimittaisi tuloksia tilanteen vaatimalla nopeudella. Parasta olisi kehittää reaaliajassa toimiva tulospalvelu, joka periaatteessa voisi olla ATK-pohjainen. On kuitenkin varauduttava siihen, ettei ATK-järjestelmä todennäköisesti toimi poikkeusoloissa. Koska laskeumien voimakkuudessa eri paikkakunnilla voi olla suuriakin eroja, ovat paikallislaboratorioiden tulokset tärkeitä juuri maatalojen toiminnan ohjauksessa. Tulosten mukana laboratorioista pitäisi seurata tutkijoiden kommentit. Todella arvokkaiden kommenttien saamista vaikeuttanee tällä hetkellä paikallislaboratorioiden henkilöstön puutteellinen maataloustuotannon ja säteilyalan ymmärtämys. Mittaustulosten käyttöönsaanti edellyttää myös maa- ja metsätalousministeriön vastuuhenkilöiltä suurta säteily- ja maatalouden tietopohjaa, muussa tapauksessa ohjeiden laadinnassa tulee varmasti vaikeuksia.

Paikallislaboratorioiden tulisi hyväksikäyttää analyysityössä maataloudellisiin näytteisiin ja niiden käsittelyyn perehtyneitä asiantuntijalaitoksia kuten Maatalouden tutkimuskeskus, Valtion maitotalouden tutkimuslaitos ja Valtion eläinlääketieteellinen laitos jne. Maatalouskeskusten piiriagrologit ja muut toimihenkilöt voisivat tarvittaessa ottaa maataloilta maanäytteitä, vilja-, nurmi- ja muita kasvustonäytteitä, vesinäytteitä, kotieläinrakennusten sisäilmanäytteitä ja näytteitä työkoneiden ohjaamoista. Maatilahallituksen kenttäorganisaatio (maalouspiirit, maataloussihteerit) ei ole nykyisellään tottunut tämälantapaiseen työhön.

Ohjeet viljelijöille tulisi laatia periaatteessa seuraavan työnjaon mukaan:

### 1. Eläinlääkintöosasto

- kotieläinten ruokinta, säteilysuojelu ja eläinkunnasta peräisin olevat elintarvikkeet

### 2. Maatalousosasto

- kasvinviljely, sadon, myös kotieläinten rehun käsittely ja säilytys
- puutarhaviljely, viljelytekniikka, sadon käsittely ja säilytys
- työturvallisuus

### 3. Vesitoimisto

- talousveden käyttö ja suojaaminen

Ohjeiden laadinnan vastuuhenkilöinä maa- ja metsätalousministeriössä voisivat olla osastopäälliköt. Koska kotieläin- ja kasvintuotanto liittyvät maataloustuotannossa usein yhteen, olisi lopulliset ohjeet sovittava yhdessä kansliapäällikön ja osastopäällikköjen kanssa. Ihmisten ja eläinten ja elintarvikkeiden suojaaminen koskee muitakin kuin maatalousväestöä. Tämän vuoksi ne olisi sovittava yhteistyössä sisäasiainministeriön ja elinkeinohallituksen kanssa.

Maa- ja metsätalousministeriön tulisi käyttää päätöksenteossa ulkopuolisia asiantuntijoita (esim. Helsingin yliopiston maatalous-metsätieteellinen tiedekunta, Eläinlääketieteellinen korkeakoulu, Maatalouden tutkimuskeskus, Valtion eläinlääketieteen laitos, Valtion maitotalouden tutkimuslaitos, Maatalouskeskusten Liitto jne.). Koska säteilyalan asiantuntemus ei ole itsestäänselvyys, olisi jo ennakkolta määrättävä, millaista asiantuntemusta mistäkin edellä mainitusta korkeakoulusta/laitoksesta tulisi löytyä. Ohjeiden valmistelussa tulee olla yhteys säteilyä mittaaviin viranomaisiin sekä elintarvikevalvontaan.

Suositusluontoisilla ohjeilla ei todennäköisesti pystytä tositalanteessa riittävästi ohjaamaan maataloustuotantoa. Olisi selvitettävä, onko maataloustuotannon ohjaamiseen tarvittaessa pakkotoimin mahdollisuuksia. Lisäksi olisi selvitettävä, miten määräysten ja ohjeiden toteuttamista voidaan maatilakohtaisesti valvoa ja miten mahdolliset korvauskysymykset tulisi hoitaa.

Maatalouden ajankohtaisista ongelmista ja kysymyksistä saadaan tietoja ennen kaikkea Maatalouskeskusten Liiton ja Svenska Lantbrukssällskapens Förbundin neuvontaorganisaation kautta, mutta ehkä myös maatalospiirien ja kuntien maataloussihteerien avulla.

Käyttökelpoisin organisaatio jakamaan tietoa maatalousväestölle on Maatalouskeskusten Liitto (ja maatalouskeskukset) ja Svenska Lantbrukssällskapens Förbund, jotka ovat valtakunnallisia maataloudellisia neuvontajärjestöjä nimenomaan viljelijätasolle. Niillä on eri puolilla Suomea 20 maatalouskeskusta ja kunnissa noin 200 piiriagrologia. Maatalouskeskusten Liitto ja Svenska Lantbrukssällskapens Förbund eivät ole mukana normaaliajan säteilysuojeluorganisaatiossa. Niillä on kuitenkin tehtäviä kriisiajan elintarvikehuollossa. Maatalouskeskusten Liitto tekee vuosittain toukokuun alusta kasvukauden loppuun kahden viikon välein kasvu-tilanneraportteja, jotka ovat neuvonnallisia tilannetiedotuksia. Raportit leviävät Maatalouskeskusten Liiton oman organisaation ja valtakunnan tiedotusvälineistön välityksellä yli Suomen. Niiden mukana voidaan levittää myös säteily-suojelutietoa ja -ohjeita.

Tshernobylin reaktorionnettomuuden jälkeen Maatalouskeskusten Liitto sai Säteilvturvakeskukselta 6.5.1986 lähtien oman kyselyn perusteella "mitä huomattiin

kysyä" -tietoja säteilytilanteesta. Maatalouskeskusten Liitolla on käytössä maataloudelliseen sääpalveluorganisaatioon liittyen useissa maatalouskeskuk- sissa videotex-järjestelmä. Tämän välityksellä sekä ATK-järjestelmän neuvonta- päätteillä, joita on käytössä 600 kappaletta, välitettiin säteilytilannetie- toja ja toimenpideohjeita. Osana sääpalvelutiedotusta oleva Ajankohtaista maata- loudessa -katsaus on mahdollista tarkentaa ainakin kolme kertaa päivässä. Kat- sauksessa viljelijöille välitetyt säteilytiedot ja ohjeet sisälsivät esimerkiksi toimenpideohjeita siitä, miten voidaan välttyä radioaktiiviselta pölyltä kyl- vötoissa.

Pystyäkseen suoriutumaan edellä kuvatuista tehtävistä Maatalouskeskusten Liitto pitäisi liittää säteilyvaaratilanteessa reaaliajassa toimivaan tiedotusjärjes- telmään. Tässä järjestelmässä Maatalouskeskusten Liitto saisi maa- ja metsäta- lousministeriön "kriisiryhmältä" tarvittavat säteilytilannetiedot, toimenpide- suositukset ja jopa määräykset. Maatalouskeskusten Liitto sovittaisi ne käytän- nön kasvin- ja kotieläintuotantotilanteeseen ja välittäisi videotexillä, neuvo- ja päätteillä tai muulla joka tilanteessa toimivalla järjestelmällä maatalous- keskuksiin ja piiriagrologeille, jotka jakaisivat ne edelleen ja vastaisivat vil- jelijöiden kysymyksiin. Missään tapauksessa maataloustuottajien tarvitsemien tie- tojen välittäminen ei onnistu maan koko väestölle tarkoitettujen yleisohjeiden yhteydessä julkisissa tiedotusvälineissä.

### 5.3. Tutkimus ja koulutus

Sisäasiainministeriö huolehtii Suomessa säteilyvalvonnan suunnittelun yleisjoh- dosta ja valvontasuunnitelmien koordinoimisesta muuhun väestösuojeluun ja pe- lastuspalveluun. Kovin kevyesti on sisäasiainministeriö säteilyvalvontaohjeen hyväksyessään kuvitellut ratkaisseensa ja ratkaisevansa radioaktiivisen las- keuman haittavaikutukset peruselintarviketuotannossa. Maassamme ei ole osattu panostaa riittävästi tutkimuksiin, jotka selvittäisivät radioaktiivisen laskeu- man vaikutuksia maataloudessa ja miten säteilyn vahingollisia vaikutuksia maa- taloudessa voitaisiin ennakolta ehkäistä tai lievittää.

Säteilyvalvontaohje viranomaisia varten (ANON. 1984c) on kokonaisuudessaan melko sekava. Se on laadittu lisäksi liiaksi "ydinsodan hengessä". Ohjetta laa- dittaessa ei myöskään ole osattu erottaa riittävän selvästi eroja peruselintar- vikutuotannon (maataloustuotannon) sekä elintarvikkeiden ja rehujen jatkoja- lostus-, varastointi-, pakkaus- ja jakelutoimintojen välillä. On syytä miettiä, onko maa- ja metsätalousministeriön, kauppa- ja teollisuusministeriön ja lääkin- töhallituksen tehtävät elintarvikevalvonnassa mielekkäästi jaetut. Olisi myös

selvitettävä tiedonkulun tehokkuus näiden viranomaisten välillä.

Ruoka ja juoma ovat ihmisille ja kotieläimille hyvin tärkeitä niin rauhan kuin sodan tai onnettomuuksien aikana. Ei varmaankaan olisi kohtuutonta laatia eriliset, selkeät säteilyvalvontaohjeet maatalous- ja muuta elintarviketuotantoa varten. Olisi ehkä syytä luoda jopa toimintamallivalikoima, josta voitaisiin poimia eri säteilytilanteisiin parhaiten soveltuvia toimenpidesuosituksia. Lisäämällä säteilyvalvontaohjeen kuvaamaan säteilyvalvontaorganisaatioon maa- ja metsätalousministeriön toimialaan kuuluvia tutkimuslaitoksia, esimerkiksi Maatalouden tutkimuskeskus, taataan parhaiten maataloudellinen asiantuntemus ja riittävät alan tutkimusresurssit selvitettäessä radioaktiivisten aineiden haittavaikutuksia peruselintarviketuotannossa.

Säteilyturvakeskus on jonkin verran tutkinut radioaktiivisten aineiden kulkeutumista luonnossa. Kysymyksessä on kuitenkin ollut enemmänkin ympäristön radioaktiivisuustilanteen ja -tilannekehityksen valvonta ja seurailu kuin varsinainen peruskysymyksiin ulottuva järjestelmällinen tutkimustyö. Suppeahkossa mitassa radionuklidien kulkua ravintoketjuissa ja siihen vaikuttavia tekijöitä on tutkittu Helsingin yliopiston radiokemian laitoksella ja maatalous-metsätieteellisessä tiedekunnassa sekä Maatalouden tutkimuskeskuksen isotooppiosastossa. Sen sijaan Ruotsissa on tutkittu laajasti ja perusteellisesti radionuklidien kulkeutumista viljelykasveihin, liikkumista maassa ja näihin vaikuttavia tekijöitä. Onpa selvitetty jopa mahdollisuuksia vähentää viljelytoimenpitein radioaktiivisten aineiden pitoisuuksia viljelykasveissa. Ruotsissa on tutkittu myös radionuklidien siirtymistä rehuista eläimiin ja eläintuotteisiin sekä niiden vaikutuksia eläinten terveyteen ja tuotantoon. Pääosa tästä työstä on tehty Ruotsin maatalouskorkeakoulussa Uppsalassa. Onpa siellä jopa oma tutkimusyksikkö, radioekologian laitos, radionuklidien ympäristövaikutusten selvittämiseksi.

Suomessa ei liene tarpeen perustaa alalle omaa tutkimusyksikköä. Radioaktiivisten laskeumien maataloudellisia vaikutuksia voitaisiin selvittää yhteistyössä Säteilyturvakeskuksen, Maatalouden tutkimuskeskuksen, Helsingin yliopiston radiokemian laitoksen ja maataloudellista tutkimusta suorittavien korkeakoulujen (esimerkiksi Helsingin yliopiston maatalous- ja metsätieteellinen tiedekunta) kanssa. Ei sovi myöskään unohtaa Ilmatieteen laitoksen ja Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen tutkimuspanosta. Tutkimusyhteistyöorganisaatio voisi toimia myös tarvittaessa alan asiantuntijana. Riittävän tutkimusvalmiuden luominen edellyttää henkilö- ja laiteresurssien sekä tutkimusmäärärahojen varaamista tähän tehtävään esimerkiksi Maatalouden tutkimuskeskuksessa.

Radioaktiivisuutta ja sen vaikutuksia elinympäristöömme on mahdotonta ymmärtää, ellei ymmärrä koko radioaktiivisuuden käsitettä mittayksiköineen. Säteilysuojelun perusteet pitäisi opettaa kaikille suomalaisille jo peruskoulussa. Miten muuten säteilyvaaratilanteessa alan tiedotuskaan voisi onnistua?

Niiltä virkamiehiltä, jotka joutuvat radioaktiiviseen säteilyyn liittyviä päätöksiä tekemään, olisi vaadittava tehtäviin nähden riittävä tietopohja. Sitä voidaan helposti lisätä jatkokoulutuksella. Peruselintarviketuotantoon liittyen tarvitaan lisää säteilysuojelukoulutusta muun muassa Helsingin yliopiston maatalous-metsätieteellisessä tiedekunnassa kaikille opiskelijoille, maa- ja metsätalousministeriön virkamiehille, Maatalouskeskusten Liiton ja Svenska Lantbrukssällskapetens Förbundin henkilöstölle, erikoisesti kasvinviljely- ja kotieläinagronomeille jne.

Maataloustuottajille ja maaseudun väestölle on pyritty jakamaan säteilysuojelutietoja ja ohjeita yli 20 vuoden ajan. Suomen Väestönsuojelujärjestön toimesta on julkaistu 1962 "Säteilysuojelu maatilalla", 1970-luvun puolivälissä "Mitä teen? Radioaktiivinen laskeuma ja maaseutu" ja vihdoin 1985 "Säteilysuojeluopas, erityisesti maaseutua ja haja-asutusalueita varten" (ANON. 1985b). Oppaat ovat rakentuneet kuvaamaan ehkä liiaksi ydinaseiden tuho- ja ympäristövaiikutuksia. Pienemmät radioaktiiviset laskeumat ja niiden vaikutukset ja vaatimat toimenpiteet eivät oikein tule esille ydinsodan uhkan alta. Onkin pelättävissä, että myös 1985 ilmestynyt ja maaseutuväestölle jaetun Säteilysuojeluoppaan sisältö ei ole auennut eikä sen sanomaa ole voitu omaksua Tshernobylin reaktorionnettomuuden kaltaisiin laskeumatilanteisiin. Kuinkahan monella tämä opas lie-nee vielä tallella? Tshernobylin opetuksen valossa olisi mietittävä uuden oppaan laatimista tai ainakin harkittava Säteilysuojeluoppaan uutta jakoa.

Kun elintarviketuotannon säteilysuojeluun liittyvää koulutusta ja koordinoitua tutkimusta ei ole maassamme järjestetty, herätti Tshernobylin reaktorionnettomuus paljon sellaisia tutkimustarpeita, jotka asioista perillä oleva olisi pystynyt selvittämään kirjallisuudesta. Käytettävissä olevan suomalaisen, muun pohjoismaisen ja kansainvälisen alan tutkimustiedon kuvaus tai jonkinasteinen "tutkimusrekisteri" helpottaisi tilannetta. Ikävää suomalaisessa tutkimuspolitiikassa on se, että vähäiset tutkimusresurssit hajautetaan eikä pysyvää ja jatkuvaa alan asiantuntemusta ja tutkimusvalmitutta pystytä pitämään. Kun jokin asia on muodissa, kaikki haluavat olla siinä mukana siitäkkin huolimatta, että jopa alan perusasioiden hallitseminen puuttuu. Tämän vuoksi pitäisi kiinnittää erityistä huomiota radioaktiivisen laskeuman maataloudellisia vaikutuksia ymmärtävän asiantuntemuksen syntymiseen ja säilymiseen.

Vaikka paljon tiedetäänkin, esitetään seuraavassa joitakin lisävalaistusta vaativia kohteita:

- valtakunnalliset ja maatilakohtaiset elintarvikkeiden ja karjan rehun varmuusvarastot, laajuus ja rakenteelliset seikat
- radioaktiivisilla aineilla kontaminoidun, hylättäväksi määrätyn rehun hävittäminen ja taloudellisen menetyksen korvaaminen
- radioaktiivisen laskeuman kokonaisvaikutus eri vuoden ja kasvukauden aikana maataloustuotantoon ja yksittäisen maatilalan tuotantoon (säteilytilanteen mittaaminen yksittäisellä maatilalla?)
- kasvihuonetuotannon suojaaminen (esim. kasvualusta, ilmastointi)

## Kirjallisuusluettelo

- ANON. 1979. Energiahuolto ja ydinenergia. Suomen Atomiteknillinen Seura. 34 s.
- 1982. Säteilyvalvontaohje normaaliaikaa varten. Sisäasiainministeriön pelastusosasto. N:o 527/632/PI/82. Helsinki 14.5.1982. 6 s. + 16 liitesivua.
  - 1983a. Radioaktiivisuuden ja ionisoivan säteilyn suureet ja yksiköt. Suomen standardisoimisliitto. Standardi SFS 4670. 9 s. Helsinki.
  - 1983b. Paikallislaboratorion toiminta poikkeusolojen kemiallisissa vaaratilanteissa. Liite lääkintöhallituksen kirjeeseen Dno 2168/03/83 (23.3.1983). 48 s. Helsinki.
  - 1984a. Strategian asiatietoa. Kokonaistutkimus ydinaseista. Käännös YK:n pääsihteerin raportista A/35/392/12.9.1980. Sotatieteen laitos, julkaisusarja 3. N:o 8. 271 s. Helsinki.
  - 1984b. Protection of the public in the event of major radiation accidents: Principles for planning. ICRP publication 40. 22 s. Oxford.
  - 1984c. Säteilyvalvontaohje viranomaisia varten. Sisäasiainministeriön pelastusosasto. 3. korjattu painos. 31 s.
  - 1985a. Ohje ydinvoimalaitosonnettomuuden varalta. Sisäasiainministeriön pelastusosasto. Sarja A: 12. 30 s. + 5 liitesivua.
  - 1985b. Säteilysuojeluopas. Erityisesti maaseutua ja haja-asutusalueita varten. Suomen väestönsuojelujärjestö. 46 s.
  - 1986a. Nuclear power status at the end of 1985. International data file. International Atomic Energy Agency. Bulletin 28. No. 2: 67.
  - 1986b. Säteilyturvakeskus 1985. Vuosikertomus. 40 s. Helsinki.
  - 1986c. Väliaikainen raportti, säteilytilanne Suomessa 26.4.-4.5.1986. STUK - B - VALO 44. 40 s.
  - BLOMQVIST, L. 1984. Säteilyvaaratilanteet. Monisteessa "Ydinaseiden vaikutukset ja valvonta" (BLOMQVIST, L., PAAKKOLA, O., RANTAVAARA, A. & SALO, A.): 1-7.
- HEINONEN, J., HEINONEN, O. J., MANNINEN, J. & MIETTINEN, J. K. 1978. Ydinenergia ja elämisen laatu. 170 s. + 7 liitesivua. Helsinki.
- KAHLOS, H., KUUSI, J., PIETILÄ, P., REKONEN, A., SIIVOLA, A., TOIVONEN, M., VOTILA, I. & VIITANIEMI, T. 1984. Säteilymittaukset. Instrumenttianalytiikka 6. Teknillisten tieteiden akatemia. 542 s. Jyväskylä.
- KAKKO, R. & PARTANEN, J. 1984. Radioaktiivisesta laskeumasta ravinnon kautta aiheutuvien säteilyannosten arviointi. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tutkimuksia 292, 59 s.
- LEDERER, C. M. & SHIRLEY, V. S. (toim.) 1978. Table of isotopes. 1523 s., 7 liitesivua. 7. painos. New York.
- MIETTINEN, J. K. 1986. Ympäristön radioaktiiviset aineet ja niiden lähteet. Tshernobylin onnettomuus. Esitelmä luentopäivillä "Radioaktiivisten päästöjen vaikutukset elinympäristöön". Helsinki. 17.12.1986. 2 s. + 3 liitesivua.

- NORDLUND, G., ROSSI, J., SAVOLAINEN, I. & VALKAMA, I. 1985. Ilmaan joutuvien radioaktiivisten päästöjen vaikutus väestön säteilyannoksiin laajoilla alueilla. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tiedotteita 525. 71 s.
- PAKKOLA, O. & MYLLYNIEMI, P. 1977. Ydinaseet - vaikutukset ja suojautuminen. Suomen väestönsuojelujärjestö. 210 s. Helsinki.
- PETROSYANTS, A. 1986. The Soviet Union and the development of nuclear power. An overview of plans and the Chernobyl accident. International Atomic Energy Agency. Bulletin 28, No. 3: 5-8.
- SALO, A. & PAKKOLA, O. 1984. Säteilyvalvonnan laboratoriotoiminta. Monisteessa "Ydinaseiden vaikutukset ja valvonta" (BLOMQUIST, L., PAKKOLA, O., RANTAVAARA, A. & SALO, H.): 51-60.



RADIONUKLIDIEN SIIRTYMINEN VILJELYKASVEIHIN

	sivu
1. Viljelykasvien radioaktiivinen saastuminen .....	28
1.1. Tekijät jotka vaikuttavat radionuklidien siirtymiseen kasveihin lehtien kautta .....	28
1.1.1. Radioaktiivisten hiukkasten ominaisuudet .....	28
1.1.2. Sääolot .....	29
1.1.3. Kasvin rakenne .....	29
1.1.4. Laskeuman ajankohta .....	30
1.2. Maaperätekijät jotka vaikuttavat radionuklidien siirtymiseen kasveihin juurten kautta .....	31
1.2.1. Radiocesium .....	32
1.2.2. Radiostrontium .....	33
1.3. Radionuklidien kulkeutuminen kasvin eri osiin ja eri kasvilajeihin .....	34
1.3.1. Radionuklidien jakautuminen kasveissa .....	34
1.3.2. Eri kasvilajien radionuklidipitoisuudet .....	36
1.4. Siirtokertoimet .....	38
2. Toimenpiteitä joilla voidaan vähentää radionuklidien siirtymistä viljelykasveihin .....	40
2.1. Yleistä .....	40
2.2. Viljelytekniset toimenpiteet .....	41
2.2.1. Maan pintakerroksen poistaminen .....	41
2.2.2. Syväkyntö ja lannoitus .....	42
2.3. Tuotantosunnan muutokset .....	44
2.4. Yhteenveto .....	48
3. Ulkoinen säteilyvaara maataloudessa .....	51
4. Pölyn aiheuttama säteilyvaara maataloudessa .....	53
5. Kirjallisuusluettelo.....	55

## Radionuklidien siirtyminen viljelykasveihin

### 1. Viljelykasvien radioaktiivinen saastuminen

Ihmisen kannalta vaarallisimmat radionuklidit laskeumassa ovat fissio-  
tuotteet strontium-90 ( $^{90}\text{Sr}$ ), cesium-137 ( $^{137}\text{Cs}$ ) ja jodi-131 ( $^{131}\text{I}$ ).  
 $^{90}\text{Sr}$ :n fysikaalinen puoliintumisaika on 28 vuotta,  $^{137}\text{Cs}$ :n 30 vuotta  
ja  $^{131}\text{I}$ :n 8 päivää. Radionuklidien siirtymisellä maasta kasveihin  
juurten kautta on merkitystä vain liukoisten, pitkäikäisten radionuk-  
lidien, kuten  $^{90}\text{Sr}$ :n ja  $^{137}\text{Cs}$ :n tapauksessa, joita tässä kirjoitukses-  
sa tullaan lähinnä käsittelemään. Jodi-131:n radioaktiivinen hajoami-  
nen on niin nopeaa, että sitä on mahdollista saada elimistöön ravinnon  
kautta vain syömällä pinnalta saastuneita vihanneksia ja hedelmiä,  
jotka on korjattu pian laskeuman jälkeen tai juomalla maitoa. Muita  
pitkäikäisiä radionuklideja, joita laskeuma usein sisältää, ovat mm.  
transuraanit, kuten neptunium, plutonium, americium ja curium. Näitä  
alkuaineita kasvit pystyvät kuitenkin ottamaan maasta niin vähäisiä  
määriä, että niitäkin ihminen saa ravintoonsa pääasiassa vain pinnalta  
saastuneiden kasvien kautta.

#### 1.1. Tekijät, jotka vaikuttavat radionuklidien siirtymiseen kasveihin lehtien kautta

##### 1.1.1. Radioaktiivisten hiukkasten ominaisuudet

Eri radionuklidien suhteellinen osuus laskeumassa saattaa vaihdella  
huomattavasti, mikä johtuu mm. laskeuman alkuperästä. Radionuklidit  
voivat kiinnittyä pölyhiukkasten pintaan tai ne muodostavat radioak-  
tiivisia hiukkasia ydinräjähdyksessä höyrystyneen, ympäristöstä peräi-  
sin olevan aineksen kanssa. Radiojodi voi esiintyä myös kaasumaisessa  
muodossa. Radioaktiiviset aineet kulkeutuvat ilmakehästä maanpinnalle  
joko sateen tai lumen mukana tai ilmakehän virtausten kuljettamana kuivana  
laskeumana. Radioaktiivisten hiukkasten koko vaikuttaa siihen, miten  
lujasti ja missä määrin ne kiinnittyvät kasvipintoihin; pienet hiukka-  
set kiinnittyvät lujemmin pintoihin kuin suuret (WITTERSPOON ja TAYLOR  
1970). Radionuklidien liukoisuus vaikuttaa niiden edelleenkulkeutumi-  
sessa lehden pinnalta kasvin sisään. Kemiallisesti aktiiviset, liukoi-  
set muodot kerääntyvät helpoimmin eliöihin, esimerkiksi yksiarvoiset

ionit, kuten cesium ja jodidi tunkeutuvat kasviin ja liikkuvat siellä helpommin kuin kaksiarvoiset ionit kuten strontium (ref. ERIKSSON 1977 b). Jos radionuklidi muistuttaa kemiallisesti jotakin kasviravinnetta, se usein käyttäytyy kasvissa tämän kemiallisen analoginsa tavoin, kuten alkuaineparit cesium-kalium ja strontium-kalsium. Radionuklidien fysikaalinen puoliintumisaika vaikuttaa niiden kasveihin ja eläimiin kertymisen määrään.

Siten radionuklidien runsaus, suuri liukoisuus, kemiallinen aktiivisuus, ravinneanalogin olemassaolo, pieni hiukkaskoko ja keskipitkä tai pitkä puoliintumisaika suosivat niiden kulkeutumista ravintoketjuihin, kun taas radionuklidien häviämisen määrää eliöistä lisäävät niiden suuri liukoisuus, runsas ravinneanalogien määrä ja lyhyt puoliintumisaika (WHICKER ja SCHULTZ 1982).

### 1.1.2. Sääolot

Yhdisteinä olevat liukoiset radionuklidit tarvitsevat kosteutta ionisoituakseen ja irrottautuakseen hiukkasista, joihin ne ovat kiinnittyneet. Tämän jälkeen ne voivat tunkeutua lehden sisään sen pintakerroksen läpi. Ilman suuri suhteellinen kosteus edistää radionuklidien tunkeutumista. Suotuisimmat olosuhteet tälle tapahtumalle vallitsevat tiheysasteella ja sumuisella säällä. Poutasäällä yökasteesta syntyy tarpeeksi kosteutta niin että radionuklidit pystyvät tunkeutumaan lehden sisään diffuusion avulla. Toisaalta runsas sade laskeuman aikana tai pian sen jälkeen huuhtelee osan radionuklideista lehtipinnoilta maahan. Voimakas tuuli saattaa myös vähentää lehdille kerääntyneiden radioaktiivisten aineiden määrää kuivan laskeuman aikana (mm. PRÖHL 1982). Tuulen ja veden aiheuttama maan eroosio voi kuljettaa jo maahan laskeutuneita radionuklideja maahiukkasten mukana ympäristöön saastuttaen siten uudelleen kasvillisuutta. Myös sateen aiheuttaman roiskumisen johdosta saattaa saastunutta maata joutua puutarhakasvien lehtien pinoille, jos ei ole käytetty katetta.

### 1.1.3. Kasvien rakenne

Kun radioaktiivinen laskeuma sattuu kasvukaudelle, kasvit saastuvat

aluksi vain maanpäällisten osiensa kautta. Radionuklidit kiinnittyvät ensin kasvien pinnoille ja siirtyvät sitten vähitellen kasvin sisään lehtien, kukintojen, varren ja sen tyven kautta.

Kasvien kaasunvaihto tapahtuu lehden pinnalla olevien ilmarakojen kautta, kaasumaisessa muodossa oleva radiojodi käyttää tätä kulkutietä siirtyessään kasvin sisään. Ionimuodossa olevat radionuklidit kulkeutuvat lehden sisään suoraan pintakerroksen läpi. Cesium kulkeutuu lehden pinnalta sisään nopeasti, strontium huomattavasti hitaammin. Erään tutkimuksen mukaan lähes 50 % pavun lehden pinnalla vesiliuoksena olleesta cesium-137:stä ja noin 10 % strontium-89:stä absorboituu lehden sisään 24 tunnissa (BUKOVAC ym. 1965). Mitä paremmin vesi pysyy lehden pinnalla, sitä helpommin radionuklidit pääsevät lehden sisään. Lehden pintaa usein peittävän vahakerroksen paksuudella ja yhtenäisyydellä on merkitystä; paksu, yhtenäinen vaha-, hartsi- tms. kerros estää tunkeutumista. AMBLERin ja MENGELin (1966) tutkimusten mukaan kaalin ja sokerijuurikkaan lehtiin jää pesun jälkeen 10 % ja raparperin lehtiin 90 % niillä ennen pesua olleesta radiostrontiumin määrästä. Lehtipintojen rosoisuus ja epätasaisuus, lehtien karvat ja muut ulokkeet, tähkien vihneet ym. lisäävät radioaktiivisten hiukkasten pidättymistä kasviin. Lehtien asento vaikuttaa niille laskeutuvien hiukkasten määrään ja nuoret lehdet absorboivat yleensä radionuklideja helpommin kuin vanhat lehdet. Kasvit, joiden pinta-alan suhde kasvin pintaan on korkea, saastuvat laskeumasta enemmän kuin kasvit, joilla tämä suhde on matala (esim. jäkälällä on suhde korkea). Tuulen tuomat radioaktiiviset hiukkaset kiinnittyvät tehokkaammin harvaan kuin tiheään kasvustoon (ERIKSSON 1977 b, AARKROG 1979, WHICKER ja SCHULTZ 1982).

#### 1.1.4. Laskeuman ajankohta

Kasvin saastumisen määrä riippuu sen kehitysvaiheesta laskeuman ajankohtana. Pahin saastumisajankohta viljoilla on heti tähkälle tulon jälkeen, perunalla se on mukuloiden kehittymisen alkuvaiheessa ja juurikkailla silloin, kun niiden lehtien pinta-ala on suurimmillaan. Kuitenkin tämä pätee vain radiocesiumin ja -jodin suhteen, jotka liikkuvat helposti kasvissa, radiostrontium sitävastoin ei liiku lehdistä

eikä varresta alaspäin. Viljan saastuminen on radiostrontiumin tapauksessa sitä suurempi, mitä lyhyempi on laskeuman ja sadonkorjuun välinen aika. Lehtivihanneksilla pahin saastumisajankohta on välittömästi ennen sadonkorjuuta. Laidunruohon kriittinen saastumisajankohta kestää koko laidunkauden ja säilörehulla ja heinällä se on juuri ennen niittoa (ref. PRÖHL 1982).

Ruohon saastuneisuusasteeseen vaikuttaa se, missä määrin radionuklidit tarttuvat kasviin ja kauanko ne pysyvät kasvissa. Vähitellen radionuklidit tunkeutuvat lehtien sisään, mikä seikka estää niiden poistumisen kasvista säätekijöiden vaikutuksesta. Ruoholla voidaan erottaa kaksi eri vaihetta radioaktiivisuusmäärän vähenemisessä; aluksi väheneminen on nopeaa, jonka jälkeen seuraa hitaampi vaihe. Ensimmäisten 14 päivän aikana puolet lehdille alunperin laskeutuneesta aktiivisuusmäärästä on poistunut lähinnä ilmastollisten tekijöiden vaikutuksesta. Sen jälkeen voidaan erottaa ajanjakso, jolloin jäljelle jääneen aktiivisuusmäärän "puoliintumisaika" on 28 päivää (mm. CHAMBERLAIN 1970, ERIKSSON 1977 b, PRÖHL 1982).

#### 1.2. Maaperätekijät jotka vaikuttavat radionuklidien siirtymiseen kasveihin juurten kautta

Juurten kautta tapahtuvalla radionuklidien otolla on merkitystä vain pitkäikäisten radionuklidien, kuten  $^{90}\text{Sr}$ :n ja  $^{137}\text{Cs}$ :n kohdalla. Jos laskeuma tapahtuu kasvukauden alussa, joutuvat radionuklidit viljelymailla heti kasvien juurten ulottuville kevätmuokkauksen yhteydessä, mutta jos laskeuma tapahtuu myöhemmin kasvukaudella, juurten kautta tapahtuva radionuklidien otto tulee merkitseväksi vasta seuraavana vuonna. Viljelemättömillä mailla suurin osa radiocesiumista pidättyy maan pintaosiin, lähes kaikki radiocesium sijaitsee maan ylimmässä 15 cm:ssä, varsinkin jos maa on savespitoista. Radiostrontium on maassa liikkuvampi. SQUIREN (1966) mukaan huuhtoutuu  $^{90}\text{Sr}$  20-30 cm syvyyteen kahdeksassa vuodessa ja tanskalaisissa maissa se kulkeutuu noin 50 cm syvyyteen 25 vuodessa (ref. AARKROG 1979).

### 1.2.1. Radiocesium

Kasvi ottaa helposti radiocesiumia lehtien kautta ja juurtenkin kautta ravintoliuoksesta. Maaperästä kasvi pystyy ottamaan cesiumia vain vähän, koska cesium sitoutuu tiukasti savimineraaleihin (mm. FREDRIKSSON ym. 1968, FRANCIS ja BRINKELY 1976). Kasvin radiocesiumin ottoa maasta voidaan vähentää kaliumlannoituksella, jos maassa on ennestään vähän kaliumia (NISHITA ym. 1960, EVANS ja DEKKER 1966, FREDRIKSSON ym. 1966, SQUIRE ja MIDDLETON 1966, HAAK 1986).

Orgaanisen aineksen lisääminen savipitoiseen maahan lisää kasvin cesiumin ottoa (BARBER 1964, EVANS ja DEKKER 1967). Tämä voi johtua siitä, että orgaaninen aines reagoi saveksen kanssa muodostaen komplekseja, mikä saa aikaan radiocesiumin irtoamisen saveksesta (D'SOUZA ym. 1980) tai siitä, että orgaanista ainesta lisättäessä lujasti cesiumia sitovan saveksen suhteellinen osuus maassa vähenee. FREDRISSONin ja ERIKSSONin (1966) mukaan cesium-137 on keskimäärin 12 kertaa, jossakin tapauksessa jopa 200 kertaa paremmin kasvien saatavilla viljellyillä orgaanisilla mailla kuin savimailla. Erään tutkimuksen mukaan astiakoissa rahkaturvemaalla kasvanut raiheinä sisältää ensimmäisenä kasvuvuonna radiocesiumia noin 400 kertaa enemmän kuin hietasavimaalla kasvanut ja noin 2800 kertaa enemmän kuin hiesumaalla (18 % savesta) kasvanut raiheinä (PAASIKALLIO 1984).

Ammoniumionin vaikutus on kahtalainen. Toisaalta ammonium toimii cesiumin vaihtajana lisäten sen pitoisuutta kasvissa, toisaalta se kilpailee cesiumin kanssa kasviin pääsystä. Ammoniumioni estää kasvin cesiumin ottoa vasta korkeissa ammoniumpitoisuuksissa, kun taas kalium vaikuttaa vähentävästi cesiumin ottoon jo pienissä pitoisuuksissa (JACKSON ym. 1965, ref. HAUNOLD ym. 1982).

Maaperän kalsiumin ja pH:n vaikutus kasvin radiocesiumin ottoon ei ole niin selvä kuin radiostrontiumin kohdalla, jonka otto pienenee, kun kalsiumia lisätään happamaan maahan. Kuitenkin radiocesium on usein paremmin kasvien saatavilla happamista kuin korkeamman pH:n omaavista maista (NISHITA ym. 1965, PROUT 1958, ADRIANO ym. 1984). Erään tutki-

muksen mukaan happamaan maahan lisätty kalsiumkarbonaatti vähentää kasvin radiocesiumin ottoa enemmän, jos lisäys suoritetaan ennen radiocesiumin lisäystä kuin jos se suoritetaan vasta cesiumlisäyksen jälkeen (EVANS ja DEKKER 1966).

FREDRIKSSONIN (1963) tutkimuksessa fosfaattilannoituksella on todettu olevan vähäisempi vaikutus kasvin  $^{137}\text{Cs}$ :n kuin  $^{90}\text{Sr}$ :n pitoisuuteen. Jossakin tapauksessa fosfaatti vähentää kasvin cesiumpitoisuutta, jossakin tapauksessa sillä ei ole mitään vaikutusta cesiumpitoisuuteen.

Ruokasienten radiocesiumpitoisuuden on todettu olevan toisinaan melko korkea ja pitoisuuksien vaihteluiden suuria samankin sienilajin tai -suvun sisällä; alhaisen maan pH:n ja turvemaan on todettu lisäävän sienten radiocesiumpitoisuutta (ECKL ym. 1986). Kantarellien ja haperoiden  $^{137}\text{Cs}$ -pitoisuudet ovat Säteilyturvakeskuksen (1986 a) mittauksen mukaan keskimäärin pienempiä ja rouskujen suurimpia. Mittaukset suoritettiin 3-4 kuukauden kuluttua radioaktiivisesta laskeumasta.

### 1.2.2. Radiostrontium

Kasvi ottaa yleensä maasta suhteellisesti enemmän strontiumia kuin cesiumia. Karkeista kivennäismaista kasvit ottavat radiostrontiumia usein enemmän kuin hienoista kivennäismaista. Savimaiden korkeampi kalsiumpitoisuus saattaa kuitenkin vaikuttaa kasvin strontiumin ottoon enemmän kuin saveksen määrä. PAASIKALLION (1984) tutkimusten mukaan kivennäismailla on kasvin  $^{90}\text{Sr}$ -pitoisuus noin 8 kertaa korkeampi ja orgaanisilla mailla vain noin kaksi kertaa korkeampi kuin sen  $^{137}\text{Cs}$ -pitoisuus. Orgaanisen aineksen lisääminen maahan yleensä pienentää kasvin radiostrontiumin ottoa toisin kuin mitä cesiumin kohdalla tapahtuu.

Maaperän kalsiumpitoisuus ja pH ovat tärkeimmät kasvin radiostrontiumpitoisuuteen vaikuttavista tekijöistä; kalsiumin lisääminen happamaan maahan pienentää kasvin radiostrontiumin ottoa (mm. ROMNEY ym. 1959, 1961, EVANS ja DEKKER 1962, ANDERSEN 1963). Hyvin suuret kalsiumlisäykset maahan saattavat kuitenkin lisätä kasvin strontiumpitoisuutta

(GÜNTHER ja SCHRÖDER 1968), sillä jos liukoista kalsiumia on maassa runsaasti, asettuu se maakolloideihin sitoutuneen radiostrontiumin tilalle, jolloin strontium tulee helpommin kasvin saataville.

Myös kaliumlannoituksella on aikaansaatu vähenemistä kasvin strontiumin otossa (EVANS ja DEKKER 1963, HAAK 1986). Sensijaan typpilannoitus saattaa lisätä kasvin radiostrontiumin ottoa samoin kuin sen on todettu lisäävän kasvin radiocesiumin ottoa (JUO ja BARBER 1969, ANDERSEN 1971, FRANCIS 1978).

Fosfaatin vaikutus kasvin radiostrontiumin ottoon riippuu maan happamuudesta ja kalsiumin määrästä. Happamalla, vähän kalsiumia sisältävillä mailla kasvien radiostrontiumin otto saattaa kasvaa fosfaattilannoituksen ansiosta (FREDRIKSSON ym. 1961, DEV 1965), kun taas runsaasti kalsiumia sisältävillä mailla fosfaattilannoitus alentaa kasvin radiostrontiumin ottoa strontiumfosfaatin niukkaliukoisuuden vuoksi (ANDERSEN 1965, 1971, EVANS ja DEKKER 1965).

### 1.3. Radionuklidien kulkeutuminen kasvin eri osiin ja eri kasvilajeihin

#### 1.3.1. Radionuklidien jakautuminen kasveissa

Yksiarvoinen cesiumioni kulkeutuu helpommin kasvissa kuin kaksiarvoinen strontiumioni. Cesium on usein tasaisemmin jakautunut kasvin eri osien välille kuin strontium. Viljat ovat alttiimpia radiocesiumin kuin radiostrontiumin aiheuttamalle saastumiselle sekä juurten että lehtien kautta tapahtuvassa otossa. Vaikka jyvän kuorikerrokset suojaavatkin jyvää suoralta saastumiselta, kulkeutuu cesium helposti korresta ja lehdistä jyviin. Jos vilja voidaan puida heti laskeuman jälkeen, cesium ei ehdi siirtyä jyvään ja saadaan melko puhdasta viljaa, koska suurin osa radionuklideista poistuu rukiilla ja vehnällä helpeiden mukana puinnin yhteydessä. Samoin hernekasvien palot suojaavat herneiden ja papujen siemeniä suoralta saastumiselta. Erään tutkimuksen mukaan vehnän jyviin siirtyy n. 10 % sen lehdille ruiskutetusta radiocesiumista. Ruiskutusajalla ei ole suurta vaikutusta siirtymisen



määrään. Kuitenkin, jos ruiskutus suoritetaan viikkoa ennen sadonkorjuuta, on cesiumin siirtyminen jyviin vähäisempää kuin kasvin varhaisemmassa kehitysvaiheessa ruiskutettaessa (MIDDLETON 1958). Juurten kautta tapahtuvassa otossa ohran korressa on  $^{137}\text{Cs}$ -pitoisuus 1.7 kertaa korkeampi kuin jyvissä ja  $^{137}\text{Cs}$  on tasaisemmin jakautunut ohrassa kuin kalium. Myös  $^{137}\text{Cs}$ :n suhde korren ja jyvän välillä vaihtelee vähemmän kuin kaliumin vastaava suhde (FREDRIKSSON ym. 1969 b). Eräiden tutkimusten mukaan ohran jyvien  $^{137}\text{Cs}$ -pitoisuus on korkeampi alueilla, missä on satanut runsaammin kasvukauden alkupuolella kuivempiin alueisiin verrattuna. Tämän seikan selitetään johtuvan siitä, että sateisimmilla alueilla vilja ottaa ravinteet ja siten myös radionuklidit pääasiassa ruokamultakerroksesta, kun taas kuivemmillä alueilla se ottaa ravinteita (kalsium ja kalium) myös pohjamaasta, jossa radionuklideja ei esiinny (FREDRIKSSON ym. 1969 b, ERIKSSON 1977 a).

Radiostrontium saastuttaa viljan helpommin kulkeutuessaan kasviin juurten kuin suoran saastumisen eli lehtien kautta, sillä lehdille joutunut radiostrontium ei kulkeudu tähkään. Kuitenkin vain pieni osa strontiumista kulkeutuu jyviin. Esimerkiksi vehnän strontiumpitoisuuksien suhde korren, jyvän ja jauhojen välillä on eräässä tutkimuksessa 14:3:1 (SMITH 1971). Vehnän jyvien radiostrontiumpitoisuus on noin 1/10 sen lehtien ja korren pitoisuuksista, suurin osa strontiumista jää leseisiin (LEE 1959). Kokojyvävilja (esim. ruis- ja grahamjauhot) sisältääkin enemmän radionuklideja kuin kuorittu vilja (vehnäjauhot).

Radiostrontiumia näyttää siirtyvän maasta vain vähän ja lehdistä ei ollenkaan kurpitsan hedelmiin (MOSTAFA ja HASSAN 1964). Strontium ei kulkeudu lehdistä perunan mukuloihin (MOORBY ja SQUIRE 1963), mutta maasta se kulkeutuu helposti kuoren läpi nuoriin perunan mukuloihin (MELNIKOVA ja BARANOVA 1967). Strontiumpitoisuudet ovat yleensä suurempia juurikkaiden naateissa kuin juurissa (ANDERSEN 1967). Nauriin juuressa näyttää sensijaan olevan, päinvastoin kuin punajuurikkaassa ja porkkanassa, enemmän radiostrontiumia kuin lehdistä, pitoisuus on suurin juuren pintaosissa juurten kautta tapahtuvassa otossa (DUCKWORTH ja HAWTHORN 1960). Radiostrontiumpitoisuuksien on todettu olevan hyvin matalia tomaatin hedelmissä, perunan mukulassa ja herneen sieme-

nissä, mutta niiden varsissa ja lehdissä ovat pitoisuudet melko korkeita (ANDERSEN 1967). Strontiumpitoisuudet ovat myös melko korkeita kukkakaalin kukassa ja ruusukaalissa (DUCKWORTH ja HAWTHORN 1960).

### 1.3.2. Eri kasvilajien radionuklidipitoisuudet

Suorassa saastumisessa radiocesium kulkeutuu kaikkiin kasvituotteisiin helpommin kuin radiostrontium. Poikkeuksen muodostavat kuitenkin lehtivihannekset: kumpikin radionuklidi saastuttanee ne yhtä helposti. Kasvilajien erilainen rakenne (morfologia) vaikuttaa siihen, kuinka suuressa määrin ja miten lujasti radioaktiiviset hiukkaset kiinnittyvät kasvin ulkopintaan ja kulkeutuvat sieltä kasvin sisään. Juurten kautta tapahtuvassa otossa kasvilajien väliset erot radionuklidien pitoisuuksissa johtuvat osittain lajien välisistä fysiologisista eroista, mutta saattavat johtua myös eroista juuriston rakenteessa (pituuserot). Esimerkiksi herneen  $^{137}\text{Cs}$ -pitoisuuksissa on todettu suurempaa vaihtelua kuin viljoilla. Tämän seikan on selitetty johtuvan mm. herneen lyhyemmästä juuristosta, joka vaikuttaa siihen, että herneellä alkalimetallien (K, Cs) otto ruokamultakerroksesta riippuu enemmän kasvukauden sääoloista kuin viljoilla (ref. ERIKSSON 1977 a).

Kasvilajit, jotka ottavat muita enemmän kaliumia, ottavat yleensä myös suhteellisesti enemmän radiocesiumia. Tutkimuksessa, jossa radiocesium tuli kasviin pääasiassa lehtien kautta, rukiin jyvien radiocesiumpitoisuuden todettiin olevan noin 50 % korkeampi kuin muiden viljalajien. Sen, miksi ruis oli muita viljalajeja alttiimpi suoralle saastumiselle, otaksuttiin johtuvan mm. rukiin rakenteesta (esim. vihneet) ja aikaisuudesta. Ruis on myös muita viljalajeja pitempi ja sen sato yleensä alhaisempi. Lisäksi rukiin jyvä on suhteellisen pieni kooltaan (suuri pinta-ala/tilavuussuhde) (AARKROG 1979). Rukiin jyvillä todetut muita viljoja korkeammat maasta lähtöisin olevat radiocesiumpitoisuudet (Säteilyturvakeskus 1986 b) saattavat ainakin osittain johtua siitä, että rukiin jyvän kaliumpitoisuus on yleensä myös melko korkea.

$^{137}\text{Cs}$ -pitoisuus pienenee varressa seuraavasti: öljykasvit > hernekasvit > viljat ja siemenissä: hernekasvit, öljykasvit > viljat (FRED-

RIKSSON ym. 1966, EVANS ja DEKKER 1968). Punajuurikkaan ym. juurikkaiden juurten  $^{137}\text{Cs}$ -pitoisuus on yleensä hieman korkeampi kuin perunan ja porkkanan. Puutarhakasvien radiocesiumpitoisuudet pienenevät järjestyksessä: pinaatti, salaatti, kukkakaali > retiisi, kaali, porkkana > papu > juurikkaat, peruna (FREDRIKSSON ym. 1969 a).

Juurten kautta tapahtuva radiostrontiumin otto eri kasvilajeilla on yleensä sitä suurempi, mitä suurempi on kasvien kalsiumin otto. Juurten kautta otetun radiostrontiumin pitoisuudet ovat keskimäärin matalimpia heinäkasveilla, niitä huomattavasti korkeammat pitoisuudet tavataan useimmilla ristikukkaisilla (mm. kaalit) ja korkeimmat pitoisuudet ovat hernekasveilla ja sarjakukkaisilla (porkkanan ja sellerin lehdet) (ANDERSEN 1967). Kaura ottaa radiostrontiumia enemmän juurten kautta kuin muut viljalajit; sen jyvän radiostrontium- kuten myös kalsiumpitoisuus ovat yleensä suurempia kuin muilla viljoilla. Lehtivihanneksista lehtikaalilla ja pinaatilla on korkeimmat radiostrontiumpitoisuudet (AARKROG 1979). Radiostrontiumpitoisuus syötävissä kasvinosissa pieneni eräessä tutkimuksessa seuraavassa järjestyksessä juurten kautta tapahtuvassa otossa: pinaatti, salaatti > retiisi > papu, porkkana > juurikkaat > kukkakaali, kaali > peruna (FREDRIKSSON ym. 1969 a).

$^{90}\text{Sr}$ :n ja  $^{137}\text{Cs}$ :n suhteellinen pitoisuus juurten kautta tapahtuvassa otossa eri kasviryhmissä on esitetty seuraavassa taulukossa (ERIKSSON 1977 a):

Kasvi	Suhteellinen pitoisuus kuiva-aineessa	
	$^{90}\text{Sr}$	$^{137}\text{Cs}$
Vilja, jyvä	1	1
Herne, siemen	1	4
Öllykasvit, siemen	7	3
Peruna, porkkana	2	9
Juurikkaat, juuri	19	18
" , naatti ja lehtivihannekset	62	46
Heinä	17	8
Laidunruoho, viljelty laidun	34	8
" , luonnon "	34	23

## 1.4. Siirtokertoimet

Tiettyyn kasvilajiin tietystä maalajista siirtyvä osuus radionuklidin määrästä voidaan ilmoittaa siirtokertoimen (TC) avulla:

$$TC_{\text{maa-kasvi}} = \frac{\text{kasvin aktiivisuus/painoyksikkö}}{\text{maan aktiivisuus muokkauskerroksessa/pinta-ala- (tai paino-) yksikkö}}$$

Bq/kg k.a.

yksikkönä esim.  $\frac{\text{Bq/kg k.a.}}{\text{Bq/m}^2} = \text{m}^2/\text{kg}$  kuiva-ainetta

Siirtokertoimia tarvitaan arvioitaessa radioaktiivisen laskeuman vaikutusta ihmisen ravinnon kautta saaman säteilyannoksen suuruuteen.

Laajaan aineistoon perustuvien tutkimusten pohjalta on Ruotsin viljelymaat jaettu neljään (1-4) luokkaan sen mukaan, paljonko eri kasvilajit ottavat niistä  $^{90}\text{Sr}$ :a ja  $^{137}\text{Cs}$ :a. Suurin osa viljelymaista kuuluu luokkiin 2 ja 3, luokkaan 1 kuuluvat ne, joista kasvien radionuklidien otto on suhteellisen vähäistä ja luokkaan 4 kuuluvat ne, joista otto on suhteellisen suuri. Tutkimuksessa todetaan, että eri tekijöistä kasvin  $^{90}\text{Sr}$ :n ottoon vaikuttaa eniten maan liukoinen kalsium, jonka määrän pienetessä kasvin  $^{90}\text{Sr}$ -pitoisuus kasvaa ja kasvin  $^{137}\text{Cs}$ :n ottoon vaikuttaa eniten maan savespitoisuus, jonka kasvaessa kasvin  $^{137}\text{Cs}$ -pitoisuus pienenee. Näitä kahta riippuvuutta voidaan käyttää hyväksi arvioitaessa kasvin radionuklidin ottoa tietystä maa-aineksesta, jonka saves- ja kalsiumpitoisuus tunnetaan, seuraavassa taulukossa esitettyjen siirtokertoimien avulla.

Taulukoissa on esitetty  $^{90}\text{Sr}$ :n ja  $^{137}\text{Cs}$ :n siirtokertoimet eri kasvila-

jiryhmille neljässä  $^{90}\text{Sr}$ -maaluokassa ja neljässä  $^{137}\text{Cs}$ -maaluokassa (ERIKSSON 1977 a):

	$\text{m}^2/\text{kg k.a.} \times 10^{-3}$			
	$^{90}\text{Sr}$ -maaluokat			
	1	2	3	4
	(liuk. Ca-pit. vähenee →)			
Vilja ja herne	0,15	0,3	0,6	1,2
Öllykasvien siemenet	1,0	2,0	4,0	8,0
Peruna	0,3	0,6	0,95	1,8
Juurikkaat:				
juuret	3,8	6,0	9,5	18,0
naatit	12,0	20,0	33,0	60,0
Laidunruoho	5,6	10,0	19,0	38,0

	$\text{m}^2/\text{kg k.a.} \times 10^{-3}$			
	$^{137}\text{Cs}$ -maaluokat			
	1	2	3	4
	(savespitoisuus vähenee →)			
Vilja	0,02	0,04	0,08	0,18
Herne	0,07	0,15	0,30	0,70
Öllykasvien siemenet	0,05	0,10	0,20	0,45
Peruna ja porkkana	0,15	0,30	0,60	1,40
Lehtivihannekset	0,75	1,50	3,00	7,00
Laidunruoho:				
viljelty laidun	0,15	0,30	0,60	1,50
luonnonlaidun	0,45	0,90	1,80	4,50

Kirjallisuutta:

FREDRIKSSON ja ERIKSSON 1968, ERIKSSON 1977 a, HAAK 1983 a

## 2. Toimenpiteitä, joilla voidaan vähentää radionuklidien siirtymistä viljelykasveihin

### 2.1. Yleistä

Ennenkuin ryhdytään toimenpiteisiin, joiden tarkoituksena on pienentää radioaktiivisesta laskeumasta saatavaa säteilyannosta maanviljelyksessä, on niiden päämäärä, suoritustapa ja ajoitus selvitettävä. Tämä edellyttää alueellisten ympäristötekijöiden ja maataloustuotannon rakenteen tuntemista. Toimenpiteisiin tulee ryhtyä vasta, kun niiden katsotaan selvästi pienentävän kokonaissäteilyannosta. Toimenpiteisiin, jotka aiheuttavat kohtuutonta haittaa niiden suorittajille, ei tule ryhtyä.

Säteilyannoksen pienentämiseen tähtääviä toimenpiteitä suunniteltaessa on erotettava varsinainen laskeuma-ajanjakso ja laskeuman jälkeinen ajanjakso. Varsinaisessa laskeumatilanteessa on aluksi turvauduttava tehokkaisiin ja nopeisiin toimenpiteisiin sekä tuotannon että kulutuksen alueella esimerkiksi estämällä radiojodin, -cesiumin ja -strontiumin kulkeutuminen maitoon (laiduntamisen vähentäminen ja lisääntyvä viljan ja juurikkaiden käyttö lypsylehmien rehuna), rajoittamalla lehtivihannesten, marjojen, sienten, kalan ja riistan käyttöä ja nauttimalla joditabletteja jne. Laskeuman jälkeisenä aikana, jolloin kasvit alkavat ottaa radionuklideja maasta juurten kautta, saattavat akuutin tilanteen rajoitukset edelleen olla ajankohtaisia, mutta ensi sijalle nousevat muut toimenpiteet, joita voidaan käyttää joko yksinään tai yhdisteltyinä. Tällaisia toimenpiteitä ovat mm. maan pintakerroksen ja kasvillisuuden poistaminen, laidun- ja peltomaiden syväkyntö, kalkitus happamille maille ja voimakas kaliumlannoitus kaliumköyhille maille sekä tuotantosuunnan muutokset maataloilla.

Kirjallisuutta:

ERIKSSON 1984, RANTAVAARA 1985

## 2.2. Viljelytekniset toimenpiteet

### 2.2.1. Maan pintakerroksen poistaminen

Saastuneen peltomaan pintakerroksen poistaminen on radikaalein toimenpide, jota voidaan käyttää vähentämään radionuklidien siirtymistä maasta elintarvikkeisiin. Saastuneen maan pintakerroksen kuoriminen tulee tuskin kysymykseen muualla kuin pienillä maa-alueilla, kuten esimerkiksi pihamaalla, muulla rakennusten lähellä olevalla maalla ja puutarhamaalla. Maa kuoritaan noin 5 cm syvyydeltä ja kuljetetaan pois. Pintakerros voidaan ennen kuorimista muokata esimerkiksi äkeellä tai jyrsimellä.

Peltomaan puhdistaminen kuorimalla onnistuu parhaiten, kun pelto on kylvövalmiina tai kesantona, kuitenkin täydellinen puhdistaminen on tuskin mahdollista. On arvioitu, että näin puhdistetulle alueelle jäisi noin 1/10 sille alunperin tulleesta aktiivisuusmäärästä. Laidunmaiden ja nurmien puhdistaminen radioaktiivisista aineista poistamalla maan pintakerros lienee helpompi tehtävä kuin peltomaan pintakerroksen kuoriminen. Poistettava maakerros on lisäksi ohuempi puhdistettaessa nurmea kuin peltomaata varsinkin, jos peltomaan pinta on epätasainen kynnön tai muokkauksen jäljiltä. Laidunnurmien puhdistamiseksi voi riittää nurmen leikkaaminen läheltä maanrajaa niittosilppurilla heti laskeuman jälkeen ja sadon kuljettaminen pois. Runsas typpilannoitus voi tässä tapauksessa vielä pienentää uuden kasvuston radionuklidipitoisuutta niin, että siitä tulee käyttökelpoista.

Myöskin muun kasvipeitteen (tai katteen) poistaminen ja poiskuljettaminen heti laskeuman jälkeen pienentää peltomaan saamaa radionuklidimäärää. Kasvilajista, kasvin kehitysvaiheesta ja kasvuston tiheydestä riippuu, kuinka hyvin tämä toimenpide onnistuu. Kasvavan viljan niittämällä ja poiskuljettamisella voidaan ehkä poistaa korkeintaan 1/3 laskeuman kokonaismäärästä. Sängin poistaminen lisää poistuvaa aktiivisuusmäärää.

Sen lisäksi, että maan kuoriminen on kallista (maan viljavuuden alene-

minen, työvoima, polttoaine, työvälaineet), syntyy ongelmia suurten radioaktiivisten maamäärien säilyttämisessä. Saastunut maa voidaan haudata tai se voidaan kerätä kummuiksi, joiden pintakerros sidotaan kasvillisuudella tai päällystetään jollakin muulla tavoin.

Jos laskeuma tulee talvella lumen ollessa maassa, on saastuneen lumen kuoriminen helpompaa. Kuoriminen on tehtävä ennenkuin radionuklidit painuvat syvemmälle lumeen ja lopulta maaperään.

Maaperää on yritetty puhdistaa radiostrontiumista mm. huuhtomalla sitä syvempiin maakerrokseen runsaalla vedellä, kalsiumsuoloilla tai happoilla. Näistä toimenpiteistä on kuitenkin useimmiten erittäin haitalliset seuraukset maan ravinnetilalle ja rakenteelle, ettei niitä voida suositella.

Kirjallisuutta:

ANON. 1960, 1962, FREDRIKSSON 1961, HAAK 1983 a, 1983 b

### 2.2.2. Syväkyntö ja lannoitus

Syväkynnöllä tarkoitetaan saastuneen maan pintakerroksen kääntämistä normaalin muokkauskerroksen (20-25 cm) alapuolelle. Vaikka syväkynnöllä ei saavutetakaan samaa puhdistusvaikutusta kuin maan kuorimisella, sopii se kuorimista paremmin suuremmille alueille. Sen lisäksi, että syväkyntö pienentää kasvien radionuklidien ottoa maasta, se pienentää voimakkaasti ulkoista säteilyannosta ja radioaktiivisen maapölyn hengittämisen kautta saatua sisäistä säteilyannosta ja se estää myös radionuklidien leviämisen uudelleen ympäristöön tuulen ja veden mukana.

Koska syväkyntö yleensä alentaa maan viljavuutta ja huonontaa maan rakennetta, on tarkoin harkittava, milloin tähän toimenpiteeseen ryhdytään. Syväkyntö yksinään ei riitä takaamaan kasvien radionuklidipitoisuuden alenemista; on myös huolehdittava, että syväkyntöön liittyvät jatkotoimenpiteet tulevat suoritettua. Kerran syväkynnettyä maata ei voida enää uudelleen kyntää, koska saastunut maa tulee uudelleen pintaan; vain matala muokkaus korkeintaan 10-15 cm syvyyteen on mah-



dollista. Toinen syväkynnön tehokkuuden kannalta tärkeä seikka on oikean kasvilajin valinta syväkynnetylle alueelle; tulisi viljellä lyhytjuurisia kasveja. Suurin hyöty syväkynnöstä saadaan viljeltäessä kasveja, joiden vihreät versot käytetään ravinnoksi, kuten esimerkiksi vihanneksia ja karjan rehua. Syväkyntöä suositellaankin käytettäväksi ensi sijassa laidunmailla ja nurmilla. Juurikas- ja perunanviljelyä ei voitane yhdistää syväkyntöön, koska ruokamultakerros sekoittuu voimakkaasti näiden kasvien sadonkorjuun yhteydessä. Sitä vastoin öljykasvien viljely voidaan yhdistää syväkyntöön, koska tässä tapauksessa riittää matala muokkaus kynnön jälkeen. Sama koskee korsiviljan ja nurmikasvien viljelyä alkoholin valmistukseen.

Syväkynnön vaikutukset ovat sitä tehokkaampia, mitä syvemmälle maahan saastunut pintakerros saadaan. Kynnön tai muokkauksen jäljiltä oleva epätasainen maanpinta ja maan kivisyys pienentävät syväkynnön tehokkuutta. Ruokamultakerroksen paksuudella ja jankon sopivuudella kasvien ravinteiden ottoon on merkitystä syväkynnön onnistumiselle; ohutmultaisille maille syväkyntö ei sovellu. Savimailla syväkyntö yleensä onnistuu paremmin kuin kevyillä moreenimailla. Kynnön onnistumiseen vaikuttavat edelleen maan fysikaalinen tila, esimerkiksi vesipitoisuus, jonka vaikutus on eri maalajeilla erilainen sekä maan rakenne ja kasvijäännösten esiintyminen (oljet, sänki, nurmi). Sopiva maan kosteus pitää viilut käännettäessä ehjinä, mikä on tärkeää kynnön onnistumiselle.

Kyntösyvyys, joka voidaan saavuttaa, riippuu paitsi ruokamultakerroksen ja jankon ominaisuuksista myös aurasta ja vetovoimasta. Auran siiven muoto ja auran lisävarusteet kuten kuorimet, kuorinsiivekkeet ym. vaikuttavat kynnön lopputulokseen. Paras tulos kynnön laatuun nähden saavutetaan, kun viilun leveyden suhde kyntösyvyyteen on noin 1,5. Nykyisin on aurojen viilun leveys 35 ja 40 cm, joilla päästään 25 ja 28 cm kyntösyvyyteen. Syväkyntöauroilla saavutetaan kuitenkin paras tulos saastuneen pintamaan kääntämisessä syvemmälle maahan. Syväkyntöauran kääntämän viilun leveys on yli 45 cm, jolla päästään 35 cm kyntösyvyyteen. Tällaiset aurat ovat harvinaisia Suomessa.

Kynnölle suotuisimmat olosuhteet ovat yleensä syksyllä, sentähden voi kestää laskeuman ajankohdasta riippuen joistakin kuukausista aina vuoteen asti, ennenkuin syväkyntö voidaan suorittaa. Syväkynnön ajankoh-  
taa säätelevät myös mahdolliset lyhytikäiset radionuklidit, sillä jos ne lisäävät huomattavasti ulkoista säteilyannosta, kannattaa syväkyntö siirtää myöhempään ajankohtaan.

Syväkynnön vaikutusta voidaan tehostaa muokkauksen yhteydessä annettavalla kalium- ja kalsiumlannoituksella. Maa voidaan myös peruslannoittaa kaliumilla ja kalsiumilla ennen syväkyntöä, jolloin voidaan vähentää pitempijuuristen kasvien radiostrontiumin ja -cesiumin ottoa ruokamultakerroksen pohjalta.

Maahan liittyvien toimenpiteiden vaikutus kasvien radionuklidien ottoon vaihtelee, mikä johtuu maan ravinnetilasta, ruokamultakerroksen paksuudesta ja siitä, kuinka tehokkaasti saastunut pintakerros saadaan käännettyä. Jos saastunut kerros saadaan pysymään siinä syvyydessä, mihin se on käännetty, saattaa kalium- ja kalsiumlannoitus yhdessä hyvin suoritettun syväkynnön kanssa pienentää radionuklidien siirtymistä peltomaasta kasvavaan kasviin radiocesiumin kohdalla kymmenenteen ja radiostrontiumin kohdalla neljännteen osaan siitä, mikä se olisi, jos mitään maahan kohdistuvia erikoistoimenpiteitä ei olisi suoritettu.

Kirjallisuutta:

HAAK 1983 a, 1986, LÖNSJÖ 1983, 1985, NILSSON 1983, RANTAVAARA 1985

### 2.3. Tuotantosuunnan muutokset

Tuotantosuunnan muutosten päämääränä on vähentää kasvien radionuklidien ottoa ja estää mahdollisimman suuressa määrin radionuklidien kulkeutuminen elintarvikkeiden mukana tilan ulkopuolelle. Vaihtoehtoiseen tuotantosuuntiin siirtymistä sekä kasvinviljelyssä että kotieläintaloudessa voidaan käyttää yksinään tai yhdessä erilaisten maahan liittyvien toimenpiteiden kanssa.

Tuotantosuunnan muutokset tiloilla tulevat välttämättömiksi, kun joudutaan rajoittamaan tiettyjen peruselintarvikkeiden tuotantoa. Joidenkin kauppaviljelykasvien, vihannesten ja perunan viljely voidaan joutua lopettamaan kokonaan, samoin leipäviljan, sillä viljatuotteet käsitteävät huomattavan osan ruokavaliosta. Maidosta voi myös tulla kriittinen ravintoaine, jos sen tuotanto perustuu saastuneeseen rehuun. Rajoitusten lisäksi voidaan tiettyjen alueiden tai maataloustuotteiden käyttötarkoitusta joutua muuttamaan. Luonnonlaitumille, jotka saastuvat eniten laskeumasta, sopinevat parhaiten esimerkiksi hevoset ja itseuudistuvaan naudanlihantuotantoon tarkoitettut naudat. Jos luonnonlaidunten käytöstä on luovuttava kokonaan, niille voidaan istuttaa sopivia puulajeja tai perustaa energiametsiköitä.

Joillakin toimenpiteillä voidaan melkein kokonaan estää radionuklidien kulkeutuminen elintarvikkeisiin. Eräs vaihtoehto on kylvösiemenviljelyyn siirtyminen, jos saastunut alue on suhteellisen pieni pinta-alaltaan; itävästä siemenestä viljaan siirtyvä radionuklidimäärä on mitättömän pieni. Viljelykasvien viljeleminen teollisuuden käyttöön on toinen mahdollisuus, jossa jalostettu lopputuote ei sisällä radionuklideja. Viljaa, sokerijuurikasta ja perunaa voidaan käyttää alkoholin ja öljykasveja öljyn valmistukseen. On huomattava, että juurikkaisiin ja perunoihin tarttunut maa on mahdollinen säteilyriski. Viljelykasvien teollisen jalostuksen yhteydessä voi myös syntyä säteilysuojeluongelmia.

Radionuklidien siirtymistä maasta elintarvikkeisiin voidaan vähentää huomattavasti, jos viljellään vain rehukasveja, jotka käytetään teuraseläinten ruokintaan. Suurin osa rehun sisältämistä radionuklideista erittyy eläimestä lannan ja virtsan mukana ja ne joutuvat uudelleen peltomaahan.

Karjattomilla tiloilla voitaisiin siirtyä esimerkiksi yksinomaan sianlihan tuotantoon ja samalla ryhdyttäisiin viljelemään vain rehukasveja. Tämä tulisi edullisemmaksi savimailla, joilla on paksu ruokamultakerros, jolloin syväkynnöstä saataisiin mahdollisimman suuri hyöty.

Naudanlihan tuotantoon siirtymistä suositellaan tiloilla, joilla on aikaisemmin ollut maidontuotantoa. Kaikki viljelymaa kynnetään ja käytetään nurmen viljelyyn ja laitumeksi. Tämän vaihtoehdon etuna on se, että saastunut pintamaa voidaan kääntää syvempiin maakerroksiin heinäkasvien lyhyiden juurten ulottumattomiin ja maata ei tarvitse muokata vuosikausiin, joten radionuklidit pysyvät siellä, minne ne on kerran käännetty. Tätä vaihtoehtoa voidaan käyttää mailla, joissa on ohuempikin ruokamultakerros. Jos naudanlihatuotannossa osa alueesta käytetään rehukasvien viljelyyn, on tärkeää supistaa muokkaus mahdollisimman vähiin. Tämä vaihtoehto on edellistä edullisempi, mutta se vaatii hie- man paksumpaa ruokamultakerrosta.

Lihantuotannossa tulisi ruokinta järjestää siten, että itseuudistuvaan naudanlihan tuotantoon tarkoitettut eläimet ruokitaan saastuneemmalla rehulla, kun taas varsinaiset teuraseläimet ruokitaan loppuvaiheessa muualta tuotetulla rehulla.

Kirjallisuutta:

HAAK 1983 a, 1983 b

Esimerkkejä:

ANDERSON ja LÖNSJÖ (1985) ovat selvittäneet teoreettisten laskelmien avulla, kuinka paljon kahdelta maatilalta siirtyi  $^{137}\text{Cs}$ :a juurten kautta maataloustuotteisiin muutaman vuoden aikana reaktorionnettomuuden jälkeen sekä paljonko erilaiset toimenpiteet vähensivät tätä siirtymistä. Tutkimuksessa oletettiin, että laskeuman mukana oli radiocesiumia tullut maahan  $1 \text{ MBq/m}^2$ .

Maatila 1. Reaktorin läheisyydessä olevan maatilan pinta-ala oli 55 ha. Peltomaan savespitoisuus oli melko alhainen, mutta maan korkea pH sekä kalsium- että kaliumpitoisuudet aikaansaivat sen, että  $^{137}\text{Cs}$ :n otto juurten kautta oli hyvin pieni. Tilalla viljeltiin viljaa (ohra, ruis) (22 ha), sokerijuurikasta (11 ha), rehujuurikasta (0,5 ha), ruokaperunaa (5 ha), nurmea (5 ha) ja siellä oli myös luonnonlaidunta (10

ha). Tilalla harjoitettiin intensiivistä kotieläintuotantoa (lypsylehmiä, teuraseläimiä, porsaita, teurassikoja ja lampaista).

Jos tilalla ei suoritettu mitään vastatoimenpiteitä (= vertailutapaus), arvioitiin  $^{137}\text{Cs}$ :n määrän kasvituotteissa olevan 0,1 % ja eläintuotteissa 0,01 % laskeuman kokonaismäärästä.

Toimenpidevaihtoehdot maatilalla 1:

Viljelykasvien radiocesiumin ottoa vähennettiin kummassakin vaihtoehdossa suorittamalla syväkyntö yhdistettynä kaliumlannoitukseen, sitä vastoin kalkituksella ei katsottu olevan vaikutusta kasvin radiocesiumin ottoon.

a) Suurin osa pinta-alasta (3/4) käytettiin monivuotisen nurmen viljelyyn ja viljan viljelyyn loppuosa (1/4) sekä harjoitettiin itseuudistuvaa naudanlihatuotantoa, missä vasikat myytiin puolen vuoden ikäisinä. Näillä toimenpiteillä saatiin  $^{137}\text{Cs}$ :n määrä kasvituotteissa vähenemään 0,01 %:een (1/10 vertailutapauksen määrästä) laskeuman kokonaismäärästä.

b) Peltojen pinta-alasta käytettiin 2/5 viljan (ohra, kaura), 1/5 herneen ja 2/5 nurmen viljelyyn sekä kasvatettiin mulleja ja teurassikoja. Tällä vaihtoehdolla päästiin yhtä hyvin tuloksiin  $^{137}\text{Cs}$ -määrän vähentämisessä kuin vaihtoehdossa a: kasvituotteissa 0,01 %:een ja eläintuotteissa 0,001 %:een laskeuman kokonaismäärästä.

Maatila 2. Toisen maatilán, joka myös sijaitsi ydinvoimalan läheisyydessä, pinta-ala oli 188 ha ja siellä oli peltomaata 124 ha, luonnonlaidunta 40 ha, hedelmänviljelyä 10 ha ja metsää 12 ha. Maaperä oli yleensä multaista tai savista hietamaata, pH 5,8-6,4, liukoisen kaliumin määrä oli kohtalainen. Kasvinviljelyssä oli pääpaino viljan siemenviljelyssä, lisäksi viljeltiin ruokaperunaa, kevättrypsiä ja erikoisrehua hevosille.  $^{137}\text{Cs}$ -pitoisuus kasvituotteissa oli vertailutapauksessa 0,2 % laskeuman kokonaismäärästä. Luonnonlaitumilla pidettiin hiehoja (eivät omia) laidunkautena. Niiltä tuli eläintuotteisiin (liha) 0,01 % laskeuman kokonaismäärästä.

Toimenpidevaihtoehdot maatilalla 2:

Viljelykasvien radiocesiumin ottoa vähennettiin tässäkin tapauksessa viljelyteknisin toimenpitein: suoritettiin syväkyntö yhdessä kalsium- ja kaliumlannoituksen kanssa.

Samantapaisilla toimenpiteillä kuin maatila 1:n tapauksessa sekä lisäksi lopettamalla hedelmänviljely ja luonnonlaidunten käyttö sekä siirtymällä itseuudistuvaan naudanlihatuotantoon väheni  $^{137}\text{Cs}$ :n määrä kasvituotteissa 0,05 ‰ :een (1/4 vertailutapauksen määrästä) ja eläintuotteissa 0,003 ‰ :een (1/3 vertailutapauksen määrästä) laskeuman kokonaismäärästä.

Eräs vaihtoehto näillä mautiloilla voisi olla nurmirehun ja viljan viljely yhdessä hevosten kasvatuksen kanssa tai yksinään hevosen rehun myyntiin. Sokerijuurikkaiden viljely vain sokerin valmistukseen olisi myös mahdollista.

Mikä tahansa vaihtoehto näistä valitaankin, se tuo mukanaan huomattavia taloudellisia tappioita, joista viljelijä ei selviydy ilman hänelle maksettavaa korvausta.

#### 2.4. Yhteenveto

ERIKSSON (1986) on jakanut laskeuman jälkeiset pitkäntähtäimen parannustoimenpiteet maataloudessa kolmeen eri vaiheeseen, joita hän tarkastelee viljelijän näkökulmasta. Ensimmäinen, kyntöön liittyvä vaihe ei herättäne vastustusta viljelijässä, koska sen tuloksena viljelijän oma ulkoinen säteilyannos pienenee. Toinen vaihe, joka koskee lannoitusta, sitävastoin lisää viljelijän kustannuksia ja saattaa sentähden herättää vastustusta. Yhä enemmän vastustusta herättäne kolmas vaihe, joka rajoittaa viljelijän toimintaa ammatinharjoittajana. Toisaalta kuluttajat haluavat mahdollisimman vähän radionuklideja sisältäviä elintarvikkeita ja niitä saadaan vain suorittamalla menestyksellisesti kaikkien kolmen vaiheen edellyttämät toimenpiteet.

Vaihe 1. Vaihtoehdot ulkoisen säteilyn pienentämiseksi:

- a) maan pintakerroksen poistaminen
- b) syväkyntö
- c) normaalikyntö ja mahdollisimman vähän muokkausta

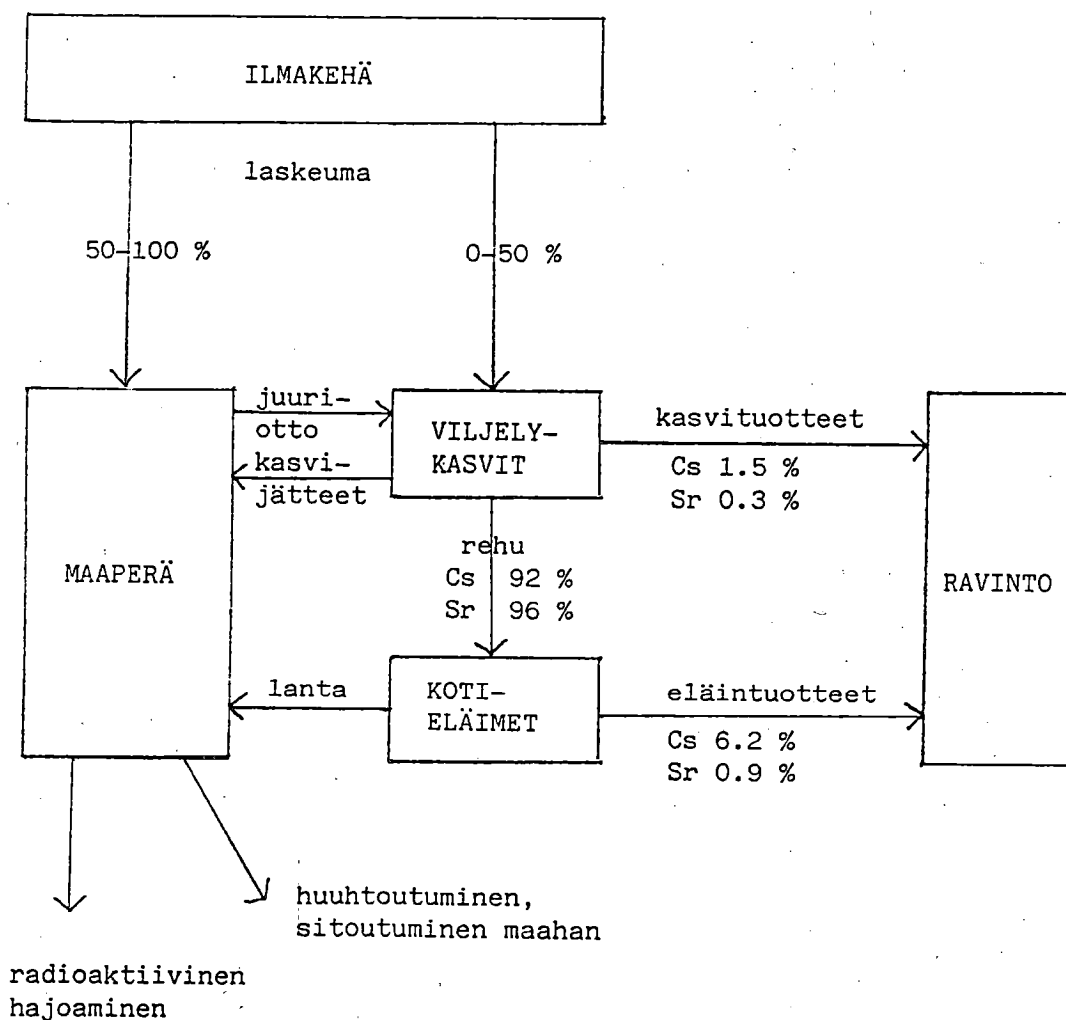
Vaihe 2. Vaihtoehtoja kasvin  $^{137}\text{Cs}$ :n oton edelleen pienentämiseksi:

- a) kaliumlannoituksen lisääminen
- b) alhaisen pH:n omaavien maiden kalkitseminen

Vaihe 3. Vaihtoehtoja viljelijän saaman säteilyannoksen ja  $^{137}\text{Cs}$ :n ravintoon kulkeutumisen edelleen pienentämiseksi:

- a) muokkauksen ja pellolla työskentelyajan vähentäminen minimiin
- b) muutokset maataloustuotannossa (kasvinviljely ja kotieläinhoito)

Kaaviokuva radiocesiumin ja -strontiumin kulkeutumisesta ilmakehästä maahan, kasveihin, kotieläimiin ja elintarvikkeisiin. Prosenttiluvut tarkoittavat radionuklidien siirtymisen määrää lähimmästä lähteestä ja ne on laskettu Kalmarin läänin olosuhteita vastaaviksi (HAAK 1983 b, ERIKSSON 1984). Radionuklidien kulkeutumisen määrän laskeminen maatalouden ravintoketjuissa Ruotsin eri lääneissä perustuu virallisiin maataloustilastoihin ja siirtokerroin-arvoihin, joita on saatu Ruotsissa suoritetuista pitkäaikaisista tutkimuksista ja asiaa käsittelevästä kirjallisuudesta.





### 3. Ulkoinen säteilyvaara maataloudessa

Maaseudun väestö joutunee alttiiksi keskimäärin suuremmille ulkoisen säteilyn annoksille kuin tiheään asuttujen seutujen väestö. Tämä johtuu mm. siitä, että viljelijät oleskelevat ulkona pitempiä aikoja kuin muu väestö. Maaseudulla on myös rakennusten suojavaikutus säteilyä vastaan yleensä pienempi kuin kaupungeissa. Maatalouden piirissä työskentelevät joutuvat lisäksi hengittämään muuta väestöä enemmän maa- ja kasvipölyä ja maanpinnalle kertynyt aktiivisuus häviää (huuhtoutuu) hitaammin pois maaseudulla kuin kaupunkien kaduilta ym. tasaisilta ja sileiltä pinnoilta.

Maatilalla työskentelevien henkilöiden saama ulkoinen säteilyannos johtuu siis paitsi laskeuman suuruudesta myös rakennusten ja ajoneuvojen suojausvaikutuksesta sekä oleskeluajasta ulkona ja sisällä rakennuksissa ja kulkuneuvoissa. Säteilyannoksen suuruus riippuu myös siitä, mihin toimenpiteisiin on ryhdytty rakennusten, pihojen, teiden ym. puhdistuksessa.

Vaikka mihinkään toimenpiteisiin ei ryhdyttäisikään, radioaktiivisuuden määrä vähenee hitaasti ympäristössä tapahtuvien sekoittumis-, laimennus- ja kulkeutumisprosessien kautta. Kasvillisuuteen, rakennuksiin, teille ym. laskeutuneet radionuklidit huuhtoutuvat sateen mukana maahan ja tuuli kuljettaa kuivaa laskeumaa eteenpäin. Aktiivisten aineiden poishuuhtoutuminen on suurempaa kaltevilta ja kasvittomilta kuin tasaisilta ja kasvillisuuden peittämiltä alueilta. Radionuklidit pyrkivät kerääntymään maaston painanteisiin ja veden mukana ne kulkeutuvat vesistöihin. Huuhtoutumisen, diffuusion ja ioninvaihdon kautta radionuklidit myös vähitellen kulkeutuvat syvempiin maakerroksiin.

Ulkoista säteilyannosta vähentäviä toimenpiteitä ovat mm.:

- saastuneen maan ja kasvillisuuden poiskuljettaminen
- syväkyntö
- aktiivisuuden poistaminen kovalta pinnoilta (tiet, katot ym.) huuhtelemalla tai imuroimalla
- suojautuminen (rakennukset, ajoneuvot)
- oleskelun rajoittaminen saastuneilla alueilla
- siirtyminen pois saastuneelta alueelta

Saastuneen maa- ja kasvipeitteen poiskuljettamista ja syväkyntöä on käsitelty aikaisemmin. Tärkein niistä lienee syväkyntö, joka pienentää ulkoista ja sisäistä säteilyannosta sekä estää radionuklidien uudelleenleviämisen ympäristöön. Normaalikyntö aikaansaa ulkoisen säteilyannoksen pienenemisen 1/8:sta 1/15:een. Maa-aineksen suojausvaikutus pienenee radionuklidien lähettämän säteilyenergian kasvaessa ja se kasvaa maan tilavuuspainon ja vesipitoisuuden kasvaessa.

Korkeapainehuuhtelu muutaman päivän sisällä laskeumasta voi poistaa kovilta pinnoilta 40 % aktiivisuusmäärästä, mutta jos se suoritetaan kuuden viikon kuluttua, vain 5 % jäljellä olevasta aktiivisuudesta on poishuuhdeltavissa.

Rakennusten säteily suojausvaikutus riippuu mm. kattojen ja seinien rakennusmateriaalista, seinien paksuudesta, ikkunapinta-alasta jne. Myös rakennusten koolla ja sillä, missä osissa rakennusta oleskellaan, on merkitystä. Rakennusten, jotka on rakennettu betonista, tiilestä tms. materiaalista, jonka massa pinta-alayksikköä kohden on suuri, säteily suojausvaikutus on suurempi kuin sellaisten, jotka on rakennettu puusta tai jostakin muusta kevyestä materiaalista. Nykyisin eläin suojat rakennetaan kevyemmästä materiaalista kuin aikaisemmin, joten ne suojelevat huomattavasti paremmin säteilystä kuin vanhemmat rakennukset. Säteily suojausvaikutuksen kannalta olisikin toivottavaa, että mahdollisimman monet tiilestä tai kivistä rakennetut navetat ym. rakennukset säilytettäisiin.

Jotta voitaisiin laskea ulkoisen säteilyn aiheuttamia annoksia maatalouden piirissä työskenteleville henkilöille, tarvitaan myös tietoja heidän oleskeluajoistaan eri paikoissa. Oleskeluajat riippuvat tilan koosta ja tuotantosunnasta, vuodenaikasta sekä tietenkin henkilöstä. Oleskeluaika sisätiloissa on yleensä pitempi talvella kuin kesällä. Kotieläinten hoitoon liittyvät työt vievät eniten aikaa tilan kokonaistyöpanoksesta ja ne suoritetaan suurimmaksi osaksi sisätiloissa, kun taas kasvinviljelyyn erikoistuneilla tiloilla voidaan olettaa vietettävän suhteellisesti pitempi aika ulkona pellolla. Oleskelu eri

paikoissa voidaan jakaa seuraaviin ryhmiin:

- asunnossa (lepo, vapaa-aika, ruokailu, koti- ja toimistotyöt)
- talousrakennuksissa (eläinsuojat, työpajat, konehallit)
- ajoneuvoissa (peltotyö traktorissa ym., kuljetukset)
- ulkona (käsin suoritettava peltotyö, kitkentä ym., vapaa-aika)
- tilan ulkopuolella (käynnit taajamissa, työ ja vapaa-aika)

Viimeisenä keinona ulkoisen säteilyannoksen vähentämisessä voidaan pitää ihmisten ja mahdollisesti myös eläinten evakuointia tilalta. Jos eläimet jätetään tilalle, voidaan niitä käydä hoitamassa saastuneen alueen ulkopuolelta käsin.

Kirjallisuutta:

LÖNSJÖ 1983, 1986, MASCANZONI 1983

#### 4. Pölyn aiheuttama säteilyvaara maataloudessa

Maataloudessa on pöly terveydellinen ongelma. Sisäänhengitetty radioaktiivinen pöly lisää viljelijän sisäistä säteilyannosta. Iholle ja vaatteille kertyvä pöly lisää ulkoista säteilyannosta, mutta tämä säteilyvaara on helposti torjuttavissa suojavaatetuksen käytöllä, harjaamisella ja pesulla.

Radioaktiivista pölyä esiintyy:

- saastuneen maan muokkauksen yhteydessä
- saastuneiden viljelykasvien korjuussa
- korjuutuotteiden käsittelyssä

Maapöly on suurimmaksi osaksi epäorgaanista pölyä. Suurin mahdollisuus joutua hengittämään radioaktiivista pölyä on saastuneen, kynnetyn maan ensimmäisessä muokkauksessa, joka suoritetaan tavallisesti heti, kun maan pintakerros on kuivunut. Kun tällainen maa muokataan toiseen kertaan, vähenee sisäänhengitetyn pölyn aiheuttama säteilyannos puoleen edellisestä ja syväkynnön jälkeen ei sisäistä, pölyn aiheuttamaa säteilyvaaraa käytännöllisesti katsoen ole enää olemassa. Ilman pölypitoisuudessa esiintyy suuria eroja, mitkä johtuvat mm. työvaiheesta,

maaperän kosteudesta, maalajista, ilman lämpötilasta ja ilman suhteellisesta kosteudesta. Kevyitä maita muokattaessa ilman pölypitoisuus on yleensä korkeampi kuin raskaammilla mailla, joiden savespitoisuus on suurempi. Maapölyn takia on traktoreiden ohjaamoihin kehitetty tuuletusjärjestelmiä, joissa ilma vedetään sisään suodattimen läpi. Tällä tavoin on ohjaamon ilman pölypitoisuutta saatu pienenemään jopa sadasosaan ilman suodatinta oleviin ohjaamoihin verrattuna.

Laskeuman ajankohdasta riippuu, kuinka saastuneita kasvit ovat sadonkorjuun hetkellä. Jos laskeuma tapahtuu touko-elokuun aikana, voi alue joutua ulkoisen säteilyvaaran vuoksi käyttökieltoon vuoden loppuun asti ja siten sadonkorjuu estyy. Jos laskeuma tapahtuu loka-toukokuun välillä, voivat syysviljat saastua jonkin verran, mutta sadonkorjuuseen mennessä on lehtien kautta tullut radionuklidipitoisuus niistä suurimmaksi osaksi hävinnyt. Suoraan laskeumasta saastuneiden kasvien käyttökelpoisuutta rehuna ja teollisuuden raaka-aineena on arvioitava niiden saastumisasteen, mahdollisen varastointiajan, kotieläinten pidon ja teknisten mahdollisuuksien mukaan. Suurin pölyriski syntyy heinän ja viljan normaalissa korjuussa, mikä yleensä tapahtuu kuivalla säällä. Näin syntyvä pöly on suurimmaksi osaksi orgaanista pölyä. Vaikka traktoreiden ja leikkuupuimureiden ohjaamot olisivatkin ilmastoituja (sisääntuloilman suodatus ja lievä ylipaine ohjaamossa), hienojakoisimpien pölyhiukkasten vähäistä sisääntunkeutumista ei voitane välttää.

Radioaktiivisesta pölystä aiheutuva säteilyvaara syntyy myös saastuneiden korjuutuotteiden kuivauksen, varastoinnin ja muun käsittelyn yhteydessä. Maataloudessa tämä riski liittyy lähinnä viljan, heinän ja oljen kuivaukseen ja varastointiin, rehuviljan jauhatukseen, rehun kuljetukseen ja käsittelyyn sekä eläinsuojien puhdistukseen. Teollisuudessa radioaktiivisen pölyn kannalta ongelmallisia paikkoja ovat mm. viljavarastot, myllyt ja perunavarastot (perunoiden lajittelu ja puhdistus). Sisällä suoritetuissa työvaiheissa pölyvaaraa on vaikeampi torjua kuin peltotöissä, missä ilmastoidut traktorinohjaamot estävät pölyn pääsyn hengitysilmaan. Tämä johtuu siitä, että käytännössä on ollut vaikeata järjestää tyydyttävää ilmanpuhdistusta rehunkäsittely-

ketjuissa ja siitä, että henkilökohtaisten hengityssuojainten käyttö tulee hankalaksi fyysisesti raskaassa työssä. Jos kuivarehua käsitellään sisällä, on mahdollisuus radioaktiivisen pölyn hengittämiseen suurempi kuin, jos käsittely suoritetaan ulkona siitäkkin huolimatta, että ulkona suoritettuun käsittelyyn kuluu enemmän aikaa.

Pölyongelmien pienentämiseksi tulisi mahdollisimman suuri osa nurmesta käyttää säilörehun valmistukseen, mikä taas lisää ulkoisen säteilyn annosta, koska ruoho joudutaan korjaamaan useaan kertaan. Sentähden olisi kiinnitettävä huomiota siihen, miten korjuutyö voitaisiin suorittaa mahdollisimman nopeasti.

Näyttää siis siltä, että radioaktiivisen pölyn hengittämisen vaara maataloudessa on suurin sisällä suoritettussa kuivarehun käsittelyssä, toiseksi suurin se on sadonkorjuutyössä ja pienin maan muokkauksessa, missä pölyn pääsyä hengitysilmaan voidaan parhaiten torjua.

Kirjallisuutta:

ERIKSSON 1983

##### 5. Kirjallisuusluettelo

- AARKROG, A. 1979. Environmental studies on radioecological sensitivity and variability with special emphasis on the fallout nuclides  $^{90}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$ . Part I. Risø-R-437, 267 p. Denmark.
- ADRIANO, D. C., McLEAD, K. W. & CIRAVOLO, T. G. 1984. Long-term root uptake of radiocesium by several crops. J. Plant Nutr. 7: 1415-1432.
- AMBLER, J. E. & MENGEL, R. G. 1966. Retention of foliar application of Sr 85 by several plant species as affected by temperature and relative humidity of the air. Radiat. Bot. 6: 219-223.
- ANDERSEN, A. J. 1963. Influence of liming and mineral fertilization on plant uptake of radiostrontium from Danish soils. Soil Sci. 95: 52-59.
- 1965. Uptake by plants of radiostrontium from contaminated soils. Nature 208: 195-196.

- 1967. Investigations on the plant uptake of fission products from contaminated soils. I. Influence of plant species and soil types on the uptake of radioactive strontium and cesium. Risø Rep. 170, 32 p. Denmark.
  - 1971. Influence of phosphorus and nitrogen nutrition on uptake and distribution of strontium and calcium in oat plants. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 35: 108-111.
- ANDERSSON, I. & LÖNSJÖ, H. 1985. Konsekvenser för enskilda lantbruksföretag i händelse av markbeläggning vid en kärnkraftolycka. Fallstudier av två gårdar i närheten av Barsebäcks- och Ringhalsverken. Sveriges Lantbruksuniversitet, Inst. för husdjurens utfodr. o. vård. Rapp. 150, 47 p. Uppsala.
- ANON. 1960. Radioactive materials in food and agriculture. FAO Atomic Energy Ser. 2. 123 p. Rome.
- 1962. Protection of food and agriculture against nuclear attack. Agriculture Handbook No. 234, U.S. Dep. Agric., 41 p. Washington.
- BARBER, D. A. 1964. Influence of soil organic matter on the entry of caesium-137 into plants. Nature 204: 1326-1327.
- BUKOVAC, M. J., WITTWER, S. H. & TUKEY, H. B. 1965. Aboveground plant parts as a pathway for entry of fission products into the food chain with special reference to Sr 89-90 and Cs-137. Radioactive fallout, soils, plants, food, man. Ed. FOWLER, E. B. New York. p. 82-109.
- CHAMBERLAIN, A. C. 1970. Interception and retention of radioactive aerosols by vegetation. Atmospheric Environm. 4: 57-78.
- DEV, G. 1965. Experiments on plant uptake of radiostrontium from contaminated soils. Effect of phosphate fertilization. Meld. Norges Landbrukshøgskole 44, 6: 1-7.
- D'SOUZA, T. J., FAGNIART, E. & KIRCHMANN, R. 1980. Effects of clay mineral type and organic matter on the uptake of radiocesium by pasture plants. Centre d'Etude de l'Energie Nucleaire, Mol, Belgium, Rep. BLG 538, 11 p.
- DUCKWORTH, R. B. & HAWTHORN, J. 1960. Uptake and distribution of strontium in vegetable and cereals. J. Sci. Food Agric. 11: 218-225.

- ECKL, P., HOFMANN, W. & TURK, R. 1986. Uptake of natural and man-made radionuclides by lichens and mushrooms. *Radiat. Environm. Biophys.* 25: 43-54.
- ERIKSSON, Å. 1977 a. Fissionsprodukter i svensk miljö. Rapp. SLU-IRB-40. 97 p. Uppsala.
- 1977 b. Direct uptake by vegetation of deposited materials. 1. Retention of nuclides and simulated fallout particles in pasture grass. Rep. SLU-IRB-42, 29 p. Uppsala.
  - 1983. III. Resuspension och inandning av deponerat <sup>137</sup>Cs med jordbruksdamm. 26 p. Långsiktiga konsekvenser av radioaktiv beläggning i jordbruket. 1. Malmöhus län. Ed. Å. Eriksson. Rapp. från inst. för radioekologi, Rapp. SLU-REK-55, Uppsala.
  - 1984. Hotet mot jordbruket och livsmedlen. *Svensk Veterinär-tidning* 36, 13: 613-618.
  - 1986. Swedish research into the acute and the long-term consequences in agriculture of a nuclear accident. p. 241-246. Rep. Swedish Univ. Agric. Sci., Dep. Radioecol., Rep. SLU-REK-61, 265 p. Uppsala.
- EVANS, E. J. & DEKKER, A. J. 1962. The influence of soil properties and soil amendments on the Sr 90 content of oats grown in selected Canadian soils. *Can. J. Soil Sci.* 42: 23-30.
- & DEKKER, A. J. 1963. The effect of potassium fertilization on the Sr 90 content of crops. *Can. J. Soil Sci.* 43: 309-315.
  - & DEKKER, A. J. 1966. Influence of rate of Sr 90 added to soil at different phosphate levels on the concentration of Sr 90 in plants. *Can. J. Plant Sci.* 45: 375-381.
  - & DEKKER, A. J. 1966. Plant uptake of Cs-137 from nine Canadian soils. *Can. J. Soil Sci.* 46: 167-176.
  - & DEKKER, A. J. 1967. The effect of soil organic matter content on the Cs-137 concentration in crop. *Can. J. Soil Sci.* 47: 7-13.
  - & DEKKER, A. J. 1968. Comparative Cs-137 content of agricultural crops in a contaminated soil. *Can. J. Plant Sci.* 48: 183-188.
- FRANCIS, C. W. 1978. Radiostrontium movement in soils and uptake in plants. DOE Critical Rev. Ser., Tech. Inf. Center, U.S. Dep.

of Energy, Oak Ridge, 131 p.

- & BRINKLEY, F. S. 1976. Preferential adsorption of Cs 137 to micaceous minerals in contaminated freshwater sediment. Nature 260: 511-513.
- FREDRIKSSON, L. 1961. Hur skydda oss mot radioaktivt nedfall? Lantmannen 48: 1044-1046.
- 1963. Studies on plant absorption of Sr 90 and Cs 137 from some tropical and subtropical soils. FOA 4 Rapp. A 4319-4623, 38 p. Stockholm.
- & ERIKSSON, Å. 1966. Studies on plant accumulation of fission products under Swedish conditions. VII. Plant absorption of Sr 90 and Cs 137 from soil as influenced by soil organic matter. FOA 4 Rapp. A 4485-4623, 25 p. Stockholm.
- & ERIKSSON, Å. 1968. Expected content of <sup>90</sup>Sr and <sup>137</sup>Cs in Swedish crops and milk at a total deposition in the Swedish crops and milk at a total deposition in the plowlayer of 1 Ci <sup>90</sup>Sr and 1 Ci <sup>137</sup>Cs per km<sup>2</sup>. FOA 4 Rapp. C 4354-28, 18 p. Stockholm.
- , ERIKSSON, Å. & HAAK, E. 1961. Studies on plant accumulation of fission products under Swedish conditions. II. Influence of lime and phosphate fertilizer on the accumulation of Sr 89 in red clover grown in 29 different Swedish soils. FOA 4 Rapp. C 4357-28, 26 p. Stockholm.
- , ERIKSSON, Å. & LÖNSJÖ, H. 1966. Studies on plant accumulation of fission products under Swedish conditions. VIII. Uptake of <sup>137</sup>Cs in agricultural crops as influenced by soil characteristics and rate of potassium fertilization in a three year microplot experiment. FOA 4 Rapp. A 4486-4623. 20 p. Stockholm.
- , ERIKSSON, Å., LÖNSJÖ, H. & HAAK, E. 1968, Migration and plant availability fission products in a lysimeter experiment. 1. Plant uptake and leaching of <sup>137</sup>Cs. FOA 4 Rapp. C 4357-28, 26 p. Stockholm.
- , LÖNSJÖ, H. & ERIKSSON, Å. 1969 a. Studies on plant accumulation of fission products under Swedish conditions. X. Absorption of <sup>90</sup>Sr and <sup>137</sup>Cs from soil by vegetable crops. FOA



- 4 Rapp. C 4387-28, 31 p. Stockholm.
- , LÖNSJÖ, H. & ERIKSSON, Å. 1969 b. Studies on plant accumulation of fission products under Swedish conditions. XII. Uptake of  $^{137}\text{Cs}$  by barley and peas from 12 different top soils combined with 2 subsoils in a long term micro plot experiment. FOA 4 Rapp. C 4405-28, 45 p. Stockholm.
- GÜNTHER, J. & SCHRÖDER, D. 1968. Über den Einfluss von Bodeneigenschaften auf die Aufnahme von radioaktivem Strontium durch Pflanzen. II. Untersuchungen an Modellböden mit systematisch variierten Merkmalen. Z. Pflanzenern. Düng. Bodenkunde 120: 78-88.
- HAAK, E. 1983 a. I. Transport och oralt intag av deponerat  $^{137}\text{Cs}$  ( $^{90}\text{Sr}$ ) med jordbruksprodukter. 30 p. Långsiktiga konsekvenser av radioaktiv beläggning i jordbruket. 1. Malmöhus län. Ed. Å. ERIKSSON, Rapp. från inst. för radioekologi, Rapp. SLU-REK-55, Uppsala.
- 1983 b. II. Transport av  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  från mark till jordbruksprodukter i olika län (M, L, N, O, Ps, H, F, B och C). Långsiktiga konsekvenser av radioaktiv beläggning i jordbruket. Rapp. från inst. för radioekologi, Rapp. SLU-REK-57, 66 p. Uppsala.
- 1986. Effect of K-fertilization, liming and placement, on crop uptake of cesium and strontium. p. 247-254. Rep. Swedish Univ. Agric. Sci., Dep. Radioecol., Rep. SLU-REK-61, 265 p. Uppsala.
- HAUNOLD, E., DANNEBERG, O. H., HORAK, O. & TUSCHL, P. 1982. Die nutzbarekeit radioaktiv kontaminierten Acker- und Weidelandes nach grossräumigen Verstrahlungen in Abhängigkeit von der Zeit. Umweltradioaktivität. Beiträge zu Umweltschutz, Lebensmittelangelegenheiten, Veterinärverwaltung. Bundesministerium für Gesundheit und Umweltschutz. 8/82, p. 271-368, Wien.
- JACKSON, W. A., CRAIG, D. & LUGO, H. M. 1965. Effects of various cations on cesium uptake from soils and clay suspensions. Soil Sci. 99: 345-353.
- JUO, A. S. R. & BARBER, S. A. 1969. Reaction of strontium with humic acid. Soil Sci. 108: 89-94.

- LEE, C. C. 1959. Distribution of radioactivity in wheat plants grown in the presence of strontium-90. *Science* 129: 1280.
- LÖNSJÖ, H. 1983. II. Extern strålning från deponerat radiocesium vid jordbruksdrift. 68 p. Långsiktiga konsekvenser av radioaktiv beläggning i jordbruket. 1. Malmöhus län. Ed. Å. ERIKSSON, Rapp. från inst. för radioekologi. Rapp. SLU-REK-55, Uppsala.
- 1985. Mouldboard ploughing as a remedial measure for contaminated land. 4. nord. radioekologiseminarieriet 27.2.-1.3.1985. Gol, Norge. Moniste 16 p. (Swedish Univ. Agric. Sci., Dep. Radioekol., Uppsala)
- 1986. Effects of remedial measures on the external radiation exposure from  $^{137}\text{Cs}$  after a farm land contamination. p. 255-265, Rep. Swedish Univ. Agric. Sci., Dep. Radioecol., Rapp. SLU-REK-61, Uppsala.
- MASCANZONI, D. 1983. En traktors skärningsförmåga med avseende på strålningen från en med  $^{137}\text{Cs}$  belagd markyta. 14 p. Långsiktiga konsekvenser av radioaktiv beläggning i jordbruket. 1. Malmöhus län. Ed. Å. ERIKSSON, Rapp. från inst. för radioekologi, Rapp. SLU-REK-55, Uppsala.
- MELNIKOVA, M. K. & BARANOVA, Z. A. 1967. On the mechanism of Ca and Sr uptake (on the example of radiocalcium and radiostrontium) by potato tubers. *Radioecological concentration processes*. p. 409-413. Eds. ÅBERG, B. & HUNGATE, F. P., Oxford.
- MIDDLETON, L. J. 1958. Absorption and translocation of strontium and caesium by plants from foliar sprays. *Nature* 181: 1300-1303.
- MOORBY, J. & SQUIRE, H. M. 1963. The entry of strontium into potato tubers after foliar contamination. *Radiat. Bot.* 3: 95-98.
- MOSTAFA, I. Y. & HASSAN, A. 1964. Translocation of strontium 90 with pumpkin plant after seed and foliar contamination. *Naturwissenschaften* 51: 483.
- NILSSON, J. 1983. Nedplöjning av simulerad radioaktiv beläggning på jordbruksmark. Rapp. från inst. för radioekologi, Rapp. SLU-REK-56, 27 p.
- NISHITA, H., KOWALEWSKY, B. W., STEEN, A. J. & LARSON, K. H. 1956. Fixation and extractability of fission products contaminating various soils and clays: I. Sr 90, Y 91, Ru 106, Cs 137, and

- Ce 144. Soil Sci. 81: 317-326.
- , ROMNEY, E. M., ALEXANDER, G. V. & LARSON, K. H. 1960. Influence of K and Cs on release of Cs 137 from three soils. Soil Sci. 89: 167-176.
- PAASIKALLIO, A. 1984. The effect of time on the availability of <sup>90</sup>Sr and <sup>137</sup>Cs to plants from Finnish soils. Ann. Agric. Fenn. 33: 109-120.
- PROUT, W. E. 1958. Adsorption of radioactive wastes by Savannah River plant soil. Soil Sci. 86: 13-17.
- PRÖHL, G. 1982. Aufnahme von Radionukliden durch das Blatt und die daraus resultierende Kontamination landwirtschaftlicher Erzeugnisse. GSF-Bericht S-61 (Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung, m.b.H. München, Neuherberg) 27 p. München.
- RANTAVAARA, A. 1985. Matkakertomus, kohde: Sveriges lantbruksuniversitetet, inst. för radioekologi, Uppsala. 10.1.1985, 4 p., Säteilyturvakeskus, Helsinki.
- ROMNEY, E. M., ALEXANDER, G. V., NISHITA, H. & LARSON, K. H. 1961. Influence of Ca and Sr amendments on Sr 90 uptake by Ladino clover upon prolonged cropping. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 25: 299-301.
- , ALEXANDER, G. V., RHOADS, W. A. & LARSON, K. H. 1959. Influence of calcium on plant uptake of Sr 90 and stable strontium. Soil Sci. 87: 160-165.
- SMITH, K. A. 1971. The comparative uptake and translocation by plants of calcium, strontium, barium and radium. II. Triticum vulgare (wheat). Plant and Soil 34: 643-651.
- SQUIRE, H. M. 1966. Long-term studies of strontium-90 in soils and pastures. Radiat. Bot. 6: 49-67.
- & MIDDLETON, L. J. 1966. Behaviour of Cs 137 in soils and pastures. A long term experiment. Radiat. Bot. 6: 413-423.
- SÄTEILYTURVAKESKUS 1986 a. Sienten cesium 137-pitoisuudet Suomessa. Tiedote 12.9.1986, 1 p. Helsinki.
- 1986 b. Viljan cesium 137-pitoisuudet vuoden 1986 sadossa. Tiedote 28.10.1986, 1 p. Helsinki.
- WHICKER, F. W. & SCHULTZ, V. 1982. Radioecology: nuclear energy and the environment. Vol. I, 212 p. Florida.

WITTERSPOON, J. P. & TAYLOR, F. O., Jr. 1970. Interception and retention of a simulated fallout by agricultural plants. Health Phys. 19: 493-499.

MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUKSEN TIEDOTTEET

1983

1. Maatalouden tutkimuskeskuksen yksiköiden tiedotteet 1975-1982. 48 p.
2. KONTTURI, M. Mallasohra - kirjallisuuskatsaus. 42 p.
3. NORDLUND, A. & ESALA, M. Maatalouden sääpalvelut ulkomailla. Kirjallisuustutkimus. 66 p.
4. MUSTONEN, L., PULLI, S., RANTANEN, O. & MATTILA, L. Virallisten lajikekokeiden tuloksia 1975-1982. 186 p. + 4 liitettä.
5. SUONURMI-RASI, R. & HUOKUNA, E. Kaliumin lannoitustason ja -tavan vaikutus tuorerehunurmien satoihin ja maiden K-pitoisuuksiin. 13 p. + 8 liitettä.
6. KEMPPAINEN, E. & HEIMO, M. Förbättring av stallgödselns utnyttjande. Litteraturöversikt. 81 p.
7. MULTAMÄKI, K. & KASEVA, A. Kotimaiset lajikkeet. 10 p.
8. LÖFSTRÖM, I. Kasvien sisältämät aineet tuholaiistorjunnassa. 26 p.
9. HEIKINHEIMO, O. Kirvojen preparointi ja määrittäminen. 67 p. + 12 liitettä.
10. SAARELA, I. Soklin fosforimalmi fosforilannoitteena. p. 1-13. Humuspitoiset lannoitteet. p. 14-20.
11. YLÄRANTA, T. Jordanalysetoder i de nordiska länderna. 13 p.
12. LUOMA, S. & HAKKOLA, H. Avomaan vihanneskasvien lajikekokeiden tuloksia vuosilta 1979-82. 21 p.
13. KIVISAARI, S. & LARPES, G. Kylvöajankohdan vaikutus kevätvehnän, ohran ja kauran satoon 10-vuotiskautena 1970-1979 Tikkurilassa. 54 p.
14. ERVIÖ, R. Maaperäkarttaselitys. ESPOO - INKOO. 26 p.
15. BREMER, K. Ydinkasvien tuottaminen kasvisolukkoviljelyyn avulla. 63 p.

1984

1. Tiivistelmät eräistä MTTK:n julkaisuista 1983. 74 p.
2. ESALA, M. & LARPES, G. Kevätviljojen sijoituslannoitus savimailla. 35 p.
3. ETTALA, E. Ayrshire-, friisiläis- ja suomenkarjalehmien vertailu kotoisilla rehuilla. 7 p. + 18 liitettä.

4. LUOMA, S. & HAKKOLA, H. Keräkaalin lajikekokeiden tuloksia vuosilta 1975-83. 22 p.
  5. KURKI, L. Tomaattilajikkeet ja hiilidioksidin lisäys. Kasvihuonetomaatin viljelylämpötiloista. Kasvihuonekurkun tuentamenetelmien vertailua. Sijoituslannoitus ja kasvualustan ilmastus kasvihuonekurkulla ja tomaatilla. 21 p.
  6. VIJORINEN, M. Italianraiheinä ja viljat tuorerehuna. 17 p.
  7. ANISZEWSKI, T. Lupiini viherlannoituskasvina. Arviointeja esikokeiden ja kirjallisuuden pohjalta. 11 p.
  8. HUOKUNA, E. & HAKKOLA, H. Koiranheinän ja timotein kasvu ja rehuarvon muutokset säilörehuasteella. 54 p.
  9. VALMARI, A. Roudan kehittymisen tilastollinen malli. 33 p.
  10. HAKKOLA, H. Kuonakalkituskokeiden tuloksia 1978-83. 42 p.
  11. SIPPOLA, J. & SAARELA, I. Eräät maa-analyysimenetelmät fosforilannoitustarpeen ilmaisijoina. 20 p.
  12. RAVANTTI, S. Terhi-punanata. 37 p.
  13. URVAS, L. & HYVÄRINEN, S. Kolme ravinnesuhdetta Suomen maalajeissa. 10 p.
  14. ANSALEHTO, A., ELOMAA, E., ESALA, M., KERSALO, J. & NORDLUND, A. Maatalouden sääpalvelukokeilu kesällä 1983. 101 p.
  15. MUSTONEN, L., PULLI, S., RANTANEN, O. & MATTILA, L. Virallisten lajikekokeiden tuloksia 1976-1983. 202 p. + 4 liitettä.
  16. JUNNILA, S. Ympäristötekijöiden vaikutus herbisidien käyttäytymiseen maassa. Kirjallisuustutkimus. 15 p. + 4 liitettä.
  17. PESSALA, R., HAKKOLA, H. & VALMARI, A. Kylvöajan merkitys porkkanan viljelyssä. 22 p.
  18. NISULA, H. Uusimpia tuloksia Ruukin lihanautakokeista. 39 p.
  19. SAARELA, I. Kevätöljykasvien boorilannoitus. 122 p. + 2 liitettä.
  20. URVAS, L. Maaperäkarttaselitys. PORI - HARJAVALTA. 28 p. + 14 liitettä.
  21. LEHTINEN, S. Avomaavihannesten lannoitus- ja kastelukokeet 1978-1983. 62 p. + 17 liitettä.
  22. ANISZEWSKI, T. & SIMOJOKI, P. Rikkakasvien siementen määrä ja elinvoima eräillä MTTK:n kiertokoealueilla. Kirjallisuustutkimus ja MTTK:n kolmen tutkimusaseman näytteiden analyysi. p. 1-38.
- PALDANIUS, E. & SIMOJOKI, P. Rikkakasvien siementen määrä ja elinvoima Satakunnan ja Etelä-Pohjanmaan tutkimusasemien maanäytteissä. p. 39-56.

23. RINNE, S-L. & SIPPOLA, J. Maatalouden jätteiden kompostointi. 52 p.  
I Typpi -ja fosforilisä oljen kompostoinnissa  
II Maatalouden jätteet kompostin raaka-aineina  
III Kompostin arvo lannoitteena

1985

1. Tiivistelmiä MTTK:n tutkimuksista ja julkaisuista 1984. 67 p.
2. ANSALEHTO, A., ELOMAA, E., ESALA, M., NORLUND, A. & PILLI-SIHVOLA, Y.  
Maatalouden sääpalvelukokeilu kesällä 1984. 127 p.
3. ETTALA, E. Säilörehu Maatalouden tutkimuskeskuksen lypsykarjakokeissa  
1970 - luvulla. 270 p.
4. ETTALA, E. Laidun lypsykarjaruokinnassa. 220 p.
5. TUORI, M. & NISULA, H. Ruokintarutiinien merkitys naudoilla. Kirjallisuus-  
tutkimus. 38 p.
6. TURTOLO, E. & JAAKKOLA, A. Viljelykasvin ja lannoitustason vaikutus  
typen ja fosforin huuhtoutumiseen savimaasta. 43 p.
7. AURA, E. Avomaan vihannesten veden ja typen tarve.  
Nitrogen and water requirements for carrot, beetroot, onion and cabbage. 61 p.
8. Puutarhaosaston tutkimustuloksia. Taimitarha ja dendrologia. 94 p.
9. KEMPPAINEN, E. Kuivikkeen vaikutus lannan arvoon.  
Kuivikkeiden ammoniakki sitomiskyky. 25 p.
10. JAAKKOLA, A., HAKKOLA, H., HIIVOLA, S-L., JÄRVI, A., KÖYLIJÄRVI, J. &  
VUORINEN, M. Terästeollisuuden kuonat kalkitusaineina. 44 p.
11. JAAKKOLA, A., ETTALA, E., HAKKOLA, H., HEIKKILÄ, R. & VUORINEN, M.  
Siilinjärven kalkki kalkitusaineena. 53 p.
12. TAKALA, M. Asumajätevesien imeyttäminen maahan ja energiapajun viljely  
imeytyskentällä. 36 p.
13. JOKINEN, R. & HYVÄRINEN, S. Eri maalajien magnesiumpitoisuus ja sen  
vaikutus ravinnesuhteisiin Ca/Mg ja Mg/K. 15 p.
14. JUNNILA, S. Rikkakasvien siementen itämislepo. Kirjallisuuskatsaus. 29 p.
15. MÄKELÄ, K. Talven aikana kuolleiden ryhmäruusujen versoissa esiintyvä  
sienilajisto vuosina 1976-1982. 13 p. + 8 liitettä.
16. MUSTONEN, L., PULLI, S., RANTANEN, O. & MATTILA, L. Virallisten lajikekokeiden  
tuloksia 1977-1984. 168 p. + 4 liitettä.

17. SÄKÖ, J. Maatalouden tutkimuskeskuksen puutarhaosastolla Piikkiössä kokeillut ja kokeiltavana olevat omenalajikkeet.  
Perusrungon merkitys omenapuiden talvehtimisessä 1983-84.  
SÄKÖ, J. & LAURINEN, E. Omenapuiden harjuistutus.  
HIIRSALMI, H. & SÄKÖ, J. Mansikan jalostus johtanut tulokseen.
18. ETTALA, E., SUVITIE, M., VIRTANEN, E., PITKÄNEN, T., ZITTING, M., NÄSI, M., TUOMIKOSKI, T. & NISKANEN, M. Metsä -ja maatalouden sivutuotteet lihamullien rehuna. 51 p.
19. MANNER, R. & AALTONEN, T. Pitko-syysvehnä. 6 p + 27 liitettä.
20. MANNER, R. & AALTONEN, T. Kartano-syysruis. 5 p + 13 liitettä.
21. ANISZEWSKI, T. Lupiini viljelykasvina. 134 p.
22. HUOKUNA, E., JÄRVI, A., RINNE, K. & TALVITIE, H. Nurmipalkokasvit puhtaana kasvustona ja heinäseoksena. p. 1-12.  
HUOKUNA, E. Apilan pahkahomeen esiintymisestä. p. 13-20.  
HUOKUNA, E. & HÄKKINEN, S. Englanninraiheinä säilörehunurmissa. p. 21-26.
23. VIRKKUNEN, H., KOMMERI, M., LARPE, E., MICORDIA, A. & LAMPILA, M.  
Eri säilöntäaineet esikuivatun ja tuoreen säilörehun valmistuksessa sekä kiinteä ja nouseva väkirehun annostus mullien kasvatuksessa. p. 1-32.  
VIRKKUNEN, H., KOMMERI, M., SORMUNEN-CRISTIAN, R. & LAMPILA, M.  
Eri säilöntäaineet nurmirehun säilönnässä. p. 33-45.
24. RISSANEN, H., ETTALA, E., MELA, T. & MUSTONEN, L. Laitumen sadetuksen ja väkirehujen käytön vaikutus lehmien tuotoksiin. p. 1-21.  
RISSANEN, H., KOSSILA, V. & VASARA, A. Urean, Urea-Foeforihappo-Viherjauhoyhdisteen (UPV) ja soijan vertailu raakavalkuaislähteinä maidontuotantokokeissa lehmillä. p. 22-30.  
KOSSILA, V., KOMMERI, M. & RISSANEN, H. Monokalsiumfosfaatti ja ureafosfaatti sekä käsittelemätön olki ja ammoniakilla käsitelty olki mullien ruokinnassa. p. 31-40.
25. KORTET, S. Puna-apilan paikalliskantojen ekologia. 66 p.
26. MEHTO, U. Viljojen rikkakasvien torjunta ilman herbisidejä. Kirjallisuustutkimus. 77 p.
27. HUHTA, H. & HEIKKILÄ, R. Rehuviljan viljely Pohjois-Karjalassa. 24 p. + 2 liitettä.



2. KEMPPAINEN, E. Karjanlannan hoito ja käyttö Suomessa. 102 p. + 6 liitettä.
3. KEMPPAINEN, E. & HAKKOLA, H. Lietelanta nurmen peruslannoitteena. 25 p.
4. NIEMELÄINEN, O. Nurmikkoheinien ominaisuudet. Kirjallisuustutkimus. Tuloksia punanatojen ja niittynurmikan virallisista nurmikon lajikekokeista vuosilta 1977-84. 48 p.
5. MUSTONEN, L., PULLI, S., RANTANEN, O. & MATTILA, L. Virallisten lajikekokeiden tuloksia 1978-1985. 128 p.+ 4 liitettä.
6. NIEMELÄINEN, O. & PULLI, S. Puna-apilalajikkeiden siemenmuodostus. Tuloksia apilan virallisista siemenviljelyn lajikekokeista vuosilta 1978-84. 42 p.
7. NIEMELÄINEN, O. Syksyn, talven ja kevään lämpö- ja valo-olojen vaikutus koiranheinän, niittynurmikan ja punanadan röyhymuodostukseen. Kirjallisuustutkimus. 51 p.
8. ERVIÖ, L-R. & ERKAMO, M. Pakettipellon viljelyn uudelleen aloittaminen herbisidien avulla.  
ERVIÖ, L-R. Korren vahvistaminen timotein siemenviljelyksillä.  
HIIVOLA, S-L. Klormekvatin käyttö timotein siemennurmilla.  
ERVIÖ, L-R. & HIIVOLA, S-L. Herbisidien käytön vähentäminen viljakasvustossa.
9. KEMPPAINEN, E. & HAKKOLA, H. Säilörehun puristeneste ja virtsa lannoitteina. 43 p.
10. MATIKAINEN, A. & HUHTA, H. Nurmikasvilajikkeet Karjalan tutkimusasemalla. 24 p.
11. SOVERO, M. Nopsa-kevätrypsi. 15 p. + 2 liitettä.
12. NIEMELÄ, P. Kuiviketurpeen soveltuvuus turkistarhoilla kertyvän sonnan ja virtsan käsittelyyn. 15 p + 4 liitettä.
13. PULLI, S., Vestman, E., TOIVONEN, V. & AALTONEN, M. Yksivuotisten tuorerehukasvien sopeutuminen Suomen kasvuoloihin. 51 p.
14. SIMOJOKI, P., RINNE, S-L., SIPPOLA, J., RINNE, K., HIIVOLA, S-L. & TALVITIE, H. Herneaurasta saatava typpilannoitusyhöty. 27p. + 22 liitettä.

15. SÄKÖ, J. & YLI-PIETILÄ, M. Hedelmäpuiden ja marjakasvien talvehtiminen talvella 1984-85 28 p.
16. MANNER, R. & KORTET, S. Niina-ohra. 31 p + 1 liite.
17. TURTOLA, E. & JAAKKOLA, A. Viljelykasvin, lannoituksen ja sadetuksen vaikutus kaliumin, kalsiumin, magnesiumin, natriumin, sulfaattirikin sekä kloridin huuhtoutumiseen savimaasta. 43 p.
18. TOIVONEN, V. & LAMPILA, M. Juurikasvisäilörehujen valmistus, laatu, rehuarvo ja mahdollinen käyttö etanolin valmistuksessa. 106 p. + 23 liitettä.
19. ETTALA, E. & VIRTANEN, E. Ayrshören, friisiläisen ja suomenkarjan monivuotinen vertailu kotovaraisella säilörehu-vilja- ja heinä-vilja-urearuo-kinnalla.  
1. Kolmen ensimmäisen lypsykauden tuotantotulokset.  
114 p. + 5 liitettä.
21. RAVANTTI, S. Iki-timotei. 33 p. + 1 liite.
22. URVAS, L. & VIRRI, K. Maaperäkarttaselitys. Turku-Rymättylä.  
34 p. + 7 liitettä.
23. VUORINEN, M. Kalkituskoekokeiden tuloksia saraturvemaalta 1977-83 22 p.

1987

2. PALDANIUS, E. Oljen kompostointi erilaisia seosmateriaaleja typpilähteenä käyttäen. 55 p. + 1 liite.
3. LEIVISKÄ, P. & NISSILÄ, R. Säämittauksen tuloksia Pohjois-Pohjanmaan tutkimusasemalla Ruukissa. 31 p.
4. HAKKOLA, H., HEIKKILÄ, R., RINNE, K. & VUORINEN, M. Odelman typpilannoitus, sängenkorkeus ja niittoaika. 39 p.
5. NIEMELÄ, T. & NIMELÄINEN, O. Kasvualustan tiivistyminen ja nurmikon kulumisen nurmikon stressitekijöinä. Kirjallisuuskatsaus. p. 1-30.  
NIEMELÄ, T. Siirtonurmikon kasvatus ja käyttö. Kirjallisuuskatsaus. p. 31-42.
6. LUOMA, S., RAHKO, I. & HAKKOLA, H. Kiinankaalin viljelykoekokeiden tuloksia 1981-85. 25 p.
7. MUSTONEN, L., PULLI, S., RANTANEN, O. & MATTILA, L. Virallisten lajikekoekokeiden tuloksia 1979-1986. 165 p. + 9 liitettä.



