



**MTTK**

**MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS**

**Tiedote 14/87**  
**Osa 2**

## **Radioaktiivinen laskeuma ja maataloustuotanto**

**VAPPU KOSSILA**  
Kotieläinhoito-osasto

**Radionuklidien siirtyminen kotieläimiin ja eläintuotteisiin sekä vaikutukset eläinten terveyteen ja tuotantoon**

MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS

TIEDOTE 14/87 osa 2

RADIOAKTIIVINEN LASKEUMA JA MAATALOUSTUOTANTO

sivut

Vappu Kossila

RADIONUKLIDIEN SIIRTYMINEN KOTIELÄIMIIN JA  
ELÄINTUOTTEISIIN SEKÄ VAIKUTUKSET ELÄINTEN  
TERVEYTEEN JA TUOTANTOON

1-109

Kotieläinhoito-osasto

31600 Jokioinen  
(916) 88 111

## ESIPUHE

Tshernobylin reaktorionnettomuus 26.4.1986 varoitti meitä siitä vakavasta uhkasta, jonka radioaktiivinen laskeuma saattaa aiheuttaa elintarviketuotannolle. Reaktorionnettomuuden vaikutukset elinympäristöömme ja ihmisiin jäävät 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 rehukasveihin 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 rehukasveihin, 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.

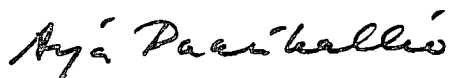
Raportin valmistelun aikana on maatalouden säteilysuojelukysymyksiä käsitelty monissa muissakin työryhmissä, joiden käyttöön osa raportin sisällöstä on

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.

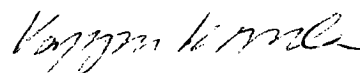
Jokioisissa toukokuun 27. päivänä 1987



Erikoistutkija, MMT Toivo Ylärinta  
työryhmän puheenjohtaja



Vanhempi tutkija, FL Arja Paasikallio



Erikoistutkija, MMT Vappu Kossila

SISÄLLYSLUETTELO		Sivu
1.0	JOHDANTO	3
2.0	KIRJALLISUUSKATSAUS	4
2.1.	Radionuklidien joutuminen eläimiin ja eläintuotteisiin - pääperiaatteet	
2.1.1.	Akuutti ja krooninen kontaminaatio	4
2.1.2.	Eläintuotteiden merkitys radioaktiivisen säteilyn lähteenä Suomessa	12
2.1.3.	Radioisotooppien kulkeutuminen eläinelimistöön isotooppien liukoisuus ja partikkelikoko	14
2.1.4.	Eri radioisotooppien käyttäytyminen eläimissä, yleisperiaatteet	18
2.2.	Jodi	22
2.3.	Cesium	34
2.4.	Strontium ja radium	59
2.5.	Ruthenium	72
2.6.	Sinkki	73
2.7.	Polonium ja lyijy	74
2.8.	Plutonium	75
2.9.	Radioisotoopit eläimissä - yhteenveto	77
2.10.	Suomessa käytetyt siirtokertoimet	80
2.11.	Säteilyvauriot ja riskirajat	82
2.12.	Eläinten säteilysuojelussa vartenotettavia näkökohtia	93
2.13.	TSHERNOBYLIN ydinvoimalaonnettomuuden vaikutus maidon 1-131 ja CS-137-pitoisuuteen Euroopassa ja Suomessa.	95
3.0.	SUOMESSA MENEILLÄÄN OLEVIA KOTIELÄINTEN TUOTANTOON LIITTYVIÄ RADIOAKTIIVISUUSKOKEITA	99
4.0.	TUTKIMUSTARVE	99
5.0.	PÄÄTELMÄT	100
6.0.	KIRJALLISUUSLUETTELO	102

## 1. JOHDANTO

Suomenkielellä on ilmestynyt jo 1960-luvulla julkaisuja, joista käy ilmi ne pääperiaatteet, joiden mukaan ydinkokeista tai ydinvoimallaonnettomuudesta peräisin olevat fissiotuotteet kulkeutuvat kotieläinten elimistöön ja tätä kautta elintarvikkeisiin. ÅBERG (1962a) on kiinnittänyt erityisesti huomiota Cs-137:n, Sr-90:n ja I-131:n aineenvaihduntaan kotieläimillä ja esiintymiseen eläinperäisissä elintarvikkeissa.

SALMINEN (1968) on kirjoittanut vieläkin seikkaperäisemmän teoksen säteilystä ja sen vaikutuksista kotieläimiin ja kotieläintuotteisiin. Kirja on tarkoitettu kurssikirjaksi eläinlääketieteen opiskelijoille.

RANTAVAARAN (1985) katsauksessa on annettu tärkeimmät Suomessa 1959 lähtien julkaistut STUK:n ja eräiden muiden tutkimuslaitosten yhteistyönä tehdyt tutkimukset, joihin sisältyy joitakin kotieläimiä koskevia tutkimuksia, kuten radioisotooppien siirtyminen eläinten ravinnosta eläintuotteisiin.

BLOMQVIST ym. (1984) ovat kiinnittäneet selväpiirteisessä kirjassaan ydinlaskeuman vaikutuksia mm. kotieläimiin ja eläintuotteisiin ja eläinten säteilynkestoon.

ICRP (1984) on julkaissut seikkaperäisen raportin säteilysuojelusta, jossa kiinnitetään mm. huomiota säteilyn aiheuttamiin fysiologisiin vaikutuksiin ja terveysriskeihin.

Yleisesti ottaen voidaan todeta, että ydinsaasteiden vaikutuksia eläimiin ja niiden siirtymistä eläintuotteisiin, on tutkittu runsaasti eri puolilla maailmaa. Aiheen tiimoilta on pidetty seminaareja mm. IAEA/FAO:n toimesta sekä myös Pohjoismaissa ja muualla maailmassa.

Huhtikuun lopulla 1986 tapahtuneen Tshernobylin ydinvoimalaonnettomuuden seurauksena on pidetty mm. Suomessa jo useita radioaktiivista saastetta koskevaa seminaaria. Niissä on jonkinverran valotettu radioisotooppien aineenvaihduntaa kotieläimillä. Tässä kirjallisuuskatsauksessa on pyritty hivenen yksityiskohtaisempaan probleeman käsittelyyn. Esitys ei kuitenkaan ole kaikkia jo tehtyjä tutkimuksia kattava, johtuen annetusta määräajasta, jonka kuluessa katsauksen on oltava valmis.

## 2. KIRJALLISUUSKATSAUS

### 2.1. Radionuklidien joutuminen eläimiin ja eläintuotteisiin Pääperiaatteet

#### 2.1.1. Akuutti ja krooninen kontaminaatio

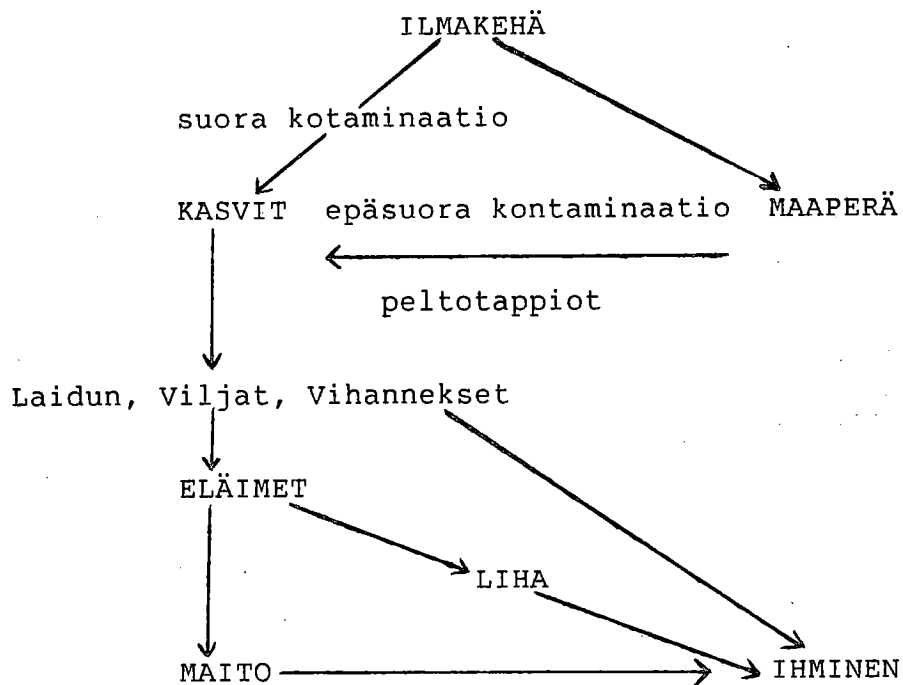
Akuutissa radioaktiivisten aineiden laskeumassa otetaan huomioon tavallisesti I-131:n, Sr-89:n, Sr-90:n ja Cs-137:n merkitykset. Suurimmat ao. aineiden konsentraatiot/akkumuloituminen elintarvikeraaka-aineisiin/havaitaan hyvin pian saastumis- t. laskeumatapahtuman jälkeen. Ihmisen suojelemiseksi radioaktiivisilta saasteilta on laadittu "Emergency Reference Levels" eli ns. turva-rajat.

Ulkoisen säteilyn annos voi jäädä vähäiseksi esim. silloin kun I-131 (hyvin liukoinen aine) saastuttaa laitumen. Tässä tapauksessa sisäinen säteilyannos voi kuitenkin olla tuhoisa, jos lehmän maitoon joutunut I-131 aiheuttaa vaurioita pikkulapsen kilpirauhasessa juotettaessa hänelle saastunutta maitoa.

Toisenlaisessa ääritapauksessa voi käydä niin, että ydinasekokeiden suorituspaikan lähistöllä löytyy runsaasti heikkoliukoisia saastepartikkeleita, jotka eivät siirry ravintoketjuun, mutta jotka aiheuttavat haitallisessa määrin suoraa ulkoista säteilyä.

Jotta radioaktiiviset isotoopit voisivat joutua ravintoaineketjuun niiden tulisi olla liukoisessa muodossa (poikkeuksen tekee kasvuston pinnoille satanut saaste, joka ei-liukoisessakin muodossa voi aiheuttaa säteilyvaurioita ruoansulatuskanavan epiteelille joutuaan ruoansulatuskanavan sisään ravinnon mukana)(ref. JONES 1984).

Kuva 1. Pääasialliset radioaktiivisten saasteiden kulkutiet ilma-  
kehästä ihmiseen. (BRUCE ja SCOTT RUSSELL 1969).



Kuva 1 osoittaa, että radionuklideilla on vain muutama kriittinen kulkeutumistie ilmakehästä ihmiseen ravintoketjun välityksellä. Nuklidien kulkeutuminen maaperästä kasveihin on suhteellisesti ottaen vähäistä. Huomattavaa osaa sensijaan näyttelee laskeuma, joka saastuttaa itse kasvit. Tätä kautta esim. laitumella pidetty lehmä saa suurimman osan saasteista, joita sitten joutuu maitoon ja lihaan. Laiduntavat eläimet saattavat ahmia ruohoa jopa  $150 \text{ m}^2$ :n alueelta päivässä ja näin ne saavat rehun mukana elimistöönsä huomattavan määrän radioaktiivista laskeumaa. Maito tulee tällaisissa tapauksissa eniten radionuklideja sisältäväksi väestön dieetin komponentiksi. Vihannesten rooli maitoon verrattuna jää vain 1/100:ksi tässä mielessä.

Kasvien pinnalle satanut saaste voi pudota alaspäin kasvin tyveä ja maan pintaa kohden. Tämä ns. "peltotappio" jatkuu exponentiaalisesti muutaman viikon ajan. Monissa tutkimuksissa on todettu että neliometriä kohden jäämän määrä puoliintuu joka toinen viikko. Mikäli kasvusto, esim. ruoho, kasvaa nopeasti ja voimakkaana, laskee



radioaktiivisten isotooppien määrä tuotettua kasvimassan kuiva-ainekiloa kohden vieläkin voimakkaammin. Maidon sisältämien saasteiden määrä riippuukin paljon näistä saastumisen alkuvaiheessa havaituista ilmiöistä.

- laskeumapölyn partikkelikoon suurenessa radioaktiivisten aineiden kulkeutuminen maitoon alenee

- fissiotuotteiden tulee muodostaa liukoisia komponentteja ruoansulatuskanavassa, jotta ne imeytyisivät eläinten elimistöön

Laidunruohon varassa pidettävät eläimet ovat erityisen alttiita radioaktiiviselle laskeumalle. Lehmillä laidunalan tarve riippuu laitumen kasvuston määrästä ja laadusta sekä lehmän ravinnontarpeesta. Ruohoa voi olla tarjolla runsaasti tai niukasti. Taulukossa 1 on annettu esimerkkejä laidunalan tarpeesta. Jos kasvusto on runsasta ( $112 \text{ g/m}^2$ ) ja ka-tarve on  $13,5 \text{ kg}$  niin laidunalan tarve on  $120 \text{ m}^2$ . Ylisyötetyllä heikosti kasvavalla laitumella ruohosato on vain  $28 \text{ g/m}^2$  ja lehmä tarvitsee tällöin  $160 \text{ m}^2$  laidunalaa, jotta se voisi syödä  $4,5 \text{ kg ka/d}$ .

Taulukko 1. Erilaisten laitumien tuotto g ka/m<sup>2</sup>, lehmien keskim. ka-syönti kg/d vapaasti laidunnettaessa, ja laidun ala joka tarvitaan tyydyttämään ao. ka-saanti.

Laiduntyyppi	Ruohon ka:ta g/m <sup>2</sup> saatavilla	Lehmän ka-syönti kg/d	Laidunalan tarve m <sup>2</sup>
Runsas, lehtirikas sekakasvusto 10-12 cm korkeata äskettäin laidun- nettu	112	13,5	120
Kuten edellä, mutta paraikaa laidunnet- tavana	56	9	160
Hyvä laidun, mutta liikaa eläimiä, kasvusto kärsinyt kylmyydestä tai kuivuudesta tai on ylipäättänsä heikko	28	4,5	160
Laiminlyöty hoito 12-25 cm korkeata ylikasvanutta kasvustoa	140	9	65

Lyhytikäinen laidunkasvuston radioaktiivinen kontaminaatio on suhteessa pintalasseuman määrään. Syöty radioaktiivisuusmäärä suhtautuu läheisemmin siihen pinta-alaan, josta ruoho on syöty, kuin ka:n syöntimäärään.

Jos laitumessa (runsas) olisi esim.  $5\ 000\ \text{Bq}/\text{m}^2$  laskeumaa ja lehmä söisi ruohomäärän  $120\ \text{m}^2$ :ltä/d niin ( $120\ \text{m}^2 \times 5\ 000\ \text{Bq} = 600\ 000\ \text{Bq}$ ) lehmä tulisi tekemisiin  $600\ 000\ \text{Bq}$ :n kanssa/d, (josta kuitenkin vain osa joutuisi lehmän ruoansulatuskanavaan ja osa jäisi laitumelle). Jos taas lehmä keräisi heikosta kasvustosta  $4,5\ \text{kg}$  ka  $160\ \text{m}^2$ :n alalta se tulisi tekemisiin  $800\ 000\ \text{Bq}$ :n kanssa vastaavasti. Jälkimmäisessä tapauksessa maidon nuklidipitoisuus on huomattavasti korkeampi kuin edellisessä tapauksessa.

Radioaktiivisessa laskeumassa radioaktiiviset atomit ovat sitoutuneena eri kokoisiin hiukkasiin, partikkeleihin, jotka käyttäytyvät eri tavoin laskeumatapahtuman aikana ja sen jälkeen. Ruotsalaiset tutkijat ovat selvittäneet partikkeleiden fysikaalisten ominaisuuksien ja lehmien laitumelta saaman säteilyannoksen välisiä suhteita. (GREITZ ym. 1974).

Silikonihiekkapartikkelit, joiden läpimitta oli  $1\ \mu\text{m}$ ,  $40\text{--}63\ \mu\text{m}$ , ja  $100\text{--}200\ \mu\text{m}$  leimattiin La -140:llä tai Ce -141:llä. Partikkelit olivat märkinä tai kuivana varastoituneina lehmälaitumeen. Pienin partikkeli  $1\ \mu\text{m}$  vastasi maailmanlaajuisen laskeuman hiukkaskokoa ja suuremmat partikkelit lähilasseuman hiukkaskokoa.

Lehmien laiduntamiskokeissa todettiin että  $100\text{--}200\ \mu\text{m}$ :n kuiva-hiukkasista lehmät söivät 5 % (1-24 %).

Märkiä	$100\text{--}200$	hiukkasia	ne söivät	16 %	( 4-28 %)
"	$40\text{--}63\ \mu\text{m}$	"	"	18 %	( 6-39 %)
"	$1\ \mu\text{m}$	"	"	30 %	(12-61 %)

Kuivien hiukkasten pidättyminen syötävään ruohoon lisääntyi ilman kosteuden lisääntyessä.

Isommat hiukkaset joutuvat kasvien tyviosiin, joita eläimet kaihtavat syödessään ruohoa. Tämä on todettu mm. Australiassa suoritetuissa kokeissa (LOUTIT ja RUSSEL 1961).

Kuva 2. Laitumella pidettyjen lehmien maitoon siirtyvien radioi-  
sotooppien I-131, Cs-137 ja Sr-89 ja Sr-90:n määrien  
muutokset saastumisesta kuluneen ajan funktiona (SCOTT RUSSELL  
& BRUCE 1969).

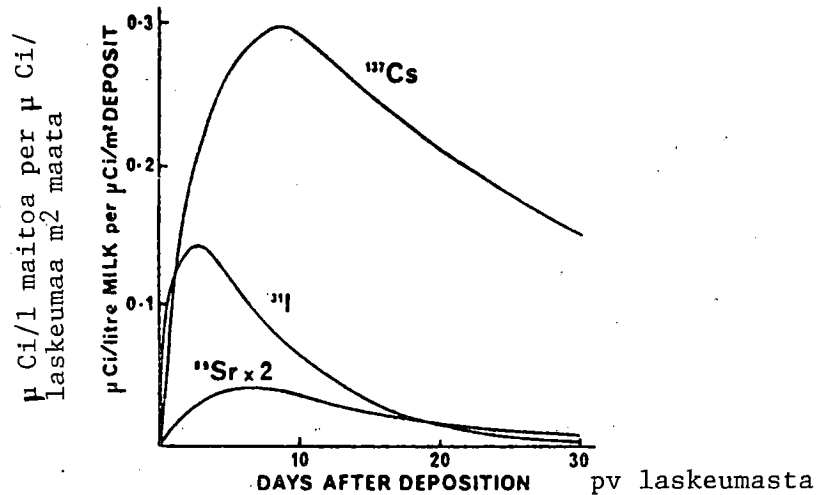


FIG. 2. Relationships between the contamination of milk with  $^{131}\text{I}$ ,  $^{89}\text{Sr}$  and  $^{137}\text{Cs}$  and the deposition on pastures. In the early period the relationship for  $^{90}\text{Sr}$  is similar to that for  $^{89}\text{Sr}$ , but subsequently the concentration of  $^{90}\text{Sr}$  would decrease more slowly owing to its longer half-life.

Kuvassa 2 on esitetty maidon I-131-, Sr-89 ja Cs-137-pitoisuuksien suhteet laitumen radioaktiivilaskeumahetkeen ja suhteiden muuttuminen laskeumahetkestä eteenpäin.

Kuvassa 2 esitetyt isotooppien väliset konsentraatiosuhteet edellyttävät että:

- lehmät syövät vain laidunruohoa
- lehmät syövät noin 9 kg ruohon ka/d/eläin ja että syöntikelpoista ruohoa on  $55 \text{ g/m}^2$
- 25 % laskeuman radioaktiivisuudesta on lehmän syömässä ruoanoksessa imeytymiskelpoisessa muodossa
- laidunruohossa tapahtuu radioaktiivisten aineiden puoliintumisen ohella "peltotappioita" jotka puoliintuvat joka 14. pv.

Edellä luetellut olosuhteet antavat korkeimman mahdollisen radioi-  
sotooppikonsentraation maidossa. Käytännössä laidunnettaville leh-  
mille annetaan usein väkirehulisä, joka alentaa maidon radioaktii-  
visten saasteiden määrää maidossa.

Kuvasta 2 voidaan nähdä, että I-131 saavuttaa n. 3 d:n sisällä ensiannoksesta maksimitason maidossa, jonka jälkeen tapahtuu laskua noin 5 d:n puoliintumisvauhdilla. Sr:n ja Cs:n maksimimäärät nähdään 5-10 d:n päästä kontaminaation ensipäivästä ja näiden isotooppien puoliintumisvauhti maidossa on 14 d.

Muiden ruoka-aineiden kontaminaatio laskeuman alkuaikoina on vähämerkityksellisempi verrattuna maitoon. Viljoissa saattaa olla saastetta suorasta laskeumasta. Jyvämuodostuksen hetkellä tapahtuva laskeuma lisää saasteen määrää jyvissä. Tällöin tulee kysymykseen lähinnä Cs-137 ja Sr-90. Myös laidunnettavien eläinten liha saastuu Cs-137:llä.

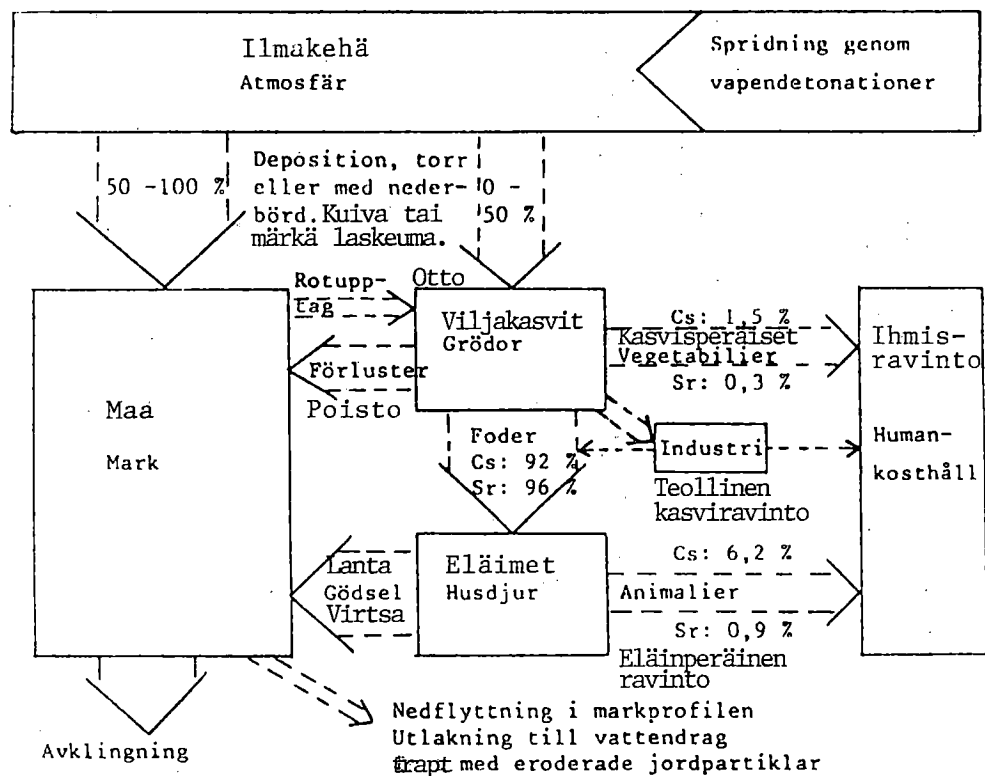
Maatalouden krooninen altistuminen johtuu lähinnä stratosfääristä myöhemmin maahan sataneesta saasteesta, joihin pääsyyllisiä ovat Cs-137 ja Sr-90. Sr-90 saattaa joutua ravintoketjuun monen ensilaskeumaa seuraavan vuoden aikana. Arviolta 50-70 % koko Sr-90:sta joutuu ravintoketjuun ennemmin tai myöhemmin. Länsimaisessa kulttuurissa, jossa maito on tärkeä ravinnon osa, maidon Sr-90 voi vastata noin yli puolta Sr:n kokonaissaannista ravinnon mukana. Sr-89:n T 1/2 on lyhyt ja I-131:n tapaan sen merkitys kroonisissa tilanteissa on vähäinen. Cs-137 joutuu kroonisessa tilanteessa maaperästä kasveihin vain vähäisessä määrin ja näinollen Cs-137:n merkitys jää vähäiseksi huolimatta sen pitkästä T 1/2:sta (BRUCE ja SCOTT RUSSELL 1969).

ERIKSSON (1984) pohtii Ruotsissa ydinkokeiden ja ydinonnettomuuksien johdosta stratosfääriin kulkeutuneen radioaktiivisen saasteen merkitystä kotieläinten rehuhuollolle. Korkealle stratosfääriin kulkeutunut saaste tulee alas pääasiassa sateiden mukana ns. märkänä laskeumana, vain pieni osa laskeutuu maan pinnalle kuivina hiukkasina.

Alkukesän rehusato saa tästä laskeumasta isoimman osan (säilörehu, ruoho). Heinäsadossa on enää vain puolet em:stä. Viljoissa ja oljissa laskeuman määrä jää edellisiä vieläkin pienemmäksi.

Kirjoituksessa pohditaan menetelmiä, joilla nuklidien kulkeutumista elintarvikkeisiin voitaisiin vähentää ja siinä annetaan Cs:n ja Sr:n kulkeutumiskaavio ilmakehästä maatalouden kulttuurieko-

Kuva 3. Kaavakuva Cs:n ja Sr:n kulkeutumisesta ilmakehästä maatalouden kulttuuriekosysteemiin ja tämän välityksellä elintarvikkeisiin. Prosenttiluvut viittaavat siirtymismäärään lähimmästä lähteestä eli blokista. Kaavakuvio perustuu Kalmarin läänistä saatuihin tuloksiin (ERIKSSON 1984)



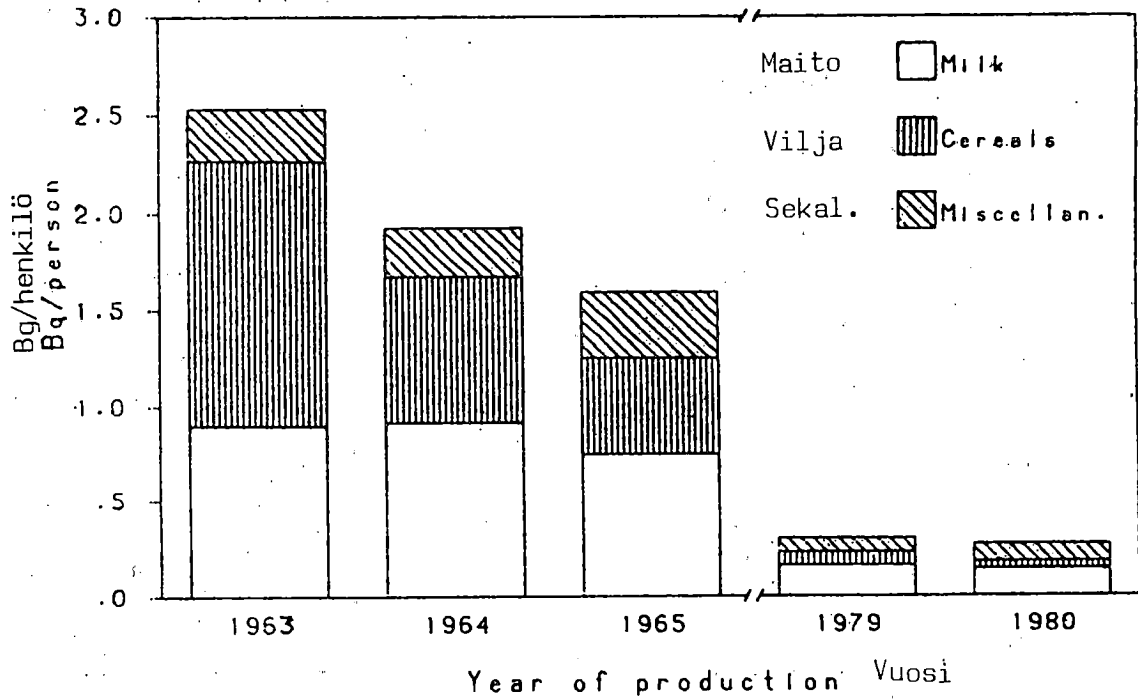
Figur 2. Blockschema över transporten av cesium och strontium från atmosfär till, och inom, jordbrukets kulturrekossystem samt med jordbruksprodukter till livsmedel. (Procentsiffrorna anger transporten från närmaste källa.) Data beräknade för Kalmar län.

### 2.1.2. Eläintuotteiden merkitys radioaktiivisen säteilyn lähteenä Suomessa

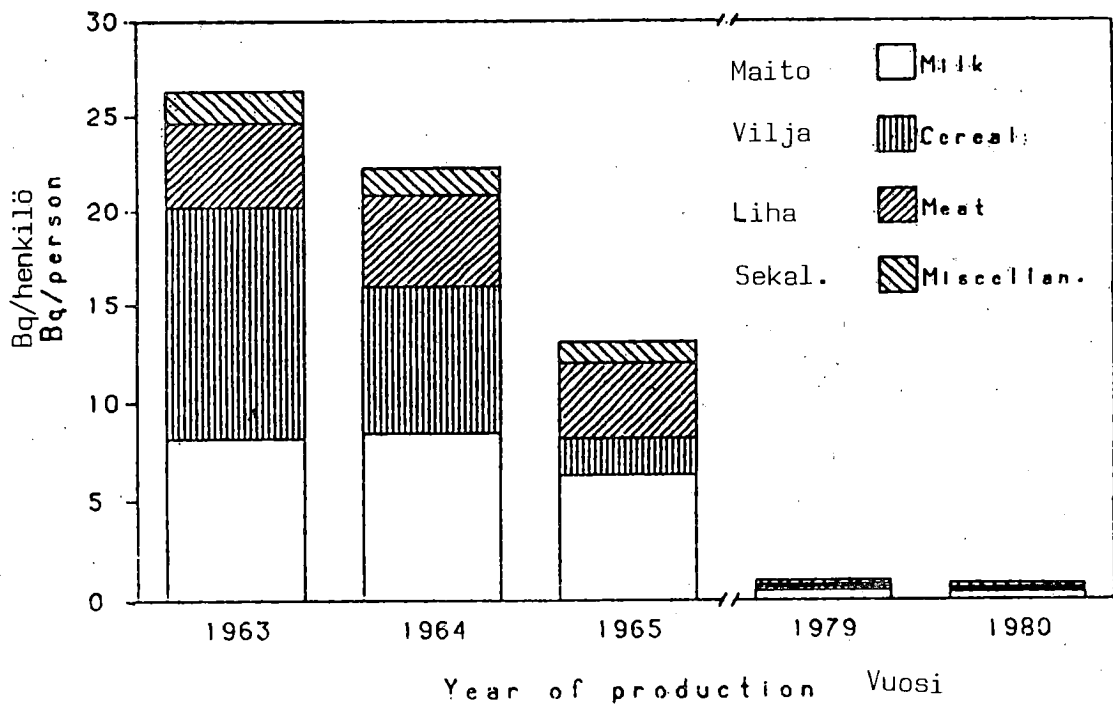
RAJAMAN ja RANTAVAARAN (1982) tutkimuksesta käy ilmi, että Suomessa väestön syömästä radioaktiivisuudesta 30-50 % oli peräisin maidon mukana saadusta Sr-90:sta ja Cs-137:sta v. 1963-65. Viljojen mukana väestö sai tätäkin enemmän kumpaakin radionuklidia v. 1963. Viljoista saadut määrät alenivat kuitenkin nopeammin kuin maidosta saadut (kuvat 4 ja 5). Cs-137:n saanti oli noin 10 kertaa isompi kuin Sr-90:n saanti. Kuvissa esitetyt arvot perustuvat osittain muista Pohjoismaista saatuihin elintarvikkeiden radioaktiivisuusarvoihin. Säteilylle altistus on ilmaistu Bq/henkilö/d. Korkeimmillaankin ravinnon Cs-137 pitoisuus on jäänyt alle 27 Bq/henkilö/d ja Sr-90 pitoisuus 2,5 Bq/henkilö/d.

Tutkimus osoittaa, että maidon osuus radioisotooppien lähteenä on merkitsevä. Lihan osuus Sr-90:n lähteenä oli mitätön, mutta Cs-137:n lähteenä sillä oli selvästi havaittava merkitys, joskin kuitenkin maitoon verrattuna vähäisempi.

Kuva 4. Pääruoka-aineiden osuus Sr-90:n lähteenä suomalaisessa dieetissä (päiväannos)



Kuva 5. Pääruoka-aineiden osuus Cs-137:n lähteenä suomalaisessa dieetissä (päiväannos)





### 2.1.3. Radioisotooppien kulkeutuminen eläinelimistöön

#### Isotooppien liukoisuus ja partikkelikoko

Kirjassa "Radioactivity and human diet" (ANON. 1966) on alan asiantuntijoiden hyviä kirjoituksia radioaktiivisesta laskeumasta, kasvien saastumisesta, nuklidien otosta maaperästä kasveihin, nuklidien aineenvaihdunnasta koti- ja laboratorioeläimillä sekä ihmisillä. Tästä kirjasta lukija saa hyvän käsityksen radioaktiivisten isotooppien aineenvaihdunnasta ihmisissä ja eläimissä.

Kotieläinten ruoansulatuskanavan kapasiteetti ja pituus on annettu taulukossa 2. Lypsylehmä voi syödä 15-20 kg ka/d (vastaa yli 100 kg tuoretta ruohoa) ja täysikasvuinen hevonen 8-12 kg ka/d.

Taulukko 2. Ruoansulatuskanavan vetoisuus ja pituus

	Vetoisuus, l	Pituus, m
<u>Nauta</u>		
Mahat	250	
Ohutsuoli	70	50
Paksusuoli	10	1
Umpi- ja peräsuoli	30	10
<u>Hevonen</u>		
Mahalaukku	20	
Ohutsuoli	65	20
Paksusuoli	35	1
Umpi- ja peräsuoli	100	6
<u>Lammas, vuohi</u>		
Mahat	30	
Ohutsuoli	10	25
Paksusuoli	1	1
Umpi- ja peräsuoli	5	6
<u>Sika</u>		
Mahalaukku	8	
Ohutsuoli	9	20
Paksusuoli	2	0,2
Umpi- ja peräsuoli	9	5

Eräiden radioisotooppien maksimikonsentraation ajankohta lypsylehmän veressä tuntia syömisestä on annettu taulukossa 3. Halogeenit (Fl, I) kulkeutuvat nopeasti vereen, Cs, Ca ja Sr kulkeutuvat hitaammin.

Taulukko 3. Maksiminukliditaso lehmän veressä, tuntia nuklidin nauttimisesta (LENGEMANN ja COMAR 1956).

Radionuklidi	Huippuarvon ilmaantuminen vereen h annos- tuksesta
Fluoridi-18	3-5
Jodi-131	4-6
Natrium-22	8
Fosfori-32	6-30
Cesium-137	20
Kalsium-45	20-40
Strontium-89,-90	20-40

Alkuaineiden imeytymisaste näkyy taulukosta 4. Fl, I ja Cs ovat hyvin liukoisia; Sr, Te ja Ra imeytyvät kohtalaisen hyvin, Po imeytyy heikosti ja Pu erittäin heikosti:

Taulukko 4. Alkuaineiden luokittelu imeytymisasteen mukaan.

TABLE 7.5. CLASSIFICATION OF ELEMENTS ACCORDING TO DEGREE OF ABSORPTION

Absorption (%)	
70-100	H, He, Li, B, C, N, O, F, Ne, Na, Si, P, S, Cl, A, K, Se, Br, Kr, Rb, Mo, I, Xe, Cs, Hg, At, Fr.
20-70	Ca, Co, Ni, Cu, Sr, Tc, Rh, Pd, Te, Re, Tl, Ra.
1-20	Al, Mg, V, Mn, Fe, Zn, As, Ru, Ag, Sn, Sb, Ba, W, Os, Ir, Pt, Au, Pb, Bi, Po.
< 1	Be, Sc, Ti, Cr, Ga, Ge, Y, Zr, Nb, Cd, In, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, Ac, Th, Pa, U, Np, Pu, Am, Cm, Bk, Cf.

From International Commission on Radiological Protection (1959).

Alkuaineiden imeytyminen riippuu mm. eläimen iästä. Taulukossa 5. on annettu esimerkkinä eri ikäisten nautojen ulosteissaan erittämät suunkautta saadut Ca ja Ca-45 määrät. Nuorilla eläimillä ulosteet sisältävät vähemmän Ca koska näillä Ca-aineenvaihdunta on vilkasta ja Ca:n imeytyminen tehokasta. Luunmuodostus tapahtuu pääosin ennen 6 kk:n ikää.

Taulukko 5. Kalsiumin erittyminen naudalla 7 d:n aikana annettaessa alkuaine kalsiumia (Ca) ja yksi annos Ca-45 (HANSARD ym. 1954)

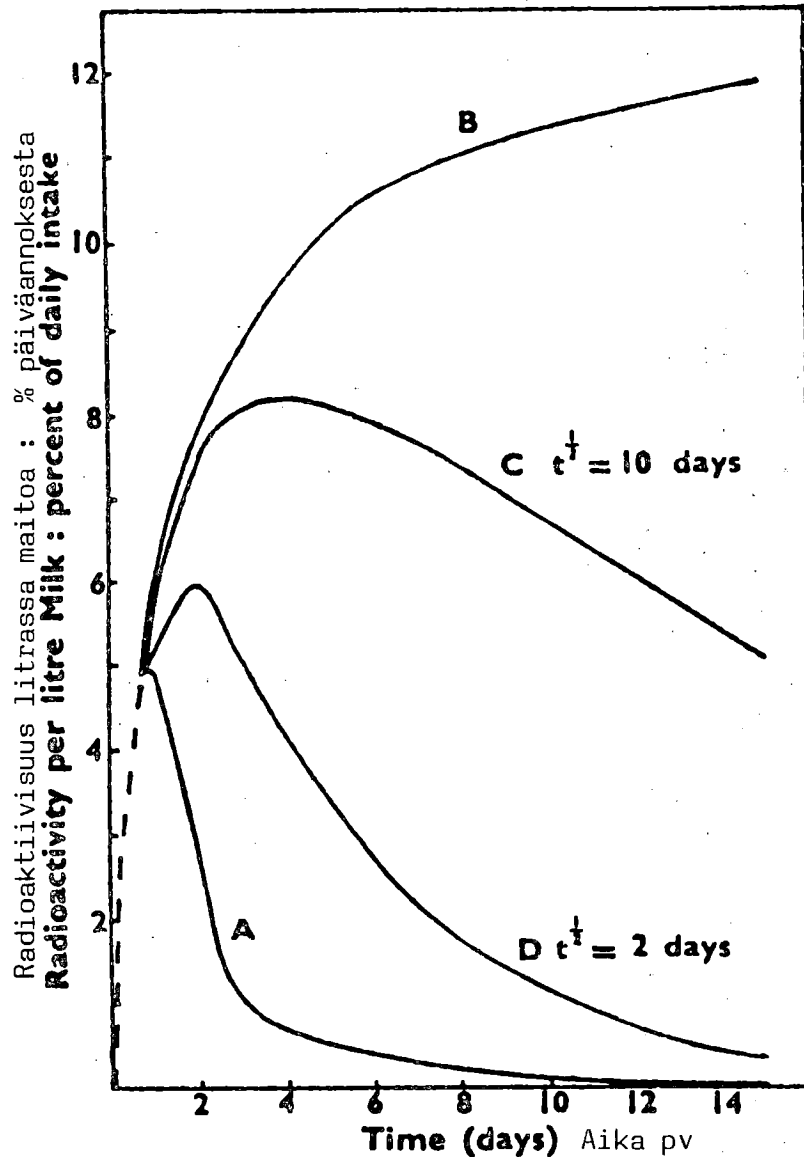
IKÄ	% syödyistä Ca:sta erittynyt ulosteissa	% Ca-45:stä erittynyt ulosteissa
10 d	7.2	3
1 kk	16.6	6.5
6 "	76	62
15-24 kk	86	70
25-34 "	82	70
36-73 "	103	70
144-190 kk	128	83

Vain imeytyneet radionuklidit voivat siirtyä elimistöstä maitoon. Radionuklidien kulkeutumista maitoon on demonstroitu kuvassa 6. Siitä nähdään, että yhden suun kautta saadun annoksen jälkeen maidon pitoisuus nousee ensin nopeasti mutta laskee sitten myös nopeasti alkuperäistä tasoa kohden (käyrä A). Jos suun kautta saadaan jatkuvasti tietty päiväannos radioaktiivista ainetta niin maidossa pitoisuus nousee vähitellen annoksen edellyttämälle maksimitasolle (käyrä B).

Jos radioaktiivinen aine puoliintuu nopeasti niin maidon pitoisuus laskee myös nopeasti (käyrä D), kun taas hitaammin puoliintuvalla radioisotoopilla (käyrä C) pitoisuuden lasku on hitaampaa.

Kuva 6. Maidon radioaktiivisuus syödyn radioaktiivisuusannoksen ja ajan funktiona (BRUCE ja SCOTT RUSSELL 1969).

- A: yhden suun kautta annetun annoksen jälkeen havaittu käyrä  
 B: laskettu käyrä sellaiselle tapaukselle, jossa tietty annostus toistetaan päivittäin  
 C ja D: lasketut käyrät sellaisille tapauksille, joissa annostus suoritetaan päivittäin, mutta joissa  $T_{1/2}$  on joko 10 d (C) tai 2 d (D)



#### 2.1.4. Eri radioisotooppien käyttäytyminen eläimissä, yleisperiaatteet

Kivennäisaineiden ravitsemustutkimukset, teollisuustoksikologia ja radionuklidien käyttö lääketieteessä, ovat edistäneet tutkimuksia radionuklidien aineenvaihdunnasta laboratorioeläimillä (EKMAN 1966).

##### Imeytyminen ruoansulatuskanavasta

Lihansyöjillä ja kaikkiruokaisilla (omnivores) radionuklidien tärkein imeytymistie on ohutsuoli. Yksimahaisilla kasvissyöjillä ohutsuolen ohella paksusuoli on hyvin adaptoitunut ao. tehtävään. Märehtijöillä tapahtuu huomattavaa imeytymistä jo mahojen eri osista.

Radionuklidien kvantitatiivista imeytymistä voidaan tutkia mm. käyttämällä erilaisia johtoaineita (kromioksidia, rautaoksidia, polyethylene glykolia, Ce-144). Käyttämällä Ce-144 johtoaineena CRAGLE ym. (1965) osoittivat, että suun kautta annetusta radiojohtimesta imeytyi pötsi-verkkomahasta lypsykarjalla 70-80 %. Samalla todettiin, että huomattavia määriä endogeenista I-131 erittyi juoksutusmahan ja ohutsuolen sisältöön. MOORE ja COMAR (1962) tutkivat eristetyistä ruoansulatuskanavan seinämäosista (ligated intestinal segments) Cs-137:n imeytymistä elimistöön. Yksi tunti isotoopin antamisesta imeytymismäärä oli mahalaukusta 6,6 %, duodenumista 77 %, jejenumista 76 %, ileumista 78 %, cecumista 13 % ja colonista 39 %. Tulos osoittaa, että Cs imeytyy ruoansulatuskanavan kaikista osista, mutta että imeytyminen on aktiivisinta ohutsuolessa (duodenum, jejenum, ileum).

Radionuklidien kemiallisesta olomuodosta riippuu huomattavassa määrin niiden imeytyminen elimistöön. Esim. radioruthenium esiintyy monessa valenssimuodossa ja sillä on kyky muodostaa monenlaisia komplekseja. Typpihapossa ruthenium muodostaa laajan skaalan nitrosyl-rutheniumin johdannaisia. Kaneilla suoritetuissa kokeissa rutheniumin kloridin ja dioksidin imeytyminen oli vain 3 % kun taas nitrato-nitrosyl-ruthenium imeytyi 13 %:sti.

Zn-65:n imeytymistä voidaan vähentää nostamalla dieetin Zn-tasoa. Toisaalta Zn-puutosdieetillä Zn-65:n imeytyminen tehostuu. Radio-sinkin imeytyminen on vähäistä, mikäli elimistön sinkkipitoisuus on korkea ja päinvastoin.

Radionuklidien imeytyminen on tehokkaampaa nuorilla kuin täysikasvuisilla eläimillä. 35 d:n ikäisillä rotilla Sr-89:stä imeytyi 71 % kun taas 270 d:n iässä imeytyi Sr-89:stä vain 12 %.

Eri eläinlajien välillä on havaittu eroja Cs-137:n imeytymisessä. Cs-137 imeytyy lähes täydellisesti hiirillä, rotilla, apinoilla ja ihmisellä. Pässeillä Cs-137:stä imeytyi 50-80 %. Veteen lisätystä Cs-137:stä imeytyi lehmillä vain 50 %.

#### Imeytyminen sisäänhengitysilmaasta

Inhalaatiotutkimusten suorittaminen on monimutkaista. Hengitysilmaasta imeytymiseen vaikuttavat: partikkeleiden koko ja muoto, liukoisuus, kemiallinen reaktiivisuus, elektrostaattiset ominaisuudet. Esim. isot partikkelit eivät kulkeudu keuhkoalveoleihin saakka, ne tuppaaavat jäämään keuhkojen ylempiin osiin.

Sellaisen liukoisen aineen kuten  $\text{Sr-90Cl}_2$ , imeytyminen keuhkoalveoleista verenkiertoon on yhtä tehokasta kuin suunkautta annetun Sr-kloridin imeytyminen ruoansulatuskanavasta elimistöön.

Isommat partikkelit voivat joutua keuhkokudoksesta elimistöön fagotsytoosin avulla ja fagosyytti voi joutua imunestekiertoon ja sen kautta imusolmukkeisiin. Liukenemattomat aineet kulkevat pääosin juuri tätä tietä pitkin.

## Ihon kautta imeytyminen

Imeytyminen saattaa tapahtua suoraan ihon lävitse tai hiki- ja talirauhasten kautta. Mm. lampailta tehdyssä kokeessa osoitettiin että paljaalle iholle pannusta I-131:stä siirtyi 2-14 % kilpirauhaseen. Villaan laitetusta I-131:stä ei siirtynyt nimeksikään kilpirauhaseen, villa oli 3 cm korkeata. Ihmisen käsivarren iholle laitetusta I-131:stä siirtyi 2 % kilpirauhaseen. Kun miniatyyrisian iho altistettiin I-131-höyrylle siirtyi I-131-annoksesta 0,2-0,4 % kilpirauhaseen. Kaasumuotoisesta I-131:stä siirtynee vain 1/10 ihon lävitse verrattuna keuhkojen kautta siirtyvään määrään. Radioaktiivisessa laskeumassa 75 % I-131:stä odotetaan olevan partikkelimuodossa, josta imeytyminen elimistöön on paljon vähäisempää kuin kaasumaisesta I-131:stä.

Rotan parturoidun ihon lävitse imeytyi 10 % annetusta  $\text{Sr-89Cl}_2$ :stä 15-30 min. sisällä kun taas  $\text{Sr-89SO}_4$ :stä ei imeytymistä havaittu. ( $\text{Sr-89SO}_4$  on liukenematon yhdiste).

Eräs radionuklidi, joka saattaa aiheuttaa äkillisiä myrkytyksen oireita on uranium. Uranyl-nitraatti, uranyl-fluoridi, uranyl-pentakloridi, uranyl-trioksidi, natrium-diuranaatti, ammonium-diuranaatti annettuna hiirien, rottien, kaniin, marsujen ja koirien iholle kulkeutui verenkiertoon niin isoina määrinä, että monessa tapauksessa voitiin havaita äkillisiä myrkytysoireita.  $\text{UO}_2$ ,  $\text{UO}_4$ ,  $\text{U}_3\text{O}_8$  ja  $\text{UF}_4$  eivät sensijaan näyttäneet läpäisevän ihoa. Uraniumin uskotaan kulkeutuvan ihon lävitse pääasiassa heksavalenttisessa muodossa.

## Radionuklidien kuljetus elimistössä

Kuten muutkin alkuaineet radionuklidit kulkeutuvat verenkierron mukana ionisoituneessa muodossa, proteiineihin sidottuna ja orgaanisina ja epäorgaanisina pienimolekyylisinä yhdisteinä. Eräät radionuklidit kuten Cs, esiintyvät vapaina ioneina, divalentit kationit kuten radiokalsium ja radiostrontium esiintyvät kaikissa muodoissa. Radiostrontiumin jakautuminen proteiinien, kompleksien ja ionimuodon välillä riippuu sitovien ja komplekseja muodostavien agenttien konsentraatiosta ja niiden sitoutumisen tai komplekseja muodostamisen voimakkuudesta. Esimerkiksi veren kalsium esiintyy alituisesti vaihtuvassa tasapainotilassa eri komponenttien välillä. Radiostrontiumin kohdalla asia on ilmeisesti samalla tavalla.

Radiostrontium sitoutuu veressä sekä albumiineihin että globuliineihin. Lantaanin ja yttriumin radioisotoopit sitoutuvat albumiineihin. Muut radionuklidit kuten radiorauta ja radiomangaani ovat miltei täysin sitoutuneena tiettyihin veriseerumin proteiineihin. Rauta sitoutuu beetaglobuliiniin, transferriniin, jonka molekyyli-paino on noin 88 000. Radiomangaani on myös sitoutuneena tiettyyn seerumiproteiiniin, joka paperielektroforeesissa liikkuu aivan transferrinin kaltaisesti. Jos transferrin saturoidaan raudalla tämä ei estä Mn-54:n sitoutumista osoittaen, että mangaania kuljettaa plasman sellainen proteiini, joka on samanlainen mutta ei identtinen transferrinin kanssa.

Cu-64 sitoutuu heti imeytymisen jälkeen albumiiniin ja kuljetetaan tässä muodossa maksaan, luuytimeen ja muihin elimiin, joissa Cu-64 muuntuu kuproproteiineiksi. Tämän seurauksena veriseerumiin ilmestyykin sitten alfa-2-globuliinifraktioon sitoutunutta Cu-64, tämä proteiini on erityinen kuparia sitova proteiinikomponentti ceruloplasmin.

#### Radionuklidien pidättyminen ja levittäytyminen elimistössä

Radionuklidien esiintyminen eri kudoksissa riippuu siitä ajasta, joka on kulunut altistumisesta. Radionuklidien asettuminen luukudokseen ei tapahdu tasaisesti. Esimerkiksi luihin hakeutuvien radioisotooppien kuten strontiumin, kalsiumin ja radiumin on todettu jakaantuvan epätasaisesti luukudokseen lyhytaikaisen altistumisen seurauksena. Radiostrontium esimerkiksi kulkeutuu nopeasti luukudokseen luukristallien pinnalla ilmenevän ioninvaihtosysteemin välityksellä, siirtymällä kasvurajassa muodostuvan uuden luun aineosaksi, ja uudelleen muodostuviin Haversian systeemeihin. Näiden ilmiöiden seurauksena luussa ilmenee pistemäisiä alueita, joissa on runsaasti radiostrontiumia ja sekä myös alueita, joissa strontium-konsentraatio on alhaisempi ja tasaisesti levittäytynyt, kuten luun pintakerroksissa (cortical bone). Pistemäisten alueiden (ns. "hot spot") on laskettu sisältävän noin 10 kertaa enemmän radioaktiivisuutta verrattuna diffuusiin eli tasaisesti levinneeseen radioaktiivisuuteen.



On havaittu, että morfologisesti homogeenisilta näyttävissä kudoksissa voi olla suuriakin eroja radioaktiivisuuden suhteen. Esimerkiksi sioilla Cs-134 akkumuloituu nopeammin palleaan kuin longissimus dorsiin\*) Tilanne muuttuu ajan mukaan kuitenkin päinvastaiseksi. Cs-134:n pidättymiskäyrä riippuu ilmeisesti lihaksen aktiivisuudesta (kuva 11).

## 2.2. Jodi

Ydinfissiossa muodostuu yhdeksän jodin isotooppia, mutta vain neljä näistä on huomionarvoisia.

Isotooppi	T 1/2	Aktiivisuus I-131:een verrattuna
I-131	8,2 d	1
I-132	2,3 h	3
I-133	20,8 h	9
I-135	6,7 h	5

Ydinfissiossa vapautuneen radioaktiivisen jodin merkitys on a) ulkoinen säteily ja b) rehuihin/juomaveteen laskeutunut radiojodi (ANON. 1966 s.299).

Ydinonnettomuuden tai-hyökkäyksen seurauksena isoimmat haitat tulevat I-131:sta, joka joutuu ruohosta laitumella olevien eläinten maitoon ja sitä kautta ihmiselimistöön. Tämä vaara on suurimmillaan noin kahden viikon ajan onnettomuushetkestä lukien. Tästä syystä ulkona laiduntavista eläimistä lypettyä maitoa ei pitäisi juoda lainkaan (LECHAT 1984).

Jodi konsentroituu lähes yksinomaan kilpirauhaseen. Jodin isotooppeja on tästä syystä tutkittu hyvin runsaasti lääketieteessä. I-131 on vesiliukoinen, helposti ruoansulatuskanavasta elimistöön imeytyvä aine. Se imeytyy myös muilta elimistön pinnoilta, kuten ihon lävitse ja keuhkoista. Pääasiallinen imeytymislähde on kuitenkin ravinnon mukana elimistöön tuleva I-131. Laskeuman aikana laitumella pidettyjen eläinten I-131-kertymä on moninkertainen verrattuna sisällä pidettyihin eläimiin (STARA ym. 1971).

\*) ulompi selkälihas

Suun kautta annetusta jodista imeytyy miltei kaikki jo mahalaukusta ja loput ohutsuolen alkupäästä. Imeytymisnopeus on 5 % suun kautta saadusta annoksesta per minuutti. Märehtijöillä 70-80 % suun kautta annetusta annoksesta imeytyy pötsistä ja noin 10 % omasumista\*) Lampailla suoritetuissa kokeissa todettiin, että suonensisäisesti, ihonalaisesti sekä suun kautta annetut jodiannokset käyttäytyivät suoraan verrannollisesti toistensa kanssa (T 1/2 etc.).

I-131 erittyy elimistöstä pääasiallisesti virtsan mukana. Rotilla, lampailla ja naudalla kuitenkin ulosteissa erittyneen jodin määrä on melko suuri, johtuen ilmeisesti orgaanisesti sitoutuneesta jodista, joka erittyy ulosteisiin (sappihappoihin sitoutuneena ym.). I-131:n U/F (virtsa/uloste) suhde on 27:1 ihmisellä ja suunnilleen 1 märehtijällä.

Suurin osa elimistön jodista on kilpirauhasessa. Virtsa lukuunottamatta jodipitoisuus suuruusjärjestyksessä on: kilpirauhanen, maksa, munasarjat, munuainen, lisämunuainen, hypofyyssi, keuhko, kyynelelrauhanen, sydän, haima, perna, kateenkorva, aivot.

Annettaessa radiojodia se ilmaantuu lähes välittömästi kilpirauhaseseen ja maksipitoisuus nähdään useimmilla eläimillä 1-2 vrk sisällä, jolloin todetaan kilpirauhasessa 10-50 % annetusta I-131-annoksesta. Jodin eliminoitumiskäyrä on exponentiaalinen ja riippuu kilpirauhasen tilasta yms. Dieetin jodipitoisuus vaikuttaa jodin metaboliaan. Jos annetaan "stable" jodia<sup>1)</sup> ennen I-131 antamista, niin I-131:n otto kilpirauhaseseen pienenee jopa 50 % verrattuna kontrolleihin (pienenee aina 6 % tasolle saakka). Isot jodiannokset voivat jopa kokonaan ehkäistä I-131:n oton kilpirauhaseseen. Kilpirauhaskudoksen ohella jodia konsentroituu jonkin verran vatsalaukuun, maitorauhaseseen ja sylkirauhasiin. Huomattava määrä radiojodista erittyy maidon mukana elimistöstä. Lamma voi erittää 1/3 saamastaan I-131:stä maidon mukana. Lehmät onneksi erittävät vähemmän, silti maito on ilmeisesti suurin kontaminaatiolähde väestölle ja varsinkin lapsille (STARA ym. 1971).

\*) satakerta

1) Esim. KI

Taulukossa 6 on annettu eri tutkijoiden saamia I-131 määriä lehmän maidossa prosenttina yhdestä suun kautta annetusta jodiannoksesta. Keskiarvot vaihtelevat 2,0-8,2 %. Yksittäisillä eläimillä vaihtelut ovat olleet suuremmat, 1,2-19,4 %. Samassa taulukossa on myös annettu yhtä maitolittraa kohden erittynyt radiojodimäärä prosentteina annetusta radiojodimäärästä. Vaihtelu on ollut 0,36-1,02 % yhdestä suun kautta annetusta I-131 määrästä. Taulukossa 7 on annettu jatkuvasti suun kautta saadun I-131:n maitoon erittynyt suhteellinen määrä (ANON. 1966).

UK:ssa vv. 1961 ja 1962 esiintyi huomattavaa I-131-tason nousua lehmien maidossa ydinkokeista peräisin olevan saastuman laskeutumisen seurauksena (kuva 7).

Kuvassa 8 on havainnollistettu maidon jodipitoisuuden (I-131) muutokset a) annettaessa yksi I-131 annos suun kautta ja  
b) annettaessa jatkuvasti samansuuruinen I-131 annos  
c) käyrä kuvaa I-131:n erittymistä maidossa kun on otettu huomioon I-131:n  $T \frac{1}{2}$  (5 d), jonka ansiosta laidunruohon I-131-pitoisuus laskee, ja huomioon on otettu lisäksi ns. "peltohävikki"

Jodin isotooppi ilmestyy maitoon noin 30 min. päästä suun kautta antamisesta. Maksimi I-131-pitoisuus ilmenee 6-12 h antamisesta. Huipun jälkeen tapahtuu I-131 pitoisuuden lasku noin 16 h:n tehollisella  $T \frac{1}{2}$ :lla ja tästä eteenpäin hitaammalla  $T \frac{1}{2}$ :lla. 7 d antamisesta jäljellä on 1 % alkuperäisannoksesta. 1. viikosta eteenpäin I-131:n hidastunut erittyminen johtunee siitä, että kilpirauhaseen sitoutunut I-131 vapautuu vähitellen ja osa siitä ilmestyy maitoon.

Kuva 7. Maidon I-131-pitoisuus UK:ssa radioaktiivisen laskeuman aikana vv. 1961 - 1962.

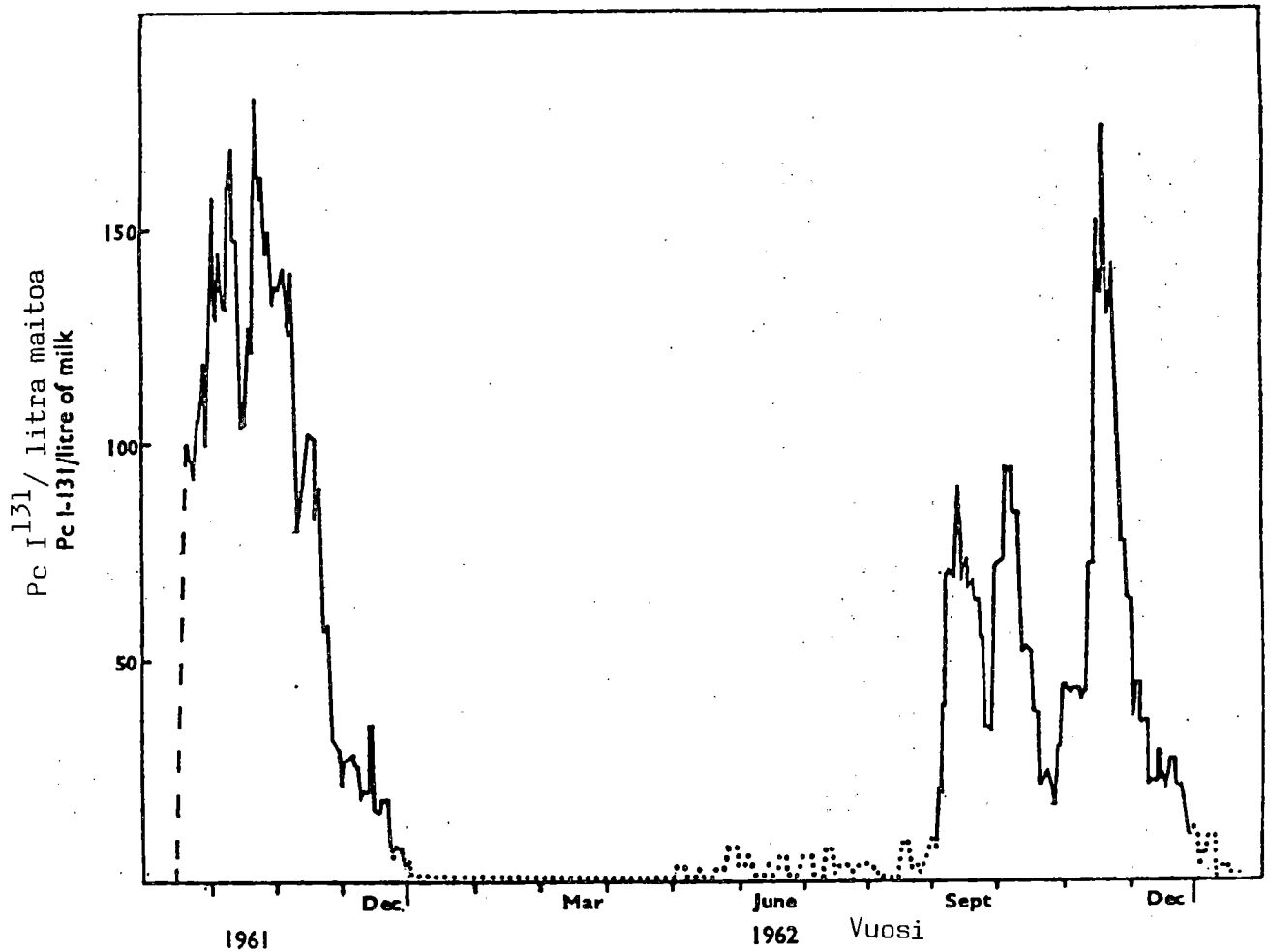
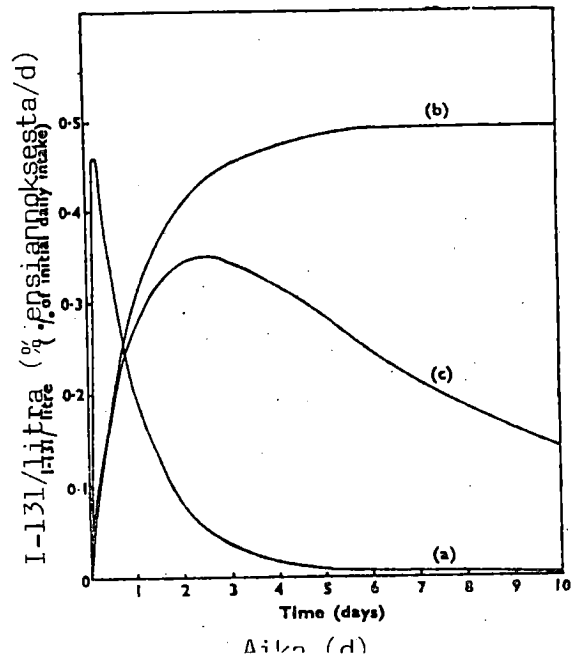


FIG. 14.1. Iodine-131 in milk in the United Kingdom due to fallout: 1961-1962. (Agricultural Research Council, 1963).

Kuva 8. I-131:n siirtyminen lehmästä maitoon (GARNER & SCOTT RUSSELL 1966).



Taulukko 6. I-131:n kulkeutuminen maitoon yhden suun kautta lehmälle annetun annoksen jälkeen

Kokeita kpl	Kokeen pituus d	% I-131-annok- sesta erittynyt maitoon	vaihtelu-keskim. rajat		% I-131:n päiväannoksesta odotetaan löytyvän/L maitoa	Lähde
1	15	-	4.8	0.46	GLASCOCK (1954)	
2	7	6.0-6.6	6.3	0.87	LENGEMANN ja SWANSON (1957)	
30	7	3.9-16.4	6.4	1.02	LENGEMAN ym. (1957)	
1	4,5	-	2.7	0.36	STEENBERG (1959)	
32	6	1.2-19.4	5.8	0.65	GARNER ym. (1960)	
2	18	1.7-2.3	2.0	0.88	IL'in (1961)	
6	5	6.9-9.2	8.2	0.85	PREMACHANDRA ja TURNER (1961)	
16	7	-	5.2	0.67	MILLER ja SWANSON (1963)	
8	7	-	4.0	0.57	MILLER ym. (1963)	

Taulukko 7. I-131:n kulkeutuminen lehmän maitoon annettaessa vakio I-131-määrä päivässä jatkuvasti

Kokeita kpl	% I-131-päivä- annoksesta/L maitoa	Lähde
2	0.75-1.3	1.00 LENGEMANN ja SWANSON (1957)
24	0.13-1.0	0.40 GARNER ym. (1960)
3	0.34-0.56	0.46 BUSTARD ym. (1963)

BUSTARDin ym. (1963) tutkimuksessa maidon jodipitoisuus nousi 4 d:n sisällä maksimiin lehmällä, 0,4 % jodista löytyi litrassa maitoa. Kilpirauhasen I-131 maksimi ilmeni noin 7 d antamisesta ja se kattoi 70 % I-131 annoksesta (1. d:n annoksesta) (taulukko 7).

Nostettaessa lehmän dieetin jodin määrä 5 mg:sta 2 g/d, maidon I-131 laski 50 % ja kilpirauhasen I-131 laski yli 90 %. Ne ihmiset jotka joivat ao. maitoa heillä kilpirauhasen I-131 alentui 50-80 % (WATSON ym. 1963).

JAPANISSA on seurattu v. 1954 lähtien radionuklidien siirtymistä eläintuotteisiin. Suunkautta saatujen radionuklidien on todettu siirtyvän maitoon seuraavasti: I-131: lehmällä 5-10 % annoksesta, vuohella 10-40 %; Sr-90 ja Sr-89: lehmällä 0,6-1,9 %, vuohella 0,5-0,6 %; Cs-137 ja Cs-134:stä: lehmällä 10-13 %, vuohella 7,0 %. Ba-140 ja La-140: lehmällä 0,6 %, vuohella 0,1-0,2 %. W-181:stä siirtyi maitoon vuohella 0,06 % (SUSUMU 1978).

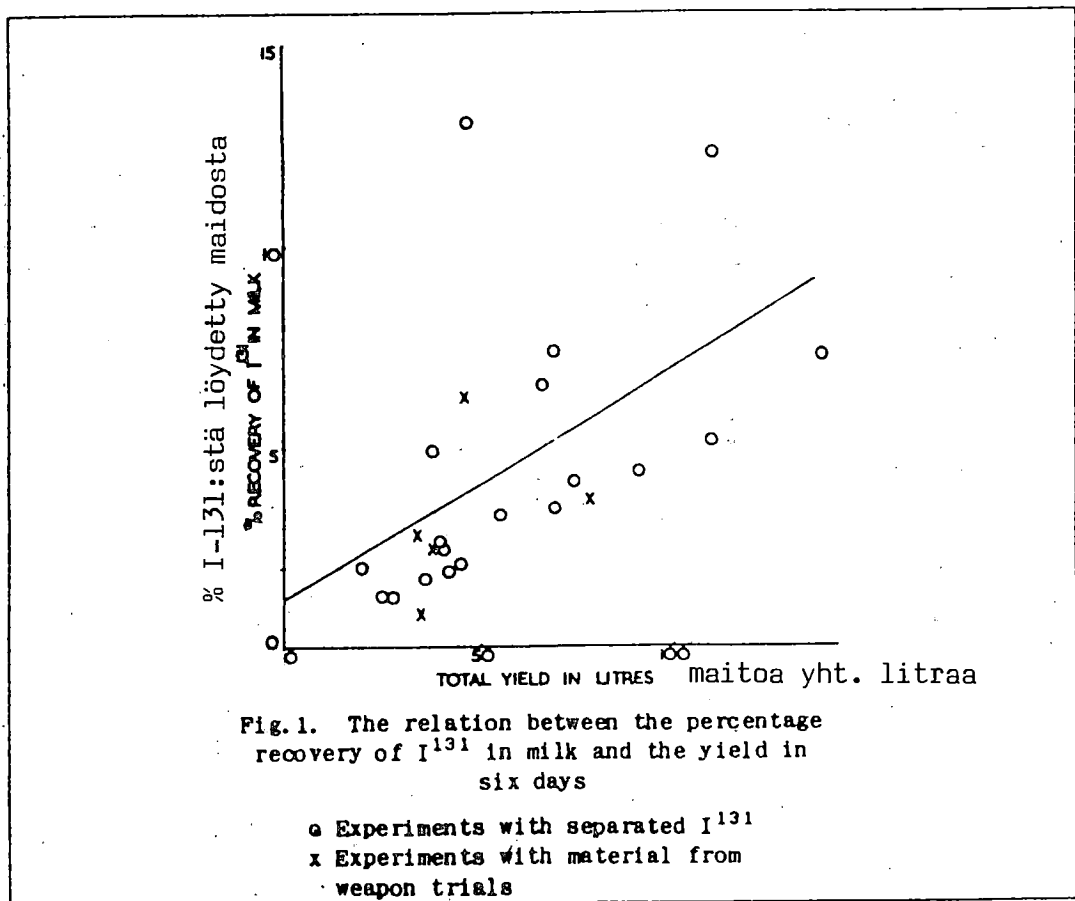
THORELLin (1964) yhdestä suun kautta lehmälle antamasta I-131:stä ilmestyi maitoon I-131 30 min. päästä antamisesta. Kuuden päivän sisällä 10-27 % annetusta I-131-annoksesta erittyi maitoon.

Rovaniemellä tehtiin kolmella lypsylehmällä I-131 tasapainokoe. Maitotuotos oli noin 10-17 l/d. Suurin I-131 määrä löydettiin maidosta toisella lypsykerralla jodin annosta. I-131:stä erittyi 10 vrk:n sisällä maidossa 4-23 %, virtsassa 41-62 % ja ulosteissa 15-21 % (RISSANEN ja PAAKKOLA 1979). (Lappi kuului tuolloin ei-struuma-alueeseen).

Suun kautta annettu jodi imeytyy nopeasti pötsin seinämän kautta verenkiertoon ja se eliminoidaan nopeasti virtsassa. GARNER et al. (1960) osoittivat, että 5 % annoksesta erittyi 7 d:n sisällä maitoon keskimäärin vaihtelurajojen ollessa 1,43-16,4 %. Tässä tutkimuksessa joka tehtiin JAPANISSA, 18-30 % I-131:stä löytyi 7 d:n sisällä maidosta. Yli 90 % I-131:stä löytyi maidon herasta ionisoituneessa muodossa. Menetelmiä maidon I-131 pitoisuuden alentamiseksi annetaan (SUSUMU 1979).

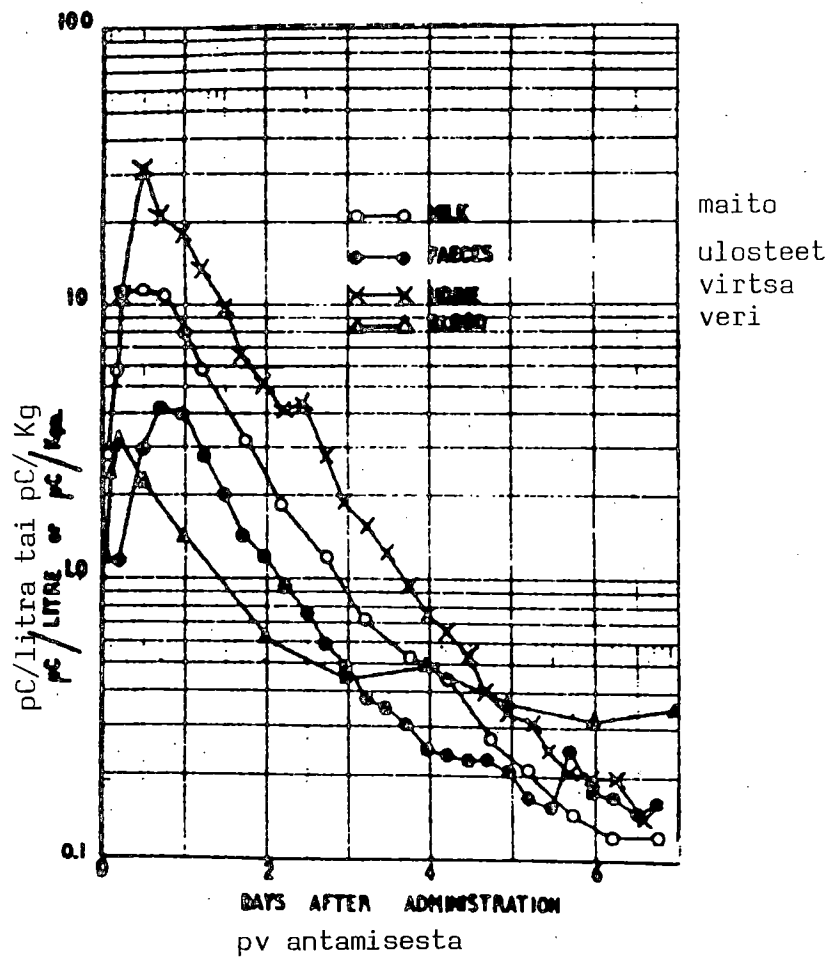
SQUIRE ym. (1957) tutkivat I-131 aineenvaihduntaa lypsylehmillä. Suun kautta annetusta I-131:stä erittyi 1.25-13.1 % maitoon, 10.5-56.3 % virtsaan ja 15.1-35.0 % ulosteisiin. 6 d:n maitotuotoksen ja maitoon erittyneen I-131-määrän välillä oli lievä positiivinen vuorosuhde ( $P < 0.05$ ) (kuva 9). I-131-pitoisuuksien muutokset maidossa, virtsassa, ulosteissa ja veressä yhden suun kautta annetun I-131-annoksen jälkeen on demonstroitu kuvassa 10. Maksimi I-131-konsentraatiot tavattiin seuraavasti:

Veri	6 h	antamisesta
Maito	12 h	"
Virtsa	12 h	"
Ulosteeet	18-24 h	"



Kuva 9. I-131:n erittyminen maitoon %:na saadusta annoksesta suhteessa 6 d:n aikana eritettyyn maitomäärään lehmillä (SQUIRE ym. 1957)

Kuva 10. Maidon, virtsan, veren ja ulosteiden I-131-määrien muuttuminen yhden suun kautta annetun I-131-annoksen jälkeen lehmällä (SQUIRE ym. 1957).





I-131:n siirtymistä laidunruohosta maitoon on tutkittu runsaasti. Ruotsalaisten tutkimusten mukaan I-131-laskeuman määrän ( $\mu\text{Ci}/\text{m}^2$ ) suhde maidon I-131-pitoisuuteen ( $\mu\text{Ci}/\text{l}$  maitoa) oli 10 (maidon pitoisuus oli 1/10 laskeuman pitoisuudesta) (EKMAN ym. 1967).

AURALDSSON'in ym. (1971a ja b) kokeessa 2000  $\text{m}^2$  suuruinen laidunala kontaminoitiin ruiskuttamalla se I-131:lla. Kymmenen lehmää, jotka olivat saaneet I-125 (35  $\mu\text{Ci}$ ) KI:na suun kautta, laskettiin ao. laitumelle kolmeksi vuorokaudeksi. Maidosta määritettiin I-131 ja I-125. 3. vuorokauden jälkeen lehmät laitettiin puhtaalle laidunlohkolle. Seurattiin maidon joditason muutoksia. Keskim. 10,2 % I-125:stä erittyi maidossa kahdeksan vuorokauden kuluessa. Maidon I-131 pitoisuus laski kun lehmät siirrettiin puhtaalle laidunlohkolle. Maidon I-125 ja I-131 pitoisuuskäyrät olivat samansuuntaiset 3 d:stä eteenpäin. Tutkimuksessa todettiin, että vain 2 % laitumeen ruiskutetusta I-131:stä joutui lehmien ruoansulatuskanavaan. Aikaisemmissa kokeissa luku oli 6 % vastaavasti. Sr-85:lla saastuneella laitumella (pirskotettu) lehmät söivät 40 % pirskotetusta Sr-85:stä. Tutkijat olettavat, että jodin kohdalla on tapahtunut huomattavaa haihtumista, jonka johdosta radiojodia joutui vain vähän lehmien elimistöön. Noin 60 % I-131:stä hävisi laidunkasvustosta 18 tunnin sisällä pirskotamisesta ja lisäksi vielä 6 % niinä kolmena päivänä, joina lehmät olivat kontaminoidulla laidunlohkolla.

Vv. 1968 ja 1969 suoritettiin tyypillisillä ruotsalaisilla farmeilla kokeita, joissa selvitettiin NaI-131:llä kontaminoitujen pitkäikäisten nurmien vaikutusta lehmien maidon I-131-pitoisuuteen. I-131-pitoisuus laitumessa ( $\mu\text{Ci}/\text{m}^2$ ) oli noin 50-kertainen verrattuna suurimpaan maidon I-131-pitoisuuteen ( $\mu\text{Ci}/\text{litra}$ ). Lehmät söivät kasvustoon pirskotetusta I-131:stä vain keskim. noin 6 % (nopea I-131:n puoliintuminen ja haihtuminen). Julkaisussa on hyviä käyriä (AURALDSSON ym. 1971b).

Ruotsissa on tutkittu eräiden atomivoimaloiden lähistöllä sijaitsevien maatilojen laidunruohon ja lehmien maidon I-131-pitoisuutta (BERGSTRÖM ja GYLLANDER 1969)(taulukot 8 ja 9). Selvityksessä todettiin että ruohon I-131-pitoisuuden ollessa kohonnut oli maidonkin pitoisuus kohonnut. I-131:n vaikuttava T 1/2 oli 6 d ruohossa ja hivenen alhaisempi maidossa. Maito-ruoho suhde vaihteli 0,2-0,5 keskiarvon ollessa 0,4 (m<sup>2</sup> ruohon pinta-ala/kg maitoa). Jos ruohon tiheys on 0,5 kg/m<sup>2</sup>, niin normaali laiduntamisala on noin 100 m<sup>2</sup>/d.

Taulukko 8. Ruohon saastuminen

Paikkakunta	Huomiointi ajanjakso	Näytteitä kpl	Maksimiarvo (pCi/m <sup>2</sup> )	Keskiarvo (pCi/m <sup>2</sup> )
Horsvik	4.9.-11.10.	11	400	<170
Tranvik	12.9.-6.10.	14	465	220
Byggningen	6.9.-11.10.	9	225	130
Studsvikin alue	24.10.	11	2120	550
Absoluuttinen maksimiarvo	16.10.		5600	

Taulukko 9. Maidon saastuminen

Maatila	Lehmiä kpl	Huomioitu ajanjakso	Näytteitä kpl	Maksimiarvo (pCi/kg)	Keskiarvo (pCi/kg)
Horsvik	2	31.8.-6.10.	15	300	90
Transvik	14	1.9.-6.10.	10	230	80
Byggningen	4	6.9.-9-10.	9	50	30

ref. BERGSTRÖM ja GYLLANDER (1969)

Monet aineet, kuten alkuaine jodi, ehkäisevät I-131:n erittymistä maitoon ja kertymistä kilpirauhaseen (laimennusvaikutus, ylimäärä jodista ja I-131:stä poistuu virtsan mukana). Isot KI-annokset vähentävät I-131:n erittymistä maitoon, huomattavasti vähäisemmät KI-määrät alentavat kilpirauhasen jodinottoa. Klooraatit ja tiosyanaatit alentavat maitorauhasen ja kilpirauhasen jodinottoa ja näin myös I-131:n ottoa. Samalla maidon I-131-pitoisuus laskee. Tiourasiilityyppiset aineet eivät näytä vaikuttavan I-131-ottoon kilpirauhasessa tai maitorauhasessa (ANON. 1966).

Carbimazole (tiourasiili) käsittelyllä voitiin vähentää I-131:n haittavaikutuksia kilpirauhasessa (HILDITCH ym. 1984).

Naudalla utareen jodinottoa voidaan ehkäistä antamalla NaJ, NaSCN ja  $KClO_4$  (ÅBERG 1962b):

Aine	määrä g/d	% I-131-annoksesta maidossa per litra
NaI	0	2,3
NaI	10	0,7
NaSCN	0	0,5
NaSCN	10	0,2
$KClO_4$	0	1,5
$KClO_4$	10	0,4

KI on vähiten toksinen tällaisessa käytössä.

USA:n terveysministeriön toimesta kehiteltiin maidonkäsittelylaitteistoa, jolla poistettiin maidosta radioaktiivisia aineita (Sr-90, I-131). Laitteisto voidaan lastata rekka-autoon ja siirtää se sinne missä sitä kulloinkin tarvitaan. Kehitetyillä menetelmillä ja laitteistolla kyettiin maidosta poistamaan 99 % I-131:stä.

Laboratoriotasolla I-131 pitoisuus laski 97,1 % (3970:stä 115:een pCi/l; Sr-90 laski 84,5 % (30,7:stä 4,7:een pCi/l) maidossa (BALES ja HICKEY 1966). WALTERIN (1966) mukaan maidon I-131:sta voidaan poistaa anion resin'illä 93 %.

(Em. tutkimukset julkaistiin 20 vuotta takaperin. Nykyään on varmaan jo saatavilla tehokkaita maidon radioaktiivisien aineiden poistamiseen soveltuvia menetelmiä ja laitteistoja).

WARD ja JOHNSON (1966) ovat sitä mieltä, että I-131:n määrää maidossa voidaan parhaiten kontrolloida säätelemällä tuoreen ruohon syöntiä lehmillä kunnes nopeasti puoliintuva radiojodi on hävinnyt ruhosta. Sillä aikaa lehmille annetaan varastossa pidettyjä puhtaita rehuja (tietyt rehuvarmuusvarastot tarvitaan!!!).

Lähellä ydinjätteen käsittelylaitosta lehmien kilpirauhasen I-129-/I-127 suhde nousi laitumella (GLUBRECHT ym. 1981).

LÄNSI-SAKSALAISET HANDL ja KUEHN (1980) toteavat, että I-129:n aineenvaihduntaa ja erityisesti akkumuloitumista naudan kilpirauhaseen on paljon tutkittu mm. USA:ssa sensijaan I-129:n aineenvaihduntaa ihmisillä ei juurikaan ole selvitelty.

RUOTSISSA suoritetuissa tutkimuksissa on todettu että radiotoksisuus I-125:llä silloin kun se on sitoutunut DNA:han on erikoisen korkea johtuen Auger elektronien emissiosta (SUNDELL-BERGMAN ja JOHANSON 1983). I-131-T3 aiheuttaa vakavia vaurioita DNAN GHI soluisissa ja seurauksena on DNA ketjun murtuma I-125 hajoamista kohden (T3 = Trijodotyroniini).

Vuosina 1953-1962 NORJAN väestö oli alttiina melko isoille säteilyannoksille radioaktiivisen laskeuman takia. NORJASSA on erittäin perusteellinen syöpärekisteri. Kilpirauhassyövän on todettu nousevan (trendi), naispuolisessa väestönosassa niillä, jotka ovat syntyneet 1930-50. Syy-yhteys saattaa löytyä maidon radiojodipitoisuuden ja lapsi- ja puberteetti-ikäisten henkilöiden kohdalla (OFTEDAL ja LUND 1983).

### 2.3. Cesium

Radiocesiumin isotoopeista tärkein on Cs-137. Sitä vapautuu ydinko-keissa ja ydinvoimalaonnettomuuden yhteydessä. Se joutuu ihmisten ravintoketjuun, sen  $T_{1/2}$  on 30 a (fyysinen puoliintumisaika) se sisältää paljon beeta säteilyä sen pääasiallinen hättäväikutus riippuu lähinnä ruoansulatuskanavasta imeytyneen Cs-137:n määrästä ja pidättymisestä elimistöön tiettyihin kriittisiin elimiin. Cs imeytyy verrattain tehokkaasti ruoansulatuskanavasta imettäväsillä ts. lähes täydellisesti normaaliolosuhteissa. Keskim. aika mikä kuluu Cs-137:n imeytymiseen 50 %:sti suolen seinän lävitse on 4 min. duodenumissa, 17 min. jejenumissa, 21 min. ileumissa. Imeytyminen oli heikkoa mahalaukusta ja peräsuolesta (cecum). Paksusuolesta (colon) imeytyminen oli siltä väliltä. Imeytymisen täydellisyyttä kuvaa tieto, että vain 9 % Cs-annoksesta löytyi ruoansulatuskanavan sisältä 24 tunnin jälkeen Cs-137-annostuksesta (STARA ym. 1971).

UNKARISSA tutkittiin rehujen ja maidon Cs-137/K ja Cs/K suhteita ja havaittiin näiden olevan suhteessa toisiinsa tämän mukaan eläineli- mistö ei diskriminoidi radiocesiumia jos ei suosikkaan sitä (SZABO 1983).

Kaliumilla ja cesiumilla on eräitä yhteisiä piirteitä, mutta näiden kahden ionin käyttäytyminen ravintoketjussa ei ole niin läheisesti toisiinsa nivoutunut kuin kalsiumin ja strontiumin kahdalla on asianlaita. Cs-137:n ja kaliumin välinen suhde imeytymisprosessis- sa eläimellä (ja kasveilla) riippuu sekä dieetin Cs/K suhteesta että K:n absoluuttisesta konsentraatiosta. Kuitenkin K:n vaikutus on suhteellisen lievä. Nostettaessa dieetin K-pitoisuutta 9 ker- taiseksi Cs:n imeytyminen väheni puoleen. Sekä eläimillä, että kasveilla Cs pyrkii kuitenkin akkumuloitumaan samoihin kudoksiin kuin K (FREDRIKSSON ym. 1966).

Cs-137:n metabolismia lehmässä tutkittiin antamalla yksi Cs-annos suun kautta ja/tai yksi suonensisäinen annos ja myös antamalla Cs:a suun kautta kahdesti päivässä 28 d:n ajan. Cs:n imeytyminen suolesta oli 70-80 % suun kautta saadusta annoksesta (SANSOM 1966).

Käytännössä 50-80 % normaalidieetin Cs-137:stä imeytyy elimistöön. Verenkierron välityksellä Cs kulkeutuu nopeasti elimistön eri puolille kudostenesteisiin ja soluihin.

Rehun viipymisaika ruoansulatuskanavassa saattaa vaikuttaa Cs:n imeytymiseen. (Esim. sioilla täyttävien rehujen lisääminen dieettiin lisää ulosteissa erittyneen Cs:n määrää ja vähentää virtsaan erittyvää määrää suun kautta annetusta Cs-137 annoksesta). Nopeampi biologinen T 1/2 (pienempi) märehitijöillä ei-märehitijöihin verrattuna viittaa siihen että näillä kahdella eläintyyppillä saattaa olla toisistaan poikkeava Cs:n aineenvaihduntaprosessi (ANON. 1966).

Märehitijät (nauta, lammas, vuohi) pidättävät elimistönsä vähemmän ravinnon Cs:stä kuin ei-märehitijät, em. eläimillä ulosteissa erittyy enemmän ja virtsassa vähemmän Cs kuin jälkimmäisillä.

Cs:n kulkeutumista syömäkelpoisiin kudoksiin on selvitetty. Ne lihakset, jotka ovat aktiivisimmat ottavat eniten Cs:a. Eri kudosten ja eri eläinten kohdalla esiintyy eroja. Näitä tarkastellaan taulukossa 10. Siinä nähdään Cs:n esiintyminen eri kudoksissa lampaalla, vuohella, siialla ja kanalla sen jälkeen kun eläimille oli annettu suunkautta Cs 20-30 d:n ajan. Kanalla kudos otti enemmän Cs, mutta lampaalla vähemmän verrattuna muihin. Pikkuvasikalla Cs:n akkumulointi muistuttaa sian vastaavia lukuja. Annettaessa lehmälle tietty annos Cs/kg tuoreen kudoksen painoa/d annoksesta pidättyy 4 % kudokseen. Märehitijöillä kudoksiin pidättyminen on vähäisempää kuin yksimahaisilla (SANSOM 1966).

Taulukko 10. Cs-137:n jakaantuminen eri kudoksiin lampaalla<sup>1)</sup>,  
vuohella<sup>2)</sup>, sialla<sup>3)</sup> ja kanalla<sup>3)</sup>

Cs-konsentraatio (% päiväannoksesta/kg kudosta)

Kudos	Lammas <sup>1)</sup>	Vuohi <sup>2)</sup>	Sika <sup>3)</sup>	Kana <sup>3)</sup>
Lihas	8	20	26	450
Munuainen	10	36	20	250
Maksa	6	19	10	150
Sydän	8	-	18	180
Aivo	-	5	9	160
Munasarjat	-	13	10	120
Kivekset	9	-	-	-
Veriplasma	0.5	1	0.6	10
Reisiluu	1	-	2	50

1) McCLELLAN ym. (1962)

2) WASSERMAN ym. (1962)

3) EKMAN (1961)

Taulukko 11. Radiocesiumin puoliajat ihmisellä ja kuivan maan eläimillä (EKMAN 1966)

	T 1/2 d	Paino kg
<b>EI MÄREHTIJÄT</b>		
Ihminen	110(53-188)	70
Sika	18	28-105
Koira	43.5	11.0
Apina	40.5	4.1
Rotta	14	250 g
Hiiri	6.6	25 g
<b>MÄREHTIJÄT</b>		
Nauta		
Hieho	30	250
Sonni	41	870
Poro	33	65-100
Lammas	17	44-53
Kauris		
(Kolumbian mustahäntä)	17	24-36
Vuohi	31	27-34
<b>LINNUT</b>		
Kana	31	1.7-2.4
<b>HYÖNTEISET</b>		
Romala microptera <sup>1)</sup>	4	5 g
Melanoplus differentialis <sup>1)</sup>	2	500 mg
" femur-rubrum <sup>1)</sup>	1.3	200 mg

1) Heinäsirkkoja



Cs-137:n pidättymistä eläinelimistöön, voidaan kuvailla yhden, toisen ja kolmannen asteen yhtälöillä. Pidättymiskäyrästä havaitut kompartmentit saattavat riippua eläinlajista, koetekniikasta, havainnoimisperiodin pituudesta ja pidättymiskäyrän analyysimetoodeista. Sellainen komponentti, jolla on ollut pisin biologinen  $T_{1/2}$ , on yleensä katsottu tärkeimmäksi (merkittävimäksi) laskettaessa ICRP:ssä suurimmat sallitut radioisotooppikonsentraatiot ohjearvoiksi. Taulukossa 11 on annettu biologiset  $T_{1/2}$ :t ihmiselle ja useille eläimille. Naudalle, porolle ja sialle lasketut biologiset puoliintumisajat on laskettu olettamalla, että yksittäisten elinten arvot ovat yhtäsuuret kuin koko ruumiin puoliintumisaika. Analysoitaessa Cs-137:n pidättymiskäyriä todettiin, että biologiset puoliintumisajat eivät poikenneet merkittävästi eri eläimillä eikä eri kudoksilla t. elimillä. Väitetty Cs-137:n akkumuloituminen luuhun kroonisen Cs:n saannin yhteydessä saattaa kuitenkin osoittaa em. oletuksen virheelliseksi. Korkea luiden Cs-137 pitoisuus kroonisen saannin yhteydessä voidaan selittää siten, että Cs-137 erittyy helpommin pois pehmeistä kudoksista kuin luusta.

Taulukosta 11 nähdään että biologinen  $T_{1/2}$  riippuu ruumiin koosta,  $T_{1/2}$  on lyhempi pienillä kuin isoilla eläimillä. RICHMOND (1958) löysi lineaarisen vuorosuhteen ruumiin pinta-alan ja biologisen  $T_{1/2}$ :n välille olosuhteissa, joissa ensimmäisestä elimistön saastumishetkestä lähtien puolet radionuklidista oli eliminoitu. Biologinen  $T_{1/2}$  vaihtelee riippuen olosuhteista. Ihmisillä radiocesiumin  $T_{1/2}$  oli LINDENin mukaan Suomessa, Ruotsissa ja Neuvostoliitossa 50-80 d, UK:ssa se oli 80-110 d, Saksassa 140 d, Kanadassa 100-130 d ja USA:ssa 100-130 d.

Eläimen ikä vaikuttaa eliminointinopeuteen. Eliminointinopeuden määrittämisen standardisoinnissa on vaikeuksia. USA:ssa eliminointinopeus oli kesällä 68 d ja talvella 130 d. Radiocesiumin eliminointinopeus voi riippua lihastyön määrästä, ravinnon koostumuksesta ja syödyistä määrästä, sairaustiloista, geneettisistä tekijöistä ja muista tekijöistä, joita ei vielä osata määrittää (EKMAN 1966).

Noin 90 % syödystä K:sta poistuu virtsan mukana kun taas Cs:sta erittyy vain 1/3 K:iin verrattuna. Ulosteissa erittyy Cs:a noin 8,2 kertaa enemmän kuin K:ta % syödystä annoksesta. Cs:a saattaa erittyä "aktiivisesti" ulosteisiin (SANSOM 1966).

Eri imettäväisillä tavataan erittymisessä eroja virtsa/uloste suhteissa (U/F). Yksimahaisilla U/F suhde Cs-137:llä on 3-10; märeh-tijöillä suhde on noin 1; marsuilla ja kaneilla suhde on 2. Cs-137:n pidättymiskykyä elimistöön kuvataan tavallisesti kolmikomponenttisenä exponentiaalisena funktiona. Ensimmäinen komponentti eliminoituu T 1/2 vauhdilla 0,5-3,5 d kaikilla lajeilla. Seuraavalla komponentilla on keskimääräisen pitkä T 1/2. Kolmannella komponentilla on pitkä T 1/2. Pitkään pidättyvän komponentin T 1/2 on hiirellä 6 d ja ihmisellä 110 d. Äskettäin on kuvailtu lisäksi vielä neljäs edellisiä hitaampi komponentti 158 d (ihmisellä), mutta vm. edustaa vain 0,005 % elimistön Cs-rasituksesta ja sillä ei näinollen ole käytännön merkitystä. Tämä Cs-137 komponentti on sijoittuneena luurankoon (STARA ym. 1971).

Taulukossa 12 on annettu ei-märehtijöille, märeh-tijöille ja kanalle Cs:n alkuperäispidättymisen T 1/2 (aika joka tarvitaan siihen että eläin ehtii erittämään puolet alunperin saamastaan Cs-annoksesta), sekä biologiset T 1/2:t kolmelle eri komponentille. Taulukon luvut osoittavat isoja eroja eri eläinlajien kesken. Luvut ovat eri kusten keskiarvoja. Lihaskudoksessa esim. T 1/2 vaihtelee lihaksesta riippuen ja näinollen Cs:n poistuminen lihasta ei ole yhtenäistä, mutta se voidaan matemaattisesti laskea koetuloksista ekstrapoloimalla (ANON. 1966).

Kuva 11. Cs-134 pitoisuus sian eräissä lihaksissa kun sialle on annettu yksi Cs-134 Cl annos suun kautta. Jokainen arvo edustaa neljän eläimen keskiarvoa (EKMAN 1966).

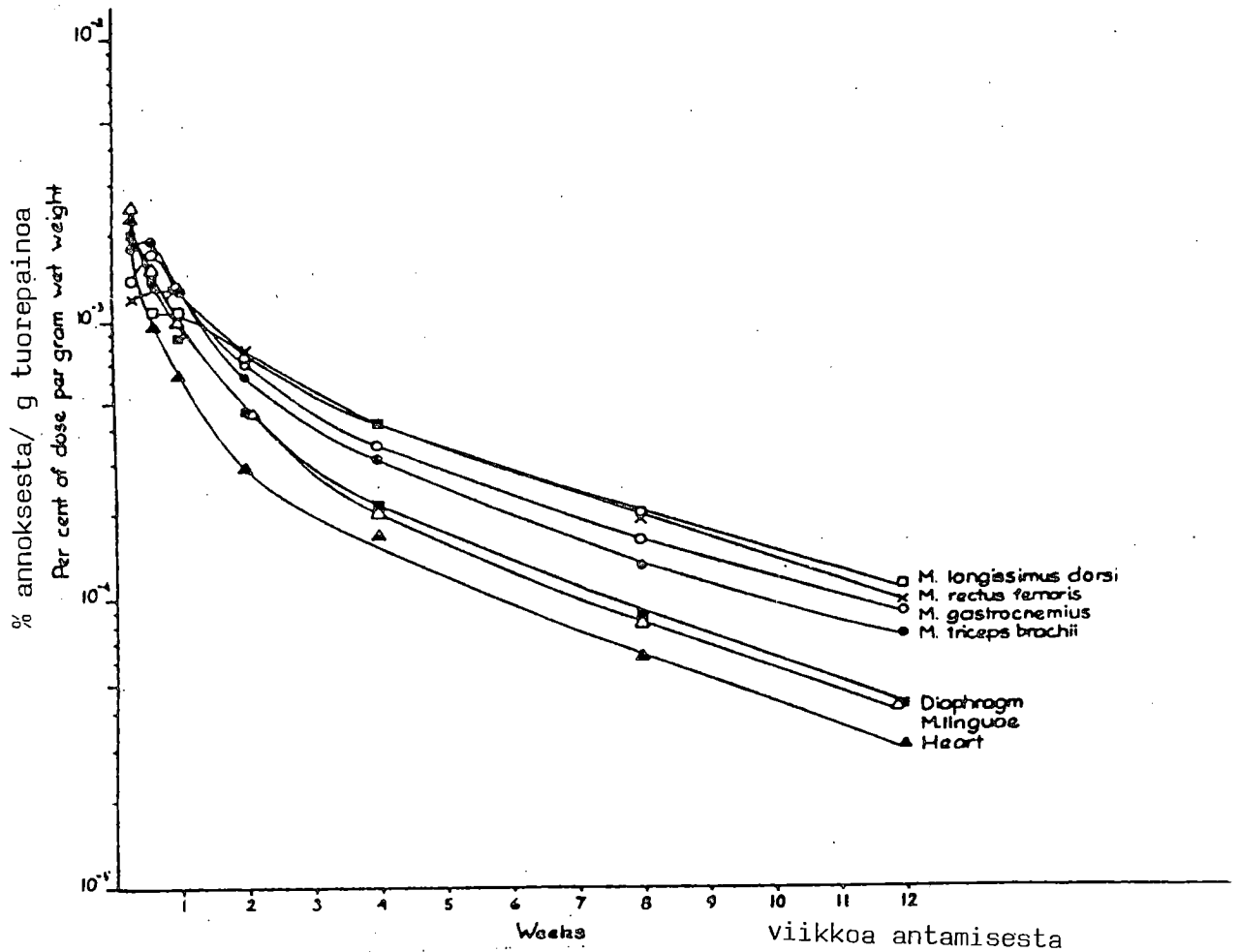


FIG. 1. The concentration of  $^{134}\text{Cs}$  in some muscles of pigs which received single oral doses of  $^{134}\text{CsCl}$ . Each value is a mean from four animals. Ekman.<sup>(100)</sup>

Taulukko 12. Alkuperäisen pidättymisen puoliintumisaika ja biologiset puoliajat Cs:llä eri eläinlajeilla

Laji	Alkuperäisen pidättymisen puoli-aika, d	Biologinen puoli-aika Komponentti			Lähde
		1	2	3	
<b>EI MÄREHTIJÄT</b>					
Hiiri	1.2	0.5	2.4	6.6	RICHMOND (1958)
Rotta	6.5	0.8	6.8	13.0	"
Apina	19.0	3.0	23.0	40.0	"
Koira	25.0	1.1	27.0	43.0	"
Ihminen (aikuinen)	89.0	1.0	89.0	-	RUNDO ym. (1963)
<b>MÄREHTIJÄT</b>					
Vuohi	3.8	3.5	31	-	EKMAN (1861)
Lehmä	3-5	-	-	-	IL'in ja MOS- KALEV (1957)
Lehmä	-	-	30	-	CRAGLE (1961) SANSOM (1963)
<b>LINTU</b>					
Kana	1.5	1.1	27	-	EKMAN (1961)

Skånessa v. 1962 tehdystä 25 maatilaa käsittelevästä tutkimuksesta kävi ilmi että eri kasvit ottivat eri tavalla Cs-137 (ERIKSSON 1984):

	suhteellinen arvo
Laidun ja säilörehun raaka-aine	100
Laitumelta korjattu heinä	51
Sokerijuurikas, naatti	76
" , juuri	6
Vehnä, olki	86
" , jyvä	21

Viljojen jyvien uloin osa, lese, on eniten kontaminoitunut. Esimerkiksi Sr on 13 % jyvän ytimessä ja 87 % leseosassa.

28 d:n kokeessa maitoon erittyi päivittäisestä Cs-annoksesta 0,84 % per litra ja elimistön Cs-lasti oli 5,7-8,2 kertainen päiväannokseen verrattuna. Kun Cs:n antaminen lopetettiin niin maidon Cs-pitoisuus alkoi laskea aluksi nopeammin ja sitten hitaammin. Pitoisuuskäyrä on annettu.

Verrattuna K:iin Cs:n määrä maidossa (% syödystä määrästä) oli samaa suuruusluokkaa eli noin 8 %. Virtsaan erittyi syödystä määrästä K:ia keskim. 86,6 % ja Cs:ia 25,5 %, ulosteisiin erittyi 7,8 % K ja 54,3 % Cs (neljän lehmän keskiarvot, joilla tuotos oli 8,9 l/d/eläin). K:n kokonaiseritys oli 102,4 % ja Cs:n 87,7 % (SANSOM 1966).

Maitorauhanen ei näytä tekevän juurikaan eroa Cs:n ja K:n välillä. Maitoon erittyneen Cs/K on 1,16. CRAGLE (1961) sai vastaavasti 1,5 suhteeksi. BOOKER (1959) sai 0,95. STEWART ym. (1965) havaitsivat, että dieetin kuitupitoisuus vaikuttaa Cs-137:n siirtymiseen maitoon kun dieetin K-pitoisuus pidettiin vakiona.

Dieetin K:lla ei ollut sanottavaa vaikutusta maidon Cs-pitoisuuteen. WASSERMAN ja COMAR (1961) totesivat, että yhdeksänkertainen lisäys dieetin K-tasossa aiheutti vain kaksinkertaisen vähenemisen Cs:n pidätyksessä.

Radiocesiumista erittyy maidon mukana 30 vrk:n sisällä antamisesta noin 17 %, silloin kun Cs on annettu suonensisäisesti. Jos lehmä saa rehun mukana Cs:a, niin tuskin 10 % tästä erittyy kuukauden sisällä maitoon. Cesiumin suurin ongelma on sen pitoisuudet lihassa (ÅBERG 1962a).

Cs:n häviämisenopeudet maidosta ja lihasta yhden suun kautta saadun Cs-annoksen ja kerran d:ssä 28 d:n ajan suun kautta annetun Cs-annostuksen jälkeen annetaan julkaisussa (SANSOM 1966).

Jos lehmä saa jatkuvasti Cs-137 dieetissään, niin noin 4 % päiväänoksesta löytyy/kg ruumiinpainoa ja 1,2 % maitolitraa kohden (ANON. 1966).

Ruotsissa LINDELL (1964) totesi että Cs-137-pitoisuus naudanlihassa oli noin 4,4 kertaa isompi verrattuna maidon Cs-137 pitoisuuteen saman alueen karjoissa. Sianliha sisältää tavallisesti vai 1/2 maidon pitoisuudesta. Mitään vakiosuhteita ei voida määrittää kuitenkaan. Esim. UK:ssa kukkuloilla kasvatetuissa lampaissa lihan Cs-137 on runsaampien sateiden johdosta isompi verrattuna lihan Cs-137 pitoisuuteen yleensä, koska sateet tuovat laskeumaa mukanaan. Sormisääntö: lihan Cs-137 pitoisuus on 3-5 kertaa maidon pitoisuutta isompi.

EKMAN (1961) totesi, että vuohilla Cs-137 ilmestyi maitoon 10 min. sisällä syömisestä. Yhdestä suunkautta annetusta Cs-137 annoksesta 5-10 % erittyi maitolitraan maksimimääränä, joka saavutettiin 9-48 h antamisesta. Lypsylehmillä vastaavasti Cs erittyi 0,2-0,3 % litraan maitoa maksimitasona, joka saavutettiin 24-48 h antamisesta

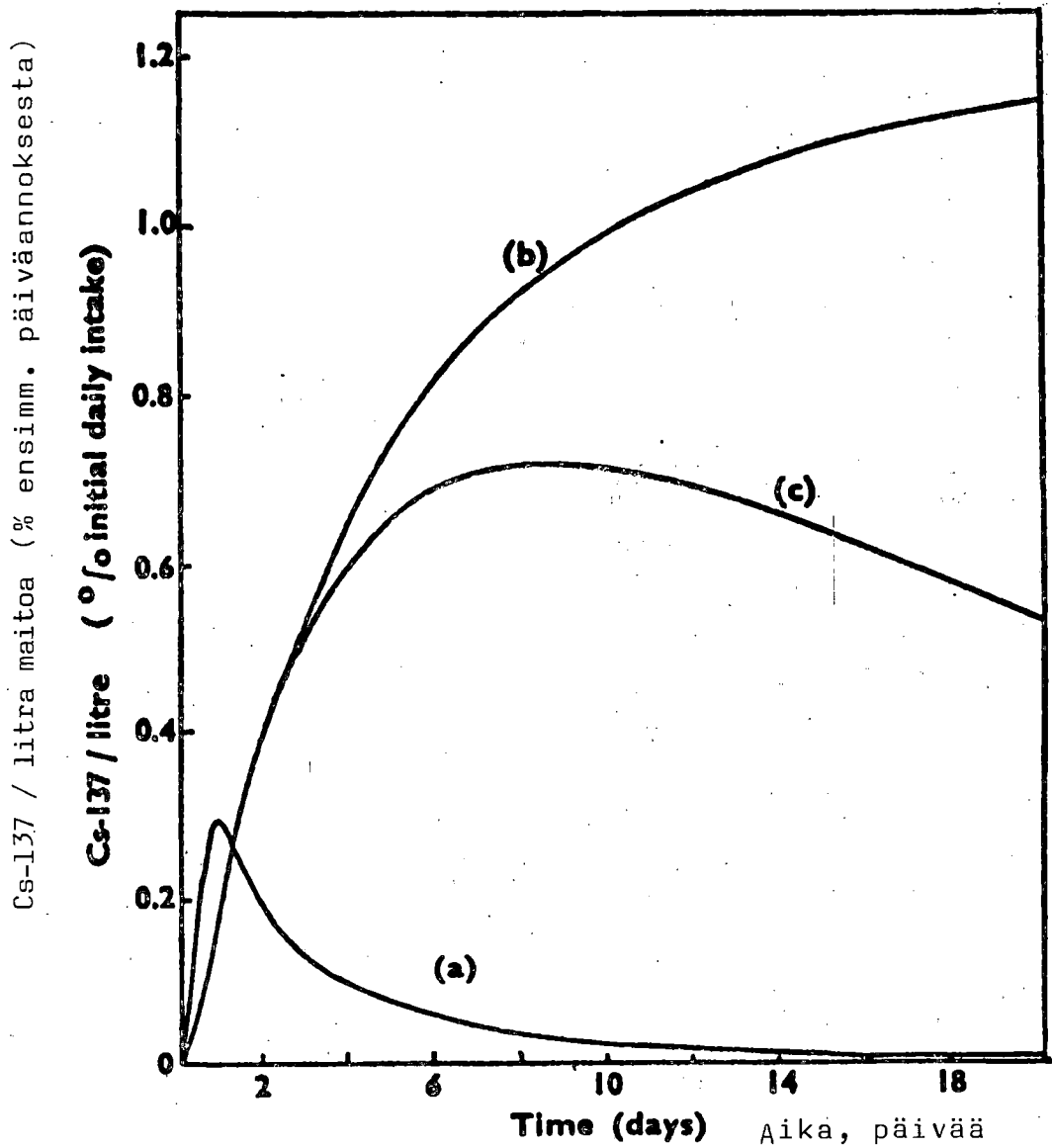
Kuvassa 12 on annettu maidon Cs-pitoisuuskäyrät (Cs-137/litra % alkuperäisestä päiväannoksesta päivässä)

- a) yhden suunkautta saadun Cs-annoksen jälkeen
- b) jatkuvan Cs-saannin funktiona
- c) laskettu Cs/l maitoa silloin kun päivittäiseen Cs-saantiin vaikuttaa Cs:n puoliintuminen biologisesti  $T_{1/2}$ :lla 14 pv.

Cs:n pitoisuuskäyrät maidossa voidaan määrittää ekstrapoloimalla ne kokeissa saatujen kokemusten perusteella. Näin yksi- tai monianoskokeen tuloksia voidaan käyttää määrittäessä syödystä Cs:stä maitoon ilmestyvä osa. Lehmillä tämä luku on 6-12 % ja vuohilla 6-25 % päivässä syödystä annoksesta. Koska vuohien maitotuotos on alempi kuin lehmien saattaa vuohilla maidon Cs-pitoisuus litraa kohden olla 30-kertainen lehmän maitoon verrattuna. CRAGLE:n (1961) mukaan lehmän maitotuotoksesta riippuu pääasiassa se kuinka paljon maitoon erittyy Cs, muilla tekijöillä on vähemmän merkitystä.

Kuva 12. Cs-137:n erittyminen maitoon (a) yhden suun kautta saadun annoksen jälkeen, (b) jatkuvan tasaisen saannin aikana ja (c) jatkuvan saannin aikana jolloin Cs:n  $T_{1/2}$  on 14 d.

(IL'in ja MOSKALEV 1957).





Cs-137 siirtyy helposti maitoon, sen T 1/2 (biologinen) maitoa tuottavilla lehmillä on noin 30 pv. Cs-137:lle on saatu siirtymiskertoimeksi 3,8-6,4 eri vuodenaikoina. Tutkimus suoritettiin Sellafieldin ydinvoimalan läheisyydessä UK:ssa (SUMERLING ym. 1984).

Cs-137 siirtyy huonommin heinästä kuin väkirehusta maitoon. Jos heinässä on vähemmän kuin 3 x väkirehun Cs-pitoisuus silloin heinää lisäämällä saadaan maitoon erittyneen Cs:n määrää pienennettyä. Heinällä Cs:n siirtymiskerroin on 0,24 % (noin) kun taas runsaalla väkirehudieetillä siirtymiskerroin on 0,72 %. Heikompi siirtyminen (Cs:n) korsiintuneesta heinästä maitoon johtunee mm. rehuannoksen korkeasta kuitupitoisuudesta, joka ehkäisee Cs:n imeytymistä lehmän elimistöön (WARD ja JOHNSON 1966).

Cs-137:n siirtymiskerroin rehusta maitoon vaihtelee rehun mukaan. Syötettäessä sinimailasta ja maissisäilörehua kerroin oli 0,0025 päivässä maitolittraa kohden, kun taas väkirehuseosta syötettäessä kerroin oli 0,01 d/l maitoa. Maidon Cs-137 pitoisuus pysyy vakiona mikäli rehuannoksen Cs-137 on vakio (WILSON ym. 1969).

UTAHissa suoritettujen tutkimusten mukaan määristä maista kulkeutuu enemmän Cs-137, I-131 ja Sr-90 maitoon kuin kuivista. Hiekkaperäiset maat edistävät Cs-137 ja Sr-90 kulkeutumista maitoon. Korkeilla paikoilla ja runsaasti sadetta saavilla alueilla maidon Cs-137 ja Sr-90 lisääntyvät. Heikoilla laitumilla, joilta eläimet syövät kasvit juuria myöten, joutuu maitoon enemmän Sr-90 ja Cs-137 (VERL 1981).

Englannissa Sellafieldin ydinlaitoksessa on selvitetty radionuklidien siirtymistä ketjussa laidun-lehmä-maito. Näytteitä on otettu pölystä, sadevedestä, kasveista, lisärehuista, maidosta ja eläinkudoksista. Aineistoa on käytetty radionuklidien siirtymiskertoimien laskemiseksi (Sr-90, Cs-137, Pu-239 ja Am-241) ympäristöstä lihaan ja maitoon (DODD 1983).

JAPANISSA on tutkittu Sr-90 ja Cs-137:n siirtymistä ydinsaasteesta (laskeumasta) erityisesti maitoon. Tutkija toteaa, että Japanissa suurin laskeuma oli 1964 ja alenemista tapahtui vuoteen 1970, jonka jälkeen laskeuman arvot eivät ole alentuneet, johtuen luultavasti KIINAN tekemistä ydinkokeista. HOKKAIDOSTA kerätyt maitonäytteet yleensä sisältävät enemmän Sr-90 ja Cs-137, kuin muilta alueilta otetut näytteet. Alhaisimmat arvot löytyvät säännönmukaisesti KAGAVASTA (NIRS 1979).

Maidon Cs-137-pitoisuudet ovat vaihdelleet Lapissa vv. 1974-78. Samoin on tapahtunut heinän ja maaperänäytteiden kohdalla (RISSANEN ym. 1981):

	Bq/g K	Bq/l t. kg ka
maito	0,04- 7,0	0,26- 12,0
heinä	0,04-24,0	0,41-180,0
maanäytt.	0,04-59,0	0,89- 86,0

Turvemaista löytyi korkeimmat pitoisuudet. Tutkimuksessa todettiin että annettaessa lehmille runsaasti Cs-137 sisältävää heinää maidon Cs-137 nousi ja vice versa. Ilmiö oli varsin selvä. Dieetin K-pitoisuus ei vaikuttanut lainkaan maidon K-pitoisuuteen vaikka syöty määrä vaihteli 90-210 g/pv/lehmä. Maidon K oli 1,3-1,6 g/l. Tässä tutkimuksessa syödystä Cs-137:stä siirtyi maitoon 0,98±0,08 %. Kirjallisuudessa useimmiten on maitoon erittynyt määrä ollut 0,3-0,8 % syödystä Cs-137-annoksesta. Kirjallisuuden mukaan Cs:n kulkeutuminen maasta kasveihin on merkityksetöntä. Cs sitoutuu lujasti savi- ja hiekkamaahan. Turvepitoinen maa sisältää runsaasti Cs-137. Turvemaan heinä sisälsi enemmän Cs kuin hiekkamaan heinä.

ASPILAN (1986) tutkimuksissa maidon cesiumpitoisuus oli vain 100 Bq/l kun ruohossa pitoisuus oli 1500 Bq/kg ka. Syödystä Cs-137:stä erittyi sonnan mukana 75 %, virtsassa 12 % ja maidossa 13 %. Maahan tulleesta Cs-laskeumasta vain 2 % siirtyi ruuhon.

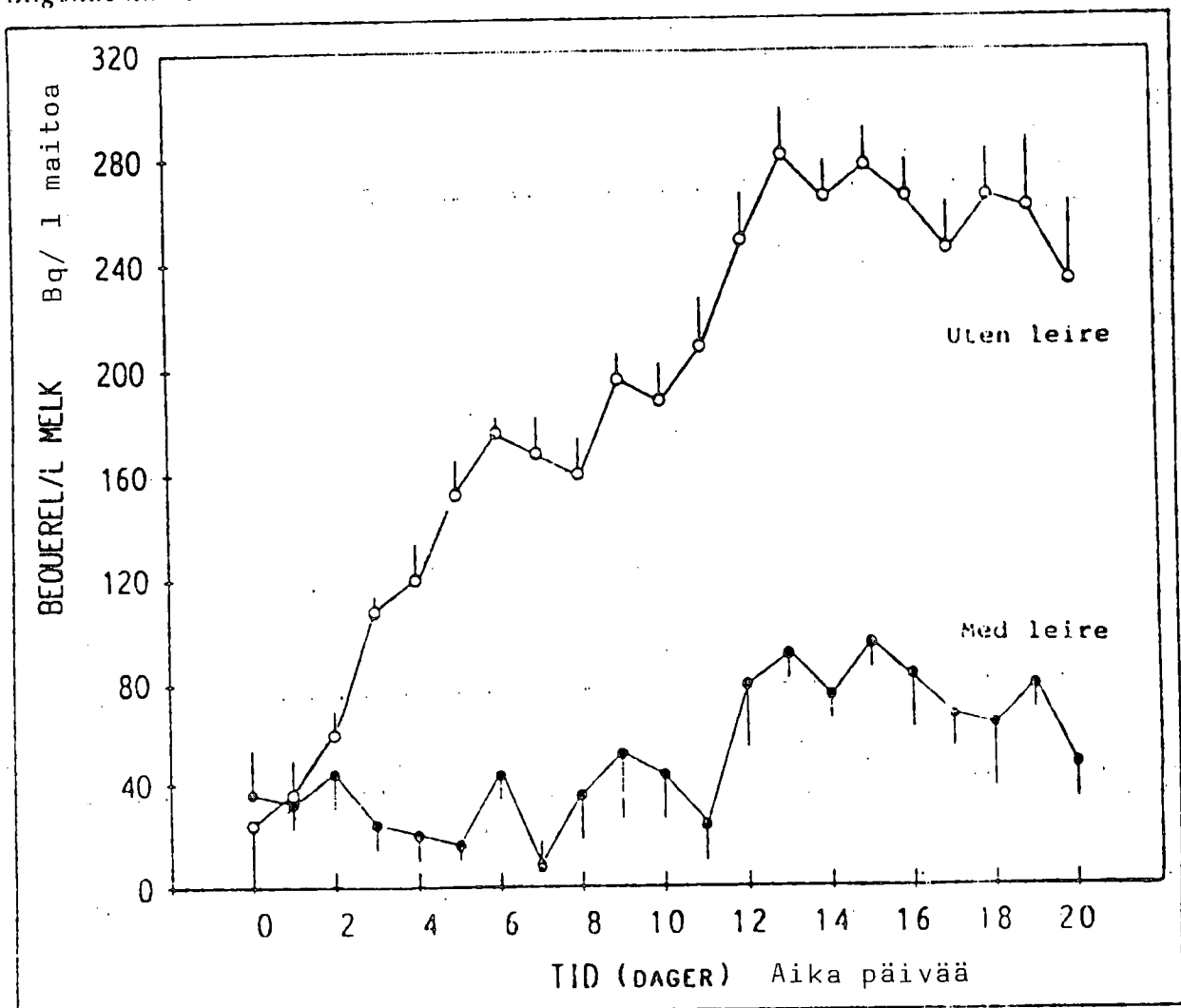
13 % syödyistä Cs-137:stä erittyi maitoon annettaessa Cs-kloridina (KAHN ym. 1965).

Sr-90 ja Cs-137 ovat ongelmallisia koska niillä on pitkä puoliintumisaika. Kokeet ovat kuitenkin osoittaneet, että maidon Cs-137 pitoisuutta voidaan laskea tietyillä ruokinnallisilla keinoilla niin paljon että saavutetaan merkittävä säteilyannoksen pieneneminen väestöllä. Sr-90:een pätee samanlaiset säännöt, Sr-90 pidättyy lujemmin maaperään ja imeytyy huonommin lehmän elimistöön kuin Cs. Tutkijat totesivat, että ne menetelmät, joilla ruohosato saatiin nousemaan alensivat kasvuston Cs-137:ää ja samalla maidon Cs:ää (WARD ja JOHNSON 1966).

Norjassa 6 000 Bq Cs/d saaneiden vuohien maidon Cs-137-pitoisuutta voitiin merkitsevästi alentaa lisäämällä rehuannokseen bentoniittia (kuva 13).

Kuva 13. Vuohen maidon radioaktiivisuustason lisääntyminen syötet-  
täessä radioaktiivista heinää bentoniitin kanssa (alempi  
käyrä) ja ilman bentoniittia (ylempi käyrä). Koe kesti  
20 d. Päivittäinen radiocesium annos oli 6000 Bq/eläin  
(ANON. 1986b).

Fig. 2. Utviklingen av becquerelinnholdet i geitmelk ved føring med radioaktivt høy.  
Stigende kurve: Uten tilskudd av cesiumbinder. Lav kurve: Tilskudd av leire.



12 henkilön elimistön Cs-137 pitoisuus mitattiin Bremenissä, löydös vaihteli 1540-5440 mB/kg. Cs-137-pitoisuus maidossa oli 1320, mBq/l. 1,5 l/d maitoa juova henkilö sai 5 kertaa isomman annoksen Cs-137:ää verrattuna keskimääräiseen ateriointisijaan (BAUMGARTER ym. 1985).

Tietyissä olosuhteissa maidosta voidaan poistaa Cs-137 ja eräät muut radioisotoopit hyvin tarkkaan. USA:ssa kehitettiin pilot plant, jolla kyettiin poistamaan maidosta 50 % Cs-137, (fixed bed ion exchange process) (WALTER 1966).

Cesiumin siirtymistä rehusta lihaan koti- ja villieläimillä on tutkittu mm. LÄNŠI-SAKSASSA kirjallisuuskatsauksen valossa (FLIEGL ym. 1980). Katsaus perustuu 3200 julkaisuun aikaväliltä 1950-1979. Siirtymiskerroin on aina pienempi silloin kun on kysymyksessä vain yksi saastuttava annos verrattuna kroonisiin olosuhteisiin. Siirtymiskerroin on kasvavilla eläimillä suurempi kuin täysikasvuisilla. Aikuisella siirtymiskerroin on iästä riippumaton. Sukupuolelle ei ole vaikutusta. Elopainon ja kertoimen välillä on negatiivinen suhde. Seuraavat kertoimet saatiin ottaen huomioon edelläsanoitu:

nauta	0,03 <sub>-</sub> 0,02	Kertoimet on poimittu kirjallisuudesta ja ne liittyvät pääasiallisesti tasapainotilassa suoritettuihin tasekokeisiin. Vain cariboun ja kauriin arvot on määritetty rehujen ja lihan Cs-137:n pitoisuuden perusteella.
vasikka	0,43 <sub>+</sub> 0,06	
vuohi	0,20	
lammas	0,11 <sub>-</sub> 0,02	
sika	0,26 <sub>+</sub> 0,01	
kana	4,5	
poro/caribou	0,31 <sub>+</sub> 0,07	
kauris	0,18 <sub>+</sub> 0,03	

ISO-BRITANNIASSA WINDSCALE:n ydinlaitoksesta joutuu toisinaan radioaktiivisia jätteitä meriveteen, joka toisinaan tulvii laidunalueille Cumbriassa. 1979 tutkittiin ruohossa olleen Cs-137:n siirtymistä naudän lihaan. Tutkimuksen mukaan siirtymiskerroin oli hyvin matala, (alle  $9 \times 10^{-4}$  päivää  $\text{kg}^{-1}$ ). Matalan siirtymiskertoimen arvellaan johtuvan siitä että Cs-137 sitoutuu meriveden mukana tulleen sedimentin pinnalle ja Cs:n imeytyminen adsorptiosidoksesta on ruoansulatuskanavassa vähäistä (SUMERLING 1981).

LÄNSI-SAKSASSA suoritetussa selvityksessä annetaan radionuklideille siirtymiskertoimia rehusta lihaan (SCHELENZ 1980).

Länsi-Saksassa tutkittiin radioisotooppien siirtymistä rehusta lihaan. Cs-137:n siirtokertoimet vaihtelivat  $3 \times 10^{-2}$  -  $7,3 \times 10^{-2}$  naudalla ja siialla (WAGNER ja MIRNA 1981).

UNKARI:ssa löydettiin korkeita radioaktiivisuus arvoja lihasta v. 1976. Säännölliset tutkimukset vv. 1977-82 paljastivat, että Sr-90 säilyy luissa kauemmin kuin Cs-137. Sikojen luiden Sr-90 aktiivisuus oli 1/10 naudän luiden arvosta (ZALABAI ja VALLALAT 1983).

JUGOSLAVIAN tutkijat esittivät sioilla saatuja tutkimustuloksia ISRAELISSA v. 1980 pidetyssä kongressissa (BEGOVIĆ ym. 1980). Tutkimuksessa sikaan injektointiin yksi tai useampia perättäisiä Cs-137 annoksia. Sioista määritettiin Cs-137:n erittyminen virtsaan ja ulosteisiin sekä pidättyminen lihaskudokseen. Eri lihasten Cs-137-pitoisuus ei merkitsevästi poikennut yksi- tai useampia Cs-137-annoksia saaneilla sioilla. Lihasten radioaktiivisuus laski eksponentiaalisesti ajan mukana 14 d Cs-137:n antamisen jälkeen. Cs-137 määrä lihaksessa kaksinkertaistui kun Cs-137 annos kaksinkertaistettiin. Annettaessa Cs-137 jatkuvasti Cs-137:n erittymisen puoliaika oli 17-20 d. Kuitenkin yhden annoskerran jälkeen puoliaika oli vain 5 d.

### Cs siipikarjassa

Jos kanalle annetaan suun kautta Cs niin Cs voidaan todeta seuraavana päivänä munitussa munassa, tämä on maksimitaso ja edustaa 1 % saadusta annoksesta. Jatkuvasti tasaisina annoksina annetun Cs:n "steady state" eli vakiintunut munien Cs-taso saavutetaan 6-7 d:ssä ja munista löytyy tällöin 2,3-3,3 % annetusta päiväannoksesta. Tasapainotilan aikana munanvalkuainen sisältää 2-3 kertaa enemmän Cs kuin keltuainen. Kuoresta löytyy 1-2 % Cs-annoksesta (ANON. 1966).

Tutkittaessa K:n, Rb:n, Cs:n ja Cs-137:n vaiheita intensiivisesti kasvatetuissa kanoissa (rehu, liha, munat) ja todettiin, että kaikki em. elementit akkumuloituvat linnun lihaan (broilereita) ja Cs-137 akkumuloituu lisäksi myös munan valkuaiseen (DJURIC ja AJDACIC 1984).

Cs-137:n siirtymistä kananmunaan tutkittiin in vitro ja todettiin, että munan membraani ehkäisee Cs-137 kulkeutumista munan sisään (vastaa varasto-olosuhteita). Vertailtaessa in vitro ja in vivo Cs-137:n vaiheita todettiin, että in vivo olosuhteissa Cs-137:n on helpompi päästä munaan. In vivo munankuoressa ja munan albumiinissa oli 10 kertaa enemmän radioaktiivisuutta verrattuna in vitro tilanteeseen (STANKOVIC ym. 1983).

Radioaktiivisen laskeuman alueella pidettyjen ankojen lihan ja maksan radioaktiivisuutta (Cs-137, Cs-134, Co-60, La-140, mAg-140) voitiin alentaa keittämällä. Cs-134 ja Cs-137 pitoisuudet alenivat 27 % lihassa. Lihasmahan (gizzard) nuklidipitoisuus ei sanottavasti muuttunut keittämisen johdosta (HALFORD 1983).

## Cs väestön dieetissä

Cs-137:n ja K:n saanti eri ruoka-aineista lappalaisilla oli 1960-luvulla JOKELAISEN (1965) tutkimuksen mukaan seuraava:

Ruoka-aine	K, %	Cs-137, %
Maito ja maitotaloustuotteet	22,7	10,7
Kala	10,7	12,1
Liha ja lihatuotteet	9,5	74,7
Peruna + vihannekset	27,6	0,2
Vilja + viljatuotteet	13,1	1,5
Marjat + hedelmät	2,7	0,7
Kahvi	13,4	
Tee	0,3	0,1

Luvut osoittavat, että liha oli tärkein Cs-137:n lähde.

ALASKA:ssa on tutkittu ydinkokeiden seurauksena tapahtunutta Cs-137 laskeumaa 1962-79. Tarkastelun kohteena oli jäkälä-caribou-Eskimon ravintoketju Alaskan pohjoisosassa. Cs-137 siirtyi ravintoketjun kautta Eskimoihin vasta 2 vuoden päästä laskeumasta. Cariboun (Rangifer tarandus) lihasta otettiin näytteet keväällä ja lihassa oli 4 kertaa korkeampi Cs-137-pitoisuus verrattuna talviajan jäkälärehuun. Laskelmien mukaan Anaktuvuk Pass Eskimot söivät keskimäärin 1 kg cariboun lihaa v. 1964, mutta enää vain 0,16 kg v. 1977. Maksimi Cs-137 arvo oli 20 nCi/kg ruumiinpainoa Eskimoilla v. 1964. Pitoisuus on sittemmin laskenut 0,5 nCi/kg tasolle johtuen poliittisista ja kulttuuritekijöistä (HANSON 1982).

NORJAN Lappalaisten elimistössä on 10 kertaa enemmän säteilyaltistumista verrattuna Oslolaisiin (WESTERLUND ja LIND 1981).



NORJAN Lappalaisten elimistön Cs-137-lasti aleni vuodesta 1965 vuoteen 1975 puoliintumisvauhdilla 4-5 vuotta. Tästä eteenpäin lasku on ollut hitaampaa, johtuen KIINAN tekemistä ydinkokeista. Poronlihan Cs-137-määrä on seurannut samaa mallia. Talvella lihan Cs-137-pitoisuus on korkeampi kuin kesällä johtuen rehun Cs-137-pitoisuudesta. Niillä Lappalaisilla, jotka työskentelevät pientiloilla on 3/4 säteilytaakka verrattuna porojen kanssa kiertäviin Lappalaisiin (WESTERLUND ym. 1980).

V. 1963 Ruotsissa (ÅBERG 1963) suoritettujen tutkimusten mukaan poronlihan Cs-137-pitoisuus oli monin verroin korkeampi kuin naudanlihan kun taas kummassakin lihassa oli yhtäsuuret K-40-pitoisuudet. Tutkimus suoritettiin tammikuussa, jolloin lehmät ovat ilmeisesti olleet sisäruokinnassa.

Poronlihan radioaktiivisuus noudattaa vuodenaikavaihteluita ollen korkeampi tavella jäkälänsyöntiaikana ja matalampi kesällä ruohon-syöntiaikana. Jäkälällä on erityinen kyky vastaanottaa ja pidättää radioaktiivisesta laskeumasta cesiumia (GJERTSEN ym. 1983).

NORJASSA turvarajaksi elintarvikkeille on asetettu 600 Bq/kg ja tämä raja aiheuttaa rajoituksia kalan, riistan, lampaanlihan, poronlihan ja vuohenmaidon käytölle ruokana. Poronlihan turvaraja nostettiin sittemmin 6 000 Bg:iin/kg kun väestön laskettiin syövän poronlihaa keskim. alle 1 kg/henkilö/vuosi.

Radioaktiivisuuden vähentäminen elimistöstä

Norjassa on tutkittu sitä kuinka lihan radioaktiivisuutta voidaan alentaa. Kun lampaat siirrettiin sisäruokintaan, niiden lihan Cs-pitoisuus laski. Lampaanlihan sisältäessä 2000 Bq/kg, lihan radioaktiivisuus saatiin laskemaan turvarajan alapuolelle syöttämällä puhdasta rehua (Kuva 12).

Lopputulos riippuu siitä, kuinka paljon syötetyssä rehussa on radioaktiivista säteilyä. Jos rehu ei "säteile", niin 2000 Bq/kg lihan lähtöarvolla saavutetaan 30 vrk:ssa 600 Bq:n raja. Jos rehussa taas on 400 Bq/kg, niin tarvitaan 70 vrk, jotta päästään lihan arvoissa 600 Bq/kg tasolle. Norjassa on meneillään tutkimus, jossa seurataan lihan Cs-arvojen muuttumista syötettäessä kuudenlaista rehuvalikoimaa:

- |  |               |
|--|---------------|
| 1) 200 g heinää NLH:sta + 500 g väkirehua/d        | (10 lammasta) |
| 2) 200 g heinää Trondelag'ista + 500 g väkirehua/d | ( 5 lammasta) |
| 3) Heinää vapaasti, 500 g väkirehua/d              | ( 5 lammasta) |
| 4) Kuten 1) + KCL väkirehun joukkoon lisättyinä    | ( 5 lammasta) |
| 5) " + bentoniittiä                                | ( 5 lammasta) |
| 6) " + zeolittiä                                   | ( 2 lammasta) |

Tähänastisissa kokeissa on todettu, että olki+väkirehu dieetti vähentää tehokkaasti lampaanlihan Cs-pitoisuutta.

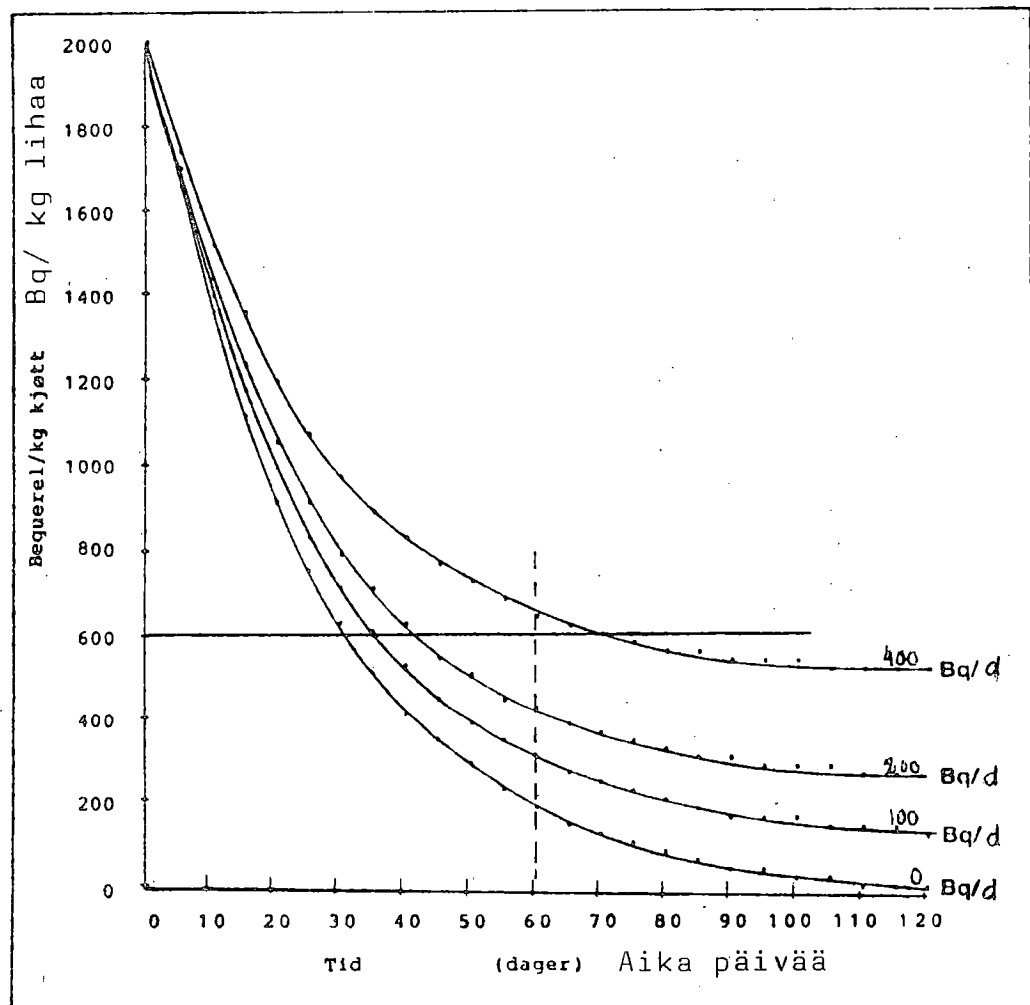
Meneillään olevissa kokeissa lampaille on valmistettu erityistä väkirehua, jonka bentoniittipitoisuus on 5 %. Lähitulevaisuudessa saadaan tulokset bentoniitin vaikutuksesta lihan cesium-pitoisuuteen.

Menetelmiä Cs-137:n eliminoimiseksi elimistöstä ja imeytymisen ehkäisemiseksi ruoansulatuskanavasta elimistöön on selvitelty aikaisemminkin. Vermikuliitti, bentoniitti, hiili ja Preussin sininen ovat osoittautuneet tehollisiksi. Näistä Preussin sininen oli tehokkain sitoutumisessaan Cs-137:iin ja näin lisäsi Cs:n erittymistä ulosteiden mukana. Lisättäessä rottien juomaveteen ao. ainetta virtsan/ulosteiden Cs-137 suhde laski 6,0:sta 0,3:een, elimistön säteilyrasitus laski 1/20 osaan 60. päivään mennessä (ANON. 1986a).

Kuva 14. Radiocesiumpitoisuuden lasku lampaanlihassa ajan ja rehuannoksesta saadun cesium määrän funktiona. Eläinten keskipaino on 40 kg, Cs:n  $T_{1/2}$  on 18 d, lihan Cs-pitoisuuden alkuarvo on 2000 Bq/kg, rehuannoksen Cs-pitoisuudet ovat 400, 200, 100 ja 0 Bq/d.

*Fig. 1. Beregnat nedgang i radioaktivt cesium i sauekjøtt som funksjon av føringstid og daglig absorbert mengde radioaktivt cesium (Bq/dag).*

*Forutsetninger: Levendevekt for dyra 40 kg, biologisk halveringstid 18 dager, startverdi med hensyn til radioaktivitet 2000 Bq/kg.*



Kuva 15. Lampaan elimistön laskettu Cs-pitoisuus Bq/kg laitumelaoloajan pituuden funktiona 120 d saakka Cs-saannin ollessa 2000 Bq/d/lammas; palautumiseen (600 Bq tasolle) kuluva aika syötettäessä Cs-vapaata dieettiä Cs:n biologisen puoliintumisajan ( $T_{1/2}$ ) ollessa 15, 20 tai 30 d (ANON. 1986b).

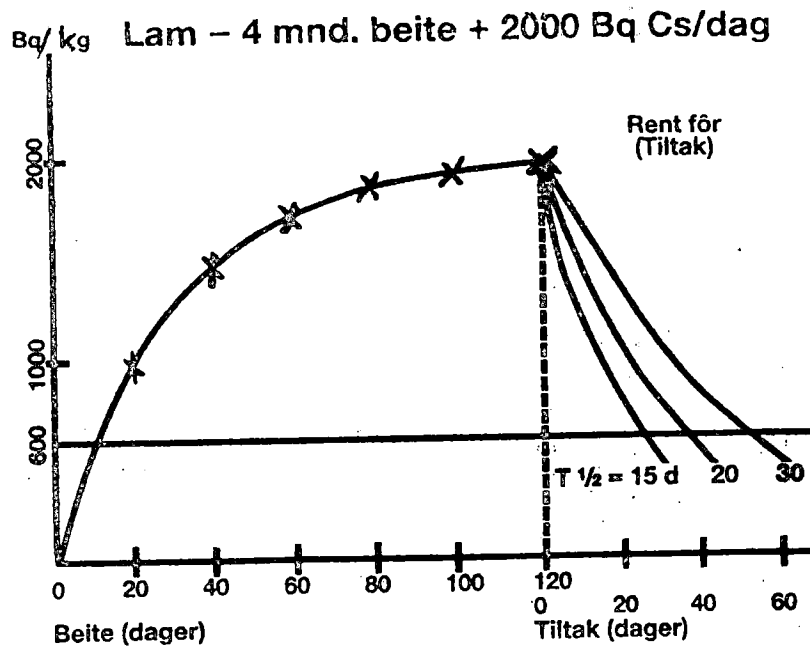


Fig. 3. Bereget innhold av cesium i dyrekroppen etter ulik beitetid med 2000 Bq Cs/dag, og med tiltaksføring etter 120 dager.

Norjan maatalouskorkeakoulussa verrattiin erilaisia dieettejä lampaiden ruokinnassa ja todettiin, että heinä+väkirehu+bentoniitti +KCl dieetillä olleilla lampailla Cs-137:n T 1/2 oli vain 11 vrk kun taas bentoniitti tai KCl dieetin additiivina ei sanottavasti vaikuttanut Cs-137:n T 1/2:een (ANON 1986b):

Ruokinta <sup>1)</sup>	N	Cs-137:n T 1/2	
		Liha	Verianemia
Heinä+väkirehu	7	18+4	14+2
" " +bentoniitti	5	17+5	14+2
" " +KCl	5	15+3	11+2
Olki+väkirehu	5	15+2	12+1
Heinä (80 Bq/d)+väkirehu	5	17+3	13+2
Heinä+väkirehu+bentoniitti+KCl	3	11+1	11+4

1) 200 g heinää, 0,5 kg väkirehua, olkea ad lib., 40 g KCl/d/el  
20 g bentoniittia/d/el

Kun lampaat pantiin dieetille, josa oli yhteensä 2250 Bq Cs-137 + Cs-134 (heinässä) ja 5 g Preussin sinistä päivässä tämä aine ehkäisi Cs:n siirtymistä ravinnosta lihaan. Tutkijat arvelevat että lampailla, vuohille ja poroille voitaisiin antaa Preussin sinistä kuulina, kapseleina tai tabletteina ja näillä toimenpiteillä voitaisiin vähentää radioaktiivisen cesiumin määrää ao. eläinten lihassa, mikäli eläimiä syötetään Cs-pitoisella rehulla (ANON. 1986a).

Viisi henkilöä altistui vahingossa Cs-137:lle. Cs:n tehollinen puoliintumisaika oli 124, 54, 61, 36 ja 36 d luonnollisen toiminnan aikana, lääkinnän johdosta puoliaikaa pystyttiin alentamaan: 38, 39, 25, 17 ja 16 d:hen. Luonnollisen ja lääkehoitoperiodien aikana Cs-137:n eliminointi virtsan mukana päivässä oli 75 ja 25 % kokonaiserittymisestä. Lääkintä siis lisäsi Cs:n erittymistä ulosteissa (RUWEI ym. 1985).

#### 2.4. Strontium ja radium

Maa-alkalimetalleista strontium ja radium ovat säteilymielessä väestölle vaarallisimmat. Maa-alkaleista Ca imeytyy suolistosta parhaiten, Sr ja Ba kohtalaisesti ja radium hyvin vähän. Berylliumin ja magnesiumin imeytyminen on vähemmän tehokasta (STARA ym. 1971).

Kalsiumin ja strontiumin aineenvaihdunnassa on paljon yhteisiä piirteitä. Erojakin esiintyy. Kalsiumin ja strontiumin erilainen käyttäytyminen lypsylehmän maidonerityksessä käy ilmi taulukosta 13.

Taulukko 13. Esimerkki Ca:n ja Sr:n vastakkaisesta vaikutuksista ao. aineiden homeostaattisessa säätelyssä lypsylehmällä (COMAR ym. 1961)

	Lehmä A	Lehmä B
Kalsium		
Syöty g/d	54	281
Maidossa g/l	1.07	1.14
Strontium		
Syöty g/d	0.18	490
Maidossa g/l	0.00022	0.588 <sup>1)</sup>

1) Määritetty isotooppilaimennustekniikalla

Taulukon 13 luvuista käy ilmi, että dieetin Ca-pitoisuudella ei ole juurikaan merkitystä maidon Ca-pitoisuuteen kun taas dieetin Sr-pitoisuuden lisääntyessä myös maidon Sr-pitoisuus nousee.

Kalsiumin metabolismi on tarkan homeostaattisen kontrollin alainen. Sr:n aineenvaihdunta ei sensijaan ole samanlaisen homeostaattisen kontrollinen alainen, vaan kalsium näyttää säätelevän/tai tarkemmin sanottuna kokonais maa-alkalimäärä/Sr:n aineenvaihduntaa. Kalsiumilla on kuitenkin elimistössä strontiumia inhiboiviakin vaikutuksia. COMAR ym. (1956) esittivät terminologian, jolla voidaan korostaa eri kudosten, eritteiden ja eräiden fysiologisten prosessien kvantitatiivisia ilmiöitä Sr:n ja Ca:n välillä.

"Strontium-Calcium Ratio (OR observed ratio) ilmaisee Sr/Ca suhteita esiaineiden ja annetun kohteen välillä. OR:n perusteella voidaan arvioida strontiumin haittavaa vaikutusta ihmiselimistölle ja eläimille. Sr-90:n aktiivisuutta elimistössä voidaan mitata käyttämällä suhdetta Sr-90 mg/Ca g dieetissä, ao. suhteen perusteella voidaan ennustaa luurankoon, maitoon, sikiöön jne. kulkeutuva säteily (Sr-90:stä peräisin oleva) (STARA ym. 1971).

"Strontium-Calcium Discrimination Factor" (DF) kuvaa diskriminaation jota voidaan havaita eri kudosten välillä tapahtuvissa fysiologisissa ilmiöissä Ca:n ja Sr:n välillä.

Kokemuksen perusteella voidaan sanoa, että ainoat fysiologiset prosessit, joissa tapahtuu Sr-Ca diskriminointia, ovat:

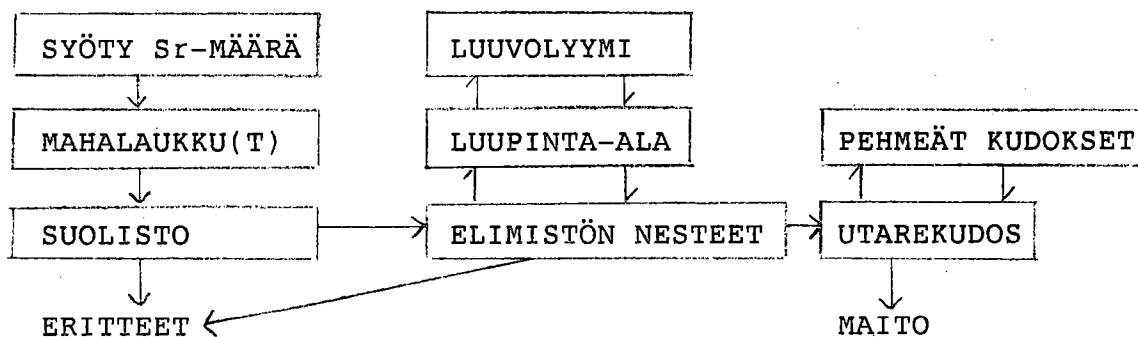
- ruoansulatuskanavasta imeytyminen
- munuaisten kautta erittyminen
- kulkeutuminen istukan lävitse
- maitorauhasen eritystoiminta

Matemattisia kaavoja on rakennettu kullekin ao. vaiheelle Sr:n ja Ca:n käyttäytymisestä.

Taulukko 14. S-85:n ja Ca:n suhteellinen pidättyminen kukkopoikien luuhun (femur) 1-3 kk:n ikävälillä dieetin Ca:n vaihdellessa 0,66-3,31 g/d (MONROE ym. 1961).

Syöty Ca g/d	% annoksesta löydetty reisiluusta		OR luu/dieetti
	Sr-85	Ca-45	
0.66	5.5	9.2	0.61
1.20	5.3	8.8	0.60
2.21	4.2	6.9	0.61

CRICK ja SIMMONDS (1984) ovat antaneet kaavion strontiumin kulkeutumisesta lehmän elimistön eri kompartmenttien välillä:



Eri vaiheille on annettu siirtymiskertoimia Sr:lle kuin myös I-131:lle ja Cs-137:lle.



Kuva 16. Strontiumin ja kalsiumin vaiheet lehmällä (COMAR 1966, s.271).

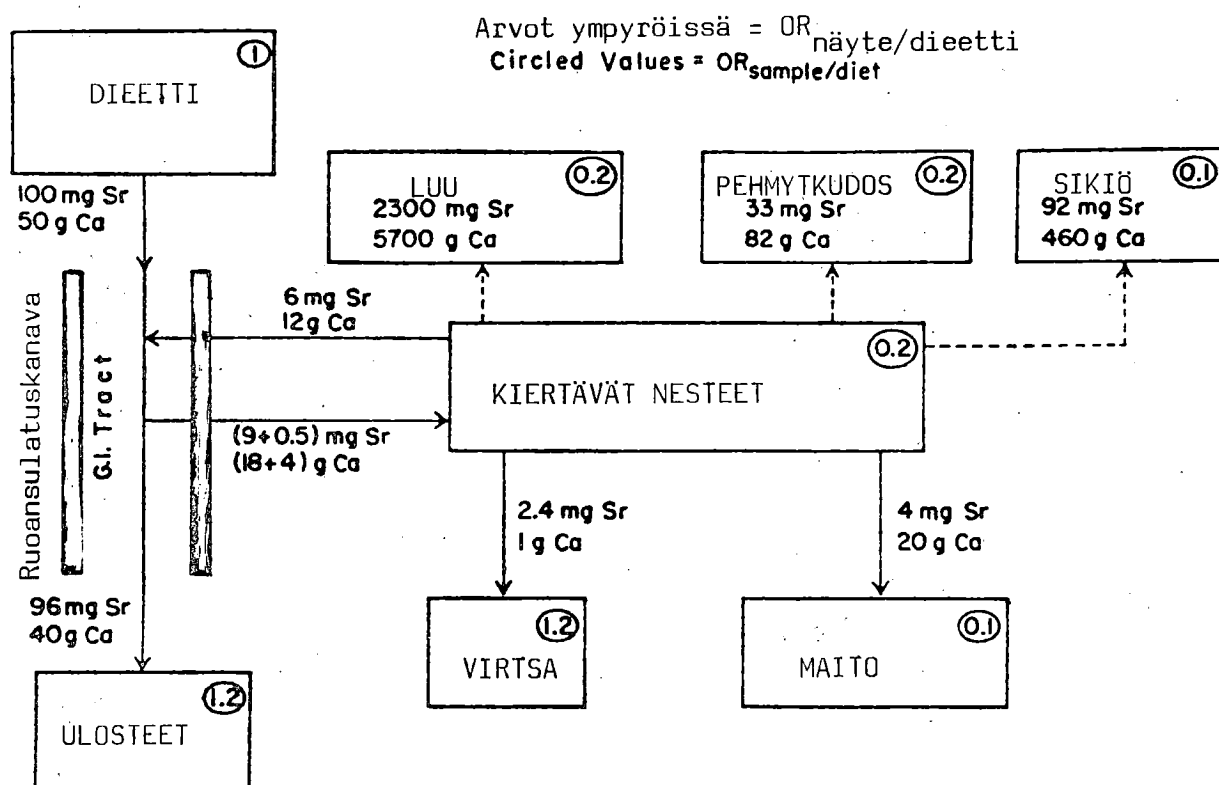


FIG. 12.5. Typical flow and balance for stable strontium (mg) and calcium (g) in the cow.

Values beside arrows represent daily amounts and those within boxes the total amounts in tissues.

Kuvassa 16 on esitetty Sr:n (mg) ja Ca:n (g) kulkeutuminen lehmässä. Nuolien vieressä olevat arvot ovat päivittäisiä annoksia ja ruutujen sisällä olevat arvot ovat kudosten sisältämät kokonaismäärät.

Taulukossa 14 on annettu usean eri tutkimuksen Sr-Ca OR maito/-dieetti lehmälle, vuohelle, sialle ja ihmiselle. Suhteet vaihtelevat 0,8-0,16 eli vaihtelu on 100 %.

Taulukko 14. Strontiumin ja kalsiumin OR maito/dieetti lehmällä, vuohella, sialla ja ihmisellä (COMAR 1966, s.266).

TABLE 12.7. STRONTIUM-CALCIUM OBSERVED RATIOS (MILK/DIET)

Species	Location	No.	Nuclides used	Dosage	Type of study	Samples	OR	References
Cow	Tennessee	3-5	Sr-90, Ca-45	daily (diff. exp.)	metabolism	individual	0-14	Comar and Wasserman (1956)
	Illinois	herd	fallout Sr-90, stable Ca	chronic	field	pooled	0-16	Martell (1956); Libby (1956)
	California	herd	stable Sr, stable Ca	chronic	field	pooled	0-13	Alexander and Nusbaum (1959)
	Tennessee	8	Sr-89, Ca-45	single	metabolism	individual	0-15	Cragle and Demott (1959)
	England	herd	fallout Sr-90, stable Ca	chronic	field	pooled	0-08	Booker (1959)
	England	herd	stable Sr, stable Ca	chronic	field	pooled	0-11	Cox <i>et al.</i> (1960)
	England	herd	fallout Sr-90, stable Ca	chronic	field	pooled	0-09	Cox <i>et al.</i> (1960)
	England	6	Sr-89, Ca-45	single	metabolism	individual	0-11	Garner <i>et al.</i> (1960)
	New York	8	Sr-89, Ca-45	daily	metabolism	individual	0-11	Comar <i>et al.</i> (1961)
	Minnesota	herd	fallout Sr-90, stable Ca	chronic	field	pooled	0-15	Minnesota Dept. of Health (1962)
	New York	10	Sr-85, Ca-47	daily	metabolism	individual	0-08	Comar (unpublished results)
	New York	10	fallout Sr-90, stable Ca	chronic	metabolism	individual	0-08	Comar (unpublished results)
Goat	Tennessee	2	Sr-89, Ca-45	daily	metabolism	individual	0-09	Wasserman <i>et al.</i> (1958)
	New York	8	Sr-89, Ca-45	daily	metabolism	individual	0-12	Comar <i>et al.</i> (1961)
Swine	Washington		Sr-90, stable Ca	daily	metabolism	individual	0-10	McClellan and Bustad (1962)
Man	Massachusetts	4	fallout Sr-90, stable Ca	chronic	metabolism	individual	0-10	Lough <i>et al.</i> (1960)
	Canada	20	fallout Sr-90, stable Ca	chronic	field	pooled	0-15	Jarvis <i>et al.</i> (1963)

SCOTT RUSSELL ja BRUCE (1969) tarkastelevat Sr-90:n joutumista ravintoaineketjuun ihmisellä. Kirjoituksessa pohditaan sitä missä määrin Sr-90 kulkeutuu maaperästä maitoon ja mitkä tekijät vaikuttavat maidon Sr-90-pitoisuuteen. Koska Sr-90 kulkee lehmän dieetistä maitoon 1/10 tasolla Ca:n kulkeutumiseen verrattuna, kun taas kasvit eivät diskriminoi Ca:n ja Sr:n välillä, on maito vähiten kontaminoitunut elintarvike tässä mielessä, edellyttäen että molemmat elementit tulevat ihmisen dieettiin maaperän kumulatiivisesta varastosta. Käytännössä laitumet ovat kuitenkin alttiimpia saastumiselle kuin kasvistarhat. UK:ssa on todettu, että tutkimalla maidon kontaminaatiota voidaan näin saatuja tuloksia käyttää koko dieetin kontaminaation selittäjänä.

Syödyistä Sr:stä erittyy maidon mukana noin 0,2-4,0 % 6 vrk:n aikana. Maksimikonsentraatio ilmenee 20-30 tuntia Sr:n saannista lehmillä ja 24-30 tunnin päästä vuohilla ja maidon mukana erittyy syödyistä Sr:stä 2,5-3,8 % (ÅBERG 1962a).

Eräillä lajeilla maitoon erittyy melko isoja määriä Sr-90, eli näillä OR maito/dieetti oli 0,074-0,160, radiumin vastaava suhde oli pienempi 0,028 siällä. Lampaalla maidon radium oli samaa suuruusluokkaa Sr-90 kanssa 0,20 (OR maito/dieetti). Lehmillä ja vuohilla OR maito/dieetti oli 0,15 ja 0,13 vastaavasti. Vuohilla päivittäisestä radiostrontiumista erittyi maitoon 1,2 % ja lehmillä 0,22 %. OR:n käyttämisessä mittarina on rajoituksia, parempi olisi kaiketi käyttää absoluuttisia konsentraatioita (STARA ym. 1971).

Lehmillä ja vuohilla suoritetuissa tutkimuksissa on todettu, että maidon Sr-89/Ca-45-suhde on suunnilleen 0,12 syödyistä Sr-89/Ca-45-suhteesta syötettäessä eri suuruisia Ca-tasoja (SUMERLING ym. 1984).

Strontiumin siirtymiskerroin ravinnosta maitoon oli erilainen eri vuodenaikoina eli  $F_m (10^{-3} \text{ d}^{-1})$  oli 1,4-3,8.

Taulukko 15. Dieetin kalsiumtasojen vaikutus radioaktiivisesta laskeumasta peräisin olevan Sr-90:n erittymiseen lehmän maitoon (viisi eläintä/ryhmä, joita oli ruokittu taulukon osoittamilla kalsiummäärillä yli 2 vuotta).

Kalsiumin saanti g/d/eläin	Sr-90 saanti pc/d	Sr-90 saanti maidossa
54	5848	8,4
121	5951	4,4

Kuva 16. Dieetin kalsiummäärän nostamisen 2.5 kertaiseksi vaikutus syödyn Sr-85:n erittymiseen maitoon (COMAR 1966, s.269).

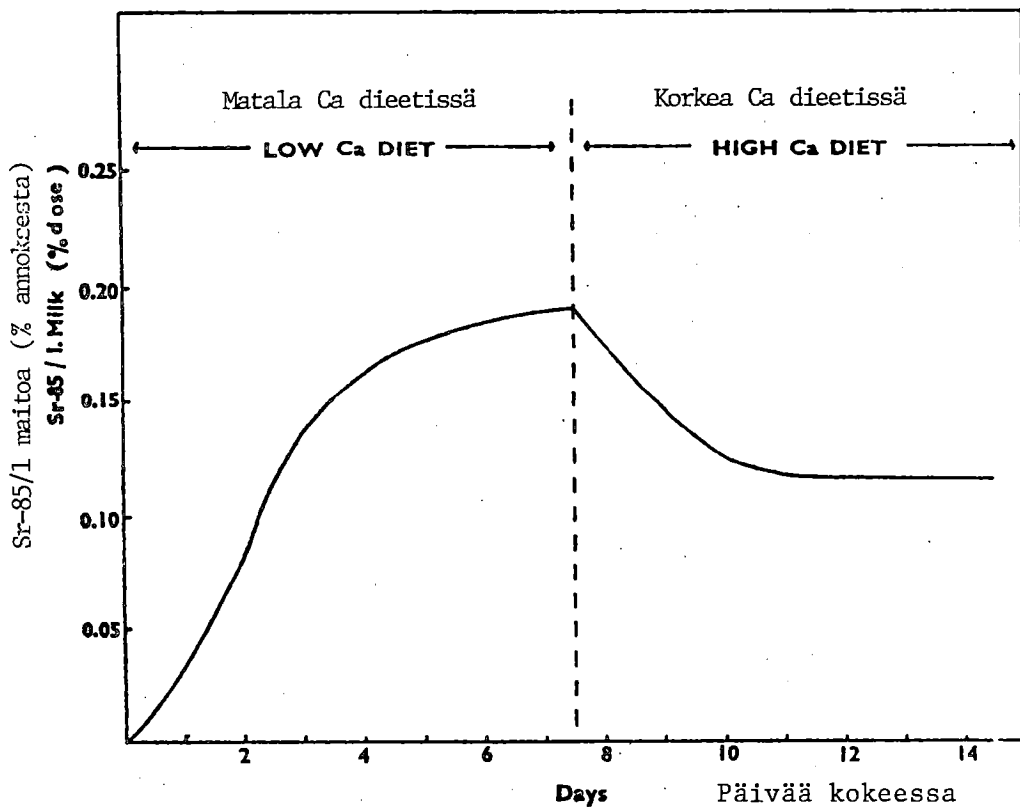
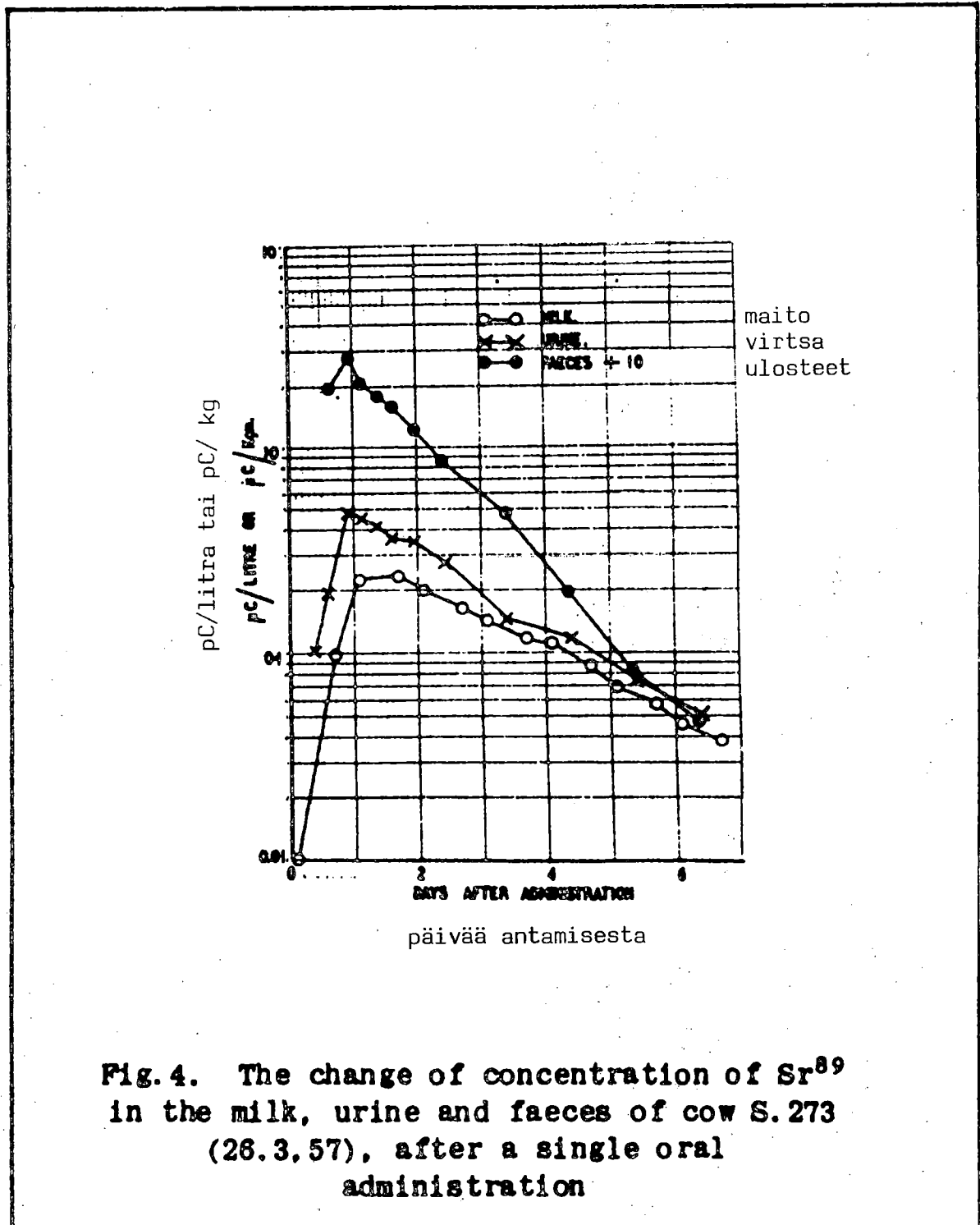
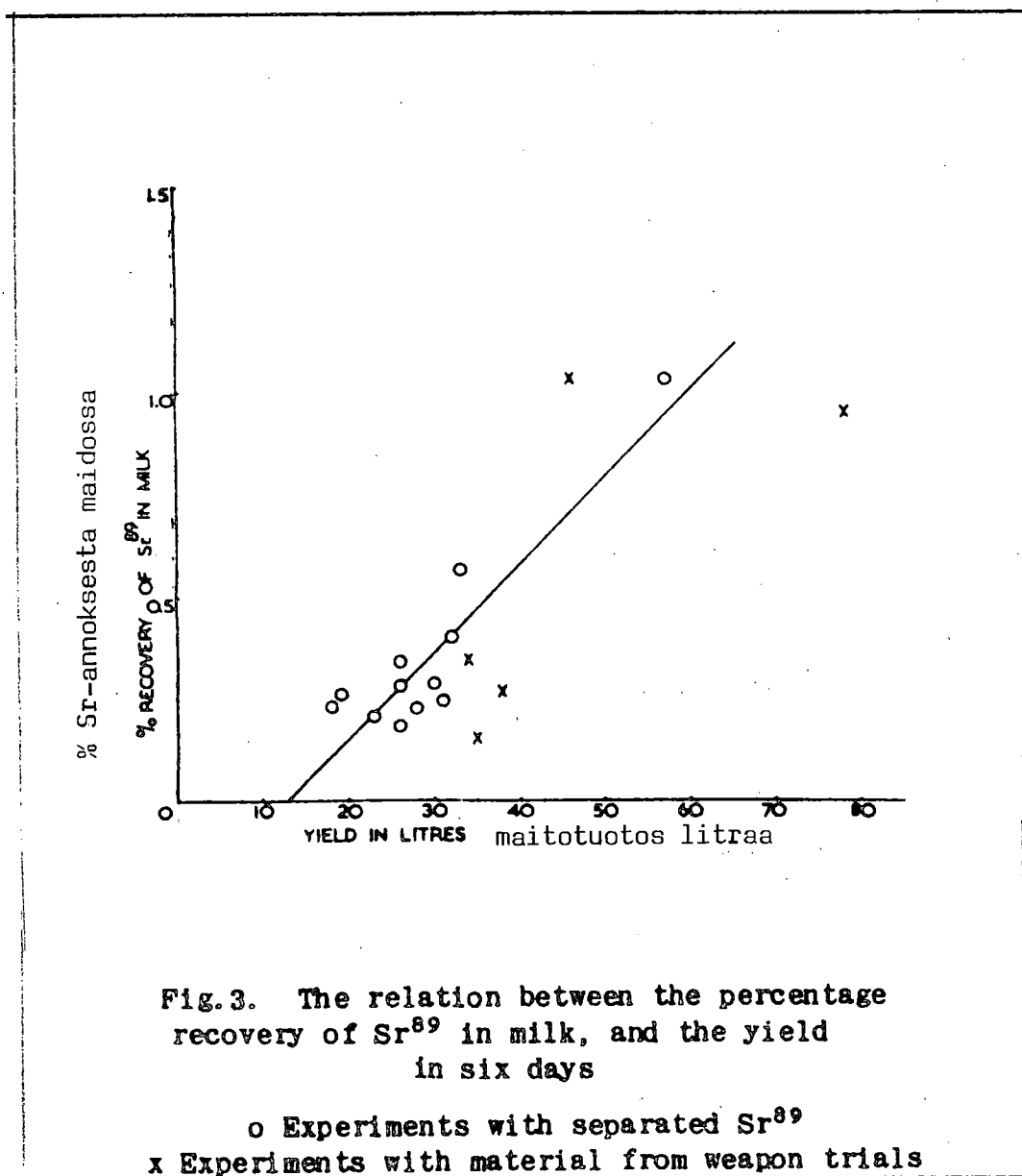


FIG. 12.4. Effect of increasing the daily calcium intake by a factor of 2.5 on secretion of ingested strontium-85 into milk. Animals were on a low calcium diet for a pre-experimental period of 20 days, strontium-85 was then given twice daily for 15 days, the dietary calcium being increased on the eighth day. (Comar *et al.*, 1962).

Kuva 17. Sr-89-pitoisuuden muutokset maidossa, virtsassa ja ulosteissa yhden suun kautta annetun annoksen jälkeen lehmällä (SQUIRE ym. 1957).



Kuva 18. Maidosta löytyneen Sr-89-määrän (% annetusta annoksesta) ja kuuden päivän maitotuotoksen välinen suhde lehmillä (SQUIRE ym. 1957).



Maidon kalsium ja strontium ovat osaksi peräisin dieetistä ja osaksi maitoa tuottavan yksilön luustosta. Yleensä voidaan sanoa, että mitä alhaisempi on dieetin Ca sen enemmän vapautuu Ca luurangosta. COMAR (1966 s. 268) totesi eräässä kokeessaan että 50 % maidon Sr-90 tuli luurangosta. Koe-eläimet olivat ennen tätä koetta saaneet pitkähkön ajanjakson aikana Sr-90 joka oli akkumuloitunut luustoon. Comar laittoi dieettiin Sr-89, jotta hän pystyisi erottamaan luurangosta ja ravinnosta peräisin olevat Sr-määrät. Toisessa kokeessa hän syötti lehmille matala-Ca-dieettiä ja muutti jonkin ajan kuluttua ao. dieetin korkea-Ca-dieetiksi. Korkea Ca-pitoisuus alensi selvästi maidon Sr-85-pitoisuutta (kuva 16, taulukko 15).

SQUIRE ym. (1957) antoivat lehmille yhden Sr-89 annoksen suun kautta. Maksimi Sr-89 arvot tavattiin noin 24-30 h:n päästä maidossa, virtsassa ja ulosteissa (kuva 17). 0.8 % Sr-89 annoksesta löytyi 6 d:n aikana tuotetusta maidosta ja 2.18 % tuona aikana erittyneestä virtsasta, yli 90 % Sr-89:stä erittyi ulosteissa. 6 d:n maitotuotoksen ja maidossa eritetyn Sr-89:n suhteellisen määrän (% annetusta annoksesta) ilmeni merkitsevä ( $P < 0.05$ ) positiivinen vuoro-suhte (kuva 18).

Uzbekistanissa suoritetuissa tutkimuksissa todettiin, että kasvit ottavat harmaasta aavikkomaaperästä 3,7 kertaa enemmän Sr-90 kuin Cs-137:ää. Eläimessä Sr-90 konsentroituu luihin kun taas Cs-137 konsentroituu lihaskudokseen (ZOTOV ym. 1983).

Strontium on kemiallisesti kalsiumin kaltainen. Silti kasvit ja eläimet pystyvät erottelemaan strontiumia. Sr imeytyy ohutsuolesta ja imeytyminen riippuu läsnäolevien kalsiumin ionien, fosfaattien ja D-vit. määrästä. Myös suolen sisällön pH ja karbonaatit vaikuttavat imeytymiseen. Imeytynyt Sr kulkee veren mukana kudoksiin ja varastoituu, asettuu ennenkaikkia luustoon. Tämä varastoituminen on nuorilla suurempaa kuin täysikasvuisilla eläimillä. Jos ravinnon kalsiumpitoisuus pidetään riittävänä, niin Sr:n imeytymistä elimistöön voidaan vähentää. Naudalla Ca:n saanti pitäisi olla 75 g/vrk. Tätä korkeampi Ca määrä ei vähennä Sr:n ottoa tai maidon Sr-pitoisuutta, mutta voi vaikuttaa haitallisesti muiden kivennäisten ja hivenaineiden hyväksikäyttöön. Sr:n luustoon akkumuloitumisen seurauksena esiintyy mm. leukemiaa. Luustossa on aktiivisesti vaihtuva ja myös hyvin hitaasti vaihtuva Ca (Sr) pooli. Kun Sr joutuu jälkimmäiseen sitä ei saa sieltä pois hevin (ÅBERG 1962b).

Alkaalisten maametallien pidättymistä elimistöön kuvataan yleensä exponentiaalisilla funktioilla. Toisinaan käytetään myös 3-5 muutujan yhtälöitä. Maa-alkalien pidättyminen koirilla on kuvattu graafisesti Berylliumia lukuunottamatta maa-alkalit ovat pääasiallisesti sellaisissa luuston osissa, joissa tapahtuu vilkasta luun muodostumista (uudet luupinnat). Ne tavallisesti menevät kalsiumin tilalle systeemiin. Luukudos on ns. kriittinen elin. Berylliumin kohdalla, johtuen sen gammaemissiosta ja heikosta liukoisuudesta, koko eläin on kriittinen elin (STARA ym. 1971).

Kirjallisuuskatsauksessa käsiteltiin Sr, Ra, Te, Co ja Fe kulkeutumista rehusta lihaan kotieläimillä (julkaisut vv. 1950-80). Nuorilla eläimillä sirtymiskerroin on suurempi kuin täysikasvuisilla. Kasvun jälkeen siirtymiskerroin ei enää riipu iästä. Keskimääräiseksi siirtymiskertoimiksi liha/rehu suhde päivässä/kg jatkuvassa isotoopin saanti ja eritystasapainotilassa:

Sr nauta  $6 \times 10^{-4}$ , vasikka  $2 \times 10^{-3}$ , lammas  $1 \times 10^{-3}$ , vuohi  $3,3 \times 10^{-4}$ , kana  $1,8 \times 10^{-2}$

Ra nauta  $6 \times 10^{-4}$ , sika  $2,6 \times 10^{-4}$ , caribou  $2,3 \times 10^{-3}$ .

Kertoimet on saatu vuosien varrella suoritetuista aineenvaihduntakokeista (FLIEGL ym. 1981).



Tiineillä eläimillä Sr kulkeutuu istukan lävitse sikiöön, jossa se suurimmaksi osaksi varastoituu luustoon (STARA ym. 1971).

Radiumin ja strontiumin siirtymistä emosta sikiöön on myös tutkittu. Useimmilla lajeilla OR. sikiö/dieetti oli 0,08-0,17 (Sr-90). Sialle saatiin strontiumille 0,03. Sialla saatiin radiumille OR fetus/dieetti 0,018 vaikka sikiön ja emän luuston radiumpitoisuudet olivat yhtäläiset.

Sr-90 eliminoidaan nopeammin nuorien kuin vanhojen ihmisten elimistöstä. Leukemian esiintymisessä Sr-90 annos luuytimeen on tärkeämpi kuin annos itse luuhun. Tutkijat toteavat että Sr-90 on kiinnitetty huomiota melkein kaikissa laskeumatutkimuksissa 1950-1969-luvuilla mutta Cs-137 sensijaan on saanut osakseen vähemmän huomiota. Yksi syy tähän on ollut se tosiasia, että Cs-137 erittyy nopeammin pois elimistöstä kuin Sr-90 ja näin ihminen altistuu lyhyemmän ajanjakson Cs:lle verrattuna Sr:iin (SCOTT RUSSELL ja BRUCE 1969).

Kuitenkin MIETTISEN (1987) mukaan ihminen sietää radioaktiivista Sr:a 10 kertaa paremmin kuin radioaktiivista Cs:a.

U/F suhde (virtsa/uloste) vaihtelee kalsiumilla 0,03-0,9, strontiumilla 0,03-2,0 ja radiumilla 0,1-0,6 yksimahaisilla eläimillä. Märehtijöillä U/F suhde on yleensä alhaisempi kalsiumilla 0,003-0,01 ja strontiumilla 0,005-0,04. Pääosa syödyistä Ca:sta, Ra:sta ja Sr:sta poistuu ulosteiden mukana.

Maa-alkalien radioisotooppimuunnosten imeytymistä on yritetty ehkäistä antamalla kalsiumia, fosforia, strontiumia, sulfaatteja, jne. ravinnossa ylimäärin, tai lisäämällä jotain muuta maa-alkalia sitovaa ainetta rehuun. Myös suonensisäisesti annettua kalsium-EDTA:ta, Na-CaEDTA:ta, Ca-glukonaattia, zirkonium-sitraattia, tai muita kelaatteja, jotka tehostivat radioisotooppien koncentraation pienentymistä elimistössä on kokeiltu. Mitkään lueteluista aineista eivät vaikuttaneet radiumiin.

Alginaattien lisääminen dieettiin on osoittautunut lupaavaksi menetelmäksi elimistön rasiuksen alentamisessa. Na- ja Ca-alginaatit ehkäisevät tehokkaasti Sr:n imeytymistä ruoansulatuskanavasta kissoilla ja rotilla. Emälle syötetty alginaattidieetti laskee tehokkaasti sikiön elimistön strontium rasiusta (STARA ym. 1971).

STOUTJESDIJK (1966) pystyi poistamaan maidosta 60 % lisätystä Sr-90:stä, mutta maidossa ilmeni makuongelmia. Käsiteltyä maitoa voidaan käyttää elintarviketeollisuuden ja rehuseosten raaka-aineena. USA:ssa kehitetyllä menetelmällä ("fixed bed" ioninvaihto) kyettiin poistamaan 91 % maidon radiostrontiumista ja 85 % Ba-140:stä (WALTER 1966). Maidon "puhdistamisessa" tulee kysymykseen lähinnä kaikenlaisen Sr:n poistaminen mikäli aiotaan päästä eroon radioaktiivisesta Sr:stä. Ioninvaihtajien ohella voidaan maitoa käsitellä myös mm. Ca-fosfaatilla (saostus) ja elektrodiolyysillä (erottelu) (GLASCOCK ja BRYANT 1966).

Sr-90 sisäänhengitysilmassa aiheuttaa koirilla monenlaisia sairausoireita (SNIPES ym. 1983).

Beagle koirille annettiin hengitysilman mukana Sr-90. Iso annos aiheutti keuhkotulehdusta ja keuhkoputkien arpeutumista, matalan annoksen pitkäaikaisvaikutuksen seurauksena ilmeni mm. keuhkosityöpää (SNIPES ym. 1984).

UV-säteillä voidaan lisätä vastustuskykyä Sr-89:n haittavaikutuksia vastaan (STEFANOV ym. 1985).

## 2.5. Ruthenium

Transitio metallit ovat heterogeeninen ryhmä, joka on jakautunut kolmeen triadiin, yhdellä on magneettisia ominaisuuksia (Fe, Co, Ni); Fe ja Co ovat välttämättömiä elimistön toiminnalle. Ruthenium-106 toisesta triadista vastaa noin 2-3 % ydinsaasteista 1-4 vuoden aikana saastepäästöstä. Sitä löytyy reaktorilauhdevedestä ja päästökaasuista joihin on karannut radioaktiivisuutta ydinsauvoista. Yleensä nitraatit ja halogeenijohdannaiset ovat tämän sarjan aineiden liukoisimma yhdisteet. Transitio metallien imeytymisen riippuu pääasiallisesti isotoopin liukoisuudesta. Kaikki transitio metallit voivat muodostaa komplekseja, jotka ovat erityisen liukoisia ja jotka imeytyvät helpommin kuin näiden elementtien yksinkertaisemmat yhdisteet. Ru-106-kloridista esim. imeytyy ruoansulatuskanavasta pikkueläimillä (rotta, marsu, kissa, kani) alle 6 %. Eräistä komplekseista saattaa imeytyä aina 13 %:iin saakka vastaavasti.

Tietoja Ru:n erittymisestä maitoon tai kulkeutumisesta istukan lävitse sikiöön on niukasti. Rutheniumin nitrosyl kompleksit pidättyvät parhaiten elimistöön; pitkäaikainen  $T_{1/2}$  on 220 d rotilla, 250-260 d hiirellä, 300 d koiralla annettaessa muulla avoin kuin ruoansulatuskanavaan (parenteral = ruoansulatuskanavan ulkopuolinen) Ru-106. Suun kautta annettuna hiirellä  $T_{1/2}$  on 49 d ja kissalla ja koiralla 13-20 d.

Imeytynyt Ru eritetään pois elimistöstä pääasiallisesti virtsan mukana. 24 h:n päästä suunkautta saadusta Ru-106:sta U/F suhde oli 0,02-0,3 rotalla, kissalla, kanilla ja marsulla. 12. päivän jälkeen U/F suhde tuli korkeammaksi, 1,0-2,5 muilla paitsi marsulla. Parenteraalisen annostuksen jälkeen U/F suhde oli korkeampi (1,5-17,8) mutta laski 12. päivään mennessä 1,0-2,5 tienoille.

Muutammat tutkijat ovat yrittäneet alentaa Ru-106:n imeytymistä käyttämällä kelaatteja kuten tripolyfosfaattia, Graham suolaa, di-

natrium-ethylendiamine-tetra-etikkahappoa, 2:3-dimerkapto-propan-1-olia, dietyyli-triamiini-pentahappoa, trietyyli-enetetramiini-heksa-etikkahappoa, ja 1:2 bis-2-di (karboksimetyl)amino-etyylitio-etaania. Mikään luetelluista aineista ei osoitautunut hyväksi (STARA ym. 1971).

Radioaktiivisen ruteniumin imeytymistä keuhkokudokseen on tutkittu sekä ihmisillä että kotieläimillä (JONES ym. 1983).

## 2.6. Sinkki

Transitio metallien ryhmään kuuluvat Zn, cadmium (Cd), elohopea (Hg). Zn esiintyy aina kaksiarvoisena, Cd ja Hg yleensä kaksiarvoisena ja harvemmin yksiarvoisena. Liukoisuus on samanlainen kuin yleensä sinkkisuolojen, jotka ovat tavallisesti hyvin liukoisia. Kaikki kolme elementtiä muodostaa helposti komplekseja, Cd ja Hg muodostavat pysyviä komplekseja maksassa ja munuaisissa. Zn on välttämätön elementti insuliinin ja eräiden entsyymien aineosana.

Zn-65 joutuu ydinasekokeitten saasteiden seurauksena ravintoketjuun merivedestä, pohjaveden saastumisen kautta ja ydinreaktoreiden lauhdeveden mukana. Esim. Hanfordin ydinreaktorin päästöjen sekoittuessa meriveteen, merikasveissa ja eläimissä todettiin aina 90 pCi/g Zn-65. Zn-65:llä saastuneella vedellä keinokastelluissa laitumissa pitoisuus nousi 440 kertaiseksi, maidossa 27 kertaiseksi, samoin naudan pihvissä verrattuna kasteluveden Zn-65 pitoisuuteen.

Suun kautta annetusta Zn-65 annoksesta imeytyi 10-80 % eri imettäviäislajeilla. Ihmisellä Zn ja Hg imeytyvät noin 80 %:sti, Cd imeytyy 300 kertaa heikommin. Pääasiallinen Zn-65:n poistumistie on ulosteet: U/F suhde vaihtelee 0,04-0,2 suonensisäisen injektion jälkeen ja 0,01-1 annettaessa suunkautta Zn-65. Tiedot Zn-65:n erittymisestä maitoon tai kulkeutumisesta sikiöön ovat puutteelliset. Ilmeisesti Zn-65 läpäisee helposti istukan. Emään pidättyneestä Zn-65:stä erittyy 50 % maitoon 4 ensimmäisen päivän aikana.

Pitempiaikaisesti pidättyvän sinkin uskotaan olevan sitoutuneena kasvavan luun matriksiin tai kiteiseen verkostoon. Rotilla Zn-65:n pidättyminen tapahtuu kolmikomponenttisena exponentiaalisena funktiona. Ihmisillä ja koirilla se tapahtuu kaksikomponenttisena funktiona. Pitempiaikaisen komponentin puoliintumisaika on 322-435 d ihmisellä ja 210-717 d rotalla. Zn varastoituu maksaan>pernaan>lihakseen>luuhun. Kriittinen elin on kuitenkin kokoruumis ja toiseksi kriittinen elin maksa.

Antamalla Ca-EDTA saatiin elimistön Zn-65 alennettua 10-20 kertaisesti. Ca-DTPA antoi samanlaisen reaktion. Zn-65:n imeytymistä lisättiin antamalla vaikealiukoista Ca, Zn ja Cd ja runsailla valkuaistasoilla ravinnossa (STARA ym. 1971).

## 2.7. Polonium ja lyijy

Po-210:n ja Pb-210:n välisiä suhteita säteilyharmien tuottamisessa ihmisille ei ole vielä sanottavasti tutkittu. Pb-210 on heikko beeta-säteilijä joka akkumuloituu luurankoon ja joka on tärkeämpi kuin Po-210 joka on alfasäteilijä ja joka on pääasiallinen välituote Pb-210:n hajoamisketjussa. Kumpaakin esiintyy hyvin pieninä määrinä ydinkoesaasteessa, elementeillä on merkitsevä rooli ihmiselle taustasäteilyssä.

Pääasiallinen ihmisen altistuminen tapahtuu ruoan mukana. Kaivos-työntekijöillä uraanin pääasiallinen sisääntulotie on kuitenkin hengityksen välityksellä tapahtuva. Lehtirikkaat vihannekset sisältävät runsaasti Po-210, samoin vihreät laitumet. ALASKASSA suurimmat Po-konsentraatiot löydettiin lihaksesta. Lihan syönti sai Eskimoiden Po-210 pitoisuuden korkeaksi. Nauttimisen jälkeen ruoansulatuskanavasta imeytyy 3-5 % Po-210 ja aina 18 % Pb-210. Imeytynyt määrä saattaa johtua siitä kemiallisesta yhdisteestä missä muodossa Po esiintyy ympäristössä. Neutraalista liuoksesta imeytyi enemmän Po-210 kuin sitraattina annetusta.

Pääosa kummastakin nuklidista erittyy ulosteiden mukana. U/F suhteet olivat rotilla 0,03-1,0 Po-210 ja 0,2-1,0 Pb-210 suun kautta annettuna. Imettäväsillä Pb:n U/F suhde oli arviolta 0,01-0,3, jänikset olivat poikkeus, niillä suhde oli lähellä 1,0. Pidätysmalli Po-210:llä oli kaksivaiheinen 1) pika-faasi, jossa  $T_{1/2}$  oli 30 d ja 2) hidas faasi, jossa  $T_{1/2}$  oli 60-100 d. Tulokset eri kokeissa ovat kuitenkin vaihdelleet aika tavalla.

Pb-210:n pidättymisestä on hyvin vähän tietoa. Ns. pitkäaikainen komponentti oli 70 d rotilla ja 330 d koirilla. Ihmisellä luusta saatujen tietojen mukaan vaihtelu oli 800-1600 d. Arktisella cariboulla ja porolla, jotka edustavat Eskimoiden pääasiallista ravintoa, oli elimissään runsaita Pb-210-määriä, 2-10 pCi/g luuta, lihassa oli Po-210 35-500 pCi/kg (STARA ym. 1971).

STANNARD & CASARETT (1964) uskovat että Po-210 ja Pb-210 ovat samanveroisia rottien ja hiirien elämänkaaren lyhentämisessä ja 5 kertaa tehokkaampia kuin Ra-226. Koska ihmisessä Pb-210 konsentraatio on paljon pienempi kuin Po-210, niin vm. saattaa olla haitallisina radionuklidi ihmisen elinympäristössä.

## 2.8. Plutonium

Lantanidit ja aktiniidit muodostavat kaksi sukulaisryhmää, joiden jäsenillä on samanlaisia ominaisuuksia. Halogeenisuolat, nitraatit ja sitraatit ovat liukoisimmat. Aktinideilla on useita eri valenssimahdollisuuksia ja ne pyrkivät muodostamaan komplekseja. Aktiniidit plutonium, uranium, neptunium ja americium sekä cerium (väestön terveyden kannalta tärkein lantanidi) vapautuvat ympäristöön ydinsekoiteiden seurauksena sekä ydinreaktorijätteen uudelleenkäsittelylaitoksista. Useimmiten ihminen saa kontaminaation hengitettynään saastunutta pölyä tai sellaisista aktinidi elementeistä, jotka joutuvat elimistöön haavojen kautta, mutta ei useinkaan ravinnon nauttimisen kautta.

Pu-239 liuksesta imeytyi ruoansulatuskanavasta vai 0,001-0,004 %. Pu-239 (NO<sub>3</sub>)<sub>4</sub> imeytyi yhdessä kokeessa 0,002-0,003 %, toisessa kokeessa 0,01-0,30 %, kolmannessa kokeessa enintään 0,009 %. Matalasta annoksesta imeytyi 0,30 % ja korkeasta 0,01 % (STARA ym. 1971).

Rotilla Pu-239 imeytyminen alenee iän mukana (1. d iässä 0,25 %, aikuisena 0,003 %). Suun kautta sioille annetusta Pu-239  $(\text{NO}_3)_4$ :stä imeytyi 0,002 %. Hengitetyistä P-239  $\text{O}_2$ :sta imeytyi koirilla 0,1-16,9 % (keskim. 3,7 %).

U/F suhde Pu-239:n antamisen jälkeen oli 22. d:nä 0,4 ja 1000. d:nä 1,0 koirilla. Ihmisellä U/F suhde oli 1. d:nä 0,6; 10. d:nä 0,8; 25.-30. d:nä 1,0; ja 1000. d:nä 5,0.

Pu-239:n erilaisten kemiallisten yhdisteiden aineenvaihduntaa tutkittiin antamalla Pu suonensisäisesti rotille.

Yhdiste	U/F suhde	
	1 d.	30 d.
Pu-239 $\text{Cl}_3$	0,1	0,07
Pu-239 $(\text{NO}_3)_4$	0,14	0,06
Pu-239 4-sitraatti	0,33	0,06

Tulosten mukaan Pu-239 erittyy pois elimistöstä pääasiallisesti ulosteiden mukana.

Istukan lävitse kulkeutuva Pu-239 on rotilla ja hiirillä kääntäen verrannollinen annetun Pu:n määrään ja annoksesta voi mennä istukasta lävitse 3-8 %. Pu-239 on löydetty rottien, hiirien ja kissojen maidosta. Naudalla  $10^{-6}$  % annetusta Pu annoksesta löytyi litraa kohden maidosta. Koirilla Pu:n pidättyminen noudattaa eksponentiaalista funktiota  $0,90-0,0043 T^{0,52}$ . Ihmisellä Pu:n pidättyminen eksponentiaalisena funktiona oli  $0,99 T^{-0,01}$  ja  $1,0 T^{-0,01}$ .

Pu-239:n liukoinen osa diffundoituu helposti ja kulkeutuu yleiseen verenkiertoon niin suun kautta annettuna kuin sisäänhengitettynäkin. Veressä Pu-239 sitoutuu beetaglobuliiniin tai beetaliproteinikompleksiin, vain noin 15 % on ultrafilitroitavassa muodossa näin alentaen Pu-määrän erittymistä virtsaan ja lisäten pitkäaikaisesti varastoituvan nuklidin määrää elimistössä.

Pu-239:n elimet ovat luu ja maksa. 65-79 % pidättyneestä Pu:sta löytyy luustosta ja 30 % maksasta. Jakautuminen riippuu antamistiestä, sekä siitä ajasta mikä on kulunut antamisesta. Valenssi ja kemiallinen muoto vaikuttavat jonkinverran asiaan. Luussa Pu-239 on assosioituneena mukoproteiinin, joka lepää luupinnassa ei-aktiivisten osteoplastien kanssa. Koska luurangon Pu-pitoisuus lisääntyy muutaman päivän ajan Pu:n antamisesta, oletetaan, että vereen sitoutunut Pu-239 sidotaan luuhun retikuloendotelialisen systeemin välityksellä.

Tutkimuksissa on tarkasteltu useiden kelaatti-agenttien tehoa Pu-239:n poistamisessa elimistöstä. SMITH (1959) testasi 10 erilaista amino-etikkahappo tyyppistä kelaattia vatsaonteloon (intra-peritoneal) annettuna annostustasolla 1,5 mM/kg saman ekvivalenttisen Ca-glukonaattiannoksen kanssa ja antoi kelaatit 1 t Pu-239:n antamisen jälkeen. Tehokkain aine oli dietylen-triamino-penta-etikkahappo (DTPA), se poisti maksaan ja luustoon varastoituneen Pu:n määrästä noin 99 %. Seuraavaksi tehokkain kelaatti oli diaminodietyleetteri-tetra-etikkahappo (DDETA), poisti 85 % vastaavasti. Vielä silloinkin kun DTPA Ca-glukonaattia plus 25 000 IU A-vitamiinia annettiin 39 päivää Pu-239:n antamisesta alentui luuston Pu 25 % ja maksan Pu 80 %. Zirconium sitraatti, tietyt fosforiyhdisteet erityisesti heksametafosfaatti (HMP), alensi pidättyneen Pu:n määrää 50-70 % mikäli HMP annettiin heti Pu-239:n antamisen jälkeen. Kaikilla em. käsittelyillä on tiettyjä varjopuolia. DTPA ja sen analogit lisäävät munuaisten Pu-239 konsentraatiota. Desferrioksiamiini (DFOA) on likimain yhtä tehokas kuin DTPA jos em. annetaan muutaman tunnin sisällä Pu-239:n annosta ja tällöin ei havaittu merkittävää Pu-239:n konsentroitumista munuaisiin (STARA ym. 1971).

Ulostuslääkkeillä ja DTPA:lla saadaan lisättyä Pu-239:n erittymistä elimistöstä virtsan mukana. Tutkijat arvelevat, että haitalliset isotootit saadaan poistettua helpommin, jos saastuneet yksilöt käsitellään viipymättä (DZIUK ym. 1985).

## 2.9. Radioisotoopit eläimissä - yhteenveto

Taulukossa 16 on esitetty yhteenveto tiettyjen radioisotooppien imeytymisestä ruoansulatuskanavasta, niiden erittymisestä jota ilmaistaan virtsa/uloste suhteella sekä biologisesta T 1/2:sta, jota on ilmaistu usealla eri tavalla riippuen isotoopista (STARA ym. 1971).



Taulukko 16. Eri radioisotooppien imeytymis-% ruoansulatuskanavasta, virtsa/uloste erittymissuhde, biologinen T 1/2 eri eläimillä (STARA ym. 1971).

Isotope	Species	G.I. Absorption (%)			Excretion (U/F)	T <sub>1/2</sub> (days)*	Reference	
<sup>137</sup> Cs	Mouse	~100%†				6.6	(1)	
	Rat					13.5	(1)	
	G. Pig					17.5	(3)	
	Swine					18.0	(4)	
	Man	~60-80%				110.0	(1)	
	Sheep					17.0	(60)	
	Goat					31.0	(18)	
	Cattle					30.0	(192)	
<sup>90</sup> Sr	Mouse	—			0.33‡	(25, 59)		
	Rat					15.0	(29, 50, 62, 191)	
	Rabbit					—	(25)	
	Monkey					16.0	(24)	
	Cat					26.0	(70)	
	Dog					11.0	(23, 64)	
	Man					36.0	(28, 30, 32)	
<sup>226</sup> Ra	Rat	3.2		0.14-0.63	—	(61, 191)		
	Dog	2.0		0.03 (I.V.)	0.20	(23, 59)		
	Pig	—		0.02	0.54	(40)		
	Man	20.0-30.0		0.01	0.52	(32, 61)		
<sup>65</sup> Zn	Mouse	11.8		—	—	(78)		
	Rat	—		—	29.0 (I.V.)	(76)		
		33.5		—	326.0 (oral)	(77)		
	Sheep	15.0		0.01	—	(79)		
	Man	45.0		0.01-0.10	322.0 (I.V.)	(32, 75)		
<sup>239</sup> Pu	Rat (oral)	0.002-0.3		0.01-3.3	—	(93, 96)		
	Dog (I.V.)	—		0.7	0.04‡	(69)		
	Pig (oral)	0.0022		0.15-0.3	—	(96, 108)		
	Man (I.V.)	0.003		0.65	0.01-0.06	(99)		
<sup>210</sup> Po	Rat	—		0.08.(0.5)	30.0	(119)		
	Rabbit	—		1.1	20.0	(124)		
	Dog	3.0-5.0		0.12	37.0	(126)		
	Man	—		0.10	31.0	(127)		
<sup>210</sup> Pb	Rat	18.0		0.02	70.0	(120)		
	Dog (INHL)	—		0.17	330.0	(123)		
	Dog (INHL-MINE)	—		0.11	330.0	(123)		
	Man	—		—	700-1680§	(130, 131)		
<sup>131</sup> I	Mouse	<100.0†			1.4-3.0	Thyroid iodine	(194)	
						16.0	(194)	
	Rat					4.0	(193)	
	Dog					22.0	(196)	
	Pig					17.5	(195)	
	Monkey					30.0	(199)	
	Man					64.0	(197, 198)	
						94.0	(201)	
Sheep	92.0	(198)						
Cattle	14.0	(199)						
	16.0	(200)						
<sup>106</sup> Ru	Rat	Chloride	2.8	—	—	0.04	16.0-20.0	(149)
		Dioxide	1.9	0.98	4.0-13.0	0.02	—	(169)
		Nitrosyl compound	5.3	—	—	0.03	—	(150)
		G. Pig	2.7	3.2	13.0	0.03-0.30	49.0	(169)
		Rabbit	5.7	2.5	11.0-13.0	0.04-0.15	70.0	(153)
Cat								

\* Long-term retention from available data.

† Unless influenced by diet.

‡ Values for <sup>90</sup>Sr, <sup>226</sup>Ra, <sup>239</sup>Pu represent slope of power functions.

§ Estimated from bone values.

Kaikki edellä keskustelun kohteena olleet radionuklidit voivat olla väestölle haitallisia. I-131 kohdistaa vaikutuksensa kilpirauhaseseen, on jopa raportoitu I-131:n tuhonneen täydellisesti kilpirauhaskudoksen. Muutokset tapahtuvat nopeammin jyrsijöissä kuin koirissa ja ihmisissä. Kilpirauhasen neoplasia (=uudiskasvu tuhoutumisen jälkeen) riippuu ilmeisesti kohteen iästä. Kromatidi epänormaalisuuksia, kromosomin murtumista ja morfologisia epänormaalisuuksia on todettu leukosyyteissä. I-131 lisää sikiökuolleisuutta vastasyntyneillä lampailla ja hiirillä on havaittu hypotyroidismia kun emä oli saanut I-131 raskauden aikana. Maa-alkalimetallit ja plutonium varastoituvat pääasiallisesti luurankoon ja näiden aineiden vaikutukset kohdistuvatkin luukudokseen ja verta muodostaviin kudoksiin (luuydin). Kolloidaalisen plutoniumin sitoutuminen retikuloendoteeliseen systeemiin aiheuttaa biologisia vaikutuksia maksassa, pernassa ja imurauhasissa. V. 1925 raportoitiin radiumin johtavan osteoporoosiin, osteomalakiaan, osteosarkomaan, luun rappeutumiseen (necrosis=kuolio), anemiaan, luumarron hyperplasiaan, pernan, imurauhasen, maksan ja kateenkorvan atrofiaan, leukopeniaan (valkosolukato) ym. muutoksiin sekä ihmisillä että koe-eläimillä.

Maa-alkali elementtien vaikutuksia on tutkittu erikoisesti Argonnen National Laboratoriossa (Univ. Utah, USA ja Univ. California) USA:ssa. Sr-90 aiheuttaa osteosarcomaa 1,5 a yhden Sr-90 injektion jälkeen kissoilla. Koirilla vaikutus ilmenee 2-5 a päästä. Ra-226, Ca-45, Ra-228, Pu-239 ja Sr-89 aiheuttavat samanlaisia vaurioita. Kaikki aiheuttavat osteoporoosia, osteomalakiaa, nekroosia ja luuarkkitehtuurin tuhoutumista. Myös hemangiomaa, fibromaa, epiteeliomaa ja patologisia murtumia on havaittu. Munuaistulehdusta on todettu sioilla, koirilla ja rotilla Ra-226:lle altistumisen jälkeen. Maksassa, pernassa ja imusolmukkeissa on todettu degeneroituneita kyhmyjä, myeloidista metaplasiaa jne. Rotilla ja ihmisillä on havaittu vain muutaman kerran myeloidista leukemiaa radium ja plutonium altistumisten seurauksena.

Suun kautta annetun jatkuvan Sr-90-annostuksen seurauksena sioilla ja koirilla on havaittu äskettäin ydinsyntyistä leukemiaa, lymf-hosarkomaa ja verkkomaisten sidekudos solujen sarkomaa eli syöpää. Miniatyyri sioilla oireet ilmestyivät säteilyannostustasolla 2000-10 000 rad, kuitenkin neljällä sialla oireet kehittyivät jo niinkin alhaisella tasolla kuin 10-10 000 rad. Koe-eläinpopulaation sioista 7,5 % sai kasvaimia, myeloproliferatiivisen tilan suhteen lymfoproliferatiiviseen tilaan ollessa 2:1. Taulukossa on esitetty yhteenveto tiettyjen radionuklidien imeytymisestä, erittymisestä ja puoliintumisajasta (STARA ym. 1971).

## 2.10. Suomessa käytetyt siirtokertoimet

Ravintoketjun eri vaiheiden välillä siirtyviä radionuklidien aktiivisuusosuuksia sanotaan siirtokertoimiksi. Kerroin ilmoitetaan useimmiten aktiivisuuspitoisuuksien suhteena, ja myös käytetyt pitoisuuden yksiköt annetaan. Koska saman alkuaineen isotoopit ovat kemiallisesti samanlaisia, siirtokerroin on alkuainekohtainen. Kerroin on nuklidikohtainen vain silloin, jos se ottaa huomioon myös radioaktiivisen hajoamisen. Jos ympäristöolosuhteet vaikuttavat radionuklidin kulkeutumiseen, siirtokerrointa on sovellettava tietoisena niistä olosuhteista, joissa se on määritetty.

Esimerkiksi eräät laskeuman radioaktiiviset aineet siirtyvät lehmän rehusta maitoon keskimäärin seuraavien kertoimien mukaan, jotka ilmoittavat lehmän päivittäin saamasta aktiivisuudesta maitolitraan siirtyvän osuuden prosentteina (RANTAVAARA 1984):

jodin isotoopit, tärkein niistä I-131	0,5-1 %/l
cesiumin isotoopit, Cs-137	1,2 %/l
bariumin isotoopit, Ba-140	0,04 %/l
strontiumin isotoopit, Sr-90, Sr-89	0,08 %/l

Annosarvioissa tarvitaan usein suurehkojen alueiden keskimääräisiä siirtokertoimia. Yksittäisiä kulkeutumisen välivaiheita ohittaen voidaan ilmoittaa siirtokertoimia esimerkiksi laskeumasta johonkin elintarvikkeeseen tai kokonaisruokavalioon. Ydinkoekauden ympäristömittausten perusteella on Suomessa saatu seuraavia pitkäikäisten radionuklidien siirtokertoimia laskeumasta maataloustuotteisiin. Kerroin ilmoittaa yhteenlasketut aktiivisuuspitoisuudet kaikkina vuosina yksikön suuruisen laskeuman saapumisesta lähtien:

		Bq/kg
		Bq/m <sup>2</sup>
Sr-90	{ vehnä	0,086
	{ ruis	0,064
	{ maito	0,007
Cs-137	maito	0,012...0,033

Suuntaa-antavina voidaan valikoiden käyttää myös muissa Pohjoismaissa saatuja siirtokertoimia:

		Bq/kg
		Bq/m <sup>2</sup>
	vehnä ja ruis	0,3...0,5
Cs-137	naudan- ja sianliha	0,02

Esimerkit ovat suurten tuotantoalueiden keskiarvoja (RANTAVAARA 1984).

## 2.11. Säteilyvauriot ja riskirajat

JONES (1984) luo katsauksen aluksi ydinlatauksiin ja niiden vapauttamaan energiaan, säteilyyn jne. ja selvittää sen jälkeen säteilyn aiheuttamia vaurioita kotieläimillä.

Ydinräjäytys aiheuttaa heti välittömiä vahinkoja elimistölle ilmanpaineen, kuumuuden ja säteilyn ansiosta. Vahinkojen suuruus riippuu räjähdysvoimakkuudesta ja etäisyydestä räjähdyspisteeseen (Taulukko 17). Seuraavassa vaiheessa ulkoinen säteily voi vahingoittaa elimistöä, jos säteilyn määrä on suuri ilmenee säteilyvaurioita ihoon ja elimistön sisäosiin. Kolmannessa vaiheessa säteilyä voidaan saada elimistöön hengitysilmosta ja saastuneesta ruoasta ja vedestä.

Fissiolatauksen ja neutronipommin vaikutuksissa on tiettyjä eroja (Taulukko 18).

Taulukko 17. Kuolettavia vammoja suojaamattomille ihmisille ja eläimille aiheuttavia ydinlatauksia. Etäisyys on annettu kilometreinä räjähdyspaikasta ja räjähdysvoimakkuus kilo-(Kt) tai mega-(Mt) tonneina (JONES 1984).

Vaikutustyyppi	Latausvoimakkuus				
	1 kt	10 kt	100 kt	1 Mt*	10 Mt
Paine	0,7	1,2	1,8	4,6	10,0
Kuumuus	0,6	1,9	4,9	11,2	22,4
Säteily	1,0	1,3	1,9	2,6	4,1

\* tekee 200 m läpimitaltaan olevan kraaterin

Taulukko 18. Ydinräjähdysten välittömät vaikutukset, vaikutusalueen säteen pituus annettu kilometreinä (JONES 1984).

Vaikutukset	latausvoimakkuus räjähdysten korkeus	Fissiolataus		Neutronipommi	
		5 kt	50 kt	5 kt	50 kt
		200 m	300 m	200 m	1000 m
Pahoja painevaurioita rakennuksille		0,6	1,2	0,4	0
Paineilma vaurioita panssarisuojille		0,2	0,4	0,1	0
2. asteen palovammoja - paljas iho		0,7	2,3	0,5	0
Rakennusten, metsän palaminen		0,7	1,8	0,4	0
Akuutteja säteilyvaurioita suojaamattomille ihmisille		0,6	1,1	1,1	1,1
4,5 Gy suojaamattomille ihmisille		0,7	0,9	1,0	1,0
80 Gy suojatuille ihmisille		0,3	0,5	0,6	0,5

Svensk Veterinärtidning 1984,36;13.

Käytetyt lyhenteet: Bq = 1 hajoaminen/sek

Ci (curie) - Ci =  $3,7 \times 10^{10}$  Bq

Gy (gray) absorboitunut annos - 1 Joule/kg

Vanha yksikkö: rad - 1 rad = 0,01 Gy

Välittömästi räjähdysten jälkeen muodostuva pilvi peittää auringon ja voi johtaa ympäristön lämpötilan nopeaan laskuun jopa  $-30^{\circ}$ - $-40^{\circ}$ C:hen aiheuttaen paleltumisia. Ydinräjähdysten seurauksena ilmakehässä muodostuu typpioksideja jotka vahingoittavat otsonikerrosta ja johtavat UV-B valon voimakkaaseen nousuun (aallonpituudella 290-320 nm) auringosta, seurauksena on vaikeita biologisia vaikutuksia fotosynteesi estyy sekä maalla että vedessä elävissä kasveissa, eläimillä esiintyy melanosarkoomaa, kataria ja jopa sokeutta.

Ydinräjähdyksestä vapautuva lämpö aiheuttaa palohaavoja ja säteily aiheuttaa säteilyvaurioita. Eläinlajien välillä ilmenee eroja ionisoituneen säteilyn kestämisessä. Imettäväiset ovat herkempiä kuin linnut. Jos eläin saa ensiannoksena koko ruumiiseensa 1 Gy:n suuruisen tai tätä korkeamman säteily määrän, ilmenee sillä akuutteja säteily sairauksioireita. Yksilöiden välillä voi esiintyä eroja säteilynkestävyydessä. 2-10 Gy on potentiaalisesti kuolettava (letaali), kuitenkin voidaan sanoa, että keskimäärin 4,5 Gy on letaali 50 prosentille säteilylle altistuneessa populaatiossa 60 d:n sisällä (LD 50/60-annos).

Ensiannos saadaan ydinräjähdysten jälkeen ensimmäisen minuutin aikana. Tällöin ne eläimet, jotka sairastuvat säteily sairauteen saavat suuren säteilyannoksen lyhyen ajan kuluessa.

Akuutti säteily sairaus voidaan jakaa neljään osaan/vaiheeseen:  
1. esioireet, 2. piilevät oireet, 3. pääoireet 4. toipumisvaihe.

1. Esioireet alkavat muutaman tunnin sisällä säteilyannoksen saannista. Mitä korkeampi annos on ollut sen nopeammin oireet ilmenevät. Joitakin oireita ovat väsymys, oksentelu, ripuli, krampit, kardiovaskuläärinen shokki. Jos säteilyannos on yli 6 Gy niin joudutaan suoraan 3. vaiheeseen.

2. Vaiheessa ei näy erityisiä ulkoisia oireita. Verinäytteessä voidaan havaita progressiivista valkosolujen alenemista. Tämä vaihe kestää lyhyen ajan säteilyannoksen ollessa korkean ja useita viikkoja säteilyannoksen ollessa matala.

3. Pääoireet ilmenevät silloin kun kudosten vahingoittumisesta aiheutunut solukato on tullut siihen pisteeseen, että solukadosta aiheutuvia oireita esiintyy. Eläin altistuu infektiolla ja saattaa kuolla näihin helposti.

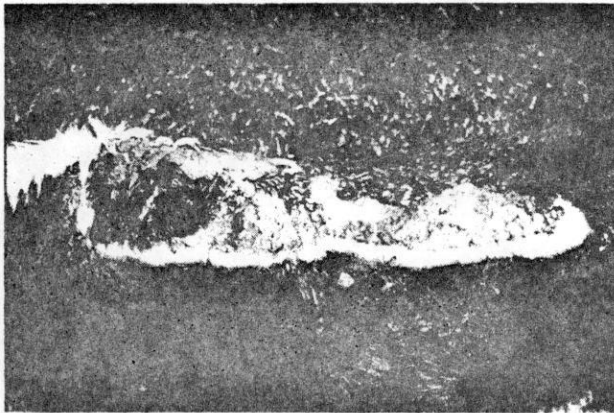
4. Toipumisvaihe. Ne eläimet jotka kestävät infektiokriisin tulevat seuraavaksi toipumisvaiheeseen. Leukosyyttien määrä alkaa lisääntyä ja luuytimen vahingoittuneet kantasolut pystyvät jälleen toimimaan. Tietty määrä luuytimen kanasoluja jää lopullisesti toimimattomiksi ja tästä johtuen leukosyyttien kokonaisluku jää pysyvästi alentuneeksi. Myös trombosyyttien ja punasolujen muodostumishäiriöitä ja verenvuotoriskiä ilmenee. Myöhemmin voi esiintyä aplastista anemiamia.

Jos säteilyannos on yli 10 Gy niin suolistoepiteelin vauriot dominoivat oirekuva. Suolistoepiteelin regeneraatiokierto on muutaman päivän pituinen ja oireet näkyvät nopeammin verrattuna luuytimen vaurioihin. Suolistovaurioiden seurauksena ilmenee voimakasta suolitulehdusta mikä johtaa kuolettavaan neste- ja elektrolyyttitasapainohäiriötilaan. Hyvin korkeat säteilyannokset (yli 100 Gy) vaikuttavat suoraan keskushermostoon. Seurauksena ilmenee nopeasti krampeja, tajuttomuustila ja menehtyminen muutaman minuutin tai tunnin sisällä säteilyannoksen saamisesta.

Edelläkerrotut oireet ilmenevät koko elimistön altistuttua säteilylle. Jos vain osa elimistöstä altistuu säteilylle, kohdistuvat vauriot os. elimistön osaan.

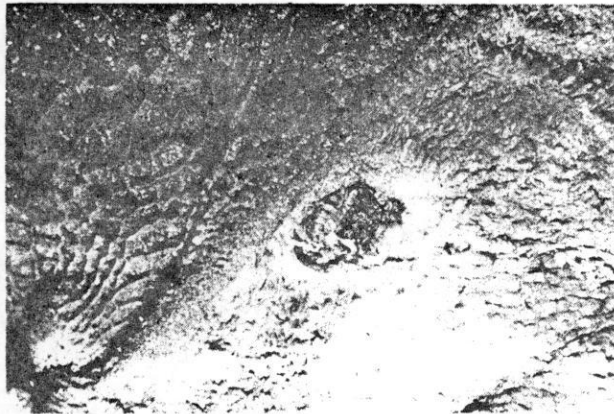


Kuvat 19-23. Säteilyvaurioita ihossa (kuva 19) ja pötsin sisäseinämässä (JONES 1984).



19,

Figur 1. Omfattande hudnekros på ryggen av ung-tjur efter exponering för  $\beta$ -strålning.



20. Figur 2. Lindrig  $\beta$ -brännskada hos get på över-gången mellan våm och nätmage 21 d efter intag av 2,6 GBq fallout-simulerande partiklar (FSP).

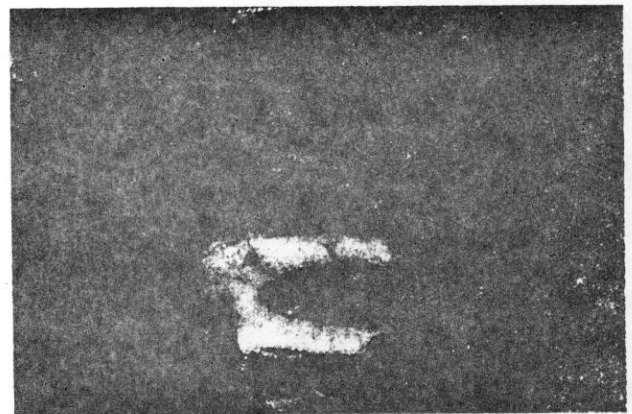
Svensk Veterinärtidning 1984, 36, 13



21. Figur 3. Lindrig, delvis läkt skada i ventrala våm-säcken på en get 104 d efter intag av 7,8 GBq FSP.



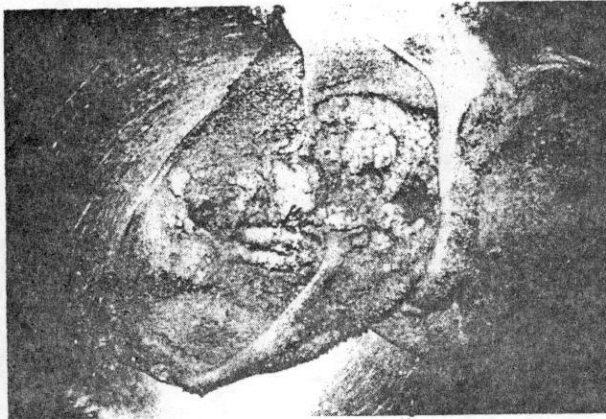
22. Figur 4. Kraftiga fibrinösa pålagringar på  $\beta$ -bränn-skada hos get 61 d efter intag av 9,1 GBq FSP.



Figur 5. Omfattande nekrotisering och förtjockning ( $\sim 5$  cm tjock) av ventrala våmväggen hos get 20 d efter intag av 8,9 GBq FSP.

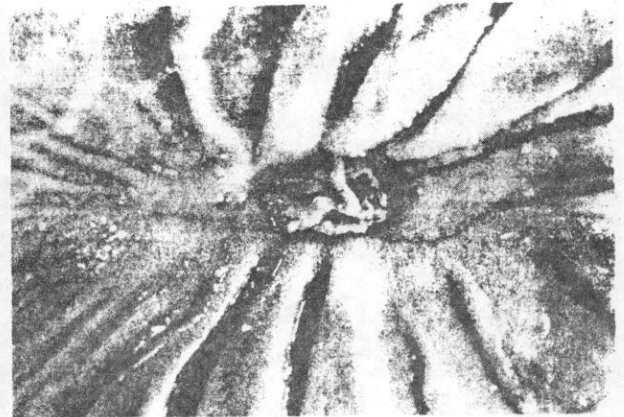
23,

Kuvat 24-28. Säteilyvaurioita esimahojen seinämissä (kuvat 24-27) ja epiteelikudoksessa (kuva 28) (JONES 1984).



24.

Figur 6. Total nekrotisering av ventrala delar av våmmen hos get 14 d efter intag av 15 GBq FSP. Stråldosen uppmätt i det skadade området till 180-300 Gy varav  $\gamma$ -dosen utgjorde 1/10.



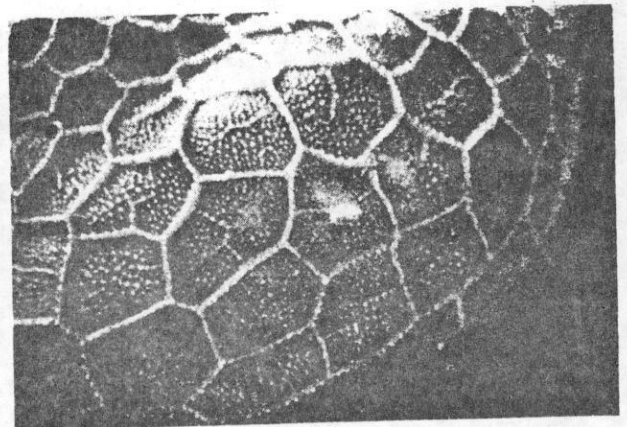
Figur 8. Begränsad  $\beta$ -brännskada i löpmagen på get 41 d efter intag av 2,8 GBq FSP.

26.



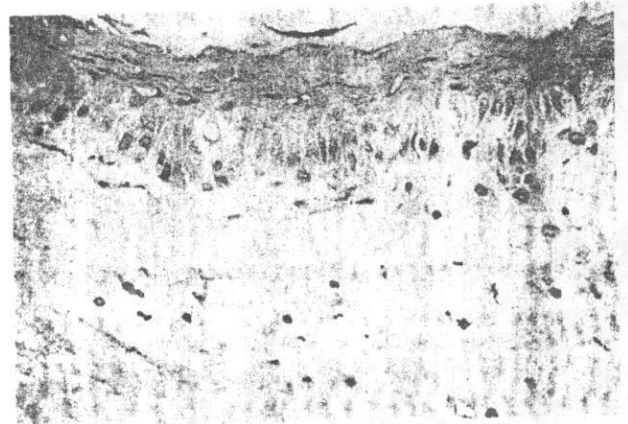
25.

Figur 7. Ömfattande ventrala skador i våmmen på en ungtjur efter intag av FSP.



Figur 9. Fibröst ärr ventralt i nätmagen på en get 62 d efter intag av 1,1 GBq FSP.

27.



Figur 10. Onormalt tunn våmslemhinna med ett cylindriskt odifferentierat epitel som ersätter det normala flerskiktade plattepitelet. Get 104 d efter intag av 7,8 GBq FSP. Hematoxylin eosin 400 x.

28.

Tiineillä eläimillä säteilylle altistuminen saattaa johtaa keskenmenoon, embryo saattaa vahingoittua, elinmuodostus embryolla häiriintyy, tiineyden loppupuolella sikiön kasvu hidastuu jne.

Myöhemmän säteilyn vaikutus kotieläimiin

Ydinräjähdysten jälkeen laskeutuu ydinsaastetta (pääasiassa alle 1  $\mu\text{m}$  lämpimittaista) globaalisesti 3 kk - 6 vuotta jälkeenpäin maahan. Isommat partikkelit (yli 100  $\mu\text{m}$ ) satavat alas lähimpien tuntien aikana.

Jos eläimet ovat ulkosalla ydinräjähtymisen aikana ja jälkeen ne saastuvat ensiksi ihon kautta. Tämä säteily on surimmaksi osaksi beeta säteilyä. 10-15 Gy aiheuttaa palovammoja (toisen ja kolmannen asteen) ja niitä kutsutaan  $\beta$ -palovammoiksi. Näillä säteilyn aiheuttamilla palovammoilla on suuri riski muodostua carcinomaksi.

Laitumella olevilla märehitijöillä on suuri riski saada saastuneesta laidunruohosta pötsinseinämävaurioita, koska kontaminoitunut ruoho viipyy etumahoissa melko pitkään. 4 GBq aiheuttaa laidunnettavilla lehmillä jo  $\beta$ -palovammoja. Säteilyvauriot johtavat mahojen motoriikan häiriöihin. Ruokahaluttomuutta ilmenee 2-14 d siitä kun laidun saastui. Mikäli säteilyannos on iso niin ilmenee akuutti säteilytauti. Maidontuotanto alenee. Jos eläin paranee niin ruoansulatuskanavassa voidaan todeta sidekudoksella korvautuneita  $\beta$ -palohaavojen arpeutumia. Arvet ovat alttiita infektioille ja niihin voi muodostua kasvaimia myöhemmin. Eläin saattaa kuolla infektion aiheuttamaan verenmyrkytykseen (katso kuvia 19-28).

Jos eläin on altistettu kokoruumiin säteilylle (gamma- ja n-säteilyä) ja ihosäteilylle (beeta- ja gamma-säteilyä) ja ruoansulatuskanavan säteilylle (beeta- ja gamma-säteilyä) se kestää vähemmän kokoruumissäteilyä ts. letaalit oireet ilmestyvät alemmalla kokoruumissäteilytasolla.

Pelkän kokoruumissäteilyannoksen kestopaja on LD 50/60	4,5 Gy
kokoruumis + iho säteily " " "	4,0 Gy
" " + ruoansulatus-	
kanavan " "	1,5 Gy

Luvut osoittavat sen kuinka tärkeätä on suojata eläin ruoansulatuskanavan säteilyltä.

Pitkäaikaisen säteilyn vaikutus kotieläimiin

Säteilylle altistumisen jälkeen muutamien vuosien kuluttua voidaan havaita "maligna lymfoma". Sellaisilla eläimillä, joiden elinikä on normaalisti lyhyt ei oireita ehdi ilmaantua, mutta pitkäikäisillä eläimillä kuten seuraeläimillä ja urheiluhevösilla tautia todetaan.

Isot säteilyannokset (yli 2 Gy sukurauhasiin) aiheuttavat geneettisiä mutaatioita. Akuutin säteilynsairauden yhteydessä voidaan havaita ohimenevää hedelmättömyyttä. Koiraat ovat herkempiä kuin naraat. 4 Gy aiheuttaa pysyvän hedelmättömyyden. I-131 voi johtaa kilpirauhashäiriöihin ja Sr-90 voi luissa aiheuttaa toimintahäiriöitä.

Julkaisussa (ANON. 1984) käydään yksityiskohtaisesti ja ohjeellisesti lävitse ydinvoimalaonnettomuuden vaikutukset ja niiden torjumistoimenpiteet. Taulukossa 19 annetaan säteilyannostasot eri eläimille ja oireet maksimiannostasolla, joiden alapuolella oireet voidaan välttää.

Taulukossa 20 annetaan ICRP riskikertoimet kuolettavalle syövälle ja perintötekijädefekteille.

Taulukko 19. "Ei-stokastisten" oireiden välttämiseksi IRCP:n antamat radioaktiivisuusannosrajat (Gy) eri elimillä ja kudoksilla (ref. ANON. 1984).

Elin/kudos	Ei-stokastinen vaikutus	Annos Gy
Koko elimistö	Pahoinvointi	0.5
Luuydin	Kuolema	1.0
Iho		3.0
Keuhkot	Keuhkotulehdus	5.0
"	Kuolema	10.0
Kilpirauhanen	Ei-hengenvaarallisia häiriöitä, myxedema, tuhoutuminen	10.0

Taulukko 20. ICRP riskikertoimia kuolettavalle syövälle ja perinnöllisille häiriöille

Kudos	Riski ( $\text{Sv}^{-1}$ )
Sukurauhaset	$40 \times 10^{-4}$
Maitorauhaset	$25 \times 10^{-4}$
Punainen luuydin	$20 \times 10^{-4}$
Keuhkot	$20 \times 10^{-4}$
Kilpirauhanen	$5 \times 10^{-4}$
Luu	$5 \times 10^{-4}$
Kaikki muut nimeltä mainitsemattomat kudokset	$50 \times 10^{-4}$

(ref. ANON. 1984)

RANTAVAARAN (1984) mukaan elollisten olentojen säteilykestävyys vaihtelee suuresti. Mitä yksinkertaisempi elinmuoto, sitä suuremman säteilyannoksen se yleensä kestää. Taulukossa 21 esitetään eräiden eläinten ja kasvien säteilykestävyys ihmiseen verrattuna.

Taulukko 21. Elollisten olentojen säteilykesto, LD 50/30, eri lähteiden mukaan (50 % kuolee 30 vrk sisällä)

	Säteilyannos	
	Röntgen (R)	Gray (Gy)
Ihminen	400-500	4-5
Kotieläimet		
-nauta, lammas, sika	400- 700	4- 7
-siipikarja	900- 1200	9- 12
Kalat	1000- 2000	10- 20
Äyriäiset	800-100000	8- 1000
Osterit, simpukat	4000- 50000	40- 500
Vehnä, ruis	3- 4000	30- 40
Peruna	9000- 12000	90- 120
Sokerijuurikas	9500- 13000	90- 130
Lepakko	10000- 20000	100- 200
Hiiva	20000- 30000	200- 300
Ameeba	80000- 10000	800- 1000
Bakteerit	100000-300000	1000- 3000
Itiöt	2-4 milj.	20000-30000

RANTAVAARA (1984)

BLOMQVIST ym. (1984) ovat laatineet yhteenvetotaulukon akuutista säteilyvauriosta oireineen (taulukko 22), jossa on myös esitetty arvio kuoleman todennäköisyydestä.

Taulukko 22. Akuuttien säteilyvaurioiden esiintyminen säteilylle altistumisen seurauksena (BLOMQVIST ym. 1984).

Annos (Sv) <sup>1)</sup>	Varhaisoireet (pahoinvointi, oksennukset ym.)			Kliininen kuva		Kuolemis- todennä- köisyys (%)	Tavallisin kuolin- syy
	esiintyminen	alkamis- ajankohta tapahtumasta	ym.) tärkein vaurioitunut elinsysteemi	tyypilliset oireet	kriittinen vaihe		
1	0	-	-	-	-	0	-
1-2	5 (1 Sv) 50 (2 Sv)	3 t	verta muodostavat kudokset	lievä leuko- ja trombosyto- penia	-	0	-
2-5	100 (>3 Sv)	2 t	verta muodostavat kudokset	leuko- ja trombosyto- penia, infektiot, verenvuodot, epilaatio (>3 Sv)	2-6 vk	0-90	verenvuoto, infektiot
5-10	100	1 t					
10-14	100	1/2 t	suolisto	ripuli, kuume, nestetasapai- non häiriöt,	3-14 vrk	90-100	enterokoliitti, sokki
>50	100	muutama minuutti	keskushermosto, verenkierto- elimistö	kouristukset, kooma ym.	1-48 t	100	aivoödeema, sokki

<sup>1)</sup> Sv = 100 rem

## 2.12. Eläinten säteilysuojelussa varteenotettavia näkökohtia

Säteilylle altistumista voidaan torjua tietyin toimenpitein (Säteilysuojeluopas 1985). Tutkimuksia kotieläinten käsittelystä säteilyvaaran uhatessa on myös tehty mm. Ruotsissa.

ANDERSSON (1985) referoi laatimiaan kirjallisuuskatsauksia (1983b, 1984) joissa on selvitelty kotieläinten reaktioita aliruokinnan ja veden niukkuuden seurauksena sekä rajoitetun ruokinnan vaikutuksia jne., jotka saattavat tulla kysymykseen ydinreaktorionnettomuuksien seurauksena reaktorin lähiympäristössä. Työssä tarkastellaan paaston ja vedenpuutteen fysiologisia seuraamuksia eläinelimistölle. Myös ilmastointiongelmien on paneuduttu. Samoin annetaan ohjeita esim. veden tarpeen määrästä. Katsauksessa todetaan että eläimet tulevat toimeen kerran päivässä tai kerran kahdessa päivässä ruokinnalla. Monet eläimet voivat tulla toimeen jopa viikon paastollakin ja pitempäänkin. Veden saanti on kuitenkin turvattava.

Noin 3 kk:n ikäiset porsaas tulivat toimeen 11 päivää ilman ruokaa ja alusia ilman terveydellisiä haittoja. Verenseerumin albumiini nousi 41 %, IgG 10 %, glukoosi 5 %, kolesteroli 43 %, vapaat rasvahapot 73 %, kortisol 75 %. Ruumiinlämpö laski 2°C. Veden kulutus lisääntyi. Elopaino putosi 22 %. Paaston jälkeen possut kasvoivat normaalivauhtia. Ne saavuttivat teuraspainon noin 1 viikkoa myöhemmin verrattuna kontroleihin. Niillä oli parempi lihapro-sentti ruhossa.

Tutkimuksessa kerrotaan muutaman maatilan säteilytilanteesta Barsebäck'in ja Ringhalsverken'in lähistöllä Ruotsissa.

ANDERSSON (1984) kertoo tutkimuksista, joissa on selvitelty eri kotieläinten selviämistä nälästä, veden puutteesta ja pienentyneestä hoitopanoksesta kuvitellun huomattavan ydinlaskeuman aikana, jolloinka eläinten hoito ja ruokinta on pakosti jäänyt minimiin. Tutkimuksissa on ollut mukana lypsylehmiä, pikkivasikoita, lihakarjaa, lampaita, emakoita ja pikkupossuja, teuras sikoja, pikkutipuja, nuorikoita ja munivia kanoja. Tähänastisissa tutkimuksissa on



saatu selville tärkeitä seikkoja eläinten kestävydestä janoa, nälkää ja huonontunutta hoitoa vastaan. Vielä on kuitenkin paljon selvittämättömiä näkökohtia erityisesti "katastrofiperiodin" jälki-kaudelta eläinten kyvystä palautua normaaliin päiväjärjestykseen. Lisäksi tarvittaisiin lisätietoja "katastrofin" ekonomisista vaikutuksista.

RUOTSISSA SSI (Statens strålskyddsinstitut), Stockholm, on jälkaissut "Anvisningar för lantbrukare vid en kärnkraftolycka" (1982, 4 s.). Julkaisussa luetellaan välittömät toimenpiteet:

- sulje ovet ja ikkunat eläinsuojissa ja rehuladoissa
- vähennä elintilojen ilmanvaihtokiertoa
- ota ulkona olevat lehmät sisälle
- peitä avonaiset rehusiilot pressuilla
- älä käytä pintavettä juomavedeksi tai muutenkaan. Hyvin peitetyn kaivon vettä ja pohjavettä voidaan käyttää
- sijoita lypsetty maito meijeriin vietävään paikkaan  
Älä kuitenkaan käytä hälytyksen jälkeen lypsettyä maitoa
- lopeta elävien eläinten välittäminen
- lopeta teuraseläinten välittäminen
- teurasta sairaat eläimet normaalissa järjestyksessä, mikäli mahdollista lopeta hätätapauksessa sairaat eläimet
- varastoi kananmunat
- älä käytä hälytyksen jälkeen hedelmiä ja vihanneksia avomaalta

Jos väestö määrätään väestösuojiin niin:

- jätä eläimet navettaan, talliin. Ota lemmikkieläimet väestösuojaan mukaan
- katso että eläimille on saatavilla vettä ainakin muutamaksi päiväksi
- katso että eläimille jää rehua ainakin yhdeksi päiväksi  
Anna niille vapaasti heiniä ja olkia. Älä anna väkirehua.
- päästä pikkuvasikat vapaaksi niin että ne voivat imeä lehmiä

- jätä tieto jälkeenjätetyistä eläimistä vastaanottoasemalle tai poliisille. Erityiset huoltojoukot voivat tällaisessa tapauksessa poiketa hoitamassa yksin jätettyjä eläimiä. Tällöin on kuitenkin odotettavissa että hoito ja ruokintavälit poikkeavat tavanomaisesta

Sodan uhkan tai ydinvoimالاonnettomuuden seurauksena eläintenpidon eettisistä normeista voidaan joutua tinkimään melkoisesti.

### 2.13. Tshernobylin ydinvoimالاonnettomuuden vaikutus maidon I-131 ja Cs-137 pitoisuuteen Euroopassa ja Suomessa

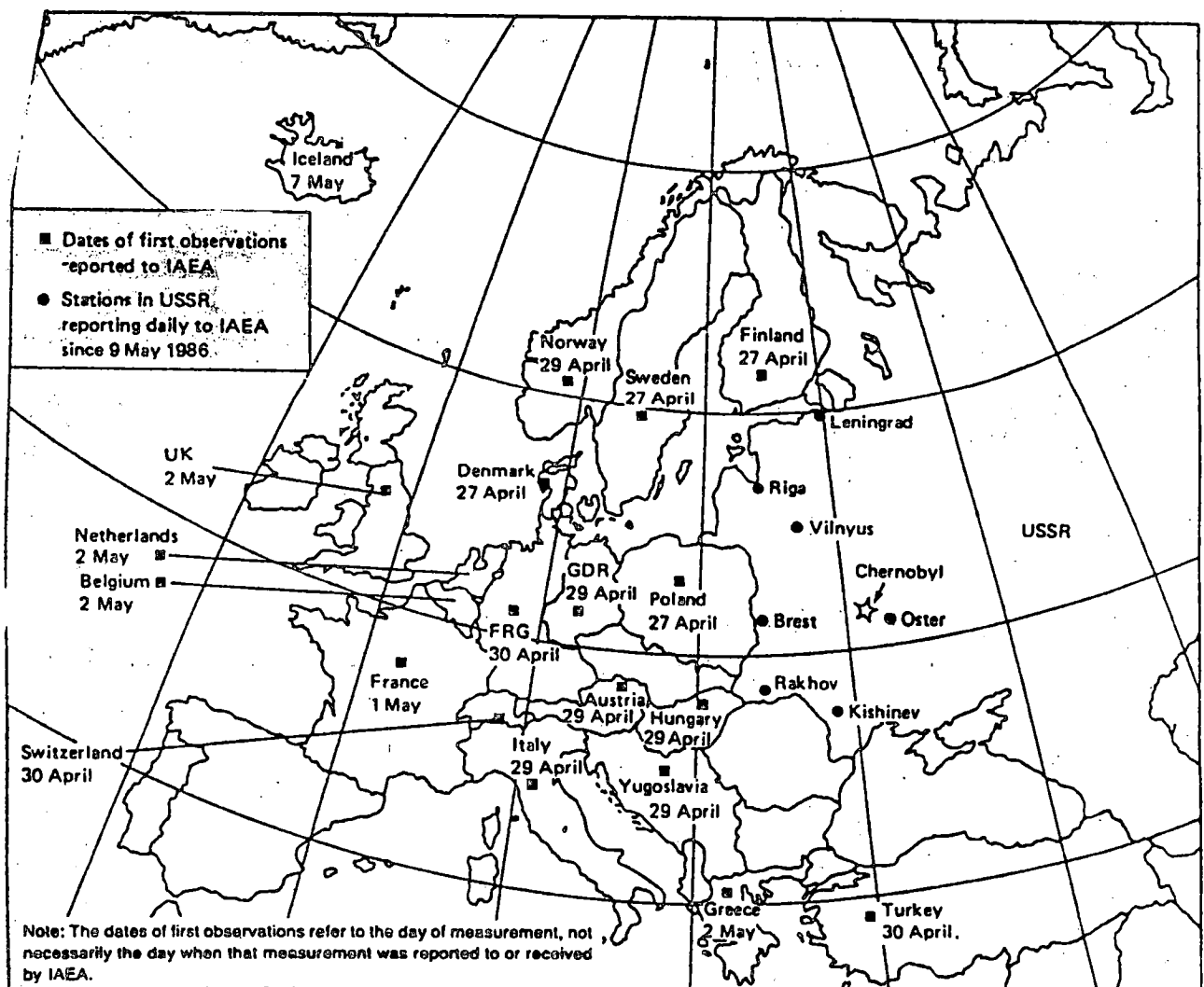
Tshernobylin ydinvoimالاonnettomuuden vaikutus maidon radioaktiivisuuteen Euroopan eri maissa on selostettu SALO:n (1986) artikkelissa. Suomi oli yksi niistä maista, joissa säteilyarvojen todettiin kohonneen jo 27. huhtikuuta 1986. Suomi oli myös niiden joukossa, joissa säteilyarvot olivat korkeimmat 4. toukokuuta (kuvat 29 ja 30a). Maidon Cs-137 ja I-131-pitoisuudet olivat suomalaisessa maidossa kuitenkin muiden maiden arvoihin verrattuna ylivoimaisesti pienimmät (kuvat 30b-c). Tämä johtuu siitä, että lehmät olivat ydinvoimالاonnettomuuden jälkeisen saastelaskeuman aikana vielä sisäruokinnassa, kun taas monessa muussa maassa, varsinkin Etelä-Euroopassa, lehmät olivat jo laidunruokinnalla.

MTTK:n Jokioisten karjassa suoritettiin KHO:n, STUK:n ja Valion yhteistoiminnassa neljällä lehmällä toukokuussa laidunruokintakoe, jossa tutkittiin maidon I-131:n ja Cs-137:n pitoisuuksien muutoksia (HEIKKILÄ ym. 1986). Tulokset nähdään kuvista 30 ja 31. Maidon I-131-pitoisuus nousi nopeasti noin 3 d:ssä maksimiarvoonsa (keskim. 390 Bq/l). I-131:n lyhyestä T 1/2:sta johtuen sen pitoisuus laski kuitenkin verrattain nopeasti ja näinollen toukokuun lopulla I-131:n määrä oli enää 10-20 Bq/l. Cs-137:n maksimitaso saavutettiin vasta 8 d:n päästä laiduntamisen alkamisesta ja huipun jälkeen todettu Cs-137:n lasku tapahtui hitaammin verrattuna I-131:een. Korkeimmillaankin maidon Cs-137-taso oli kuitenkin vain noin 1/15 radiojodin määrästä.

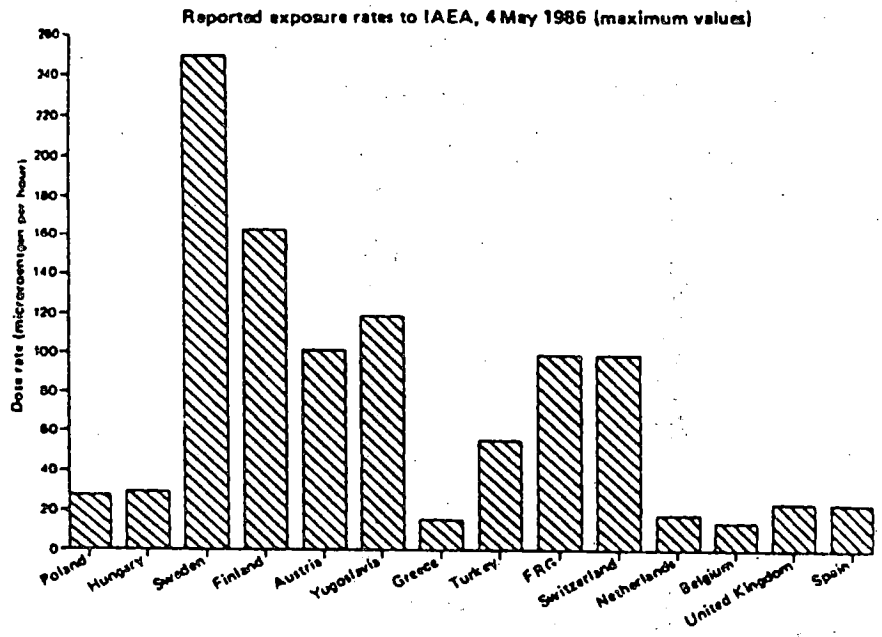
Viikin koetilalla (Helsingissä), jossa radioaktiivinen laskeuma jäi huomattavasti vähäisemmäksi verrattuna Jokioisiin, oli kaksi lehmää laidunkokeessa myös toukokuussa ja näillä maidon I-131 sekä Cs-137-pitoisuudet jäivät matalammiksi verrattuna Jokioisissa saattuihin arvoihin. I-131-pitoisuus oli Jokioisissa 30-kertainen verrattuna Viikin lukuihin.

ASPILan (1986) tutkimuksessa lypsylehmän rehuannoksesta saadusta Cs-137 määrästä erittyi maitoon noin 10 %, virtsaan runsas 10 % ja sontoon noin 75 %. Lehmän päivittäisestä Cs-137 saannista erittyi maitolittraa kohden laskettuna 0,6–0,8 %.

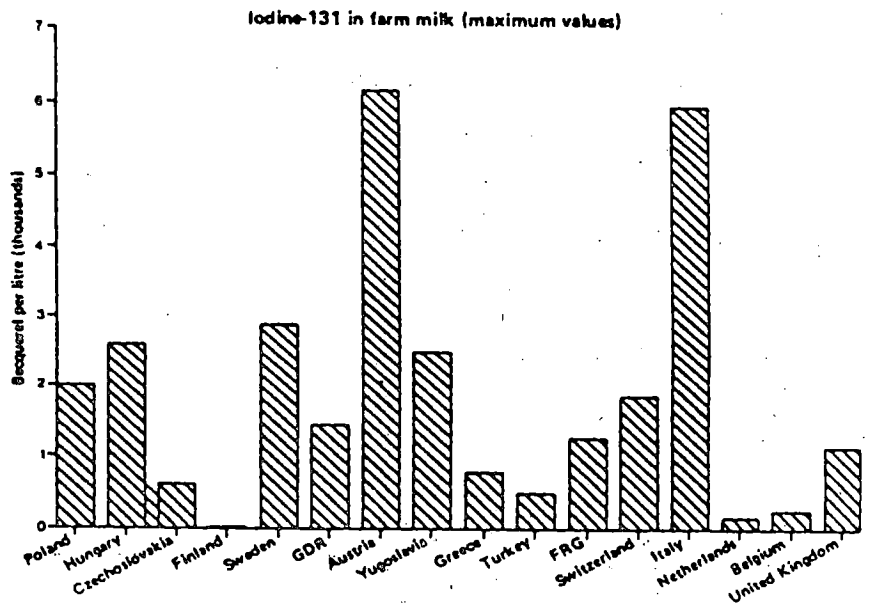
Kuva 29. Tshernobyl-radioaktiivisuuden ensihavaintopäivät Euroopan eri maissa huhti-toukokuussa 1986 (SALO 1986).



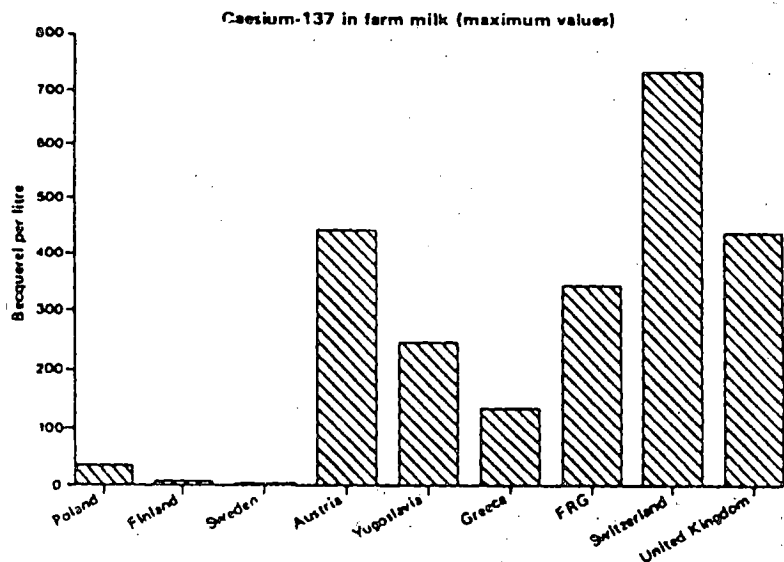
Kuva 30a.  
Radioaktiivisuudelle  
altistuminen 4.5.1986  
mikroröntgeniä/h  
maksimi-arvona kuten  
ilmoitettu IAEA:lle  
Euroopan eri maista.



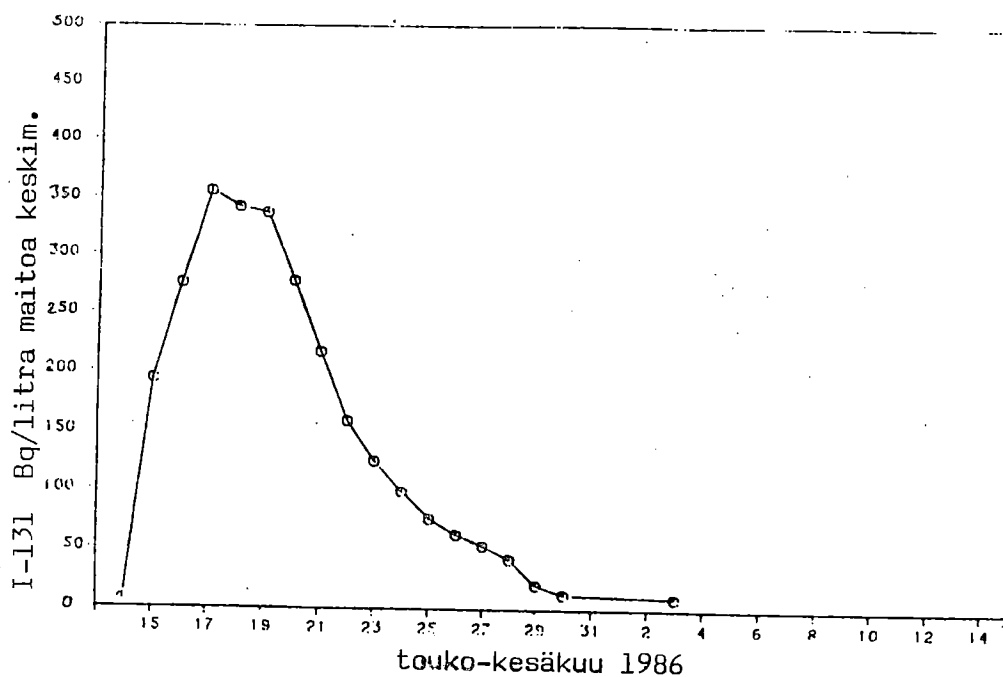
Kuva 30b.  
Maidon I-131-maksimi-  
pitoisuus Bq/l (1000)  
Euroopan eri maissa  
kevääällä 1986.



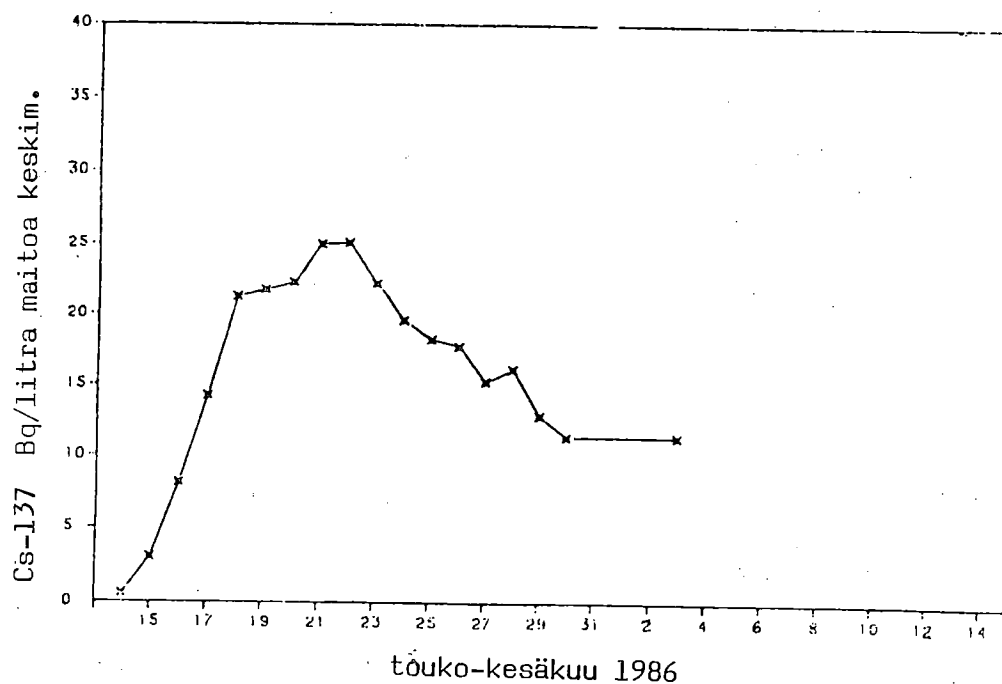
Kuva 30c.  
Maidon Cs-137-maksimi-  
pitoisuus Bq/l  
Euroopan eri maissa  
kevääällä 1986.



TAULUKKO 31. Laidunruokintakoe Jokioisissa touko-kesäkuussa 1986. Maidon I-131 keskipitoisuus neljällä lehmällä /d laitumellelaskun jälkeen.



TAULUKKO 32. Laidunruokintakoe Jokioisissa touko-kesäkuussa 1986. Maidon Cs-137-pitoisuus keskim. neljällä lehmällä/d laitumellelaskun jälkeen.



(ref. Heikkilä, T. MTTK KHO, Rantavaara, A. STUK ja Rauramaa, A. VALIO)

### 3.0 Suomessa meneillään olevia kotieläinten tuotantoon liittyviä radioaktiivisuuskokeita

MTTK:ssa kotieläinhuolto-osastolla on menossa tutkimus, jossa on tarkoitus mm. selvittää säilörehun ja puristenesteen Cs-137-pitoisuudet sekä määrittää kuinka paljon rehuannoksen Cs-pitoisuudesta mahdollisesti siirtyy maitoon. Säilörehu tehtiin kesällä 1986 sellaisesta kasvustosta, joka mahdollisesti sisälsi jonkin verran Cs-137. Käytännön koe suoritetaan MTTK:ssa ja Cs-137-määritykset STUK:ssa.

HY:n kotieläintieteen laitoksessa tutkitaan myös rehuannoksen Cs:n vaiheita lehmän elimistössä kun lehmälle syötetään radioaktiivisella Cs:llä saastunutta heinää (ASPILA).

### 4.0 Tutkimustarve

Kotieläinten ravitsemusta ja radioaktiivista laskeumaa ajatellen tarvittaisiin tutkimusta siitä, kuinka harmillisten radioisotoppien imeytymistä kotieläinten elimistöön voitaisiin ehkäistä tehokkaasti käytäntöön sovellettavin menetelmin. Joitakin tuloksia tältä alueelta on jo olemassa ja ilmeisesti meneillään on tutkimuksia ainakin muissa pohjoismaissa, jotka selvittelevät ao. kysymystä.

Toinen tärkeä tutkimuskohde on löytää menetelmiä, joilla jo saastuneita eläimiä voidaan "puhdistaa" radioisotoopeista. Tällä alueella on myös jo olemassa jonkin verran tietoa, mutta lisätietoja silti kaivataan.

## 5.0 PÄÄTELMÄT

Ydinsaasteiden vaikutuksia on tutkittu runsaasti mm. kotieläintalouden ja ihmisravitsemuksen ja patologian kannalta. Tshernobylin ydinvoimalaonnettomuuden seuraamuksia kotieläintaloudelle tutkitaan intensiivisesti mm. Ruotsissa ja Norjassa. Suomessa sensijaan ao. tutkimus on varsin suppeata. Suomessa voidaan kuitenkin soveltaa Pohjoismaissa ja muissa maissa saatuja tutkimustuloksia.

Ydinkatastrofin yhteydessä tapahtuvat haitat kotieläintuotannolle riippuvat laskeuman voimakkuudesta ja ajankohdasta ja laskeuman sisältämistä radioisotoopeista. Teoriassa haittoja voidaan torjua tehokkaammin sisäruokinta- kuin laidunkautena.

Suurin osa ensilaskeumasta on radioaktiivista jodia, jolla on lyhyt  $T_{1/2}$ , mutta joka imeytyy eläinelimistöön erittäin tehokkaasti ruoansulatuskanavasta, ihon kautta tai hengitysilma-Imeytynyt jodi kertyy nopeasti kilpirauhaseen ja erittyy nopeasti myös maitoon. Radiojodin hättäv vaikutuksia voidaan lieventää nauttimalla epäorgaanista jodia (KI) jolla on radiojodia "laimentava" vaikutus. Jodinpuutosta potevilla radiojodin hättäv vaikutus korostuu. Onneksi Suomessa on jodikysymys hoidettu siten että jodinpuutostila on nykyään erittäin harvinainen.

Radiojodia sisältäviä rehuja ja elintarvikkeita varastoimalla niiden I-131-pitoisuus laskee lyhyen  $T_{1/2}$ :n ansiosta nopeasti terveyden kannalta vaarattomalle tasolle.

Radioaktiivinen laskeuma saattaa sisältää haitallisia määriä Cs-137 ja Sr-90. Näillä isotoopeilla on pitkä  $T_{1/2}$ . Cs-137 imeytyy hyvin elimistöön ruoansulatuskanavasta ja kulkeutuu pääasiallisesti pehmeisiin kudoksiin kuten lihaan ja sisäelimiin. Elimistön Cs-137 pitoisuus laskee kuitenkin verrattain nopeasti mikäli eläin saa Cs-vapaata rehua. Cs:n eliminoitumista elimistöstä voidaan jouttaa dieettisin keinoin. Cs-137:n erittymistä maitoon voidaan myös ehkäistä ruokinnallisilla keinoin.

Radioaktiivinen laskeuma sisältää yleensä vähemmän Sr-90 kuin Cs-137. Sr-90 imeytyy elimistöön paljon heikommin kuin Cs-137. Sr-90 akkumuloituu pääasiassa luustoon ja Sr-90:n aineenvaihdunta liittyy läheisesti Ca:n aineenvaihduntaan. Sr-90:n imeytymistä ruoansulatuskanavasta elimistöön voidaan hidastaa dieettisin keinoin.

Maidon sisältämistä isotoopeista (I-131, Cs-137 ja Sr-90) voidaan poistaa suurin osa esim. ioninvaihtotekniikalla, mutta tällainen prosessointi aiheuttaa maitoon makuvirheitä. Prosessoitua tavaraa voidaan käyttää esim. rehun raaka-aineena.

Lihan Cs-137 pitoisuutta voidaan tehokkaimmin laskea siirtämällä eläimet Cs-137-vapaalle ruokinnalle. Myös erilaisia Cs:n imeytymistä ruoansulatuskanavasta inhiboivia aineita voidaan sisällyttää rehuun.

Sr-90 kertyy pääasiallisesti luihin joita ei käytetä ihmisravinnoksi nimeksikään ja tästä syystä Sr-90:n merkitys ihmisen ravitsemuksen kannalta jää vähäiseksi.

Huomattavat radioaktiivisten aineiden määrät eritoten märehitijöiden mahoissa ja ruoansulatuskanavassa saattavat aiheuttaa vaurioita ruoansulatuskanavan seinämille. Ns. tuotantoeläimet (nauta, sika, kana) ovat kuitenkin lyhytikäisiä ja niillä ei useinkaan ilmene säteilystä johtuvaa kuolemaa. Sensijaan lemmikkieläimillä (koira, hevonen) saattaa ilmetä säteilystä aiheutuneita sairauksia.

Säteilyvaaran uhatessa ihmisten ja kotieläinten säteilylle altistumista voidaan huomattavasti lieventää soveltamalla tiettyjä säteilysuojautumisen periaatteita. Tämä tosiasia ei kuitenkaan ole vielä iskostunut suuren yleisön tietouteen. Tästä syystä tarvitaan paljon asiallista tiedottamista ja kouluttamista jotta ihmiset osaisivat suhtautua asiallisesti mahdolliseen vaaratilanteeseen.

Rehuvarmuusvarastoja pitäisi olla Suomessa ydinkatastrofin varalta. Maanviljelijöitä pitäisi valistaa rehujen suojaamisessa ja eläinten käsittelyssä sekä henkilökohtaisesta suojautumisesta vaaratilanteen varalta. Tämä asia on toki ollut esillä ja ohjeita on jaettu. Lisäinformaatiota kuitenkin tarvitaan.

Luonnonvaraisten eläinten (riista, poro, kalat) suojaaminen ydinkatastrofin vaikutuksilta on vaikeata. Evakuointi saastuneilta alueilta tulee kysymykseen. Myös loppuruokinta ennen teurastusta esim. porojen kohdalla puhtailla rehuilla vähentää lihan radioaktiivisuutta.

Ydinlaskeuman haittavaikutuksia voidaan lieventää toimimalla johdonmukaisesti ja oikein.



## 6.0 KIRJALLISUUSLUETTELO

- ANDERSSON, I. 1984. Husdjurskötseln och beredskap mot kärnvapenkrig  
Svensk Vet. tidn. 36: 13: 627-629.
- 1985 Forskningsprojekt "Animalieproduktionen och beredskapen mot kärnkraftolyckor" en sammenfattande redogörelse. Konferens om beredskap mot kärnkraftolyckor. Lantbrukstyrelsen. Jönköping 22 october 1985, 11 s.
- ANONYM. 1966 Radioactivity and human diet. Ed. R. Scott Russel. Pergamon Press, London, 1st ed. xi+552 pp.
- 1984. Radiation protection. A Report of the Committee 4 of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication no. 40. Pergamon Press, New York, 1st ed.
  - 1986a/Fra kampen mot bequerelene. Sau og geit 6: 280-282.
  - 1986 b. Foringsforsk med tilskott av Prysseblått i Grong. Sau og geit 6: 283-285.
- ASPILA, P. 1986. Radioaktiivisten aineiden siirtyminen rehusta maitoon, lihaan ja kananmuniin. HY:n seminaari "Radioaktiivisten päästöjen vaikutukset elinympäristöön. 17.12.1986, Helsinki.
- AURALDSSON, H-Å., EKMAN, L., ERIKSSON, Å. & GREITZ, U. 1971 a. A simultaneous study on the transfer of radioiodine from pasture to milk and from a single oral intake to milk. FOA 4 Rapport C 4478-A3, November 1971.
- - - - 1971 b: Further experimental studies on the transfer of radioiodine from pasture to milk. FOA 4 Rapport C 4458-28. Mars 1971.
- BALES, R.E. & HICKEY, J.L.S. 1966. Commercial processing of milk for concurrent removal of cationic and anionic radionuclides. IAEA/FAO seminar, Vienna p. 121-.
- BAUMGARTNER, D., FISCHER, H. & HERZER, W. 1985. Cs-137 in milk and in humans. 18. ann. meeting of the Fachverband für Strahlenschutz, Lübeck, 6-10 Oct. 1985. pp. 644-656.
- BEGOVIC, J., STANKOVIC, S. & MITROVIC, R. 1980. Dynamics of Cs-137 distribution in the muscle tissue of swine by single and repeated contamination. 5. Congr. Intern. Radiation Protection Soc., Jerusalem, March 1980, pp. 1029-1032.

- BERGSTRÖM, S.O.V. & GYLLANDER, Ch. 1969. Iodine-131 in grass and milk correlated with releases from the Studsvik research station. FAO/IAEA seminar 24-28 March 1969, Vienna, pp. 403-416.
- BLOMQVIST, L., PAAKKOLA, O., RANTAVAARA, A. & SALO, A. 1984. Ydinaseiden vaikutukset ja valvonta. STUK Helsinki, 62s.
- BOOKER, D.V. 1959. Caesium-137 in dried milk. *Nature*, London, 183: 921.
- BRUCE, R.S. & SCOTT RUSSELL, R. 1969. Agricultural aspects of acute and chronic contaminations. FAO/IAEA seminar 24-26 March 1969, Vienna, pp. 70-89.
- BUSTARD, L.K., WOOD, D.H., ELEIFSON, E.E., RAGON, H.A. & McCLELLAN, R.O. 1963. I-131 in milk and thyroid of dairy cattle following a single contamination event and prolonged daily administration. *Health Phys.* 9: 1419.
- COMAR, C.L. 1956. Radiocalcium studies in pregnancy. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 64: 281.
- 1966. Transfer of strontium-90 into animal produce. In: *Radioactivity of Human Diet*. 1st. ed. London, pp. 249-275.
- CRAGLE, R.G. 1961. Uptake and excretion of cesium-134 and K-42 in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 44: 352.
- , MILLER, J.K. & CHANDLER, L.K. 1965. Radioisotopes in animal nutrition and physiology. IAEA, Vienna, p. 499.
- CRICK, M.J. & SIMMONDS, J.R. 1984. Models for the transfer of radionuclides in cattle for use in radiological assessments. *The Sci. Total Environm.* 35: 227-238.
- DJURIC, G. & AJDACIC, N. 1984. Coefficients of distribution and accumulation of K, Rb, Cs and Cs-137 in the intensive poultry breeding cycle. 6. Intern. Congr. Intern. Radiat. Protect. Ass. Berlin, 7-12 May 1984.
- DODD, N.J. 1983. Field investigations of the uptake of radionuclides by a dairy herd. *Radiol. Prot. Bull.* 55: 8-9.
- DZIUK, E., BALTRUKIEWICZ, Z. & SIEKIERZYNSKI, M. 1985. Accidental internal contamination of man by plutonium-239 and cesium-137: Treatment possibilities. IAEA WHO symposium Paris, 19-23 Nov. 1984, pp. 415-419.

- EKMAN, L. 1961. Distribution and excretion of radiocesium in goats, pigs and hens. Acta Vet. Scand. 2, Suppl. 4.
- 1966. Mechanisms of uptake and accumulation of radionuclides in terrestrial animals. Radioecological concentration processes. Proc. Intern. Symp., Stockholm, 25-29.4.1966, pp. 547-560
- , ERIKSSON, L., FREDRIKSSON, L. & GREITZ, U. 1967. Studies on the relationship between I-131 deposited on pasture and its concentration in milk. Health Phys. 13: 7: 701-706.
- ERIKSSON, Å. 1984. Hotet mot jordbruket och livsmedlen. Svensk Vet. tidn. 36: 13: 613-618.
- FLIEGL, E., SCHELENZ, R. & FISCHER, E.I. 1980. Critical evaluation of the literature to the transfer feed/meat of cesium for domestic animals. Berichte der Bundesforsch. anst. Ernährung no. 7, 97 pp.
- - 1981. Critical evaluation of the literature concerning the transfer feed/meat of strontium, radium, technetium in domestic animals. Bundesforsch. anst. Ernährung, Karlsruhe, F.R. Germany.
- FREDRIKSSON, L., GARNER, R.J. & SCOTT RUSSELL, R. 1966. Caesium-137. In: Radioactivity and Human Diet. Ed. Scott Russell. Ist. ed. Pergamon Press, London.
- GARNER, R.J., SANSOM, B.F. & JONES, H.G., 1960. Fission products and the dairy cow. III. Transfer of iodine-131 to milk following single and daily dosing. J. Agric. Sci. 55: 283.
- GJERTSEN, L., LIND, B. & WESTERLUND, E.A. 1983. Cs-137 in Norwegian Lapps spring 1982. Statens Inst. for Straalehygiene, Oslo, 21 pp.
- GLASCOCK, R.F. 1954. The secretion of a single tracer dose of labelled iodide in the milk of the lactating cow. J. Dairy Res. 21:318.
- & BRYANT, D.T.W. 1966. System for removing radionuclides from milk. IAEA/FAO seminar Vienna p. 85-.
- GLUBRECHT, H., KUEHN, W., HANDL, H. & BUNNENBERG, C. 1981. Environmental exposure pathways and selected samples. Proc. Radioecol. symposium, p. 258-273.
- GREITZ, U., EKMAN, L. & ERIKSSON, Å. 1974. Transfer of simulated fallout particles from pasture to grazing dairy cattle. FOA Rapport C 40005-A3, 31 pp.

- HALFORD, D.K. 1983. Effect of cooking on radionuclide concentrations in waterfowl tissues. Idaho Nat. Engin. Lab. radioecol. and ecol. progr. Progress report pp. 399-402.
- HANDL, J. & KUEHN, W. 1980. I-131 in the biocycle. Status report on radionuclide transport. Bonn pp. 82-88.
- HANSARD, S.L., COMAR, C.L. & PLUMLEE, M.P. 1954. The effect of age upon calcium utilization and maintenance requirements in the bovine. J. Anim. Sci. 13:25.
- HANSON, W.C. 1982. Cs-137 concentrations in northern Alaskan Eskimos 1962-79: effects of ecological, cultural and political factors. Health Phys. 42:4:433-447.
- HEIKKILÄ, T. 1986. Personal communication. Finnish Agr. Res. Centre.
- HILDITCH, T.E. & ROBERTSON, J. 1984. Effect of pretreatment with carbimidazole on early outcome following radio-iodine (I-131) therapy. Eur. J. Nucl. Med. 9: 10: 464-466.
- IL'IN, V.G. 1961. Radiological hygiene evaluation of milk and meat from cows affected by radioiodine. Veterinariya 38: 3: 69.
- & MOSKALEV, Yu. 1957. On the metabolism of cesium, strontium and a mixture of  $\beta$ -emitters in cows. Atomnaya Energiya 2: 163.
- JOKELAINEN, A. 1965. Diet of the Finnish Lapps and its caesium-137 and potassium contents. Acta Agr. Fenn. 103; 148 pp.
- JOHANSSON, L., JONES, B., FANGMARK, I., AHLBERG, M. & BERGMAN, R. 1983. Uptag och retention av radioaktivt rutenium i lunga. FOA rapport E 40002, 18 s.
- JONES, B. 1984. Kärnvapeneffecter på husdjur och livsmedel. Svensk Vet. tidn. 36: 13: 619-626.
- KAHN, B., JONES, I.R., CARTER, M.W., ROBBINS, P.J. & STRAUB, C.P. 1965. J. Dairy Sci. 48: 556-.
- LECHAT, M.F. 1984. Short-term and medium-term health effect of thermonuclear weapons and war on individuals and health services. WHO report pp. 77-100.
- LENGEMANN, F. W. & COMAR, C.L. 1956. The secretion of minerals of milk as studied with radioisotopes. US Atomic Energy Commiss. Report TID-7512, 389-394.
- & SWANSON, E.W. 1957. A study of the secretion of iodine in milk of dairy cows using daily oral doses of I-131. J. Dairy Sci. 40: 216.
- LIDEN, K. 1964. Assessment of radioactivity in man. IAEA, Vienna, Vol. II. p. 33.

- LINDELL, B. 1964. Review of measurements of radioactivity in food, especially dairy milk and a presentation of the 1963 data on Cs-137 and Sr-90. The Radiation Protection Board, Inst. Radiophysics, Sweden.
- LOUTIT, J.F. & RUSSELL, R.S. Eds. 1961. The entry of fission products into food chains. Progr. in Nucl. Energy, Ser. 6. Biol. Sciences Vol. 3. Pergamon Press, London.
- McCLELLAN; R.O., MCKENNEY, J.R. & BUSTARD, L.K. 1962. Dosimetry of Cesium-137 in sheep. Nature, 194: 1145.
- MIETTINEN, J.K. 1987. Elintarviketuotannon suojautumismahdollisuudet radioaktiiviselta laskeumalta. Suomen Maatal. tiet. Seuran seminaari 10.2.87. Helsinki. Esitelmä.
- MILLER, J.K. & SWANSON, E.W. 1963. Some factors affecting iodine secretion in milk. J. Dairy Sci. 46: 927.
- & CRAGLE, R.G. 1963. Effect of feeding thyroxine on secretion of I-131 in milk. J. Dairy Sci. 46: 819.
- MONROE, R.A., WASSERMAN, R.H. & COMAR, C.L. 1961. Comparative behaviour of strontium-calcium and cesium-potassium in the fowl. Am. J. Physiol. 200: 535.
- MOORE, W. Jr. & COMAR, C.L. 1962. Int. J. Radiation Biol. 5: 247.
- NIRS. 1979. Pollution of animal products by radioactive substances. 6. Nat. Inst. Radiol. Sciences seminar, Chiba, Japan 30 Nov.-1 Dec. 1978. pp. 165-179.
- OFTEDAL, P. & LUND, E. 1983. Cancer of the thyroid and I-131 fallout in Norway. IAEA/WHO Symposium Venice, Italy 11-15 April 1983, pp 231-239.
- PREMACHANDRA, B. N. & TURNER, C. W. 1961. Effect of mild hyperthyroidism upon secretion of I-131 in milk of dairy cattle. J. Dairy Sci. 44: 2035.
- RAJAMA, J. & RANTAVAARA, A. 1982. Radioactivity in Finnish cereals from 1962 to 1980. Inst. Radiation Protect., Helsinki STL-A41, 24 pp.
- RANTAVAARA, A. 1984. Radioaktiivinen laskeuma ja sisäinen säteilyannos. In: Ydinaseiden vaikutukset ja valvonta. Ed. Blomqvist ym. STUK, Helsinki 62 s.
- 1985. A brief review of the terrestrial radioecology of artificial fallout in Finland. 4. Nord. radioøkologiseminariet, Gol, Norge, 27 Febr.-1 March 1985, 12 pp.
- RICHMOND, C.R. 1958. Los Alamos Scientific Laboratory, LA-2207.

- RISSANEN, K. & PAAKKOLA, O. 1979. Utsöndring av jod-131 i komjolk, urin och spillning. 2. Nord. Radioøkologiseminar, Helsingør 8-10 Maj 1979. Danmark. 5 s.
- , RANTAVAARA, A. & PAAKKOLA, O. 1981. Transport av cesium-137 via foder till komjolk i Lappland. 6. Nord. Sällskapet för Strålskydd, Nord. möte 18-20 juni, 1981, Reykjavik, 5 s.
- RUNDO, J., MASON, J.L., NEWTON, D. & TAYLOR, B.T. 1963. Biological half-life of caesium in man in acute and chronic exposure. *Nature* 200:188.
- RUWEI, M., YUERU, J. & SONGLING, W. 1985. Study of Cs-137 metabolism in humans. IAEA/WHO symposium Paris 19-23 Nov. 1984, pp. 499-506.
- SALMINEN, K. 1968. Säteilybiologiaa eläinlääkäreille. MMM:n eläinlääkintöosasto, Helsinki, 157 pp.
- SALO, A. 1986. Information exchange after Chernobyl from radiation protection viewpoint, observations on the information flow. IAEA Bull. Autumn 1986, s. 18-22.
- SANSOM, B.F. 1966. The metabolism of caesium-137 in dairy cows. *J. Anim. Sci.* 66: 389-393.
- SCHELENZ, R. 1980. Transfer from vegetation to meat. Status report on radionuclide transfer, Bonn, pp. 146-149.
- SCOTT RUSSELL, R. & BRUCE, R.S. 1969. Environmental contamination with fall-out from nuclear weapons. A review. FAO/IAEA seminar Vienna 24-28 March 1969, pp. 3-13.
- SMITH, V.H. 1959. The removal of internally deposited plutonium. *Health Phys.* 8: 665.
- SNIPES, M.S., HAHN, F.F., MUGGENBURG, B.A., MAUDERLY, J.L., McCLELLAN, R.O. & PICKRELL, J.A. 1984. Toxicity of Sr-90 inhaled in relatively insoluble form by Beagle dogs. *Inhal. Toxic. Res. Inst. ann. report 1983/84*, pp. 196-200.
- SNIPES, M.B., HAHN, F.F., MUGGENBURG, B.A., MAUDERLY, J.L., McCLELLAN, R.O. & PICKRELL, J.A. 1983. Toxicity of Sr-90 inhaled in a relatively insoluble form by Beagle dogs. *Inhal. Toxic. Res. Inst. ann. report 1982/83* pp. 228-231.
- SQUIRE, H.M., MIDDLETON, L.J., SANSOM, B.F. & COID, C.R. 1957. Experiments on the metabolism of certain fission products in dairy cows. UNESCO/NS/RIC report 143, pp. 207-220.
- STANKOVIC, S., BEGOVIC, J., MITROVIC, R. & GLIGORIJEVIC, J.J. 1983. Dynamics of distribution of Cs-137 in externally contaminated egg. *Int. J. Appl. Radiat. Isot.* 34: 5: 813-816.

- STANNARD, J.N. & CASARETT, G.W. 1964. Radiat. Res. Suppl. 5: 398.
- STARA, J.F., NELSON, N.S., DELLA ROSA, R.J. & BUSTARD, L.K. 1971. Comparative metabolism of radionuclides in mammals. A review. Health Phys. 20: 113-137.
- STEENBERG, K. 1959. Secretion of I-131 from a dairy cow after an oral administration of a single dose in aqueous solution. Acta Agr. Scand. 9: 198.
- STEFANOV, B., GEORGIEVA, Ya., NECHEV, Khr. & SHOPOVA, V. 1985. The modifying effect of UV-radiation prior to and following Sr-89 incorporation in laboratory animals. Gig Sanit. Bulgaria, 3: 68-70.
- STEWART, H.F., WARD, G.M. & JOHNSON, J.E. 1965. J. Dairy Sci. 48: 709.
- STOUTJESDIJK, J.F. 1966. The removal of radioactive strontium from milk with columns of  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ . IAEA/FAO seminar Vienna p. 111-.
- SUMERLING, T.J. 1981. In-vivo estimate for the uptake of caesium-137 by cattle grazing contaminated pasture around the Esk and Irt estuaries, Cumbria, UK. Sci. Total Environ. 22:1:39-50.
- SUMERLING, T.J., DODD, N.J. & GREEN, N. 1984. The transfer of strontium-90 and caesium-137 to milk in a dairy herd grazing near a major nuclear installation (Sellafield). The Sci. Total Environ. 34: 57-72.
- SUNDELL-BERGMAN, S. & JOHANSON, K.J. 1983. Effects of I-125-triiodothyronine on mammalian cells. IAEA/WHO symposium Venice, Italy 11-15 April 1983 pp. 191-197.
- SUSUMU, M. 1979. From pasture grass to cattle milk. 7. NIRS seminar environ. res., Anagawa, Chiba, Japan, pp. 82-88.
- 1979. The transfer of radionuclides into domestic animals and their produce. 6. Nat. Inst. Radiol. Sci. seminar, Chiba, Japan 30 Nov.- 1 Dec. 1978, pp. 154-164.
- SZABO, S.A. 1983. Data on the discriminating capacity of bovine organism for Cs-137 that influence the radioactive contamination of milk. Magy Allatorv. Lapja. 38: 5: 277-279.
- SÄTEILYSUOJELUOPAS, 1985. Erityisesti maaseutua ja haja-asutusta varten Suomen väestönsuojelujärjestö. HELSINKI YHTEISKIRJAPAINO OY 46s.

- THORELL, C.B. 1964. Secretion of radioiodine in milk following a single oral administration in the cow. Acta Vet. Scand. 5: 217-223.
- UERL. 1981. Vol. I. Environmental effects on contents of Cs-137 and Sr-90 in milk. Volume II. Appendices. Utah Univ. Environ. Radiat. Lab. Vols. 1-2.
- WAGNER, H. & MIRNA, A. 1981. Transfer factors feed/meat in bovine and pigs. Proc. Radioecol. symposium 15-16 Oct. 1981 Stuttgart pp. 184-196.
- WALTER, H.E. 1966. Pilot plant and commercial-scale development of process for removing radionuclides from milk. IAEA/FAO seminar Vienna, pp. 99-
- WARD, G.M. & JOHNSON, J.E. 1966. Feeding practises as a means of reducing the concentration of Cs-137 fallout in cow's milk. IAEA/FAO seminar Vienna 12-15 July 1966. pp. 211-.
- WASSERMAN, R.H. & COMAR, C.L. 1961. The influence of dietary potassium on retention of chronically ingested cesium-137 in the rat. Radiation Res. 15: 70.
- - & TWARDOCK, A.R. 1962. Metabolic behaviour of Cs-137 Ba-137 m in the lactating goat. Int. J. Radiat. Biol. 4: 299.
- WATSON, E.C., NELSON, I.C., WOOD, D.H., McCLELLAN, R.O. & BUSTARD, L.K. 1963. Health Phys. 9: 1419.
- WESTERLUND, E.A., GJERTSEN, L. & LIND, B. 1980. Cs-137 in Norwegian Lapps spring 1980. Statens Inst. Straalehygiene, Oslo, 21 pp.
- & LIND, B. 1981. Cs-137 in Norwegian Lapps sring 1981. Statens Inst. Straalehygiene, Oslo, 21 pp.
- WILSON, D.W., WARD, G.M. & JOHNSON, J.E. 1969. A quantitative model of the transport of Cs-137 from fallout to milk. FAO/IAEA seminar 24-28 March 1969, Vienna, pp. 125-134.
- ZALABAI, B. & VALLALAT, M. 1983. The radioactivity of meat samples between 1977 and 1982. Atomki Koezl. 25: 3: 193-194.
- ZOTOV, V.G., SIROTKIN, A.N. & ISAMOV, N.N. 1983. Strontium-90 and cesium-137 migration in trophic chain of cattle. Dokl. Vses. Akad. S-kh. Nauk. 11: 31-33.
- ÅBERG, B. 1962 a. Säteilybiologiaa eläinlääkäreille. Kliniska Centrallaboratoriet, Kungl. Veterinärhögskola, Stockholm, Sverige, pp. 19.
- 1962 b. Radioaktiva fissionsprodukter och animaliska födoämnen. Kungl. Skogs- och Lantbruksakad, tidskr. Årg. 101.
- 1963. Renkött och radioaktivitet. Nytt och Nyttigt 4.



## MAATALOUDEN TUTKIMISKESKUKSEN 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 stallqödselns utnyttjande. Litteraturöversikt. 81 p.
7. MULTAMÄKI, K. & KASEVA, A. Kotimaiset lajikkeet. 10 p.
8. LÖFSTRÖM, I. Kasvien sisältämät aineet tuholaistorjunnassa. 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. Jordanalysetmetoder i de nordiska länderna. 13 p.
12. LUOMA, S. & HAKKOLA, H. Avomaan vihanneskasvien lajikekokeiden tuloksia vuosilta 1979-82. 21 p.
13. KIVISAARI, S. & LARPE, 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 kasvisolukkoviljelyn avulla. 63 p.

1984

1. Tiivistelmät eräistä MTK:n julkaisuista 1983. 74 p.
2. ESALA, M. & LARPE, 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 tuorerehunä. 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. & NISÜLA, 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 ammoniakkin 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 säilörehunurmista. p. 21-26.
23. VIRKKUNEN, H., KOMMERI, M., LARPES, 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. Urea, 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. Nurmmikkoheinien ominaisuudet. Kirjallisuustutkimus. Tuloksia punanatojen ja niittynurmikan virallisista nurmikon lajikekokeista vuosilta 1977-84. 48 p.
5. MUSTONEN, L., PULLI, S., RANTANEN, O. & MATTILA, L. Virallisten lajikeko-keiden 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. Hernekaurasta saatava typpilannoitusohyöty. 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. Ayrshörens, 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. Kalkituskokeiden 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 kuluminen nurmikon stressitekijöinä. Kirjallisuuskatsaus. p. 1-30.  
NIEMELÄ, T. Siirtonurmikon kasvatusta ja käyttöä. Kirjallisuuskatsaus. p. 31-42.
  6. LUOMA, S., RAHKO, I. & HAKKOLA, H. Kiinankaalin viljelykokeiden tuloksia 1981-85. 25 p.
  7. MUSTONEN, L., PULLI, S., RANTANEN, O. & MATTILA, L. Virallisten lajikekokeiden tuloksia 1979-1986. 165 p. + 9 liitettä.

9. YLI-PIETILÄ, M., SÄKÖ, J. & KINNANEN, H. Puuvartisten koristekasvien talvehtiminen talvella 1984-85. 38 p.
10. VUORINEN, M. & TAKALA, M. Porkkanan ja punajuurikkaan sadetus, typpilannoitus ja kalkitus poutivalla hiekkamaalla. 30 p.
11. MULTAMÄKI, K. & KASEVA, A. Kotimaiset lajikkeet p. 1-8  
Domestic Varieties p. 9-17.
12. TUOVINEN, T. Omenakääriäisen ennustemenetelmä p. 1-17  
Pihlanmarjakoin ennustemenetelmä p. 18-32.
13. MÄKELÄ, K. Peittauksen vaikutus kotimaisen heinäsiemenen itävyyteen, orastuvuuteen ja sienistöön. 15 p.
14. Osa 1. YLÄRANTA, T. Radioaktiivinen laskeuma ja säteilyvalvonta  
PAASIKALLIO, A. Radionuklidien siirtyminen viljelykasveihin  
62 p.
14. Osa 2. KOSSILA, V. Radionuklidien siirtyminen kotieläimiin ja eläintuotteisiin sekä vaikutukset eläinten terveyteen ja tuotantoon. 109 p.

