



FI000090

STUK-A143

Kesäkuu 2000

Turvesoiden ja polttoturpeen radionuklidit

K. Helariutta¹, A. Rantavaara¹, J. Lehtovaara²

¹ Säteilyturvakeskus, Tutkimus ja ympäristövalvonta, PL 14, 00881 Helsinki

² VAPO Oy, Keskushallinto, Tutkimusosasto, PL 22, 40101 Jyväskylä

31 / 47

3

STUKin raportisarjoissa esitetyt johtopäätökset ovat tekijöiden johtopäätöksiä, eivätkä ne välttämättä edusta Säteilyturvakeskuksen virallista kantaa.

ISBN 951-712-221-7
ISSN 0781-1705

Oy Edita Ab, Helsinki 2000

Myynti:
STUK • Säteilyturvakeskus
PL 14, 00881 Helsinki
Puh. (09) 759881

**Please be aware that all of the Missing Pages in this document were
originally blank pages**

ALKUSANAT

Maaperän paikoitellen suuret luonnon radionuklidipitoisuudet ja turvekerroksissa mahdolliset konsentroivat prosessit voivat aiheuttaa soiden radionuklidijakaumiin huomattavia eroja. Turvesoiden pintakerrokseen on tullut myös radioaktiivista laskeumaa ydinasekokeiden ja Tshernobylin ydinvoimalaitosonnettomuuden seurauksena. Alueellisen vertailun tekemiseen on Suomessa ollut ilmeinen tarve.

Polttoturpeen käytön turvallisuustavoite on määritelty Säteilyturvakeskuksen ST-ohjeessa 12.2. Ohje on annettu säteilylain 592/91-nojalla. Tavoitteen toteutumisesta vastaa toiminnan harjoittaja. Sekä turpeen tuottajat ja käyttäjät että valvonnasta vastaavat viranomaiset tarvitsevat luotettavan kokonaiskuvan turvetuotannon radioaktiivisuustilanteesta.

Tutkimuksen ovat suunnitelleet ja toteuttaneet Säteilyturvakeskuksen (STUK) tutkimusosasto ja Vapo Oy. Näytteet hankki Vapo Oy, jonka laboratoriossa ne myös esikäsiteltiin. Radionuklidimääritykset tehtiin STUKin Ekologia ja elintarvikkeet -laboratoriossa.

Tekijät kiittävät STUKin ja Vapo Oy:n johtoa tutkimukseen annetuista resursseista sekä Imatran Voiman säätiötä apurahasta. Ulkopuolisena asiantuntijana toimi geologi Anu Karessuo Metsäteollisuus ry:stä. Näytteenottosuunnitelman arvioi Vapo Oy:n geologi Veijo Klemetti. STUK:n johtava asiantuntija Mika Markkanen antoi selventäviä kommentteja työn eri vaiheissa, ja hän myös luki raporttiluonnoksen. Käytännön kenttä- ja laboratoriotyöstä vastasivat Vapo Oy:ssä Ari Kiiskinen, Jaakko Selin, Kari Sänkiaho, Marjo Ahonen, ja STUKissa Ulla Välikangas, Ulla-Maija Hanste, Ulla Yli-Arvo, Pertti Okkonen ja Mikael Moring. Hannu Sihvonen avusti raportin viimeistelyssä. Kiitämme teitä kaikkia antoisasta yhteistyöstä. Lisäksi kiitämme lukuisia muita työtovereita, jotka ovat asiantuntemuksellaan tukeneet hankettamme.

HELARIUTTA K, RANTAVAARA A, LEHTOVAARA J. Turvesoiden ja polttoturpeen radionuklidit. (STUK-A143). Helsinki 2000, 58 s.

ISBN 951-712-221-7

ISSN 0781-1705

Avainsanat: Turve, radionuklidit, turvetuhka, säteilysuojelu, interventio, ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{40}K .

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksen tarkoitus oli parantaa kokonaiskuvaa radionuklidien esiintymisestä maassamme tuotetussa polttoturpeessa. Vuoden 1994 turvetuotantoa analysoitiin laajasti. Useiden radionuklidien syvyysjakaumat määritettiin kolmellatoista tuotantokäytössä olevalla ja yhdellä luonnontilaisella suolla. Suokohtaiset tulokset antavat tietoa polttoturpeen radioaktiivisuudesta tulevaisuudessa, kun turpeenosto kohdistuu yhä syvempiin turvekerroksiin. Turvenäytteistä analysoitiin sekä gamma-säteilyä lähettäviä luonnon radionuklideja (^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K) että ydinvoimalaitosonnettomuudesta (1986) ja ydinasekoikeista ympäristöön levinnyttä radioaktiivista cesiumia (^{134}Cs ja ^{137}Cs). Uraanisarjaan kuuluvat lyijyn ja poloniumin beeta- ja alfa-aktiiviset nuklidit ^{210}Pb ja ^{210}Po määritettiin osasta näytteitä. Ne voivat lisätä hengityksen kautta saatavaa säteilyaltistusta vapautuessaan osittain turpeen poltossa savukaasujen mukana ilmakehään.

Luonnon radionuklidien pitoisuudet kasvoivat usein suossa syvemmälle mentäessä, kun taas laskeuman mukana levinnyt radioaktiivinen cesium puuttui syvimmistä turvekerroksista. Luonnontilaisen ja tuotantokäyttöön otettujen soiden pinnassa ^{210}Pb :n ja ^{210}Po :n pitoisuudet olivat suurempia kuin syvemmällä turvekerroksessa. Uraanisarjan nuklidien aktiivisuudet turpeessa eivät yleensä olleet tasapainossa, koska erilaiset ympäristön prosessit muuttavat niiden pitoisuussuhteita. Vuoden 1994 jyrshinturpeen tuhkan käsittelyn ja käytön aiheuttamaa säteilyaltistusta arvioitiin aktiivisuusindeksien avulla. Toimenpideannos ylittyi ^{137}Cs :n takia pienehkössä osassa näytteitä, kun taas luonnon radionuklidien osuus annoksiin oli hyvin pieni.

HELARIUTTA K, RANTAVAARA A, LEHTOVAARA J. Radionuclides in peat bogs and energy peat. (STUK-A143). Helsinki 2000, 58 p.

ISBN 951-712-221-7

ISSN 0781-1705

Key words: Peat, radionuclides, peat ash, radiation protection, intervention, ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{210}Po , ^{137}Cs , ^{134}Cs and ^{40}K .

ABSTRACT

The study was aimed at improving the general view on radionuclides contents in energy peat produced in Finland. The annual harvest of fuel peat in 1994 was studied extensively. Also thirteen peat bogs used for peat production and one bog in natural condition were analysed for vertical distributions of several radionuclides. These distributions demonstrate the future change in radioactivity of energy peat. Both natural nuclides emitting gamma radiation (^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K) and radiocaesium (^{137}Cs , ^{134}Cs) originating in fallout from a nuclear power plant accident (1986) and in atmospheric nuclear weapon tests were analysed. The beta and alpha active natural nuclides of lead and polonium (^{210}Pb , ^{210}Po) were determined on a set of peat samples. These nuclides potentially contribute to radiation exposure through inhalation when partially released to atmosphere during combustion of peat.

The activity concentrations of natural radionuclides often increased towards the deepest peat bog layers whereas the radioactive caesium deposited from atmosphere was missing in the deep layers. In undisturbed surface layers of a natural bog and peat production bogs the contents of ^{210}Pb and ^{210}Po exceeded those of the deeper peat layers. The nuclides of the uranium series in the samples were generally not in radioactive equilibrium, as different environmental processes change their activity ratios in peat. Radiation exposure from handling and utilisation of peat ash was estimated with activity indices derived from the data for energy peat harvested in 1994. Intervention doses were exceeded in a minor selection of samples due to ^{137}Cs , whereas natural radionuclides contributed very little to the doses.

SISÄLLYSLUETTELO

sivu

ALKUSANAT	3
TIIVISTELMÄ	4
ABSTRACT	5
1 JOHDANTO	7
1.1 Suon radionuklidien alkuperä	7
1.2 Aikaisempia aiheeseen liittyviä tutkimuksia	9
1.3 Säteilyaltistuksen rajoittaminen	10
2 AINEISTO JA MENETELMÄT	12
2.1 Näytteenotto ja esikäsittely	12
2.2 Näyteanalyysit	14
2.2.1 Gammaspesktrometriset määritykset	14
2.2.3 ²¹⁰ Po-määrittys	15
2.2.4 ²²⁶ Ra- ja ²¹⁰ Pb-määrittys	16
3 TUTKIMUSTULOKSET	19
3.1 Radionuklidien syvyysjakaumat	19
3.2 Tuotantonäytteet	20
4 TULOSTEN TARKASTELU	22
4.1 Syvyysjakaumat	22
4.2 Tuotantonäytteet	34
4.2.1 Tulosten merkitys säteilyaltistuksen kannalta	38
4.3 Johtopäätökset	40
KIRJALLISUUSVIITTEET	41
TAULUKOT V - VIII	43

1 JOHDANTO

Turve sitoo tehokkaasti erilaisia radionuklideja, joita esiintyy maa- ja kallioperässä, vesistöissä ja ilmakehässä. Ympäristössä on sekä uraanin ja muiden luonnon radioaktiivisten aineiden isotooppeja että ihmisen toiminnan seurauksena vapautuneita keinotekoisia radionuklideja. Kun turvetta käytetään energiantuotantoon, sen sisältämät radionuklidit voivat altistaa säteilylle voimallaisen työntekijöitä, tuhkan käsittelijöitä ja käyttäjiä sekä mahdollisesti väestöä tuhkan hyötykäytön seurauksena. Pääosa turpeen radionuklideista konsentroiduu turvetta poltettaessa tuhkaan. Osa radionuklideista vapautuu polttolaitoksen savukaasujen mukana ilmakehään. Valtaosa tuhkasta päätyy läjitykseen kaatopaikoille tai maantäyttöön, mutta tuhkaa on käytetty tai käytetään myös hyödyksi muun muassa betonin lisäaineena, maisema- ja tienrakennuksessa sekä maanparannusaineena.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on ollut analysoida suoraan turvesoilta otetuista näytteistä radionuklidien pitoisuuksien vaihtelua eri syvyyksillä turvereroksessa. Lisäksi määritettiin vuonna 1994 nostetun jyrshinturpeen radionuklidipitoisuudet tuotantoa edustavista aumanäytteistä. Kyseessä on aikaisempaa perusteellisempi ja laajempi tutkimus suomalaisten soitten turpeen radioaktiivisuudesta. Pitoisuustarkastelujen lisäksi on arvioitu polttoturpeen sisältämien radionuklidien aiheuttamia säteilyannoksia.

1.1 Suon radionuklidien alkuperä

Luonnontilaisen suon turpeessa on radioaktiivisia aineita, jotka ovat kulkeutuneet siihen pohja- ja pintavesien sekä ilmakehän kautta. Luonnon radionuklidit ovat pääasiassa lähtöisin kolmesta radioaktiivisesta hajoamisketjusta, jotka alkavat nuklideista ^{238}U , ^{232}Th ja ^{235}U (taulukko I). Tiettyyn hajoamisketjuun kuuluvat radionuklidit eivät yleensä ole turpeessa radioaktiivisessa tasapainossa erilaisten kemiallisten ominaisuuksiensa takia. Uraanin isotoopeilla on vahva taipumus adsorboitua orgaaniseen materiaaliin. Radiumin isotoopit (uraanin tyttäriä) taas pyrkivät kiinnittymään savimineraaleihin (Fredriksson ym. 1984). Luonnon radioaktiivisissa hajoamissarjoissa oleva alkuaine radon on jalokaasu, joka ei muodosta kemiallisia yhdisteitä ja saattaa kulkeutua turpeesta ilmakehään. Radonin hajoatessa sen tytärnuklidit lyijy, polonium ja vismutti kiinnittyvät ilmakehän hiukkasiin ja palautuvat laskeumana suon pintakerrokseen.

Ydinasekokeista sekä ydinvoimalaitosonnettomuuksista ovat lähtöisin muun muassa pitkäikäiset radionuklidit ^{137}Cs ja ^{90}Sr . Myös osa biosfäärin ^3H :sta ja ^{14}C :stä on ihmisen aiheuttamaa. Ilmakehään vapautuneet radio-isotoopit kulkeutuvat lähtöpaikaltaan kauaskin. Niiden leviäminen ympäristöön vaihtelee paitsi radionuklidien kemiallis-fysikaalisen olomuodon myös kulkeutumisen aikana vallinneiden sääolosuhteiden mukaan.

Radionuklidien kulkeutumiseen ja kiinnittymiseen suossa vaikuttavat niiden kemialliset ominaisuudet sekä suon geologiset, hydrologiset ja geokemialliset olosuhteet. Esimerkiksi uraanin adsorptioon vaikuttavat turpeen läpi valuvan pohjaveden määrä ja nopeus, suossa vallitsevat happamuusolosuhteet ja turpeen rakenne (Suutarinen ym. 1991). Turvetuotanto voi muuttaa suon luonnot-

Taulukko I. Luonnon radioaktiiviset hajoamissarjat ($T_{1/2}$ = puoliintumisaika, H = hajoamistapa).

Uraanisarja			Toriumsarja			Aktiniumsarja		
Aine	$T_{1/2}$	H	Aine	$T_{1/2}$	H	Aine	$T_{1/2}$	H
^{238}U	$4,5 \cdot 10^9$ a	α	^{232}Th	$1,4 \cdot 10^{10}$ a	α	^{235}U	$7 \cdot 10^8$ a	α
^{234}Th	24,1 a	β	^{228}Ra	6,7 a	β	^{231}Th	25,5 h	β
^{234}Pa	1,2 min	β	^{228}Ac	6,13 h	β	^{231}Pa	$3,2 \cdot 10^4$ a	α
^{234}U	$2,5 \cdot 10^5$ a	α	^{228}Th	1,9 a	α	^{227}Ac	21,6 a	β
^{230}Th	$8 \cdot 10^4$ a	α	^{224}Ra	3,64 d	α	^{227}Th	18,2 d	α
^{226}Ra	1622 a	α	^{220}Rn	51,5 s	α	^{223}Ra	11,4 d	α
^{222}Rn	3,8 d	α	^{216}Po	0,158 s	α	^{219}Rn	4 s	α
^{218}Po	3 min	α	^{212}Pb	10,64 h	β	^{215}Po	$1,8 \cdot 10^{-3}$ s	α
^{214}Pb	26,8 min	β	^{212}Bi	60,5 min	$1/3\alpha$	^{211}Pb	36,1 min	β
^{214}Bi	19,7 min	β			$2/3\beta$	^{211}Bi	2,15 min	α
^{214}Po	164 μs	α	^{212}Po	$3 \cdot 10^{-7}$ s	α	^{207}Tl	4,79 min	β
^{210}Pb	22,3 a	β	^{208}Tl	3,1 min	β	^{207}Pb	stabiili	
^{210}Bi	5 d	β	^{208}Pb	stabiili				
^{210}Po	138,4 d	α	^{206}Pb	stabiili				

lisiä geokemiallisia olosuhteita, jolloin suohon sitoutuneet aineet voivat vapautua uudelleen ympäristön ainekiertoon. Esimerkiksi uraani sitoutuu turpeeseen pelkistävässä olosuhteissa. Jos turpeennoston yhteydessä uraanipitoinen turvekerros joutuu ilman kanssa yhteyteen, uraani hapettuu ja rupeaa vapautumaan.

Radionuklidien pitoisuudet vaihtelevat paljon samallakin suolla sekä pystyettä vaakasuunnassa. Aikaisempien tutkimusten mukaan (Fredriksson ym. 1984) suurimmat radionuklidipitoisuudet on löydetty suon pohja- ja reunaosista. Tshernobylin ydinvoimalaitosonnettomuuden jälkeen soiden pintakerroksissa on ollut merkittäviä määriä keinotekoisia radionuklideja.

1.2 Aikaisempia aiheeseen liittyviä tutkimuksia

Tähän mennessä laajimmassa suomalaisen turpeen radioaktiivisuuden tutkimuksessa (Lehtovaara ym. 1989) on analysoitu energian tuotantoon toimitettua jyrshinturvetta kuukausi- ja suokohtaisista kokoomanäytteistä. Näytteet kerättiin Imatran Voima Oy:n voimalaitoksilla Jyväskylässä ja Joensuussa lokakuun 1986 ja elokuun 1987 välisenä aikana. Näytteistä määritettiin gammaspektrometrisesti ^{238}U , ^{226}Ra , ^{228}Th , ^{228}Ra ja ^{232}Th .

Muut suomalaiset turvetutkimukset ovat kohdistuneet lähinnä uraaniin ja Tshernobylin ydinvoimalaitosonnettomuuden laskeumanuklideihin. Uraania on tutkittu myös Palmartun luonnonanalogiprojektin yhteydessä (Suutarinen ym. 1991) sekä Teknillisen Korkeakoulun kemian osastolla (Yliruokanen 1980). Mittauksissa on käytetty gammaspektrometriaa, alfaspektrometriaa sekä röntgenfluoresenssispektroskopiaa (XRF). Näiden tutkimusten tarkoituksena on ollut selvittää uraanin käyttäytymistä biosfäärissä (Palmartun luonnonanalogiprojekti) tai uraaniesiintymien paikantamista kaupallista tai muuta käyttöä varten. Laskeumanuklideja (^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{144}Ce , ^{141}Ce , ^{106}Ru , ^{103}Ru , ^{125}Sb , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{95}Zr) on tutkittu erityisesti voimalaitoksissa. Tällöin on mitattu turvepolttoaineen sekä turpeen poltossa syntyvän tuhkan radioaktiivisuutta ja käytetty näitä tietoja turvetuhkan käytöstä aiheutuvan säteilyaltistuksen arviointiin (Mustonen ym. 1989). Myös eri laskeumanuklidien käyttäytymistä polttoprosessissa on tutkittu (Jantunen 1992).

Ruotsissa on tehty tutkimus radionuklidien jakaumasta muutamalla suolla (Fredriksson ym. 1984). Suot oli valittu niiden erityisen suurten radionukliidi-

pitoisuuksien perusteella. Tutkimuksessa suo oli jaettu 100-200 metrin ruudukoksi ja ruutujen kulumista otettu syvyysprofiilinäytteet, jotka oli edelleen jaettu metrin paksuisiksi viipaleiksi. Näytteistä mitattiin XRF:lla ja ICP:lla (Induced Coupled Plasma) uraanin ja toriumin pitoisuudet (ppm). Tämän lisäksi määritettiin gammaspektrometrisesti ^{235}U , ^{226}Ra , ^{228}Ac , ^{40}K ja ^{137}Cs . Näytteistä erotettiin kemiallisesti ^{238}U , ^{234}U , ^{210}Po , ^{228}Th , ^{230}Th ja ^{232}Th , jotka mitattiin alfa-spektrometrisesti.

Toinen melko perusteellinen ruotsalainen tutkimus koskee paitsi turpeen, myös turvevoimalaitoksen tuottaman tuhkan radioaktiivisuutta (Hedvall ym. 1992). Näytteinä oli turvepolttoainetta sekä turvetuhkaa polttolaitoksen eri osista. Tuhkan radioaktiivisuusmittauksilla selvitettiin poltto-olosuhteiden, tuhkan hiukkaskoon ja nuklidien kemiallisten ominaisuuksien vaikutusta radioisotooppien rikastumiseen polttolaitteiston eri osiin. Lisäksi arvioitiin laitoksen lähellä asuvien sekä laitoksen työntekijöiden saamia säteilyannoksia annosmittausten ja -laskelmien avulla.

1.3 Säteilyaltistuksen rajoittaminen

Säteilyturvallisuusohjeessa 12.2, "Rakennusmateriaalien, polttoturpeen ja turvetuhkan radioaktiivisuus" esitetään turvallisuustavoitteet kyseisten materiaalien radioaktiivisuudesta aiheutuvan säteilyaltistuksen rajoittamiseksi (ST 12.2). Polttoturpeen tai turvetuhkan käsittelystä työntekijöille aiheutuva efektiivinen annos saa olla enintään 1 mSv vuodessa. Turvetuhkan läjityksistä, maantäytöstä ja maisemoinnista johtuva, turvetuhkan gammasäteilyn aiheuttama efektiivisen annoksen lisäys saa olla enintään 0,1 mSv vuodessa. Turvallisuustavoitteiden toteutumisen arvioinnissa käytetään ST-ohjeessa 12.2 määriteltyjä aktiivisuusindeksejä, jotka lasketaan eri toiminnoille materiaaleista mitattujen tiettyjen radionuklidien aktiivisuuspitoisuuksista. Jos aktiivisuusindeksin arvo on suurempi kuin yksi, materiaalin käyttäjän on osoitettava selvityksin, että ST-ohjeessa asetetut kyseisen toiminnan turvallisuustavoitteet saavutetaan (Säteilylaki 592/1991 §45). Indeksit polttoturpeen ja turvetuhkan käsittelylle (I_4) sekä maantäyttöön ja maisemarakentamiseen käytettäville materiaaleille (I_5) on määritelty kaavoilla

$$I_3 = \frac{C_{Th}}{1500} + \frac{C_{Ra}}{2000} + \frac{C_K}{20000} + \frac{C_{Cs}}{5000}$$

$$I_4 = \frac{C_{Th}}{3000} + \frac{C_{Ra}}{4000} + \frac{C_K}{50000} + \frac{C_{Cs}}{10000}$$

jossa C_{Th} , C_{Ra} , C_K ja C_{Cs} ovat ^{232}Th :n, ^{226}Ra :n, ^{40}K :n ja ^{137}Cs :n aktiivisuuspitoisuudet kuivassa tuhassa yksiköissä Bq/kg.

Talonrakennustuotantoon kelpaavat valmiit materiaalit määräytyvät aktiivisuusindeksin I_1 , ja katujen, teiden sekä vastaavien rakentamiseen indeksin I_2 perusteella.

$$I_1 = \frac{C_{Th}}{200} + \frac{C_{Ra}}{300} + \frac{C_K}{3000}$$

$$I_2 = \frac{C_{Th}}{500} + \frac{C_{Ra}}{700} + \frac{C_K}{8000} + \frac{C_{Cs}}{2000}$$

ST-ohjeen mukaan kunkin toiminnan harjoittaja vastaa omalta osaltaan siitä, että turpeen ja siitä syntyvän tuotteen käytössä ja käsittelyssä säteilyturvallisuusnäkökohdat otetaan huomioon ja että tarvittavat mittaukset ja selvitykset tehdään.

2 AINEISTO JA MENETELMÄT

2.1 Näytteenotto ja esikäsittely

Näytteenoton tavoitteena oli saada mahdollisimman kattava alueellinen tieto erityisesti luonnon radionuklidien pitoisuuksista turpeessa eri puolilla maata. Valintaperusteina käytettiin sekä suon sijaintia että sen merkittävyyttä turvetuotannon kannalta (tuotantopinta-ala ja tuotantomäärä). Lisäksi valinnassa käytettiin taustatietoina GTK:n julkaiseman Suomen Geokemian Atlaksen osien I ja II moreeni- ja porakaivovesikarttoja U, Th ja K (Lahermo ym. 1990, Koljonen, toim. 1992) sekä aikaisempia tutkimuksia turpeen sisältämistä luonnon radionuklideista (Yliruokanen 1980, Lehtovaara ym. 1989).

Näytteenotto jaettiin kahteen osaan: soiden syvyysprofiilinäytteisiin, joilla selvitettiin radionuklidien pitoisuuksien muuttumisesta tuotannon edetessä syvempiin turvekerroksiin, sekä kesän 1994 tuotantonäytteisiin, joilla kartoitettiin vallitseva tilanne.

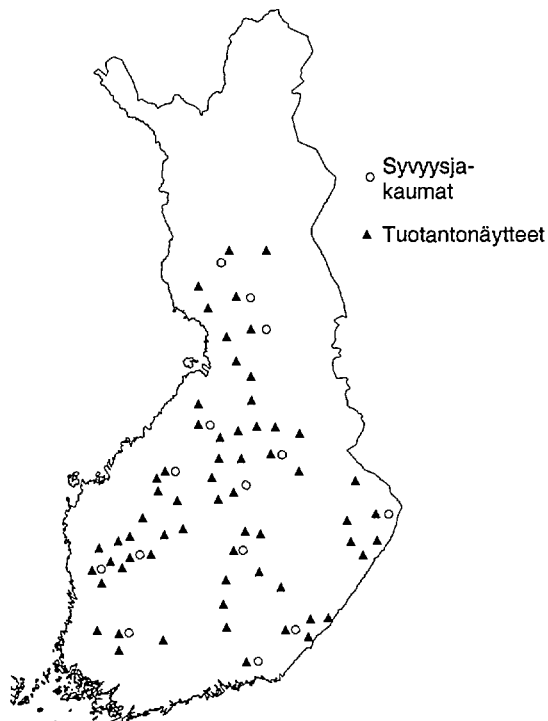
Syvyysprofiilikohteiksi valittiin 14 suota eri puolilta maata (kuva 1). Näytteet otettiin kairaamalla suon pinnasta pohjaan asti; pintaosat sylinterikairalla (halkaisija 10 cm) ja syvemmät osat ns. isolla venäläiskairalla (puolisylinterin halkaisija 10 cm ja näytepituus 50 cm). Näyteprofiilit jaettiin analysointia varten aluksi 10 cm:n ja myöhemmin mittausteknisistä syistä 25 cm:n viipaleiksi koko syvyydeltä tai ensimmäinen puoli metriä 25 cm:n ja loppuosaa 50 cm:n leikkeiksi.

Näytteistä määritettiin kenttätyönä turvelaji ja maatumisaste (von Post; Laine ym. 1990) syvyysjaksoittain sekä kirjattiin arvio siitä, kuinka paksultti turvetta oli poistunut aikaisempina vuosina turpeennoston yhteydessä. Tämän jälkeen näytteet kuivattiin lämpökaapissa (+105 °C, 48 h), jauhettiin hiukkaskokoon alle 1 mm (Retsch SM1/SK1) ja lähetettiin mitattaviksi.

Kesän 1994 tuotantonäytteiksi otettiin ainoastaan jyrsinpolttoturvetta, jonka tuotanto-osuus koko energiaturvemäärästä on noin 90 %. Näytteet koottiin kaikkiaan 68 suolta (kuva 1) kesän 1994 aikana tuotetuista aumoista, jotka edustivat turvemäärältään 7,6 milj. m³ ja tuotantopinta-alaltaan 15100 ha. Näytteenoton kohteena oli siten 37 % Vapo Oy:n jyrsinpolttoturpeen tuotan-

tomäärästä ja 43 % vastaavasta tuotantopinta-alasta 1994 (Vapo Oy:n osuus koko Suomen turvetuotannosta oli vuonna 1994 noin 90 %).

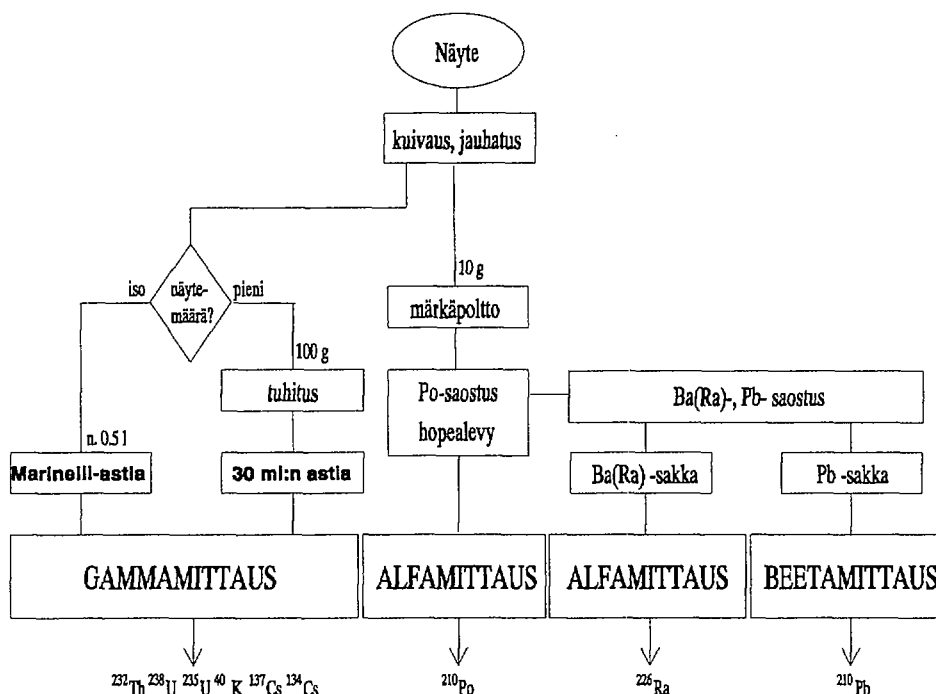
Suokohtaiset tuotantonäytteet muodostettiin kunkin auman turvemäärällä (m^3) painottaen aumakohtaisista kokoomanäytteistä, jotka oli yhdistetty aumoista kairaamalla otetuista kosteusnäytteistä. Kairauspisteitä aumaa kohden oli keskimäärin 8 kpl, vaihdellen 4 - 10 kpl auman koosta riippuen. Kairausvyvyys oli enintään 8 m, ja näytteitä kairauspistettä kohden 5 - 6 kpl edustaen koko kairausvyvyttä. Muodostetut koostenäytteet sekoitettiin huolellisesti sekoittimella (JNS-10) ja jauhettiin alle 1 mm hiukkaskokoon. Lisäksi jokaisesta näytteestä määritettiin tuhkapitoisuus kuiva-aineessa (ISO 1171/DIN 51719). Suokohtaisina tietoina rekisteröitiin näytteiden edustamien aumojen lisäksi vastaava tuotantopinta-ala ja jäljellä olevan turvekerroksen keskimääräinen paksuus.



Kuva 1. Näyteenottopaikkakunnat.

2.2 Näyteanalyysit

Turvenäytteiden esikäsittelyn ja radionuklidimäärittysten suorittamista havainnollistaa kuva 2.



Kuva 2. Näyteanalyysin kulku.

2.2.1 Gammaskpektrometriset määritykset

Eri nuklidien aktiivisuudet saatiin joko suoraan niiden omista gammasiirtymistä tai tytärnuklidin gammasiirtymistä olettamalla emo- ja tytärnuklidin olevan tasapainossa keskenään (Markkanen 1988). ^{238}U :n oletettiin olevan tasapainossa tyttärensä ^{234}Pa :n kanssa, jolloin ^{238}U :n aktiivisuus määritettiin ^{234}Pa :n 1001,0 keV:n gammasiirtymästä. ^{235}U :n aktiivisuus määritettiin sen omasta 185,7 keV:n gammasiirtymästä. Koska ^{226}Ra :n gammasiirtymä on 186,0 keV, oli ^{226}Ra :n osuus vähennettävä mitatun gammahuipun kokonaisimpulssi-

määrästä. ^{232}Th määritettiin kahden tytärnuklidinsa ^{208}Tl :n ja ^{228}Ac :n gamma-siirtymistä, joiden energiat ovat 583,4 keV ja 911,1 keV. Tällöin oletettiin ^{208}Tl :n ja ^{228}Ac :n olevan tasapainossa emonuklidinsa kanssa. Muiden gamma-spektrometrisesti määritettyjen nuklidien aktiivisuudet saatiin suoraan niiden omista gammasiirtymistä.

Jos näytemäärä oli tarpeeksi suuri (noin 0,5 l), mittaukseen käytettiin 0,5 litran Marinelli-astiaa, johon kuivattu ja jauhettu näyte annosteltiin suoraan. Jos näytemäärä oli pieni, yhdisteltiin syvyysprofiilin peräkkäisiä leikkeitä, kunnes näytettä saatiin marinellin täyttämiseen tarvittava määrä. Vertailumittaukset osoittivat, että alle 450°C:ssa tuhitetun turpeen gammamittaus tuotti yhtenäisiä tuloksia kuivattujen näytteiden mittaustulosten kanssa. Marinelli-astiaan liian pienien näyte-erien osalta päädyttiin käytäntöön, jossa noin 100 g näytettä tuhitettiin, ja syntynyt tuhka mitattiin 30 cm³:n sylinterimäisissä astioissa, joiden halkaisija oli 42 mm. Näin välttyttiin aikaavievältä yhdistelytyöltä ja syvyysprofiilin jako pysyi tiheämpänä ja tasavälisenä. Näytteitä mitattiin vähintään noin 1000 minuuttia. Tällöin saatiin määritettyä nuklidit, joiden määritysrajat on esitetty taulukossa II.

2.2.3 ^{210}Po -määritys

^{210}Po :n alfahajoamisessa vapautuu vain alfasäteilyä ($E_\alpha = 5,304 \text{ MeV}$) ja tytärnuklidi on stabiili ^{206}Pb , joten ^{210}Po :tä ei voida määrittää gammaspektrometrisesti. Tämän vuoksi ^{210}Po määritettiin saostamalla se laimeasta suolahappoliuoksesta spontaanisti hopealevylle ja mittaamalla hopealevy alfaspektrometrisesti (Figgins 1961). Määrityksen tehokkuuskalibrointiin käytettiin alfa-aktiivista merkkiainetta ^{208}Po ($E_\alpha = 5,115 \text{ MeV}$) tai ^{209}Po ($E_\alpha = 4,881$).

Taulukko II. Gamm-spektrometrisesti määritetyt nuklidit.

Radionuklidi	Määritysraja
^{238}U	20-25 Bq/kg
^{235}U	1 Bq/kg
^{232}Th	1 Bq/kg
^{40}K	4 Bq/kg
^{137}Cs	0,3 Bq/kg
^{134}Cs	0,1 Bq/kg

Saostusta varten turvenäyte saatettiin liuosmuotoon märkäpoltolla, jossa kuivatun ja jauhetun turvenäytteen (10 g) orgaaninen aines hajotettiin väkevässä typpi- ja suolahapossa kuumentuen.

2.2.4 ^{226}Ra - ja ^{210}Pb -määritys

^{226}Ra :n gammaspektrometrinen määritys turvenäytteestä perustuu aktiivisuustasapainossa olevien ^{222}Rn :n tytärnuklidien gammasiirtymien mittaamiseen. Määritys edellyttää tiiviitä mittaustasastioita, joiden sisällä ^{222}Rn pysyy ja voi saavuttaa aktiivisuustasapainon emonuklidinsa kanssa. Epävarmuustekijät tunnistettiin ja kehitettiin lisäksi nestetuikelaskentaan perustuva menetelmä. Myös toisen uraanisarjan pitkäikäisen nuklidin, ^{210}Pb :n gammaspektrometrinen mittaustulos tuottaa vaikeuksia, koska sen gammasiirtymä on erittäin matalaenerginen, 47 keV. Kyseisellä energia-alueella gammaspektrometrin ilmaisimen kalibrointi on epätarkka, ja tuloksen korjaaminen näytteen itseabsorption suhteen on työlästä. Tämän vuoksi myös ^{210}Pb :lle kehitettiin radiokemiallinen määritysmenetelmä.

^{226}Ra :n ja ^{210}Pb :n määrittäminen perustuu niiden kemialliseen erotukseen ^{210}Po -saostuksesta jääneestä liuoksesta, johon lisättiin 32 mg lyijy- ja 30 mg bariumkantajaa (Lebecka ym. 1993). Ra ja Pb saostettiin sulfaatteina kahdeksi eri sakaksi, ja sakat mitattiin alhaistaustaisella nestetuikelaskurilla Wallac 1220 Quantulus, joka kykenee alfa- ja beetasignaalien erotteluun. Mittauksissa käytettiin veden kanssa geelin muodostavaa tukeainetta Lumagel Safe, jonka alfa- ja beetahiukkasten erottelukyky on kohtuullinen. Lyijymittauksissa käytettiin tavallisia nestetuikelaskuriin tarkoitettuja 20 ml:n polyetyleenipulloja, mutta radiummittauksiin valittiin teflonoitu 20 ml:n PE-pullo ja foliosisusteininen korkki, koska tämän yhdistelmän on todettu pitävän ^{222}Rn :in hyvin sisälään (Salonen 1992). Tällöin ^{226}Ra -aktiivisuus voidaan määrittää käyttämällä sen oman alfaemission lisäksi hyväksi radonin ja sen lyhytikäisten tytärnuklidien alfasäteilyä.

Ennen nestetuikemittausta näytteitä seisotettiin noin kuukausi, jotta mitauspurkkeihin näytteenvalmistuksen yhteydessä mahdollisesti joutunut ^{222}Rn ehtisi hajota. Seisotusaikana ^{210}Pb :n tytär ^{210}Bi ja ^{226}Ra :n tyttäret ^{222}Rn , ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi ja ^{214}Po kasvoivat likipitään tasapainoon emonuklidinsa kanssa. Radiumnäytteessä mahdollisesti oleva toriumsarjan ^{224}Ra oli seisotusaikana hajoanut. Mittaustuloksia käsiteltäessä ^{226}Ra :n ja ^{210}Pb :n tytärnuklidien sisäänkasvuaste otettiin laskennallisesti huomioon.

Lyijy 210:n ja radium 226:n aktiivisuuspitoisuudet laskettiin kaavalla

$$A = \frac{C - B}{60 \times m \times E \times S \times (1 + skk)}$$

jossa

C = laskentataajuus valitussa energiaikkunassa (impulssia/ minuutti); lyijy-
mittauksissa käytettiin beetaspektrin koko energia-alueita, radiummittauk-
sessa alfaspektrin energia-alueita, jolla sijaitsevat ^{226}Ra :n, ^{222}Rn :n, ^{218}Po :n ja
 ^{214}Po :n alfasiirtymät (4,78-7,69 MeV),

B = taustasäteilyn intensiteetti (impulssia/ minuutti),

m = käsittelyyn otetun kuivan turvemäärän alkuperäinen massa (kg),

E = mittaustehokkuus,

S = kemiallisen käsittelyn saalisuus,

skk = sisäänkasvukerroin, laskettuna ^{210}Pb -näytteille ja ^{226}Ra -näytteille kaa-
voista

$$skk(\text{Pb}) = 1 - e^{-\frac{\ln 2 \times t}{T_{1/2, \text{Bi}-210}}}$$

$$skk(\text{Ra}) = 3 \times (1 - e^{-\frac{\ln 2 \times t}{T_{1/2, \text{Rn}-222}}})$$

joissa

t = seisotusaika,

$T_{1/2, \text{Bi}-210}$ = ^{210}Bi :n puoliintumisaika ja

$T_{1/2, \text{Rn}-222}$ = ^{222}Rn :n puoliintumisaika.

Saalisprosentti määritettiin ottamalla nestetuikemittauspurkkiin siirtämisen yhteydessä osa $\text{Ba}(\text{Ra})\text{SO}_4$ - ja PbSO_4 -sakoista erilleen kvantitatiivisesti. Nämä sakat liuotettiin, ja barium ja lyijy määritettiin liekillisellä atomiabsorptio-
spektrofotometrillä (Perkin-Elmer 1100B). Sakkojen lyijy- ja barium-
pitoisuuksista laskettiin edelleen nestetuikemittauspurkkiin siirrettyjen
 PbSO_4 - ja $\text{Ba}(\text{Ra})\text{SO}_4$ -sakkojen sisältämät lyijyn ja bariumin määrät sekä
osuudet lisätyistä kantaja-alkuaineiden määristä eli saalisosuudet S .

Kantaja-alkuaineita on polttoturpeessa luonnostaan (Ba) tai ympäristöpäästöjen takia (Pb). Kotimaisessa polttoturpeessa on tehtyjen tutkimusten mukaan kuiva-ainekiloa kohden lyijyä keskimäärin 4,6 - 5,3 mg (Siltaloppi ym. 1992 & Vapo Oy:n sisäistä tutkimusaineistoa vuosilta 1992-94) ja bariumia 30-60 mg (Peuravuori ym. 1988, Pohjola ym. 1983). Turpeen oma lyijypitoisuus ei häiritse saalismäärittystä, ja mahdollinen bariumpitoisuuden virhe jää pieneksi.

3 TUTKIMUSTULOKSET

Näytekohtaiset kaikkien määritettyjen nuklidien aktiivisuuspitoisuudet ovat taulukoissa V-VIII. ^{226}Ra :lle on ilmoitettu sekä gammaspektrometrisesti että nestetuikemenetelmällä saadut tulokset. Gammaspektrometristen tulosten mittaasepävarmuus on ilmoitettua suurempi, koska mahdollisesti nolasta poikkeavaa radonin emanaatiotekijää ei tunneta. Havainnot on otettu mukaan raporttiin indikoimaan ^{226}Ra -tilannetta, koska mittaukset kattavat koko näyteaineiston. Polonium 210:n aktiivisuuspitoisuudet (taulukot VI ja VII) on korjattu radioaktiivisen hajoamisen suhteen siihen ajankohtaan, jolloin ^{210}Po erotettiin näyteanalyysissä emonuklidistaan ^{210}Pb :stä.

3.1 Radionuklidien syvyysjakaumat

Syvyysprofileja analysoitiin 31 kpl kaikkiaan 14 suolta: Läyniönsuolta neljä, Haukkasuolta kolme ja muilta kaksi profiilia. Yksittäiset leikkeet olivat 20 - 100 cm paksuja, keskipaksuus 46 cm. Näistä kertyi yhteensä 119 näytettä.

Kaikki näytteet mitattiin gammaspektrometrisesti. Tämän lisäksi jokaiselta suolta valittiin 1-2 syvyysprofiilia, joihin kuuluvat näytteet hajoitettiin märkäpoltolla. Näytteistä määritettiin ^{210}Po , ^{210}Pb ja ^{226}Ra . Radiokemiallisesti analysoitiin lähes 70 näytettä.

Taulukkoon III on koottu eri nuklidien aktiivisuuspitoisuuksien keskiarvot ja maksimit sekä syvyys, jossa maksimi on saavutettu. Syvyys tarkoittaa tässä näyteleikkeen syvyyttä, johon on lisätty arvioitu kulutetun turvekerroksen paksuus. Taulukossa on annettu myös näytteiden kokonaisaktiivisuuksien maksimi- ja keskiarvot. Profiilinäytteiden kaikki määritystulokset on esitetty taulukoissa V ja VI.

Taulukko III. Syvyysjakaumien määrittämiseen kuuluneiden turvenäytteiden aktiivisuuspitoisuuden keskiarvot ja maksimit nuklideittain kuivapainoa kohden, sekä maksimiarvojen paikka-, syvyys- ja turvetiedot. Nuklidin nimen jäljessä on sulussa mitattujen näytteiden lukumäärä. Tunniste γ viittaa gamma-spektrometriseen määrittämiseen ja q nestetuikemenetelmään.

	^{232}Th (119)	^{238}U (119)	^{235}U (119)	^{40}K (119)	^{137}Cs (119)
Keskiarvo [Bq/kg]	5,6	11	0,6	13	16
Maksimi [Bq/kg]	31	140	7,0	213	622
•Suo	Haukkasuo	Läyniönsuo	Läyniönsuo	Suursuo	Satamakeidas
•Syvyys	400-450 cm	160-220 cm	160-220 cm	300-385 cm	50-75 cm
•Turvelaji	EQC	NC	NC	LCS	S
•Maatuneisuus	H4	H4	H4	H6	H3
	^{134}Cs (119)	^{226}Ra - (n=119, γ)	^{210}Pb (61)	^{210}Po (66)	^{226}Ra (52,q)
Keskiarvo [Bq/kg]	0,6	5,7	13	9,4	6,7
Maksimi [Bq/kg]	29	35	190	200	34
•Suo	Satamakeidas	Arkuinsuo	Näätäapa	Näätäapa	Haukkasuo
•Syvyys	50-75 cm	250-310 cm	0-25 cm	0-25 cm	350-450 cm
•Turvelaji	S	C,LC	C	C	EQC
•Maatuneisuus	H3	H4	H4	H4	H4

3.2 Tuotantonäytteet

Vuoden 1994 jyrshinturvetuotannosta kerättiin kokoomanäytteitä kattavasti eri puolilta Suomea yhteensä 68 suolta. Suurin osa näytteistä mitattiin pelkästään gammaspektrometrisesti (taulukko VII). Kemiallisia erotuksia tehtiin 20 näytteestä ^{226}Ra :n, ^{210}Pb :n ja ^{210}Po :n määrittämiseksi (taulukko VIII). Eri nuklidien keskiarvo- ja maksimipitoisuudet, sekä suo ja vanhan läänijaon mukai-

sesti lääni, jossa maksimi on saavutettu, on esitetty taulukossa IV. Näytekohtaiset ^{226}Ra -aktiivisuudet on ilmoitettu taulukossa VII gammaspektrometrinen mittausten mukaisina.

Taulukko IV. Jyrsinturvenäytteistä määritettyjen nuklidien aktiivisuuksien keskiarvopitoisuudet ja maksimit kuivapainoa kohti, sekä maksimipitoisuuksien paikkatiedot. Nuklidin nimen jäljessä on suluisissa mitattujen näytteiden lukumäärä. Tunniste γ tarkoittaa gammaspektrometristä määrittystä.

	^{232}Th (68)	^{238}U (68)	^{235}U (68)	^{40}K (68)	^{137}Cs (68)	
Keskiarvo [Bq/kg]	3,3	4,9	0,3	16	46	
Maksimi [Bq/kg]	14	51	2,2	52	620	
Suo	Arkkuisuo	Väärälammensuo	Arkkuisuo	Ulpasuo	Pollarinneva	
Lääni	Turun ja Porin	Hämeen	Turun ja Porin	Vaasan	Vaasan	
	^{134}Cs (68)	^{226}Ra (68, γ)	-	^{210}Pb (18)	^{210}Po (19)	^{226}Ra (13,q)
Keskiarvo [Bq/kg]	1,7	4,6		34	16	9,0
Maksimi [Bq/kg]	25	18		63	37	18
•Suo	Pollarinneva	Arkkuisuo		Lusikkasuo	Lusikkasuo	Itäsuo
•Lääni	Vaasan	Turun ja Porin		Pohjois-Karjalan	Pohjois-Karjalan	Oulun

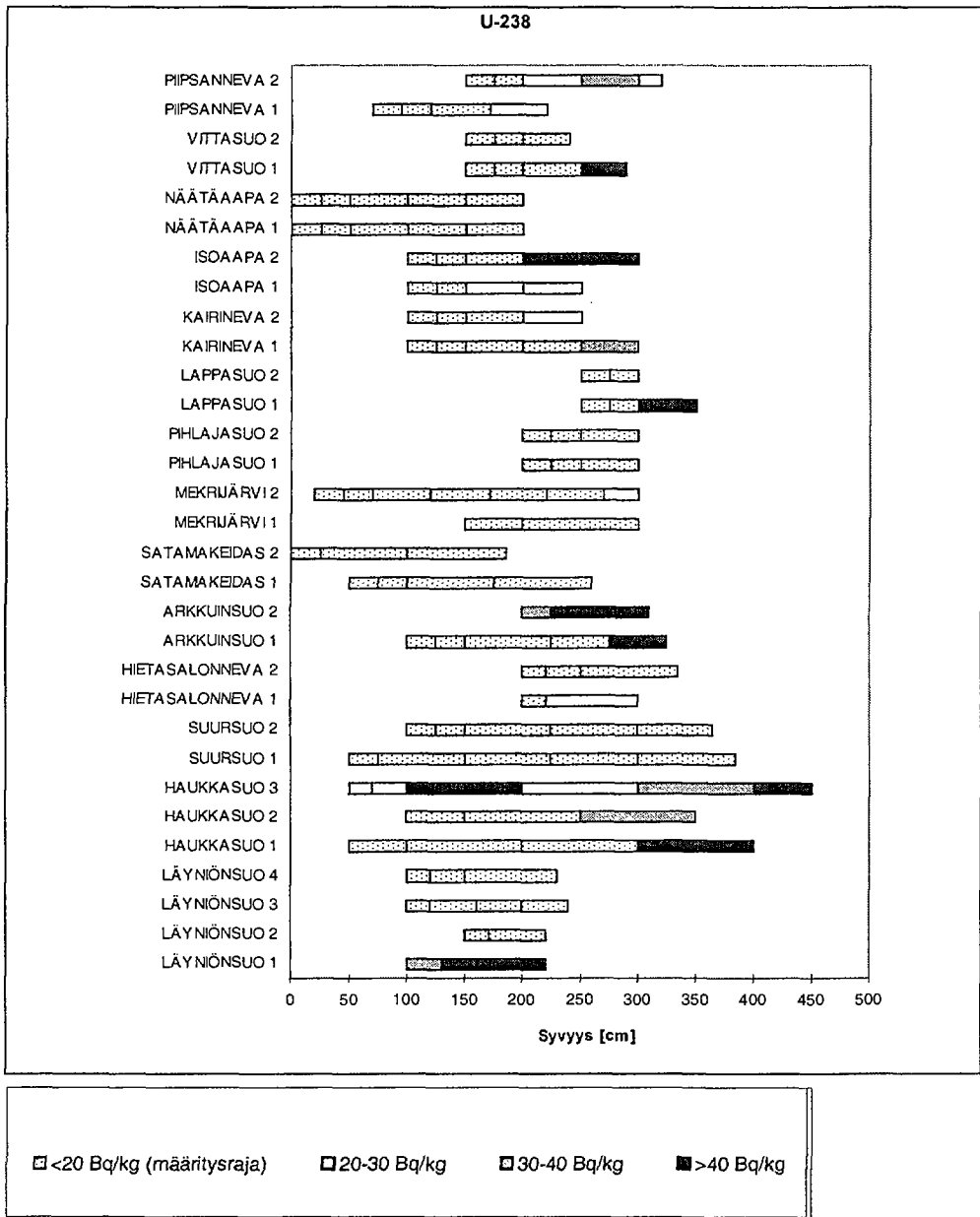
4 TULOSTEN TARKASTELU

4.1 Syvyysjakaumat

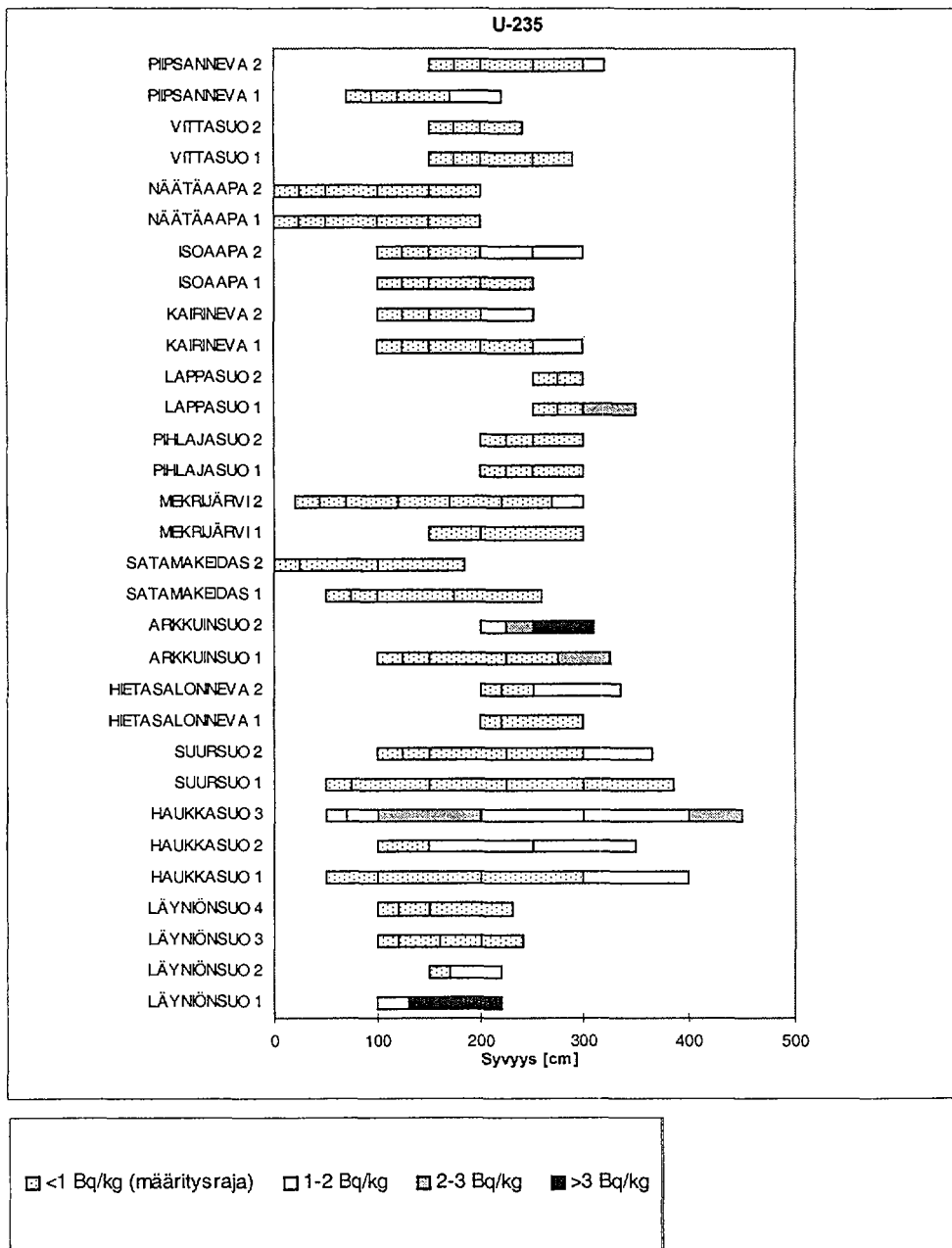
Syvyysprofiilinäytteiden nuklidijakaumia tarkasteltiin syvyyden funktiona. Syvyys tarkoittaa tämän kappaleen tarkasteluissa näytteenottosyvyyttä, johon on lisätty arvioitu poistetun turvekerroksen paksuus. Profiilinäytteiden nuklidijakaumat noudattivat aikaisemmissa tutkimuksissa havaittua: luonnonnuklidien ^{232}Th , ^{238}U , ^{235}U pitoisuudet kasvoivat syvemmälle mentäessä kun taas keinotekoiset laskeumanuklidien ^{137}Cs ja ^{134}Cs pitoisuudet olivat selvästi suurimmillaan pintakerroksissa. ^{40}K -pitoisuudet olivat melko riippumattomia syvyydestä, tosin muutamat saavutetut huippuarvot löytyivät profiilien pohjimmaisista leikkeistä. Uraanisarjan loppupään nuklidien ^{210}Pb ja ^{210}Po pitoisuudet olivat suurimmillaan pintakerroksissa, koska ne radonista synnyttyään palaavat maahan luonnollisena laskeumana. Toisaalta pitoisuudet kasvoivat taas kohti syvempiä kerroksia. Tämä kertonee radonin pidättymisestä syvempiin maakerroksiin. Kuvissa 3 - 11 on esitetty eri nuklidien aktiivisuuspitoisuuksien suuruusluokat eri syvyyksillä suon turvekerroksessa.

Kuvissa 12 - 14 on esitetty kolmelta suolta valitut, muihin kohteisiin verrattuna suurehkoja radionuklidipitoisuuksia sisältäneet syvyysjakaumat.

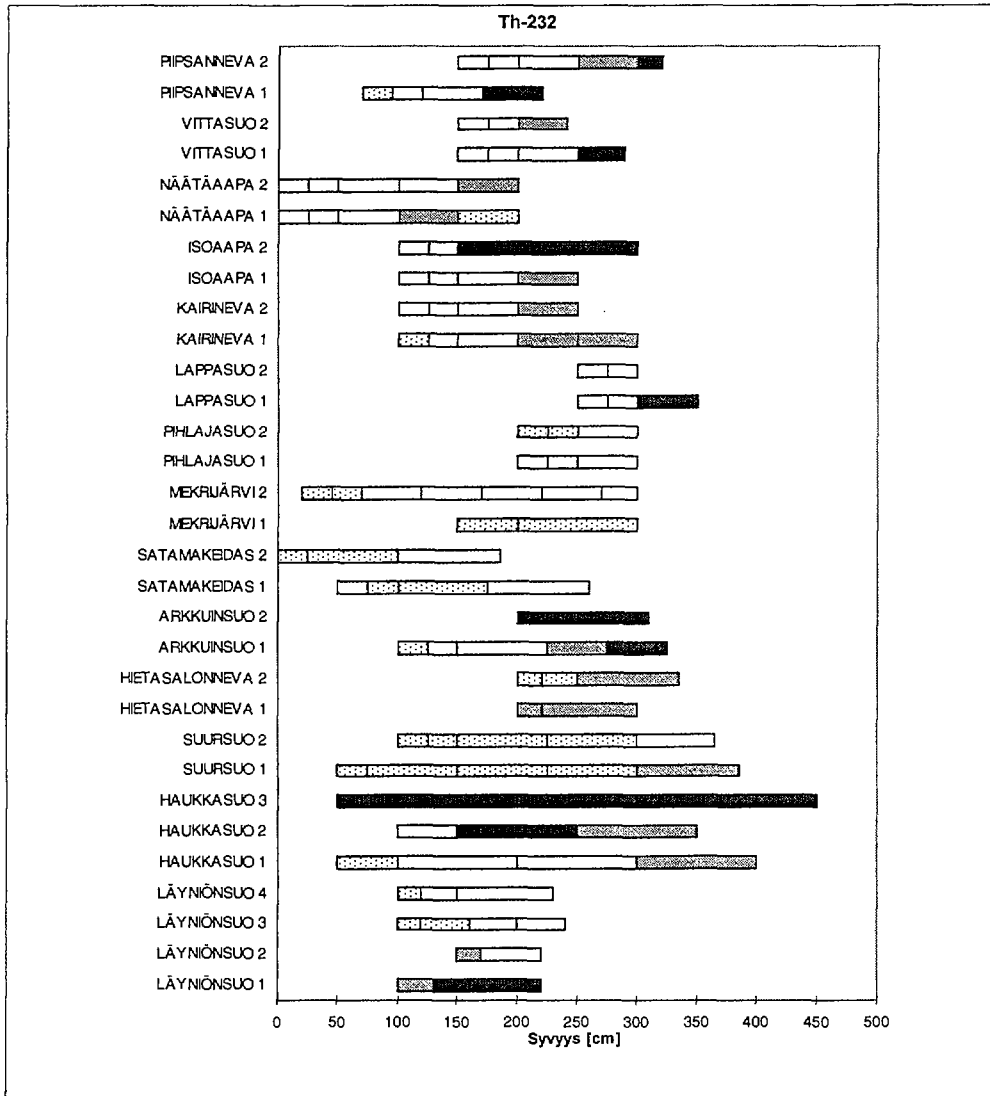
Havaitut uraanin, toriumin ja kaliumin suokohtaiset aktiivisuuspitoisuudet eivät korreloineet maaperäkartojen (Lahermo ym. 1990; Koljonen 1992) pitoisuustasojen kanssa.



Kuva 3. ²³⁸U:n aktiivisuusluokat turvesuossa syvyyden funktiona.



Kuva 4. ²³⁵U:n aktiivisuusluokat turvesuossa syvyyden funktiona.



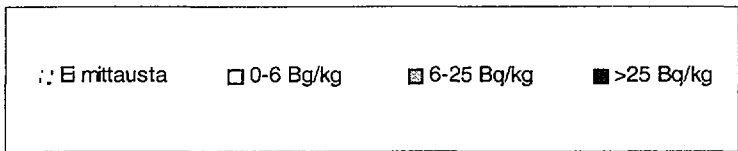
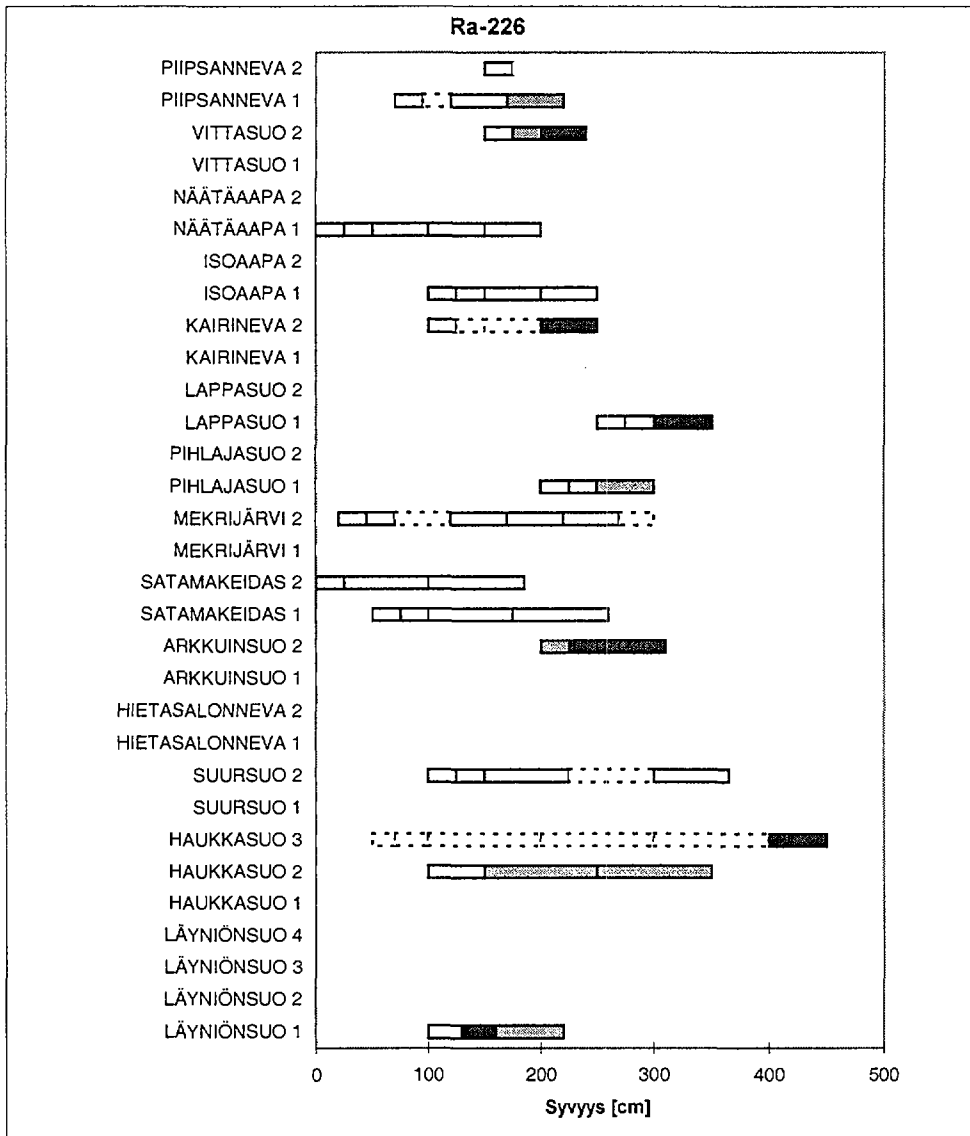
☐ <1 alle määrittäysrajan

□ 1-5 Bq/kg

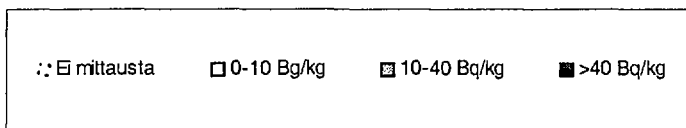
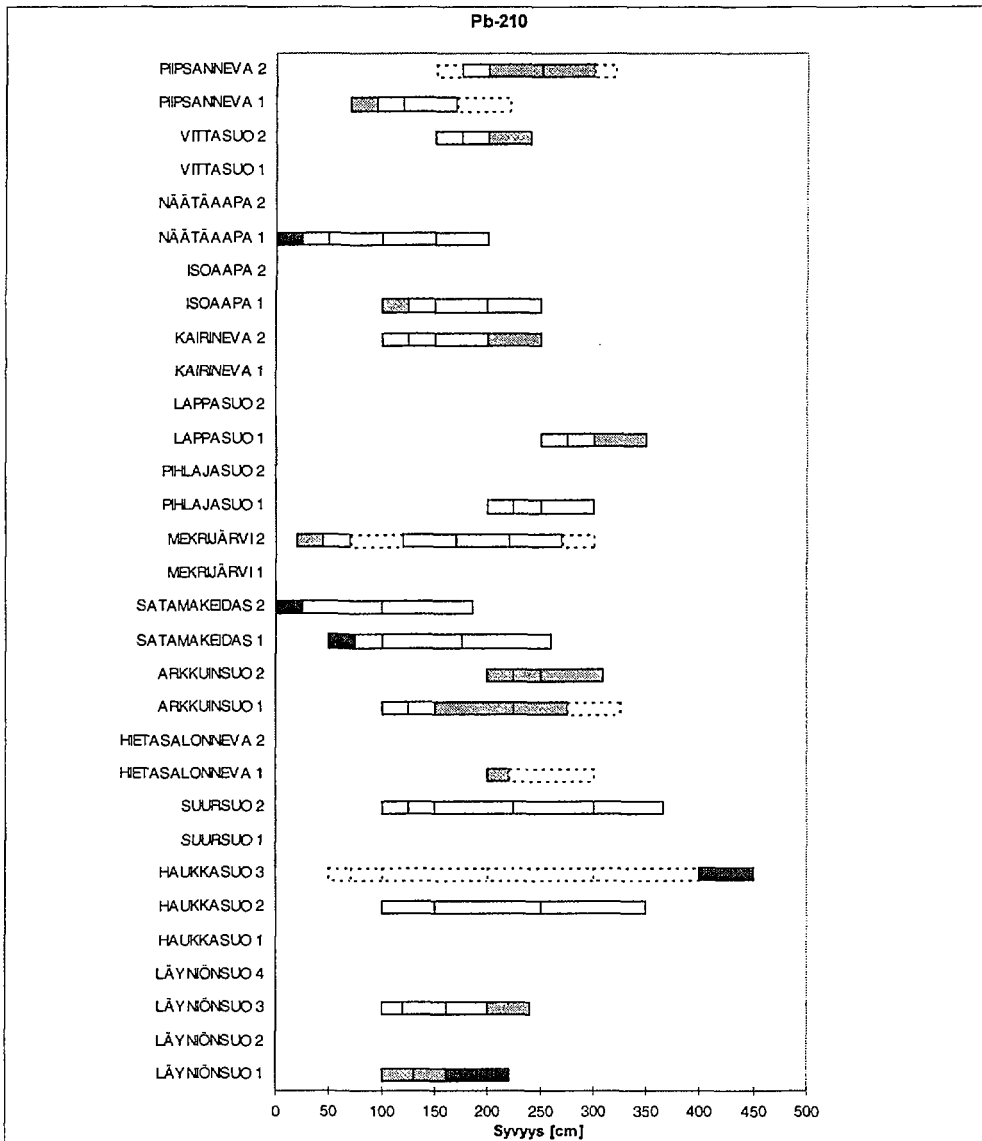
▒ 5-10 Bq/kg

■ >10 Bq/kg

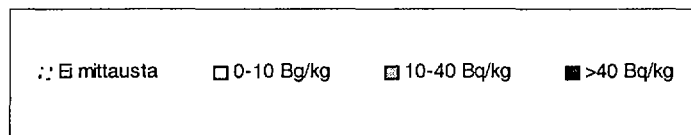
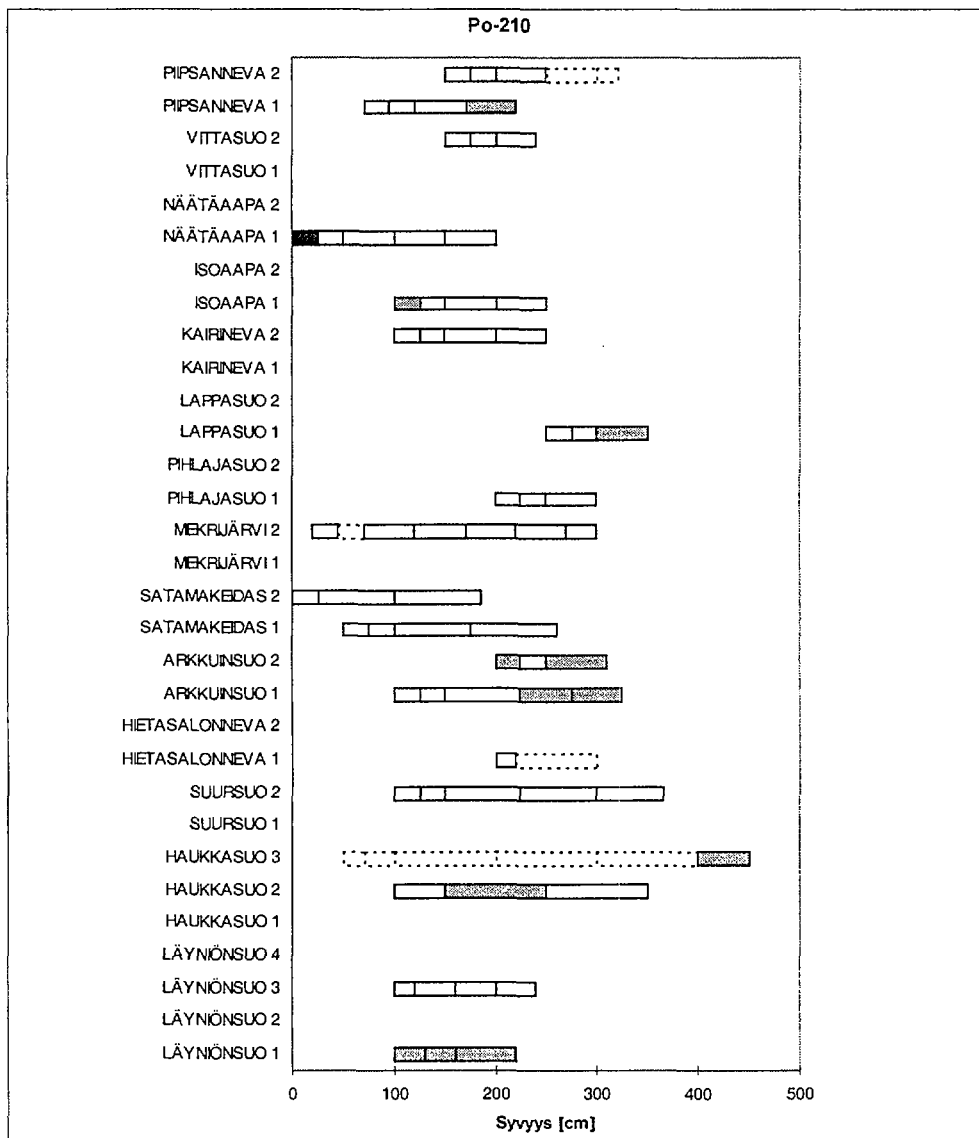
Kuva 5. ²³²Th:n aktiivisuusluokat turvesuossa syvyyden funktiona.



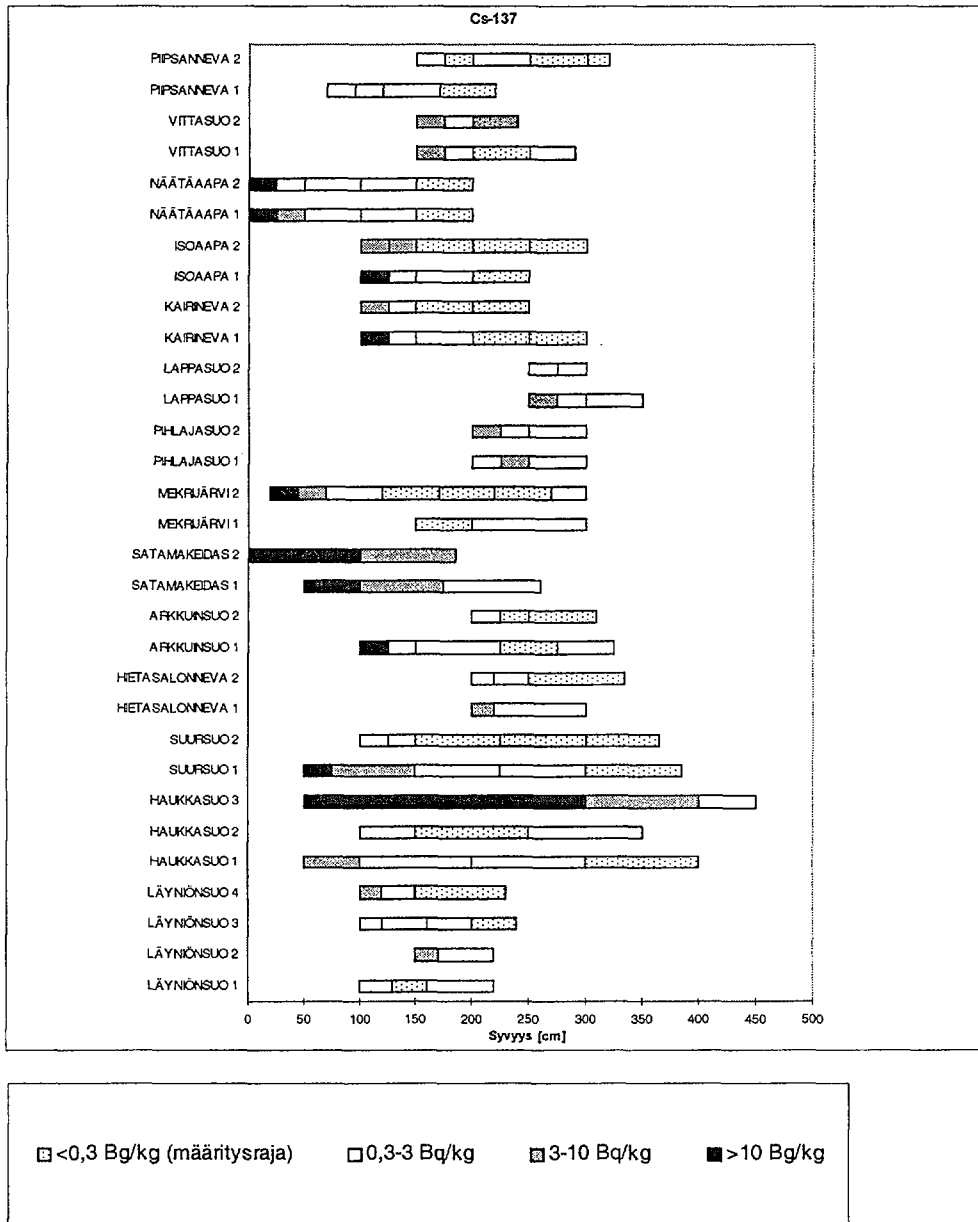
Kuva 6. ²²⁶Ra:n aktiivisuusluokat turvesoissa syvyyden funktiona.



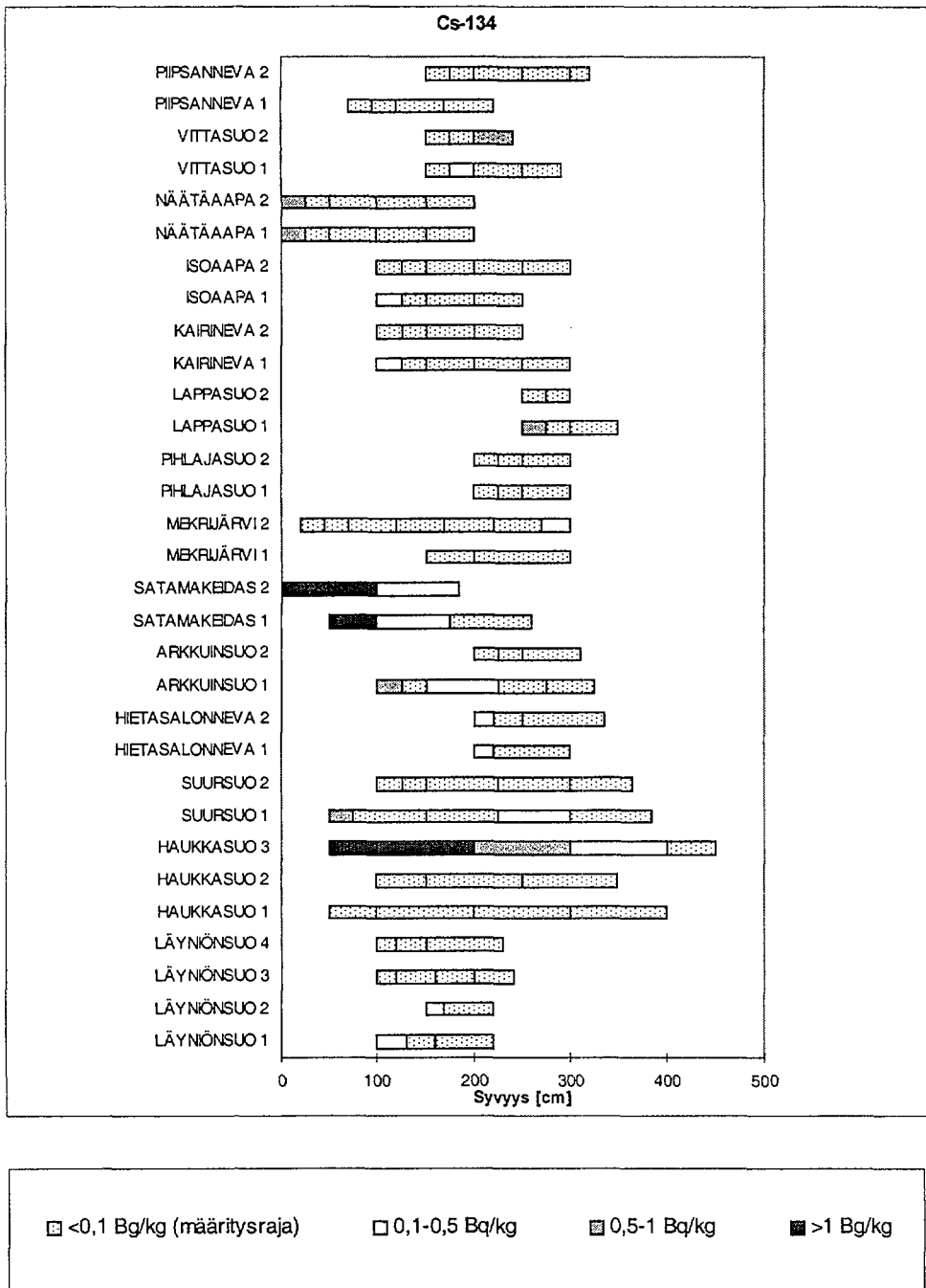
Kuva 7. ^{210}Pb :n aktiivisuusluokat turvesoissa syvyyden funktiona.



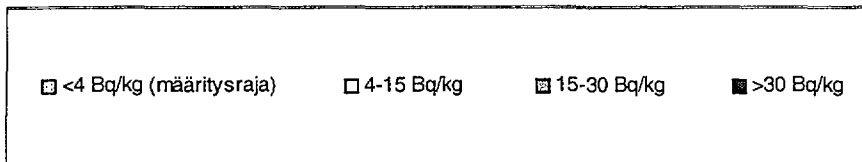
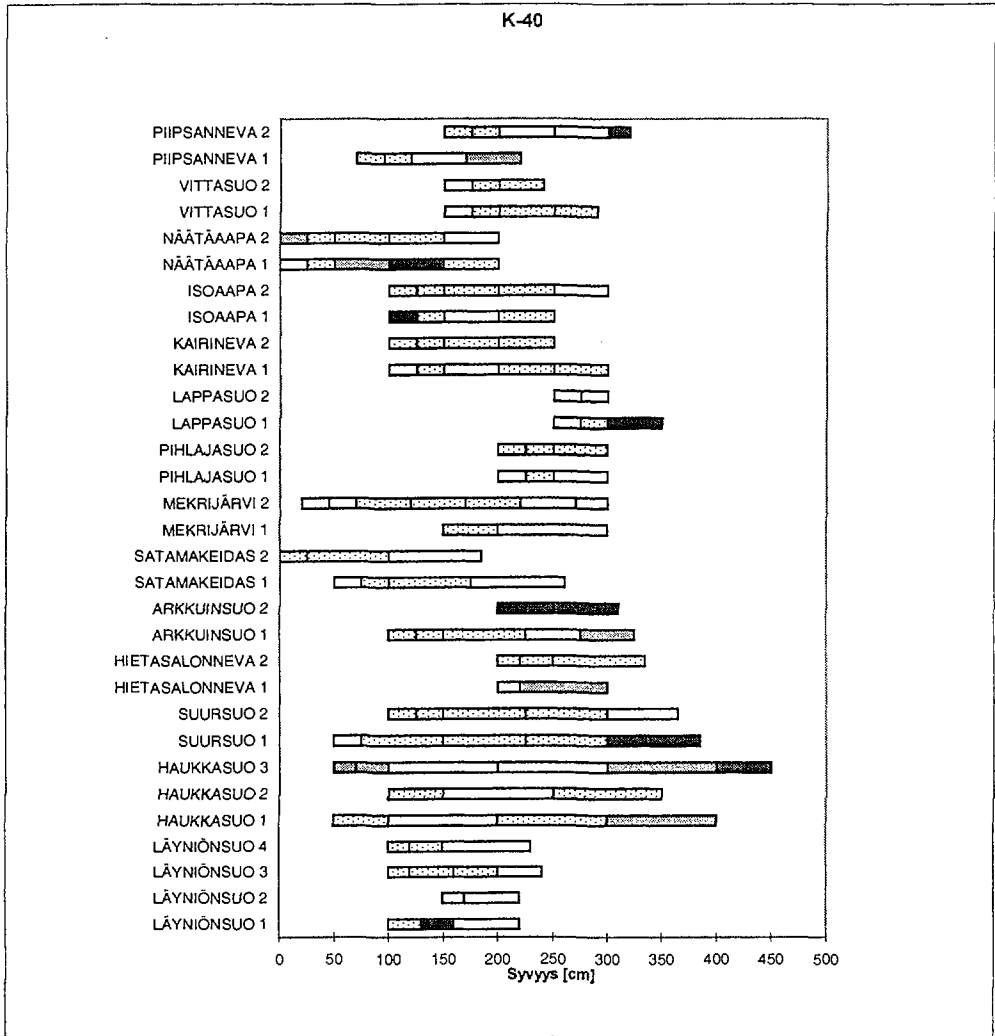
Kuva 8. ²¹⁰Po:n aktiivisuusluokat turvesoissa syvyyden funktiona.



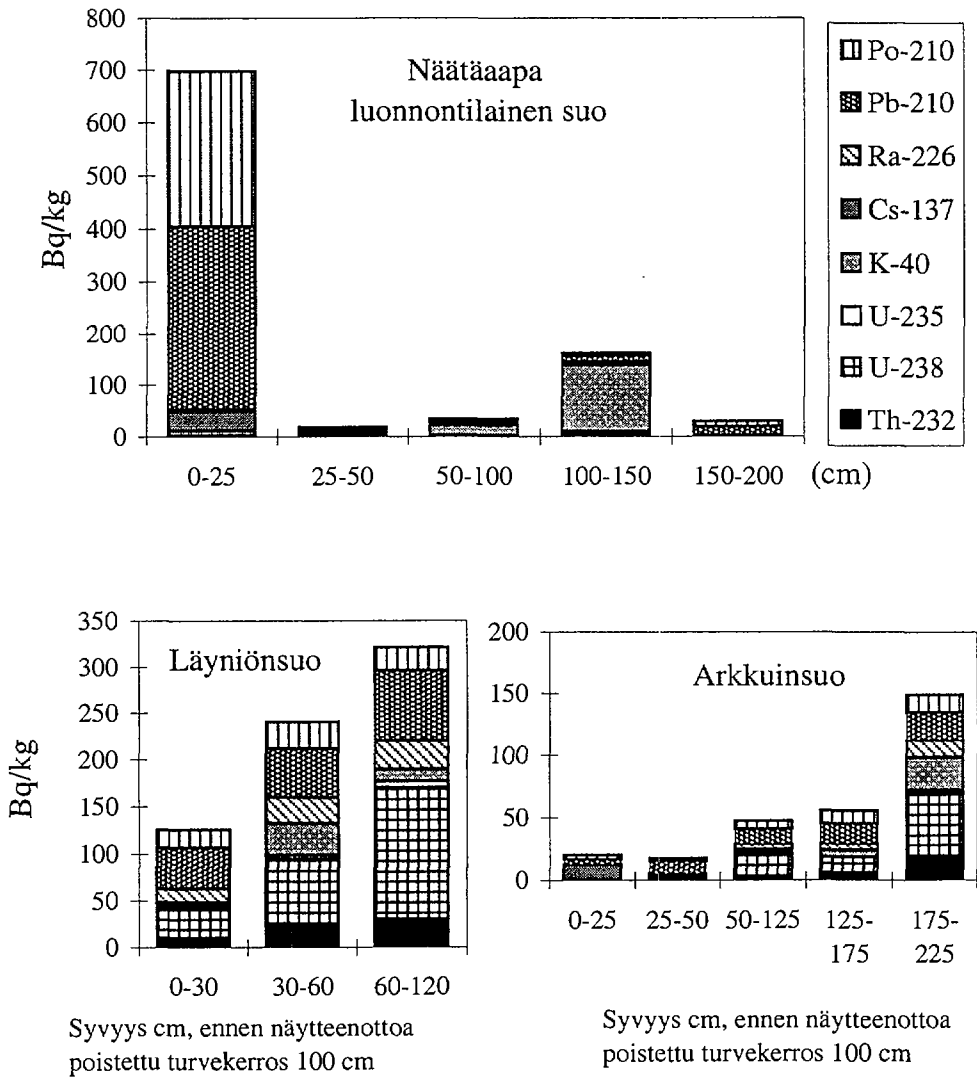
Kuva 9. ¹³⁷Cs:n aktiivisuusluokat eri syvyyksillä turvesuossa.



Kuva 10. ¹³⁴Cs:n aktiivisuusluokat turvesoissa syvyyden funktiona.



Kuva 11. ⁴⁰K:n aktiivisuusluokat turvesoissa syvyyden funktiona.

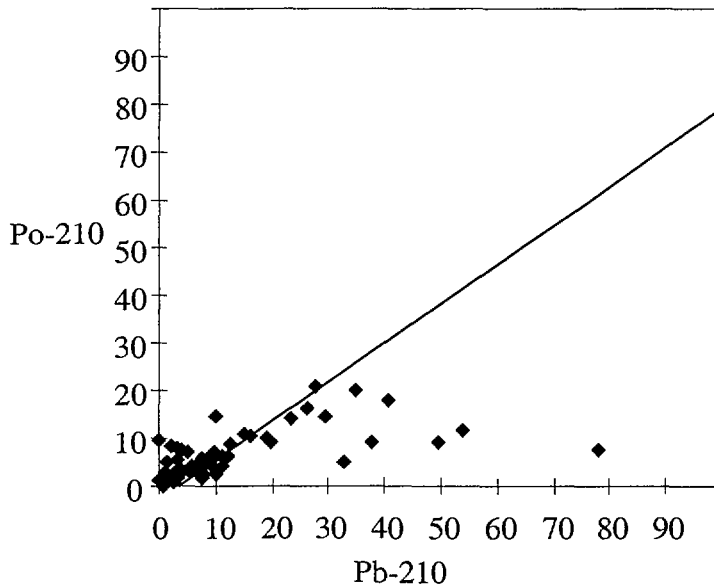


Kuva 12. Nuklidijakauma syvyyden funktiona kolmella erilaisella suolla: Arkkuinsuo, piste 2, Punkalaidun; Läyniönsuo, piste 1, Hankasalmi, ja Näätäaapa, piste 1, Ranua.

Syvyysjakaumien avulla tutkittiin myös uraanisarjan pitkäikäisten radionuklidien aktiivisuuksien vaihtelua ja korrelaatioita.

Parin ^{210}Pb - ^{210}Po riippuvuus toisistaan oli tarkastelluista nuklidipareista selkein, mikä oli odotettavaa, koska nuklidit ovat peräkkäin hajoamisketjussa. $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ -suhde ei riippunut näytteenottosyvyydestä, vaan oli likimain vakio: keskiarvo oli 0,81 ja standardipoikkeama 0,74. Kuvassa 13 on esitetty ^{210}Po :n pitoisuudet ^{210}Pb :n pitoisuuksien funktiona sekä aineistoon pienimmän neliösumman menetelmällä sovitettu suora. Lyijy 210:n pitoisuusalueella $>40 \text{ Bq kg}^{-1}$ näytteissä oli ^{210}Po :tä huomattavasti vähemmän kuin ^{210}Pb :tä. Useat tuon pitoisuusalueen näytteistä olivat peräisin suon pinnasta.

^{210}Pb :n ja ^{226}Ra :n välillä ei ollut selvää korrelaatiota. Suhde $^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}$ vaihtelee



Kuva 13. ^{210}Po ^{210}Pb :n funktiona (Bq kg^{-1} ka.) sekä aineistoon sovitettu suora (kulmakerroin 0,82, korrelaatiokerroin 0,88).

syvyyden funktiona siten, että pintakerroksissa suhde on paljon suurempi kuin yksi ja pohjaa kohti suhde pienenee. Suhde pysyy kuitenkin keskimäärin aina suurempana kuin yksi, eli lyijyä on enemmän kuin radiumia.

Uraanin mitatut aktiivisuudet pintakerroksissa ovat pääosin alle määritysrajan, joten $^{210}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ -suhteen syvyyskäyttämisen tarkasteluissa tulevat esille vain syvemmällä olevat kerrokset. Parissa $^{210}\text{Pb} - ^{238}\text{U}$ on uraanituloksina käytetty sekä suoraan mitattuja että ^{235}U :n mittaustuloksista laskettuja aktiivisuuksia. Lasketut tulokset perustuvat luonnon uraani-isotooppien suhteisiin, joiden mukaan ^{235}U :n aktiivisuus on 4,6% ^{238}U :n aktiivisuudesta. Koska määritysrajan ylittäviä uraanin havaintoja ja niihin liitettävissä olevia lyijy 210:n havaintoja on vähän, ja lyijy 210:n jakaumatyypit eri soissa vaihtelevat, kyseisten nuklidien pitoisuussuhteista ei esitetä numeroarvoja.

Radium 226:n suhdetta uraani 238:aan tarkastellaan sekä gammaspektrometristen että nestetuikemenetelmällä saatujen radiumtulosten avulla. Aineistojen väliset korrelaatiokertoimet olivat 0,74 ja 0,67. Gammaspektrometrisesti määritettyjen ^{226}Ra -aktiivisuuksien perusteella suhde $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$ on 0,32, mikä on hiukan pienempi kuin radiokemiallisesti määritetyn radiumin ja uraanin aktiivisuuksien suhde. Syvemmissä kerroksissa suhde suurenee, mutta pysyy kuitenkin pääosin pienempänä kuin yksi.

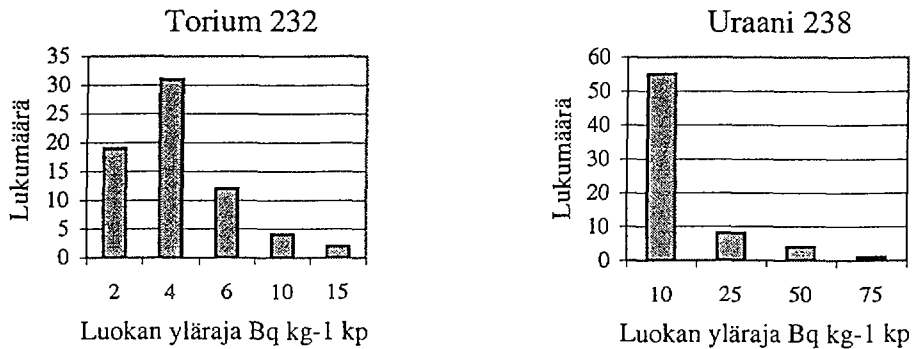
Tämän tutkimuksen yllättävimmät havainnot olivat korkeahkot ^{210}Pb - ja ^{210}Po -aktiivisuudet luonnontilaisessa Ranuan Näätäaavassa (kuva 12, taulukot III, V ja VI). Suon muiden radionuklidien aktiivisuuspitoisuudet eivät olleet merkittäviä, joten pelkän gamma-aktiivisuuden mittauksen perusteella näitä pitoisuuksia ei olisi voitu päätellä. Hedvallin ym. tutkimuksen mukaan ^{210}Pb sekä uraanin ja toriumin nuklidit aiheuttavat eniten efektiivistä säteilyannosta turpeen polton seurauksena. Tämän takia ^{210}Pb :n pitoisuuksia lienee syytä tarkkailla varsinkin tuotantoon otettavien soiden ja pitkään koskemattomina olleiden vanhojen tuotantosoiden pintakerroksissa. Sisäisen altistuksen kannalta kiinnostavat nuklidit ^{210}Pb ja ^{210}Po ansaitsevat huomiota turpeen polton päästönuklideina.

4.2 Tuotantonäytteet

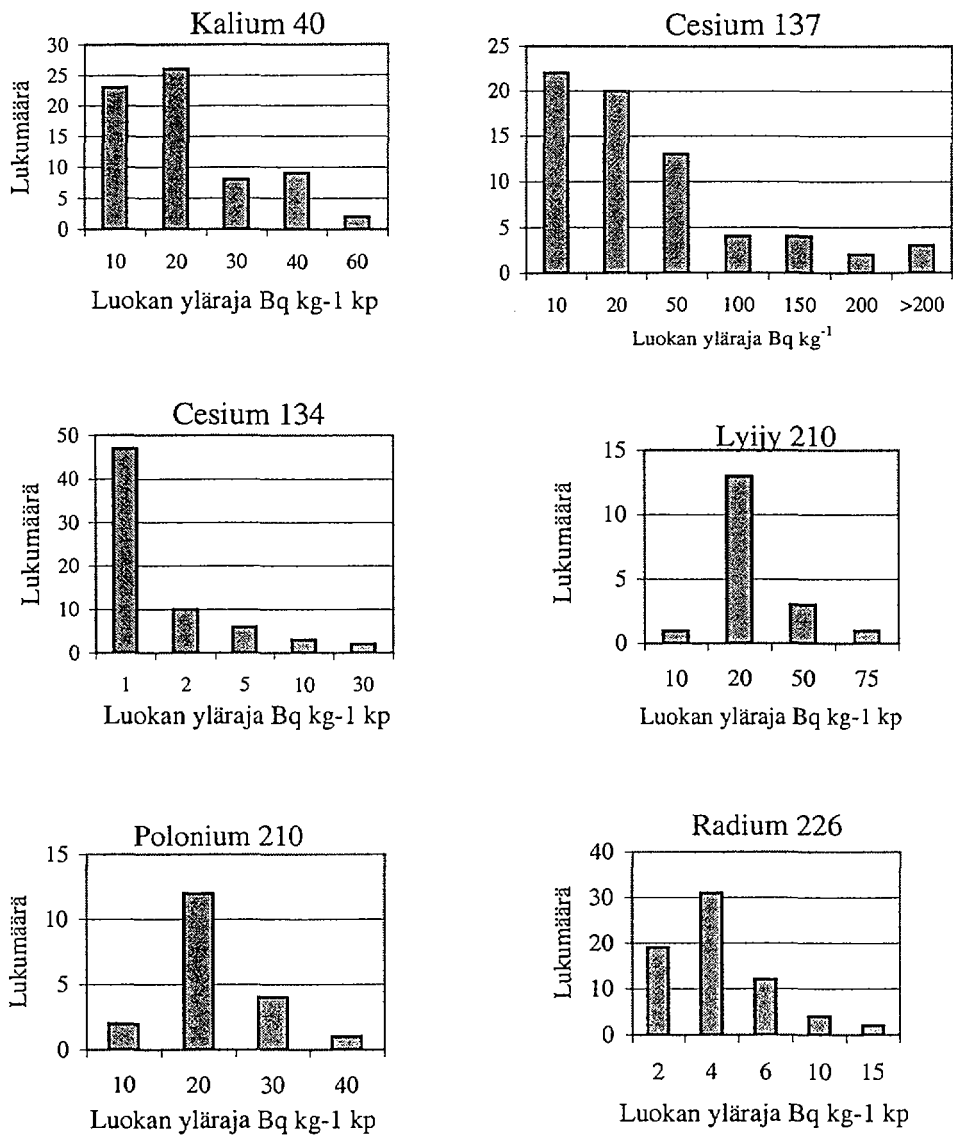
Suokohtaisten tuotantomäärillä painotettujen jyrshinturvenäytteiden aktiivisuuspitoisuuksista saa kokonaiskuvan frekvenssijakaumista (kuva 14).

^{235}U :n pitoisuus oli lähes kaikissa näytteissä alle 1 Bq/kg, eikä aktiivisuus 5 Bq/kg ylittynyt yhdessäkään näytteessä. Lyijy 210- ja polonium 210 -aktiivisuuksia mitattiin noin 20 näytteestä, ja tuloksia on verrattu toisiinsa kuvassa 15.

Lehtovaara ym. ovat määrittäneet polttoturpeesta ^{238}U :n, ^{226}Ra :n ja ^{232}Th :n tyttäret ^{228}Ac ja ^{228}Th . Uraanin keskipitoisuus oli hieman korkeampi kuin tämän tutkimuksen tuotantonäytteissä, mutta muiden radionuklidien pitoisuudet ovat mittaustarkkuuden rajoissa samat. Fredriksson ym. olivat valinneet anomaliasuot, joilla uraani- ja toriumpitoisuudet ovat suuria. Muita kuin uraani- ja toriumisotooppeja oli määritetty vain neljästä näytteestä, joissa myös uraanisarjaan kuuluvien ^{226}Ra :n ja ^{210}Pb :n pitoisuudet olivat suuria.

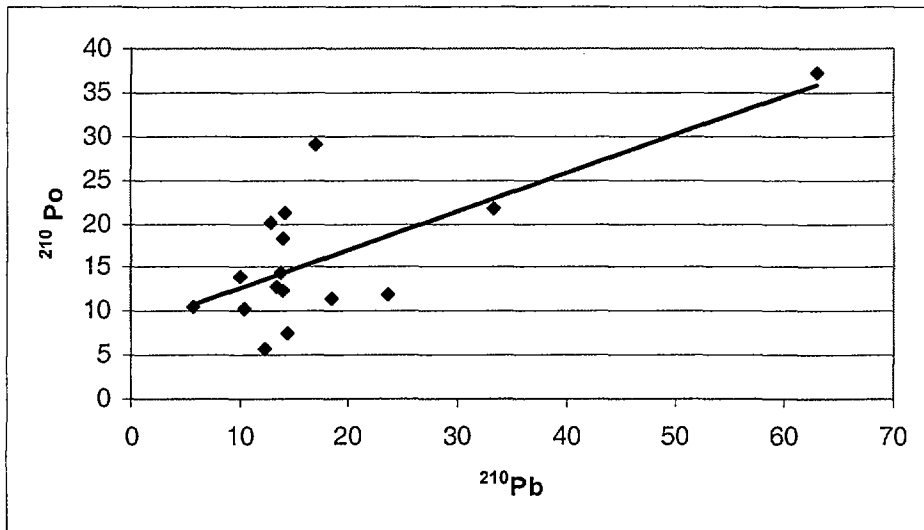


Kuva 14. Radionuklidien pitoisuuksien frekvenssijakaumat polttoturpeen tuotantoa vuonna 1994 edustaville suokohtaisille näytteille.



Kuva 14 (jatkoa). Radionuklidien pitoisuuksien frekvenssijakaumat polttoturpeen tuotantoa vuonna 1994 edustaville suokohtaisille näytille.

^{40}K :n pitoisuus sen sijaan vastasi tämän tutkimuksen antamia ^{40}K :n keskiarvopitoisuuksia. Hedvall ym. ovat määrittäneet lukuisia nuklideja polttoturvenäytteistä, mutta näytteiden kokonaismäärä oli vain 19. Julkaistut tulokset ovat lähinnä tässä tutkimuksessa havaittuja polttoturpeen aktiivisuuspitoisuuksien maksimeja.



Kuva 15. Tuotantonäytteiden ^{210}Po -aktiivisuus ^{210}Pb -aktiivisuuden funktiona ($\text{Bq kg}^{-1} \text{ka.}$). Aineistoon sovitetun suoran kulmakerroin = 0,44, korrelaatiokerroin = 0,72.

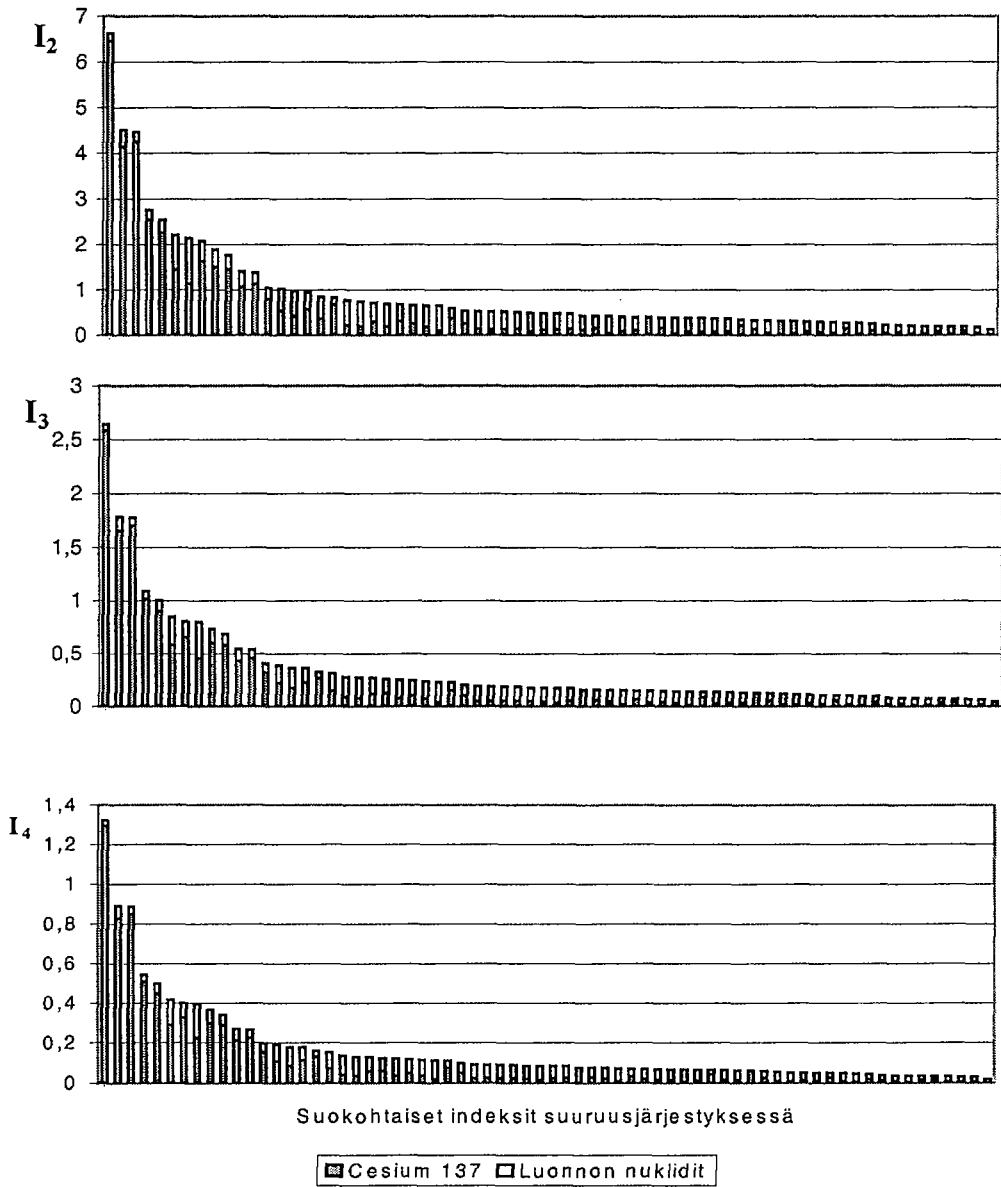
4.2.1 Tulosten merkitys säteilyaltistuksen kannalta

Vuoden 1994 turvetuotantoa edustavien näytteiden aktiivisuuspitoisuuksista laskettiin säteilyturvaohjeen 12.2. mukaiset turvetuhkan aktiivisuusindeksit ja ^{137}Cs -pitoisuudet (kuvat 16 ja 17). Tuhkan käsittelyn indeksin I_4 ykköstä suurempi arvo havaittiin yhdellä kyseisenä vuonna käyttöön otetulla suolla. Maantäyttöön ja maisemointiin (I_3) kelpaavaa tuhkaa saatiin noin 90 % tapauksista, ja noin 3/4:sta soita katujen, teiden ja vastaavien rakentamiseen soveltuvaa tuhkaa.

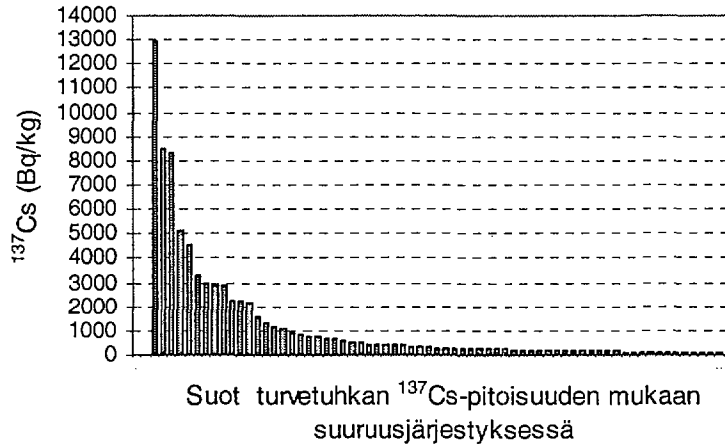
Talonrakennustuotannon aktiivisuusindeksi I_1 tarkoittaa valmista rakennusmateriaalia, eikä tuhkalle siten ole mielekästä laskea kyseistä indeksin arvoa. Tuhkalle betonin lisäaineena on annettu erillinen turvallisuustavoite (ST-ohje 12.2). Sen mukaan betonin lisäaineesta aiheutuva efektiivinen annos ei saa ylittää 0,1 mSv vuodessa. Kun rajoitetaan tuhkan määrä betonissa 120 kiloon kuutiometrissä, ja oletetaan että pääasiallinen säteilylähde on ^{137}Cs , annoksen toimenpiderajaa vastaava ^{137}Cs -pitoisuus tuhkassa on 1000 Bq kg^{-1} . Tuhkan osuuden ollessa edellä annettua pienempi ^{137}Cs -aktiivisuus voi olla vastaavasti isompi.

Vajaa neljännes suokohtaisista turvetuhkan ^{137}Cs -pitoisuuksista (kuva 17) ylitti 1000 Bq kg^{-1} .

Säteilyturvallisuusohje 12.2. ei ota huomioon turpeen poltossa ilmaan vapautuvista radioisotoopeista hengitysilman kautta mahdollisesti saatavaa säteilyannosta, koska annos ympäristön asukkaille on useimmissa tapauksissa häviävän pieni. Suurimmat tutkimuksessa havaitut ^{210}Pb :n ja ^{210}Po :n aktiivisuuspitoisuudet turpeessa viittaavat kuitenkin siihen, että mahdollinen hengitysannos voi antaa joissakin tapauksissa aihetta lisäselvityksiin. Kiinnostavia ovat soiden alkuperäiset pintakerrokset, joissa näiden uraanisarjan isotooppien aktiivisuuspitoisuudet voivat olla selvästi suurempia kuin syvemmissä turvekerroksissa.



Kuva 16. Turvetuhkan aktiivisuusindeksit I_2 - I_4 laskettuina vuoden 1994 turvetuotantoa edustaville näytteille. Indeksien merkitykset ovat:
 I_2 - katujen, teiden ja vastaavien rakentamiseen käytettävät materiaalit,
 I_3 - maantäyttö ja maisemarakentaminen ja
 I_4 - tuhkan käsittely.



Kuva 17. Suokohtaiset turvetuhkan (laskennalliset) ^{137}Cs -pitoisuudet, jotka vastaavat vuoden 1994 polttoturpeen tuotantoa.

4.3 Johtopäätökset

Näytteiden analysointiohjelma oli laaja ja vaativa, eikä voitane edellyttää, että turvetuotannossa sovelletaan samaa mallia ennakkoselvityksiin ennen tuotannon aloittamista uusilla soilla. Tulokset tarjoavat tietoa polttoturpeen aktiivisuustasoista, radioaktiivisuustilanteesta turvesoilla, sekä todennäköisestä säteilyaltistuksesta turpeen tuhkaa käsiteltäessä ja käytettäessä. Tutkimus antoi realistisen kuvan aktiivisuuspitoisuuksien vaihtelusta turvesoilla sekä vaaka- että pystysuunnassa, ja tulokset tukevat käsitystä suokohtaisten analyysien tarpeellisuudesta, kun arvioidaan turvesuon ja polttoturpeen käytettävyyttä. Vaikka turvetuhkan hyötykäytössä rajoituksia on aiheuttanut lähinnä radioaktiivinen cesium, luonnon radionuklidien aktiivisuus ja sen vaihtelu on myös otettava edelleen huomioon.

Tutkimustulokset täydentävät kuvaa säteilytilanteesta suomalaisilla turvesoilla ja polttoturpeen tuotannossa. Havaintoaineisto on tarkoitettu palvelemaan sekä turpeen tuottajia ja käyttäjiä että valvontaviranomaista.

KIRJALLISUUSVIITTEET

Figgins PE. The Radiochemistry of Polonium. National Academy of Sciences - National Research Council. Raportti NAS-NS 3037. USA, 1961.

Fredriksson D, Ek J, Holmberg B-T. Uran och radioaktivitet i svenska torvmarker. STEV-TORV-85/9. Uppsala: Statens Energiverk, 1984.

Hedvall R, Erlandsson B. Radioactivity in peat fuel and ash from a peat-fired power plant. J. Environ. Radioactivity 1992; 16; 205-228.

Jantunen MJ, Reponen A, Mustonen R, Itkonen A, Kauranen P. Behavior of Chernobyl fallout radionuclides in peat combustion. Health Physics 1992; 62; 3; 245-249.

Koljonen T. (toim.) Suomen Geokemian Atlas, osa 2: Moreeni. Espoo: Geologian tutkimuskeskus, 1992.

Lahermo P, Ilmasti M, Juntunen R, Taka M. Suomen Geokemian Atlas, osa 1, Suomen pohjavesien hydrogeokemiallinen kartoitus. Espoo: Geologian tutkimuskeskus, 1990.

Laine J, Vasander H. Suotyypit. Hämeenlinna: Karisto Oy, 1990.

Lebecka JM, Mielnikow A, Chalupnik S, Skubacz K. Liquid scintillation counting of ^{210}Pb in grass and soil. Teoksessa: Noakes JE, Schönhofer F, Polach HA, (toim.). Liquid Scintillation Spectrometry 1992. Tucson: Radiocarbon, 1993: 455-459.

Lehtovaara J, Mustonen R, Penttilä R, Dernjatin P, Uotila I. Jyrsinpolttoturpeen raskasmetallipitoisuudet ja luonnollinen radioaktiivisuus. IVO-B-01/89. Helsinki: Imatran Voima Oy, 1989.

Markkanen M. Maaperän radontuoton mittaaminen. Pro gradu -tutkielma, Helsingin Yliopisto, 1988.

Mustonen RA, Reponen AR, Jantunen MJ. Artificial radioactivity in fuel peat and peat ash in Finland after the Chernobyl accident. *Health Physics* 1989; 56; 4; 451-458.

Peuravuori J, Pihkala K. Turvesoiden kemiallinen kartoitus energian tuotantoa silmälläpitäen. Kauppa- ja teollisuusministeriö, Energiaosasto, Sarja D:148, Helsinki 1988.

Pohjola V, Hahkala M, Häsänen E. Kivihiiltä, turvetta ja öljyä käyttävien lämpövoimaloiden päästöselvitys, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tutkimuksia 231, Espoo 1983.

Rakennusmateriaalien, polttoturpeen ja turvetuhkan radioaktiivisuus. ST-ohje 12.2. Helsinki: Säteilyturvakeskus, 1993.

Salonen L. Measurement of low levels of ^{222}Rn in water with different commercial liquid scintillation counters and pulse-shape analysis. Teoksessa: Noakes JE, Schönhofer F, Polach HA, (toim.). *Liquid Scintillation Spectrometry* 1992. Tucson: Radiocarbon, 1993: 361-372.

Siltaloppi L, Laitinen L, Lehtovaara J, Hakkarainen P, Herranen M. Turpeen analytiikka ympäristönsuojelun kannalta, Optimiturve-tutkimusohjelma, Raportteja nro 48, Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus, Poltto- ja lämpötekniikan laboratorio, Jyväskylä 1992.

Suutarinen R, Blomqvist R, Jaakkola T, Seppänen H. Biospheric migration: uranium in surface waters and peat. The Palmottu Analogue Project, Progress Report 1990. GTK-YST-73. Espoo: Geologian tutkimuskeskus, 1991.

Yliruokanen I. The occurrence of uranium in some Finnish peat bogs. *Kemia-Kemi* 1980; 4; 213-217.

TAULUKOT V - VIII

Taulukko V. Uraani 238 -hajoamissarjan nuklidien pitoisuuksia (Bq kg^{-1} ka.) turvesuosta eri syvyydeltä otetuissa näytteissä.

Taulukko VI. Torium 232:n, uraani 235:n, kalium 40:n, cesium 134:n ja cesium 137:n pitoisuuksia (Bq kg^{-1} ka.) turvesuosta eri syvyydeltä otetuissa näytteissä.

Taulukko VII. Turvesatoa 1994 edustavien näytteiden radionuklidipitoisuudet (Bq kg^{-1} ka.).

Taulukko VIII. Turvesatoa 1994 edustavien näytteiden radionuklidipitoisuudet ^{210}Po ja ^{210}Pb sekä ^{226}Ra nestetuikemenetelmällä (Bq kg^{-1} ka.).

Taulukko V. Uraani 238 -hajoamissarjan nuklidien pitoisuuksia (Bq/kg ka.) turvesuosta eri syvyydeltä otetuissa näytteissä. Turvelaji (TLAJI), maatuneisuus (MAATUN.), turpeennoston yhteydessä aikaisemmin poistetun kerroksen paksuus (PINTA) ja määrittelyn epävarmuus (v%) on myös ilmoitettu. Alle määrittelysrajan olevat pitoisuudet on merkitty nolllaksi. Radiumille on ilmoitettu sekä gammasppektometrisesti (γ) että nestetuikemenetelmällä (q) määritetty tulos.

LÄÄNI KUNTA SUO	SYVYYS [cm]	TLAJI	MAATUN. PINTA [cm]	²³⁸ U	²³⁸ U-v%	²²⁶ Ra (γ)	²²⁶ Ra (γ) -v%	²²⁶ Ra (q)	²²⁶ Ra (q) -v%	²¹⁰ Pb	²¹⁰ Pb-v%	²¹⁰ Po	²¹⁰ Po-v%	
KESKI-SUOMEN LÄÄNI														
HANKASALMI														
LÄYNIÖNSUO 1	0-30	LSC,NC	H4	100	31,5	11	(14,5)	1	1,0	31	23,3	20	14,2	4
	30-60	NC	H4	100	69,8	13	(27,4)	2	14,3	26	27,7	20	20,8	3
	60-120	NC	H4	100	139,6	7	(30,5)	1	11,6	26	40,6	19	18,1	3
LÄYNIÖNSUO 2	0-20	LSC	H4	150	0	.	(8)	3	.	.	.	.	.	.
	20-70	NC	H4	150	0	.	(7,1)	2	.	.	.	.	.	.
LÄYNIÖNSUO 3	0-20	LEERS	H8	100	0	.	(0)	.	.	.	3,4	45	1,8	7
	20-40, 50-60	LEERS,ERS	H8	100	0	.	(0)	.	.	.	2,6	77	0,7	12
	60-100	C	H6	100	0	.	(1,3)	8	.	.	4	42	2,8	7
	100-140	EQC	H4	100	0	.	(6,4)	3	.	.	11,2	31	6,4	5
LÄYNIÖNSUO 4	0-20	LEERS	H6	100	0	.	(1,5)	7	.	.	.	.	.	.
	20-50	LEERS,EQC	H6,H4	100	0	.	(0,8)	10	.	.	.	.	.	.
	50-130	EQC	H4	100	0	.	(6,2)	2	.	.	.	.	.	.
KYMEN LÄÄNI														
ANJALANKOSKI														
HAUKKASUO 1	0-50	S	H3,H7	50	0	.	(1,9)	10	.	.	.	.	.	.
	50-150	S,C	H7,H4	50	0	.	(1,6)	5	.	.	.	.	.	.
	150-250	C	H4	50	0	.	(2,3)	5	.	.	.	.	.	.
	250-350	C	H4,H6	50	33,4	17	(7,4)	2	.	.	.	.	.	.
HAUKKASUO 2	0-50	ERS,C	H5,H4	100	0	.	(0,9)	13	4,0	28	7,7	54	1,6	8
	50-150	C	H4	100	18,5	30	(7)	2	11,7	25	15	23	11	5
	150-250	C,LC	H4,H5,H6	100	32,4	19	(7,5)	2	11,6	26	2,2	96	8,4	10

Taulukko V (jatkoa). Uraani 238 -hajoamissarjan nuklidien pitoisuuksia (Bq/kg ka.) turvesuosta eri syvyydeltä otetuissa näytteissä.

LÄÄNI KUNTA SUO	SYVYYS [cm]	TLAJI	MAATUN. PINTA [cm]	²³⁸ U	²³⁸ U-v%	²²⁶ Ra (γ)	²²⁶ Ra (γ) -v%	²²⁶ Ra (q)	²²⁶ Ra (q) -v%	²¹⁰ Pb	²¹⁰ Pb-v%	²¹⁰ Po	²¹⁰ Po-v%
KYMEN LÄÄNI													
ANJALANKOSKI													
HAUKKASUO 3	0-20	LS	H6	50	25	21	(6,2)	2	.	.	.	.	.
	20-50	LS,C	H6,H4	50	26,6	33	(9)	3	.	.	.	.	.
	50-150	C	H4	50	52,4	12	(11,3)	2	.	.	.	.	.
	150-250	C	H4	50	25,3	20	(10)	2	.	.	.	.	.
	250-350	EQC,LC	H4	50	33,7	13	(10,3)	2	.	.	.	.	.
	250-400	EQC	H4	50	49,9	16	(27,2)	2	33,9	26	53,9	18	11,6 6
TAIPALSAARI													
SUURSUO 1	0-25	S	H3	50	0	.	(0)	.	.	.	.	.	.
	25-100	S,ERS	H3,H5	50	0	.	(0,7)	8	.	.	.	.	.
	100-175	S	H3,H6	50	0	.	(0,1)	135	.	.	.	.	.
	175-250	S,CS	H3,H6,H7	50	0	.	(0,6)	11	.	.	.	.	.
	250-335	LCS	H6	50	0	.	(12,2)	2	.	.	.	.	.
SUURSUO 2	0-25	S	H3	100	0	.	(0)	.	0,8	35	2,5	41	1,4 8
	25-50	S	H4	100	0	.	(0)	.	0,3	42	0,7	109	0,2 21
	50-125	S	H6	100	17,8	41	(1,5)	6	1,1	34	0,7	61	1 9
	125-200	ERS,C	H7,H4	100	6,9	40	(1,5)	4	.	.	3,4	35	2,7 6
	200-265	LC,S,PHB	H4	100	17,9	26	(3,7)	3	4,3	33	5,8	28	4,2 6
HAMEEN LÄÄNI													
VIRRAT													
HIETASALONNEVA 1	0-20	C	H4	200	0	.	(10,7)	2	.	.	19,8	18	9,2 5
	20-100	C	H4	200	21	31	(9,6)	2	.	.	.	.	.
HIETASALONNEVA 2	0-20	S	H4	200	0	.	(2,1)	3	.	.	.	.	.
	20-50	S	H4	200	0	.	(1,9)	6	.	.	.	.	.
	50-135	S,LCS	H4,H8	200	19,5	25	(10,5)	2	.	.	.	.	.

Taulukko V (jatkoa) . Uraani 238 -hajoamissarjan nuklidien pitoisuuksia (Bq/kg ka.) turvesuosta eri syvyydeltä otetuissa näytteissä.

LÄÄNI KUNTA SUO	SYVYYS [cm]	TLAJI	MAATUN. PINTA [cm]	²³⁸ U	²³⁸ U-v%	²²⁶ Ra (γ)	²²⁶ Ra (γ) -v%	²²⁶ Ra (q)	²²⁶ Ra (q) -v%	²¹⁰ Pb	²¹⁰ Pb-v%	²¹⁰ Po	²¹⁰ Po-v%	
TURUN JA PORIN LÄÄNI PUNKALAIKUN														
ARKKUINSUO 1	0-25	ERS	H4	100	0	(0)	.	.	.	4,1	63	3,4	4	
	25-50	ERS+C	H4	100	0	(1,4)	8	.	.	9,9	24	2,4	4	
	50-125	LC,C	H5,H4	100	17,8	21	(4,1)	2	.	.	12,1	75	6,4	5
	125-175	C,LC	H4	100	12,5	49	(4,8)	3	.	.	16,1	66	10,4	5
	175-225	LC,PHRC	H4	100	50,5	8	(14,0)	1	.	.	.	.	14,7	7
ARKKUINSUO 2	0-25	C	H4	200	30,8	17	(17,7)	1	9,7	23	10,1	28	14,7	5
	25-50	C	H4	200	46,8	18	(18,3)	2	21,4	27	32,7	24	5,2	2
	50-110	C,LC	H4	200	52,8	12	(34,9)	1	33,2	25	26,2	19	16,2	5
HONKAJOKI														
SATAMAKEIDAS 1	0-25	S	H3	50	0	.	(0)	.	1,2	33	49,8	18	9,3	2
	25-50	S	H3	50	0	.	(2,2)	12	0,7	30	0	.	1,2	10
	50-125	S	H4,H7	50	0	.	(0,4)	23	2,5	28	2,2	67	1,9	6
	125-210	C,EQC	H4,H6	50	10,1	40	(4,9)	2	5,1	26	6,7	34	4,4	6
SATAMAKEIDAS 2	0-25	S	H4	0	0	.	(2)	21	1,6	34	77,9	17	7,4	4
	25-100	S,ERS	H4,H5	0	14,9	47	(1,8)	6	0,8	44	3	35	2,8	7
	100-185	S,ERS,CS	H3,H7,H8	0	9,8	30	(5)	2	5,3	27	8,7	28	5,6	3
POHJOIS-KARJALAN LÄÄNI ILOMANTSI														
MEKRIJÄRVI 1	0-50	SC,C	H5,H4-5	150	0	.	(0,9)	7	.	.	.	.	.	.
	50-150	C	H7	150	0	.	(2,2)	3	.	.	.	.	.	.
MEKRIJÄRVI 2	0-25	S	H2-3	20	18,1	55	(2,6)	6	1,1	32	37,9	18	9	2
	25-50	ERS	H5	20	0	.	(2,5)	5	1,1	30	5,5	36	.	.
	50-100	CS	H6	20	0	.	(0,6)	18	.	.	.	.	0,9	39
	100-150	SC	H7	20	18,8	36	(1)	10	1,6	32	2,3	56	1,3	8
	150-200	SC	H7	20	0	.	(1,2)	10	1,2	32	1,5	104	1,8	7
	200-250	SC	H6	20	0	.	(2,7)	5	2,7	27	3,6	45	3,5	5
	250-280	SC	H6	20	26,2	40	(3,6)	3	.	.	.	.	8,7	4

Taulukko V (jatkoa). Uraani 238-hajoamissarjan nuklidien pitoisuuksia (Bq/kg ka.) turvesuosta eri syvyydeltä otetuissa näytteissä.

LÄÄNI KUNTA SUO	SYVYYS [cm]	TLAJI	MAATUN. PINTA [cm]	²³⁸ U	²³⁸ U-v%	²²⁶ Ra (γ)	²²⁶ Ra (γ) -v%	²²⁶ Ra (α)	²²⁶ Ra (α) -v%	²¹⁰ Pb	²¹⁰ Pb-v%	²¹⁰ Po	²¹⁰ Po-v%	
KUOPION LÄÄNI														
SONKAJÄRVI														
PIHLAJASUO 1	0-25	EQC	H4	200	10,6	33	(3,7)	2	4,2	27	9,6	29	7,2	5
	25-50	EQC	H4	200	0	.	(1,8)	6	5,4	29	3,4	101	5,4	3
	50-100	EQC+B	H4	200	0	.	(3)	5	6,5	27	7,1	44	4,5	7
PIHLAJASUO 2 (TEERISUO)	0-25	S	H3,H6	200	0	.	(1)	4	.	.	.	.	.	.
	25-50	SC	H5	200	0	.	(1,2)	5	.	.	.	.	.	.
	50-100	SC	H6	200	0	.	(2,5)	5	.	.	.	.	.	.
PIELAVESI														
LAPPASUO 1	0-25	ERS+PUU	H7	250	0	.	(4,1)	3	3,6	34	9,7	22	3,6	4
	25-50	PHRC+PUU	H4	250	0	.	(3,9)	3	3,9	28	6,7	24	4,7	3
	50-100	C+LJ	H4	250	36,9	27	(20,3)	2	15,1	26	35	18	20,2	3
LAPPASUO 2	0-25	C	H4	250	0	.	(6,3)	2	.	.	.	.	.	.
	25-50	C	H4	250	0	.	(5,6)	3	.	.	.	.	.	.
VAASAN LÄÄNI														
HALSUA														
KAIRINNEVA 1	0-25	C	H5	100	15,5	41	(2,2)	5	.	.	.	.	.	.
	25-50	C	H4	100	0	.	(3,3)	5	.	.	.	.	.	.
	50-100	ERC	H6,H9	100	0	.	(2,5)	3	.	.	.	.	.	.
	100-150	C+PUU	H8	100	10,4	34	(8,1)	2	.	.	.	.	.	.
	150-200	LC	H6	100	16,6	26	(16)	2	.	.	.	.	.	.
KAIRINNEVA 2	0-25	C	H4-6	100	0	.	(3,8)	4	5,4	28	2,6	65	2,7	7
	25-50	ERC+PUU	H6	100	0	.	(4)	4	.	.	4	38	7,5	6
	50-100	LC	H8	100	10,3	39	(6,8)	2	.	.	4,9	50	6,9	6
	100-150	LC	H9-10	100	20,3	18	(13,9)	2	26,6	28	19,1	21	10	3

Taulukko V (jatkoa). Uraani 238 -hajoamissarjan nuklidien pitoisuuksia (Bq/kg ka.) turvesuosta eri syvyydeltä otetuissa näytteissä.

LÄÄNI KUNTA SUO	SYVYYS [cm]	TLAJI	MAATUN. PINTA [cm]	²³⁸ U	²³⁸ U-v%	²²⁶ Ra (γ)	²²⁶ Ra (γ) -v%	²²⁶ Ra (q)	²²⁶ Ra (q) -v%	²¹⁰ Pb	²¹⁰ Pb-v%	²¹⁰ Po	²¹⁰ Po-v%
LAPIN LÄÄNI													
ROVANIEMI													
ISOAAPA 1	0-25	C	H4	100	0	(3,9)	3	4,4	26	29,4	23	14,5	2
	25-50	C	H4	100	6,1	122	(3)	2,9	30	7,4	25	5,9	6
	50-100	C	H4	100	21,1	36	(1,7)	3,1	27	9,9	45	6,4	5
	80-130	LC	H5	100	24,4	34	(5,8)	2,9	29	3,2	120	7,9	4
ISOAAPA 2	0-25	C	H4	100	0	(2,7)	5	.	.	.	.	.	.
	25-50	C	H4	100	0	(2,3)	5	.	.	.	.	.	.
	50-100	C	H4	100	0	(6,8)	3	.	.	.	.	.	.
	100-150	C	H6	100	44,1	25	(12,9)	2	.	.	.	.	.
	110-160	C	H6	100	41,2	22	(8,9)	3	.	.	.	.	.
RANUA													
NÄÄTAAPA 1	0-25	C	H4	0	0	(2,3)	7	2,5	31	186,9	17	200,4	9
	25-50	C	H4	0	0	(1,1)	11	1,8	29	3,5	35	2,8	9
	50-100	C	H4	0	0	(1,8)	6	1,2	36	2,5	83	2,2	6
	100-150	C	H7	0	0	(6,3)	4	4,7	29	6	28	3,6	9
	150-200	LC	H7	0	0	(0,5)	29	4,1	35	9,3	24	6,5	8
NÄÄTAAPA 2	0-25	CS	H3	0	0	(3,4)	7	.	.	.	.	.	.
	25-50	C	H4	0	0	(3,1)	4	.	.	.	.	.	.
	50-100	C	H4	0	0	(3,8)	4	.	.	.	.	.	.
	100-150	C	H4	0	0	(4,8)	5	.	.	.	.	.	.
	130-180	C	H7	0	0	(7,4)	3	.	.	.	.	.	.
OULUN LÄÄNI													
PUDASJÄRVI													
VITTASUO 1	0-25	NC	H5	150	0	(1,9)	4	.	.	.	.	.	.
	25-50	NC	H5	150	0	(1,6)	8	.	.	.	.	.	.
	50-100	C	H4	150	0	(2,8)	6	.	.	.	.	.	.
	100-140	C	H5	150	50,7	33	(10,8)	3	.	.	.	.	.

Taulukko V (jatkoa). Uraani 238 -hajoamissarjan nuklidien pitoisuuksia (Bq/kg ka.) turvesuosta eri syvyydeltä otetuissa näytteissä.

LÄÄNI KUNTA SUO	SYVYYS [cm]	TLAJI	MAATUN. PINTA [cm]	²³⁸ U	²³⁸ U-v%	²²⁶ Ra (γ)	²²⁶ Ra (γ) -v%	²²⁶ Ra (q)	²²⁶ Ra (q) -v%	²¹⁰ Pb	²¹⁰ Pb-v%	²¹⁰ Po	²¹⁰ Po-v%	
OULUN LÄÄNI														
PUDASJÄRVI														
VITTASUO 2														
	0-25	C	H4	150	8,6	47	(1,8)	5	4,7	27	0	0	9,7	3
	25-50	C	H4	150	0	.	(2,1)	5	11,4	26	7,7	46	2,1	6
	50-90	C	H6	150	0	.	(10)	4	17,5	29	12,7	24	8,6	5
HAAPAVESI														
NAISTENRÄME														
(PIIPSANNEVA 1)														
	0-25	C	H4	70	0	.	(2)	4	1,9	25	1,4	84	5,2	5
	25-50	C	H6	70	7,6	49	(3,1)	3	.	.	1,2	75	3	7
	50-100	C	H7	70	0	.	(5,2)	3	5,3	25	5,3	25	3	9
	100-150	C+KORTE	H6	70	24,5	30	(14,1)	2	10,1	24	.	.	14,6	4
PIIPSANNEVA 2														
	0-25	C	H5	150	0	.	(3,4)	3	2,8	24	.	.	3,3	5
	25-50	C	H6	150	0	.	(3,1)	5	.	.	7,9	37	2,6	7
	50-100	C	H6	150	24,2	30	(4,1)	4	.	.	11,2	64	4,2	4
	100-150	C	H6	150	30,3	27	(6,8)	3	.	.	12,9	92	.	.
	150-170	C	H8	150	24,7	39	(15,3)	2	.	.	.	.	.	.

Taulukko VI. Thorium 232:n, uraani 235:n, kalium 40:n, cesium 134:n ja cesium 137:n pitoisuuksia (Bq/kg ka.) turvesuosta eri syvyydeltä otetuissa näytteissä. Turvelaji (TLAJI), maatuneisuus (MAATUN.), turpeenoston yhteydessä aikaisemmin poistetun kerroksen paksuus (PINTA) ja määrittelyn epävarmuus (v%) on myös ilmoitettu. Alle määrittelyrajan olevat pitoisuudet on merkitty nolllaksi.

LÄÄNI KUNTA SUO	SYVYYS [cm]	TLAJI	MAATUN. PINTA [cm]	⁴⁰ K	⁴⁰ K-v%	¹³⁴ Cs	¹³⁴ Cs-v%	¹³⁷ Cs	¹³⁷ Cs-v%	²³⁵ U	²³⁵ U-v%	²³² Th	²³² Th-v%	
KESKI-SUOMEN LÄÄNI														
HANKASALMI														
LÄYNIÖNSUO 1	0-30	LSC,NC	H4	100	3,3	16	0,1	14	1,7	4	1,8	9	10	2
	30-60	NC	H4	100	33,5	5	0	.	0,2	29	4	15	24,7	2
	60-120	NC	H4	100	12,3	9	0	.	0,3	25	7	6	30,1	2
LÄYNIÖNSUO 2	0-20	LSC	H4	150	6,5	28	0,3	21	5	5	0,9	30	5,1	7
	20-70	NC	H4	150	4,8	18	0	.	0,3	16	1	17	4,7	5
LÄYNIÖNSUO 3	0-20	LERS	H8	100	0	.	0	.	1,7	6	0	.	0	.
	20-40, 50-60	LERS,ERS	H8	100	0	.	0	.	0,3	14	0	.	0,6	20
	60-100	C	H6	100	3,5	30	0	.	0,4	18	0,1	85	1,8	10
	100-140	EQC	H4	100	4,4	28	0	.	0	.	0,6	38	3,1	8
LÄYNIÖNSUO 4	0-20	LERS	H6	100	0	.	0	.	4,7	4	0	.	0,4	42
	20-50	LERS,EQC	H6,H4	100	0	.	0	.	0,5	11	0,3	28	2,5	6
	50-130	EQC	H4	100	14,6	7	0	.	0,1	39	0,5	29	4,8	4
KYMEN LÄÄNI														
ANJALANKOSKI														
HAUKKASUO 1	0-50	S	H3,H7	50	0	.	0	.	7,4	4	0	.	0,7	74
	50-150	S,C	H7,H4	50	4,6	13	0	.	0,6	8	0,2	60	1,6	7
	150-250	C	H4	50	2,3	36	0	.	0,3	17	0,1	153	2,4	8
	250-350	C	H4,H6	50	28,1	5	0	.	0	.	1,4	12	9,1	4
HAUKKASUO 2	0-50	ERS,C	H5,H4	100	0	.	0	.	1	8	0,4	34	3,3	6
	50-150	C	H4	100	10,4	10	0	.	0,2	24	1,5	11	11,4	3
	150-250	C,LC	H4,H5,H6	100	0	.	0	.	0,4	16	1,2	15	7,2	4

Taulukko VI (jatkoa). Thorium 232:n, uraani 235:n, kalium 40:n, cesium 134:n ja cesium 137:n pitoisuuksia (Bq/kg ka.) turvesoissa.

LÄÄNI KUNTA SUO	SYVYYS [cm]	TLAJI	MAATUN. PINTA [cm]	⁴⁰ K	⁴⁰ K-v%	¹³⁴ Cs	¹³⁴ Cs-v%	¹³⁷ Cs	¹³⁷ Cs-v%	²³⁵ U	²³⁵ U-v%	²³² Th	²³² Th-v%	
HAUKKASUO 3	0-20	LS	H6	50	17,3	5	2,6	2	80	3	1	15	11,6	2
	20-50	LS,C	H6,H4	50	20,6	9	3,4	4	90,8	3	1,8	17	11,6	4
	50-150	C	H4	50	5,5	14	2	4	44,9	3	2,5	10	20,1	2
	150-250	C	H4	50	6,9	12	0,6	7	15,3	3	1,9	12	13,6	3
	250-350	EQC,LC	H4	50	18,6	5	0,2	18	4,3	3	1,8	13	14,4	2
	250-400	EQC	H4	50	206,1	2	0	.	0,8	10	2,7	21	31,2	2
TAIPALSAARI														
SUURSUO 1	0-25	S	H3	50	7	10	0,5	6	25,2	3	0	.	0,2	46
	25-100	S,ERS	H3,H5	50	0	.	0	.	5,7	3	0	.	0,4	47
	100-175	S	H3,H6	50	0	.	0	.	0,5	10	0	.	0	.
	175-250	S,CS	H3,H6,H7	50	2,4	29	0,1	25	1,5	5	0	.	0,2	65
	250-335	LCS	H6	50	213,4	2	0	.	0,2	38	0,7	35	9	3
SUURSUO 2	0-25	S	H3	100	0	.	0	.	2,7	4	0	.	0,2	63
	25-50	S	H4	100	0	.	0	.	0,7	10	0	.	0	.
	50-125	S	H6	100	0	.	0	.	0,2	33	0	.	0,4	58
	125-200	ERS,C	H7,H4	100	1,9	24	0	.	0,1	26	0,6	12	0,9	10
	200-265	LC,S,PHB	H4	100	14,6	6	0	.	0	.	1,5	9	1,9	7
HAMEEN LÄÄNI														
VIRRAT														
HIETASALONNEVA 1	0-20	C	H4	200	8,5	18	0,4	16	5,8	4	0,6	39	5,6	5
	20-100	C	H4	200	24,2	6	0	.	1,1	7	0	.	9	3
HIETASALONNEVA 2	0-20	S	H4	200	0	.	0,1	12	2,3	3	0	.	0,2	31
	20-50	S	H4	200	0	.	0	.	0,5	15	0	.	0	.
	50-135	S,LCS	H4,H8	200	0	.	0	.	0,2	19	1	23	5,8	4

Taulukko VI (jatkoa). Thorium 232:n, uraani 235:n, kalium 40:n, cesium 134:n ja cesium 137:n pitoisuuksia (Bq/kg ka.) turvesoissa.

LÄÄNI KUNTA SUO	SYVYYS [cm]	TLAJI	MAATUN. PINTA [cm]	⁴⁰ K	⁴⁰ K-v%	¹³⁴ Cs	¹³⁴ Cs-v%	¹³⁷ Cs	¹³⁷ Cs-v%	²³⁵ U	²³⁵ U-v%	²³² Th	²³² Th-v%	
TURUN JA PORIN LÄÄNI														
PUNKALAUDUN														
ARKKUINSUO 1	0-25	ERS	H4	100	0	.	0,5	11	12,5	3	0	.	0	.
	25-50	ERS+C	H4	100	0	.	0	.	2	5	0,3	51	1,6	11
	50-125	LC,C	H5,H4	100	1	45	0,1	24	2,2	4	0,7	15	2,9	5
	125-175	C,LC	H4	100	5,6	16	0	.	0	.	0	.	5,9	4
	175-225	LC,PHRC	H4	100	26	3	0	.	0,3	11	2,4	7	18,9	2
ARKKUINSUO 2	0-25	C	H4	200	39	4	0	.	0,3	15	1,7	12	16,3	2
	25-50	C	H4	200	43,5	5	0	.	0,2	32	2,2	18	18,4	3
	50-110	C,LC	H4	200	191,5	3	0	.	0,2	20	3,2	12	29,7	2
HONKAJOKI														
SATAMAKEIDAS 1	0-25	S	H3	50	8,1	18	29	1	621,7	2	0,4	52	1	25
	25-50	S	H3	50	3,6	48	5,6	3	125,7	3	0	0	0,7	59
	50-125	S	H4,H7	50	3,3	21	0,3	12	8,9	3	0	.	0,9	14
	125-210	C,EQC	H4,H6	50	12,4	7	0	.	2,5	4	0	.	4,7	4
SATAMAKEIDAS 2	0-25	S	H4	0	0	.	25,1	2	563,7	3	0,2	191	0	.
	25-100	S,ERS	H4,H5	0	0	.	1,2	4	28	3	0	.	0	.
	100-185	S,ERS,CS	H3,H7,H8	0	11,7	5	0,2	9	4,4	3	0	.	2,1	5
POHJOIS-KARJALAN LÄÄNI														
ILOMANTSI														
MEKRIJÄRVI 1	0-50	SC,C	H5,H4-5	150	3,1	21	0	.	0,1	33	0	.	0,4	33
	50-150	C	H7	150	7	10	0	.	0,3	14	0,2	37	0,7	13
MEKRIJÄRVI 2	0-25	S	H2-3	20	9,4	16	0	.	13,2	3	0	.	0,5	67
	25-50	ERS	H5	20	4,7	23	0	.	7,4	3	0	.	0,4	35
	50-100	CS	H6	20	1	40	0	.	1,1	8	0	.	1,1	16
	100-150	SC	H7	20	2,2	43	0	.	0,2	22	0,2	74	1,9	11
	150-200	SC	H7	20	2,3	42	0	.	0	.	0,1	113	1,8	12
	200-250	SC	H6	20	5,9	18	0	.	0,1	44	0,2	81	3,4	7
	250-280	SC	H6	20	56,6	5	0	.	1,9	7	0,8	36	3	5

Taulukko VI (jatkoa). Thorium 232:n, uraani 235:n, kalium 40:n, cesium 134:n ja cesium 137:n pitoisuuksia (Bq/kg ka.) turvesoissa.

LÄÄNI KUNTA SUO	SYVYYS [cm]	TLAJI	MAATUN. PINTA [cm]	⁴⁰ K	⁴⁰ K-v %	¹³⁴ Cs	¹³⁴ Cs-v %	¹³⁷ Cs	¹³⁷ Cs-v %	²³⁵ U	²³⁵ U-v %	²³² Th	²³² Th-v %	
KUOPION LÄÄNI														
SONKAJÄRVI														
PIHLAJASUO 1	0-25	EQC	H4	200	5	13	0	.	1	6	0,3	25	5	3
	25-50	EQC	H4	200	2,8	38	0	.	3,3	4	0,4	29	4,4	5
	50-100	EQC+B	H4	200	7,3	16	0	.	0,4	17	0,2	81	2,7	9
PIHLAJASUO 2 (TEERISUO)	0-25	S	H3,H6	200	2	22	0	.	4,6	3	0	.	0,5	14
	25-50	SC	H5	200	1,3	35	0	.	1,6	4	0	.	0,7	13
	50-100	SC	H6	200	2,9	32	0	.	1,8	6	0,3	42	1,7	12
PIELAVESI														
LAPPASUO 1	0-25	ERS+PUU	H7	250	8,4	11	0,5	9	9	3	0,1	125	2,1	8
	25-50	PHRC+PUU	H4	250	3,2	31	0	.	1,5	7	0,4	38	2,5	8
	50-100	C+LJ	H4	250	55,3	5	0	.	0,6	17	2,9	15	25,4	3
LAPPASUO 2	0-25	C	H4	250	5,1	16	0	.	1,2	6	0,2	62	4,1	5
	25-50	C	H4	250	10,8	12	0	.	0,3	28	0,6	34	5	6
VAASAN LÄÄNI														
HALSUA														
KAIRINNEVA 1	0-25	C	H5	100	4	26	0,3	14	13,5	3	0	.	0,8	20
	25-50	C	H4	100	0	.	0	.	2,9	5	0	.	1,3	15
	50-100	ERC	H6,H9	100	5,3	12	0	.	0,4	10	0	.	1,6	7
	100-150	C+PUU	H8	100	3,3	16	0	.	0,1	23	0,5	33	5,7	3
	150-200	LC	H6	100	2,7	24	0	.	0,3	17	1	32	9,8	3
KAIRINNEVA 2	0-25	C	H4-6	100	2,3	48	0	.	4,8	4	0,1	289	3	8
	25-50	ERC+PUU	H6	100	0	.	0	.	0,7	11	0	.	2,2	10
	50-100	LC	H8	100	1,7	37	0	.	0,2	22	0,3	55	3,3	5
	100-150	LC	H9-10	100	2,2	25	0	.	0,1	32	1,3	22	9,2	3

Taulukko VI (jatkoa). Thorium 232:n, uraani 235:n, kalium 40:n, cesium 134:n ja cesium 137:n pitoisuuksia (Bq/kg ka.) turvesoissa.

LÄÄNI KUNTA SUO	SYVYYS [cm]	TLAJI	MAATUN. PINTA [cm]	⁴⁰ K	⁴⁰ K- ν %	¹³⁴ Cs	¹³⁴ Cs- ν %	¹³⁷ Cs	¹³⁷ Cs- ν %	²³⁵ U	²³⁵ U- ν %	²³² Th	²³² Th- ν %	
LAPIN LÄÄNI														
ROVANIEMI														
ISOAAPA 1	0-25	C	H4	100	30,2	5	0,1	25	10,7	3	0	.	3,3	5
	25-50	C	H4	100	0	.	0	.	2,5	5	0,2	61	3,2	7
	50-100	C	H4	100	4,6	23	0	.	1,7	6	0,7	22	4,5	6
	80-130	LC	H5	100	2,6	42	0	.	0,2	29	0,7	27	7	5
ISOAAPA 2	0-25	C	H4	100	0	.	0	.	4,3	4	0	.	1	19
	25-50	C	H4	100	0	.	0	.	3,1	5	0	.	1,3	13
	50-100	C	H4	100	0	.	0	.	0	.	0,7	33	12,1	3
	100-150	C	H6	100	0	.	0	.	0	.	1,8	16	25,2	3
	110-160	C	H6	100	4,4	29	0	.	0	.	1,9	16	26,3	3
RANUA														
NÄÄTAAPA 1	0-25	C	H4	0	9,6	18	0,6	12	38,9	3	0,1	138	1	25
	25-50	C	H4	0	0	.	0	.	4,6	4	0	.	1,2	19
	50-100	C	H4	0	19,4	8	0	.	2,3	6	0	.	2,4	9
	100-150	C	H7	0	128,3	4	0	.	0,4	25	0,6	43	8,4	5
	150-200	LC	H7	0	0	.	0	.	0,2	.	0	.	0,4	101
NÄÄTAAPA 2	0-25	CS	H3	0	21,9	12	0,6	13	77,8	3	0	.	1,4	24
	25-50	C	H4	0	3,8	32	0	.	2,3	6	0,2	71	2,8	8
	50-100	C	H4	0	0	.	0	.	0,5	16	0	.	4,2	7
	100-150	C	H4	0	0	.	0	.	0,3	41	0,3	100	5	13
	130-180	C	H7	0	4,7	34	0	.	0	.	0,4	60	9,7	5
OULUN LÄÄNI														
PUDASJÄRVI														
VIITASUO 1	0-25	NC	H5	150	4,8	14	0	.	5,4	3	0	.	1,9	7
	25-50	NC	H5	150	0	.	0	.	2,2	6	0,2	73	2,5	10
	50-100	C	H4	150	0	.	0	.	0,2	36	0,2	105	1,9	14
	100-140	C	H5	150	0	.	0	.	0,5	24	0,9	41	11,3	5

Taulukko VI (jatkoa). Thorium 232:n, uraani 235:n, kalium 40:n, cesium 134:n ja cesium 137:n pitoisuuksia (Bq/kg ka.) turvesoissa.

LÄÄNI KUNTA SUO	SYVYYS [cm]	TLAJI	MAATUN. PINTA [cm]	⁴⁰ K	⁴⁰ K-v%	¹³⁴ Cs	¹³⁴ Cs-v%	¹³⁷ Cs	¹³⁷ Cs-v%	²³⁵ U	²³⁵ U-v%	²³² Th	²³² Th-v%	
OULUN LÄÄNI														
PUDASJÄRVI														
VITTASUO 2														
	0-25	C	H4	150	8,7	10	0	.	5,4	3	0	.	2	8
	25-50	C	H4	150	3,8	30	0	.	0,5	14	0,2	78	1,9	11
	50-90	C	H6	150	0	.	0	.	0	.	0	.	9,2	6
HAAPAVESI														
NAISTENRÄME														
(PIIPSANNEVA 1)														
	0-25	C	H4	70	1,8	27	0	.	3,1	4	0	.	0,3	28
	25-50	C	H6	70	2,5	22	0	.	1	6	0	.	2,3	6
	50-100	C	H7	70	5,2	16	0	.	0,5	12	0,3	58	5	5
	100-150	C+KORTE	H6	70	21,6	7	0	.	0,2	40	1,1	26	13	3
PIIPSANNEVA 2														
	0-25	C	H5	150	2,8	27	0	.	1,4	6	0	.	2,4	6
	25-50	C	H6	150	0	.	0	.	0,1	44	0	.	1,6	14
	50-100	C	H6	150	8,5	14	0	.	0,5	14	0	.	3,2	8
	100-150	C	H6	150	8,7	16	0	.	0	.	0	.	5,6	5
	150-170	C	H8	150	54	5	0	.	0,2	43	1,1	31	14	4

Taulukko VII. Turvesatoa 1994 edustavien näytteiden radionuklidipitoisuudet (Bq/kg ka.). Alle havaitsemisrajan olevat pitoisuudet on merkitty nollassi. v% on määrittelyn epävarmuus.

		²³² Th	v%	²³⁸ U	v%	²³⁵ Ra	v%	²³⁵ U	v%	¹³⁷ Cs	v%	¹³⁴ Cs	v%	⁴⁰ K	v%	
Hämeen lääni																
	Väärälammensuo	Hattula	2,3	9	50,9	15	8,3	2	2	11	40,2	3	1,4	5	9	12
	Hietasalonneva	Virrat	4,9	5	39,9	22	7,5	3	0,6	40	17,3	3	0,5	12	23,2	7
Keski-Suomen lääni																
	Ahvenlamminsuo	Pylkönmäki	2,2	8	0	.	5,2	3	0,6	31	82,6	3	3,2	3	12,8	9
	Savonneva	Kyyjärvi	4,4	5	0	.	5	3	0	.	14,2	3	0,5	9	16,2	7
	Haapasuo	Leivonmäki	4,5	5	0	.	7	2	0,7	24	32,1	3	1,2	6	6,7	16
	Läyniönsuo	Hankasalmi	4,2	7	0	.	4	4	0,3	72	26,2	2	1	7	32,3	8
	Oriräme	Pihtipudas	12,6	4	0	.	13,6	2	1,5	20	17,8	3	0,6	11	30,9	7
	Heinänsuo	Viitasaari	5,3	4	36,9	15	9,5	2	0,9	23	20,8	3	0,6	8	18,1	6
Kuopion lääni																
	Rastunsuo	Rautalampi	3,1	8	16,4	42	5,4	3	0,3	56	29,8	3	1,2	6	22,8	8
	Kaikonsuo	Kiuruvesi	2,1	8	0	.	3,8	3	0	.	7,6	3	0,1	26	9,6	9
	Pattosuo	Kiuruvesi	7,7	4	0	.	9,7	2	0,7	31	28,3	2	0,9	9	42,8	6
	Lappasuo	Keitele	3,5	8	0	.	3,2	8	0	.	19	2	0,6	12	0	.
	Kurkisuo	Suonenjoki	1,3	15	0	.	2,8	5	0,1	120	374,8	3	14	2	21	6
	Kulvesuo	Rautavaara	3,8	7	18,2	45	5,4	3	0,6	35	10,1	3	0,3	17	9,9	16
	Pihlaja-/Teerisuo	Sonkajärvi	7,3	4	0	.	4,8	4	0	.	16,5	2	0,5	12	30,7	9
Kymen lääni																
	Konnunsuo	Joutseno	1,4	15	6	116	2,5	5	0,5	31	3,6	5	0	0	5,1	22
	Paljasuo	Raujärvi	0,8	31	20,8	48	1,2	12	0	.	2,1	7	0	0	0	0
	Oritsuo	Ruokolahdi	0	0	0	.	0	.	0	.	16,2	3	0	0	0	0
	Suursuo	Taipalsaari	0	0	0	.	1,3	10	0	.	10,1	3	0,3	22	8,7	17
	Haukkasuo	Anjalankosk	4,6	4	0	.	4,4	3	0,5	35	75,5	2	2,8	2	32,7	6
Lapin lääni																
	Näätäaapa	Ranua	1,1	15	0	.	1,9	5	0	.	4,6	4	0	0	2,4	35
	Lumiaapa	Simo	3,4	6	15,9	32	4,4	3	0,5	29	8,5	3	0,1	22	9,5	11
	Rakkaviidanaapa	Tervola	2,1	10	13,7	82	1,4	12	0	.	1,8	7	0	0	11,5	14
	Suksiaapa	Rovaniemi	5,1	5	0	.	5,8	3	0	.	4,7	4	0	0	36,1	7
	Muljuaapa	Kemijärvi	3,9	6	0	.	7,4	2	0,8	21	8,6	3	0,1	31	12,3	10
Mikkelin lääni																
	Laviasuo	Heinolan ml	2,7	9	0	.	5,5	3	0	.	32,5	2	1,5	5	38,4	7
	Soimasuo	Hartola	3,1	8	0	.	5,9	3	0,7	28	50,1	3	1,8	5	14,4	10
	Ropofansuo	Haukivuori	1	22	0	.	3	5	0	.	21,7	3	0,8	9	0	0
	Huppionsuo	Juva	1,7	10	0	.	3,2	4	0,1	154	5,7	4	0	0	17,2	8
Oulun lääni																
	Konnunsuo	Pyhäntä	2,5	7	0	.	3,8	3	0,1	239	8,3	3	0,1	24	13	9
	Pelionsuo	Vaala	2,9	10	0	.	4,1	4	0	.	4,4	5	0	0	38	7
	Laakasuo	Kajaani	3,7	7	26,6	35	5,2	3	0,3	57	13	2	0,3	16	29,6	8
	Luestuo	Vuolijoki	6,6	5	0	.	5,6	4	0	.	6,8	4	0	0	39,8	6
	Varpusuo	Sotkamo	4	5	0	.	6,2	2	0,4	34	11,3	3	0,3	12	17,1	7
	Piippanneva	Haapavesi	2,3	8	0	.	4,3	3	0	.	6,8	3	0	0	11,9	9

Taulukko VII (jatkoa). Turvesatoa 1994 edustavien näytteiden radionuklidipitoisuudet (Bq/kg ka.). Alle havaitsemisrajan olevat pitoisuudet on merkitty nollassi. v% on määrittelyn epävarmuus.

		²³² Th	v%	²³⁸ U	v%	²²⁶ Ra	v%	²³⁵ U	v%	¹³⁷ Cs	v%	¹³⁴ Cs	v%	⁴⁰ K	v%	
Oulun lääni																
	Puutionneva	Haapavesi	3,8	5	0	.	5	3	0	.	17,6	3	0,4	10	8,1	11
	Nurmesneva	Pyhäjärvi	5,1	5	13,1	46	7,2	2	0	.	15,8	3	0,4	14	17,2	8
	Pihlajaneva	Kärsämäki	5,9	5	0	.	7,1	3	0,6	41	9,4	3	0,2	21	7,7	18
	Varisneva	Vihanti	0,4	31	0	.	3,3	4	0	.	9,4	3	0,2	18	11,6	9
	Kynkäänsuo	Yli-fi	4,7	6	0	.	5,3	4	0	.	13,8	2	0	.	29,6	9
	Hangassuo	Ylikiiminki	2,3	10	0	.	3,3	4	0	.	3	5	0	.	28,6	7
	Vittasuo	Pudasjärvi	3,4	6	0	.	3,6	3	0,2	75	2,9	4	0	.	12,7	8
	Itäsuo	Utajärvi	1,7	12	0	.	3,3	4	0	.	5,3	4	0	.	14,1	11
Pohjois-Karjalan lääni																
	Kyyrönsuo	Kontiolahti	2,1	8	0	.	3	4	0,1	118	5,5	4	0	.	27	6
	Linnansuo	Tuupovaara	2,1	7	0	.	3,7	3	0	.	3,9	4	0	.	17,5	6
	Mekrijärvi	Ilomantsi	3,4	7	0	.	2,6	4	0,2	56	4,5	4	0	.	12,8	9
	Valkeasuo	Tohmajärvi	4,8	6	0	.	5,6	3	0	.	4	5	0	.	13,9	10
	Pärnänsuo	Pyhäselkä	1,9	9	0	.	0	.	0	.	12,7	5	0,4	8	10,9	14
	Iljansuo	Ilomantsi	4	6	0	.	4,9	3	0	.	11,6	3	0	.	13,5	9
	Lusikkasuo	Lieksa	0	0	0	.	0	.	0	.	18	3	0	.	0	.
Turun ja Porin lääni																
	Arkkuisuo	Punkalaidun	14,1	4	44,8	23	18,4	2	2,2	20	133,5	3	4,8	3	35	6
	Matkussuo	Köyliö	2,7	10	0	.	4,2	4	0,4	51	10,4	3	0,3	18	6	26
	Keinusuo	Loimaa	3,2	15	15,8	61	5,4	4	0,5	47	11,7	3	0	.	0	.
	Alkkia	Karvia	1,9	10	0	.	2,3	5	0,2	68	54,9	3	2	4	13,5	8
	Aitoneva	Kihniö	4	5	11,7	45	6,8	2	0,4	37	26,1	3	1,1	6	27,2	5
	Latikkaneva	Parkano	2,2	10	0	.	4,1	4	0,1	233	257	3	9,9	2	9	12
	Satamakeidas	Honkajoki	2,8	7	0	.	4	3	0,2	67	102,1	3	3,9	3	12,6	9
	Jämiänkeidas	Kankaanpää	6,9	8	0	.	5,3	5	0,6	55	173	3	7	3	16,4	12
	Viherperä	Kankaanpää	0,7	21	0	.	1,6	6	0,1	126	47,4	3	1,6	4	11,1	10
Vaasan lääni																
	Haukineva	Pertsajoki	0	0	0	.	2,6	11	0	.	40,1	3	1,3	7	7	28
	Korvineva	Jalasjärvi	1,8	15	0	.	2,4	7	0	.	116,9	3	4,3	3	4,9	31
	Koivunneva	Kauhajoki	4,2	10	0	.	3,6	6	0	.	23,4	3	0,8	10	18,7	11
	Sarvineva	Kuortane	1,4	20	0	.	1,8	9	0,2	94	14,7	3	0,5	15	5,6	36
	Kairineva	Halsua	1,8	13	0	.	2,8	7	0	.	183	3	7,2	2	0	.
	Pollarinneva	Veteli	1	21	0	.	2,5	7	0,5	43	620,2	3	25,1	1	15,9	8
	Korpisalonneva	Vimpeli	2,3	8	0	.	4,3	3	0	.	116,1	3	4,7	2	10,4	9
	Tupasuo	Ähtäri	2,1	9	0	.	5,2	3	0	.	19,8	3	0,7	8	8	12
	Ulpasuo	Ähtäri	3,4	6	0	.	6	3	0,1	226	30,9	3	1,1	5	51,7	4

Taulukko VIII. Turvesatoa 1994 edustavien näytteiden radionuklidipitoisuudet; ^{210}Po ja ^{210}Pb , sekä ^{226}Ra nestetuikemenetelmällä (Bq/kg ka.). v% on määrittelyn epävarmuus.

		^{210}Po	v%	^{210}Pb	v%	^{226}Ra	v%
Savonneva	Kyyjärvi	11,4	5	18,5	33	-	-
Haapasuo	Leivonmäki	21,7	4	33,3	45	-	-
Rastunsuo	Rautalampi	12,7	5	13,4	19	4,8	24
Kulvesuo	Rautavaara	21,3	5	14,2	19	7,5	24
Paljasuo	Rautjärvi	5,8	7	12,3	46	-	-
Suksiaapa	Rovaniemen mlk	12,3	4	14	19	6,1	24
Laviassuo	Heinolan mlk	10,4	6	10,5	21	2,7	24
Huppionsuo	Juva	10,6	5	5,8	23	1,5	24
Luesuo	Vuolijoki	18,2	6	13,9	18	7,3	25
Varpusuo	Sotkamo	20,2	8	12,8	20	4,0	25
Nurmesneva	Pyhäjärvi	19,6	6	-	-	7,9	26
Kynkäänsuo	Yli-Ii	29	5	16,9	19	1,5	25
Itäsuo	Utajärvi	13,9	4	10,1	22	18,0	25
Valkeasuo	Tohmajärvi	14,4	4	13,7	19	7,0	24
Lusikkasuo	Lieksa	37,2	3	62,9	16	2,5	29
Keinusuo	Loimaa	7,5	4	14,3	23	-	-
Aitoneva	Kihniö	11,8	3	23,7	20	-	-
Viheräperä	Kankaanpää	-	-	16,8	32	-	-
Koihnanneva	Kauhajoki	10,7	4	21,2	28	-	-
Näätäaapa	Ranua	11,2	5	-	-	1,2	32
Mediaani		12,7		14,1		4,8	
Keskiarvo		15,8		18,2		5,9	

STUK-A -sarjan julkaisuja

STUK-A176 Lindholm C. Stable chromosome aberrations in the reconstruction of radiation doses. Helsinki 2000.

STUK-A175 Annanmäki M, Turtiainen T, Jungclas, Hartmut, Rausse, Christof. Disposal of Radioactive Wastes by Water Treatment Methods: Recommendations for the EC/Vedenkäsittelyssä syntyvien radioaktiivisten jätteiden hävittäminen: Suosituksia Euroopan Komissiolle. Helsinki 2000.

STUK-A174 Servomaa A, Parviainen T (toim). Säteilyturvallisuus ja laatu röntgendiagnostiikassa 2000. Koulutuspäivät 24. - 25.2.2000 ja 10. - 11.4.2000. Helsinki 2000.

STUK-A173 Hämäläinen RP, Sinkko K, Lindstedt M, Ammann M, Salo A. Decision analysis interviews on protective actions in Finland supported by the RODOS system. Helsinki 2000.

STUK-A172 Turtiainen T, Kokkonen P, Salonen L. Removal of Radon and Other Natural Radionuclides from Household Water with Domestic Style Granular Activated Carbon Filters. Helsinki 1999.

STUK-A171 Voutilainen A, Mäkeläinen I, Huikuri P, Salonen L, Arvela H. Porakaivoveden radonkartas-

to/Radonatlas över borrhunnar/Radon Atlas of wells drilled into bedrock in Finland. Helsinki 1999.

STUK-A170 Saxén R, Koskelainen U, Alatalo M. Transfer of Chernobyl-derived ¹³⁷Cs into fishes in some Finnish lakes. Helsinki 1999.

STUK-A169 Annanmäki M, Turtiainen T (Eds.). Treatment Techniques for Removing Natural Radionuclides from Drinking Water. Helsinki 1999.

STUK-A168 Suomela M, Bergman R, Bunzl K, Jaakkola T, Rahola T, Steinnes E. Effect of industrial pollution on the distribution dynamics of radionuclides in boreal understory ecosystems (EPORA). Helsinki 1999.

STUK-A167 Thorring H, Steinnes E, Nikonov V, Rahola T, Rissanen K. A summary of chemical data from the EPORA project. Helsinki 1999.

STUK-A166 Rahola T, Albers B, Bergman R, Bunzl K, Jaakkola T, Nikonov V, Pavlov V, Rissanen K, Schimmack W, Steinnes E, Suomela M, Tillander M, Äyräs M. General characterisation of study area and definition of experimental protocols. Helsinki 1999.

STUK-A165 Ilus E, Puhakainen M, Saxén R. Strontium-90 in the bottom

sediments of some Finnish lakes. Helsinki 1999.

STUK-A164 Kosunen A. Metrology and quality of radiation therapy dosimetry of electron, photon and epithermal neutron beams. Helsinki 1999.

STUK-A163 Servomaa A (toim.). Säteilyturvallisuus ja laadunvarmistus röntgendiagnostiikassa 1999. Helsinki 1999.

STUK-A162 Arvela H, Rissanen R, Kettunen A-V ja Viljanen M. Kerrostalojen radonkorjaukset. Helsinki 1999.

STUK-A161 Jokela K, Leszczynski D, Paile W, Salomaa S, Puranen L, Hyy-salo P. Radiation safety of handheld mobile phones and base stations. Helsinki 1998.

STUK-A160 Voutilainen A, Vester-backa K, Arvela H. Radonturvallinen rakentaminen - Kysely kuntien viran-omaisille. Helsinki 1998.

STUK-A159 Hämäläinen RP, Sinkko K, Lindstedt M, Ammann M, Salo A. RODOS and decision conferencing on early phase protective actions in Finland. Helsinki 1998.

STUK-A158 Auvinen A, Rahu M, Veidebaum T, Tekkel M, Hakulinen T, Salomaa S, Boice JD Jr (eds). Cancer incidence and thyroid disease among

Estonian Chernobyl clean-up workers. Helsinki 1998.

STUK-A157 Klemola S, Ilus E, Ikäheimonen TK. Monitoring of radionuclides in the vicinities of Finnish nuclear power plants in 1993 and 1994. Helsinki 1998.

STUK-A156 Eloranta E, Jokela K (toim.). The Eight National Electromagnetics Meeting, August 27, 1998. Extended Abstracts. Helsinki 1998.

STUK-A155 Salomaa S, Eloranta E, Heimbürger H, Jokela K, Järvinen H, (toim.). Säteilyturvakeskuksen tutkimushankkeet 1998 - 2000. Helsinki 1998.

STUK-A154 Puhakainen M, Suomela M. Detection of radionuclides originating from a nuclear power plant in sewage sludge. Helsinki 1998.

Täydellisen listan STUK-A -sarjan julkaisuista saa

Säteilyturvakeskus
Julkaisutoimikunta/Sihtööri
PL 14
00881 Helsinki
puh. (09) 759 881