

Aiheuttaako tuhkalannoitus vaaraa ihmisen terveydelle? Ovatko marjojen ja sienten sisältämien raskasmetallien pitoisuudet ensimmäisinä vuosina tuhkalannoituksen jälkeen nousseet liian korkeiksi?

Nanna Tuovinen, Raimo Heikkilä & Tapio Lindholm
Suomen ympäristökeskus
Luontoympäristökeskus

Tuhkalannoituksen on todettu erityisesti turvemailla saavan aikaan merkittävää puuston kasvun lisäystä. Metsäbioenergian käytön lisääntyminen tulevaisuudessa johtaa merkittävään puutuhkan määrän kasvuun. Metsien lannoitus, myös kivennäismailla, on merkittävä käyttömuoto kertyvälle tuhkalalle.

Tähän kirjallisuusselvitykseen on kerätty keskeisimmät tutkimustulokset tuhkalannoituksen vaikutuksista marjojen ja ruokasienten käytettävyyteen ja raskasmetallipitoisuuksiin ensimmäisinä vuosina lannoituksen jälkeen. Näistä tutkimuksista saatuja tuloksia verrattiin luonnonvaraisten sienien ja kauppasienten raskasmetallipitoisuuksiin.

Tuhkalannoituksen vaikutus marjoihin

Puolukka (Vaccinium Vitis-idea) ja Mustikka (Vaccinium myrtillus)

Puutuhkalannoituksella ei useiden tutkimusten mukaan ole ollut merkittävää vaikutusta puolukan ja mustikan raskasmetallipitoisuuksiin ensimmäisinä vuosina lannoituksen jälkeen (Silfverberg ja Issakainen 1991), (Rühling 1996), (Levula ym 2000), (Nilsson & Eriksson 2001), (Moilanen ja Issakainen 2003), (Perkiömäki ym. 2003), (Moilanen ym. 2006) ja (Norström ym. 2012). Raskasmetallipitoisuudet säilyivät ennallaan ja joissain tapauksissa jopa alenivat (Taulukko 1 ja 2). Alumiini-, mangaani-, kupari- ja nikkelipitoisuudet olivat selvästi matalammat neljä vuotta lannoituksen jälkeen (Moilanen ym. 2006). Myös puolukan ¹³⁷Cs-pitoisuudet olivat alhaisemmat kaksi vuotta lannoituksen jälkeen (Levula ym. 2000).

Turpeentuhka kohotti puolukan ja mustikan rauta- ja alumiinipitoisuuksia merkitsevästi (Silfverberg ja Issakainen 1991) (Taulukko 1 ja 2). Myös Moilanen ja Issakainen havaitsivat turvetuhkan nostaneen marjojen rautapitoisuuksia (Moilanen ja Issakainen 2000)

Taulukko 1. Puolukan alkuainepitoisuuksia kuiva-aineesta.

	Silvferberg & Issakainen 1991*			Levula ym. 2000**				Moilanen & Issakainen 2003***		
	kontrolli	PT 10 t/ha	TT 20t/ha	Kontrolli	PT 1t/ha	PT 2,5t/ha	PT 5t/ha	Kontrolli	PT 3 ja 9 t/ha	pitoisuus
P	1,46	1,39	1,46	1,1	1,2	1,1	1,2	0,9	1	mg/g
K	7,33	9,74	6,94	6	6,6	6,6	7,6			mg/g
Ca	1,87	1,35	1,93	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,5	mg/g
Mg	0,72	0,64	0,72	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	mg/g
Fe	21,1	23,1	98,4	15	15	13	15	11	11	mg/kg
Al	45	48,6	61,1	32	30	27	30	31	26	mg/kg
Mn	353	260	373	253	241	254	261	242	169	mg/kg
Zn	13,6	14	13,9	11	11	11	11	10	9	mg/kg
Cu	5,2	4,4	5	5,7	5,9	5	5,3	3,9	3,2	mg/kg
Pb	0/7	4/7	3/7							
Cd	1/7	4/7	3/7	0,004	0,004	0,003	0,005	0,009	0,006	mg/kg
Cr				0,2	0,2	0,2	0,2	< 0,4	< 0,4	mg/kg
Ni				0,3	0,2	0,3	0,3	0,41	0,27	mg/kg

Lyhenteet PT= puutuhka ja TT= turvetuhka

* Silverberg & Issakainen 1991: Puolukan marjojen alkuainepitoisuuksia kontrollialueella ja kivennäismaalla 2,5 kuukautta tuhkalannoituskokeen jälkeen. Cd- ja Pb-pitoisuudet on ilmoitettu kuinka monta näytettä ylitti määrittäysrajan. Tutkimuksessa käytetyn puutuhkan Cd-pitoisuus oli 31g/t, Pb-pitoisuus 50g/t ja turvetuhkan Cd-pitoisuus 9 g/t ja Pb-pitoisuus 200 g/t.

** Levula ym. 2000: Puolukan pitoisuuksia 2 vuotta lannoituksen jälkeen. Tutkimuksessa käytetyn tuhkan Cd-pitoisuus oli 1,4 mg/kg, Pb-pitoisuus 19 mg/kg ja keskimääräinen ¹³⁷Cs-pitoisuus oli 5000 – 10 000 Bq/Kg.

*** Moilanen & Issakainen 2003: Puolukoiden keskimääräiset ainepitoisuudet tuhkalannoitusaloilta 3 vuotta lannoituksen jälkeen. Käytetyt tuhkat ja niiden pitoisuudet on esitetty julkaisussa Moilanen & Issakainen 2003.

Puutuhka alensi merkittävästi puolukan kalsium-, magnesium- ja mangaanipitoisuuksia (Silvferberg ja Issakainen 1991) (Taulukko 1). Kaliumpitoisuus puolestaan nousi merkittävästi kaksi kuukautta lannoituksen jälkeen sekä puolukassa (Silvferberg ja Issakainen 1991 ja Moilanen ja Issakainen 2000) että mustikassa (Nilsson ja Eriksson 2001). Myös Levula ym. (2000) totesivat kaliumpitoisuuksien selvän nousun kaksi vuotta lannoituksen jälkeen lannoitusmäärän ollessa 5t/ha.

Taulukko 2. Mustikan alkuainepitoisuuksia kuiva-aineesta.

	Silvferberg & Issakainen 1991*			Moilanen & Issakainen 2003**		
	Mustikka marja			Mustikka lehti+verso		
	Kontrolli	PT 10 t/ha	TT 20/ha	kontrolli	PT	pitoisuus
P	1,73	1,55	1,65	1,7	1,7	mg/g
K	7,53	9,22	7,94	6,5	6,5	mg/g
Ca	1,22	0,85	1,05	7,5	7,5	mg/g
Mg	0,64	0,58	0,63	1,4	1,6	mg/g
Fe	22,4	20,6	68,1	43	40	mg/kg
Al	26	26,3	29,8	127	109	mg/kg
Mn	363	241	344	1987	1644	mg/kg
Zn	11,3	9,8	10,4	30	26	mg/kg
Cu	6,2	5	5,8	5,5	4,3	mg/kg
Pb	0/7	0/7	1/7	<3	<3	mg/kg
Cd	0/7	0/7	0//	<0,1	<0,1	mg/kg
Cr				<0,4	<0,4	mg/kg
Ni				1,27	0,46	mg/kg

Lyhenteet PT= puutuhka ja TT= turvetuhka

* Silverberg & Issakainen 1991: Mustikan marjojen alkuainepitoisuuksia kontrollialueella ja kivennäismaalla 2,5 kuukautta tuhkalannoituskokeen jälkeen. Cd- ja Pb-pitoisuudet on ilmoitettu kuinka monta näytettä ylitti määrittäysrajan. Tutkimuksessa käytetyn puutuhkan Cd-pitoisuus oli 31g/t, Pb-pitoisuus 50g/t ja turvetuhkan Cd-pitoisuus 9 g/t ja Pb-pitoisuus 200 g/t.

** Moilanen & Issakainen 2003: Mustikan lehtien ja versojen keskimääräiset ainepitoisuudet tuhkalannoitusaloilta 3 vuotta lannoituksen jälkeen. Käytetyt tuhkat ja niiden pitoisuudet on esitetty julkaisussa Moilanen & Issakainen 2003

Hilla (*Rubus chamaemorus*), juolukka (*Vaccinium uliginosum*) ja variksenmarja (*Empetrum nigrum*)

Hillan luontaiset lyijy- ja kadmiumpitoisuudet olivat korkeammat kuin mustikalla ja puolukalla (Taulukko 3) (Silfverberg ja Issakainen 1991, Moilanen & Issakainen 2000.). Juolukan kadmiumpitoisuudet olivat kauttaaltaan korkeahkot, joskin selvästi alemmat kuin hillalla. Molempien marjojen kadmiumpitoisuus sekä hillan lyijypitoisuus laski 2-13kk lannoituksen jälkeen (Silfverberg ja Issakainen 1991, Moilanen ym. 2006). Juolukan kuparipitoisuus puolestaan nousi. Rikastettu tuhka aiheutti kadmiumpitoisuuden nousun variksenmarjoissa (Perkiömäki ym. 2003).

Taulukko 3. Hillan ja juolukan alkuainepitoisuuksia kuiva-aineesta.

	Silfverberg & Issakainen 1991*			Moilanen ym. 2006**			pitoisuus
	Hilla marja			Juolukka			
	Kontrolli	PT 10 t/ha	TT 20/ha	Kontrolli	PT 5t/ha	PT 15t/ha	
P	3,31	3,03	3,08				mg/g
K	15,4	20,47	15,83				mg/g
Ca	0,63	0,48	0,62				mg/g
Mg	2,5	2,43	2,23				mg/g
Fe	51	44	170	18	24	27	mg/kg
Al	5	4,7	20,8				mg/kg
Mn	90	70	81	53	49	60	mg/kg
Zn	41,3	40,2	36,7	20	22	20	mg/kg
Cu	4,9	3,2	4,1	3,7	4,5	4,1	mg/kg
Pb	0,89	0,78	0,52				mg/kg
Cd	0,69	0,5	0,44	0,25	0,16	0,16	mg/kg
Cr							mg/kg
Ni				0,52	0,57	0,55	mg/kg

Lyhenteet PT= puutuhka ja TT= turvetuhka

* Silverberg & Issakainen 1991: Hillan marjojen alkuainepitoisuuksia kontrollialueella ja kivennäismaalla 2,5 kuukautta tuhkalannoituskokeen jälkeen. Tutkimuksessa käytetyn puutuhkan Cd-pitoisuus oli 31g/t Pb-pitoisuus 50g/t ja turvetuhkan Cd-pitoisuus 9 g/t ja Pb-pitoisuus 200 g/t.

** Moilanen ym. 2006: Juolukan alkuainepitoisuuksia 2 vuotta tuhkalannoituksen jälkeen. Tuhkan Cd-pitoisuus vaihteli 6-15 g/t.

Sienet

Kadmiumpitoisuudet olivat korkeammat lannoitetuilla alueilla, mutta ero pitoisuuksissa oli merkitsevä ainoastaan yhden lajin kohdalla, tulipunahaperolla (*Russula emetica*) (Taulukko 4) (Lodenius ym. 2002). Tuhkalannoitettujen alueiden ja kontrollialueiden vertailu osoittaa, että makrosienien kadmiumpitoisuudet nousevat tuhkalannoituksen jälkeen, mutta kahden vuoden jälkeen on nousu tasoittunut. Perkiömäen ym. (2003) mukaan vain kadmiumilla rikastettu tuhka (kadmiumpitoisuus 400mg/kg) aiheutti kadmiumpitoisuuden nousun kangasrouskuissa (*Lactarius rufus*) 0,85 mg/kg:sta 1,33 mg/kg. Moilanen ym (2006) havaitsivat kadmiumpitoisuuksien pulkkosienessä (*Paxillus involutus*) ja kangasrouskuissa (*Lactarius rufus*) laskevan 4 vuotta lannoituksen jälkeen merkitsevästi. Tutkimukset osoittavat myös, että mitään merkittävää kadmiumpitoisuuden kasvua ei pitkänkään ajan kuluessa tapahdu (Rühling 1996, Moilanen & Issakainen 2000). Tämä on todennäköistä seurausta tuhkalannoituksen aiheuttamasta humuskerroksen pH:n noususta (Saarsalmi ym 2005, Saarsalmi ym. 2014).

Alumiini-, rauta-, arseeni-, nikkeli- ja titaanipitoisuudet olivat toisinaan hyvin korkeat 2-14 kuukautta lannoituksen jälkeen johtuen todennäköisemmin tuhkan aiheuttamasta suorasta pintakontaminaatiosta kuin varsinaisesta aktiivisesta metallien otosta (Moilanen ym. 2006).

Taulukko 4. Sienten kadmiumpitoisuuksia mg/kg (dw)

	Lodenius ym. 2002	
	kontrolli	PT 4,8t/ha
	ka ± sd	ka ± sd
Kangasrousku (<i>Lactarius rufus</i>)	0,99 ± 0,75	1,2 ± 1,1
Lampaankäärä (<i>Albatrellus ovinus</i>)	0,36 ± 0,06	0,75 ± 0,08
Känsätuhkelo (<i>Lycoperdon perlatum</i>)	0,64 ± 0,57	1,3 ± 0,41
<i>Cantharellus sp.</i>	0,46 ± 0,42	0,28 ± 0,20
<i>Clitocybe sp.</i>	0,75 ± 0,47	1,3 ± 1,07
Valevahvero (<i>Hygrophoropsis aurantiaca</i>)	0,3 ± 0,15	0,41 ± 0,06
Haaparousku (<i>Lactarius trivialis</i>)	0,23 ± 0,15	0,29 ± 0,22
Tulipunahapero (<i>Russula emetica</i>)	0,57 ± 0,18	3,6 ± 3,8
Kehnäsieni (<i>Rozites caperata</i>)	10	23
Korvasieni (<i>Gyromitra esculenta</i>)	2,9	2,3

Lyhenteet: PT=Puutuhka, ka=keskiarvo ja sd=keskihajonta.

Lodenius ym. 2002. Sienten kadmiumpitoisuuksia 2 vuotta tuhkalannoituksen jälkeen. Käytetyn tuhkan Cd-pitoisuus oli 9,2 µg/g (dw)

Taulukko 5. Kangastatin ja pulkkosienen metallipitoisuuksia mg/kg (dw)

	Moilanen ym. 2006				
	Kangastatti (<i>S. Variegatus</i>)			Pulkkosieni (<i>P. Involutus</i>)	
	Kontrolli	tuhka 3t/ha	tuhka 9t/ha	Kontrolli	PT 15t/ha
Al	38	40	30	20	88
Fe	216	224	144	101	69
Mn	4,1	6,1	6,5	22	22
Cr	0,15	0,22	0,22	0,25	0,53
Cu	11,1	11,6	11,4	70	58
Zn	53	55	52	224	169
Ni	0,42	0,4	0,4	0,54	0,54
Ti	0,74	0,77	0,77	0,87	0,85
As	< 0,9	< 0,9	< 0,9	2,06	4,72
Cd	0,95	0,93	0,78	0,47	0,19

Moilanen ym. 2006. Kangastatin alkuainepitoisuuksia 4 vuotta lannoituksen jälkeen (kivennäismaa) ja pulkkosienen kaksi vuotta lannoituksen jälkeen (suo).

Tuhkalannoituskokeiden yhteydessä mitatut sienten raskasmetallipitoisuudet ovat samaa luokkaa kuin muissa sienten raskasmetallipitoisuuksia selvittäneissä tutkimuksissa (Varo ym. 1980, Kuusi ym. 1980, Lodenius ym. 1981, Kojo ja Lodenius 1989, Eurola ym. 1996, Pelkonen ym. 2006 ja Pelkonen ym. 2008). Pienimmät kadmiumpitoisuudet ovat vahveroissa, rouskuissa ja haperoissa ja suurimmat herkkusienissä, herkkutateissa, korvasienissä ja kehnäsienissä (Rühling 1996, Eurola ym. 1996 ja Pelkonen 2006). Korkeimmat kadmiumpitoisuudet on tavattu kuusenherkkusienissä (*Agaricus abruptibulbus*) (mediaanipitoisuus 29,70 mg/kg d.w.), herkkutateissa (*Boletus*) (mediaanipitoisuus 4,51 mg/kg d.w.) ja korvasienessä (*Gyromitra esculenta*) (mediaanipitoisuus 2,74 mg/kg d.w.) (Pelkonen ym. 2006). Myös kehnäsienessä on mitattu korkeita kadmiumpitoisuuksia (Eurola ym. 1996, Lodenius ym. 2002). Kehnäsieni on todettu kadmiumin bioakkumuloijaksi (Kuusi ym. 1981). Kuusenherkkusienen syöntiä tulisikin välttää korkeiden kadmium-, lyijy- ja arseenipitoisuuksien vuoksi (Pelkonen ym. 2006). Boletus-lajeja ja korvasieniä tulisi syödä vain harvoin korkeiden kadmiumpitoisuuksien takia.

Sienet pystyvät keräämään rihmastonsa avulla suuriakin määriä metalleja maaperästä ja monien alkuaineiden pitoisuuksien onkin todettu olevan kertaluokkaa suurempia sienissä kuin kasveissa. (Varo ym. 1980). Sienten metallipitoisuudet vaihtelevat sienilajin ja kasvuympäristön mukaan. Kadmium-, elohopea- ja lyijypitoisuudet ovat suurempia lahottajasienissä kuin mykorritsasienissä (Kuusi ym. 1981, Lodenius ym. 1981, Kojo ja Lodenius 1989, Rühling 1996 ja Pelkonen ym. 2006). Kasvukauden sääolosuhteilla ei näyttäisi olevan merkittävää vaikutusta sienten metallipitoisuuksiin (Eurola ym. 1996).

Kadmiumin ja lyijyn sallituista enimmäismääristä sienissä ja marjoissa säädetään asetuksessa (EY) N:o 1881/2006 ja sen muutoksessa (EY) N:o 629/2008. Kadmiumin enimmäismäärä sienissä on 1,0 mg/kg (tuorepaino) ja marjoissa 0,05 mg/kg (tuorepaino). Lyijyn enimmäispitoisuus on säädetty vain marjoille; 0,2 mg/kg (tuorepaino).

Edellä mainittujen tutkimusten perusteella voidaan todeta, että tuhkalannoituksessa ekosysteemiin kulkeutuvia raskasmetalleja ei todennäköisesti keräydy suurissa määrissä sieniin ja marjoihin. Moilanen & Issakainen (2003) toteavat, että kasveissa kadmium kerääntyy etenkin juuristoon ja pitoisuus vähenee siirryttäessä juuristosta ylös kohti versojen kärkiosia. Lajikohtaiset erot ovat kuitenkin suuret, mutta keskimäärin voidaan sanoa, että juurissa kadmiumia on 10-kertainen määrä versoihin verrattuna. Nilssonin (2001) mukaan raskasmetallit kertyvät marjoihin seuraavassa järjestyksessä marjat < lehdet < verso < juuret. Tämän takia on tärkeää, että uusissa tutkimuksissa otetaan näytteet myös esim. mustikan ja puolukan juurista ja varvuista marjojen lisäksi. Joissakin tapauksissa marjasadon on havaittu pienentyvän tuhkalannoituksen seurauksena. (Silfverberg ja Issakainen 1991, Levula ym. 2000, Saarsalmi 2005), mutta yhdessä tutkimuksessa ei otettu huomioon mahdollista ilmaston vaikutusta marjojen alkuainepitoisuuksiin ja marjasadon määrään. Sienten osalta huomio pitää tulevaisuudessa kiinnittää mahdollisuuksien mukaan hajottajaisienten, kuten herkkusienten, raskasmetallipitoisuuksiin.

Kirjallisuus:

Eurola, M., Pääkkönen, K. ja Varo, P. 1996. Raskasmetallit sienissä. Elintarvikeviraston julkaisuja 7/1996, 28 sivua.

Kojo, M-R. ja Lodenius, M. 1989. Cadmium and Mercury in Macrofungi – Mechanism of Transport and Accumulation, *Journal of Applied Botany*. 63, 279– 92.

Kuusi, T., Laaksovirta, K., Liukkonen-Lilja, H., Lodenius M. ja Piepponen, S. 1981. Lead, cadmium and mercury contents of fungi in the Helsinki area and in unpolluted control areas. *European Food Research and Technology* 173(4), 261-276

Levula, T., Saarsalmi, A. & Rautavaara, A 2000. Effects of ash fertilization and prescribed burning on macronutrient, heavy metal, sulphur and ¹³⁷Cs concentrations in lingonberries (*Vaccinium vitis-idea*) *Forest Ecology and Management* 126, 269–279.

Lodenius M., Kuusi, T., Laaksovirta, K., Liukkonen-Lilja, H. ja Piepponen, S. 1981. Lead, cadmium and mercury contents of fungi in Mikkeli, SE Finland. *Annales Botanici Fennici* 18: 183-186.

Lodenius, M., Soltanpour-Gargari, A. & Tulisalo, E. 2002. Cadmium in forest mushrooms after application of wood ash. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 68, 211–216.

Moilanen, M. ja Issakainen, J. 2000. Tuhkalannoituksen metsävaikutukset. *Metsätehon raportti* 93.

Moilanen, M. ja Issakainen, J. 2003. Puu- ja turvetuhkien vaikutus maaperään, metsäkasvillisuuden alkuainepitoisuuksiin ja puuston kasvuun. *Metsätehon raportti* 162.

Moilanen, M., Fritze, H., Nieminen, M., Piirainen, S., Issakainen, J. & Piispanen, J. 2006: Does wood ash application increase heavy metal accumulation in forest berries and mushrooms? *Forest Ecology and Management* 226, 153–160.

Nilsson, T. (2001). Wood ash application effects on elemental turnover in a cutover peatland and uptake in vegetation. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria* 208. Doctoral thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Soils. Uppsala. 17 s.

Norström, S. H., Bylund, D. Vestin, J. L. K. & Lundström, U. S. 2012. Initial effects of wood ash application to soil and soil solution chemistry in a small, boreal catchment. *Geoderma* 187–188, 85–93

Pelkonen, R., Alfthan, G. & Järvinen, O. 2006. Cadmium, lead, arsenic and nickel in wild edible mushrooms. *The Finnish Environment* 17/2006.

Pelkonen, R., Alfthan, G. & Järvinen, O. 2008: Element concentrations in wild edible mushrooms in Finland. *The Finnish Environment* 25/2008.

Perkiömäki, J., Kiiikkilä, O., Moilanen M, Issakainen, J., Tervahauta, A. & Fritze, H. 2003. Cadmium-containing wood ash in a pine forest: effects on humus microflora and cadmium concentrations in mushrooms, berries and needles. *Canadian Journal of Forest Research* 33, 2443–2451.

Rühling, Å., 1996. Upptag av tungmetaller i svamp och bär samt förändringar i florans sammansättning efter tillförsel av aska till skogsmark. NUTEK R 1996/49. 42 s..

Saarsalmi, A., Derome, J. & Levula, T. 2005. Effect of wood ash fertilisation on stand growth, soil, water and needle chemistry and berry yields of lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea*) in a Scots pine stand in Finland. *Metsanduslikud uurimused / Forest Studies* 24, 13–33.

Saarsalmi, A., Smolander, A., Moilanen, M. & Kukkola, M. 2014. Wood ash in boreal, low-productive pine stands on upland and peatland sites: Long term effects on stand growth and soil properties. *Forest Ecology and Management* 327, 86-95.

Silfverberg, K. ja Issakainen, J. 1991. Tuhkalannoituksen vaikutukset metsämarjoihin. *Folia Forestalia* 769, 23 s.)

Varo, P., Lähelmä, O., Nuurtamo, M. ja Saari, E: ja Koivistoinen, P. 1980. Mineral Element Composition of Finnish Foods. VII. Potato, Vegetables, Fruits, Berries, Nuts and Mushrooms. *Acta Agriculturae Scandinavica, Suppl.* 22, 89–113.