



Puutuhkalannoituksen vaikutus puun kasvuun

Mervi Matilainen

Apila Group Oy Ab

Sisällys

.....	0
Puutuhkalannoituksen vaikutus puun kasvuun	0
1. Johdanto.....	2
2. Kangasmetsät.....	2
2.1 Tausta	2
2.2 Tutkimuskohteet kangasmailla	3
3. Turvemaat	7
3.1 Tausta	7
3.2 Tutkimuskohteet turvemailla.....	8
3.3 Tuhkalannoitus ja hiilen sidonta	13
4. Yhteenveto	13
5. Viitteet.....	14

1. Johdanto

Tuhkan vaikutusta puuston kasvuun on tutkittu useissa lannoituskokeissa Suomessa. Tulosten perusteella tuhkalannoitus parantaa puuston ravinnetilaa pitkäaikaisesti. Puiden ravinnetilassa tapahtuviin muutoksiin vaikuttavat mm. kasvupaikan ravinteisuus, puulaji, levitetyn tuhkan määrä ja laatu sekä puuston ravinnetila ennen lannoitusta. Kangasmetsissä on todettu saatavan selvempi kasvuvaikutus tuhkan ja typen yhteiskäytöllä (Huotari 2012, Saarsalmi & Kukkola 2009).

Tässä kirjallisuuskatsauksessa tarkastellaan tutkimustuloksia tuhkan ja tuhkan ja typen vaikutuksista puuston kasvuun erityisesti kangasmetsissä eri-ikäisten puiden lannoituksessa. Turvemaiden osalta on esitetty kirjallisuudesta löydetty yhteenvedot vaikutuksista sekä olemassa olevat tutkimuskohteet.

2. Kangasmetsät

2.1 Tausta

Tuhkalannoituksen tutkimuksista kangasmailla Suomessa on julkaistu aiemmin kaksi yhteenvetoa (Huotari 2012, Saarsalmi ym. 2009, taulukko 1). Tulosten mukaan tuhkalannoituksen vaikutus puuston kasvuun vähätyppisillä, karuilla kangasmailla on hyvin pieni, koska tuhka ei sisällä typpeä (Levula 1990, Moilanen & Issakainen 2000, Saarsalmi ym. 2004, 2005 & 2010). Tuhkalannoitus parantaakin kangasmetsissä enemmän maaperää ja sen biologista aktiivisuutta kuin puiden kasvua.

Taulukko 1. Vuonna 2009 tutkimuksen kohteena olleet tuhkalannoituskokeet kangasmetsissä (Saarsalmi ym. 2009)

Koe	Sijainti	Tuhka levitetty vuonna	Tuhka ja typpi (N), kg/ha	Metsätyyppi	Puulaji	Puuston ika
402	Valkeala	1990	3 000	CT	Mänty	64
407	Rovajärvi	1990	3 000 + 120 N	CIT	Mänty	75
408	Ylikiminki	1991	3 000	ECT	Mänty	69
415	Sonkajärvi	1993	3 000 + 150 N	VT	Mänty	31
416	Jämsä	1993	3 000 + 150 N	MT	Kuusi	45
557	Muhos	1978	1 000 + 185 N, 2 500 + 185 N 5 000 + 185 N	CT	Mänty	60
624	Ruokolahti	1990	2 500, 5 000	VT	Mänty	0
660	Kuorevesi	1990	1 000, 2 500, 5 000	VT	Mänty	100
729	Kivalo	1994	3 000	EVT	Mänty	63
734	Savitaipale	1996	3 000	VT	Mänty	44
801	Keuruu	1982	3 000	VT	Mänty	6
802	Keuruu	1982	3 000	CT	Mänty	5
803	Janakkala	1982	3 000	MT	Mänty	6
804	Janakkala	1982	3 000	MT	Kuusi	5

¹ Puuston ika tuhkan levityshetkellä.

Myös Ruotsalaisen tutkimuksen mukaan tuhkalannoituksen vaikutus puuston kasvuun kangasmailla riippui kasvupaikan viljavuudesta (Jacobson 2003):

- Viljavilla, runsastyyppisillä kangasmailla puuston kasvu voi hieman parantua tuhkalannoituksen jälkeen, jos maassa olevan orgaanisen typen mineralisaatio lisääntyy. Kaikkein viljavimmilla kasvupaikoilla tuhkalannoitus lisäsi puuston kasvua 4–10 % 5–11 vuoden tutkimusjakson aikana (Jacobson 2003).
- Karuilla kasvupaikoilla tuhkalannoitus saattaa aluksi jopa heikentää puiden kasvua todennäköisesti siksi, että maan pH:n nousun myötä lisääntyvä maaperän hajottajaeliöstö sitoo itseensä entistä enemmän puille käyttökelpoisessa muodossa olevaa typpeä (Jacobson 2003). Pitkällä aikavälillä (>10 vuotta) tuhkalannoituksen aiheuttama maan hajotustoiminnan vilkastuminen voi hieman parantaa puuston kasvua myös niukkatyyppisillä kangasmailla (Saarsalmi, Mälkönen & Kukkola 2004).

Tuhkan ja typen yhteiskäytön on joissakin tapauksissa havaittu lisänneen puiden kasvua karuillakin kangasmailla pelkkää typpilannoitusta enemmän (Saarsalmi, Kukkola, Moilanen & Arola 2006). Joissakin tutkimuksissa kasvunlisäystä ei ole havaittu (Jacobson 2003, Saarsalmi, Smolander, Kukkola & Arola 2010) tai tuhkan ja typen yhteisvaikutus on hidastanut puiden kasvua (Jacobson 2003). Toisaalta on todettu, että tuhkan ja typpilannoitteen yhteisvaikutus voi kestää kauemmin kuin pelkän typpilannoitteen vaikutus (Saarsalmi ym. 2009).

2.2 Tutkimuskohteet kangasmailla

Taulukoihin 2–4 on koottu kirjallisuudesta löydetty viitteet tuhkan lannoitusvaikutuksista kangasmaiden kohteissa, eri-ikäisten puustojen osalta. Kohteita on tarkasteltu erityisesti havupuiden kasvuun liittyvien tulosten osalta. Tuhkalannoituksen vaikutuksia puiden kasvuun on tutkittu myös lepikoissa (Saarsalmi, Palmgren & Levula 1985 ja 1991, Hytönen & Saarsalmi 2015), mutta näiden tutkimusten tulokset on jätetty tämän selvityksen ulkopuolelle kohteiden vähäisyydestä johtuen. Taulukoissa:

- Karukkokangas: CIT = jäkälätyyppi
- Kuiva kangas (niukkaravinteinen): CT = Kanervatyyppi, ECT = Variksenmarja-kanervatyyppi
- Kuivahko kangas: VT = puolukkatyyppi, VCT = Puolukka-kanervatyyppi
- Tuore kangas (moreeni, kostea): MT = mustikkatyyppi.

Puusto alle 30 vuotta

Nuorten, alle 30-vuotiaiden puustojen tuhkalannoituksen tutkimuskohteita on perustettu tai raportoitu kymmenen Suomessa, neljä Ruotsissa (taulukko 2). Kaikkien kohteiden osalta ei ole (vielä) raportoitu vaikutuksia puuston kasvuun, mutta kohteet on tästä huolimatta huomioitu katsauksessa.

Tuhka. Puhtaalla tuhalla tehdyssä Metlan kokeessa 624 lannoitettiin vasta istutettua männikköä muokkaamattomalla ja muokatulla kuivahkolla kankaalla. Tulosten mukaan taimien kasvu oli hyvää kun tuhka levitettiin muokkaamattomaan maahan (Saarsalmi ym. 2009). Metlan kokeet 801–804 on toteutettu myös nuorelle puustolle, mutta näiden osalta ei ollut löydettävissä raportoituja tuloksia kasvuvaikutuksista (Saarsalmi ym. 2001 ja 2009.) *Kohteet olisivat kuitenkin*

mielenkiintoisia jatkotutkimuksia ajatellen, mikäli lähtötiedot on kerätty myös puuston kasvuun liittyen. Evon Nimettömän ja Tavilammen valuma-alueilla tehdyissä tuoreen kankaan tuhkalannoituksissa varsinaisten koealueiden puusto oli vanhempaa, mutta kasvua tutkittiin analysoimalla taimikkoa, joka esiintyi alueella. Vain männyn taimilla oli nähtävissä pientä kasvun lisäystä vuosikasvun pituudessa (Pihlström, Rummukainen & Mäkinen 2000 ja Rummukainen, Pihlström & Mäkinen 2004).

Taulukko 2. Tutkimuskohteiden tietoja ja tuloksia kangasmailla Suomessa ja Ruotsissa. Puusto alle 30 vuotta.

Kohde	Koe	Maaperä	Puulaji	Ikä	Lannoitus t/ha	Vaikutus	VIITE
Ruokolahti 1990	624	VT	Mänty	0	2,5 ja 5	hyvä (ei muok)	Saarsalmi ym. 2009
Keuruu 1982	801	VT	Mänty	6	3	ei tietoja	Saarsalmi ym. 2001
Keuruu 1982	802	CT	Mänty	5	3		
Janakkala 1982	803	MT	Mänty	6	3		
Janakkala 1982	804	MT	Kuusi	5	3		
Nimetön 1998		MT	Kuusi	taimikko	6,4	ei vaik.	Pihlström ym. 2000
Tavilampi 1998		MT	Mänty		6,4	vähän	
Tavilampi 1998		MT	Kuusi	taimikko	6,4	ei vaik.	Rummukainen ym. 2004
Ruokolahti 1978	805	VT	Mänty	21	5(+N+lupiini)	hyvä	Saramäki ym. 1991
Valkeala 1989		VCT	Mänty	14-26	3+N	vähän	Tamminen 1998
		VCT	Mänty	8-15	3+N	vähän	
Ebbegärde 1991	G29	Podsoli	Kuusi	11	5 +N	merkittävä	Bergh ym. 2008
Mölnbacka	G26			14		merkittävä	
Grängshammar	G24			14		merkittävä	
Valbo 1988	G24			14		merkittävä	

Tuhka ja typpi. Tuhkan ja typen yhteisvaikutusta on tutkittu neljällä kohteella Ruotsissa ja kolmella nuoren puuston kohteella Suomessa. Metlan kokeessa 805 tutkittiin kuivahkolla mäntykankaalla myös lupiini-kasvin käyttöä tuhkalannoituksen kanssa, ja 12 vuoden ajalta raportoidut tulokset osoittivat vaikutuksen kasvuun olevan hyvä (Saramäki & Susila 1991). Valkealan kohteella tuhka+typpi -lannoitusta tutkittiin sairaan taimikon ja nuoremman terveen taimikon lannoituksessa, ja tulosten perusteella havaittiin, että kasvu taimikoissa lisääntyi vähän (Tamminen 1998). Ruotsalaisten kokeissa tuhkaa käytettiin 5 t/ha ja typpeä lisättiin maaperän tarpeen mukaan joka toinen vuosi. Tulosten perusteella vaikutus kasvuun oli merkittävä ainakin 15 vuoden ajan, ja vastasi teholtaan jopa kemiallista lannoitusta, joka toistettiin joka toinen vuosi (Bergh, Nilsson, Grip, Hedwall & Lundmark 2008).

- ➔ Nuorten puustojen kohteissa tulokset lyhyillä tarkastelujaksoilla ovat olleet vähäiset, mutta tuhkan ja typen yhteislannoituksella on ainakin Ruotsissa saatu merkittävää kasvuvaikutusta.
- ➔ Osaa kokeista ei ole raportoitu kasvuvaikutusten osalta lainkaan.

Puusto 30—60 vuotta

30—60 vuotiaan puuston osalta on raportoitu tutkimustuloksia tuhkan vaikutuksesta puuston kasvuun koekohteilta sekä Suomesta että Ruotsista (taulukko 3). Raporteissa annetut tiedot ovat melko hajanaisia, mutta tiettyjä johtopäätöksiä voidaan kuitenkin tehdä.

Tuhka. Oulussa ja Lapissa tehdyissä puhtaan tuhkan lannoituskokeissa (Metla 16, 18 ja 19) ei ollut nähtävissä positiivisia vaikutuksia männyn kasvuun kuivahkolla kankaalla; vaikutus oli jopa kasvua hidastava (Moilanen ym. 2000). 50—60 vuotiaan ECT-männikön kokeessa kuivalla kankaalla saatiin toisaalta pieni positiivinen vaste 13 vuoden tarkastelujaksolla: puiden tyvipinta-ala (BAI, m²/ha) kasvoi keskimäärin 8 %. Suurimmillaan vaikutus oli yhdeksän vuotta lannoituksen jälkeen. VMT-männikössä vaikutukset olivat kasvun osalta pääasiassa negatiivisia (Moilanen, Saarsalmi, Kukkola & Issakainen 2013).

Ruotsissa toteutetuissa puhtaan tuhkan kokeissa vaikutus männyn kasvuun karussa maaperässä oli pääasiassa negatiivinen. Kuusen osalta kokeessa 182 oli kuitenkin nähtävissä kasvun lisäystä 1,2 m³/ha/v (8 %) tuhkalannoituksen ansiosta yhdentoista vuoden tarkastelujakson aikana (Jacobson 2003).

Taulukko 3. Tutkimuskohteiden tietoja ja tuloksia kangasmailla Suomessa ja Ruotsissa. Puusto 30—60 vuotta. Numeerinen vaikutus kontrolliin verrattuna yksikössä m³/ha/v.

Kohde	Koe	Maaperä	Puulaji	Ikä	Lannoitus t/ha	Vaikutus	VIITE
Oulu/Lappi 9-52 vuotta sitten	19	VT	Mänty	?	3,6 ja 7,2	ei vaik.	Moilanen ym. 2000
	18	VT	Mänty			negat.	
	16	VT	Mänty		4 ja 12	negat.	
	20	ECT	Mänty		+N	hyvä	
Oulu 1997	Site 1	ECT	Mänty	50-60	3 ja 9	vähän	Moilanen ym. 2013
	Site 2	VMT			3 ja 9	negat.	
Uddevalla 1988	182	Sandy-	Kuusi	35-60	1 ja 1+N	1,2 ja 2,8	Jacobson 2003
Torup 1991	241	silty till		40	1, 3, 6 ja 3+N	0,5 ja 1,4	
Åled 1995	244			65	3	1,1	
Asa 1988	183			35	1 ja 1+N	0,6 ja 1,2	
Vindeln 1992	242	Silt-sand	Mänty	40	1, 3, 6 ja 3+N	negat. ja 1,6	Saarsalmi ym. 2004, 2009 & 2010
Riddarhyttan '95	250	Sand		50	3, 6, 9 ja 3+N	0 ja 4,1	
Älvsbyn 1995	251			60	3 ja 3+N	0 ja 2,6	
Sonkajärvi 1993	415	VT	Mänty	31	3+N	3 (1 jakso)	Helmisaari ym. 2004 & 2009
						0,5 (2)	
						0 (3)	
						2 (1)	
Jämsä 1993	416	MT	Kuusi	45	3+N	2 (2)	
						2,2 (3)	
Ruovesi Siikakangas 1980	-	VT	Mänty	50	2+salpietari	2,5	Levula 1990

Tuhka ja typpi. Tuhkan ja typen yhteislannoituksella saavutettiin hyvä tai jopa merkittävä kasvuvaikutus. Metlan toteuttamassa kokeessa 20 kuivalla kankaalla hyviä tuloksia oli nähtävissä kymmenen vuoden kuluttua lannoituksesta: tarkastelujaksojen 11—15 ja 16—20 vuotta aikana suhteellinen tilavuuskasvu oli noin 135 % verrattuna kontrolliin, 100 % (Moilanen ym. 2000, 32; HUOM: Metsätehon julkaiseman raportin taulukkotiedot puuttuvat).

Metlan kokeita 415 ja 416 on seurattu 15 vuoden ajan, ja tuloksia on raportoitu viiden vuoden välein. Tulosten perusteella typpilisän avulla puutuhka antoi vähintään yhtä hyvän kasvulisäyksen kuin pelkkä typpikäsittely (SSF, stand specific fertilization) (Saarsalmi, Derome & Levula 2005). Kuivahkon kankaan kohteella 415 tuhkalannoituksen vaikutus mäntyjen kasvuun näytti kestävän 10 vuotta. Ensimmäisellä viisivuotiskaudella tilavuuskasvun lisäys kontrolliin verrattuna oli noin 3 m³/ha/v, ja toisella kaudella enää noin 0,5 m³/ha/v. Tuoreella kankaalla 416 kuusen kasvun parannusta esiintyi tutkittujen 15 vuoden ajan; vaikutus tilavuuskasvuun oli noin 2 m³/ha/v parempi kuin kontrollilla (Saarsalmi ym. 2009 ja 2010).

50-vuotiaan kuivahkon kankaan männikön lannoituksessa on tutkittu kahta kaupallista Y-lannosta, salpietaria ja tuhka+salpietari yhdistelmää. Yhdeksän vuoden ajalla kasvun lisäystä esiintyi lannoituksella selvästi enemmän kuin ilman, keskimäärin 2,5 m³/ha/v. Kasvussa näkyi selvä parannus viidennen vuoden jälkeen, kun puustoa harvennettiin (Levula 1990).

Ruotsissa toteutetuissa kokeissa havaittiin 5—11 vuoden tarkastelujaksolla merkittävä parannus kasvussa typpilisän ansiosta, etenkin hiekkapohjaisessa männikössä (koe 250 ja 251) 3 t/ha typpilisän kanssa antoi 60 % vuotuisen kasvulisäyksen (4,1 ja 2,6 m³/ha/v enemmän kuin kontrollialalla). Huomioitavaa on, että kohteilla urea-typpilisiä annettiin eri aikaan tuhkaan nähden ammoniumin haihtumisen ehkäisemiseksi (Jacobson 2003).

- ➔ 30—60 vuotiaassa puustossa on selkeästi nähtävissä puhtaan tuhkan ja tuhka+typpi – lannoituksen ero: ilman typpeä kasvuvaikutus voi olla jopa negatiivinen.
- ➔ Positiiviset vaikutukset ovat näkyneet jopa alle kymmenen vuoden seurannassa.

Puusto yli 60 vuotta

Yli 60 vuotta vanhan puuston tuhkalannoitusten kasvuvaikutuksista on raportoitu tuloksia viiden kohteen osalta (taulukko 4).

Tuhka. Kuivan, niukkaravinteisen kankaan puhtaat tuhkalannoituskokeet 402 ja 408, joissa puuston ikä oli 64 ja 69 vuotta, tuhkan vaikutus kasvuun oli 10 vuoden tarkastelujaksolla vähäinen kontrolliin verrattuna. Kokeessa 402 saatiin toisaalta hyvä kasvuvaikutus, 25 % (1 m³/ha enemmän) vuosien 11—15 ja 11 % (0,6 m³/ha/v) vuosien 16—20 aikana (Saarsalmi ym. 2004, 2009 & 2014). Kokeessa 660, jossa puuston ikä oli 100 vuotta mutta kangas kuivahko, vaikutusta ei ollut lainkaan nähtävissä (Saarsalmi ym. 2005).

Tuhka+typpi. Kokeessa 407, jossa kangas oli jäkälätyypin karukko, 75 vuotiaan puuston (irto)tuhkan ja typen (ammoniumnitraatti ja lipeä) yhteislannoituksella saatiin ensimmäisellä tarkastelujaksolla merkittävä positiivinen kasvuvaikutus tilavuuskasvussa, 60—71 %. Vuotuinen kasvu kontrollikohteella oli 2,5, tuhkalannoituksella 4,3 ja typpikäsittelyllä 4,1 m³/ha/v (SSF) (Saarsalmi ym. 2004 & 2009 & 2014).

Kuivan kankaan kokeessa 557 60 vuotiaan männikön tuhka+typpi(urea)-lannoitus annoksella 2,5 t/ha antoi merkittävän positiivisen kasvutuloksen jo kymmenen vuoden seurannan jälkeen, ja vaikutus säilyi 30 vuoden ajan. Lopullinen kasvuvaikutus (30 vuotta) tuhka-annoksella 1 t/ha oli

1,3, annoksella 2,5 t/ha 1,6 ja annoksella 5 t/ha 0,6 m³/ha/v parempi kuin kontrollilla (Saramäki ym. 1991, Saarsalmi ym. 2006 ja 2012).

- ➔ Tuhkan ja typen yhteislannoitus 2,5—3 t/ha on tehokkaampi kuin pelkkä tuhkalannoitus;
- ➔ Kasvuvaikutus on ollut enimmillään 1,8 m³/ha/v kontrolliin verrattuna;
- ➔ Vaikutus näytti päättyneen puustojen saavuttaessa 90—100 vuoden iän.

Taulukko 4. Tutkimuskohteiden tietoja ja tuloksia kangasmailla Suomessa ja Ruotsissa. Puusto yli 60 vuotta. Numeerinen vaikutus kontrolliin verrattuna yksikössä m³/ha/v.

Kohde	Koe	Maaperä	Puulaji	Ikä	Lannoitus t/ha	Vaikutus	VIITE
Valkeala 1990	402	CT	Mänty	64	3	0 (1 jakso) 0,5 (2) 1 (3) 0,6 (4)	Saarsalmi ym. 2004 (2 jaksoa), 2009 (3 jaksoa) & 2014 (4 jaksoa)
Rovajärvi 1990	407	CIT	Mänty	75	3+N*	1,8 (1) 1 (2) 0,3 (3) 0,5 (4)	
Ylikiiminki 1991	408	ECT	Mänty	69	3	0,2 (1—4)	
Kuorevesi 1990	660	VT	Mänty	100	1, 2,5 ja 5	ei vaik.	
Muhos 1978	557	ECT	Mänty	60	1+N	1,3	Saramäki ym. 1991
				60	2,5+N	1,6	Saarsalmi ym. 2006
				60	5+N	0,6	Saarsalmi ym. 2012

* irtotuhkaa

3. Turvemaat

3.1 Tausta

Tuhkalannoituksen vaikutuksista turvemaiden puuston kasvuun on paljon tutkimustuloksia, ja vaikutukset on hyvin raportoitu. Näiden pohjalta on kirjoitettu myös yhteenveto Tapion julkaisemassa tuhkalannoitusoppaassa (Makkonen 2008). Tuhka lisää puuston kasvua hitaammin kuin kaupallinen PK-lannoite, mutta pitkällä aikavälillä tuhkalannoituksella saadaan jopa parempi, pitkäkestoinen ja voimakas kasvureaktio (Silfverberg 1996, Moilanen ym. 2000, 2003, 2004 ja 2005, Sikström ym. 2010, Silfverberg & Huikari 1985).

Tuhkalannoitus lisää puuston kasvua sitä enemmän ja nopeammin, mitä enemmän turpeessa on typpeä:

- Runsastyyppisillä kasvupaikoilla puuston kasvun on havaittu lisääntyvän keskimäärin 2—3 vuoden kuluttua levityksestä, ja kasvun lisäys on ollut keskimäärin 2—6 m³/ha/v, käyttömäärän ollessa 16 t/ha (Moilanen ym. 2000).
- Niukkatyyppisillä kasvupaikoilla vaikutus alkaa noin 7—8 vuoden kuluttua tuhkan levityksestä, ja kasvun lisäys on noin 1—3 m³/ha/v (16 t/ha) kiertoajan kuluessa (Moilanen ym. 2000, 2003 & 2005).

Puutuhkalannoituksen on lisäksi havaittu lisäävän koivun ja pajun biomassan tuottoa suopohjien energiapuuviljelmillä (Hytönen & Kaunisto 1999); jo pienet puutuhkamäärät (4—5 t/ha) ovat edistäneet hieskoivutiheikön alkukehitystä jopa tehokkaammin kuin kaupallinen PK-lannoite (Huotari ym. 2008, 2009).

3.2 Tutkimuskohteet turvemilla

Taulukkoon 5 on koottu kirjallisuudesta löydetyt kokeet tuhkan lannoitusvaikutuksista eri turvemaiden kohteissa. Kohteiden puusto on ollut pääasiassa koivu- ja havupuuvaltaista, mutta yksittäinen koe on toteutettu myös lepällä (Hytönen & Saarsalmi 2015). Tässä kokeessa havaittiin, ettei tuhkalannoituksella ollut vaikutusta lepän taimien kasvuun lepikon avohakkuualueella.

Taulukoissa ilmoitetut suotyyppit on kerätty julkaisuista, ja selitykset lyhenteille (suotyypeissä) ovat:

- | | | |
|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| • -N = neva | • Lk- = lyhytkortinen | • Rh- = ruohoinen- |
| • -R = räme | • M- = mustikka | • Ri- = rimpi- |
| • -K = karu tai korpi | • Mol- = molinia- | • Ps- = piensara- |
| • -L = letto | • Mr- = muurain | • Ss- = suursara- |
| • I- = isovarpuinen | • R-, Ra- = rahka- | • T- = tupasvilla- |
| • K- = kalvakka- | • Ram- = rahkamätäs | • TKg = turvekangas |

Lisäksi j = ojitettu, mu = muokattu, Ko = koivu, Mä = mänty ja Ku = kuusi.

Kasvihuonekokeet ja siemenistutukset

Turvealustoilla on toteutettu tuhkalannoituskokeita myös kasvihuoneissa. Kokeissa annettiin erilaisia voimakkaita tuhka-annoksia, 6, 12, 24 ja 96 tonnia/ha tyypillisän kanssa istukaskoivuille turvekasvualustalla. Tulosten perusteella suurin tuhka-annos tappoi taimet, ja 6 t/ha antoi parhaan tuloksen: kasvu oli 10–16 –kertainen lannoittamattomaan kontrolliin verrattuna. Lisäksi koesarjan perusteella havaittiin kasvun lisääntyvän pH:n ja fosforin määrän noustessa tuhkalannoituksen myötä. (Ferm 1990)

Toisessa koesarjassa annettiin tuhkaa 3, 6, 9 tai 12 t/ha annoksella typpi, fosfori ja/tai kalium-lisän kanssa nuorille koivuille turvekasvualustalla. Kolmen kuukauden seurannan tuloksena kokonaismassan määritysten perusteella annos 3 t/ha oli paras, ja jo puhdas tuhka kasvatti puumassan 2—3 kertaiseksi. Parhaat kasvutulokset, yli kymmenkertainen kasvutulos kontrolliin verrattuna saatiin kun samaan määrään tuhkaa lisättiin typpeä ja fosforia. Suuremmilla tuhkamäärillä pelkkä tyypilistä riitti. (Ferm 1990)

Muhoksen kolmelle ojitetulle suolle istutettiin männyn siemeniä, jotka lannoitettiin tuhalla. Männyn taimien määrää ja pituuskasvua tutkittiin kuusi vuotta myöhemmin. Tulosten perusteella männyn taimien määrä kohteilla tuplaantui tuhkalannoituksen vaikutuksesta ja pituuskasvu parantui vähän. (Silfverberg 1995 & 1996)

Taulukko 5. Tutkimuskohteiden tiedot ja tulokset turvemaidella Suomessa ja Ruotsissa; kasvihuonekokeet ja siemenistutukset.

Kohde	Koe	Maaperä	Puulaji	Ikä	Lannoitus t/ha	Vaikutus	VIITE
Kasvihuone, Kannus 1986		Turvealusta	Ko	0	6, 12, 24, 96 +N	merkittävä	Ferm 1990 (julk. VIII)
		Turvealusta	Ko	0	3, 6, 9, 12 +NPK	merkittävä	
Liminka, Hirvineva 2001		Ent. turve-kenttä	Ko	0	7,9	merkittävä	Huotari ym. 2008, Huotari 2011
Muhos, Häikiö 1985		TR-PsR	Mä	0	5	vähän/hyvä	Silfverberg 1995, 1996
Muhos, Siri 1985		Ram TR					(väitöskirja)
Muhos, Iso Ansasaari 1985		TR-PsR					
Muhos 1985		RuSsR	Mä+ Ko	0	5 ja 20 *	ei vaik.	Silfverberg ym. 2010

* irtotuhkaa/pölyä

Neljännessä Muhokselle 1985 perustetussa kokeessa samana keväänä päätehakatulle entiselle mänty- ja koivuvaltaiselle ojitetulle rämeelle istutettiin männyn siemeniä ja kohdetta lannoitettiin tuhalla. Puutuhkalannoituksella ei tässä kokeessa näyttänyt olevan vaikutusta männyn taimien määrään kuuden vuoden tarkastelujaksolla. (Silfverberg, Huotari & Kokkonen 2010)

Siemenistutuksia tehtiin myös entiselle turpeennostoalueelle, jonka turvekerros oli 20—50 cm. Kohteella tutkittiin puhdasta puutuhkaa sekä turve-puutuhka-seosta. Lannoitus lisäsi selvästi itäneiden koivuntaimien määrää, ja kolmen vuoden kuluttua, 2004, puutuhka-aloilla oli lopulta eniten taimia. Vaikutus taimien pituuteen oli myös merkittävä: puu- ja sekatuhkakoealoilla taimien pituus oli 50—67 cm, ja lannoittamattomalla vain 11 cm. Männyn taimiin vaikutus oli vähäisempi. (Huotari ym. 2008, Huotari 2011)

Taimikot ja ojitetut suot (niukkakasvuiset)

Tuhkalannoituksen vaikutuksia puuston kasvuun on tutkittu useilla taimikoilla ja ojitetuilla soilla, joissa puusto ei ole lähtenyt luontaisesti eikä istutusten kautta kasvuun. Kokeet on taulukoitu taulukossa 6.

Vuosina 1937-53 perustettiin useita ojitetuja suokohteita, joita tarkasteltiin 30 vuotta lannoituksen jälkeen. Kaakkosuon kohteessa lannoituksen vaikutuksesta koivikko oli kasvanut nopeasti, mutta 30 vuoden jälkeen se oli kuolemassa pystyyn. Jaakkoinsuolla tuhkalannoituksella oli merkittävä vaikutus puuston kasvuun. Pirttinevalla kontrolliruudulla ei kasvanut juuri lainkaan puustoa, mutta tuhkalannoitetuilla ruuduilla runsaasti. Viheriäisennevalla luontaisesti metsittynyt, ojitettu suoalue lannoitettiin tuhalla, ja myöhemmin kohteelle lisättiin typpeä (oulunsalpietari). Tuhkalannoituksen vaikutuksesta puuston kokonaistuotos lisääntyi kaksin- tai kolminkertaisesti. Paras vaste on saatu 2 t/ha lannoituksella. (Merisaari 1981)

Muhoksen Leppiniemen kohteella (turve 70—150+ cm) tuhkalannoitukseen oli ryhdytty vuonna 1947, 14 vuotta ojituksen jälkeen, kun istutettujen puiden kasvu ei ollut onnistunut. 41 kasvukauden jälkeen tuhka-aloilla saatiinkin vuotuinen kasvu 8,1 (8 t/ha) ja 9,9 (16 t/ha) m³/ha/v, kun se kontrollialalla oli 0,4 m³/ha/v. (Silfverberg & Hotanen 1989) Vuonna 1994 toistetun seurannan perusteella lannoitusaloilla puun kasvu oli edelleen merkittävää, tilavuuskasvu 1947—

1994 tuhka-aloilla 6,9 ja 10,9 m³/ha/v, ja lannoittamattomalla 1,2 m³/ha/v. (Moilanen, Silfverberg & Hokkanen 2002)

Vuosien 1937—59 ojitettujen suoalueiden (turve pääsääntöisesti yli 100 cm) 19 koealalta kontrolloi- ja tuhkalannoitusalueiden puuston kokonaistilavuuskasvu määritettiin 21—46 vuotta lannoituksen jälkeen. Lähtötilassa puuston määrä kaikilla kohteilla oli vähäinen, tai alueet olivat käytännössä puuttomia. Tuotoksissa esiintyi huomattavaa vaihtelua, mutta ainoastaan kahdella kohteella kasvulisäystä lannoittamattomaan ei oltu saatu. Keskimääräinen vuotuinen tuotoksen lisäys oli noin 4 m³/ha/v, suurimmillaan lähes 8 m³/ha/v. Tuotoksen määrä ei ollut suoraan riippuvainen tuhkan määrästä, mutta useimmat parhaista tuotoksista saavutettiin käytettäessä yli 7 t/ha tuhkamääriä. (Silfverberg ym. 1985, 7—8 ja Silfverberg 1996)

Kauniston tutkimuksissa ojitetuille soille istutetut männyt saivat istutuksen aikaan peruslannoituksen, ja koekohteita lannoitettiin uudelleen myös puutuhkalla noin 10 vuotta myöhemmin. Tulosten perusteella puutuhkalla ei ollut merkittävää vaikutusta puiden pituuskasvuun viiden vuoden tarkastelujaksolla. Tuhkan laadulla ja siten ravinnepitoisuuksilla oli suurempi merkitys. (Kaunisto 1987)

Keski-Suomalaisen turvemaan nuorta männikköä seurattiin 13 vuoden ajan. Paras tulos tukiin kasvussa saatiin suurimmalla annoksella 20 t/ha. Vaikutuksia ilmeni myös aluskasvillisuuteen ja maaperän laatuun (Ferm, Flokkanen, Moilanen & Issakainen 1992.)

Aitonevan turvetuotantokentältä, jossa 18—54 cm turvekerros, oli kaadettu pois 16-vuotias koivikko ennen lannoituksia. Lannoitukset eivät vaikuttaneet uusien taimien määrään tai lajistoon, mutta se lisäsi merkittävästi rauduskoivun pituuskasvua ja halkaisijaa. Hieskoivulla ei ollut nähtävissä vaikutusta. Maanpäällisen biomassan määrä oli tuhkalannoituksen ansiosta merkittävästi suurempi kuin ilman lannoitusta. Vaikutus PK-lannoitukseen nähden oli hitaampi mutta tarkastelujakson päättyessä kokonaisuudessaan yhtä suuri (Hytönen ym. 1999, 2012 & 2013.)

Viljellylle turvemaalle (30—70 cm orgaaninen kerros) perustettiin myös neljä kohdetta. Tuhkalannoitus vaikutti vain vähän männyntaimien pituuskasvuun. Parhaat tulokset yhdeksän vuoden tarkastelujaksolla saavutettiin nuorimmilla istutuksilla (1—5 vuotta); pituuden kasvun lisäys oli 50—100 cm lannoittamattomaan verrattuna. Tuhkan rakeistamisella ei ollut kasvuun vaikutusta 24-vuotiaan puuston kohteella (Hytönen 2003.)

Ruotsalaisessa tutkimuksessa ojitettu turvekenttä, jolla kasvoi männyntaimia, lannoitettiin v. 1982 tuhalla sekä kaupallisella PK-lannoitteella. Vuonna 2007 tehdyn analyysin mukaan puutiheys kasvoi lannoituksen vaikutuksesta merkittävästi, 81—143 %. Myös puiden pituuskasvu parantui 26-vuoden tarkastelujaksolla; tuhkalannoitetut taimet olivat noin 6 metrin mittaisia, kun lannoittamattoman alueen puut olivat 1,7 metrin mittaisia. Runkopuun tilavuusmäärä oli keskimäärin 1,6—1,9 m³/ha/v lannoitetulla alueella, ja vain 0,04 m³/ha/v lannoittamattomalla (Sikström ym. 2010.)

Taulukko 6. Tutkimuskohteiden tiedot ja tulokset turvemaiden Suomessa ja Ruotsissa; taimikot ja ojitetut, niukkakasvuiset suot. Numeerinen vaikutus runkopuun tuottoon kontrolliin verrattuna yksikössä m³/ha/v.

Kohde	Koe	Maaperä	Puulaji	Ikä	Lannoitus t/ha	Vaikutus	VIITE
<i>Pirttineva 1949—53</i>		KN, KSN, TSN, KTSN	Mä	15 ^{***}	5 ja 7	3,9 ja 3,7	Merisaari 1981
<i>Viheriäisenneva 1948/1970</i>		LkN, LkKN	Mä	17	2, 4 ja 6 +N	1—1,6	
<i>Jaakkoinen 1937 ja 49</i>		IR, ITR	Mä	20—30	5, 8 ja 10	3,2	
<i>Kaakkosuo 1937</i>		RhRiN	Ko+Mä	6	7,2	hyvä	
<i>Muhos, Leppiniemi 1947</i>		MeKaN oj	Mä	***	8 16	5,7 9,7	Silfverberg ym. 1989 & 1996 Moilanen ym. 2002
<i>Ähtäri, Majasuo 1959</i>		TKN	Mä	taimi	4	hyvä	Silfverberg ym. 1985
<i>Alajärvi, Matoneva 1950</i>		RiSsN	Ko		3, 5, 7, 9	merkittävä	(1975—1984)
			Mä		8	merkittävä	& 1996
<i>Kuru, Pirttineva 1949-54</i>		PsKN	Mä		5, 7	merkittävä	(väitöskirja)
<i>Suomusjärvi, Kettula 1953</i>		ITR	Mä	***	4, 6	ei vaik.	
<i>Ruovesi, Viheriäisenneva 1948</i>		PsN, TN	Mä	***	4, 6	vähän	
<i>Yläne, Leijansuo 1952</i>		SsN	Mä	***	5	negat.	
<i>Parkano, Liesneva 1950</i>		TKN	Mä	***	7	merkittävä	
<i>Vantaa, Korso 1948</i>		ITR	Mä		4, 5, 6	vähän	
<i>Sippola, Kaihlasuo 1948</i>		KN	Mä	***	4, 8	merkittävä	
		RamTR			2, 4, 6, 8	vähän	
<i>Tohmajärvi, Karjala 1939</i>		SsN	Mä	***	10	merkittävä	
<i>Vilppula, Jaakkoinen 1937</i>		ITR	Mä		5, 10	hyvä	
<i>Vilppula, Kaakkosuo 1937</i>		RiSsN	Ko	***	7	merkittävä	
<i>Rovaniemi, Hirvas 1958</i>		PsR	Mä	***	5	vähän	
<i>Sotkamo, Heinisuo 1951</i>		MolKN	Mä	***	10	vähän	
<i>Muhos, Leppiniemi 1947</i>		TKN	Mä		8, 16	merkittävä	
<i>Itkusuo 1946</i>		TKN			3	merkittävä	
<i>Rovaniemi, Alajärvens. 1952</i>		RiN	Mä	***	3, 5, 8	vähän	
<i>Hyrnsalmi, Petronj. 1952</i>		MolKN	Mä	***	8	merkittävä	
<i>Oulu, Isosuo 1952</i>		TN	Mä	***	1, 2	negat.	
					4, 6, 8	merkittävä	
<i>Sievi, Eteläsydänmaa 1949</i>		RN	Mä	***	3, 4, 5, 6	ei vaik.	
<i>Housulampi 1979</i>	9	TR-LkN-VSN	Mä	10	0,7 ja 3,5	ei vaik.	Kaunisto 1987
<i>Jauli 1979</i>	10	TR-LkN-VSN		10	0,7 ja 3,5	vähän	
<i>Kaunisvesi 1980</i>	12	LkN/VSN		11	0,5, 1, 2 ja 5	vähän	
<i>Särkkä 1981—82</i>	13	VSN/RhSN		11	2 ja 5 **	ei vaik.	
		VSN/LkN					
		LKN/RN					
<i>Keski-Suomi</i>		Turvelmaa	Mä	nuori	1, 2, 5, 10, 20	4,3	Ferm ym. 1992
		Ojitettu suo	Mä		5—16	merkittävä	Lauhanen 1997
<i>Aitoneva 1981</i>		Turve	Ko	0	5	merkittävä	Hytönen ym. 1999, 2012, 2013
<i>Muhos, Jylkynrimpi 1980</i>	3	LkN SsN oj	Mä	0	5 ja 0,5+PK +U *	merkittävä	Silfverberg ym. 2001
<i>Kälviä, Kaunisvesi 1980-81</i>	9	TR – SsR mu	Mä	6	0,5+PK +PK+U	vähän	
<i>Vaala</i>		Viljelty suo	Mä	1	5	vähän	Hytönen 2003
<i>Vuolijoki</i>				1	5	hyvä	
<i>Kannus</i>				24	5 ja 5*	ei vaik.	
<i>Kyyjärvi</i>				5	4,3 ja 8,6	vähän	
<i>P-Pohjanmaa- Lappi (7 kpl)</i>		Ojitettu suo	Mä			merkittävä	Moilanen 2005
<i>Pohjois-Pohjanmaa</i>		Ojitettu suo	Mä		ei saatavissa		Moilanen 2009
<i>Perstorp 1982</i>	168	Oj turvekent.	Mä	taimi	2,5 +N	1,2—1,5	Sikström 2010
<i>Oulu 1997</i>	3	PsN	Mä	nuori	5 ja 15	merkittävä	Moilanen
	4	RhSL			5 ja 15	merkittävä	ym. 2013
<i>Nimetön 1998</i>		TKg	Ku	26	6,4	vähän	Rummukainen
<i>Tavilampi 1998</i>		MrK, RhK	Ku	taimi	6,4	merkittävä	ym. 2004

* irtotuhkaa/pölyä, ** huonolaatuinen, *** alue käytännössä puuton, U = urea

Ouluun perustettiin kaksi koealaa nuoreen männikköön ojitetulla suolla (turve 100 cm), ja lannoituksessa käytettiin itsekovetettua sekä rakeistettua tuhkaa. Kohde 3 oli ravinteista köyhempi. Kasvuvaikutus (Basal Area Increment BAI) oli kuitenkin molemmissa kohteissa merkittävä. Kohteessa 3 vaikutus alkoi kolmen vuoden jälkeen parannus, ollen lopussa 190 %. Kohteessa 4 vaikutus oli heti 20—50 % ja lopussa 500 %. Suurempi tuhka-annos 15 t/ha toimi lähes kaksi kertaa paremmin. (Moilanen ym. 2013)

Nimettömän kuusikkoon, jota kuvailtiin ylipuustoisena taimikkona, levitettiin itsekovetettu tuhka. Pituuskasvu lannoitusta seuranneina vuosina oli parempi, kuin kontrollilla. Tavilammen kitukasvuisen kuusikon kasvutulokset erottuivat selvästi lannoitusta seuranneina vuosina vastaavista kontrollialueiden tuloksista, ja ne parantuivat seurannan loppua kohti (3 vuotta). (Rummukainen ym. 2004)

Varttunut ja yli 30 vuotias puusto

Taulukossa 7 on esitetty tuhkalannoitusten koekohteet, joiden puuston on ilmoitettu olevan kooltaan varttunutta tai yli 4 metristä, tai joiden ikä on ollut yli 30 vuotta.

Oulun ja Lapin läänissä oli 28 kohdetta, joissa pölytuhkan levityksestä 9—52 vuotta, ja käsittelyt toistettu 2—5 kertaa. Hehtaariannokset kohteilla olivat 0,5—15 tonnia, ja annettu usein porrastettuna. Viljavilla rämeillä tulokset kasvuun yleensä merkittäviä. Myös karuilla rämeillä yksittäisiä hyviä tuloksia. Taimikoissa tutkittiin pituuskasvua, varttuneemmilla puilla runkopuun kehitystä. Annostuksella ei ollut niin suurta merkitystä kuin kasvupaikalla ja tuhkan laadulla (Moilanen ym. 2000.)

Osmanginsuon 15-vuotiaalla mänty+koivu kohteella tuhkaa levitettiin 2 t/ha. Puutuhka lisäsi rauduskoivun kasvua mutta vaikutukset pituuskasvuun eivät olleet merkitseviä (ehkä 20 %). Piispannevilla 5 t/ha turpeen pinnalle levitettynä lisäsi männyn ja rauduskoivun istutuspuukasvustojen pituuskasvua varsin selvästi, noin 30 %. Aitonevilla 5 t/ha tuhkamäärä ei antanut positiivista tulosta 25 vuotiaan koivikon runkopuun tuotokseen kontrolliin verrattuna. Tutkimuksessa havaittiin, että turpeeseen sekoitettuna tuhka aiheuttaa voimakasta typen mineralisoitumista ja on siten haitallinen puuston kehitykselle (Aro & Kaunisto 1995.)

Pohjanmaalla ja Etelä-Lapissa toteutetussa koesarjassa tutkittiin kymmenellä ojitetulla suokohteella (turve 45—100+ cm), kuinka puhdas tuhkalannoitus tai tuhkan ja kaupallisen PK-lannoitteen ja/tai PK+urea -yhdistelmä vaikuttaa puuston pituuskasvuun. Kohteiden puiden iät vaihtelivat rinnankorkeusiän perusteella 25 vuodesta 50 vuoteen. Kahdella kohteella puusto oli nuorempaa (taulukossa 6). Pituuskasvun perusteella tuhka lisäsi männyn pituuskasvua tilastollisesti merkittävästi neljällä kohteella. Jo pienet määrät tuhkaa lisäsivät kasvua. Pienten puutuhkamäärien lisääminen PK- tai PK+U lannoitukseen paransi kasvua merkitsevästi vain yhdellä kohteella (Muhos) (Silfverberg ym. 2001.)

4 ja 7 metrin männiköissä (turve yli 100 cm) tuhkalannoitus lisäsi 5 vuoden tarkastelujaksolla tilastollisesti merkittävästi puiden pituuskasvua, ja kasvu jatkui seurantajakson jälkeenkin. Esimerkiksi Tuulisuon 7-metrysten puiden pituuskasvu oli keskimäärin kaksinkertainen lannoittamattomiin vertailupuihin nähden. Pölytuhkalla saatiin tässä kohteessa parempi vaikutus

pituuskasvuun, mutta tuhkan laadulla oli selkeämpi merkitys. Vanhemmissa kokeissa 15, 17, 18 ja 20 5-metrinen puuston (turve 50...>100 cm) kasvun kehitystä arvioitiin vuotuisen tilavuuskasvun perusteella, ja 20 vuoden tarkastelujakson jälkeen kohteet tuottivat lisäpuuta huomattavan määrän (0,75→3,75 m³/ha/v) lannoittamattomaan (0,6→1,5 m³/ha/v) verrattuna (Moilanen ym. 2004.)

Taulukko 7. Tutkimuskohteiden tiedot ja tulokset turvemaidella Suomessa; varttunut ja yli 30 vuotias puusto. Numeerinen vaikutus runkopuun tuottoon kontrolliin verrattuna yksikössä m³/ha/v.

Kohde	Koe	Maaperä	Puulaji	Ikä	Lannoitus t/ha	Vaikutus	VIITE
Oulun ja Lapin lääni	1	Viljava räme	Mä	varttunut	2,25*	merkittävä	Moilanen ym. 2000 (yht. 28 koetta)
	2	Viljava räme		ut	4,5*	merkittävä	
	3	Viljava räme			11,9*	hyvä	
	5	Viljava räme			3,6*	hyvä	
	7	Viljava räme			4,5*	merkittävä	
	10	Viljava räme			11,9*	ei vaik.	
	14	Viljava räme			4,5*	merkittävä	
	8	Karu räme			4,75*	vähän	
	11	Karu räme			6*	vähän	
	15	Karu räme			7*	merkittävä	
Aitoneva 1980	9	Turve	Ko	25	5	ei vaik.	Aro ym. 1995
Osmanginsuo 1980	1		Mä+	15	2	vähän	
Piispanneva 1980			Ko		5	merkittävä	
Sodankylä, Kalliolampi 1981	1	PsR - SsR oj	Mä	45	0,5, 5 ja 0,5+PK *	merkittävä	Silfverberg ym. 2001
Rovaniemi, Ropsajoki 1982	2	Ssr (RhR)mu	Mä	42	1, 10 ja 1+PK *	merkittävä	
Lestijärvi, Niskankorpi 1979	4	TR oj	Mä	47	2, 20 ja 2+PK *	merkittävä	
Kannus, Plankkukangas 1981	5	SsR oj	Mä	27	1, 10 ja 1+PK *	vähän	
Muhos, Oksansuo 1981	6	PsR - SsR mu	Mä	50	1+PK ja 1+PK+U *	vähän	
Paltamo, Matkala 1980	7	TR - PsR mu	Mä	40	0,8+PK	vähän	
Sievi, Eteläsydänmaa 1979	8	SsR mu	Mä	ei tietoa	0,2 0,4 0,8 +PK 0,2 0,4 0,8 +PK+U	vähän	
Kälviä, Kaunisvesi 1980-81	10	PsR - SsR mu	Mä	25	0,2 0,4 0,8 +PK+U	vähän	
Muhos Tuulisuo 1997	3	TR	Mä	(7m)	5 ja 15 *	merkittävä	Moilanen ym. 2004
Muhos Resula 1997	4	RhsR		(4m)	5 ja 15 *	merkittävä	
Ruukki 1985	15	oj		(5m)	4,5	merkittävä	
Kolari Suntio 1982	17	oj		(5m)	4,5 ja 9	merkittävä	
Rovaniemi Ropsajoki 1982	18	oj		(5m)	4,5 ja 9	merkittävä	
Sodankylä Kalliol. 1981	20	oj		(5m)	1,1, 2,25 ja 4,5	merkittävä	
Muhos Pelsonsuo 1997		RhsR/MTKg	Mä	(6—8m)	5 ja 15	9—11	Moilanen, Hytönen & Leppälä 2013
Oulu, Kempele 1982	251	IR	Mä	30	4,8*	1	Saarsalmi 2014
Oulu, Siikajoki 1985		SsL	Mä	30—50	4,5*	1,3—6	Moilanen 2015

* irtotuhkaa/pölyä, ** huonolaatuinen, *** alue käytännössä puuton, U = urea

Muhoksella 6—8 m männikössä, ojitetulla rämeellä, tuhkan vaikutus näkyi puustossa voimakkaana. Pienempi tuhka-annos 3-kertaisti ja isompi tuhka-annos 7-kertaisti puuston tilavuuskasvun. Tutkimusjakson lopussa vuotuinen kasvu oli vertailulla 2 m³/ha/v ja tuhka-aloilla 11—13 m³/ha/v (Moilanen, Hytönen & Leppälä 2013.)

Kempeleen ojitetun karukkosuon (turve 25—55 cm) 30-vuotias männikkö lannoitettiin irtotuhkalla 4,8 tonnia per hehtaari. 16 ensimmäistä vuotta tuhkan kasvuvaikutus parantui, ja 25 vuoden tutkimusjakson päätyttyä kokonaistilavuuskasvu $169 \text{ m}^3/\text{ha}$ oli parempi kuin kontrollilla $145 \text{ m}^3/\text{ha}$ (Saarsalmi ym. 2014.)

Oulun Siikajoella vuonna 1985 30—50 vuotiaat, 6—7 metrin mittaiset männyt ojitetulla suolla (turve yli 100 cm) lannoitettiin tuhkalla siten, että ravinnepitoisuudet (NPK ja B) asetettiin vastaamaan keinotekoisten lannoitteiden pitoisuuksia, ja fosforia ja kaliumia annettiin ohjeistusta enemmän. Kasvuvaikutuksia tarkasteltiin 26 kasvukauden jälkeen. Tuhkalla kasvuvaikutus alkoi kolmannelta kasvukaudelta lannoituksen jälkeen, ja tilavuuskasvu $3\text{—}9,2 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{v}$ kontrolliin $1,7\text{—}3,2 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{v}$ nähden oli merkittävä, ja neljännessä vuodesta lähtien parempi kuin PK-lannoitteella (max. $6,7 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{v}$) (Moilanen ym. 2015.)

3.3 Tuhkalannoitus ja hiilen sidonta

Suomessa on arvioitu myös puutuhkalla lannoitetun turpeen CO_2 -päästöjä ja puuston sitoman hiilimäärän muutoksia (Moilanen ym. 2002 & 2013). Kuivatuilla paksuturpeisilla rämeillä (Muhos) tehdyistä kokeista Leppiniemen kokeessa tuhkaa oli levitetty 0, 8 tai 16 tonnia per hehtaari vuonna 1947 puuttomalle ojitetulle suolle, ja turpeen hajoamista tutkittiin vuonna 1997. Pelsonsuolla tuhkaa levitettiin alkukesällä 1997 0, 5 tai 15 tonnia per hehtaari 6—8 metriseen männikköön, ja sitä analysoitiin vuonna 2000.

Leppiniemellä havaittiin, että tuhkalannoitus lisäsi merkittävästi orgaanisen aineen hajoamista 12 kuukauden tarkastelujaksolla. Tutkituissa kerroksissa (pinta, 7,5 cm ja 15 cm) lannoittamattoman alan turpeen massan vähenemä oli 2—15 %, kun se tuhkalannoitusaloilla oli 15—72 % (8 t/ha) ja 24—82 % (16 t/ha). Tämän perusteella myös hiilidioksidin vapautuminen maaperästä oli suurempaa tuhkalannoitusaloilla. Typpioksidin vapautuminen maaperästä sen sijaan väheni tuhkan määrän lisääntyessä (Moilanen ym. 2002.)

Pelsonsuolla puutuhkakäsittelyt 5 ja 15 t/ha lisäsivät turpeen ravinneväriä ja vähensivät happamuutta 1,5–2 pH-yksikköä. Selluloosan hajoamisnopeus oli tuhka-aloilla noin kaksinkertainen lannoittamattomaan vertailuun nähden. Vuotuinen CO_2 -emissio tuhka-aloilla vaihteli $420\text{—}475 \text{ g}/\text{m}^2$, kun se vertailualalla jäi $238 \text{ g}/\text{m}^2$ (Moilanen ym. 2013.)

Tuhkan vaikutus näkyi puustossa voimakkaana. Pienempi tuhka-annos 3-kertaisti ja isompi tuhka-annos 7-kertaisti puuston tilavuuskasvun. Turpeen hiilipäästöjä ja puuston sitomia hiilimääriä verrattiin keskenään. Tuhkalannoitetuilla aloilla puustoon sitoutui $43\text{—}58 \text{ g C}/\text{m}^2$ ja vertailualoilla $204 \text{ g C}/\text{m}^2$ vähemmän kuin mitä oli hiilipäästö turpeesta (Moilanen ym. 2013.)

4. Yhteenveto

Selvityksen perusteella tuhkalannoitus parantaa kangasmetsissä maaperän laatua ja biologista aktiivisuutta. Yksittäisissä kokeissa on saatu positiivinen kasvuvaikutus myös puhtailla tuhkillä

taimikoissa ja varttuneillakin puilla, mutta selkeämmin positiivinen kasvuvaikutus on saatu, kun tuhkaa on hyödynnetty yhdessä typen kanssa; tulosten mukaan vaikutus on ollut jopa parempi, kuin pelkällä typpilannoituksella. 15-vuotisessa tutkimuksessa tuhka-annos 3 t/ha typpilisällä antoi yli 60 % tilavuuskasvun lisäyksen vuosittain lannoittamattomaan verrattuna ensimmäisellä viisivuotis-tarkastelujaksolla. Vastaavaan tulokseen on päästy myös Ruotsalaisessa tutkimuksessa. Kangasmetsissä toteutettujen kokeiden määrä on kuitenkin vähäinen, ja lisää tutkimusta tarvitaan tulosten vahvistamiseksi.

Tuhkalannoituksen vaikutuksista turvemaiden puuston kasvuun on paljon tutkimustuloksia, ja vaikutukset on hyvin raportoitu. Tuhka lisää puuston kasvua hitaammin kuin kaupallinen PK-lannoite, mutta pitkällä aikavälillä tuhkalannoituksella saadaan jopa parempi, pitkäkestoinen ja voimakas kasvureaktio. Merkittävimmät tulokset on saatu ojitetuilla soilla, joissa ojituksen jälkeen puiden kasvu ei ole käynnistynyt luontaisesti eikä istutusten avulla. Tuhkalannoituksen jälkeen kasvu on käynnistynyt ja jatkunut hyvänä pitkään. Tuhkalannoituksen vaikutus kasvuun on ollut tilastollisesti merkittävä lähestulkoon kaikilla koealoilla, runkopuun vuosituotosten lisäyksen vaihdellessa 1–11 m³/ha/v.

Muutamien koekohteiden perusteella turvemaan orgaanisen aineksen hajoaminen nopeutuu tuhkalannoituksen vaikutuksesta, jolloin myös hiilidioksidin vapautuminen ilmakehään tehostuu. Toisaalta merkittävä puuston kasvun lisääntyminen kompensoi päästöä: koekohteen tulosten perusteella lannoitetun alueen lopullinen hiilipäästö 43–58 g C/m² on vain neljännes lannoittamattoman alueen lopullisesta hiilipäästöstä, 204 g C/m². Tuhkalannoituksen vaikutuksia hiilen sitoutumiseen arvioidaan tarkemmin hankkeen jatkuessa.

5. Viitteet

Aro, L. ja Kaunisto, S. 1995. Tuhkalannoitus eräillä suonpohjien metsityskokeilla. Kirjassa: Metsäntutkimus-päivä Porissa 1995, s. 31-41, toim. Laiho, O. ja Luoto, T. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 593, 1996. ISBN 951-40-1502-9. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-1502-9>

Bergh, J., Nilsson, U., Grip, H., Hedwall, P.-O. ja Lundmark, T. 2008. Effects of frequency of fertilization on production, foliar chemistry and nutrient leaching in young Norway spruce stands in Sweden. *Silva Fennica* 42(5): 721–733. <http://www.silvafennica.fi/pdf/article225.pdf>

Ferm, A. 1990. Coppicing, aboveground woody biomass production and nutritional aspects of birch with specific reference to *Betula pubescens*. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 348, 1990. ISBN 951-40-1089-2. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-1089-2>

Ferm, A., Flokkanen, T., Moilanen, M. ja Issakainen, J. 1992. Effects of wood bark ash on the growth and nutrition of a Scots pine afforestation in central Finland. *Plant and Soil* 147:305-316. <http://link.springer.com/article/10.1007/BF00029082>

- Helmisaari, H.-S., Kukkola, M., Ostonen, I. ja Lohmus, K. 2004. Tuhka-biolieteseoksen vaikutukset kangasmailla. Tutkimussopimuksen loppuraportti, Metsäntutkimuslaitos ja Tarton yliopisto. (Linkissä vain julkaisutiedot.) <http://lynet17-kk.lib.helsinki.fi/handle/10024/503647>
- Helmisaari, H.-S., Saarsalmi, A. ja Kukkola, M. 2009. Effects of wood ash and nitrogen fertilization on fine root biomass and soil and foliage nutrients in a Norway spruce stand in Finland. *Plant and Soil* 314 (2009) 1. (Abstract.) <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11104-008-9711-4>
- Huotari, N. 2011. Recycling of wood- and peat-ash – a successful way to establish full plant cover and dense birch stand on a cut-away peatland. *Acta Universitatis Ouluensis. Series A, Scientiae rerum naturalium*, A576, 2011. <http://herkules oulu.fi/isbn9789514295324/isbn9789514295324.pdf>
- Huotari, N. 2012. Tuhkan käyttö metsälannoitteena. 2. päivitetty painos. Metsäntutkimuslaitos. Vammalan kirjapaino Oy 2012. <http://jukuri.luke.fi/handle/10024/504366>
- Huotari, N., Tillman-Sutela, E., Pasanen, J. ja Kubin, E. 2008. Ash-fertilization improves germination and early establishment of birch (*Betula pubescens* Ehrh.) seedlings on a cut-away peatland. (Abstract.) *Forest Ecology and Management* 255 (7) 2008. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112708001436>
- Hytönen, J. 2003. Effects of wood, peat and coal ash fertilization on Scots pine foliar nutrient concentrations and growth on afforested former agricultural peat soils. *Silva Fennica* 37 (2) 2003 <http://dx.doi.org/10.14214/sf.503>
- Hytönen, J. ja Aro, L. 2012. Biomass and nutrition of naturally regenerated and coppiced birch on cutaway peatland during 37 years. *Silva Fennica* 46 (3) 2012. <http://www.silvafennica.fi/pdf/article48.pdf>
- Hytönen, J. ja Aro, L. 2013. Puutuhkalannoitus lisää koivikon biomassatuotosta suonpohjalla. Julkaisussa: Maankäytön kestävyys. VII Maaperätieteiden päivien abstraktit, s. 55-56. Toim. Leppälammil-Kujansuu, J., Soinne, H., Merilä, P., Rankinen, K., Salo, T. ja Hänninen, P. 2013. <http://docplayer.fi/8128549-Pro-terra-no-61-2013-vii-maaperatieteiden-paivien-abstraktit.html>
- Hytönen, J. ja Kaunisto, S. 1999. Effect of fertilization on the biomass production of coppiced mixed birch and willow stands on a cut-away peatland. *Biomass and Bioenergy* 17 (6) 1999. (Abstract.) <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953499000616>
- Hytönen J. ja Saarsalmi A. 2015. Biomass production of coppiced grey alder and the effect of fertilization. *Silva Fennica* 49 (1) 2015. <http://www.silvafennica.fi/pdf/article1260.pdf>
- Jacobson, S. 2003. Addition of stabilized wood ashes to Swedish coniferous stands on mineral soils – effects on stem growth and needle nutrient concentrations. *Silva Fennica* 37 (4) 2003. <http://www.silvafennica.fi/pdf/article483.pdf>
- Kaunisto, S. 1987. Effect of refertilization on the development and foliar nutrient contents of young Scots pine stands on drained mires of different nitrogen status. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 140, 1989. ISBN 951-40-0772-7. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-0772-7>

- Lauhanen, R., Moilanen, M., Silfverberg, K., Takamaa, H. ja Issakainen, J. 1997. Puutuhkalannoituksen kannattavuus eräissä ojitusalueenniköissä. Suo 48 (3) 1997. <http://www.suoseura.fi/suo/contents48.html>
- Levula, T. 1990. Tuhkalannoitus kangasmaalla. Julkaisussa: Metsäntutkimuspäivä Nurmossa 1990, toim. Laiho, O. ja Kilponen, T. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 394, 1991. S. 49-59. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-1180-5>
- Makkonen, T. (toim.) 2008. Tuhkalannoitus. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. 32 s. http://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/pictures/tuhkalannoitus_tapio_2008_pakattu.pdf
- Merisaari, H. 1981. Tuhkalannoituksen vaikutuksen kesto eräillä vanhoilla kokeilla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 13, 1981. ISSN 0358-4283. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-metla-201207201903>
- Moilanen, M. 1996. Kannattaako suometsien ravinnetaloutta hoitaa? Julkaisussa Metsäntutkimuspäivät Pyhäsalmeilla 1996, s. 27-37, toim. Moilanen, M., Pietiläinen, P. ja Väärä, T. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 674, 1998. ISBN 951-40-1611-4, ISSN 0358-4283. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-1611-4>
- Moilanen, M. 2009. Puutuhkan ja kivennäismaan vaikutukset männyn ravinnetilaan ja kasvuun Pohjois-Pohjanmaan metsäojitetuilla soilla. Julkaisussa Muhoksen toimintayksikkö. Vuosikertomus 2008, toim. Piironen, M.-L., Murtovaara, I. ja Wallin, E. <http://jukuri.luke.fi/handle/10024/515485>
- Moilanen M., Hytönen J., Hökkä H. ja Ahtikoski A. 2015. Fertilization increased growth of Scots pine and financial performance of forest management in a drained peatland in Finland. Silva Fennica 49 (3) 2015. <http://www.silvafennica.fi/pdf/article1301.pdf>
- Moilanen M., Hytönen J., Leppälä M. 2013. Puutuhkan vaikutus turpeen hiilidioksidipäästöihin ja puuston hiilensidontaan ojitetulla rämeellä. Julkaisussa: Maankäytön kestävyys. VII Maaperätieteiden päivien abstraktit, s. 59-60. Toim. Leppälämmi-Kujansuu, J., Soinne, H., Merilä, P., Rankinen, K., Salo, T. ja Hänninen, P. 2013. <http://docplayer.fi/8128549-Pro-terra-no-61-2013-vii-maaperatieteiden-paivien-abstraktit.html>
- Moilanen, M. ja Issakainen, J. 2000. Tuhkalannoituksen metsävaikutukset. Metsätehon raportti 93. http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon_raportti_093.pdf
- Moilanen, M. ja Issakainen, J. 2004. Puu- ja turvetuhkien vaikutus maaperään, metsäkasvillisuuden alkuainepitoisuuksiin ja puuston kasvuun. Metsätehon raportti 162. http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon_raportti_162.pdf
- Moilanen, M., Saarsalmi, A., Kukkola, M. ja Issakainen, J. 2013. Effects of stabilized wood ash on nutrient status and growth of Scots pine – Comparison between uplands and peatlands. Forest Ecology and Management 295, 2013. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112713000480>

- Moilanen, M., Silfverberg, K. ja Hokkanen, T. J. 2002. Effects of wood-ash on the tree growth, vegetation and substrate quality of a drained mire: a case study. *Forest Ecology and Management* 171 (3) 2002. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112701007897>
- Moilanen, M., Silfverberg, K., Hökkä, H. ja Issakainen, J. 2004. Comparing Effects of Wood Ash and Commercial PK Fertiliser on the Nutrient Status and Stand Growth of Scots Pine on Drained Mires. *Baltic Forestry* 10 (2) 2004. [http://www.balticforestry.mi.lt/bf/PDF_Articles/2004-10\[2\]/2_10%20Moilanen%20et%20al.pdf](http://www.balticforestry.mi.lt/bf/PDF_Articles/2004-10[2]/2_10%20Moilanen%20et%20al.pdf)
- Moilanen, M., Silfverberg K., Hökkä, H. ja Issakainen, J. 2005. Wood ash as a fertilizer on drained mires -growth and foliar nutrients of Scots pine. *Canadian Journal of Forest Research* 35 (11) 2005. <http://www.nrcresearchpress.com/doi/pdf/10.1139/x05-179>
- Pihlström, M., Rummukainen, P. ja Mäkinen, A. 2000. Tuhkalannoitusprojektin kasvillisuus- ja maaperä-tutkimukset Evolla 1997 – 1999. Loppuraportti. Metsätehon raportti 89, 2000. http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon_raportti_089.pdf
- Rummukainen, P., Pihlström, M. ja Mäkinen, A. 2004. Puutuhkalannoituksen lyhytaikaiset vaikutukset kasvilajistoon. Metsätehon raportti 171. http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/metsatehon_raportti_171.pdf
- Saarsalmi, A., Derome, J. ja Levula, T. 2005. Effect of wood ash fertilization on stand growth, soil, water and needle chemistry, and berry yields of lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea* L.) in a Scots pine stand in Finland. Julkaisussa: Utilisation of industrial wastes in forestry, s. 13-33, toim. Mandre, M. *Forestry Studies (Metsanduslikud Uurimused)* 42, 2005. <https://www.researchgate.net/publication/228365706>
- Saarsalmi, A. ja Kukkola, M. 2009. Tuhkalannoituksen vaikutus maaperään ja puuston kasvuun. Metsätieteen aikakauskirja 1, 2009. <http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff09/ff091063.pdf>
- Saarsalmi, A., Kukkola, M., Moilanen, M. ja Arola, M. 2006. Long-term effects of ash and N fertilization on stand growth, tree nutrient status and soil chemistry in a Scots pine stand. *Forest Ecology and Management* 235 (1-3) 2006. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112706005202>
- Saarsalmi, A., Mälkönen, E. ja Piirainen, S. 2001. Effects of wood ash fertilization on forest soil chemical properties. *Silva Fennica* 35: 355–368. <http://www.silvafennica.fi/pdf/article590.pdf>
- Saarsalmi, A., Mälkönen, E. ja Kukkola, M. 2004. Effect of wood ash fertilization on soil chemical properties and stand nutrient status and growth of some coniferous stands in Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 19 (3) 2004. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02827580410024124>
- Saarsalmi, A., Palmgren, K. ja Levula, T. 1985. Leppäviljelmän biomassan tuotos sekä ravinteiden ja veden käyttö. *Folia Forestalia* 628, 1985. ISBN 951-40-0710-7. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-0710-7>

- Saarsalmi, A., Palmgren, K. ja Levula, T. 1991. Harmaalepän vesojen biomassan tuotos ja ravinteiden käyttö. *Folia Forestalia* 768, 1991. ISBN 951-40-1143-0. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-1143-0>
- Saarsalmi, A., Smolander, A., Kukkola, M. ja Arola, M. 2010. Effect of wood ash and nitrogen fertilization on soil chemical properties, soil microbial processes, and stand growth in two coniferous stands in Finland. *Plant and Soil* 331 (1) 2010. <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11104-009-0256-y>
- Saarsalmi, A., Smolander, A., Kukkola, M., Moilanen, M. ja Saramäki, J. 2012. 30-Year effects of wood ash and nitrogen fertilization on soil chemical properties, soil microbial processes and stand growth in a Scots pine stand. *Forest Ecology and Management* 278, 2012. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112712002617>
- Saarsalmi, A., Smolander, A., Moilanen, M. ja 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, 2014. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112714002709>
- Saramäki, J. ja Susila, P. 1991. Tuhkalannoitus kivennäismailla. Julkaisussa: Metsänkasvatuksen perusteet turve- ja kivennäismailla. Metsäntutkimuspäivä Joensuussa 1991, s. 82-83. Toim. Mäkkeli, P. ja Hotanen, J.-P. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 383, 1991. ISBN 951-40-1159-7. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-1159-7>
- Sikström, U., Almqvist, C. ja Jansson, G. 2010. Growth of *Pinus sylvestris* after the application of wood ash or P and K fertilizer to a peatland in southern Sweden. *Silva Fennica* 44 (3) 2010. <http://www.silvafennica.fi/pdf/article139.pdf>
- Silfverberg, K. 1995. Forest regeneration on nutrient-poor peatlands: Effects of fertilization, mounding and sowing. *Silva Fennica* 29 (3) 1995. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/1975/9208/029-3_Silfverberg.pdf?sequence=3
- Silfverberg, K. 1996. Nutrient status and development of tree stands and vegetation on ash-fertilized drained peatlands in Finland. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 588, 1996. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-1496-0>
- Silfverberg, K. ja Hotanen, J.-P. 1989. Puuntuhkan pitkäaikaisvaikutukset ojitetulla mesotrofisella kalvakkanevalla Pohjois-Pohjanmaalla. *Folia Forestalia* 742, 1989. ISBN 951-40-1082-5. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-1082-5>
- Silfverberg, K. & Huikari, O. 1985. Tuhkalannoitus metsäojitetuilla turvemailla. Metsäntutkimuslaitos. *Folia Forestalia* 633. Helsinki: Valtion painatuskeskus. 25 s. ISSN 0015-5543; 633. <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-0716-6>
- Silfverberg, K., Huotari, N. ja Kokkonen, A.-M. 2010. Puu- ja turvetuhkan vaikutukset kasvillisuuteen ja männyn taimettumiseen päätehakatulla turvekankaalla. Metsätieteen aikakauskirja 4, 2010. <http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff10/ff104341.pdf>

Silfverberg, K. & Issakainen, J. 2001. Puuntuhka ja lannoitteet suomänniköiden ravinnetalouden hoidossa. Metsätieteen aikakauskirja 1/2001: 29–44.
<http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff01/ff011029.pdf>

Tamminen, P. 1998. Typpi- ja tuhkalannoitus punalatikan vaivaamassa männikössä. Metsätieteen aikakauskirja – Folia Forestalia 3/1998: 411–420.
<http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff98/ff983411.pdf>