

TUHKAN OMINAISUUDET JA TUHKALANNOITUKSEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

Tavoite:
Luoda edellytyksiä tuhkan metsäkäytölle

- **Tutkittiin 2000 - 2003**
 - **Tuhkalannoitukseen liittyviä ympäristöriskejä**
 - **Tuhkalannoituksen vaikutusta puiden ravinnetalouteen**
 - **Erilaisten rakeistuskäsittelyiden vaikutuksia tuhkan ominaisuuksiin ja ravinteiden vapautumiseen.**
- **Pääosin jatkoa 1997 – 2000 tutkimuksille, jolloin tutkittiin myös**
 - **Tuhkien alkuainepitoisuuksia ja kalkitusominaisuuksia**
 - **Vaikutuksia mikrobistoon ja kasvihuonekaasuvirtoihin**
 - **Rakeistustekniikoita**
 - **Käsittely- ja levitystekniikoita**

Tutkimuskonsortio

- **Metsäntutkimuslaitos:**
 - Joensuun tutkimuskeskus: aineiden huuhtoutuminen
 - Muhoksen tutkimusasema: metsävaikutukset
 - Vantaan tutkimuskeskus: aineiden vapautuminen ja mikrobistovaikutukset
- **Helsingin yliopiston Lammin biologinen asema ja Riista ja kalatalouden tutkimuslaitos: vesistövaikutukset**
- **Helsingin yliopisto:**
 - Ekologian ja systematiikan laitos: maaperä- ja kasvillisuusvaikutukset
 - Ympäristöekologian laitos: tuhka- ja typpilannoitus kangasmaalla
- **Kuopion yliopisto, ympäristötieteen laitos: kasvihuonekaasuvirrat**
- **VTT Energia ja Metsä-Serla/Metsä-Botnia Oy Äänekoski: tuhkan itsekovetus**
- **Renotech Oy: tuhkan kovettumisen mekanismit**
- **Helsingin yliopiston Kehityspalvelut Oy: tuhkan fysikaalis-kemiallisia ominaisuuksia**
- **Metsäteho Oy: teknis-taloudelliset tutkimukset, tuhka-analyyseista huolehtiminen, hankkeen koordinointi**

Projektin rahoittajat

- **2000 – 2003**
 - **Metsäliitto Osuuskunta**
 - **Metsäteollisuus ry**
 - **Stora Enso Oyj**
 - **UPM-Kymmene Oyj**
 - **Vapo Timber Oy**
 - **Maa- ja metsätalousministeriö**
 - **Energia-alan keskusliitto**
 - **Konsortioon osallistuneet tutkimuslaitokset**
- **1997 – 2000 jaksolla lisäksi**
 - **Metsähallitus ja Pölkky Oy**
 - **Imatran Voima Oy (Fortum Power and Heat Oy)**
 - **TEKES**

Projektin johtoryhmä

- **Toimitusjohtaja Kaj Karlsson, Metsämannut Oy (puheenjohtaja)**
- **Laboratoriopäällikkö Mervi Niininen, Stora Enso Oyj**
- **Metsänhoitopäällikkö Jukka Pekkarinen, Stora Enso Oyj**
- **Metsänhoitopäällikkö Jyri Schildt, UPM-Kymmene Oyj**
- **Energiapäällikkö Juha Kouki, UPM-Kymmene Oyj**
- **Erikoistutkija Kari Saari, UPM-Kymmene Oyj**
- **Professori Seppo Kaunisto, Metsäntutkimuslaitos**
- **Erikoistutkija Heljä-Sisko Helmisaari, Metsäntutkimuslaitos**
- **Tutkimuskoordinaattori Jukka Leskelä, Finergy**
- **Energia-asiantuntija Matti Nuutila, Suomen Kaukolämpö ry**
- **Hankintapäällikkö Juha Poikola, Pohjolan Voima Oy**
- **Polttoainepäällikkö Dan Blomster, Fortum Power and Heat Oy**
- **Erikoistutkija Antti Korpilahti, Metsäteho Oy (koordinaattori)**

Projektin loppuraportit 1/4

- **Isännäinen, S., Huotari, H. & Mursunen, H. Lentotuhkan itsekovetus. Metsätehon raportti 30. 10.11.1997.**
- **Fritze, H. & Perkiömäki, J. Puuntuhkan vaikutus humuskerroksen mikrobistoon kangasmaalla. Metsätehon raportti 82. 17.12.1999.**
- **Maljanen, M., Nykänen, H., Moilanen, M. & Martikainen, P. Tuhkalannoituksen vaikutus metsämaan kasvihuonekaasuvirtoihin. Metsätehon raportti 83. 27.12.1999.**
- **Ohtonen, R. & Tuohenmaa, H. Tuhkalannoituksen vaikutus männyn ektomykorritsasymbioosiin kangasmaalla. Metsätehon raportti 84. 29.12.1999.**

Projektin loppuraportit 2/4

- **Österbacka, J. Esikäsittelyn vaikutuksesta puu- ja turvetuhkan ominaisuuksiin ja ravinteiden liukenemiseen. Metsätehon Raportti 109. 30.5.2001.**
- **Korpilahti, A. Tuhkan esikäsittely metsäkäyttöä varten. Metsätehon Raportti 143. 28.2.2003.**
- **Arvola, L., Pihlström, M., Mäkinen, A., Rummukainen, P., Rask, M. & Tulonen, T. Tuhkalannoituksen vaikutus metsäjärvissä. Metsätehon Raportti 146. 14.4.2003.**
- **Nieminen, M. Ravinteiden ja raskasmetallien vapautuminen tuhkalannoitteista. Metsätehon Raportti 155. 15.9.2003.**
- **Strömmer, R., Jokinen, H., & Holma, A. Tuhka- ja typpilannoitus varttuneessa OMT-kuusikossa – sienijuuret ja typen mobilisaatio. Metsätehon Raportti 160. 20.11.2003.**

Projektin loppuraportit 3/4

- **Moilanen, M. & Issakainen, J. Puu- ja turvetuhkien vaikutus maaperään, metsäkasvillisuuden alkuainepitoisuuksiin ja puuston kasvuun. Metsätehon Raportti 162. 22.12.2003.**
- **Piirainen, S. & Domisch, T. Tuhkalannoituksen vaikutus pohja- ja valumavesien laatuun ja ainehuuhtoumiin ojitetuilla soilla. Metsätehon Raportti 168, 4.2.2004.**
- **Rummukainen, P., Pihlström M. & Mäkinen A. Puuntuhkalannoituksen lyhytaikaiset vaikutukset kasvilajistoon. Metsätehon Raportti 171, 13.4.2004.**
- **Korpilahti, A. Puu- ja turvetuhkan analysointi ja analyysituloksia. Metsätehon Raportti 172. 27.4.2004.**
- **Korpilahti, A. Tuhkan kuljetus ja levitys metsään. Metsätehon Raportti 173. 24.5.2004.**

Projektin loppuraportit 4/4

- **Pihlström, M., Rummukainen, P., Mäkinen, A., Tulonen, T. & Arvola, L. Tuhkalannoituksen vaikutus kasvillisuuden ja maaperän raskasmetalli- ja ravinnepitoisuuksiin. Metsätehon Raportti 184, 14.3.2005.**
- **Loppuseminaarin esitykset. Metsäteho 5.6.2003**
- **Korpilahti, A. Tuhkan ominaisuudet ja tuhkalannoituksen ympäristövaikutukset. Loppuraportti maa- ja metsätalousministeriölle. Metsäteho 12.11.2003**
- **Tutkimusten suorittajat ovat lisäksi esittäneet tuloksia kotimaisissa ja ulkomaisissa tilaisuuksissa ja julkaisseet muissa kuin Metsätehon sarjoissa yli 20 raporttia.**

Päätuloksia 1/3

- **Tuhkalannoitus ei aiheuttanut ympäristölle oleellisia haittavaikutuksia eikä vesien rehevöitymistä.**
- **Vesiä rehevöittäviä ravinteita huuhtoutui seurannan aikana, 5 – 6 vuoden kuluessa lannoituksesta, vain vähän. Fosforista huuhtoutui yhden prosentin verran eikä typpeä alkanut huuhtoutua.**
- **Boori, rikki, kalium ja natrium liukenivat tuhkasta helposti.**
- **Nopeasti liukenevien aineiden, kuten kaliumin, huuhtoutumisen merkitys on lähinnä ravinnehukka.**
- **Rakeistus hidasti em. ravinteiden vapautumista vain lyhytaikaisesti.**
- **Levitysajankohdalla, talvi tai kesä, ei todettu merkitystä ravinteiden huuhtoutumiseen eikä liukenemiseen.**
- **Rakeistus on tarpeen tuhkan saamiseksi käsiteltävään muotoon.**
- **Tuhka sisältää runsaasti kalsiumia, joka saa aikaan pitkäkestoisen kalkitusvaikutuksen. Turpeen pintaosan pH-arvo kohosi tasosta 4 – 4,5 tasoon 6 – 7. Turvekerroksessa 0 – 10 cm nousu oli 0,5 – 1 yksikköä pitkälläkin aikavälillä ja syvemmillä tuskin havaittavaa.**

Päätuloksia 2/3

- **Tuhka on erinomainen suometsien lannoite ja maanparannusaine. Kangasmaametsät tarvitsevat typpeä, mutta sitä ei tuhkassa ole.**
- **Tuhkan lannoitusvaikutus näkyi jo parin kasvukauden kuluttua turvemaan puustossa ja kasvillisuudessa selvästi: neulaset tuuhettuivat, pituuskasvu lisääntyi ja kasvillisuus rehevöityi.**
- **Tuhkan lannoitusvaikutus alkaa hieman myöhemmin kuin PK - lannoitteen vaikutus, mutta tuhkalannoitus vaikuttaa pitempään, useita kymmeniä vuosia.**
- **Turpeentuhkassa on niukasti kaliumia ja booria. Koska kalium on lisäksi hitaasti liukenevassa muodossa, pelkän turpeentuhkan antama kasvureaktio on yleensä heikko.**

Päätuloksia 3/3

- Rauta ja alumiini voivat muodostaa kadmiumin ja fosforin kanssa erittäin hidasiukoisia yhdisteitä.
- Marjojen ja sienien kadmiumpitoisuudet olivat jotain poikkeustapausta lukuun ottamatta tuhkalannoitetuilla alueilla pienemmät kuin lannoittamattomilla alueilla.
- Kadmiumpitoisuudet olivat tuhkalannoitetuillakin alueilla pieniä, luontaisen vaihtelun rajoissa ja usein alle 0,05 mg/kg.
- Esimerkkejä Cd-pitoisuuksista mg/kg kuiva-aineessa (sis. sekä lannoitettuja että vertailunäytteitä):
 - koivun lehti 0,20 – 0,22, pajun lehti 0,60 – 0,74
 - männyn neulanen 0,067 – 0,076
 - hilla 0,11 – 0,16, puolukka 0,009 – 0,006
 - kangasrousku 0,68 – 0,79, kangastatti 0,85 – 0,95 (ovat runsaasti Cd ottavia sieniä, esim. vahverolla ja haaparouskulla pitoisuus on alle 1 mg/kg)
 - KTM:n antama enimmäispitoisuus vihanneksille on 0,1 mg/kg tuorepainosta. Kasveilla 0,1 mg/kg tuoreainepitoisuutta vastaava kuiva-ainepitoisuus on 0,70 – 2,00 mg/kg.

Tuhkien alkuainepitoisuuksia

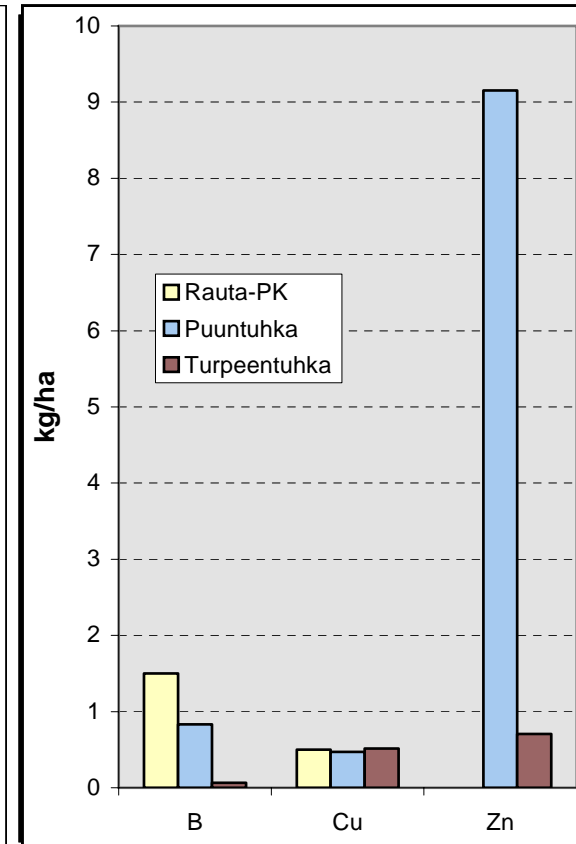
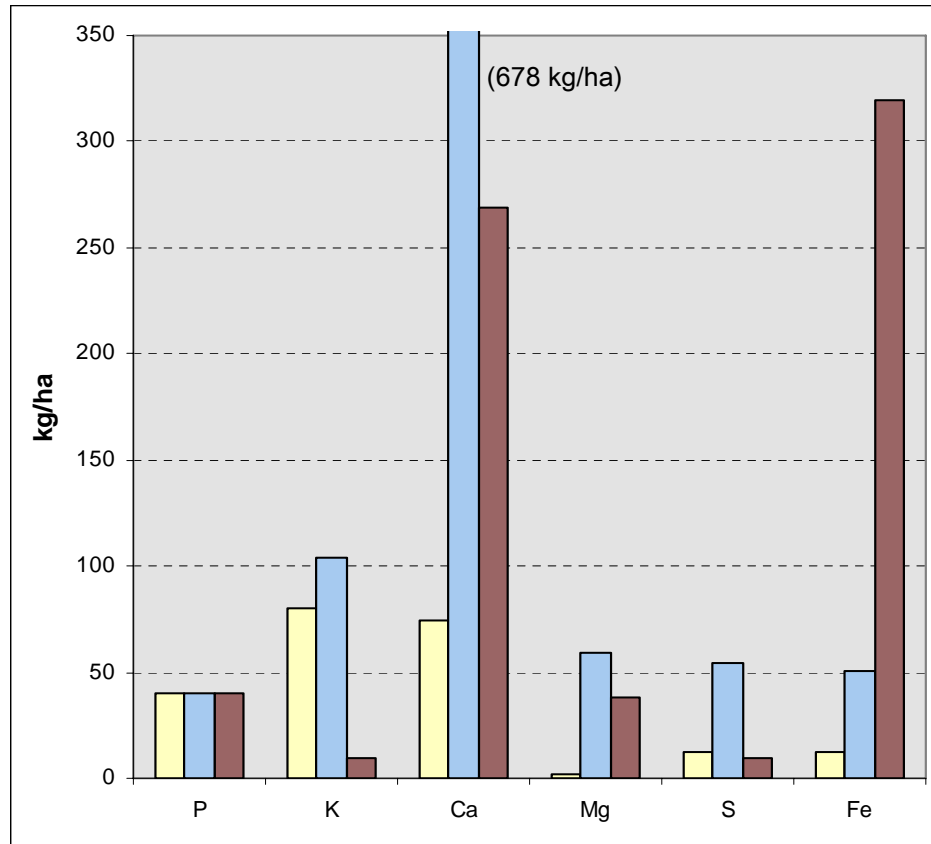
Pääravinteiden ja kadmiumin pitoisuudet eräissä puun- ja turpeentuhkissa 1997-1998
(typpihappouutto + mikroaaltouunihajotus).

| | P g/kg | K g/kg | Ca g/kg | Mg g/kg | B mg/kg | Cd mg/kg |
|----------------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| <i>Puuntuhka</i> | | | | | | |
| Äänekoski | 8,8 | 22 | 327 | 15 | 178 | 9,3 |
| Enotuhka | 16,4 | 41 | 209 | 23 | 333 | 23,0 |
| Pietarsaari | 16,7 | 31 | 200 | 25 | 367 | 19,0 |
| Kaskinen | 15,7 | 56 | 194 | 23 | 301 | 13,9 |
| Kymi | 7,8 | 15 | 166 | 11 | 138 | 4,0 |
| Voikkaa | 5,5 | 18 | 105 | 8 | 148 | 2,9 |
| Keskiarvo | 11,8 | 31 | 200 | 18 | 246 | 12,0 |
| <i>Turpeentuhka</i> | | | | | | |
| Joensuu | 7,5 | 3,3 | 75 | 10 | 30 | < 1,0 |
| Rauhalahti | 7,4 | 3,0 | 49 | 7 | .. | < 1,0 |
| Haapavesi | 18,9 | 1,7 | 103 | 15 | 6 | 3,7 |
| Keskiarvo | 11,3 | 2,7 | 76 | 11 | 18 | .. |

Tuhka maanparannusaineena

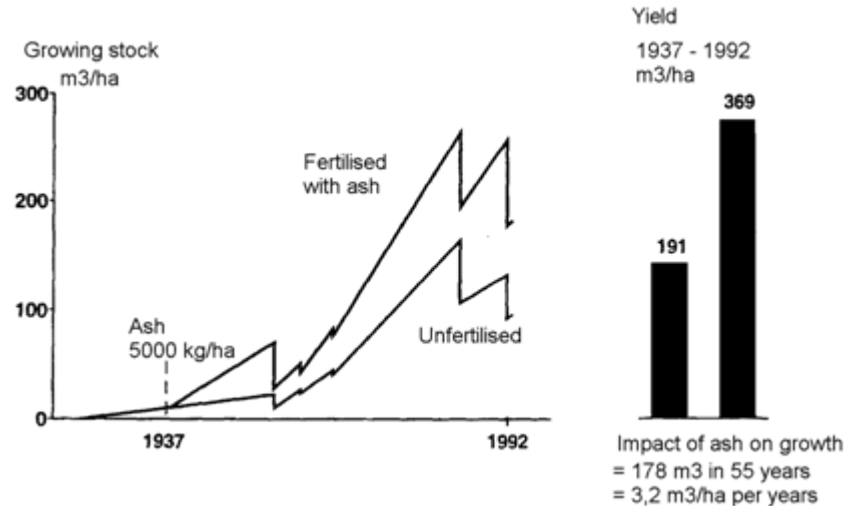
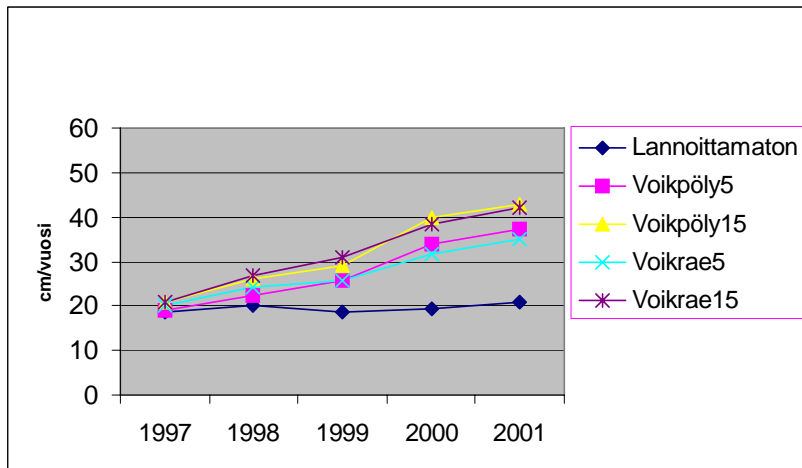
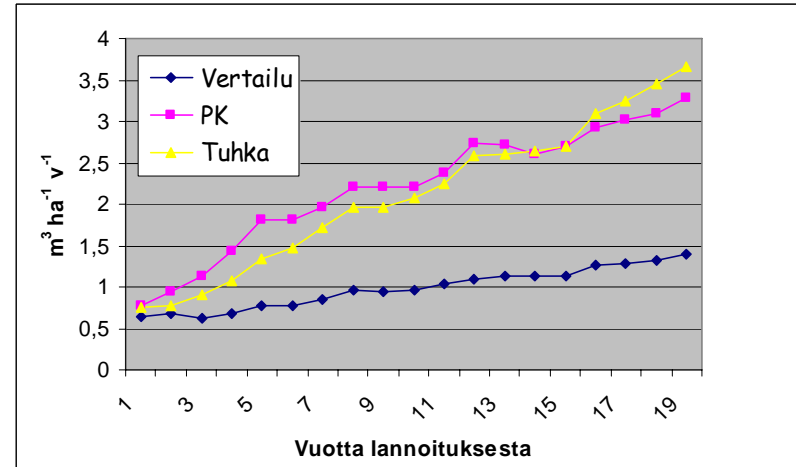
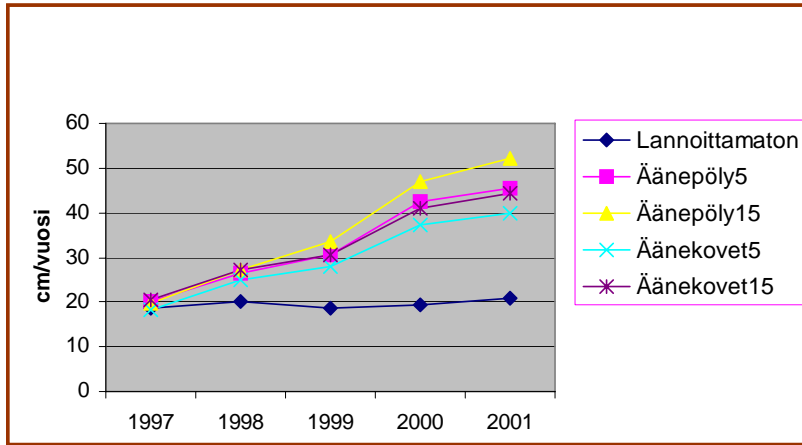
- **Lannoitevalmisteita koskevat säädökset 1993 - 1994**
- **Puun- ja turpeentuhkan metsäkäyttö ja julkiseen viherrakentamiseen ja maisemointiin tarkoitetut maanparannusaineet on vapautettu raskasmetallirajoista** (Maa- ja metsätalousministeriön päätös N:o 46/1994).
- **Tuhkalla lähinnä kadmiumpitoisuus ylittää maanparannusaineiden enimmäisrajan, 3,0 mg/kg, tai fosforilannoitteiden enimmäisrajan, 50 mg kadmiumia yhtä fosforikiloa kohden.**

Tuhkien ja PK-lannoitteen ravinteet



Pitoisuudet kuuden puu- ja kolmen turvevoimalaitoksen keskiarvoja. Annostuksen peruste: 40 kg fosforia/ha.

Esimerkkejä tuhkan lannoitusvaikutuksesta

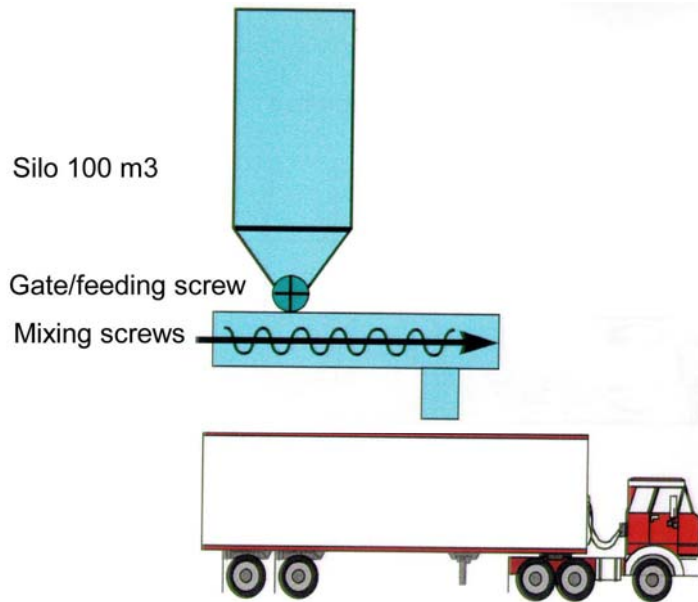


Tuloskalvosarja

Tuhkien rakeistustekniikoita

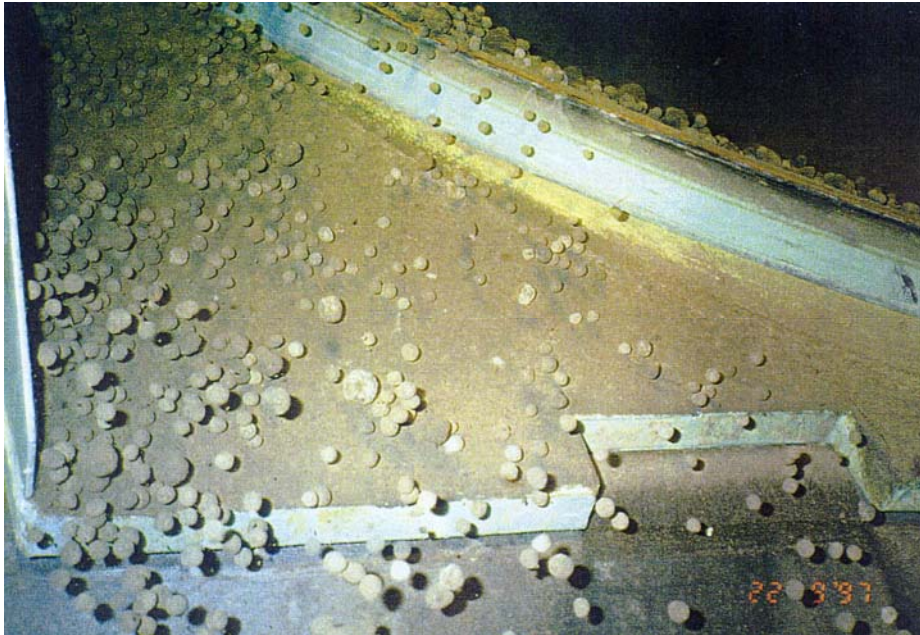
- **Kostutus noin 30 % kosteuteen**
- **Lämpöä luovuttava kovettumisreaktio**
 - $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2$
 - Ilmasta $\text{CO}_2 = \text{CaCO}_3$ (karbonaatti)
 - Alumiiniyhdisteiden kanssa muodostuu kovia yhdisteitä
 - Kalsiumaluminaattia $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$
 - Ettringiittiä $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12}$
- **Kostutuksen yhteydessä rakeistus erilaisilla tekniikoilla**
 - Itsekovetus (ei erillistä rakeistusta), lautasrakeistus, rumpurakeistus, valssaus

Tuhkan itsekovetus



Itsekovetusmenetelmää on käytetty Äänekosken tehtailla ja Savon Sellussa. Savon Sellussa tuhka on kostutettu tehtaan vedenpuhdistuksen lietteellä, jonka ravinteet on siten saatu hyötykäyttöön.

Tuhkan lautasrakeistus



Kostutettu tuhka rakeistuu noin 3-metrisellä, kaltevassa asennossa pyörivällä lautasella ja valuu reunan yli kuljettimelle. Kuvat Enotuhka Oy:stä



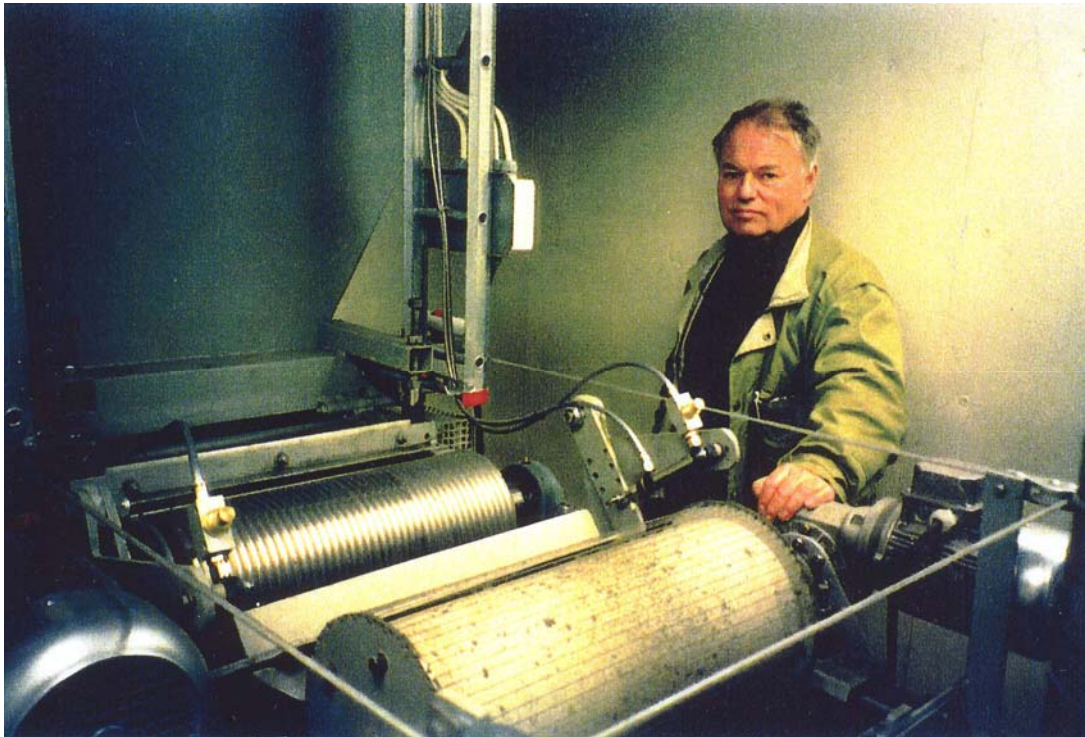
Tuhkan rumpurakeistus



Kostutettu tuhka rakeistuu pyörivässä rummussa ja valuu kuljettimille ja kovettuu käsittelyn ja varastoinnin aikana. Kuvassa ruotsalainen laitteisto kokeilussa Kuusankoskella.



Tuhkan valssaus



Ruotsalaisen Gert Nordströmin (kuvassa) kehittämä tuhkan käsittelylaitteisto. Kapasiteetti 5 t tunnissa ja noin 10 000 t vuodessa.

Suomessa LT Tuhkimo Oy aloitti ensimmäisenä valssaus-tekniikkaan perustuvan tuhkan rakeistuksen Korialla.

Tuhkan levitystä traktorikalustolla



Tuhka voidaan varastoida ja kuljettaa irtotavarana. Tuhkanlevittimen kuormatilan pohjassa on hihna- tai kolakuljetin ja perässä lautaslevittimet. Kuvissa levitetään itsekovetusmenetelmällä käsiteltyä tuhkaa.

Tuhkan levitystä helikopterilla



Tasarakeinen tuhka soveltuu hyvin helikopterilevitykseen. Tuhkan levityssuppilossa ei silloin tarvita erillistä levitintä. Tuhka käsitellään irtotavarana ja suppilot täytetään pienikokoisella kauhakuormaajalla.



Polttomootorikäyttöisellä lautaslevittimellä varustettu tuhkasuppilo.

Tuhkalannoituksen kustannuksia

| Erittely | Itsekovetustuhka, kosteus 25 %, annostus 7,2 t/ha | Raetuhka, kosteus 12 %, annostus 3,7 t/ha |
|-----------------------------------|--|--|
| Kostutus, rakeistus, läjitys: €/t | 5,50 | 31,00 |
| Lastaus ja kuljetus 80 km: €/t | 8,50 | 7,60 |
| - Kuormatraktorilevitys: €/t | 6,90 | 7,90 |
| - Helikopterilevitys: €/t | - | 60,00 |
| Suunnittelu 8,50 €/ha: €/t | 1,20 | 2,30 |
| Yhteensä €/t | | |
| - Kuormatraktorilevityksenä | 22,10 | 48,80 |
| - Helikopterilevityksenä | - | 100,90 |
| Yhteensä €/ha | | |
| - Kuormatraktorilevityksenä | 159 | 181 |
| - Helikopterilevityksenä | - | 373 |

Annostusperusteena fosforia 45 kg/ha. Kustannukset laskettu ajanmenekkitutkimusten ym. perusteiden mukaan. PK -lannoituksen laskennalliset kustannukset helikopterilevityksenä olivat 171 €/ha.

Tuhkalannoituksen kannattavuus

- **Taimikkovaiheen metsiköiden tuhkalannoituksia on tarkasteltu 19 ja 44 – 56 vuoden aikajänteellä.**
- **Sisäiset korot olivat 3,8 ja 5,5 – 9,3 %, kun puun arvona oli 15 €/m³.**
- **Tuhkalannoituskokeet osoittavat, että lannoitusvaikutus kestää pitkään, kymmeniä vuosia.**
- **Kasvun lisäys pitkällä aikavälillä noin 3 m³/ha/vuosi.**
- **Puuperäisen tuhkan, 100 000 – 150 000 t vuodessa, metsäkäyttö lisäisi puuston kasvua 1,8 – 2,7 milj. m³ 20 – 30 vuodessa.**

Tuhkien muita kuin metsätalouden käyttökohteita

- **Stabiloivien ja kovettavien vaikutusten ansiosta tuhka sopii hyvin**
 - Tierungon rakenteisiin
 - Kaatopaikkojen rakentamiseen ja täyttöön
- **Kovettumisominaisuuksien ansiosta tuhkaa voidaan käyttää betoniin.**
- **Ravinnevaikutusten ja fysikaalisten ominaisuuksien ansiosta golfkenttien lannoitukseen.**
- **Pelto- ja puutarhakasveille, kun raskasmetallien enimmäispitoisuudet eivät ylity.**