



# Projekt ASH2CARBON: Analys av träaska från flisvärmeanläggningar och biobränslekraftverk

Viveka Öling-Wärnå, Nina Åkerback & Patrik Majabacka

Viveka Öling-Wärnå (Yrkeshögskolan Novia), Nina Åkerback (Yrkeshögskolan Novia), Patrik Majabacka (Finlands skogscentral).

**Projekt ASH2CARBON: Analys av träaska från flisvärmeanläggningar och biobränslekraftverk**

Yrkeshögskolan Novia, Wolffskavägen 31, 65200 Vasa, Finland © Yrkeshögskolan Novia och Öling-Wärnå, Åkerback, Majabacka

Pämbild Viveka Öling-Wärnå

Novia Publikation och produktion, serie R: Rapporter 12/2023  
ISBN: 978-952-7526-23-1(Online) ISSN: 1799-4179

CC BY 4.0



Europeiska jordbruksfonden för landsbygdsutveckling: Europa investerar i landsbygdsområden



Närings-, trafik- och miljöcentralen

## ABSTRAKT

I landskapet Österbotten har man de senaste årtiondena lyckats konvertera en stor del av större oljebaserade värmecentraler till anläggningar som använder skogsflis. För att utveckla och anpassa den nuvarande värmeproduktionen enligt de möjligheter som ges inom den cirkulära ekonomin har projektet ASH2CARBON haft som avsikt att utreda träaskans användningsmöjligheter. Trä- och torvaska innehåller nyttiga näringsämnen som det är ekologiskt motiverat att återföra till skogen. Hösten 2022 togs askprover från nio träbaserade värmeanläggningar runt om i Österbotten. Innehåll av metaller, fosfor, kalium, neutraliserande förmåga i % Ca, bor, magnesium, järn samt kisel analyserades för att få en bättre uppfattning om askornas kvalitet och resultaten är sammanfattade i denna rapport.

Projekt ASH2CARBON leds av Finlands skogscentral i samarbete med Yrkeshögskolan Novia. Projektet har finansierats av Europeiska fonden för landsbygdsutveckling: Europa investerar i landsbygdsområden, Oy Alholmens kraft Ab, ÖSP-Trädgård, Vaasan Voima Oy, Föreningen för skogskultur r.f., Ab Stormossen Oy, Jeppo Biogas Ab, Ab Ekeri Oy, Vörå Energiandelslag och Kronoby Energiandelslag.

**Nyckelord:** Ash2Carbon, biobränslekraftverk, flisvärmeanläggning, träaska, träaskas kvalitet.

## ABSTRACT

In the Ostrobothnia region a large proportion of major oil-based heating plants have been converted into plants using wood chips in recent decades. To develop and adapt the current heat production according to the possibilities offered in the circular economy, the ASH2CARBON project has aimed to explore the possibilities of using wood ash. Wood and peat ash contain beneficial nutrients that it is ecologically justified to return to the forest. In autumn 2022, ash samples were taken from nine wood-based heating plants around Ostrobothnia. The content of metals, phosphorus, potassium, neutralizing ability in% Ca, boron, magnesium, iron, and silicon were analysed to get a better idea of the quality of the ashes and the results are summarized in this report.

Project ASH2CARBON is led by the Finnish Forest Centre in collaboration with Novia University of Applied Sciences. The project has been financed by the European Fund for Rural Development: Europe investing in rural areas, Oy Alholmens kraft Ab, ÖSP-Trädgård, Vaasan Voima Oy, Föreningen för skogskultur r.f., Ab Stormossen Oy, Jeppo Biogas Ab, Ab Ekeri Oy, Vörå Energiandelslag and Kronoby Energiandelslag.

**Keywords:** Ash2Carbon, biofuel power plant, chip heating plant, wood ash, wood ash quality.

## Innehåll

ABSTRAKT .....	2
ABSTRACT .....	2
Inledning.....	4
Användning av träaska .....	4
Askspridningspotential i Österbotten.....	5
Finländsk lagstiftning gällande gödselmedel .....	6
Gödselmedel av aska .....	7
Kvalitets- och säkerhetskrav för gödselmedel av aska .....	8
Utövande och tillsyn av verksamhet .....	10
Undersökningens analysmetoder.....	10
Resultat .....	11
Vilka askprov uppfyllde kvalitets- och säkerhetskraven? .....	11
Halter av bor, magnesium och järn .....	13
Kiselhalter uppmättes i träaskorna .....	15
Sammanfattning .....	16

## Inledning

Under de senaste 20 åren har användningen av träbaserad energi ökat betydligt och som ett resultat har tillgången på ren träaska ökat i samma takt. I Österbotten finns det idag två större biobränslekraftverk samt ett hundratal flisvärmeanläggningar som producerar värme till kommunala fastigheter, fjärrvärmenät, industrier, större djurproduktionsenheter eller växthus. En stor del av anläggningarna använder enbart skogsflis som bränsle vilket innebär att ren träaska finns tillgänglig för olika ändamål.

I projektet ASH2CARBON har träaskor från biobränslekraftverk inventerats genom en enkät samt provtagning och analys av en del av askorna. Enkäten sändes ut till drygt 100 biobränsleanläggningar våren 2022. Hösten 2022 togs askprover från nio träbaserade värmeanläggningar runt om i Österbotten. Innehåll av metaller, fosfor, kalium, neutraliserande förmåga i % Ca, bor, magnesium, järn samt kisel analyserades för att få en bättre uppfattning om askornas egenskaper. Undersökningen syftade till att få en uppskattning om kvaliteten på träaska som finns i Österbotten.

## Användning av träaska

Årligen produceras närmare 600 000 ton trä- och torvaska inom skogs- och energiindustrin i Finland och den totala producerade mängden olika askor uppskattas till 1,5 miljoner ton / år.<sup>1</sup> Trä- och torvaska innehåller nyttiga näringsämnen som det är ekologiskt motiverat att återföra till skogen.

Askans egenskaper/innehåll varierar bland annat beroende på trädslag, andelen bark, löv-/barrmassa samt trädets växtplats. I allmänhet innehåller träaska 20 – 30 % kalcium, över 3 % kalium och kring 1,5 % fosfor. Träaska innehåller även järn, som binder fosfor och långsamt återger det till växterna. Inget kväve eller organiska ämnen återfinns i askan och pH på aska är 10 – 13 (pH-enheter), vilket är högt. Torvaska innehåller lägre halter av näringsämnen än träaska, exempelvis uppmäts väldigt lite kalium och bor i torvaska.<sup>2</sup>

Rena biobränsleaskor används främst som gödningsämnen till näringsfattiga torvmarker. Blandaskor och torvaskor vars låga näringsinnehåll inte lämpar sig för gödselanvändning används till exempel för markbyggnad, täckning av deponier, vid vägbyggnation, inom gruvindustrin och inom cement- och betongtillverkning.<sup>3, 4</sup> Inom utveckling av nya material dyker

---

<sup>1</sup> Arnkil, N., Joensuu, S., Kauppila, M., Kontinen, K., Kotiharju, A., Lahti, E. & Tenhola, T. 2020.

Tuhka osana kestävää liiketoimintaa – Opas tuhkan tuottajille ja käyttäjille. Tapion raportteja 42. Tapio Oy. Hämtad från: <https://tapio.fi/wp-content/uploads/2021/11/Tuhka-osana-kestavaa-liiketoimintaa-opas-Tapio-16112021.pdf> (2.6.2023)

<sup>2</sup> Hynönen, T., Moilanen, M., Makkonen, T. (red.), Äijälä, O., och Häggman, B. 2008. Gödsling med aska. Skogsbrukets utvecklingscentral TAPIO. ISBN 978-952-5694-37-6

<sup>3</sup> Sahlin, J. 2022. Internationell utblick om användning av askor. Profu. Hämtad från: <https://www.energiforetag.se/forlag/energiaskor/internationell-utblick-om-anvandning-av-askor/> (2.6.2023)

<sup>4</sup> Arnkil, N., Joensuu, S., Kauppila, M., Kontinen, K., Kotiharju, A., Lahti, E. & Tenhola, T. 2020. Tuhka osana kestävää liiketoimintaa – Opas tuhkan tuottajille ja käyttäjille. Tapion raportteja 42. Tapio Oy. Hämtad från: <https://tapio.fi/wp-content/uploads/2021/11/Tuhka-osana-kestavaa-liiketoimintaa-opas-Tapio-16112021.pdf> (2.6.2023)

också askor upp, exempelvis vid tillverkning av cement-liknande material som geopolymere<sup>5</sup> och 3D-printat kompositmaterial<sup>6</sup>.

Enligt projekt ASH2CARBONS enkätsvar, används trä- och torvaska främst som fyllning i vägar och markområden, vägslänter och grönområden inom Österbotten. En del träaska används som gödsling av skogbevuxna torvmarker men sprids också på jordbruksmark och i trädgårdar.

## Askspridningspotential i Österbotten

Skogscentralen i Finland har använt geodatamaterial för att lokalisera områden som eventuellt kan lämpa sig för askgödsling. De har upprättat ett kartlager som visar potentiella områden för askgödsling. Man har valt ut skogar i utvecklingsklass 02 och 03 som är högst 65 år gamla och har tall eller gran som huvudträdslag. (Åldersbegränsningen gäller inte i landskapen Lapland, Kajanaland och Norra Österbotten). De utvalda områdena har inte tidigare askgöds-lats och minsta area är 0,5 ha.<sup>7</sup>

För dessa platser är det möjligt att få statligt beviljat kemera-stöd på 30 % av de totala kostnaderna om övriga stödvillkor är uppfyllda. (Kemera är ett finansieringsstöd för privata markägares skogsvård och ansöks från Finlands Skogscentral. Stödsystemet metka kommer att ersätta kemera från början av 2024.) Uppgifterna kan stöda skogsbrukare och skogsägare att hitta platser som är lämpliga för askgödsling. Materialet uppdateras en gång per år. Enligt skogscentralens geodatamaterial är det potentiella området av torvmarker som lämpar sig för askgödsling i Österbotten 7 368 ha (data från år 2022).<sup>8</sup> Under tiden 1.1. - 8.10.2021 hade 47 ha i Österbotten erhållit kemera-stöd för askgödsling av torvmark<sup>9</sup>.

Länk till karttjänsten: <https://metsakeskus.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=56e1ccf7506c40e297a113db3afc809e>

---

<sup>5</sup> Uleåborgs universitet, News, 11.5.2023. From a researcher to an entrepreneur – practical need acted as a driver for producing more environmentally friendly construction materials. Hämtad från: <https://www oulu.fi/en/news/researcher-entrepreneur-practical-need-acted-driver-producing-more-environmentally-friendly> (2.6.2023)

<sup>6</sup> Schönberg, K., 10.10.2017. Lappeenranta aikoo tulostaa itsensä maailmankartalle – kehitteillä uusi 3D-tulostettava komposiittimateriaali. Hämtad från: <https://yle.fi/a/3-9876160> (2.6.2023)

<sup>7</sup> Finlands skogscentral. Turvemaan tuhkalannoituskohteet. Hämtad från: <https://metsakeskus.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=56e1ccf7506c40e297a113db3afc809e> (19.9.2023)

<sup>8</sup> Finlands skogscentral. Mahdolliset turvemaan tuhkalannoituskohteet. Hämtad från: <https://www.metsakeskus.fi/fi/avoin-metsa-ja-luontotieto/metsatietoaineistot/metsien-kayttomahdollisuudet> (19.9.2023)

<sup>9</sup> Finlands skogscentral. Kemera-tuella tehdyt terveyslannoitukset 1.1. - 8.10.2021. Hämtad från: <https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/document/tiedote-liite-kemera-tuella-tehdyt-terveyslannoitukset.pdf> (19.9.2023)

## Finländsk lagstiftning gällande gödselmedel

Den nya *Lagen om gödselmedel 711/2022*<sup>10</sup> tillämpas från och med den 16 juli 2022. En mer flexibel verksamhetsmodell skapas vilken främjar marknaden för nya, hållbart framställda produkter och samtidigt garanteras att de är säkra att använda. Genom reformen av lagen om gödselmedel förenhetligas förfaranden enligt EU:s lagstiftning om gödselmedel<sup>11</sup> och den nationella lagstiftningen. Lagen reglerar allt gällande gödselmedel från tillverkning och import till användning och export.

Lagen förutsätter även att alla aktörer som är inblandade vid tillverkning av gödselmedel ska ha ett egenkontrollprogram. Till gödselprodukter hör gödselmedel, kalkningsämnen, jordförbättringsmedel, växtunderlag, växtbiostimulanter och blandningar av dessa.<sup>12</sup> Det finns dock många kopplingar till andra lagar och författningar, t.ex. *Lagen om säkerhet vid hantering av farliga kemikalier och explosiva varor*, *Miljöskyddslagen*, *Hälsoskyddslagen* och *Avfallslagen* för att nämna några.<sup>13</sup>

I *Jord- och skogsbruksministeriets förordning om gödselmedel, nr 24/11*<sup>14</sup> fastställs krav för olika typer av gödselmedel och grupper av typbeteckningar. (Gödselmedlets typbeteckning avser att beskriva gödselmedlets egenskaper som sammansättning, användningsändamål eller tillverkningsmetod.) Kraven gäller kvalitet, märkning, förpackning, transport, lagring och användning samt råvaror till gödselmedel. Förordningen fastställer gränsvärden för tungmetaller, och gödselmedel som innehåller högre halter av tungmetaller än gränsvärdena får inte säljas.

Enligt förordningen får oorganiska gödselmedel användas på åker och i trädgård samt inom landskapsarkitektur, vid underhåll och anläggande av grönområden samt på skogsmark om inte något annat föreskrivs specifikt för typbeteckningsgruppen. Förordningen gäller inte gödselmedel som används i landskapsarkitektur på avstjälningsplatser eller andra slutna områden.

I och med att kadmium kan nå jordmånen speciellt via fosforgödselmedel, så har gränsvärden för detta även fastställts i EU. Finland har ett av de mest strikta gränsvärdena för kadmium i gödselmedel, 22 mg/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (fosforpentoxid). Detta är en nationell bestämmelse som anmälts av Finland och beslutats av kommissionen (2006/348/EG).<sup>15</sup>

---

<sup>10</sup> Finlex (2022) Lag om gödselmedel 8.7.2022/711 Hämtad från: <https://www.finlex.fi/sv/laki/alkup/2022/20220711> (22.9.2022)

<sup>11</sup> EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS FÖRORDNING (EU) 2019/1009 Hämtad från: <https://mmm.fi/sv/djur-och-vaxter/godsselfabrikat> och <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/?uri=CELEX:32019R1009> (22.9.2022)

<sup>12</sup> Finlex (2022) Lag om gödselmedel 8.7.2022/711 Hämtad från: <https://www.finlex.fi/sv/laki/alkup/2022/20220711> (22.9.2022)

<sup>13</sup> Finlex (2022) Lag om gödselmedel 8.7.2022/711, 3§ Förhållande till vissa författningar. Hämtad från: <https://www.finlex.fi/sv/laki/ajantasa/2022/20220711> (22.9.2022)

<sup>14</sup> Jord- och skogsbruksministeriets förordning om gödselmedel (24/11). Hämtad från: <https://www.finlex.fi/sv/viranomaiset/normi/400001/37638> (22.9.2022)

<sup>15</sup> Kommissionens beslut (2006/348/EG) Om de nationella bestämmelser som anmälts av Republiken Finland enligt artikel 95.4 i EG-fördraget beträffande högsta tillåtna kadmiumhalt i gödselmedel. Hämtat från: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006D0348&from=SV> (23.1.2023)

I Jord- och skogsbruksministeriets förordning (*Jord- och skogsbruksministeriets förordning om utövande och tillsyn av verksamhet gällande gödsel­fabrikat nr 11/12*<sup>16</sup>) samt i förordningens ändringar regleras verksamhetsutö­vares anmälningsskyldighet, skyldighet att föra register, ha egenkontroll och göra förhandsanmälan, godkända laboratorier, godkännande av anläggningar som tillverkar, tekniskt bearbetar eller lagrar organiska gödsel­fabrikat eller råvaror till sådana samt om ordnande av tillsynen över gödsel­fabrikat. I ändringen 22/15<sup>17</sup> i 2§ Anmälningsskyldighet enligt 1 mom. punkt 5 fastställs att detta inte gäller verksamhetsutö­vare som tillverkar gödsel­medel av aska i typbetecknings­grupp 1A7 och högst 50 000 kg per år<sup>18</sup>, lika­fullt skall gödsel­fabrikat av aska med typbetecknings­grupp 1A7 uppfylla kraven på gödsel­fabrikat.

### Gödsel­medel av aska

Kraven på olika typbetecknings­grupper föreskrivs i bilaga I till *Jord- och skogsbruksministeriets förordning 24/11*<sup>19</sup> samt i ändringarna 12/15<sup>20</sup>, 5/16<sup>21</sup> och 12/18<sup>22</sup>. Livsmedelssäkerhets­verket Evira och numera Livsmedelsverket (fr.o.m. 2019) upprätthåller en nationell förteckning 1/2016<sup>23</sup> samt ändringar 1/2017<sup>24</sup> över typbeteckningarna för gödsel­medel<sup>25</sup>.

De flesta gödsel­medel av aska har typbeteckningen 1A7 och är en biprodukt från industri­ eller bearbetningsanläggningar. Till gödsel­medel av aska eller som råvara till det kan användas aska från trä, torv, åkerbiomassa samt aska av animaliskt ursprung. Biprodukten/askan bör

---

<sup>16</sup>Jord- och skogsbruksministeriets förordning om utövande och tillsyn av verksamhet gällande gödsel­fabrikat (11/12). Hämtad från: <https://www.finlex.fi/sv/viranomaiset/normi/400001/39201> (22.9.2022)

<sup>17</sup>Jord- och skogsbruksministeriets förordning om ändring av jord- och skogsbruksministeriets förordning om utövande och tillsyn av verksamhet gällande gödsel­fabrikat (22/15). Hämtad från: <https://www.finlex.fi/sv/viranomaiset/normi/400001/42391> (13.10.2022)

<sup>18</sup>Jord- och skogsbruksministeriets förordning om ändring av jord- och skogsbruksministeriets förordning om utövande och tillsyn av verksamhet gällande gödsel­fabrikat (22/15). Sid.2-3 punkt 5. Hämtad från: <https://www.finlex.fi/sv/viranomaiset/normi/400001/42391> (13.10.2022)

<sup>19</sup>Jord- och skogsbruksministeriets förordning om gödsel­fabrikat (24/11) <https://www.finlex.fi/sv/viranomaiset/normi/400001/37638> (20.6.2023)

<sup>20</sup>Jord- och skogsbruksministeriets förordning om ändring av jord- och skogsbruksministeriets förordning om gödsel­fabrikat (21/15). Hämtad från: <https://www.finlex.fi/sv/viranomaiset/normi/400001/42133> (20.6.2023)

<sup>21</sup>Jord- och skogsbruksministeriets förordning om ändring av jord- och skogsbruksministeriets förordning om gödsel­fabrikat (5/16). Hämtad från: <https://www.finlex.fi/sv/viranomaiset/normi/400001/42474> (20.6.2023)

<sup>22</sup>Jord- och skogsbruksministeriets förordning om ändring av 2 § i jord- och skogsbruksministeriets förordning om gödsel­fabrikat (12/18). Hämtad från: <https://www.finlex.fi/sv/viranomaiset/normi/400001/44367> (20.6.2023)

<sup>23</sup>Livsmedelsverkets föreskrift om utvidgning och ändring den nationella förteckningen över gödsel­fabrikats typbeteckningar. Hämtad från: [https://www.ruokavirasto.fi/globalassets/yritykset/lannoiteala/tiedostot/evira\\_foreskrift\\_1\\_2016.pdf](https://www.ruokavirasto.fi/globalassets/yritykset/lannoiteala/tiedostot/evira_foreskrift_1_2016.pdf) [https://www.ruokavirasto.fi/globalassets/yritykset/lannoiteala/tiedostot/tyyppinimiluettelo\\_konsolidoitu\\_22\\_11\\_2019.pdf](https://www.ruokavirasto.fi/globalassets/yritykset/lannoiteala/tiedostot/tyyppinimiluettelo_konsolidoitu_22_11_2019.pdf) (20.6.2023)

<sup>24</sup>Livsmedelsverkets föreskrift om ändring och komplettering av livsmedelssäkerhetsverkets föreskrift 1/2016 om den nationella typbetecknings förteckningen över gödsel­fabrikat. Hämtad från: [https://www.ruokavirasto.fi/globalassets/yritykset/lannoiteala/tiedostot/1\\_2017.pdf](https://www.ruokavirasto.fi/globalassets/yritykset/lannoiteala/tiedostot/1_2017.pdf) (20.6.2023)

<sup>25</sup>Livsmedelssäkerhetsverkets föreskrift om utvidgning och ändring den nationella förteckningen över gödsel­fabrikats typbeteckningar. (1/2016) Hämtad från: [https://www.ruokavirasto.fi/globalassets/yritykset/lannoiteala/tiedostot/evira\\_foreskrift\\_1\\_2016.pdf](https://www.ruokavirasto.fi/globalassets/yritykset/lannoiteala/tiedostot/evira_foreskrift_1_2016.pdf) (20.6.2023)



ha växtbefrämjande effekter vilka baserar sig på de näringsämnen som växten kan tillgoda sig. Dessutom bör askan hanteras så att damm-spridning är ringa.<sup>26</sup>

Minimihalterna av sekundära näringsämnen, spårämnen samt andra organiska ämnen som får tillsättas i gödselmedel finns i bilaga II till förordning 24/11. Om skadliga ämnen, organismer och orenheter i gödselmedel föreskrivs i bilaga IV och eventuella begränsningar gällande användningen finns även föreskrivna i förordningen 24/11 samt i ändringar av denna.<sup>27</sup>

#### Kvalitets- och säkerhetskrav för gödselmedel av aska

De allmänna kvalitets- och säkerhetskraven bör uppfyllas för gödselprodukten, bland annat högsta tillåtna halter av skadliga metaller och hygienkrav får inte överskridas. Användningen får inte heller medföra fara för att växt- och djursjukdomar sprids eller att miljön smutsas ned.

För gödselmedel av aska som används i skog skall näringshalterna vara minst följande<sup>28</sup>:

- Kalium (K) + Fosfor (P) 2,0 %
- Kalcium (Ca) 6,0 %.
- Den neutraliserande förmågan (Ca) hos aska som används annanstans än i skog ska vara minst 10 %.

I granulerade gödselmedel av aska får oorganiska gödselmedel tillsättas för att öka deras användbarhet eller för att uppfylla minimikraven. Det är förbjudet att sprida gödselmedel av aska med tillsats av bor på grundvattenområden och skyddsområden. Tabell 1 anger gränsvärden (mg/kg torrsubstans) för skadliga ämnen i gödselmedel av aska som används i skogsbruket och i råvaror till sådana gödselmedel. Tabell 2 anger gränsvärden i gödselmedel och andra gödselmedel som säljs och används i Finland.<sup>29</sup>

---

<sup>26</sup> Jord- och skogsbruksministeriets förordning om gödselmedel (24/11), Bilaga 1 sid. 10 Hämtad från: <https://www.finlex.fi/sv/viranomaiset/normi/400001/37638> (22.9.2022)

<sup>27</sup> Jord- och skogsbruksministeriets förordning om gödselmedel, FÖRORDNING nr 24/11, Bilaga 2 sid. 20-22 Hämtad från: <https://www.finlex.fi/sv/viranomaiset/normi/400001/37638> (22.9.2022)

<sup>28</sup> Jord- och skogsbruksministeriets förordning om gödselmedel (24/11), Bilaga 1 sid. 10 Hämtad från: <https://www.finlex.fi/sv/viranomaiset/normi/400001/37638> (22.9.2022)

<sup>29</sup> Livsmedelsverket, Gödselmedel och gödselmedel, Skadliga ämnen och hygien. Hämtad från: <https://www.ruokavirasto.fi/sv/vaxter/godsselfabrikat-och-verksamhet-inom-godsselfabrikat-och-godsselfabrikat/skadliga-amnen-och-hygien/> (23.1.2023)

Tabell 1. Högsta tillåtna halt (mg/kg TS) av skadliga ämnen i gödselmedel av aska inom skogsbruket.

Skadliga ämnen	mg/kg TS
Arsenik (As)	40
Kvicksilver (Hg)	1,0
Kadmium (Cd)	25
Krom (Cr)	300
Koppar (Cu)	700
Bly (Pb)	150
Nickel (Ni)	150
Zink (Zn)	4 500*

\*Inom skogsbruket kan en överskridning av nivån på zink tillåtas om bristen har konstaterats genom markkartering, blad- eller barranalys. Då får askan innehålla maximalt 6000 mg zink/kg torrsubstans.

Tabell 2. Högsta tillåtna halt (mg/kg TS) av skadliga ämnen i gödselmedel och andra gödsel-fabrikat som säljs och används i Finland, mg/kg TS.

Skadliga ämnen	mg/kg TS
Arsenik (As)	25
Kvicksilver (Hg)	1,0
Kadmium (Cd)	1,5**
Krom (Cr)	300
Koppar (Cu)	600***
Bly (Pb)	100
Nickel (Ni)	100
Zink (Zn)	1 500***

\*\*I gödselmedel av aska som används inom jordbruket och trädgårdsodlingen är den högsta tillåtna kadmiumhalten 2,5 mg/kg torrsubstans. \*\*\*En överskridning av den högsta halten av koppar och zink kan tillåtas, om det på basis av en markkartering har konstaterats råda brist på dem.

De ovan nämnda gränsvärdena gäller inte EG-gödselmedel. Gränsvärdena gäller inte heller användning inom landskapsarkitektur i områden som är stängda för allmänheten, såsom industriområden och avstjälningsplatser. I dessa fall är det inte frågan om ett gödsel-fabrikat utan avfall, och det krävs miljötillstånd för användningen.<sup>30</sup>

<sup>30</sup> Livsmedelsverket, Gödselmedel och gödsel-fabrikat, Skadliga ämnen och hygien. Hämtat från: <https://www.ruokavirasto.fi/sv/vaxter/godselfabrikat-och-verksamhet-inom-godselbranschen/godselmedel-och-godselfabrikat/skadliga-amnen-och-hygien/> (23.1.2023)

## Utövande och tillsyn av verksamhet

En verksamhetsutövare som tillverkar, tekniskt bearbetar, släpper ut på marknaden och importerar gödselafabrikat och i tillämpliga delar råvaror till sådana ska till Livsmedelssäkerhetsverket göra en skriftlig anmälan om att verksamheten inleds och om väsentliga förändringar i verksamheten senast en månad innan verksamheten inleds och förändringarna sker.<sup>31</sup>

## Undersökningens analysmetoder

Totalt nio träbaserade värmeanläggningar provtogs runt om i Österbotten och sammanlagt tolv träaskprover skickades in för analys. Från tre anläggningar samlades in två prover då olika energivedsslag hade använts. Askproverna analyserades vid Hortilab Ab i Närpes och som underleverantör av metallernas total-koncentration och kisel anlätades SGS Analytics Finland Oy i Högfors. Hortilab Ab är ett ackrediterat laboratorium (Finas, Finnish Accreditation Service, T187). De analyserade ämnena anges i tabell 3.

Tabell 3. Analys och respektive metod utförda på askproverna.

Analys	Metod
Total fosfor (tot P)	EPA 3051A
Vattenlösligt fosfor (P)	SFS-EN 13652 + ICP-OES
Kalium (K)	EPA 3051A
Kalcium (Ca)	EPA 3051A
Magnesium (Mg)	EPA 3051A
Järn (Fe)	EPA 3051A
Bor (B)	EPA 3051A
Arsenik (As)	SFS-EN 13650
Kadmium (Cd)	SFS-EN 13650
Krom (Cr)	SFS-EN 13650
Koppar (Cu)	SFS-EN 13650
Bly (Pb)	SFS-EN 13650
Zink (Zn)	SFS-EN 13650
Nickel (Ni)	SFS-EN 13650
Kvicksilver (Hg)	SFS-EN 13650
Kisel (Si)	
Snabbverkande neutraliseringsförmåga % Ca	
Total neutraliseringsförmåga % Ca	
Torrsubstanshalt, TS%	

<sup>31</sup> Jord- och skogsbruksministeriets förordning om utövande och tillsyn av verksamhet gällande gödselafabrikat (11/12). Hämtad från: <https://www.finlex.fi/sv/viranomaiset/normi/400001/39201> (22.9.2022)

## Resultat

Askproverna har indelats enligt det energivedsslag ( $\geq 70\%$ ) som används vid anläggningarna, så som träflis av stamved/slanor, grot/helträd eller torv, samt om det var fråga om torraska, våtaska eller flygaska som provtogs. Torrsubstanshalten (TS%) var mellan 93,7 – 99,8 för nio av askproverna och de tre återstående proverna uppvisade en TS% kring 70 (68,8 – 69,5). Två av dessa tre prov var av typen våtaska och det tredje provet var taget från en askhög utomhus. Askkan var av typen flygaska i detta fall. (Tabell 4.)

Tabell 4. De undersökta askproverna, typ av aska, energivedsslag och TS%. Proverna var tagna runt om i Österbotten, hösten 2022.

Prov	Typ av aska	Energivedsslag $\geq 70\%$	TS%
1	Våtaska	Flis	69,5
2	Torraska	Flis	99,8
3	Torraska	Flis	98,6
4	Torraska	Grot/helträd	99,5
5	Flygaska	Grot/helträd	93,7
6	Flygaska	Grot/helträd	69,3
7	Våtaska	Grot/helträd	68,6
8	Torraska	Grot/helträd	99,1
9	Torraska	Torv	99,8
10	Flygaska	Torv	98,1
11	Torraska	Helträd/flis	99,8
12	Torraska	Torv	99,0

### Vilka askprov uppfyllde kvalitets- och säkerhetskraven?

För träaska som används som skogsgödsel bör viktprocenten för kalium + fosfor vara minst 2,0 % och kalciums viktprocent bör vara minst 6,0 %. Den neutraliserande förmågan (% Ca) hos aska som används annanstans än i skog ska vara minst 10 %. Viktprocenten för kalium + fosfor var minst 2,0 % för nio askprov (2,7 – 14,8 %) och tre prov (prov 5, 11, 12) låg under 2,0 % (0,9 – 1,8 %). Likaså var kalciums viktprocent under 6,0 % för samma tre prov (3,1 – 5,5 %), medan viktprocenten för kalcium var mellan 7,9 – 31,1 % för de övriga askproverna. Den totala neutraliserande förmågan var minst 10 % för tio av askproven (10,0 – 46,2 %) förutom för två, prov 5 och prov 11 (8,6 % och 8,5 %, respektive). Prov 5 var flygaska från en anläggning som har förbränning av grot/helträ och prov 11 var torraska från en helträ/flis förbränningspanna. Prov 12 var torraska från en anläggning som förbränner torv.

Enligt energivedsslag hade aska från flisförbränning högre viktprocent för kalium + fosfor och kalcium (K+P 11 – 15 %; Ca 22 – 31 %) än aska från torvförbränning (K+P 2 – 3 %; Ca 6 – 9 %). Aska från grot/helträd eller helträ/flis förbränning uppvisade mer varierande resultat (K+P 1 – 10 %; Ca 3 – 30 %) för kalium + fosfor och kalciums viktprocenter (Tabell 5.).

Tabell 5. Neutraliserande förmåga (% Ca), viktprocent för kalium + fosfor och kalcium för de analyserade askproverna. Koncentrationer som understiger kvalitetskraven för gödselmedel som används i skog är utmärkta i rött.

Prov	Neutraliserande förmåga (% Ca)	Kalium (K) + fosfor (P) viktprocent	Kalcium (Ca) viktprocent
1	29,3	10,9	22,2
2	45,0	14,8	31,1
3	39,0	11,8	28,3
4	42,7	8,0	29,6
5	8,6	0,9	4,2
6	17,6	2,8	14,2
7	36,8	10,4	26,4
8	46,2	6,9	27,9
9	13,0	2,7	7,9
10	13,2	3,1	9,3
11	8,5	1,6	3,1
12	10,0	1,8	5,5

Ny kunskap om skogsmarkernas fosfor från Sveriges lantbruksuniversitet påvisar att askåterföring till skogen ökar mängden av den totala fosforhalten i markens övre skikt med mellan 17–39 %. Man hittade också mer växttillgänglig fosfor i ovanjordisk biomassa i askbehandlad jord än i kontroller. Detta är viktigt information med tanke på att också fosfor minskar i skogsmarkerna. I och med avverkning tillvaratas hyggesrester för biobränsleproduktion. Hyggesrester (såsom barr, grenar, och ibland stubbar) är fosforrika och bortförselein innebär att mängden tillgänglig fosfor minskar. Askåterföring från biobränsleproduktionen till skogen bidrar på så sätt till att återställa fosforbalansen i marken.<sup>32</sup>

Gällande de skadliga metallerna (As, Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, Ni, Hg) var det två prov som uppvisade koncentrationer av arsenik som var högre än vad gränsvärdet (40 mg/kg TS) tillåter. Dessa var prov 10 och prov 11 (As 130 mg/kg TS och 71 mg/kg TS, respektive). Prov 10 hade också ett förhöjt kvicksilvervärde, Hg 1,3 mg/kg TS. Gränsvärdet för kvicksilver är 1 mg/kg TS. Ett annat prov (prov 5) uppvisade hög koncentration av koppar, Cu 1 100 mg/kg TS. Gränsvärdet för koppar är 700 mg/kg TS. För de övriga metallerna var alla proverna under gränsvärderna. (Tabell 6.) En förklaring till de förhöjda halterna av skadliga metaller i tre av askproverna kan till viss del förklaras med att prov 5 och 10 var av typen flygaska. Flygaska innehåller vanligen mera tungmetaller än bottenaska<sup>33</sup>. Prov 11 kan också ha innehållit en del flygaska eftersom

<sup>32</sup> Tuyishime M. Phosphorus chemistry in managed forest soil. Effects of weathering and wood ash fertilisation. Doktorsavhandling. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala 2022. Hämtad från: <https://pub.epslu.se/29758/1/tuyishime-m-2022-11-23.pdf> (15.9.2023)

<sup>33</sup> Arnkil, N., Joensuu, S., Kauppila, M., Kontinen, K., Kotiharju, A., Lahti, E. & Tenhola, T. 2020. Tuhka osana kestävää liiketoimintaa – Opas tuhkan tuottajille ja käyttäjille. Tapion raportteja 42. Tapio Oy. Hämtad från: <https://tapio.fi/wp-content/uploads/2021/11/Tuhka-osana-kestavaa-liiketoimintaa-opas-Tapio-16112021.pdf> (2.6.2023)

man hade en gemensam behållare för bottenaska och flygaska vid denna anläggning, vilket klargjordes först efter att analyserna var gjorda.

På basen av dessa resultat, uppfyller åtta av tolv undersökta askprov kraven för att askan skall kunna användas som skogsgödsel (prov 1 – 4, 6 – 9). Vi vill påpeka att resultaten baseras endast på ett prov, taget vid ett provtillfälle hösten 2022.

Tabell 6. Koncentrationer (mg/kg TS) av skadliga metaller i de analyserade askproverna. Koncentrationer som överstiger det högsta tillåtna gränsvärdet är utmärkta i rött.

Prov	Arsenik (As)	Kadmium (Cd)	Krom (Cr)	Koppar (Cu)	Bly (Pb)	Zink (Zn)	Nickel (Ni)	Kvicksilver (Hg)
1	3,7	2,4	73,0	140,0	3,5	560,0	28,0	<0,25
2	2,1	7,4	13,0	180,0	6,4	1 300,0	18,0	<0,25
3	2,0	9,6	18,0	160,0	9,6	980,0	25,0	<0,25
4	2,6	6,9	60,0	300,0	5,5	380,0	25,0	<0,25
5	16,0	0,98	73,0	1 100,0	30,0	1 500,0	54,0	0,27
6	9,5	6,7	37,0	100,0	22,0	1 700,0	34,0	<0,25
7	2,1	2,5	8,3	140,0	1,8	260,0	45,0	<0,25
8	2,5	8,3	16,0	290,0	20,0	560,0	13,0	<0,25
9	21,0	<0,5	43,0	96,0	<1,0	44,0	51,0	0,59
10	130,0	2,8	41,0	150,0	78,0	280,0	53,0	1,3
11	71,0	<0,5	70,0	160,0	5,1	180,0	27,0	<0,25
12	29,0	0,64	64,0	100,0	16,0	87,0	52,0	0,7

### Halter av bor, magnesium och järn

Askprovernas halter av bor (B), magnesium (Mg) och järn (Fe) undersöktes också. Borbrist förorsakar tillväxtstörningar på skogsträd och ger skador på trädens toppskott. Trädtopparna förgrenar sig, vilket gör att trädskronorna blir buskartade (förekommer hos tal, gran och björk) och trädens höjdtillväxt stagnerar<sup>34</sup>. Magnesium förbättrar fotosyntesen och stimulerar rotttillväxten hos skogsplantor. Medan järn tillsammans med aluminium är viktiga för att stabilisera fosfor i marken.<sup>35</sup>

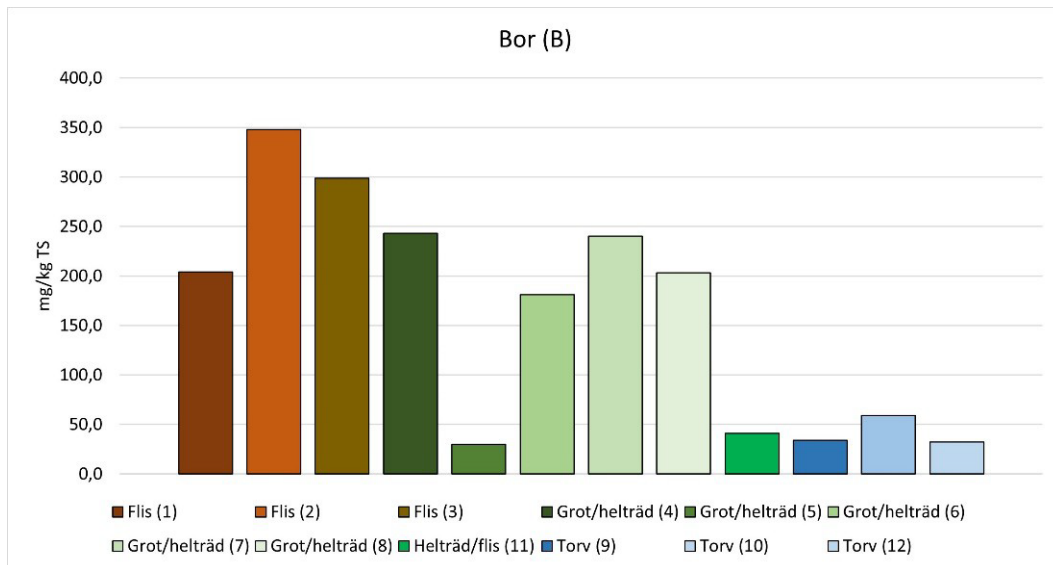
Borhalten var som väntat lägst i de askprov som kom från anläggningar som förbränner torv (32,1 – 59,2 mg/kg TS). Aska från flisvärmeanläggningar innehöll högre halter av bor (204,0 – 348,0 mg/kg TS), medan aska från biobränslekraftverk som förbränner grot/helträd eller helträd/flis innehöll mer varierande mängder av bor (29,8 – 243,0 mg/kg TS) (Figur 1).

Liknande resultat såg man för magnesium. De lägsta mängderna magnesium uppmättes i aska från torvförbränning (16 700 – 19 400 mg/kg TS). Högre koncentrationer uppmättes i aska från flisvärmeanläggningar (31 600 – 51 700 mg/kg TS) och varierande mängder magnesium

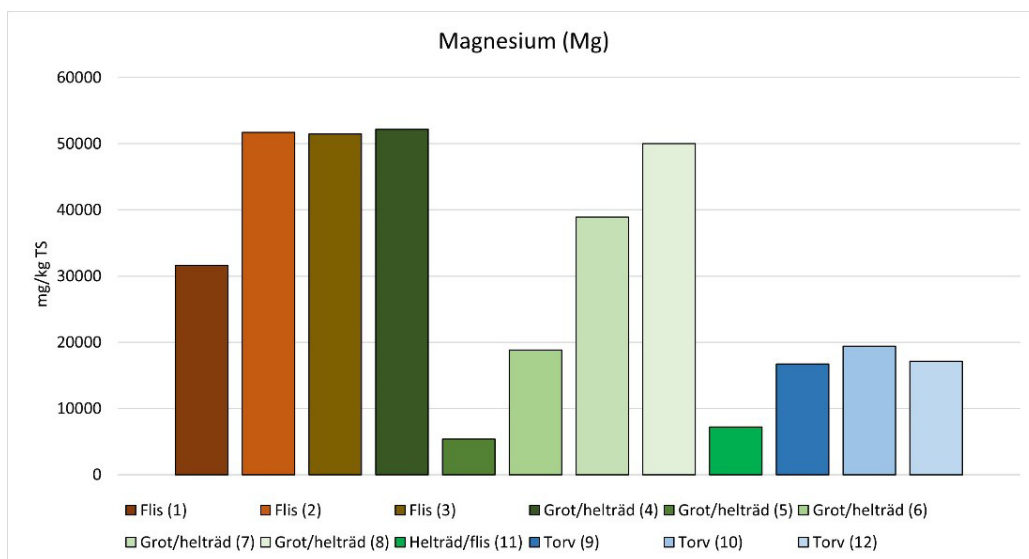
<sup>34</sup> TAPIO. Kontrollera näringstillståndet före gödsling. Hämtad från: <https://metsanhoidonsuosituksset.fi/sv/at-garder/godsling/utforande#section-516> (5.9.2023)

<sup>35</sup> Wickberg E. 2023. Effekten av växtnäring på överlevnad, tillväxt och vitalitet på planterade tall- och granplantor. Magistersexamen. Institutionen för skogens ekologi och skötsel. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet. Hämtat från: [https://stud.epsilon.slu.se/18634/1/wickberg\\_E\\_20230210.pdf](https://stud.epsilon.slu.se/18634/1/wickberg_E_20230210.pdf) (5.9.2023)

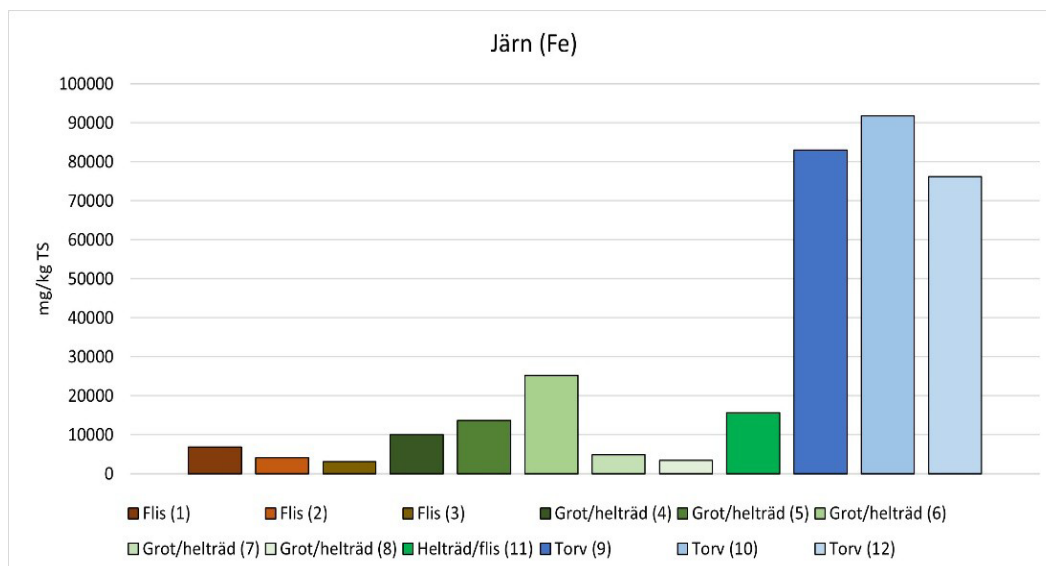
uppmättes i aska från anläggningar som förbränner grot/helträd eller helträd/flis (5 390 – 52 200 mg/kg TS) (Figur 2). Järnhalterna var däremot högre i aska från torvförbränning (76 200 – 91 800 mg/kg TS), jämfört med de övriga askproverna. I prover från flisvärmeanläggningar och bibränslekraftverk som förbränner grot/helträd eller helträd/flis var järnhalterna 3 100 – 25 200 mg/kg TS (Figur 3).



Figur 1. Uppmätta halter av bor (B, mg/kg TS) i de undersökta askproverna. Proverna 1 – 12 har grupperats enligt förbränningsmaterial (flis, grot/helträd/flis och torv).



Figur 2. Koncentrationer av magnesium (Mg, mg/kg TS) i de undersökta askproverna. Proverna 1 – 12 har grupperats enligt förbränningsmaterial (flis, grot/helträd/flis och torv).



Figur 3. Förekomst av järn (Fe, mg/kg TS) i de undersökta askproverna. Proverna 1 – 12 har grupperats enligt förbränningsmaterial (flis, grot/helträd/flis och torv).

### Kiselhalter uppmättes i träaskorna

Ny forskning i Sverige visar att askåterföring i skogen ger plantorna ett önskat tillskott av kisel (Si) och kan samtidigt öka skyddet mot snytbaggeangrepp<sup>36</sup>, vilket var orsaken till att vi valde att också analysera kiselhalten i de insamlade askproverna.

Kisel är ett viktigt ämne för trädplantor, och ger bland annat starkare plantor, ökad fiberproduktion och ökad motståndet mot torka, samt skydd mot insektsangrepp och växtsjukdomar och minskar kadmiumupptag i skogsträd. Växttillgängligt kisel i jorden är mycket lågt och det kisel som finns i marken kommer till största delen från andra växter som tappat blad eller dött. Studier har visat att kisel i jorden har minskat, vilket kan bero på att kisel bortförs från marken med biomassan vid skogsavverkning. Spridning av träaska i skogen återför därmed näringsämnen som fosfor, kalium, kalcium och kisel.<sup>37, 38</sup>

Studier utförd av M. Greger m.fl. vid Stockholms universitet visar att både tall och gran kunde ta upp kisel ur askor och att ca 60 % av kisel hamnade i de yttersta lagren på barken, vilket snytbaggen tycker om att äta. Studien var utförd på 1,5 år gamla gran- och tallplantor. De undersökte sju bioaskor och innehållet av kisel var 10 – 20 % i askorna. Gödsling med 0,5 – 1 ton aska / ha räcker för att en önskvärd kiselhalt och skydd mot snytbaggeangrepp ska uppnås (minimum 40 g / kg lösligt kisel i bark bör minska snytbaggeangrepp).<sup>36, 39</sup> Vilket kan jämföras

<sup>36</sup> Skogssällskapet. Aska effektivt sätt att skydda skogsplantor mot snytbaggen. Publicerad 28.9.2022. Hämtad från: <https://www.skogssallskapet.se/kunskapsbank/artiklar/2022-09-28-aska-effektivt-satt-att-skydda-skogsplantor-mot-snytbaggen.html> (28.6.2023)

<sup>37</sup> Skogssällskapet. Kiselupptag från aska i skogsträdplantor - kan ge positiva effekter på skogsträd vid askåterföring. Hämtad från: <https://www.skogssallskapet.se/forskning/alla-projekt/projekt/2021-05-11-kiselupptag-fran-aska-i-skogstradplantor---kan-ge-positiva-effekter-pa-skogstrad-vid-askaterforing.html> (28.6.2023)

<sup>38</sup> Skogssällskapet. Aska effektivt sätt att skydda skogsplantor mot snytbaggen. Publicerad 28.9.2022. Hämtad från: <https://www.skogssallskapet.se/kunskapsbank/artiklar/2022-09-28-aska-effektivt-satt-att-skydda-skogsplantor-mot-snytbaggen.html> (28.6.2023)

<sup>39</sup> Greger M. Askåterföring av aska till skogen ger ökat motstånd mot angrepp från snytbagge. Seminarie: Energiaskor och klimatförändringar 9.12.2022. (Presentation)



med att man vanligen sprider 3 ton aska / ha inom skogsbruket i Sverige<sup>39</sup> och i Finland sprider man 3 – 5 ton aska / ha enligt fosfors och kaliums andel <sup>40</sup>. (Forskare M. Greger påpekade också vid ett seminarium att askan kanske bör tillföras fler gånger än en gång per 60 år för att effekten ska upprätthållas.)

I proverna från Österbotten varierade viktprocenten för kisel från 4,1 – 41,4 %. Aska från anläggningar som förbränner torv uppvisade höga kiselhalter 18,0 – 33,2 %, medan förbränning med flis gav lägre kiselhalt i askan 7,0 – 12,8 %. I aska från förbränning med helträ/grot varierade kiselhalten mellan 4,1 – 41,4 % (Tabell 7.).

Tabell 7. Kisel angett i viktprocent i de undersökta askproverna.

Prov	Energivedsslag <sup>3</sup> 70 %	Kisel (Si) viktprocent
1	Flis	12,8
2	Flis	7,0
3	Flis	7,1
4	Grot/helträd	4,7
5	Grot/helträd	40,6
6	Grot/helträd	24,2
7	Grot/helträd	4,1
8	Grot/helträd	7,4
9	Torv	33,2
10	Torv	18,0
11	Helträd/flis	41,4
12	Torv	32,4

## Sammanfattning

I landskapet Österbotten har man de senaste årtiondena lyckats konvertera en stor del av större oljebaserade värmecentraler till anläggningar som använder skogsflis. För att utveckla och anpassa den nuvarande värmeproduktionen enligt de möjligheter som ges inom den cirkulära ekonomin har projektet ASH2CARBON haft som avsikt att utreda träaskans användningsmöjligheter. Träaskor från biobränsle kraftverk inventerades genom en enkät samt provtagning och analys av en del av askorna. Enkäten sändes ut till drygt 100 biobränsleanläggningar våren 2022. Hösten 2022 togs askprover från nio träbaserade värmeanläggningar runt om i Österbotten. Innehåll av metaller, fosfor, kalium, neutraliserande förmåga i % Ca, bor, magnesium, järn samt kisel analyserades för att få en bättre uppfattning om askornas egenskaper.

För träaska som används som skogsgödsel bör viktprocenten för kalium + fosfor vara minst 2,0 % och kalciums viktprocent bör vara minst 6,0 %. Den neutraliserande förmågan (% Ca) hos aska som används annanstans än i skog ska vara minst 10 %. Likaså för skadliga metaller

<sup>40</sup> Kauppila, M., Kontinen, K. & Tenhola, T. 2021. Tuhkan hyötykäyttö metsätaloudessa. Tapio Oy. ISBN 978-952-5632-98-9. Hämtad från: <https://tapio.fi/wp-content/uploads/2021/03/Tuhkan-hyotykaytto-metsataloudessa-esite.pdf> (15.9.2023)

(As, Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, Ni, Hg) finns angivna gränsvärden (mg/kg torrs substans) för gödselmedel av aska som används i skogsbruket och i råvaror till sådana gödselmedel. På basen av denna studies resultat, uppfyller majoriteten (8/12) av de undersökta askproven kraven för att askan skall kunna användas som skogsgödsel.

Ytterligare undersöktes bor (B), magnesium (Mg), järn (Fe) och kisel (Si) i den insamlade träaskan. Bor- och magnesiumhalten var som väntat lägst i de askprov som kom från anläggningar som förbränner torv. Aska från flisvärmeanläggningar innehöll högre halter av bor och magnesium, medan aska från biobränslekraftverk som förbränner grot/helträd eller helträd/flis innehöll mer varierade mängder av bor och magnesium. Järnhalterna var däremot högre i aska från torvförbränning, jämfört med de övriga askproverna. Kisel är ett viktigt ämne för trädplantor, och ger bland annat starkare plantor, ökad fiberproduktion, ökat motstånd mot torka, skydd mot insektsangrepp och växtsjukdomar samt minskar kadmiumupptag i skogsträd. Ny forskning visar att askåterföring i skogen ger plantorna ett önskat tillskott av kisel och kan samtidigt öka skyddet mot snytbaggeangrepp, varför även kiselhalten analyserades i de insamlade askproverna. I proverna från Österbotten varierade viktprocenten för kisel en hel del. Aska från anläggningar som förbränner torv uppvisade höga kiselhalter 18,0 – 33,2 %, medan förbränning med flis gav lägre kiselhalt i askan 7,0 – 12,8 %. I aska från förbränning med helträ/grot varierade kiselhalten mellan 4,1 – 41,4 %. Forskningsresultat har visat att gödsling med 0,5 – 1 ton aska / ha räcker för att en önskvärd kiselhalt och skydd mot snytbaggeangrepp ska uppnås (minimum 40 g / kg lösligt kisel i bark bör minska snytbaggegnag)<sup>41</sup>. Jämförbart med att man vanligen sprider 3 ton aska / ha inom skogsbruket i Sverige och i Finland 3 – 5 ton aska / ha (enligt fosfors och kaliums andel)<sup>42,43</sup>.

Genom denna studie hoppas vi kunna bidra med information för en smartare användning av träaska och stärka regionens cirkulära ekonomi, samt bidra till utveckling av ett hållbart skogsbruk. En lokal användning av aska är mer lönsam med tanke på transportkostnaderna och transporterens miljöpåverkan kan minskas. Utnyttjande av aska och satsningar på dess utveckling är ett sätt att delta i säkerställandet av ekologisk hållbarhet, att hitta nya affärsmöjligheter och ett sätt för biobränslekraftverken att förbereda sig för risker relaterade till råvaror och miljöstandarder, vilket Arnkil m.fl. framhöll i sin rapport från 2020<sup>44</sup>.

I denna rapport har Finlands nuvarande lagstiftning gällande gödselmedel av aska sammanfattats. Man bör vara medveten om att lagar och förordningar som hänvisas till i den här rapporten kan ha förändrats och uppdaterats efter att rapporten skrevs.

---

<sup>41</sup> Skogssällskapet. Aska effektivt sätt att skydda skogsplantor mot snytbaggen. Publicerad 28.9.2022. Hämtad från: <https://www.skogssallskapet.se/kunskapsbank/artiklar/2022-09-28-aska-effektivt-satt-att-skydda-skogsplantor-mot-snytbaggen.html> (28.6.2023)

<sup>42</sup> Greger M. Askåterföring av aska till skogen ger ökat motstånd mot angrepp från snytbagge. Seminarie: Energiaskor och klimatförändringar 9.12.2022. (Presentation)

<sup>43</sup> Kauppila, M., Kontinen, K. & Tenhola, T. 2021. Tuhkan hyötykäyttö metsätaloudessa. Tapio Oy. ISBN 978-952-5632-98-9. Hämtad från: <https://tapio.fi/wp-content/uploads/2021/03/Tuhkan-hyotykaytto-metsataloudessa-esite.pdf> (15.9.2023)

<sup>44</sup> Arnkil, N., Joensuu, S., Kauppila, M., Kontinen, K. Kotiharju, A., Lahti, E. & Tenhola, T. 2020.

Tuhka osana kestävää liiketoimintaa – Opas tuhkan tuottajille ja käyttäjille. Tapion raportteja 42. Tapio Oy.