



**Vastuullisella
metsälannoituksella
ilmastohyötyjä
VaMeLa**

VTT



TAPIO




VTT

**Tuhkien ja
epäorgaanisten
kierrätysravinteiden
tulevaisuus
metsälannoituksessa**

Kirsi Korpijärvi & Eliisa Järvelä

21/03/2023 VTT – beyond the obvious



Tutkimus suoritettiin osana Kestävät metsälannoitteet - työpakettia VaMeLa-hankkeessa

Tutkimuksen tavoite ja tehtävä

Arvioida metsiin soveltuvien kierrätyslannoitteiden saatavuutta

- Tuhkat – Määrä ja laatu tulevaisuudessa
- Tuhkien jalostaminen epäorgaanisilla kierrätysravinteilla
 - Ravinnelähteiden ja tarvittavien jalostus/käsittelytekniikoiden tunnistaminen



Tuhkaskenaario

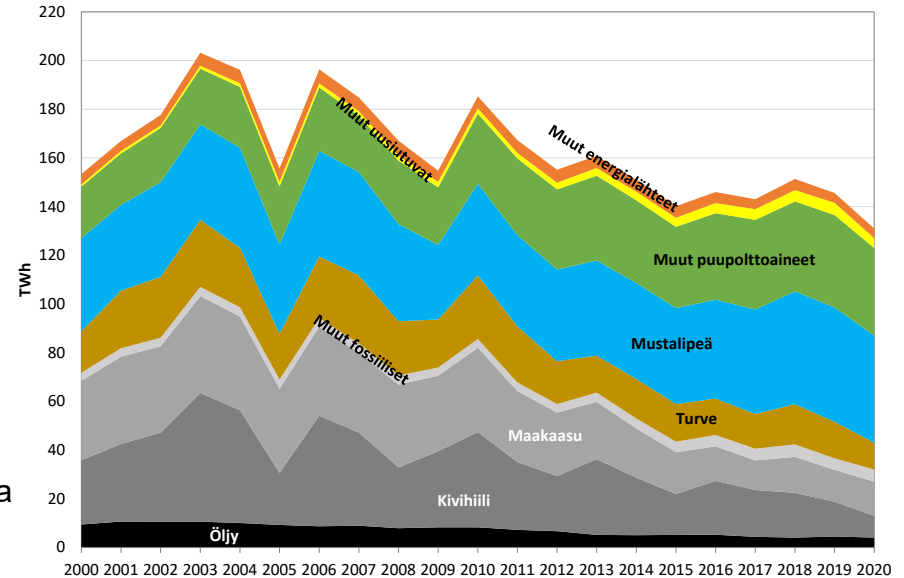
Biomassan polton tuhkat lannoitteina

- Suomessa on muodostunut vuosittain noin 500 000 tonnia tuhkia biomassan poltosta.
- Tuhkia muodostuu eri kokoluokan laitoksilla ympäri Suomen – suuria ja pieniä määriä.
- Kattilatekniikalla suuri vaikutus muodostuvien tuhkien laatuun.
- Biomassan polton tuhkia hyödynnetään lähinnä maarakentamisessa sekä lannoitevalmisteina metsä- ja maataloudessa.
- Vain osa muodostuvista tuhkista täyttää lannoitelainsäädännön vaatimukset.
- Lainsäädäntö uudistumassa
 - EU:n uusi lannoiteasetus
 - Suomen lannoitelainsäädännön kokonaisuudistus
- Tuhkat ja muut kierrätysravinteet ovat entistä toivotumpia metsälannoitukseen, kun mineraalilannoitteiden hinnat ja valmistuskustannukset ovat nousseet.



Sähkön- ja lämmöntuotannon polttoaineet murroksessa

- Kivihiilen käyttö on kielletty sähkön- ja lämmöntuotannossa 1.5.2029 alkaen.
- Turpeen käyttö vähenee nopeasti ilmastosyistä, päästöoikeuden hinta on noussut voimakkaasti.
- Kuinka kivihiili ja turve korvataan energiantuotannossa?
 - Kuinka paljon puupolttoaineiden käyttö lisääntyy?
 - Kuinka suureen rooliin muu uusiutuva energiantuotanto nousee?
 - Tuleeko puun käytölle sähkön- ja lämmöntuotannossa rajoituksia?
 - Lisääntykö rinnakkaispoltto?



Polttoaineiden käyttö sähkön- ja lämmöntuotannossa (Tilastokeskus 2021)

Kuinka paljon biomassan polton tuhkia muodostuu tulevaisuudessa?

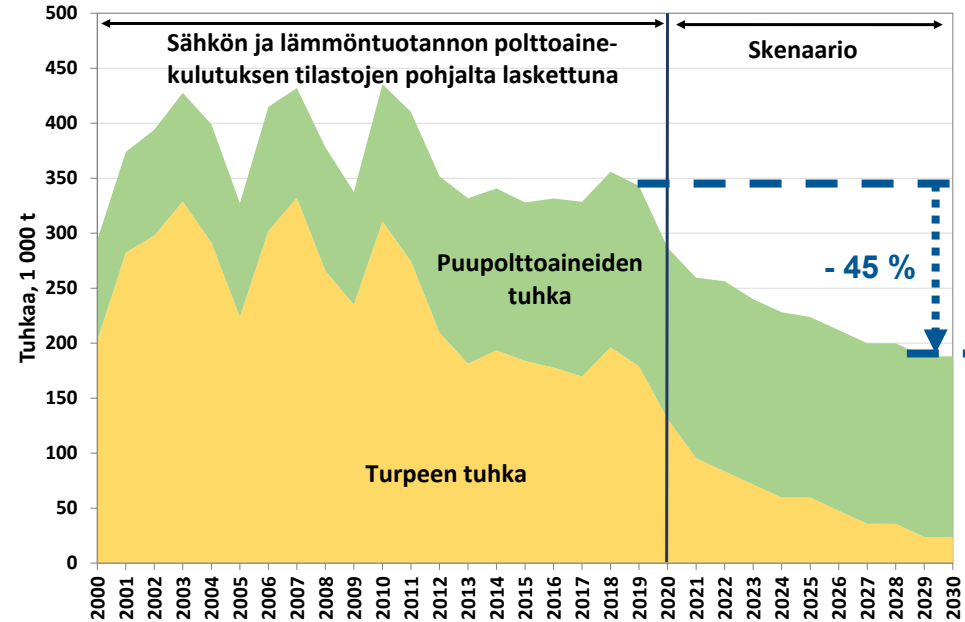
- Turpeen tuhkapitoisuus on paljon puupolttoaineita suurempi
→ Tuhkien kokonaismäärä laskee.
- Puupolttoaineissa luonnostaan enemmän ravinteita
→ Lannoitekäyttöön soveltuvien tuhkien määrä teoriassa kasvaa, mikäli turvetta korvataan puupolttoaineilla.
- Vanhemmissa kattiloissa saatetaan joutua käyttämään lisäaineita likaantumisen ja korroosion hallintaan, kun puupolttoaineiden osuus kasvaa → Esimerkiksi alkuainerikin vaikutusta tuhkan laatuun ei täysin tunneta.



Puu-turvetuhkaskenaario 2030

Oletukset: Vuonna 2030

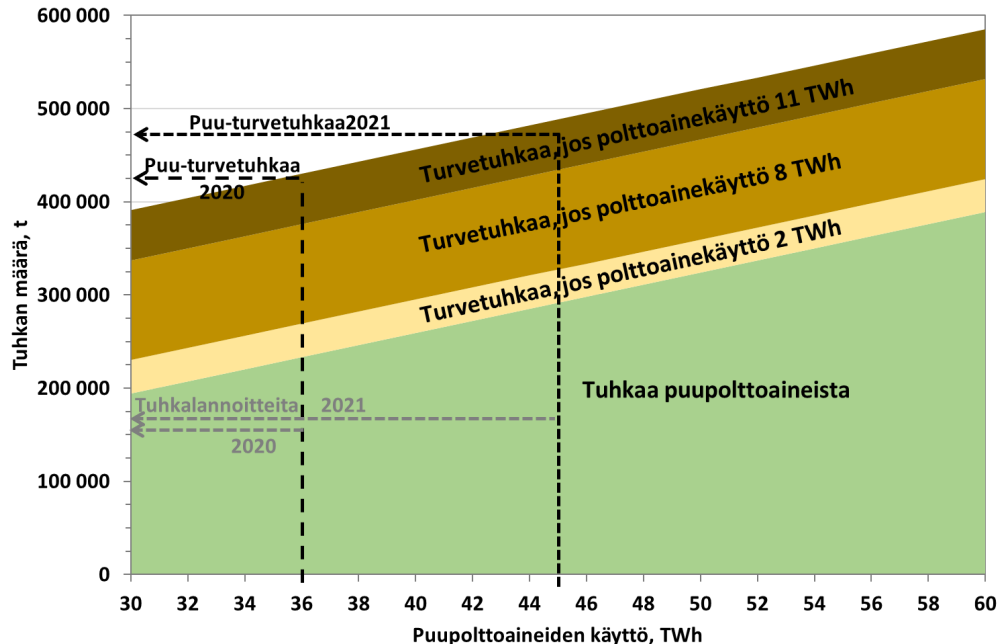
- Turpeen käyttö vain huoltovarmuuspoltoaineena 11 TWh (v. 2020) → 2 TWh
- Puupolttoaineiden käyttö pysyy nykyisellä tasolla 38...40 TWh
- Puupolttoaineista muodostuvien tuhkien määrä pysyy suurin piirtein nykyisellä tasolla.
- Puu-turvetuhkien kokonaismäärä vähenee lähes puoleen.



Huom! Kuvassa esitetyt lukuarvot tuhkalle ovat teoreettisia, eivätkä huomioi esimerkiksi petihiekkaa tai tuhkapitoisten lietteiden polttoa. Todellisuudessa biomassatuhkia muodostuu noin 1,5-kertainen määrä.

Polttoainekäytön vaikutus puu-turvetuhkien määrään tulevaisuudessa

Puupolttoaineiden käyttöön tulevaisuudessa liittyy paljon epävarmuuksia, joten muodostuvien biomassatuhkien määrää voidaan arvioida yleisellä, teoreettisella kuvalla.



Vertailukohdaksi:

Lähde	Vuosi	Puun käyttö [TWh]	Turpeen käyttö [TWh]
Tilastokeskus	2021	45	10
Afry* (perusskenaario)	2028	52,9	4,6
Afry* (matalan energiapuun tarjonnan skenaario)	2028	48,5	5,3

* https://afry.com/sites/default/files/2023-02/kotimaisten_polttoaineiden_toimintaymparisto_ja_kayttoarviot_2028_saakka_loppuraportti_8.2.2023.pdf

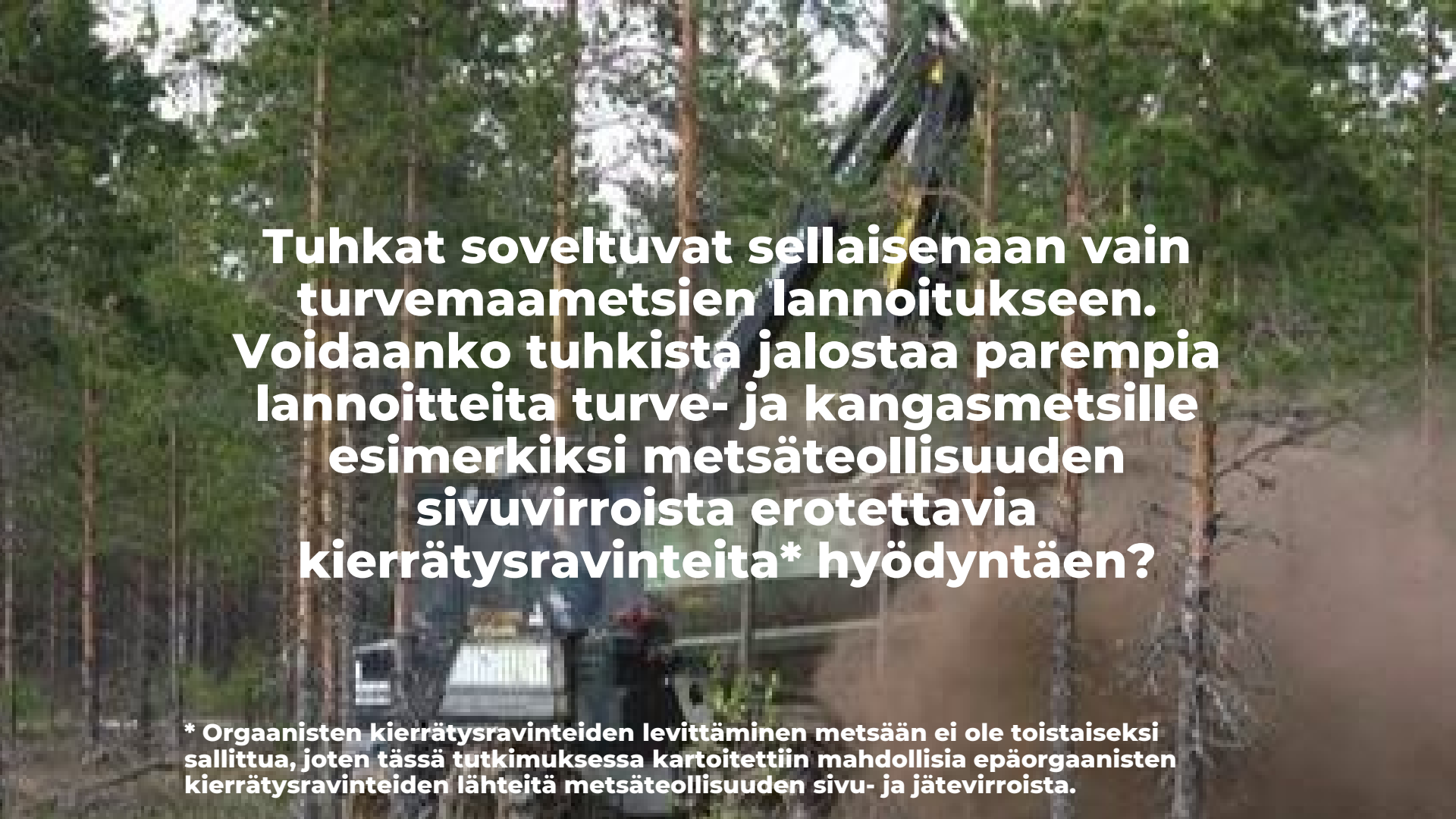
Riittääkö tuhkaa metsälannoitukseen tulevaisuudessa?

- Oletetaan, että tuhkalannoitteen levitysmäärä on 4 t/ha.
 - 10 000 ha = 40 000 t tuhkaa, 20 000 ha = 80 000 t tuhkaa, 30 000 ha = 120 000 t tuhkaa
 - Vertailuna: Tällä hetkellä tuhkalannoitetaan 12 000 – 15 000 ha.
- Oletetaan, että 50 % tuhkaskenaarion 2030 mukaan muodostuvista biomassatuhkista täyttää lannoitelainsäädännön vaatimukset ja ohjautuu lannoitekäyttöön \approx 140 000 t tuhkaa vuodessa lannoitekäyttöön
 - Vertailuna: Vuonna 2021 Suomessa valmistettiin 164 500 t tuhkalannoitteita, korkeimmillaan tuotanto on ollut 180 000 t vuonna 2017. (Lähde: Ruokavirasto)
- Lannoitekäyttö kilpailee biomassatuhkista etenkin maarakentamisen kanssa. Tuhkien hyötykäyttö maarakentamisessa ilmoitusmenettelyllä on usein tuhkan tuottajalle lannoitekäyttöä edullisempaa.
- **Tuhkia uskotaan riittävän turvemaametsien lannoitukseen jatkossakin, mikäli puun polttoainekäyttöön ei tule merkittäviä rajoituksia ja tuhkien toimittaminen lannoitekäyttöön saadaan pysymään kilpailukykyisenä muihin hyötykäyttövaihtoehtoihin verrattuna.**

Lannoitelainsäädäntö muutoksessa

- EU:n uusi lannoiteasetus tuli voimaan 16.7.2022
 - CE-merkityt lannoitevalmisteet, joilla on vapaa liikkuvuus EU:n alueella. Ensimmäistä kertaa yhtenäisiä raja-arvoja haitallisten aineiden pitoisuuksille.
 - Tuhkat hyväksytyt lannoitevalmisteiden raaka-aineiksi, ainesosaluokka CMC 13 ”Termisessä hapetuksessa muodostuvat materiaalit ja niiden johdannaiset”.
 - EU:n lannoiteasetus ei määrittele lannoitevalmisteiden käyttökohteita.
- Suomen lannoitevalmistelain kokonaisuudistus
 - Uusi lannoitelaki 711/2022, lannoiteasetuksen uudistus menossa.
- Uudistuva lainsäädäntö edesauttaa kierrätyslannoitteiden markkinoille pääsyä ja mahdollistaa biomassatuhkien laajemman käytön lannoitevalmisteiden raaka-aineina.

Mahdollisuuksista tuhkan jalostukseen kierrätysravinteilla

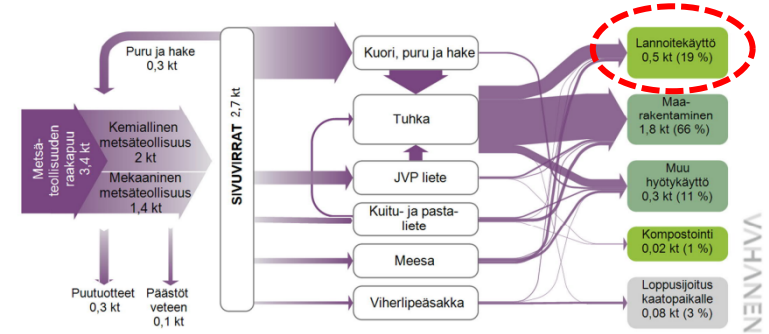


Tuhkat soveltuvat sellaisenaan vain turvemaametsien lannoitukseen. Voidaanko tuhkista jalostaa parempia lannoitteita turve- ja kangasmetsille esimerkiksi metsäteollisuuden sivuvirroista erotettavia kierrätysravinteita* hyödyntäen?

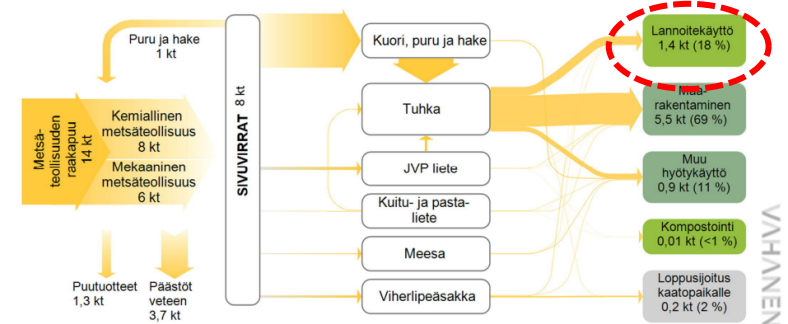
*** Orgaanisten kierrätysravinteiden levittäminen metsään ei ole toistaiseksi sallittua, joten tässä tutkimuksessa kartoitettiin mahdollisia epäorgaanisten kierrätysravinteiden lähteitä metsäteollisuuden sivu- ja jätevirroista.**

Fosfori ja kalium metsäteollisuuden sivuvirroissa

- Lähteet: Tuhka, meesa, jätevesilietteet, viherlipeäsakka
- Käyttöä rajoittaa sivuvirtojen koostumus tai haitta-ainesisältö, erityisesti raskasmetallit.
- Pääasiassa tuhkan mukana noin 20 % fosforista ja kaliumista ohjautuu lannoitekäyttöön, mutta lähes 70 % maarakentamiseen!
- Fosforin ja kaliumin kierrätystä sivuvirroista voitaisiin tehostaa lisäämällä tuhkien lannoitekäyttöä.
- Vaatii uusia käsittelyprosesseja tuhkille.



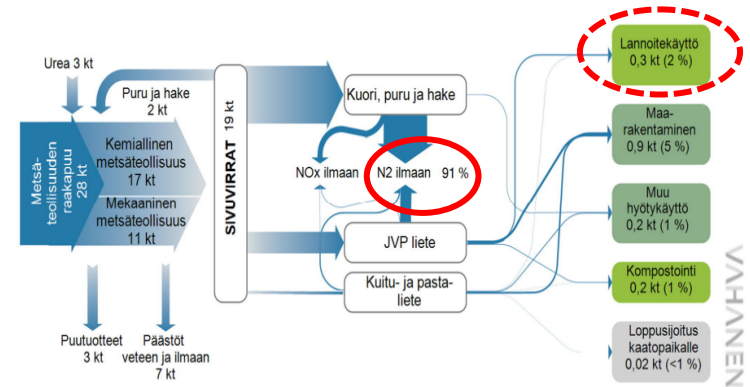
Kuva 5. Suomen metsäteollisuuden vuoden 2019 fosforitase. Nuolien paksuus kuvastaa sivuvirtojen sisältämän fosforin määrää. Kokonaisfosforin määrä on ilmoitettu kilotonneina (kt). Eri hyötykäyttökohteisiin päätyvän fosforin osuus (%) on laskettu sivuvirtojen sisältämästä kokonaisfosforin määrästä (2,7 kt).



Kuva 6. Suomen metsäteollisuuden vuoden 2019 kaliumtase. Nuolien paksuus kuvastaa sivuvirtojen sisältämän kaliumin määrää. Kokonaiskaliumin määrä on ilmoitettu kilotonneina (kt). Eri hyötykäyttökohteisiin päätyvän kaliumin osuus (%) on laskettu sivuvirtojen sisältämästä kokonaiskaliumin määrästä (8 kt).

Typpi metsäteollisuuden sivuvirroissa

- Lähteet: kuori, puru, hake, bioliete, kuitu- ja pastalietteet
- Suurin osa tuestä ohjautuu polttoon kuoren, purun, hakkeen ja lietteiden mukana, josta typpi vapautuu ilmaan.
- Tyypeä voitaisiin ottaa talteen erilaisista kaasuvirroista
- Vaatii uusia prosessivaiheita ja uutta teknologiaa – todennäköisesti kallista. Vaatii tutkimusta.



Kuva 4. Suomen metsäteollisuuden vuoden 2019 typpitase. Nuolien paksuus kuvastaa sivuvirtojen sisältämän tyypin määrää. Kokonaistypen määrä on ilmoitettu kilotonneina (kt). Eri hyötykäyttökohteisiin päätyvän tyypin osuus (%) on laskettu sivuvirtojen sisältämästä kokonaistypen määrästä (19 kt).

Kuvan lähde: Vahanan Environment Oy, Metsäteollisuuden tehdasprosessien ravinnetase ja -kädenjälkiselvitys, Metsäteollisuus ry. 2021 https://global-uploads.webflow.com/5f44f62ce4d302179b465b3a/6178f6fc6d8611c11ff4ebc_ENV2300%20Metry%20Ravinnetase-%20ja%20k%C3%A4denj%C3%A4lkelvitys.pdf

Typpi sellutehtaan kaasuvirroissa

- Eniten ammoniakkia on väkevissä hajukaasuissa
 - Pitoisuuksissa suurta vaihtelua tehdaskohtaisesti.
 - Noin 0,05 - 1 til-%, 10 - 40 m³n ilma-kuivattua sellutonna kohti.
- Merkittäviä pitoisuuksia on soodakattilan ja kaustisoinnin kaasuihin.
 - Tuotekaasun typpipitoisuus 48 % (N₂-muodossa)
- Ammoniakki haihtuu mustalipeästä haihdutuksen alkuvaiheessa
 - Päätyy metanoliin ja tiivistymättömiin kaasuihin (NCG)

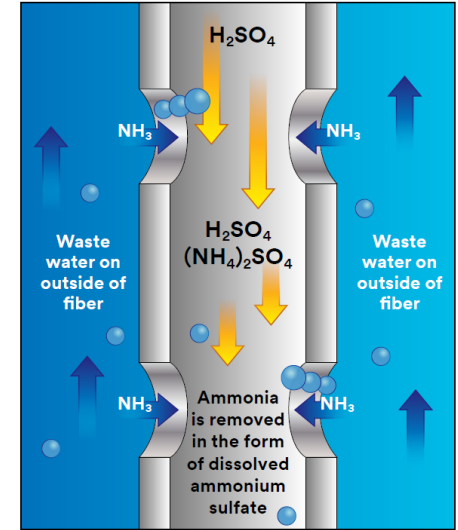
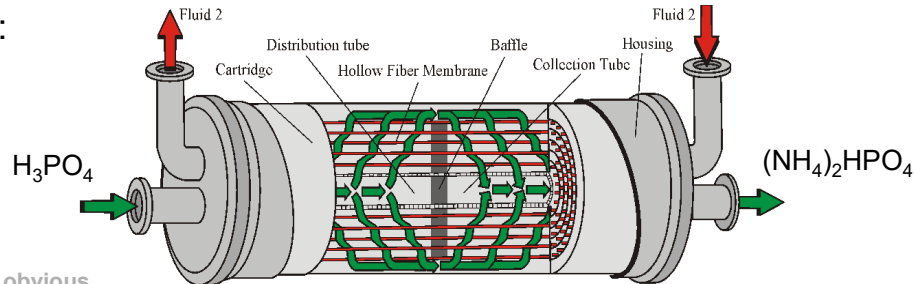
Ideatason esimerkki
typen talteenotosta
hajukaasuista
membraanikontaktorilla:

Hajukaasut H₂SO₄
valmistukseen
(NH₄-N pitoisuus pieni)

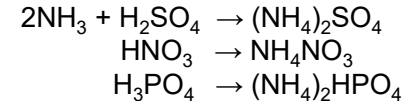
NH₃ sisältävät
hajukaasut

Syöte:

NH₃ >500 ppm
esisuodatus <10 µm
lämpötila ~ 40°C
pH>10



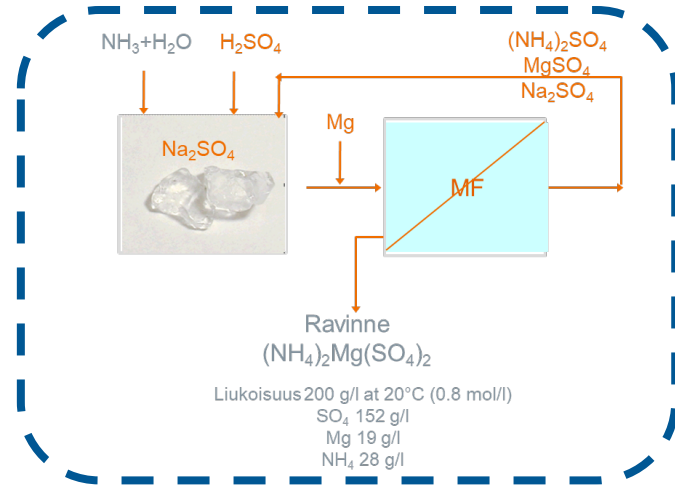
Käytettävästä haposta riippuen saadaan erilaisia tuotteita lannoitteiden raaka-aineiksi:



Mahdollisia erotus- ja käsittelytekniikoita ravinteiden jalostamiseksi sivuvirroista

Esimerkiksi:

- Konsentroiintiin perustuva kiteytys
- Jäähdytyskiteytys
- Saostus kaksoissuolana
- Konsentroiinti
 - Nanosuodatus (NF)
 - Haihdutus
 - Membraanitislaus (MD)
- Arvonnosto, muokkaus
 - Elektrodialyyysi (ED)
- Puhdistus
 - NF, ED
 - Membraanikontaktori (MC)
 - Ultrasuodatus (UF)



Ideatason konsepti $(\text{NH}_4)_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2$ eli Tutton suolan valmistukseen. Saman kaltaisella kiteytyksellä voidaan valmistaa myös struviittia, NH_4MgPO_4 , jos sulfaatin sijaan lisätään fosfaattia ja kiteytys tehdään alkalisissa olosuhteissa.

Yhteenveto ja johtopäätökset

 Nappaa
hilestä
kiinni

MAANKÄYTTÖSEKTORIN
ILMÄSTÖRATKAISUT

Yhteenveto ja johtopäätökset

- Muodostuvien puutuhkien määrä pysynee jatkossa nykyisellä tasolla, mutta puu-
turvetuhkien kokonaismäärä laskee turpeen polton vähentyessä.
- Tuhkat riittävät turvemaametsien lannoitukseen jatkossakin, mikäli puun
polttoainekäyttöön ei tule merkittäviä rajoituksia ja tuhkien toimittaminen
lannoitekäyttöön saadaan pysymään kilpailukykyisenä muihin hyötykäyttövaihtoehtoihin
verrattuna.
- Tuhkien kilpailukykyä metsälannoituksessa voitaisiin parantaa kasvattamalla niiden
ravinnepitoisuutta kierrätysravinteilla tai jalostamalla niistä tyypeä sisältäviä
kangasmetsien lannoitteita.
- Suurin osa metsäteollisuuden sivuvirtojen sisältämästä kaliumista, fosforista ja
kalsiumista päätyy jo nykyisellään tuhkiin. Iso osa tuhkista sen sijaan päätyy
maarakentamiseen ja ravinteet jäävät hyödyntämättä.
- Suurin osa metsäteollisuuden sivuvirtojen sisältämästä tyypeä vapautuu poltossa
ilmaan. Kierrätysravinteiden valmistus ottamalla talteen tyypeä kaasuvirroista vaatisi
uusia prosessivaiheita ja teknologiaa.
- EU:n ja Suomen tasolla uudistuva lannoitelainsäädäntö edesauttaa
kierrätyslannoitteiden markkinoille pääsyä ja mahdollistaa biomassatuhkien laajemman
käytön lannoitevalmisteiden raaka-aineina.



bey⁰nd

the obvious

Kirsi Korpijärvi
kirsi.korpjarvi@vtt.fi
+358 40 529 8464

@VTTFinland

www.vtt.fi