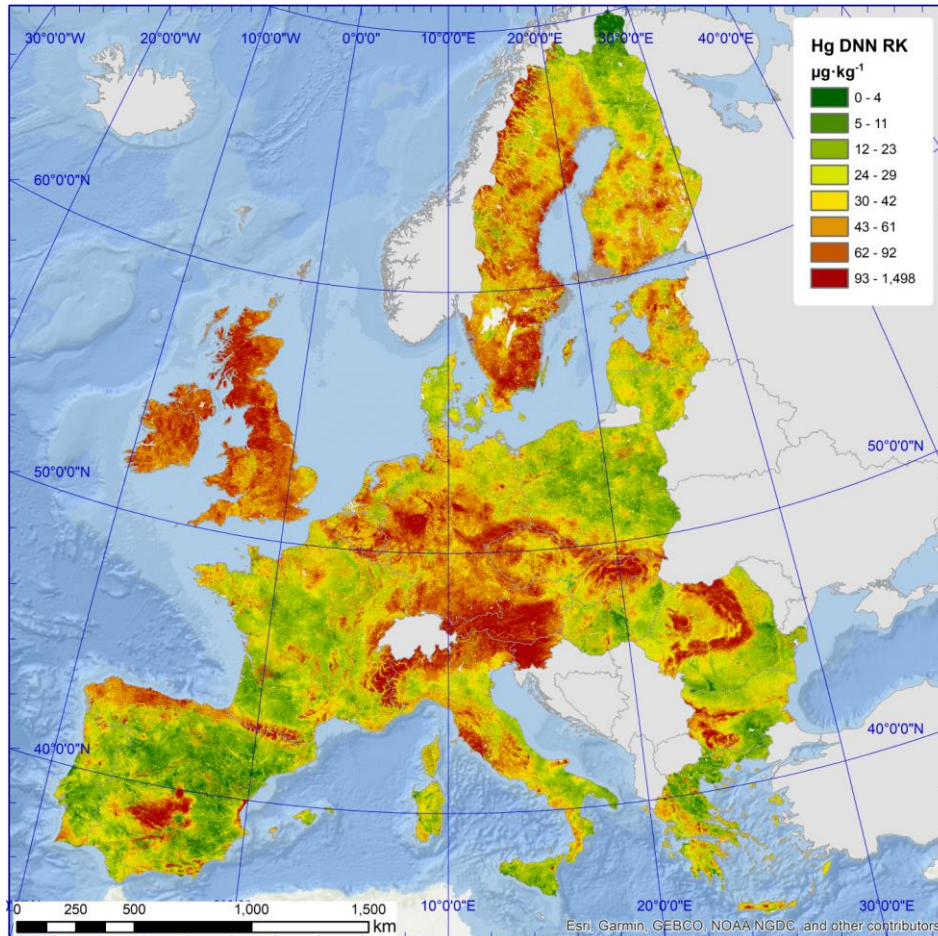


Elohopea maaympäristössä

Liisa Ukonmaanaho

Luonnonvarakeskus/Biotalous ja ympäristöyksikkö

Elohopea pitoisuus maaperässä $\mu\text{g}/\text{kg}$

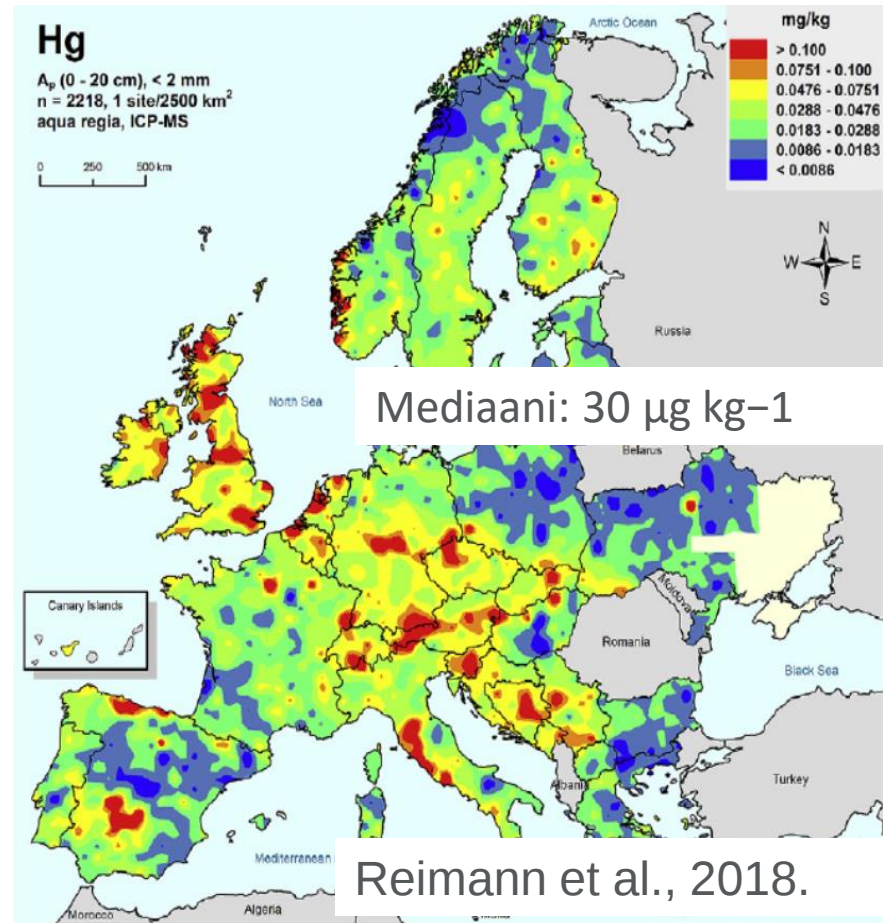
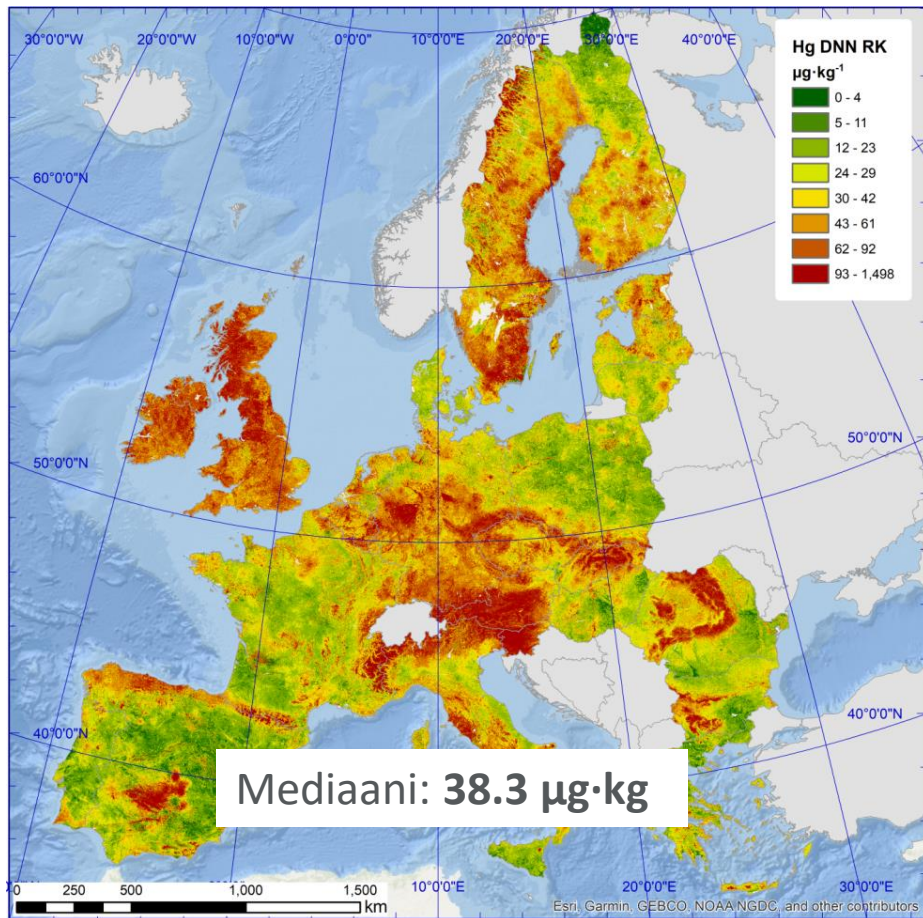


LUCAS näytteet n. 22000 näytettä, näytteet otettu 200 km välein, vuonna 2009

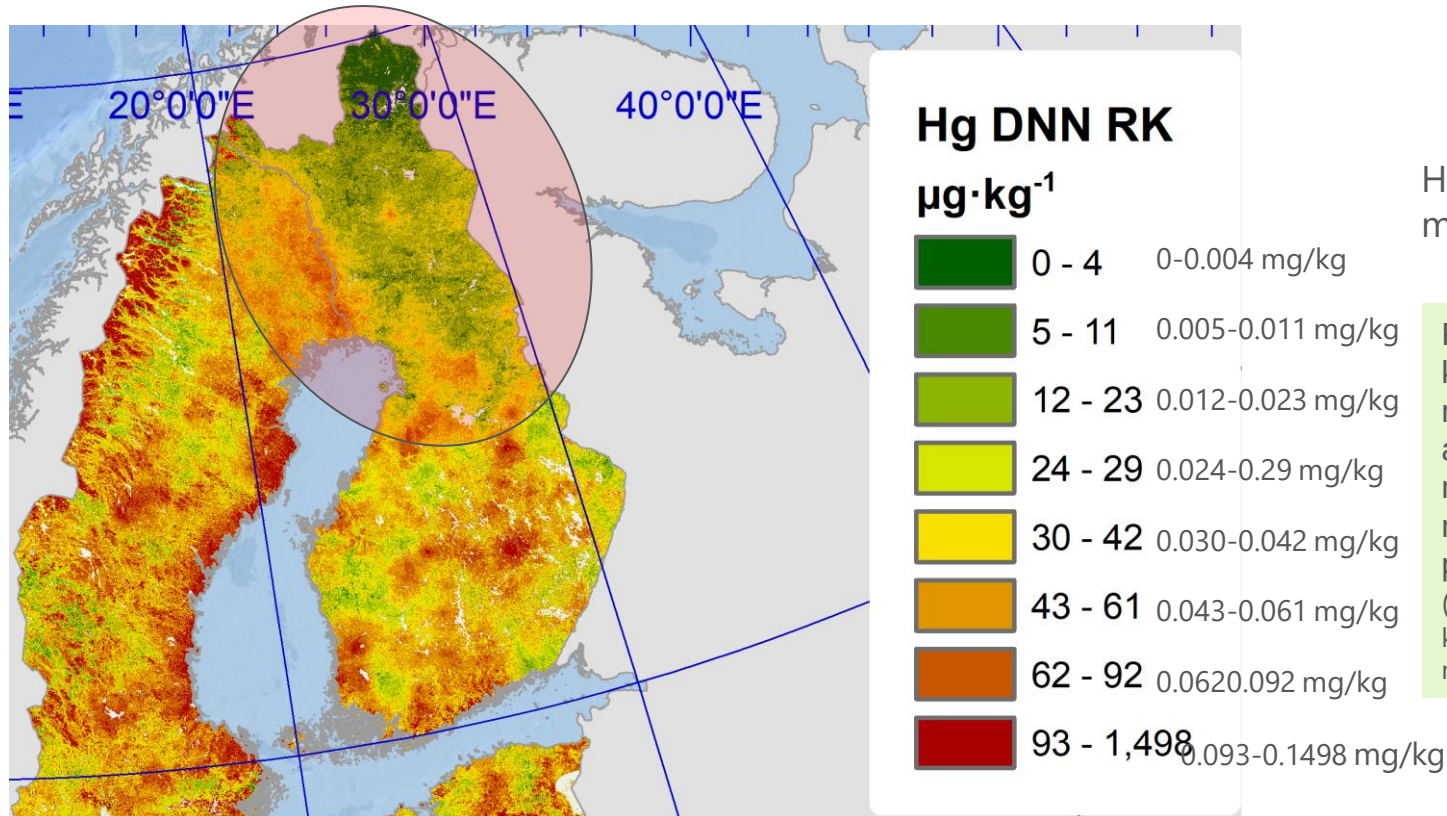
- Näytteet 0-20 cm
- **Mediaani pitoisuus $38.3 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$**
- elohopea pitoisuudella yhteys:
 - orgaaninen aines
 - lämpötila
 - kasvillisuus (NDVI= high vegetation greenness)
 - maanpeite
- 209 'hotspottia', joissa pitoisuus $>422 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 42% niistä liittyi kaivostoimintaan.

Lähde: Ballabio et al. 2021. A spatial assessment of mercury content in the European Union topsoil. Science of the Total Environment 769 (2021) 144755 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144755>

Elohopea pitoisuus maaperässä $\mu\text{g}/\text{kg}$



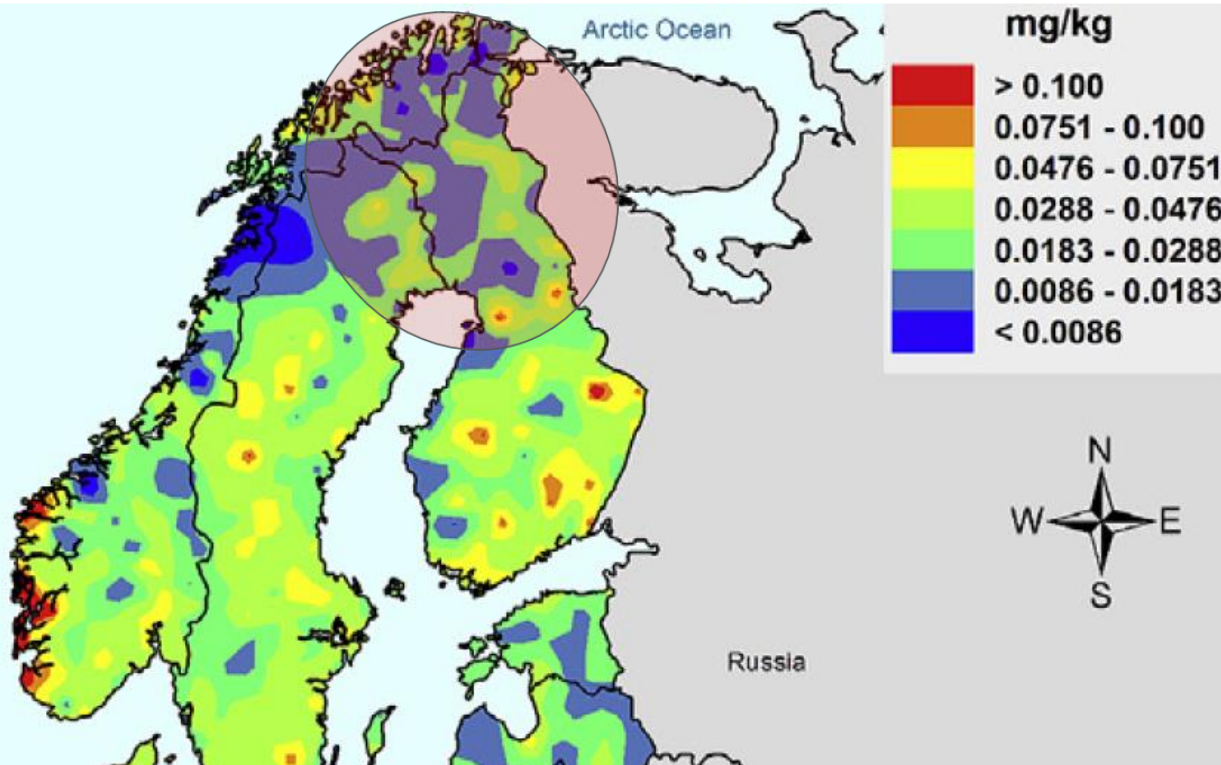
Elohopea pitoisuus Suomen maaperässä $\mu\text{g}/\text{kg}$



Hg ns. **kynnysarvo**
maaperässä 0.5 mg/kg

Pitoisuuksiltaan
kynnysarvot alittavista
maa-aineksista ei pitäisi
aiheutua
maaperän, pohjaveden tai
muun ympäristön
pilaantumisen riskiä
(Reinikainen, J. 2007. Maaperän
kynnys- ja ohjearvojen
määrittäminen)

Elohopea pitoisuus Suomen maaperässä $\mu\text{g/kg}$, maatalousmaa



Pohjois-Suomessa korkeimmat
pitoisuudet
 $0.0751\text{--}0.100\text{ mg/kg}$ =
 $(75.1\text{--}100\text{ }\mu\text{gkg}^{-1})$

Hg ns. **kynnysarvo**
maaperässä 0.5 mg/kg

Pitoisuuksiltaan kynnysarvot
alittavista maa-aineksista ei
pitäisi aiheutua
maaperän, pohjaveden tai
muun ympäristön pilaantumisen
riskiä

(Reinikainen, J. 2007. Maaperän
kynnys- ja ohjearvojen määrittäminen)

Mistä elohopea tulee maaperään?

- Ilman kautta
 - Luonnolliset lähteet: Tulivuorten purkaukset, metsäpalot,
 - Ihmisperäiset lähteet: energian tuotanto (erityisesti kivihiilivoimalat), kullanlouhinta (kullan erottamiseen malmista käytetään elohopeaa)
- rapautumalla kallioperästä
 - Elohopeaa esiintyy maa- ja kallioperässä hyvin erilaisina pitoisuuksina. Outokummun sulfidimalmissa elohopeaa oli jopa 10 mg/g, Suomen kallioperässä tavallisesti vain 3 ng/g (eli 0,000003 mg/g) (Lodenius).
 - Suomen luonnossa elohopeapitoisia mineraaleja esiintyy luontaisesti eniten mustaliuskepitoisessa kallioperässä. Näiden alueiden suoturpeissa ja järven pohjasedimenteissä voi esiintyä elohopeakertymiä luontaisesti runsaammin kuin muiden kivilajien alueilla

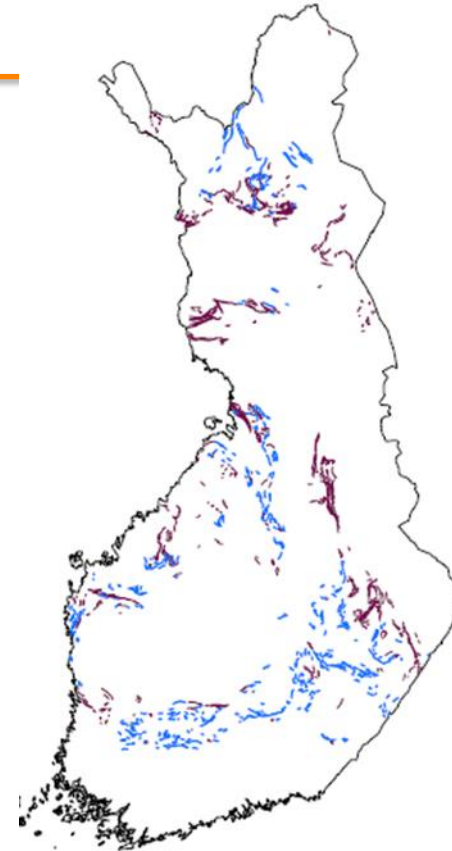


Mustaliuske

- hiiltä ja rikkiä yli 1 %, usein poikkeuksellisen korkeita raskasmetallipitoisuuksia. Voi olla myös elohopea vähäisessä määrin.
- violetit viivat kartassa on mustaliuskeita
- tunnetuin mustaliuske-esiintymä on Talvivaaran nikkeliesiintymä

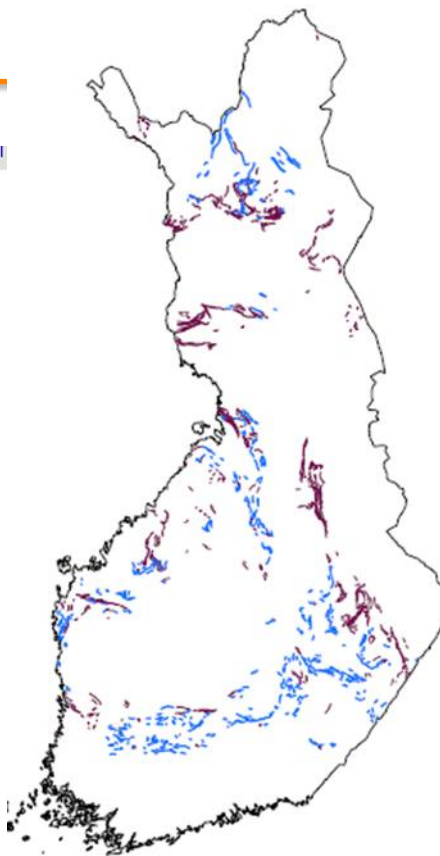
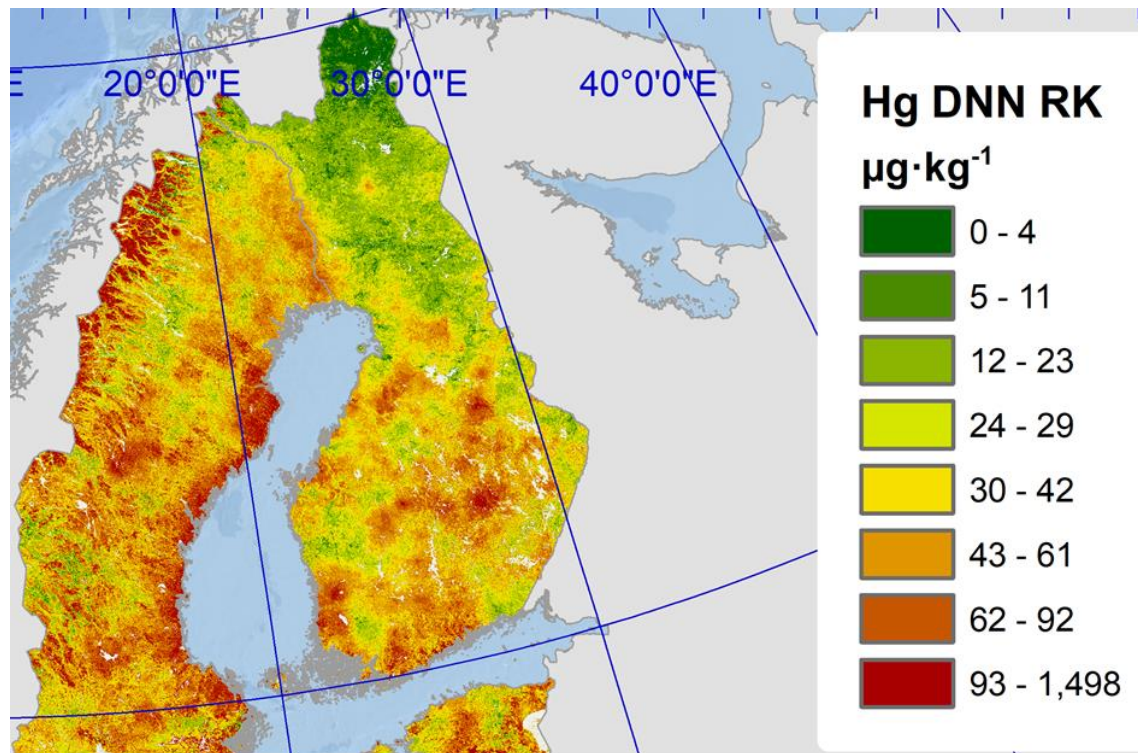


Kuva: Liisa Ukonmaanaho



Kartta: GTK 2014

Mustaliuske



Kartta: GTK 2014

Mistä elohopea tulee maaperään?

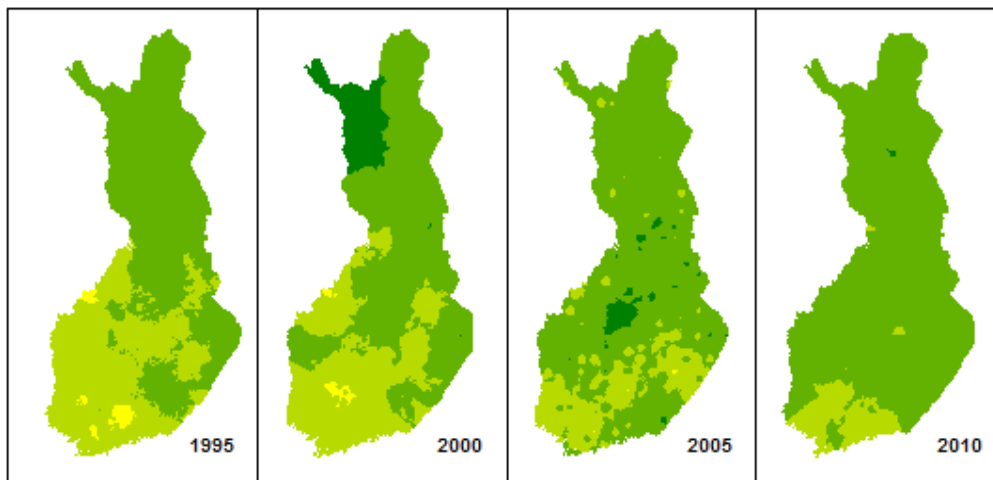
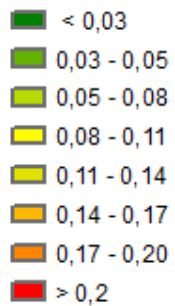
- Ilman kautta
 - Luonnolliset lähteet: Tulivuorten purkaukset, metsäpalot,
 - Ihmisperäiset lähteet: energian tuotanto (erityisesti kivihiilivoimalat), kullanlouhinta (kullan erottamiseen malmista käytetään elohopeaa)
- rapautumalla kallioperästä
 - Elohopeaa esiintyy maa- ja kallioperässä hyvin erilaisina pitoisuuksina. Outokummun sulfidimalmissa elohopeaa oli jopa 10 mg/g, Suomen kallioperässä tavallisesti vain 3 ng/g (eli 0,000003 mg/g).
 - Suomen luonnossa elohopeapitoisia mineraaleja esiintyy luontaisesti eniten mustaliuskepitoisessa kallioperässä. Näiden alueiden suoturpeissa ja järven pohjasedimenteissä voi esiintyä elohopeakertymiä luontaisesti runsaammin kuin muiden kivilajien alueilla
- → **Hg päästöt laskeneet Euroopassa, mutta kasvaneet Aasiassa, Suomessa ei suurta muutosta**
- **Hg pitoisuus ilmassa hieman suurempi Pohjois-Suomessa → Hg:n kertyminen arktisille alueille (IL)**



Hg (mg/kg) pitoisuus sammalissa 1995-2010

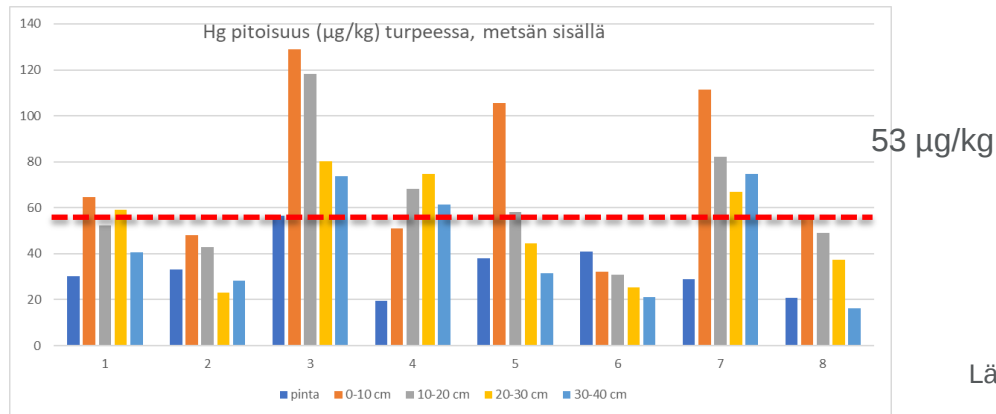
Elohopea (Hg)

mg/kg



Lähde: <http://www.metla.fi/metinfo/metsienterveys/raskasmetalli/kartta-elohopea.htm>

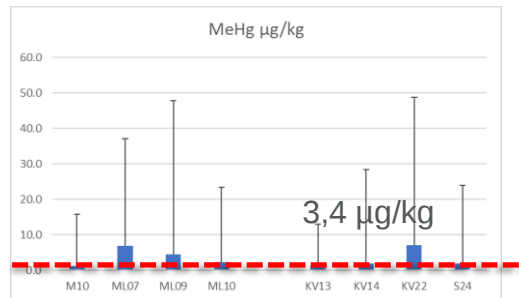
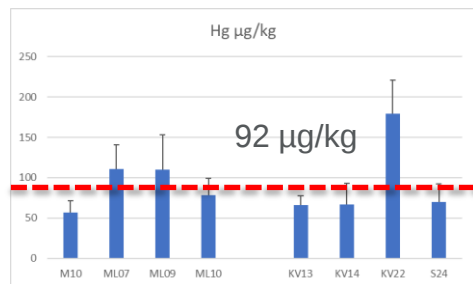
Turpeen Hg pitoisuuksia, suometsä, Sotkamo



Hg $\mu\text{g/kg}$	keskiarvo pitoisuus		
	kerros	mustaliuski	kvartsi
pinta	33.5	34.9	32.1
0-10 cm	74.8	73.2	76.4
10-20 cm	62.7	70.4	55.1
20-30 cm	51.4	59.2	43.6
30-40 cm	43.4	50.9	35.9

Lähde: Mäkilä et al. 2015

Hg ja MeHg pitoisuus (mg/kg) rantavyöhykkeen (ojan) turpeessa



Lähde: Ukonmaanaho et al. 2016

Mistä elohopea tulee maaperään?

- Ilman kautta elohopea saattaa kulkeutua pitkiäkin matkoja ennenkuin se laskeutuu maahan joko kuivalaskeumana tai sadeveden mukana märkälaskeumana.
- Osa laskeumasta menee suoraan maaperään, alueilla jossa kasvillisuutta, esimerkiksi metsissä ns. Hg kulkeutuu maahan latvuksen läpi metsikkösadanta
- Kasvillisuuden on todettu keräävän elohopeaa --> alueilla jossa on kasvillisuusbiomassa Hg pitoisuudet myös maaperässä ovat suuremmat verrattuna paljaisiin maihin.
- Elohopeaa maasta voi vapautua höyrystymällä, kasvillisuus altistuu sille
- karikkeeseen kerääntyä elohopeaa
- Maassa elohopea sitoutuu erityisesti orgaaniseen aineeseen → turvemaille kertyy enemmän elohopeaa
- Maaperässä Hg voi esiintyä myös orgaanisessa muodossa erittäin myrkyllisenä metyylielohopeana (MeHg).
- Epäorgaaninen Hg myös voi muuttua maaperässä metyylielohopeaksi. Prosessia kutsutaan **metyloitumiseksi**.

Kuiva- ja märkälaskeuma

Sadevesi



Mistä elohopea tulee maaperään?

Elohopean metyloitumista edistävät:

- Hapettomuus
- orgaaninen aines
- alhainen pH
- korkea lämpötila
- sulfaattipelkistäjäbakteerien läsnäolo (sulfaatti)
- myös raudanpelkistäjä bakteerien on havaittu muuttavan epäorgaanista elohopeaa MeHg:ksi ja metanogeenen



Kuva: Liisa Ukonmaanaho

Jääkö elohopea maaperään pysyvästi?

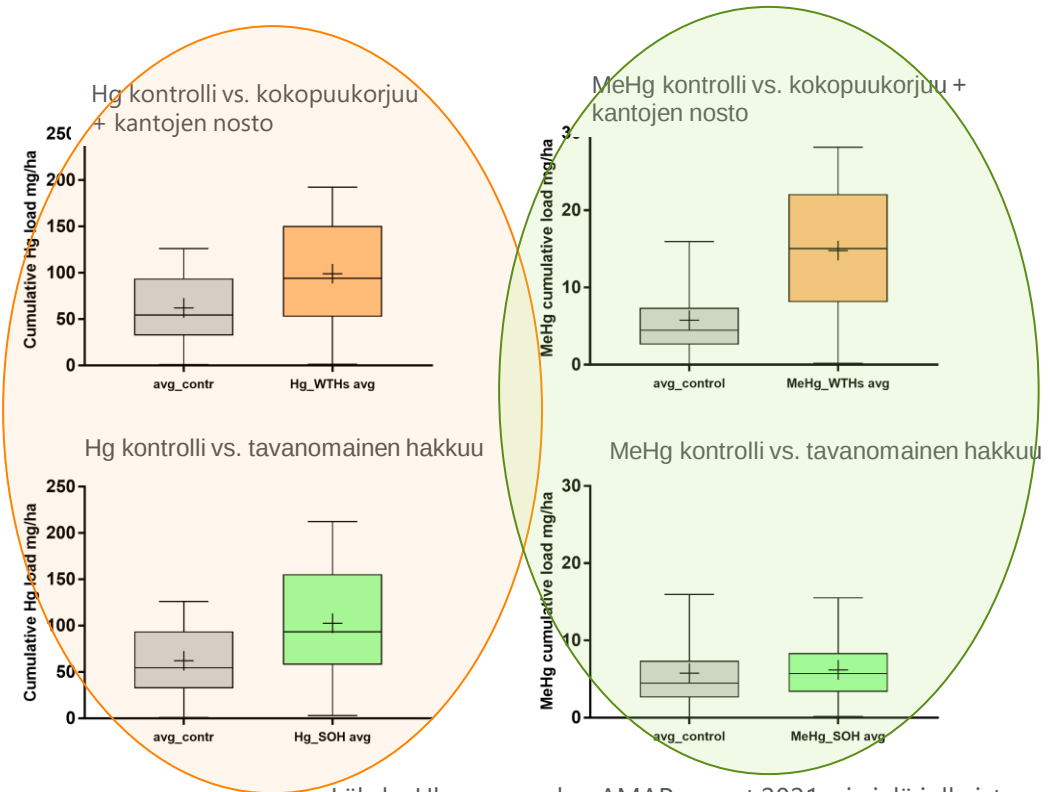
- Kaikenlainen maaperän häirintä esim. metsän hakkuut, kunnostusojitukset, rakentaminen jne. muuttaa maaperän olosuhteita → voi kiihdyttää maaperässä olevan Hg:n metyloitumista MeHg:ksi.
- Lisääntynyt valunta metsänhakkuiden jälkeen - liittyy ensisijaisesti muutoksiin hydrologisessa kierrossa: vähentynyt evapotranspiraatio puuston poiston vuoksi, maaperän kosteuden lisääntyminen ja pohjaveden pinnan nousu lisäävät kaikki pintavaluntaa.
- Turvemailla voimakas vettyminen ja pelkistävät olosuhteet suosivat myös rikkiä pelkistävien bakteerien toimintaa, joiden on todettu vastaavan elohopean metyloitumisesta sekä maaperässä että vesistöjen pohjasedimenteissä.
- Hakkuualueille jääneet hakkuutähteet (oksat, neulaset) ovat potentiaalinen elohopean ja muiden metallien lähde, kun niihin kuivalaskeumana kerääntyneet aineet huuhtoutuvat pois
- Kalojen elimistöön elohopea kertyy joko suoraan vedestä (pääasiassa kidusten kautta) tai ravinnon mukana.
- Petokaloihin ravinnon kautta tulevalla kertymällä on huomattavasti suurempi merkitys, sillä metyylielohopea rikastuu ravintoketjussa. Korkeimmat elohopeapitoisuudet on todettu petokaloissa, jotka syövät muita kaloja (esim. hauki, ahven, made).



Jääkö elohopea maaperään pysyvästi?

Esimerkki Hg ja MeHg huuhtoutuminen hakkuiden jälkeen turvemetsästä

- 1 kalibrintivuosi + 5 seuranta vuotta 2008-2014.
- Käsittelyt kokopuukorjuu+ kantojen nosto ja tavanomainen hakkuu.
- Sijainti: Sotkamo



Lähde: Ukonmaanaho, AMAP report 2021, ei vielä julkaistu

Entä ilmastonmuutoksen vaikutukset?

- Enemmän talvisateita, voimakkaampia sadekuuroja
 - lumeton maa herkempi vaurioille
 - maa erodoituu herkemmin
 - lisääntynyt pintavalunta, jonka mukana huuhtoutuu myös orgaanista ainesta
 - myös elohopean huuhtoutuminen voi lisääntyä
- Tulvat lisääntyvät → aineiden huuhtoutuminen maaperästä lisääntyy (Hg)
- Lämpimämpi ilma → maaperä lämpenee → lämpimämmässä Hg metyloituminen MeHg:ksi todennäköisesti lisääntyy

Tutkimustarpeet

- Tarkempaa dataa maaperästä, mm. erilaiset maankäyttömuodot, maanpeittävyys
- ylipäättänsä Hg:n käyttäytyminen luonnossa
- Orgaanisen aineen merkitys
- Ilmastonmuutoksen vaikutukset

Kiitos!

liisa.ukonmaanaho@luke.fi