

Review

Kauran nikkelin otto

Tapio Salo ja Lidija Bitz 4.3.2024

Nikkelin otto kauraan – vaikuttavat tekijät

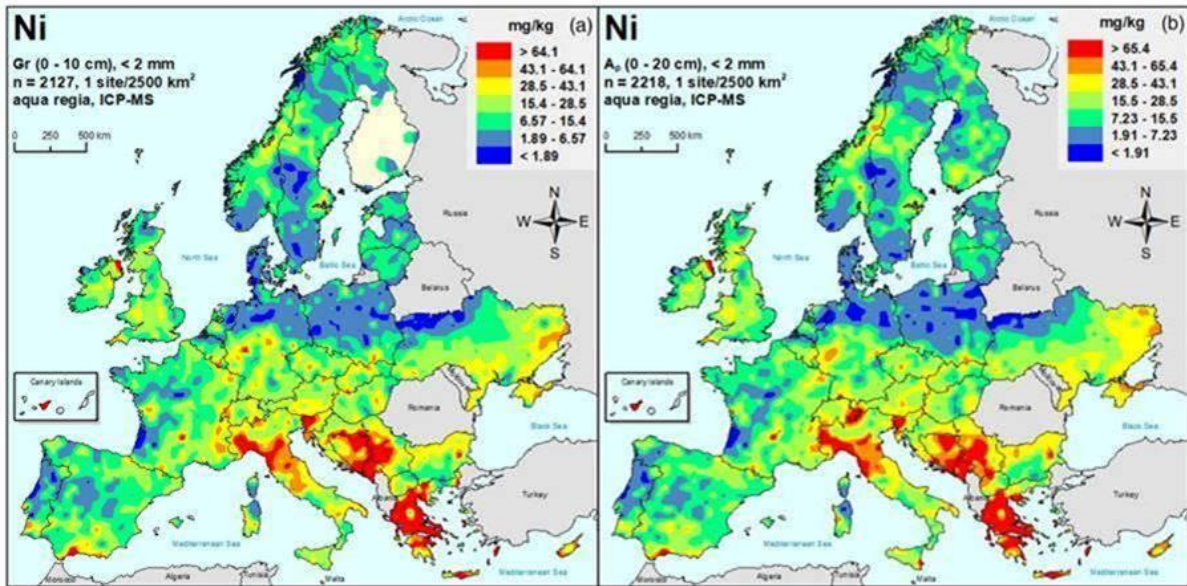
Tapio Salo, Luke

Nikkeli maaperässä

Nikkeli voi esiintyä maassa kolmella hapetus-pelkistystasolla, joista yleisin on Ni²⁺. Nikkeli sitoutuu helposti maan rauta- ja rikkiyhdisteisiin (Kabata-Pendias 2010). Nikkeliä esiintyy luontaisesti useissa mineraaleissa ja maaperässä se on yleensä peräisin näistä luontaisista mineraaleista. Kaivostoiminta ja terästeollisuus ovat aiheuttaneet paikallisia korkean nikkeliipitoisuuden alueita. Fosforilannoitteet ja laskeuma voivat tuoda maahan nikkeliä. Nikkelin laskeuma on pienentynyt viime vuosikymmenten aikana Suomessa.

Pilaantumattomien maiden nikkeliipitoisuudet ovat keskimäärin 13–37 mg/kg (Kabata-Pendias 2010). Suomessa moreenin (till) keskimääräinen pitoisuus on $27,2 \pm 19$ mg/kg, ja suurimmat pitoisuudet ovat geologisten syiden takia Pohjois-Suomessa (Koljonen ym. 1992). Maatalousmaissa kuningasveteen uuttuneen nikkelin keskiarvo oli 13,8 mg/kg ja vaihteluväli 1,2–46,4 mg/kg (Mäkelä-Kurtto ym. 2007a, n=338). Maatalousmaan nikkeliipitoisuudet olivat kaksinkertaiset savimailla (28 mg/kg) verrattuna karkeisiin (11,4 mg/kg) tai eloperäisiin (10,9 mg/kg) peltomaihin. Alueellisesti korkeimmat nikkeliipitoisuudet olivat lounaisessa, itäisessä ja pohjoisessa Suomessa, mikä vastaa jossain määrin moreenissa havaittuja pitoisuuden vaihteluja. Tarvainen ja Kuusisto (1999) havaitsivat, että pinta- ja pohjamaan nikkeliipitoisuudet olivat melko samanlaiset. Ruotsissa (Hamner ym. 2013) havaitsivat maan kokonaisnikkeliipitoisuuden (typpihappouutto) korreloivan positiivisesti savepitoisuuden kanssa ($R^2=0.55$). Orgaanisen aineksen ja nikkelin välillä oli pieni positiivinen korrelaatio. Eriksson ym. (2017) havaitsivat Ruotsissa myös kokonaisnikkeliipitoisuuden ja saveksen korrelaation.

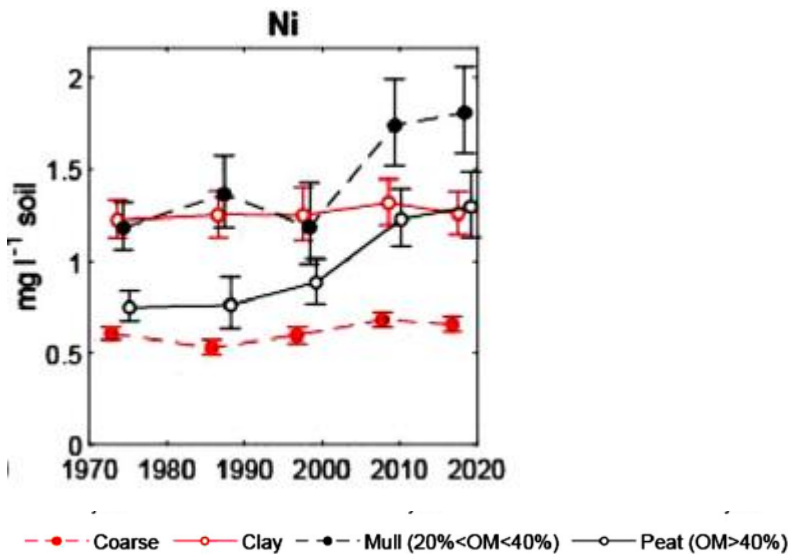
Muihin pohjoismaihin verrattuna Suomen maatalousmaiden nikkeliipitoisuudet olivat samaa luokkaa (Reimann ym. 2014). Pohjois-Euroopan pitoisuudet ovat keskimäärin alempia (8,2 mg/kg) kuin Etelä-Euroopan (21 mg/kg). Euroopan tasolla nikkelin pitoisuuksissa oli paljon alueellista vaihtelua, ja vaihteluväli oli 0,1–2475 mg/kg, vaikka mediaani oli vain 15 mg/kg.



Kuva 1. Nikkelin pitoisuudet nurmessa (vasen) ja peltokasveilla (oikea) GEMAS-hankkeen massnäytteissä (Reimann, 2022, Fig. 1).

Nikkelin liukoisuus ja saatavuus kasveille riippuu maan happamuudesta, hapetus-pelkistystilasta, kationinvaihtokapasiteetista ja orgaanisen aineksen sekä metallioksidien määrästä (Echevarria ym. 2009, Kabata-Pendias 2010). Nikkelin liukoisuus on alhainen, kun pH on yli kuuden, ja maan happamoituessa liukoisuus lisääntyy. Kun maan pH on <6, nikkeli adsorboituu sähköisesti negatiivisesti varautuneiden hiukkasten kuten saveksen ja metallihydroksidien pinnoille. Jos pH on >6, nikkeli sitoutuu maahiukkasten pinnoille tiukemmin kemiallisin sidoksin. Hapetus-pelkistystilan ja maan orgaanisen aineksen vaikutukset nikkelin liukoisuuteen ovat monimutkaisempia kuin happamuuden. Happamissa ja hapettuneissa olosuhteissa nikkeli on hyvin helposti liikkuvaa (Reimann 2014). Pelkistyneissä olosuhteissa eli maan happitilan laskiessa esim. märkyyden tai hajoamisesta johtuvan hiilidioksidin tuoton vuoksi nikkeli voi muodostaa heikkoliukoisia sulfideja. Toisaalta rauta- ja mangaanioksidien pelkistyminen voi vapauttaa nikkeliä maanesteeseen niiden pinnoilta. Orgaaninen aines tarjoaa toisaalta nikkeliä sitovia sorptiopaikkoja, mutta orgaaniset yhdisteet voivat myös vaihtaa nikkelin maanesteeseen sitoutumispaikoista (McBride 1994). Esimerkiksi jätevesilietepohjaisten lannoitevalmisteiden käyttö on lisännyt nikkelin liikkuvuutta, koska nikkeli on muodostanut liikkuvia komplekseja liuenneen orgaanisen aineksen kanssa (Kabata-Pendias 2010).

Suomessa liukoista nikkeliä mitataan yleensä ammoniumasettaatti+EDTA uutun avulla. Nikkelimääryksiä on tehty säännöllisesti Peltomaiden kemiallisen tilan valtakunnallinen seurantatutkimuksen (Valse) näytteistä. Maalajeittain tehdyssä vertailussa nikkelin liukoinen pitoisuus pysyi matalana (0,5 mg/l) karkeilla mailla aikajaksolla 1974–2020, vaikka pientä 10 %:n nousua oli havaittavissa. Savimailla pitoisuus pysyi aikajaksolla samana, mutta pitoisuus oli hieman korkeampi (1,2 mg/l) kuin karkeilla mailla. Multa- ja turvemaiden pitoisuudet nousivat 2000-vuoden jälkeen noin 0,5 mg/l ja olivat viimeisessä näytteenotossa turvemaiden noin 1,2 mg/l ja multamailla 1,75 mg/l (Soinne ym. 2022).



Kuva 2. Nikkelin pitoisuuden muutokset eri maalajeilla Valse-näytteissä (Soinne ym. 2022).

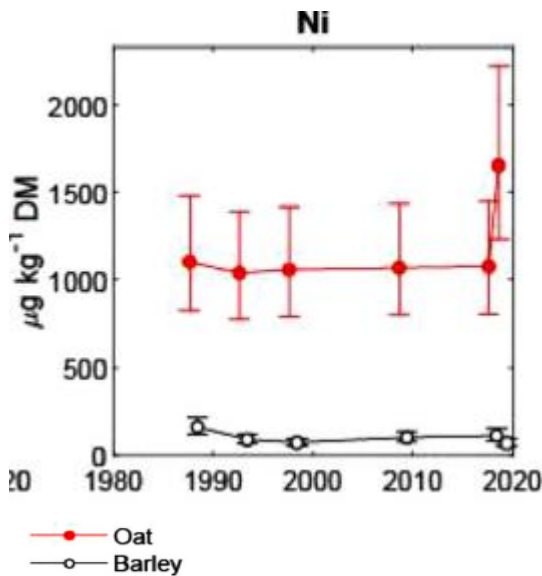
Salo ym. (2018) tarkastelivat liukoisen nikkelin pitoisuuksia myös neljän alueen välillä. Pohjois-Suomessa pitoisuudet olivat alla 1,0 mg/l, mutta nousivat 2000-vuoden jälkeen. Etelä-Suomessa pitoisuudet olivat korkeimpia (1,75–2,00 mg/l) eloperäisillä mailla ja matalimpia karkeilla mailla. Vuoden 2009 määrittämissä savimaiden ja multamaiden pitoisuudet olivat korkeampia kuin muiden maalajien (Salo ym. 2018, Taulukko 20).

Nikkelin saatavuus kasveille

Kasvien nikkelin ottoon vaikuttavat edellä luetellut maan ominaisuudet. Maan happamuuden vähentämistä pidetään tärkeimpänä keinona vähentää nikkelin ottoa (Hooda et al. 1997, Kabata-Pendias 2010, Siebielec and Chaney 2006), mutta poikkeuksia tähänkin esiintyy. Kalkitus ei välttämättä vaikuta kaikkien lajien nikkelin ottoon. Yhteenvetona on todettu, että nikkelin otto on suurempaa karkeilta ja happamilta mailta kuin savimailta, joiden pH on lähellä 7,0:aa (Hooda ym. 1997).

Kasvit ottavat vapaana maanesteessä olevaa nikkeliä helposti. Ni²⁺ -muotoa otetaan helpommin kuin kompleksoituneita muotoja, ja Ni²⁺ on myös haitallinen kasville. Kasvissa se kulkeutuu helposti ja voi kertyä sekä lehtiin että siemeniin. Nikkelin pitoisuudet ovat yleensä korkeammat siemenissä kuin kasvullisissa osissa, mutta juurten nikkelpitoisuudet ovat myös korkeat. Kasvilajien välillä on merkittäviä eroja nikkelin otossa, ja Suomessa nikkelin pitoisuudet kaurassa ovat olleet kymmenkertaiset ohraan verrattuna (Soinne ym. 2022). Ajan suhteen ei huomattu tilastollista muutosta, vaikka vuoden 2019 kauranäytteiden (n=30) nikkelpitoisuudet olivat aikaisempia vuosia suuremmat. Kauran nikkelpitoisuudet olivat muita viljoja korkeammat jo Soinin (1981) raportoimissa kokeissa vuosilta 1972–73. Kauran nikkelpitoisuudet olivat noin 4,5 mg/kg, ohran 1–3 mg/kg ja muiden viljojen 1–2 mg/kg. Ekholm ym. (1997) havaitsivat kauratuotteiden pitoisuuksien olevan 1,4–1,9 mg/kg, kun muiden viljatuotteiden pitoisuudet olivat 0,1–0,8 mg/kg.

Ruotsissa (Hamner ym. 2013) maan kokonaispitoisuuden ja jyvien nikkelpitoisuuden välillä oli positiivinen korrelaatio ($R^2=0.13$) ja negatiivinen korrelaatio maan pH-arvoon ($R^2=0.14$). Yhden pH-yksikön nousu alensi keskimäärin viljan jyvien nikkelpitoisuuksia 33 %, mutta hajonnat olivat suuria. Kauran nikkelpitoisuuksien keskiarvo oli 1,2 mg/kg, 75 % jakaumasta oli < 1,4 mg/kg ja suurin arvo oli 10,3 mg/kg (Hamner ym. 2013, n=436). Pitkäaikaisissa kenttäkokeissa havaittiin lannoituksen alentavan vehnän jyvien nikkelpitoisuuksia ilmeisesti sadon lisääntyessä ja nikkelin pitoisuuden laimenemisen myötä. Orgaanisten lannoitteiden käyttö ei nostanut vehnän jyvien nikkelpitoisuuksia, koska niiden sisältämä orgaanisesti sitoutunut nikkeli ei ilmeisesti päätynyt kasveihin (Hamner ym. 2013). Väitöskirjassaan Hamner (2016) pohtii happamuuden nikkelin ottoa lisäävän vaikutuksen näkyvän lievästi esimerkiksi maata hieman happamoittavien ammoniumsulfaattilannoitteiden erona nitraattilannoitteisiin. Ruotsissa vuosina 2011–2017 kerätyissä kauranäytteissä nikkelpitoisuus oli keskimäärin 1,1 mg/kg ja 75 % havainnoista oli alle 1,4 mg/kg (Eriksson 2021). Vuosien 2001 ja 2017 Ruotsin kauranäytteiden välillä on nähtävissä lievä alentuminen nikkelpitoisuuksissa, ja keskiarvo on laskenut 1,3:sta 1,1:een mg/kg tarkasteluajana (Eriksson 2021). Eriksson ym. (2017) pystyivät selittämään viljan jyvien nikkelpitoisuutta maan kokonaisnikkelpitoisuuden, pH:n ja orgaanisen aineksen avulla noin 59 %. Kauran jyvien nikkelpitoisuus korreloi paremmin maan nikkelpitoisuuteen kuin ohran ja vehnän jyvien pitoisuudet (Hamner 2016). Yli-Halla ja Palko (1997) tutkivat happamien sulfaattimaiden ominaisuuksien ja kauran nikkelpitoisuuksien yhteyksiä Pohjois-Suomessa. Kauran nikkelpitoisuudet korreloivat vahvasti happamuuden ja nikkelin liukoisen (AAAC-EDTA uutetun) pitoisuuden kanssa. Happamilla sulfaattimailla kauran nikkelpitoisuus oli keskimäärin 6,35 mg/kg ja muilla viljelymailla 2,7 mg/kg (Yli-Halla ja Palko 1997). Ylärinta (1996) havaitsi astiakokeessa kalkituksen vähentävän liukoisen nikkelin määrää maassa ja kasvien nikkelin ottoa. Koska jyvien nikkelpitoisuuksissa on paljon hajontaa, pienet näytemäärät eivät tunnista kauran taipumusta merkittävään nikkelin ottoon. Esimerkiksi Gruszecka-Kosowska (2020) luokitteli Puolassa kauran muita viljoja vähemmän nikkeliä ottavaksi, kun kauranäytteitä oli vain kaksi kappaletta. Latviassa kauran jyvien nikkelpitoisuudet olivat muita viljoja korkeammat (Jakobsone ym. 2015.). Kauran nikkelpitoisuuksien keskiarvo oli 1,1 mg/kg ja vaihteluväli 0,17–1,47 mg/kg, N=42). Tanskassa kuoritun kauran nikkelpitoisuus oli keskimäärin 0,77 mg/kg, kun muiden viljojen pitoisuudet olivat 0,13–24 mg/kg (Larsen ym. 2002).



Kuva 3. Kauran ja ohran nikkelpitoisuudet 1990–2019 (Soinne ym. 2022).

Bitz (2024, liite 1) on koonnut kauran nikkelin ottoon liittyviä tekijöitä kasvifysiologian ja -jalostuksen kannalta alkamassa olevaa hanketta silmällä pitäen. Haitalliset yhdisteet pois kaurasta (HAKA) tullaan vertaamaan lajikkeiden ja niiden perimän erojen vaikutusta nikkelin kertymiseen kauraan. Poulik (1997) on havainnut nikkelin kertyvän kaurassa jyvään. Poulikin (1997) kokeissa maan kokonaisnikkelipitoisuus oli 14 mg/kg ja kun nikkeliä lisättiin 100 mg/kg kauran kasvu väheni ja 150 mg/kg lisäys aiheutti näkyviä oireita ja kasvien kuolleisuus lisääntyi. Ohran kasvu on sitä vastoin heikentynyt jo nikkeliannoksen noustessa yli 10 mg/kg, kun maan oma nikkelpitoisuus oli alle 1 mg/kg (Kumar ym. 2018). Gupta ym:n (2017) kokeessa nikkeliannosten noustessa kasvualustassa yli 5,0 mg/kg viljojen kasvu heikkeni. Kauran nikkelpitoisuudet nousivat suhteessa nikkeliannoksiin. Kauran kasvu ei juuri vähentynyt, kun nikkelin pitoisuus kasvualustassa nousi 10–15 mg/kg, mutta nikkelpitoisuudet kymmenkertaistuivat juurissa 76:een mg/kg ja nousivat versossa seitsemästä viiteentoista mg/kg:ssa. Jakobsone ym. (2019) vertasivat kauralajikkeiden metallipitoisuuksia. Korkean nikkelpitoisuuden kauralajikkeessa nikkeliä oli keskimäärin 1,83 mg/kg ja matalan pitoisuuden lajikkeessa 0,45 mg/kg. Verrattaessa samanlaisissa olosuhteissa kuoretonta (naked) ja kuorellista lajiketta, kuorettoman jyvien nikkelpitoisuuden keskiarvo oli 0,76 mg/kg ja kuorellisen 1,52 mg/kg. Kolmen vuoden koesarjassa kauran nikkelpitoisuudet olivat yhtenä vuonna korkeat, 1,57 mg/kg ja kahtena vuonna matalammat, 0,73–0,94 mg/kg (Jakobsone ym. 2019). Korkean nikkelpitoisuuden aiheuttanut kasvukausi oli hieman muita lämpimämpi ja vähäsateisempi, joten satotasot saattoivat olla hieman alhaisemmat. Nikkelin kokonaismäärien massataseita on laskettu Mäkelä-Kurton ym. (2007b), Hamnerin ym. (2012), Tonutame ym. (2016) ja Salo ym. (2018) raporteissa.

Taulukko X. Nikkelin massataseen ja massatase-laskennan vaikuttavia tekijöitä.

Muuttuja	Mäkelä-Kurton ym. 2007b	Salo ym. 2018	Tonutame ym. 2016	Hamner ym. 2012
Laskeuma g/ha	1,0–1,6	1,63		2,5
Kalkitus g/ha	3,32	3,32		

Lannoitus g/ha	1,8–4,1	0,31–37,2		0,15
Maahan vuodessa	6,1–8,3	5,3–42,2		2,65
Maassa mg/kg	11–39	14		
Siirtokerroin kasviin (kasvi/maa)	-	0,008	0,03–1,0	
Jakautumiskerroin (maa/vesi)	-	1500	16760	

Mäkelä-Kurton ym. (2007b) taselaskelmissa nikkeliä maataloilla tuli eniten lannoitevalmisteiden kautta, ja maasta poistui eniten eroosioaineksen mukana. Salo ym. (2018) laskelmissa verrattiin erilaisten lannoitteiden nikkelpitoisuusrajojen vaikutuksia nikkelin taseeseen peltomaassa. Suomessa käytetyllä Siilinjärven apatiittiin perustuvalla lannoitteella vuosittaiset taseet olivat lähes 20 g/ha negatiivisia. Mikäli lannoitteiden pitoisuusrajoiksi sallitaan 100–120 mg/kg, niin taseet nousevat 10–15 g/ha positiiviseksi vuositasolla. Eniten nikkeliä poistuu maasta huuhtoutumisen ja eroosioaineksen mukana. Hamner ym. 2012 arvioivat nikkelin massataseissa huuhtoutumisen poistavan eniten nikkeliä (3,9–12 g/ha) Ruotsin maatalousmaista. Siirto- ja jakautumiskertoimet voivat vaihdella paljon, koska niiden arvot riippuvat maan pitoisuuksista ja nikkelin liukoisuuteen vaikuttavista tekijöistä.

Yhteenveto:

Kaura ottaa muita viljoja tehokkaammin nikkeliä, ja kauran jyvien nikkelpitoisuudet ovat usein kymmenkertaiset muihin viljoihin verrattuna. Kauran nikkelpitoisuutta lisäävät ensi sijassa maan kokonaisnikkelin korkea pitoisuus ja maan alhainen pH. Maan kokonaisnikkelin pitoisuus on yleensä korkeampi savimailla. Matala pH lisää yleensä kationien ottoa, joten nikkelin (Ni^{2+}) otto lisääntyy matalassa pH:ssa.

Nikkeliä voi tulla maahan lannoitteissa ja kalkitusaineissa, joten niiden nikkelpitoisuuksiin on hyödyllistä kiinnittää huomiota. Muutoin nikkelin liukoisuuden vähentämiseksi kalkitus ja maan alhaisessa pH-tilassa tapahtuvan viljelyn välttäminen ovat eduksi kasvien nikkelpitoisuuksien pitämiseksi matalana. Kauralajikkeiden välisiä eroja olisi tarpeen selvittää, mutta myös kasvukausien väliset erot näyttäisivät aiheuttavan samansuuruisia vaihtelua kuin, mitä on lajikkeiden välillä.

Kirjallisuus

Echevarria, G., Massoura, S.T., Sterckeman, T., Becquer, T., Schwartz, C. & Morel, J.L. (2006): Assessment and control of the bioavailability of nickel in soils. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 25, 643-651.

Ekholm, P., Reinivuo, H., Mattila, P., Pakkala, H., Koponen, J., Happonen, A., Hellström, J. & Ovaskainen, M-L. (2007). Changes in the mineral and trace element contents of cereals, fruits and vegetables in Finland. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20, 487-495.

Eriksson, J. (2021). *Tillståndet i svensk åkermark och gröda. Data från 2011-2017*. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet. (Ekohydrologi, 168).

Eriksson, J., Dahlin, A.S., Sohlenius, G., Söderström, M., Öborn, I. 2017. Spatial patterns of essential trace element concentrations in Swedish soils and crops. *Geoderma Regional* 10, 163-174.

Gruszecka-Kosowska, A. 2020. Human Health Risk Assessment and Potentially Harmful Element Contents in the Cereals Cultivated on Agricultural Soils. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 17, 1674; doi:10.3390/ijerph17051674

Gupta, V.; Jatav, P.K.; Verma, R.; Kothari, S.L.; Kachhwaha, S. Nickel Accumulation and Its Effect on Growth, Physiological and Biochemical Parameters in Millets and Oats. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2017, 24, 23915–23925. [CrossRef]

Hamner, K. 2016. Micronutrients in Cereal Crops. Impact of Nutrient Management and Soil Properties. Doctoral Thesis. *Acta Universitatis agriculturae Sueciae*. 2016:51.

Hamnér, K., Eriksson, J., & Kirchmann, H. (2013). Nickel in Swedish soils and cereal grain in relation to soil properties, fertilization and seed quality. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science*, 63(8), 712-722.

Hamnér, K., Kirchmann, H. & Eriksson, J. (2012). Micronutrients in Swedish Cereals. Swedish University of Agricultural Sciences. Department of Soil and Environment. Report 9. Uppsala. 35 p.

Hooda, P.S., McNutly, D., Alloway, B.J. & Aitken, M.N. (1997). Plant availability of heavy metals in soils previously amended with heavy applications of sewage sludge. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 73, 446-454.

Jākobsone, I., Kantāne, I., Zute, S., Jansone, I., & Bartkevičs, V. (2015). Macro-elements and trace elements in cereal grains cultivated in Latvia. In *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B. Natural, Exact, and Applied Sciences*. (Vol. 69, No. 4, pp. 152-157).

Jakobsone, I., Zute, S., Bleidere, M., Kantane, I., Ece, L., & Bartkevics, V. (2019). Macro and trace elements in oat cultivars bred in Latvia. *Zemdirbyste-Agriculture*, 106(1).

Kabata-Pendias, A. 2010. Trace elements in soils and plants. Fourth edition. CRC Press/Taylor and Francis Group. 520 p.

Kumar, O.; Singh, S.K.; Singh, A.P.; Yadav, S.N.; Latore, A.M. Effect of Soil Application of Nickel on Growth, Micronutrient Concentration and Uptake in Barley (*Hordeum Vulgare* L.) Grown in Inceptisols of Varanasi. *J. Plant Nutr.* **2017**, 41, 50–66. [CrossRef]

Koljonen, T. (ed.), Elo, S., Gustavsson, N., Huhma, H., Kauranne, L.K., Koljonen, T., Noras, P., Pesonen, L.J., Ruotoistenmäki, T., Saltikoff, B., Sillanpää, M., Tanskanen, H., Vaasjoki, M. and Vuorela, P. 1992. The Geochemical Atlas of Finland, Part 2: Till. Geological Survey of Finland. Espoo, 218 p.

Larsen, E. H., Andersen, N. L., Møller, A., Petersen, A., Mortensen, G. K., & Petersen, J. (2002). Monitoring the content and intake of trace elements from food in Denmark. *Food Additives & Contaminants*, 19(1), 33-46.

McBride, M.B. 1994. Environmental chemistry of soils. Oxford University Press, New York. 406 p.
Mäkelä-Kurtto, R., Eurola, M. and Laitonen, A. 2007a. Monitoring programme of Finnish arable land. *Aqua regia* extractable trace elements in cultivated soils in 1998. Agrifood Research Reports 104. 61 p.

Mäkelä-Kurtto, R., Laitonen, A., Eurola, M., Vuorinen, A., Pasanen, T., Rankanen, R., Suominen, K., Laakso, P., Tarvainen, T., Hatakka, T. and Salopelto, J. 2007b. Field balances of trace elements at farm level on selected crop and dairy farms in Finland in 2004. Agrifood Research Reports 111. 87p.

Poulik, Z. (1997) The danger of cumulation of nickel in cereals on contaminated soil, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Volume 63, Issue 1, 1997, Pages 25-29.
[https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(96\)01122-X](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(96)01122-X)

Reimann, C. 2022. Experiences from 30 years of low-density geochemical mapping at the subcontinental to continental scale in Europe. *Geochemistry; : Exploration, Environment, Analysis* 22: <https://doi.org/10.1144/geochem2022-030>

Reimann, C., Demetriades, A., Birke, M., Filzmoser, P., O'Connor, P., Halamic, J., Ladenberger, A. and the GEMAS Project Team 2014. Distribution of elements/parameters in agricultural and grazing land soil of Europe. Nickel (Ni). In: Reimann, C., Birke, M., Demetriades, A., Filzmoser, P. and O'Connor, P. (eds.). 2014. Chemistry of Europe's agricultural soils. Part A. Methodology and interpretation of the GEMAS data set. *Geologisches Jahrbuch, Reihe B, Heft 102*. 528 p.

Salo, T., Ylivainio, K., Keskinen, R., Sarvi, M., Eurola, M., Rinne, M., Ketoja, E., Mannio, J., Suomi, J., & Kivirinta, H. (2018). Assessment of risks related to increasing heavy metal limits for fertilizers in Finland. Publications of the Ministry of Agriculture and Forestry. 84 p. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-453-976-0>

Siebielec, G. and Chaney, R.L. 2006. Manganese fertilizer requirement to prevent manganese deficiency when liming to remediate Ni-phytotoxic soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 37: 163–179.

Soini, S. 1981. Esitutkimus viljojen kivennäisainepitoisuuksista ja niihin vaikuttavista tekijöistä vuosina 1970–74. Paikalliskoetoimiston tiedote N:O 15. Maatalouden tutkimuskeskus. Jokioinen 57 s.

Soinne, H., Kurkilahti, M., Heikkinen, J., Eurola, M., Uusitalo, R., Nuutinen, V., & Keskinen, R. (2022). Decadal trends in soil and grain microelement concentrations indicate mainly favourable development in Finland. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 185, 578–588. <https://doi.org/10.1002/jpln.202200141>

Tarvainen, T. and Kuusisto, E. 1999. Baltic soil survey: Finnish results. Geological Survey of Finland, Special Paper 27: 69-77.

Tõnutare, T, Astover, A, Karus, A, Orupõld, K. Riskide hindamine tervisele ning keskkonnale väetistes sisalduvatest raskmetallidest. Aruanne. Eesti Maaülikool: 2016. https://www.etag.ee/wp-content/uploads/2018/04/Raskemetallide-m%C3%B5ju-tervisele_MeM.pdf

Yli-Halla, M. & Palko, J. (1987). Mineral element content of oats in an acid sulphate soil area of Tuupos village, northern Finland. *Journal of Agricultural Science in Finland*, 59, 73-78.

Ylärinta, T. (1996). Uptake of heavy metals by plants from airborne deposition and polluted soils. *Agricultural and food science in Finland*, 5, 431-447.

Oats free of toxic and contaminant compounds 2024-2026 (Haitalliset yhdisteet pois KAurasta – HAKA)

Lidija Bitz, Luke

Ministry of Agriculture and Forestry of Finland granted financing to a project titled Oats free of toxic and contaminant compounds 2024-2026 (Haitalliset yhdisteet pois KAurasta – HAKA) to be implemented by Luke (PI Lidija Bitz; Vice PI Juho Hautsalo) and Boreal (Hanna Haikka and Outi Manninen) with co-financing from oat processing companies.

One of the challenges that are to be started in HAKA is nickel absorption, transport, and accumulation in particularly oat grains (besides cadmium). Based on previous research in Luke it has been proven that some oats are high accumulators of heavy metals e.g. oat Salo is hyper accumulator of Cd [Eurola *et al.*, 2003], up taking it mainly from soil or phosphate fertilizers while a major gene for cadmium uptake has been mapped in oat Aslak × Salo F2 segregating population [Tanhuanpää *et al.*, 2007].

The same or similar kind of knowledge is lacking for Ni (especially oat genetic and genomic response to excess of nickel) while screening of natural variation in most if not all the contemporary cultivated oats and new cultivars is missing especially for nickel. This is a rising problem altogether as EU plans regulation to lower further down already low thresholds for heavy metals.

Nickel is possible to be accumulated in oats toxic levels and the accumulation being at its highest during initial growing stages, in actively growing tissues e.g. phenotypic symptoms become visible after first emerging leaves. (Anderson *et al.*, 1973; Poulik, 1997). The highest concentration of nickel in the dry matter of oat plants was found in the initial growth stages, and with progressing growth it declined (Poulik, 1997) what might be the result of phloem efficiently translocating high level of nickel (impacting accumulation in young growing tissues) (Deng *et al.* op cit. 2018). In Arabidopsis leaf has been found to be main storage organ for nickel (Deng *et al.*, 2018) while in one example for oats, most of the nickel that was taken up was translocated into the kernels (i.e. 77.4–88.8%) (Poulik, 1997).

Genetic mechanisms and genes underlying nickel absorption, translocation and accumulation in oat tissues and organs has not been studied widely in oats if at all. However numerous studies are performed in model plant Arabidopsis. In HAKA we are going to study gene candidates described in literature and one example is the role of AtIREG2 as responsible for vacuolar loading of nickel under iron deficiency in Arabidopsis (Schaaf *et al.* 2006). This gene candidate has been blasted against annotated referenced oat genome Sang and has been found in 3 copies on chromosome 4. It is annotated as a Solute carrier family 40 member 1 i.e. iron ion transmembrane transport. Another promising example being AtIRT1 transports Ni²⁺ in roots, and strongly suggest that Ni accumulation is further accelerated by AtIRT1 that is expressed in response to excess Ni (Nishida *et al.*, 2011). When searched in Sang genome it was found out in 2 copies in oat genome.

At the same time, in HAKA, we will perform experiments similar to what has been previously done for cadmium in order to find more tuned gene candidates and try to develop gene markers to be involved in selection of oat varieties with, ideally, very low amounts of nickel in mature grains.

References:

Cadmium Contents of Oats (*Avena sativa* L.) in Official Variety, Organic Cultivation, and Nitrogen Fertilization Trials during 1997–1999. Merja Eurola, Veli Hietaniemi, Markku Kontturi, Hannu Tuuri, Juha-Matti Pihlava, Marketta Saastamoinen, Olli Rantanen, Arjo Kangas, and Markku Niskanen. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2003 51 (9), 2608-2614 DOI: 10.1021/jf020893+

A major gene for grain cadmium accumulation in oat (*Avena sativa* L.). Pirjo Tanhuanpää P. Tanhuanpää, Ruslan Kalendar R. Kalendar, Alan H. Schulman A.H. Schulman, and Elina Kiviharju E. Kiviharju. 2007 *Genome*. 50(6): 588-594. <https://doi.org/10.1139/G07-036>

AtIREG2 Encodes a Tonoplast Transport Protein Involved in Iron-dependent Nickel Detoxification in *Arabidopsis thaliana* Roots * Schaaf, Gabriel et al. *Journal of Biological Chemistry*, Volume 281, Issue 35, 25532 – 25540 DOI : <https://doi.org/10.1074/jbc.M601062200>

Sho Nishida, Chisato Tsuzuki, Aki Kato, Ayaka Aisu, Junko Yoshida, Takafumi Mizuno, AtIRT1, the Primary Iron Uptake Transporter in the Root, Mediates Excess Nickel Accumulation in *Arabidopsis thaliana*, *Plant and Cell Physiology*, Volume 52, Issue 8, August 2011, Pages 1433–1442 <https://doi.org/10.1093/pcp/pcr089>

Anderson AJ , Meyer DR Mayer FK (1973) Heavy metal toxicities: levels of nickel, cobalt and chromium in the soil and plants associated with visual symptoms and variation in growth of an oat crop. *Australian Journal of Agricultural Research* 24, 557-571. <https://doi.org/10.1071/AR9730557>

Zdenek Poulik (1997) The danger of cumulation of nickel in cereals on contaminated soil, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Volume 63, Issue 1, 1997, Pages 25-29. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(96\)01122-X](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(96)01122-X)

Deng, THB., van der Ent, A., Tang, YT. et al. Nickel hyperaccumulation mechanisms: a review on the current state of knowledge. *Plant Soil* 423, 1–11 (2018). <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-017-3539-8>