

Kiertotalouden mukainen ruoantuotanto perustuu paikallisuuteen

Kari Koppelmäki

<https://doi.org/10.51807/maaseutututkimus.129443>

Voimme kuvitella suomalaisen maalaismaiseman noin sata vuotta sitten. Näemme pellolla työmiehiä nostamassa heinää seipäille ja viereisillä pelloilla hevoset vetämässä niittokoneita osoituksena maatalouden teknologian kehityksestä. Mitä tuo maisema kertoo meille sen ajan ruoantuotannosta? Voidaan päätellä, että ruoantuotanto perustui paikallisten resurssien hyödyntämiseen. Seipäillä kuivuva heinä käytettiin todennäköisesti lypsykarjan ja työhevosten rehuksi. Lehmien ja hevosten laidunkauden ulkopuolella tuottama lanta palautettiin takaisin pelloille lannoittamaan viljelykasveja. Viljelyjärjestelmä toimi myös bioenergialla, sillä työ tehtiin hevosilla tai ihmisvoimin. Kyseessä oli paikallinen ruoantuotantojärjestelmä.

Nykyinen maaseutu näyttää erilaiselta. Työhevosten sijaan pelloilla kulkevat traktorit ja muut polttomoottorikäyttöiset työkoneet. Nämä työkoneet toimivat fossiilisella energialla, joka on mahdollisesti peräisin toiselta puolen maailmaa. Tämä fossiilinen energia on mahdollistanut ruoantuotannon voimakkaan muuttumisen. Peltotyön tehostumisen lisäksi vähintäänkin yhtä suuri vaikutus ruoantuotannon tehostumiselle oli mineraalilannoitteiden valmistuksen alkaminen 1900-luvun alussa Haber–Bosch-menetelmän mahdollistettua ilmakehän kaasumaisen typen muuttamiseen ammoniumtypeksi (Vasey 1992). Samalla ruoantuotanto muuttui riippuvaiseksi fossiilisesta energiasta, mikä mahdollisti typpilannoitteiden valmistuksen suuressa mittakaavassa.

Fossiilisten polttoaineiden käytön historia on lyhyt kattaen ainoastaan viimeiset 100–200 vuotta maatalouden noin kymmentuhatvuotisessa

historiassa. Muutokset ovat kuitenkin olleet ennen näkemättömiä. Fossiilisen energian käyttö maatalouskoneissa ja mineraalityypen valmistuksessa mahdollisti maatalouden maantieteellisen mittakaavan kasvamisen. Tämä tarkoitti muun muassa sitä, että yhä suuremmat alueet pystyttiin viljelemään monokulttuurissa, jossa kasvien ravitsemus perustui biologisen tyypen sidonnan ja ravinteiden kierrätyksen sijaan fossiilisella energialla teollisesti tuotettuihin ravinteisiin. Samaan aikaan yhä suurempi osa ihmisistä on muuttanut maaseudulta kaupunkeihin. Yhdessä ihmisten ruokavalioiden monipuolistumisen kanssa tämä on johtanut yhä enemmän ruoan globaaliin kauppaan ja kuljetuksiin.

Ennen ruoantuotannon tehostumista tuotanto perustui lähes kokonaan paikallisten resurssien hyödyntämiseen. Näin ollen myös ruoantuotannosta syntyvät ympäristövaikutukset olivat paikallisia. Tässä kohtaa on hyvä muistaa, että ruoantuotannolla on ollut merkittävät vaikutukset ympäristöön läpi sen historian (muun muassa metsän raivaus pelloksi), mutta aiemmin tietyn tuotantojärjestelmän, esimerkiksi kotieläintilan, ympäristövaikutukset rajoittuivat maantieteellisesti suhteellisen pienelle alueelle. Fossiilisen energian ja lannoitteiden käyttö mahdollisti yhä suuremman ruoantuotannon henkeä kohden, mutta samalla ruoantuotannossa alkoi uusi aikakausi jättäen ennennäkemättömän jäljen niin ympäristöön kuin maaseutuyhteisöihin (Vitousek ym. 1997; Bouwman ym. 2011). Ympäristöhaasteet sisältävät muun muassa ravinnevirtojen epätasapainon eri alueiden välillä, riippuvuuden fossiilisesta energiasta, maaperän hiilen katoamisen ja biologisen monimuotoisuuden häviämisen (Steffen ym. 2015; Kahiluoto ym. 2021).

Tarve uudelle ruoantuotantomallille

Edellä mainitut ympäristöongelmat ovat luoneet tarpeen uudentilaisille ruokajärjestelmille, jotka tuottavat riittävästi ruokaa kasvavalle väestölle mutta samalla vähentävät tuotannon ympäristövaikutuksia. Maatalousjärjestelmissä biomassan tuotanto, kasvinravinteet ja energia ovat toisiinsa kytköksissä. Biomassan tuottaminen vaatii sekä ravinteita ja energiaa. Lannoitteiden valmistukseen tarvitaan merkittävästi energiaa, joka on tällä hetkellä peräisin fossiilisista lähteistä. Toisaalta biomassaa voidaan käyttää myös ravinnelähteenä kasveille ja syötteenä energiantuotannossa.

Väitöskirjatutkimukseni tavoitteena oli luoda malli kiertotalouden mukaiselle ruoantuotannolle, jossa hyödynnetään biomassan tuotannon, siihen

tarvittavien kasvinravinteiden ja energian välistä synergiaa hyödyntämällä paikallisia resursseja kestävästi.

Malli paikallistetulle ruoantuotannolle

Väitöstutkimuksessani (Koppelmäki 2022) tutkin paikallistetun alkutuotannon vaikutuksia ruoantuotantoon ja ravinnekiertoihin maatilamittakaavasta alueelliseen ruokajärjestelmän mittakaavaan. Ensimmäisessä osatutkimuksessa (Koppelmäki ym. 2019) esittelen Hyvinkään Palopurolla sijaitsevan Palopuron agroekologisen symbioosin (AES), jota käytin mallina yhdistetylle ruoan- ja energiantuotannolle. Tämä hienon (tai ehkä myös vaikeankin) nimen omaava konsepti sai alkunsa paikallisten toimijoiden aloitteesta, jossa haluttiin lisätä paikallisten resurssien käyttöä kestäväällä tavalla sekä parantaa alkutuottajan asemaa ruokaketjussa. AES-malli perustuu alkutuotannon, elintarvikkeiden jalostuksen ja bioenergian tuotannon yhdistämiseen.

Palopurolla energiantuotanto on yhdistetty ruoantuotantoon käyttämällä luomukasvintuotannon viljelykiertoon kuuluvia viherlannoitusnurmia yhdessä lähikanalan ja hevostallien lannan kanssa syötteenä biokaasuntuotannossa. Energiantuotannon jälkeen ravinteet palautetaan takaisin peltoon lannoitteeksi mädätysjäännöksen muodossa. Tutkimuksessa tehty ex-ante -analyysi havainnollisti, miten viljelyjärjestelmä tuotti biokaasuntuotannon avulla enemmän energiaa kuin kulutti sekä tuotti suurempia satoja tehostuneen ravinteiden kierrätyksen avulla ilman, että systeemiin tuotiin uusia tuotantopanoksia.

Toisessa osatutkimuksessa (Helenius ym. 2020) avataan AES-mallin teoreettista perustaa (ks. myös Helenius ym. 2021). Ehdotan AES-mallia kiertotalouden mukaisen ruoantuotannon malliksi maatilamittakaavassa. Useat AES-järjestelmät muodostavat yhdessä agroekologisten symbioosien verkoston (NAES) edustaen paikkaperustaista ruoantuotantoverkostoa, joka tarjoaa vaihtoehdon nykyiselle keskittyneelle ruokajärjestelmälle.

Kolmannessa osatutkimuksessa (Koppelmäki ym. 2021b) tarkastelin AES-mallin mukaista ruoantuotannon ja energiantuotannon yhdistämistä skenaariotarkastelun avulla. Tässä Mäntsälän kunnan alueelle tehdyssä tarkastelussa havainnollistin, kuinka kompleksisuuden lisääminen (yksipuolisesta kasvinviljelystä omavaraisempaan kotieläintuotantoon)

vaikutti tuotetun ruoan ja bioenergian määrään, ravinteiden kierrätykseen ja maaperään lisättävän hiilisyötteen määrään. Tulokset osoittivat, että ruoantuotannon paikallistaminen integroimalla kasvi- ja kotieläintuotanto yhdessä bioenergiantuotannon kanssa lisäsi näiden ekosysteemi-palveluiden tuottamista ja vähensi ulkoistettuja vaikutuksia verrattuna alueen nykyiseen tuotantoon.

Neljännessä osatutkimuksessa (Koppelmäki ym. 2021a) laajensin maantieteellistä mittakaavaa alueelliseen ruokajärjestelmään. Esitin uuden lähestymistavan kiertotalouden arvioimiseen ruoantuotannossa: sisäkkäisten kiertojen (*nested circularity*) konseptissa kiertotalouden mukaisen ruoantuotannon oleelliset osat ovat biomassan tuotanto ruoaksi, rehuksi ja energiaksi sekä ravinteiden kierrätys. Sovelsin tätä kehikkoa kolmen ely-keskuksen alueella (Etelä-Savo, Etelä-Pohjanmaa ja Uusimaa). Tulosten mukaan alueet erosivat toisistaan suuresti kiertotalouden näkökulmasta. Kotieläintuotanto oli kuitenkin jokaisella alueella keskeisessä roolissa niin alueen ravinnekiertojen kuin ruoantuotannon näkökulmista. Kasvintuotantovaltaisen viljelyalueen (Uusimaa) rooli kotieläintuotannossa oli tuottaa merkittävä määrä alueelta poisvietävää rehua. Jokaisella alueella oli myös merkittävä potentiaali tuottaa energiaa.

Suuri osa siitä ruoasta, minkä kulutamme, kulkee elintarvikkeiden jalostuksen kautta ennen päätymistä lautasillemme. Tämän takia lisäsin viidennessä osatutkimuksessa (Koppelmäki ym. 2022) tutkimukseen tärkeän elementin, elintarvikkeiden jalostuksen. Havainnollistin, kuinka elintarvikkeiden jalostuksen paikallistaminen alueelle, jossa jalostukseen käytetty biomassa on tuotettu, vaikuttaa merkittävästi elintarvikkeiden jalostuksen taloudelliseen jakautumiseen. Tutkimuksessa oletettiin Suomen elintarvikkeiden jalostuksen olevan ”nollasummapieliä” eli jalostuksen kokonaisarvon pysyvän samana. Tällöin jalostuksen bruttoarvo ja arvonlisäys jakautuvat vain uudestaan eri alueiden välillä riippuen alueen alkutuotannon määrästä. Tutkimuksessa Suomi oli jaettu alueisiin ely-keskusten mukaan. Tulokset havainnollistavat, kuinka keskittynyttä nykyinen elintarvikkeiden jalostus on. Jalostuksen paikallistaminen tarkoittaisi, että suurimmalla osalla alueista jalostuksen arvo nousisi merkittävästi, kun taas Uudellamaalla ja Etelä-Pohjanmaalla jalostuksen arvo laskisi.

Jalostuksen paikallistamisella olisi myös toinen merkittävä vaikutus. Suurena energiankäyttäjänä elintarvikkeiden jalostus tarjoisi käyttö-

kohteen alkutuotannon energialle. Kuten väitöstutkimuksessa osoitan, maatalouden biomassat tarjoavat merkittävän energiapotentiaalin ilman kilpailua ruoantuotannon kanssa. Haasteena maatalouden biomassojen hyödyntämiseen energiantuotannossa voi kuitenkin olla se, löytyykö tuotetulle energialle kysyntää. Hajautettu elintarvikkeiden jalostus tarjoisi ratkaisun tähän haasteeseen. Tutkimukseni osoitti, että maatalouden sivuvirroista tuotettu energia tyydyttäisi alueellisessa mittakaavassa hajautetun eli paikkaperustaisen elintarvikkeiden jalostuksen energiatarpeen.

Kiertotalouden mukainen ruokajärjestelmä on paikallinen

Kiertotalouden mukaiset ruoantuotannot koostuvat biomassan alkutuotannon, ravinteiden kierrätyksen ja energiantuotannon yhdistämisestä. Oleellisissa roolissa ovat monivuotiset typensitojakasveja sisältävät nurmet, joita voidaan hyödyntää sitomaan tyyppä ilmakehästä viljelyjärjestelmään ja jotka voivat olla karjarehun lisäksi myös syötettä biokaasun tuotantoon, minkä jälkeen ravinteet voidaan hyödyntää mädätysjäätännöksessä. Kiertotalouden mukaisessa ruokajärjestelmässä biomassan tuotanto ruoaksi ja energiaksi toteutetaan mittakaavassa, joka mahdollistaa ravinteiden kierrätyksen mutta myös yhteistyön eri toimijoiden välillä.

Tarkoituksenmukainen maantieteellinen mittakaava, jossa ravinnekierrot tulisi sulkea, riippuu siitä, tarkastellaanko esimerkiksi alkutuotantoon vai ruoankulutukseen liittyviä ravinnevirtoja. Esimerkiksi kotieläintuotannon ravinnekiertojen optimoinnin tulisi tapahtua mahdollisimman pienessä mittakaavassa, koska lannan kuljetus ei ole taloudellisesti kannattavaa. Ruoankulutuksesta syntyvien ravinnekiertojen sulkeminen ei voi olla niin paikallista, koska väestö on keskittynyt kaupunkeihin. Suurkaupunkien ruoankulutuksesta syntyvien ravinnevirtojen hyödyntämien vaatii väistämättä suuremman maantieteellisen alueen kuin yksittäisten kotieläintilojen ravinteiden hyödyntäminen.

Tehokkaan ravinteiden kierrätyksen edellytys on ruoantuotannon paikallistaminen. Tämä tarkoittaa nojautumista paikallisiin resursseihin sen sijaan, että tuotantopanoksia, kuten rehua, kuljetetaan eri alueiden välillä. Ruokaa sen sijaan voidaan kuljettaa globaalistikin, koska suuri osa ihmisistä asuu alueilla, joilla on mahdotonta tuottaa riittävästi ruokaa asukkaiden tarpeeseen (Kinnunen ym. 2020).

Kiertotalouden näkökulmasta tärkeimmät kysymykset ovat: miten alkutuotanto on järjestetty kasvin- ja kotieläintuotannon osalta, missä ruoka jalostetaan elintarvikkeiksi ja missä se kulutetaan? Näiden elementtien maantieteellinen sijoittuminen vaikuttaa tuotetun ruoan määrään sekä siihen, kuinka omavarainen järjestelmä on kasvinravinteiden ja energian osalta sekä kuinka paljon ruoantuotantojärjestelmä luo taloudellista toimeentuloa alueelle.

Lisääkö paikallistettu ruoantuotanto muutostavuttavuutta?

Tätä kirjoitusta varten pohdin myös, miten paikallisuuteen perustuva ruoantuotanto vaikuttaisi Suomen ruokajärjestelmän muutostavuttavuuteen. Viimeistään viime vuosien aikana on konkreettisesti koettu nykyisen ruoantuotannon riippuvaisuus ulkoisista tuotantopanoksista. Kaupoista ruoka ei ole kuitenkaan loppunut. Itse asiassa vähittäiskauppa ja ruoantuotannon panosteellisuus ovat tehneet huipputuloksia kriiseistä huolimatta. Alkutuotannossa sen sijaan kallistunut energia ja lannoitteiden korkeat hinnat ovat aiheuttaneet viljelijöille vakavia ongelmia. Alkutuotannon kannattavuus on jo pitkään ollut heikkoa, ja tuotantoa on tuettu erilaisin kriisipaketein, vaikka suomalaiset tilat saavat Euroopan mitta-kaavassa korkeita maataloustukia. Samaan aikaan tukijärjestelmää on kritisoitu ympäristövaikutusten osalta kustannustehottomaksi (Hyvönen ym. 2020).

Suomalainen maatalous ei ole onnistunut muuttumaan toimintaympäristön muuttuessa. Tämä ei ole pelkästään tuottajien vika. Nykyinen maatalouden rakenne ja sitä ylläpitävä tukijärjestelmä toimivat omavaraisuutta vastaan. Kasvin- ja kotieläintuotannon alueellinen eriytyminen tekee ravinteiden kierrätyksen haasteelliseksi, jos ei mahdolliseksi. Mielestäni elintarvikkeiden jalostuksen vaikutukset alkutuotantoon ovat saaneet liian vähän huomiota. Sen lisäksi, että elintarvikkeiden tuotanto luo kysyntää tietynlaiselle alkutuotannolle, se vaikuttaa myös kysynnän maantieteelliseen sijaintiin. Paikallisempi elintarvikkeiden jalostus mahdollistaisi maatilojen tuottaman energian käytön elintarvikkeiden jalostuksessa lisäten näin koko ruoantuotannon omavaraisuutta.

Paikallisuuteen perustuvassa ruoantuotannossa tuottajat olisivat vähemmän alttiita ulkoisten tuotantopanosten saatavuuteen tai kustannuksiin liittyville riskeille. Sen sijaan yksittäisen tuottajan riippuvuus

paikallisista toimijoista kasvaisi. Yhdistetyissä ruoan- ja energiantuotannon malleissa, kuten Palopuron agroekologisessa symbioosissa, toimijat ovat riippuvaisia toisistaan. Yhden toimijan häviäminen voi aiheuttaa koko yhteistyömallin purkautumisen. Alueellisen tai koko maan ruokajärjestelmän tasolla tällä ei kuitenkaan ole suurta merkitystä, jos koko järjestelmä perustuisi lukuisiin paikallisiin verkostomaisesti toimiviin yhdistettyihin ruoantuotantomalleihin.

Askeleet kohti kiertotalouden mukaista ruoantuotantoa

Entä miten muutos kohti kiertotalouden mukaista ruokajärjestelmää vaikuttaisi ruoantuotannon muutosjoustavuuteen? Väitöstutkimuksessani esitän kuusi askelta nykyisen ruokajärjestelmän muuttamiseksi kohti kiertotalouden mukaista ruokajärjestelmää.

Ensimmäinen askel olisi hyödyntää mineraalityypilannoitteiden sijaan biologista typensidontaa suoraan ihmisravinnoksi, kotieläinten rehuksi tai energian lähteeksi. Tämä vähentäisi merkittävästi tarvetta ulkomailta tuleville ostopanoksille (lannoitteiden raaka-aineet ja valkuaisrehu) ja lisäisi näin maatilojen omavaraisuutta. Biologisen typensidonnan lisääminen ei vaatisi suuria rakenteellisia muutoksia ja olisi nopeasti toteutettavissa.

Toinen askel olisi kotieläintuotannon paikallistaminen perustumaan alueelliseen rehuomavaraisuuteen. Tämä olisi edellytys sille, että voidaan estää alueellisten ravinneylijäämien syntyminen. Toisaalta täyteen omavaraisuuteen nojautuminen voi olla myös riskialtista, jos rehuntuotto vaihtelee suuresti vuosittain esimerkiksi sääolosuhteista johtuen. Siksi ei ole tarkoituksenmukaista pyrkiä täydelliseen omavaraisuuteen.

Kolmas askel, ruoan- ja energiantuotannon yhdistäminen tehostamaan ravinteiden kierrätystä, voidaan nähdä myös muutosjoustavuutta lisäävänä toimenpiteenä. Energiantuotantoon käytettävästä biomassasta osa voitaisiin käyttää rehuna, jos viljelykasvien sato jää odotettua pienemmäksi.

Neljäs askel kohti kiertotalouden mukaista ruoantuotantoa olisi ruoanjalostuksen hajauttaminen lisäämään kysyntää paikalliselle tuotannolle. Tämä lisäisi tuotannon alueellista monimuotoisuutta ja samalla vähentäisi riippuvuutta yksittäisistä toimijoista.

Viides askel olisi maatalouspolitiikan kohdentamisen alueelliseksi, jotta alueiden erilaiset ympäristöolosuhteet ja maataloustuotannon nykyinen rakenne voidaan ottaa paremmin huomioon. Kuudentena askeleena tarvitaan nykyistä laajempi ruokajärjestelmän eri toimijoiden osallistuminen yhdessä paikallisen ruoantuotannon suunnitteluun. Tämä mahdollistaa edelliset askeleet kohti kestävämpää ruokajärjestelmää Suomessa.

Koppelmäki, Kari, 2022. Nested circularity: Localized food in a globalized world. Wageningen University. <https://doi.org/10.18174/574488>

Kirjallisuus

- Bouwman, L., K. K. Goldewijk, K. W. Van Der Hoek, A. H. W. Beusen, D. P. Van Vuuren, J. Willems, M. C. Rufino & E. Stehfest 2011. Exploring global changes in nitrogen and phosphorus cycles in agriculture induced by livestock production over the 1900–2050 period. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110:52, 20882–20887. <https://doi.org/10.1073/pnas.1012878108>
- Helenius, J., S. E. Hagolani-Albov & K. Koppelmäki 2020. Co-creating agroecological symbioses (AES) for sustainable food system networks. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 4, e588715. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.588715>
- Helenius, J., S. E. Hagolani-Albov & K. Koppelmäki 2021. Ruokajärjestelmän kestävyysmuutos: Elinvoimaa agroekologisista symbiooseista. *Maaseutututkimus* 29:1, 84–105. <https://journal.fi/maaseutututkimus/article/view/109036>
- Hyvönen, T., J. Heliölä, K. Koikkalainen, M. Kuussaari, R. Lemola, A. Miettinen, K. Rankinen, R. Regina & E. Turtola 2020. Maatalouden ympäristötoimenpiteiden ympäristö- ja kustannustehokkuus (MYTTEHO): Loppuraportti. Luonnonvarakeskus, Helsinki. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-919-4>
- Kahiluoto, H., K. E. Pickett & W. Steffen 2021. Global nutrient equity for people and the planet. *Nature Food* 2, 857–861. <https://doi.org/10.1038/S43016-021-00391-W>
- Kinnunen, P., J. H. A. Guillaume, M. Taka, P. D’Odorico, S. Siebert, M. J. Puma, M. Jalava & M. Kummu 2020. Local food crop production can fulfil demand for less than one-third of the population. *Nature Food* 1, 229–237. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0060-7>
- Koppelmäki, K. 2022. Nested circularity: Localized food in a globalized world. Wageningen University. <https://doi.org/10.18174/574488>
- Koppelmäki, K., J. Helenius & R. P. O. Schulte 2021a. Nested circularity in food systems: A Nordic case study on connecting biomass, nutrient and energy flows from field scale to continent. *Resources, Conservation & Recycling* 164, e105218. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105218>
- Koppelmäki, K., M. Hendriks, J. Helenius & R. P. O. Schulte 2022. Food-energy integration in primary production and food processing results in a more equal distribution of economic value across regional food systems: Nordic case study from circular perspective. *Circular Economy and Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s43615-022-00233-2>

- Koppelmäki, K., M. Lamminen, J. Helenius & R. P. O. Schulte 2021b. Smart integration of food and bioenergy production delivers on multiple ecosystem services. *Food and Energy Security* 10:2, 351–367. <https://doi.org/10.1002/fes3.279>
- Koppelmäki, K., T. Parviainen, E. Virkkunen, E. Winqvist, R. P. O. Schulte & J. Helenius 2019. Ecological intensification by integrating biogas production into nutrient cycling: Modeling the case of Agroecological Symbiosis. *Agricultural Systems* 170, 39–48. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.12.007>
- Steffen, W., K. Richardson, J. Rockström, S. E. Cornell, I. Fetzer, E. M. Bennett, R. Biggs, S. R. Carpenter, W. de Vries, C. A. de Wit, C. Folke, D. Gerten, J. Heinke, G. M. Mace, L. M. Persson, V. Ramanathan, B. Reyers & S. Sörlin 2015. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science* 347:6219. <https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- Vasey, D. E. 1992. *An ecological history of agriculture*. Ames, IA: Iowa State University Press.
- Vitousek, P. M., J. D. Aber, R. W. Howarth, G. E. Likens, P. A. Matson, D. W. Schindler, W. H. Schlesinger & D. G. Tilman 1997. Human alteration of the global nitrogen cycle: Sources and consequences. *Ecological Applications* 7:3, 737–750. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(1997\)007\[0737:HAOTGN\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(1997)007[0737:HAOTGN]2.0.CO;2)