

JUHA HELENIUS

*Professori**Helsingin yliopisto,**Ruralia-instituutti**Helsingin yliopiston**kestävyyssiiteen instituutti**HELSUS*

SOPHIA ELIZABETH

HAGOLANI-ALBOV

*Tohtorikoulutettava**Helsingin yliopiston**kestävyyssiiteen instituutti**HELSUS**Globaali kehitystutkimus,**Helsingin yliopisto*

KARI KOPPELMÄKI

*Tohtorikoulutettava**Helsingin yliopisto,**Ruralia-instituutti**Wageningen University,**Farming Systems Ecology*

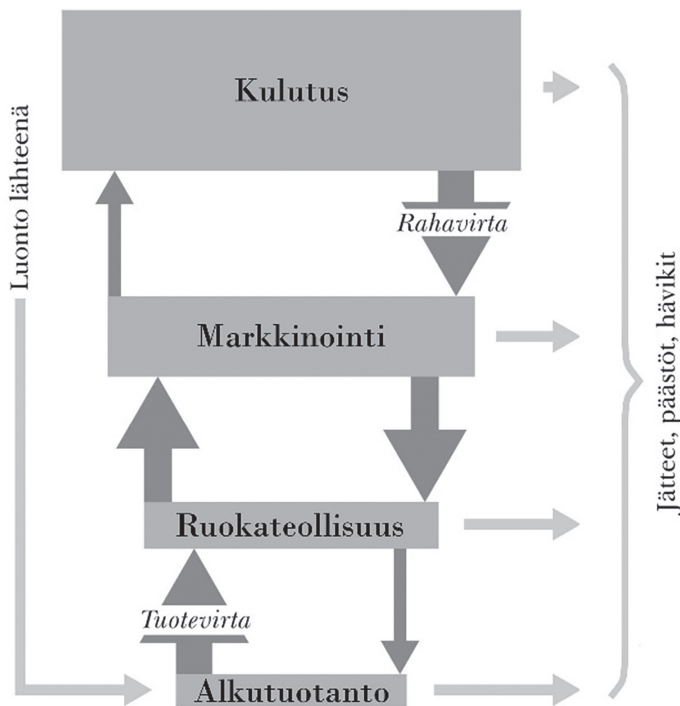
## Ruokajärjestelmän kestävyysmuutos

### Elinvoimaa agroekologisista symbiooseista

Yhä keskittyvämmän ja globalisoituvan maatalousteollisen ruokajärjestelmän kestävyysongelmat ovat käyneet ilmeisiksi. Ne ulottuvat sekä ekologiseen perustaan että talouteen ja sosiokulttuurisiin kysymyksiin. Tutkimus on analysoinut ja kuvannut nämä ongelmat varsin tarkoin, ja vaatimus järjestelmän kestävyysmuutoksesta on vallitseva. Tutkimus on tuottanut erilaisia osajärjestelmiä koskevia parannusehdotuksia, mutta ei vaihtoehtoista malleja kestäväksi järjestelmäksi. Esittelemme tässä katsauksessa agroekologisten symbioosien (AES) ruoantuotantomalliin perustuvan ehdotuksen sellaiseksi järjestelmäksi. AES:it ovat teollisen ekologian teorian mukaisia maatalouden alkutuotannon, elintarvikejalostuksen ja bioenergiantuotannon yritysytteenliittymiä. Ne edustavat ekosysteemyhteyteensä paikallistettua tuotannon mallia, joka on kestävä kierrätysbiotalouden ehtojen mukainen. Kuvailimme, miten verkostoina (NAES) toimiessaan nämä symbioosit yhdessä asiakkaidensa kanssa muodostavat kestävä, fossiilitaloudesta irrotetun, ilmastotehokkaan ja ravinteet kierrättävän ruokajärjestelmän. Esitämme, että NAES malli toteutessaan tekisi kuluttajasta ruokakansalaisen, palauttaisi hänet ekosysteemyhteyteen ja paikkaan. NAES muuntaisi maaseudut elinvoiman lähteiksi ja kestävä yhteiskuntarakenteen perustaksi.

Avainsanat: agroekologia, agroekologinen symbioosi, bioenergia, elintarvike, kestävyysmuutos, kestävä biotalous, kierrätysbiotalous, maaseutu, maatalous, post-fossiilinen, teollinen symbioosi, ravinnekierto, ruoka, yrittäjyys

**M**aaseutujen ja kaupunkien historiallinen paritanssi saavutti maatalouden teollistumisen, niin sanotun vihreän vallankumouksen yhteydessä vaiheen, jossa kaupungit veivät, maaseudut vikisivät. 1990-luvulta todella vauhdittuneessa rakennemuutoksessa yhä harvempi maatila kykeni jatkamaan. Alkoi ruokateollinen kausi. Kirkonkylien ja maaseutukaupunkien osuustoiminnalliset elintarvikeyritykset – myllyt, meijerit, teurastamot – suljettiin. Väestö harveni, ja palvelutyöpaikat esimerkiksi kyläkaupoista ja posteista menetettiin yksi toisensa jälkeen. Keskittyneen ruokateollisen mallin perusteltu kritiikki sisältää niin ympäristövaikutuksia, kansanterveyttä, ruokaturvaa, yhteiskuntaa, kulttuuria kuin taloutta koskevia argumentteja (Lang & Heasman 2004; Marsden & Sonnino 2012; Willet ym. 2019).



Kuva 1. Tavanomaista, keskittyneitä ruokajärjestelmää kuvaava "elintarvikeketju", jonka avainprosessit ovat yksisuuntainen ainevirta (vasemmat nuolet: nuolen ohentuminen kuvaa hävikkiä ainevirrassa) ja taloudellinen vaihdanta (oikeat nuolet: ohentuminen kuvaa vähenevää osuutta kassavirrassa ja tuloksessa). Malli ei sisällä ulkoisvaikutuksia eikä biofysiistä tai sosiokulttuurista yhteyttä. Laatikoiden koko kuvaa osallisten henkilöiden lukumääräsuhteita, mutta ei ole todellisia suhteita vastaava: todellinen ero on jyrkempi. (Muokattu lähteestä Helenius ym. 2020.)

Taloudellisesta näkökulmasta keskittynyt ruokateollinen järjestelmä, elintarvikeketju (Kuva 1) ja sen näennäisesti halpa ruoka luo epätasapainoa, joka näkyy paitsi maaseudun elinkeinojen karsiutumisenä, myös maatalousyrittäjien jatkuvana kannattavuuskamppailuna (Niemi & Liu 2016). Maataloudessa se on merkinnyt jatkuvan teknis-kemiallisen tehostamisen oravanpyöränä ja maanviljelijöiden ”sadan hehtaarin yksinäisyytenä”. Globaalisti järjestelmä tuottaa yhtäällä ylivitsemusta ja toisaalla aliravitsemusta ja nälkää sekä ruokavalioon palautuvia tarttumattomia sairauksia (Willet ym. 2019). Keskittyneisyys on johtanut häiriöherkkyyteen (Nyström ym. 2019), palautumiskyvyn menetykseen, josta viimeisin osoitus olivat Covid-19 pandemian iskut lihateollisuudelle ja työvoimaintensiiviselle vihannestuotannolle. Edellinen, kotimainen esimerkki haavoittuvuudesta saatiin vuoden 2010 elintarviketeollisuuden työntekijöiden lakossa. Tuolloin, ruokatehtaiden pysähtyessä, vain elintarvikeyrittäjät, pienet ja paikalliset yritykset pitivät markettien hyllytarjontaa yllä.

Sosiokulttuurisesta näkökulmasta keskittynyt, globalisoituva teollinen järjestelmä on johtanut ruokatuotteiden ja -valioiden yhdenmukaistumiseen (Khoury ym 2014), maaseutuyhteisöjen pirstaloitumiseen ja maatalousmaiseman yksitoikkoistumiseen (Jongman 2002). Kaupungistunut väestö on menettänyt kosketustaan ruoan alkuperään (Wilkins 2005; Kneafsey ym. 2008). Tälle ruoan tajun heikkenemiselle on kuvaavaa, että käsitys peltoekosysteemeistä viljely- tai rehukasvien kasvuympäristönä, niiden fotosynteesistä sekä viljelijän ja ekosysteemieliöstön yhteistyöstä puuttuu. Yhteyden menetys on myös kulttuurista: muodostuu kaupunkilaisidentiteettejä, joiden vastakohtiksi mielletään maaseutuidentiteetit. Ruoan tajun myötä katoaa vastuullisen ruokakäyttämisen ja ruokapolitiikan teon edellyttämä ymmärrys.

Yhtä lailla ympäristönäkökulma on painava. Globaalisti ruoan raaka-aineiden alkutuotanto maataloudessa muodostaa noin 10–15 % kasvihuonekaasupäästöistä, ja kun metsien ja soiden raivaus pelloiksi luetaan mukaan, osuus on jo 10–30 % (IPCC 2019), Suomessa noin 20 % kokonaispäästöistä (Regina ym. 2014). Niin kutsuttu tehotuotanto on tehokasta vain yhdellä luonnonvaramittarilla, kilomäärinä käytettyä peltopinta-alaa kohden. Muilla luonnonvara- ja ympäristötehokkuuden mittareilla korkean panosintensiteetin tuotanto on tehotonta. Viljelykasvien satojen muodostamiseen pätee vähenevän lisätuotoksen laki: esimerkiksi kasvavasta lannoitemäärästä yhä suurempi osuus päättyy kuormitukseksi

vesiin ja ilmaan. Järjestelmä ei ole kierrättävä, vaan ehtyvistä luonnonvaroista (fosfori), uusiutumattomista fossiilisista varoista ja suurilla teollisen energian panoksilla (typpi) tuotetut lannoiteravinteet käväisevät pelloilla vain kerran. Tämä on räikeä epäkohta, koska ravinnekierrätys olisi järjestettävissä (Buckwell & Nadeu 2016; Sherwood 2020; Koppelmäki ym. 2021).

Tilakohtainen ja alueellinen erikoistuminen on johtanut peltojen käytön yksipuolistumiseen, mikä on heikentänyt peltojen kuntoa, vähentänyt niiden hiilivarastoja (Heikkinen ym. 2013), johtanut viljely-ympäristöjen luonnon monimuotoisuuden köyhtymiseen (Butler ym. 2007) ja alueelliseen lannoiteravinteiden keskittymiseen (Uusitalo ym. 2007; Buckwell & Nadeu 2016; Parviainen & Helenius 2020; Koppelmäki ym. 2021). Kaikista niistä elonkehän toiminnalle kriittisistä globaalimuutoksista, joista planeettarajat (Steffen ym. 2015) on voitu määrittää, kolmen on toistaiseksi arvioitu ylittäneen vakavan riskin rajan. Nämä ovat elonkirjon köyhtyminen, typen liikakäyttö ja fosforin liikakäyttö (Campbell ym. 2017). Maatalouden osuus kaikkiin kolmeen riskirajan ylittäneeseen planetaariseen muutokseen on noin 50 % tai enemmän.

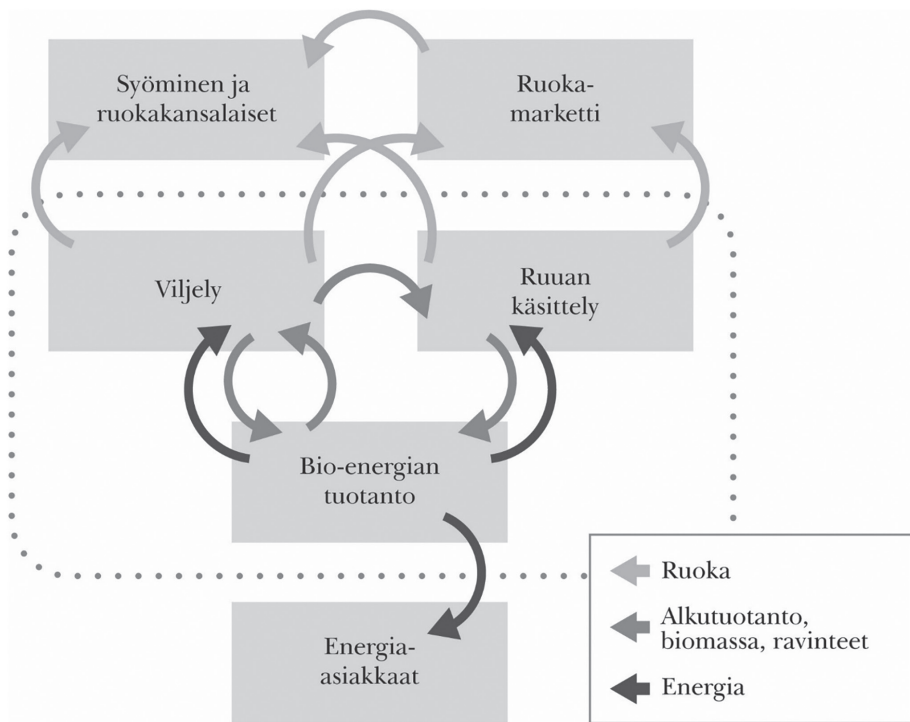
Järjestelmätason kestävyysmuutoksen tarvetta ilmentää siis moni tosiasiasta ja osa toimijoistakin. Tieteelliset analyysit ovat toistaiseksi keskittyneet systeemin osiin, mistä vaarana on osaoptimointi tai pahimmillaan epärelevanssi. Tämä on ollut erityisen ilmeistä maataloustutkimuksessa, missä esimerkiksi taloudellisen tai ympäristöllisen kestävyuden ongelmia ratkotaan annetussa systeemisessä kontekstissa. Maatalous sen enempää kuin muutkaan systeemin osat eivät kuitenkaan voi toteuttaa kestävyysmuutosta irrallaan ruokajärjestelmän kokonaisuudesta. Maatalouden ”kestävän tehostamisen” keskustelussa kylläkin jo on näkyvissä systeemiä sävyjä (Rockström ym. 2017).

Tarve järjestelmän kestävyysmuutokselle on ilmeinen. Onkin hämmästyttävää, että runsaasta epäkohtia koskevasta näytöstä huolimatta tiedossamme ei ole yhtäkään aikaisempaa ehdotusta muutoksen malliksi. Tässä katsauksessa esittelemme agroekologisiin symbiooseihin (AES; Koppelmäki ym. 2016; Helenius ym. 2017; Koppelmäki ym. 2019) perustuvan ruokajärjestelmämallin, AES-verkostomallin (networks of AES: NAES). Se on geneerinen malli, ehdotus paikallisten järjestelmien verkostoksi. Koetamme tässä artikkelissa avata, miten ruokajärjestelmän kestävyysmuutos NAES-mallin suunnassa voisi toimia maaseutujen elpymisen perustana. Nojaamme pääosin näkökohtiin, joita olemme aiemmin

esitelleet *Frontiers in Sustainable Food Systems* -sarjan julkaisussamme (Helenius ym. 2020).

## Agroekologiset symbioosit (AES) kestävässä tuotantotapana

Termi agroekologinen symbioosi on perua teollisen ekologian (Gallopoulos & Frosch 1989; Graedel & Allenby 2010) teoriasta, jolle Chertow (2000) kehitti teollisten symbioosien idean. Kysymys on sellaisten teollisten toimijoiden yhteistyöstä, jotka toimintojaan yhdistelemällä voivat hyödyntää toistensa muutoin jätteeksi tai hukkalämmöksi päätyviä materiaali- ja energiasivuvurtoja. Symbiooseissa nämä toimijat rakentavat



Kuva 2. Agroekologinen symbioosi (AES) kaaviona (pisteviivan sisällä). Se on kierrättävä, ruokaa ja bioenergiaa tuottava yritysymbioosi, jossa teollisen ekologian edut toteutuvat osallistuvien maatalousyritysten, elintarvikejalostajien ja energiayrityksen yhteistyönä. Se tuottaa paikallista ruokaa ja luo työpaikkoja. AES yhdistää tuottamansa ruoan syöjät ja konkretisoi heille ja tuottamansa bioenergian käyttäjille ekosysteemyhteyden, yhteyden paikkaan ja tuottajiin. Nuolet AES:issa kuvaavat alkutuote-, ravinnekierto- ja bioenergiavirtoja. Nuolet AES:ista kuvaavat tuotevirtoja asiakkaille. (Muokattu lähteestä Helenius ym. 2020.)

tuotantolaitoksensa fyysisesti lähekkäin, jotta keskinäiset hyödyt on helppo ja edullinen saavuttaa. AES-mallissa ei rajoituta biofysikaaliseen tehokkuuteen, vaan ajatus liikkuu kokonaisvaltaisessa kestävydessä.

Määrittelemme agroekologisen symbioosin (Kuva 2) seuraavasti: Agroekologinen symbioosi – AES – on tapa tuottaa ruoan raaka-aineet ja jalostaa ne ruoaksi siten, että maatilat, elintarvikeyritykset sekä energiantuotantoyritykset toimivat integroidusti. Yritykset toimivat fyysisesti toistensa lähellä, jotta energioiden ja materiaalien käyttö ja kierrot olisivat tehokkaita, eikä hävikkiä syntyisi. AES-ruokatuotannossa tyyppi kasvinravinteena on biologisesti sidottua, ja järjestelmän ravinnetaseet ovat ravinnekierrätyksen ansiosta tasapainossa. Energia on uusiutuvaa, ja esimerkiksi Suomen oloissa se tuotetaan järjestelmän omista biomassoista biokaasuna, AES:in omassa laitoksessa. Biokaasulaitos palvelee paitsi energiantuotannossa, myös ravinne- ja hiilenkierrätyksessä: mädätysjäännös palautetaan peltoihin orgaanisena lannoitteena ja hiilipitoisena maanparannusaineena. AES tuottaa, myy ja jakelee maatalous- ja puutarhatuotteita, jalostettuja elintarvikkeita sekä ylijäämäisen energian. Tuotannon volyymi sekä AES:n käytössä oleva peltoala määräytyvät maatalousekosysteemin biofysikaalisen potentiaalin perusteella: AES on paikallinen ja uudistaa ekosysteemipalvelut, joihin se nojaa. Biofysisten toimintojen laajuutta määrittää erityisesti biokaasusyötteiden ja kierrätyslannoitteiden logistiikka. Verkostoina AES:it luovat ruokajärjestelmän, joka luo paikallista ja alueellista elinvoimaa sekä rikastuttaa ruokakulttuureja.

Määritelmässä viitataan biofysikaaliseen kokoon, jota rajaa kestävä logistiikka. Olemme pilotoineet AES-konseptin yhdessä paikallisten yrittäjien kanssa Hyvinkään Palopuron kylässä sijaitsevassa *Palopuron symbioosissa*. Tässä tapauksessa biomassojen tuottamisen ja kuljettamisen säde talouskeskuksesta oli noin 15 km. Tämä säde siis määrittää yksittäisen AES:in toimintojen volyymiä, eikä mahdollista jatkuvaa tuotannon kasvattamista: AES-tuotantoyksikön materiaalisen kasvun raja määräytyy ekosysteemirajoihin. Tuotantotoimintojen kestävä maantieteellinen säde vaihtelee olosuhteiden mukaan, mutta rajaa AES-tuotannon aina luonteeltaan paikalliseksi noin maaseudun kylien mittakaavoissa.

## **Ruoka sitoo ihmisen ekosysteemiin ja palauttaa paikkaan**

Ruoan tuotanto perustuu erottamattomasti yhteyttävien kasvien ekologiseen perustuotantoon. Tätä tuotantoa käytetään suoraan ruoaksi (kasvi-peräiset tuotteet) tai sen avulla, rehuiksi käytettynä, tuotetaan eläinperäisiä tuotteita. Kansantalouden energiatilinpito ei seuraa väestön metabolista energiankulutusta; muut polttoaineet kirjataan, mutta ei ruokaa. Ravitsemussuositusten keskiarvon (2338 kcal per henkilö per päivä) perustella se olisi 5,52 miljoonan väestölle Suomessa 20 PJ (petajoulea) vuodessa, joka vastaa 1,43 % koko kansantalouden (muusta, teknisestä) energiankulutuksesta, kaikki käytetyt energianlähteen mukaan luettuina. Viljelykasvien auringonenergian yhteyttämistehon ja ruoaksi korjattavan osuuden sekä hävikin huomioon ottaen 20 PJ ruokaenergian tuottaminen hyödyntää auringon säteilystä noin 6–10 kertaisesti koko kansantalouden muuta energiankulutusta vastaavan energiamäärän, joka oli 1362 PJ vuonna 2019 (Tilastokeskus 2020). Peltoekosysteemien yhteyttävien viljelykasvien muodostama biologinen aurinkopaneeli käyttää siis noin 14 000 PJ bruttosäteilyn. Samalla peltoekosysteemit ovat osa luonnontalouden elämää ylläpitävää kudelmää. Näköpiirissä ei ole mitään kestävästä keinoa – tai todellista tarvetta – viljelykasvien yhteyttämiseen perustuvan ruoantuotannon korvaamiseen esimerkiksi bioteknologisilla menetelmillä.

Tämä ruoantuotannon peruskoneisto vaatii esimerkiksi suomalaisten ruokkimiseksi nykyruokavalioidella ja järjestelmän nykyrakenteella noin 2,2 miljoonaa kotimaista maatalousmaa-hehtaaria, sekä lisäksi noin 0,25 miljoonaa ulkomaista peltohehtaaria (Sandström ym. 2014). Nämä yhteensä noin 2,5 miljoonaa peltohehtaaria (25 000 km<sup>2</sup> peltoa) eivät ole pakattavissa päällekkäin (esimerkiksi kaupunkialueille), eivätkä ole järjesteltävissä yhdeksi kuvioksi, vaan ne ovat maaperä, vesi- ja ilmasto-olojen määrittämänä hajallaan siellä täällä, paikoissa jonne väestömme on aikoinaan ne ymmärtänyt raivata. Samalla on syntynyt maatalouden määrittämä runkoasutus. Hehtaarit eivät myöskään ole kestävästi siirrettävissä ulkomaille, ruoantuotanto ulkoistettavissa, sillä globaalisti maatalousmaa henkeä kohden vähenee. Maataloudellinen maankäyttö on jo ylittänyt planeettarajat (Foley ym. 2011; Campbell ym. 2017).

Kasvinravinteiden kierto on osa elonkehän toimintaa. Maatalous- ja ruokasektorilla kierrätystavoitteet koskevat erityisesti ruoka- ja rehukasvien kasvatukseen vaadittavia kasvinravinne-alkuaineita eli lannoiteravinteita. Sen enempää Suomessa (Parviainen & Helenius 2020) kuin

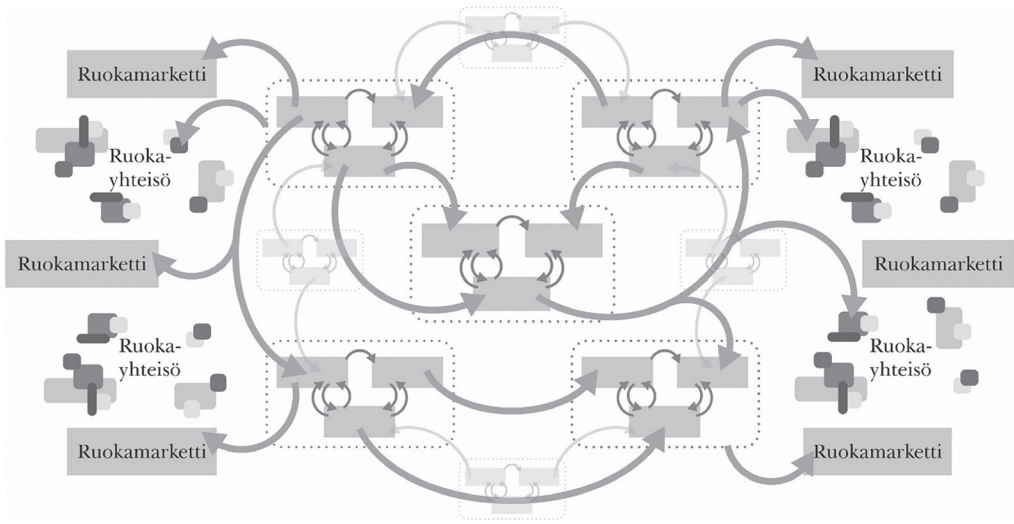
muuallakaan Euroopassa (Buckwell & Nadeu 2016) keskittynyt ruokateollinen järjestelmä ei osallistu kiertotaloustalkoisiin: peruskonseptiin ei sisälly kierrätys (vrt. Kuva 1). Ruokajärjestelmässä kierrätyksen avainravinteet ja samalla kierrätysasteen indikaattorit ovat typpi ja fosfori. Suomen kansantalouden lannoiteravinnetaset on noin 24 miljoonaa typpi- ja 2,5 miljoonaa fosforikiloa ylijäämäiset (Parviainen & Helenius 2020). Tämä tuonnin ylijäämä syntyy sekä lannoitteiden että erityisesti ruoan ja rehun tuonnista, ja on täten osallisena vesistöjen (molemmat ravinteet, esim. Tattari ym. 2015) sekä ilmakehän (typpi dityppioksidina, kts. Regina ym. 2014) kuormitukseen.

Fosfori on uusiutumaton kaivannainen, luonnonvara jonka varannot ehtyvät ja ovat jo globaalisti niukat. Typpi on käytännössä kylläkin ehtymätön vara, koska se on ilmakehän valtakaasu ei-reaktiivisessa kaksiatomisessa muodossaan. Kuitenkin typen valmistus lannoiteravinteeksi perustuu ehtyvään luonnonvaraan, maakaasuun, ja sen valmistus on erityisen energia-intensiivistä. Molempien kasvinravinteiden käyttö on globaalisti ylittänyt niin sanotut planeettarajat, eli niiden nykyinen käyttötapa aiheuttaa korkean riskin pysyvästä haitallisesta vaikutuksesta biosfäärille (Campbell ym. 2017). Koska Suomi on osallinen globaaleihin ravinnevertoihin, lannoiteravinteiden kiertotaloustavoitteen tulee myös Suomen osalta koskea paitsi kansallisia myös globaaleja virtoja. Ruoantuotanto on kiertotalouden ytimessä, eikä sitä voi käsitellä erillisenä osaluueena. Esimerkiksi EU:ssa yli 80 % biomassan tuotannosta liittyy ruoantuotantoon (Sherwood 2020).

Ruoantuotannon pohjautumisesta ekosysteemiin, mihin kiertotalousvaatimus myös palautuu, muodostuu sen maantieteellisen sijoittumisen, paikallisuuden ja hajautettisuuden perusta. Toisin kuin keskittynyt ruokateollinen järjestelmä, AES on tähän ihmisen ruokaekologiseen tosiasiaan sopeutuva ja siis ekologisesti kestävä malli. Se ei kuluta energiaa, vaan ruoan lisäksi tuottaa kestävää bioenergiaa ja kierrättää ravinteet luontaisesti (Koppelmäki ym. 2019).

Ruoan energia- ja ravintoainesisällöistä noin 95 % on peräisin maatalousekosysteemeistä. Tietoisuus tästä ja ruoasta ekosysteemien tarjoamana henkilökohtaisena, päivittäin useita kertoja toistuvana tuotannollisena palveluna on ruoan tajun perusta. Leipä on luontoyhteyden arjen sakramentti. Ruoan taju puolestaan on välttämätöntä tuotannon järjestelmän paikallistamiseksi takaisin ekosysteemiensä mittakaavaan ja sopeuttamiseen ekosysteemiensä kestävä toiminnan ehtoihin (Murdoch ym. 2000;





Kuva 3. Agroekologiset symbioosit (AES: kaaviossa havainnollistettuna kahdeksan symbioosia kuvan keskellä, vrt. kuva 2) muodostavat tuotantoverkoston. Kun markettien, ruokapalvelujen ja suurtalouksien ruokatarjonta perustuu AES-verkostoon, muodostuu paikallistettu, ilmastotehokas, bioenergiaomavarainen ja kiertotaloutta toteuttava ruokajärjestelmä (NAES). NAES on avoin järjestelmä: keskenään ja sisäkkäin alueilta kansallisiksi ja globaaleiksi verkostoituneina ne tarjoavat kestävän vaihtoehdon keskittyneelle ruokateolliselle järjestelmälle. Omaksi koettu paikallinen NAES tarjoaa syöjälle mahdollisuuden nousta kuluttajuudesta ruokayhteisön jäseneksi, oman ruokansa agroekologiseen ja sosioekonomiseen kontekstiin. (Muokattu lähteestä Helenius ym. 2020.)

Feagan 2007). Paikka on olennainen käsite sekä tuottajalle että kuluttajalle, koska se yhdistää sekä biofysikaalisen että sosiokulttuurisen ulottuvuuden ruokatuotteiden arvottamisessa (Feagan 2007; Cresswell 2013). Pitkät kuljetusmatkat konkreettisesti etäännyttävät kuluttajaa ruoan alkuperästä, siis paikasta, tuottajista ja tuotannon kulttuurista (Foster 1999; Wittman 2009; Schneider & McMichael 2010; Dorninger ym. 2017), mikä luo harhaista ruokakäsitystä; todellisuudessa kuljetusmatka ei millään tavoin katkaise perustavaa biofysikaalista yhteyttä ruoan syöjästä ruoan viljelyekosysteemiin. Ruoan taju on myös ehto vastapalvelulle: ruoka on ekosysteemin tuotannollinen palvelu, ja samanaikaisesti ekosysteemit tarvitsevat vastapalveluksia kestävästi toimiakseen. Minkä otat, sen annat takaisin.

Ruokajärjestelmien on oltava sekä sopeutuvia että sietäviä. Niiden tulee jatkossakin olla paitsi paikallisia myös globaalisti toimivia, mutta ei

keskittyneitä. Globaali keskittyneisyys vaarantaa ruokajärjestelmien häiriönsietävyyden ja siis ruokaturvan (Nyström ym. 2019). Ruokajärjestelmän biofysikaalisen perustan ekosysteemisyydestä johtuu, että sopeutuvuuden ja sietävyyden on toteuduttava jokaisessa paikassa, jossa tuotanto tapahtuu, jokaisella peltolohkolla. Tähän AES on suunniteltu. Samalla AES antaa ruoalle konkreettisen paikan, joka voidaan kirjoittaa tuotepakkaukseen.

## **Agroekologisten symbioosien verkosto (NAES) kestävän ruokajärjestelmän perustana**

Toisiaan täydentävät AES:t, jotka ovat vuorovaikutuksessa keskenään, muodostavat perustan kestäväälle ruokajärjestelmälle. Käsitteellisesti agroekologisten symbioosin verkosto (NAES) edustaa hajautettua elintarvikkeiden tuotantomallia (Kuva 3). Siinä alkutuotannon ja ruoanjalostuksen välinen vertikaalinen integraatio (vrt. Kuva 1) on reformoitu: viljelijä suuntaa tuotantonsa palvelemaan omaa AES:iin, joka puolestaan erikoistuu osaksi NAES:iin.

Määritelmän mukaan NAES on siis usean agroekologisen symbioosin paikallinen verkosto. NAES muodostaa perustan paikalliselle ruokajärjestelmälle, kun se tuottaa ruokatuotteita ja oheistuotteena oman tarpeen ylittävää bioenergiaa agroekologisessa kontekstissaan markkinoille ja ihmisille, jotka niitä kuluttavat. Metaverkostona, verkostojen verkostona NAES:it laajentuvat paikallisesta kansalliseksi ja globaaliksi. NAES sisältää myös tavanomaisesta tuotantoketjusta puuttuvan horisontaalisen (seudullisen) integraation. Tämä perustuu toimijoiden maantieteelliseen läheisyyteen ja mittakaavaan, joka on yhteensopiva ekosysteemien toiminnan kanssa. Käytännössä toiminnan maantieteellinen mittakaava määrittyy biomassojen, kuten lannan ja bioenergian syötteen, kiertotaloudellisesti kannattavien kuljetusetäisyyksien mukaan. Ruokaan NAES lisää läpinäkyvyyden, jota keskittynyt järjestelmä voi vain keinotekoisesti tavoitella, koska ketju hukkaa tuotteensa alkuperän matkalla ”pellolta pöytään”. Tieto ja paikallisuuden kokemus toteuttavat ruokasuvereniteettia, vetävät kuluttajan oman ruokajärjestelmänsä jäsenyyteen, nostavat hänet kuluttajuuden yläpuolelle ekosysteemiyhteyteen ja ruokakan-salaisuuteen.

NAES-malli on yhteensopiva Wezelin ym. (2016) aiemmin ehdottaman ”agroekologisten alueiden” (*agoroecology territories*) käsitteen kanssa.

Agroekologisten alueiden käsite painottaa maatalouskäytäntöjen sopeutumista paikallisiin ja alueellisiin agroekologisiin olosuhteisiin osana ruokajärjestelmää. Wezelin ym. (2016) listaa alueiden sisäisen biodiversiteetin ja luonnonvarojen suojelun ehtona biofysikaaliselle sopeutumiselle. Ruokajärjestelmän sopeuttaminen ekosysteemien kestävyysrajoihin ja turvalliseen toimintatilaan (*safe operating space*) ei ole yhteensopiva julkisessa keskustelussa ja jopa ruokajärjestelmätutkimuksessa toistellun lähtökohtaisen argumentin kanssa, jonka mukaan globaali kasvava väestö pitää ”ruokkia”, vaikka (ekologisen) kestävyyskustannuksella. Argumentti on paitsi paradoksi, myös tarpeeton, koska riittävä, hyvä ravitsemus on tuotettavissa kestävästi. Kaikilla viljelykäytäntöjen, ruokavalioiden, ruokakulttuurien ja ennakoitujen väestökoon, noin kymmenen miljardin, yhdistelmällä on biosfäärin kantokyvyn asettama katto. Nykyisellä yhdistelmällä se ylittyy, mutta kestävä hyvinvoinnin kannalta riittävä, sosiaalisesti hyväksyttävä yhdistelmä on esimerkiksi NAES-järjestelmässä tarjolla.

NAES johtaisi yleisenä mallina ”glokalisoituun” (esim. Quaye ym. 2010) ja hajautettuun elintarvikkeiden tuotantojärjestelmään. Ruokakulttuurien osalta tämä tarkoittaisi monipuolistumista, diversifikaatiota, ja kääntäisi nykyisen yksipuolistumisen eli homogenisaation suuntauksen (Ritzer 2013; Clapp 2016). Tällainen uudelleenjärjestely parantaisi maaseudun toimeentuloa ja vaikuttaisi yhteiskunnan rakenteelliseen kehitykseen, mukaan lukien nykyinen kestävä ja fossiilisen energian viimeisillä tuprahduksilla yhä etenevä kaupungistumisen suuntaus kohti metropoleja.

## **NAES resurssien käytön tehokkuuden, riittävyyden ja yhteensopivuuden näkökulmista**

Huberin (2000) esittämässä viitekehityksessä kestävyysmuutoksen tulee sisältää toisiaan täydentävät resurssien käytön (eko-)tehokkuuden (*efficiency*), riittävyyden (*sufficiency*) ja yhteensopivuuden (*consistency*) kriteerit. Näistä tehokkuus liittyy eniten itse tuotantoon ja sen järjestämiseen, kun taas riittävyydellä ja yhteensopivuudella on laajempi sosioekonominen ulottuvuus.

## ***Tehokkuus***

Suppeasti tarkasteltuna – ja valitettavan usein – ruoan tuotannon tehokkuus liitetään maataloudessa tuotettujen satojen ja tuotosten määrään suhteessa käytettyihin tuotantopanoksiin. Mittareita tässä ovat kasvin-tuotannon hehtaarisadot, kotieläinten tuotokset ja lannoiteravinteiden sekä rehunkäytön hyötysuhde. Nämäkin ovat oikein tulkittuina tärkeitä, mutta useimmiten ne tulkitaan väärin, eivätkä ne ole yksinään riittäviä mittareita. Ekologinen tehokkuus ontuu nykyjärjestelmässä eniten ruo-ankulutuksessa ja siinä, miten paljon ruokaa haaskataan (Katajajuuri ym. 2014; Poore & Nemecek 2018). Koska ruokajärjestelmän perimmäinen (yhteiskunnallinen) tarkoitus on turvata kansalaisten riittävä, terveellinen ravitsemus, myös järjestelmän luonnonvara- ja ympäristötehokkuutta tulisi mitata tuotettua hyvää ravitsemusta vasten (Saarinen ym. 2017).

Maatalous käyttää eniten luonnonvaroja ja aiheuttaa luonnollisesti ruokajärjestelmän suurimmat ympäristövaikutukset. Yksittäisen pellon tai maatalan tasolla hehtaarisatojen ja kotieläintuotoksien mittaaminen on mielekästä, vaikka nämä tehokkuuden mittarit eivät suinkaan ole riittäviä edes tällä tarkastelutasolla. Kun arvioidaan maatalouden kokonaisuutta, ne lakkaavat olemasta mielekkäitä. Esimerkiksi Etelä-Pohjanmaalla tilakohtaiset sadot sekä kasvi- ja kotieläintuotannon tuotokset ovat Suomen mittakaavassa suuria. Tehokkuus on kuitenkin näennäistä, sillä alueen tuotanto nojaa suurelta osin sen ulkopuolelta, erityisesti Etelä-Suomesta ja ulkomailta (Parviainen & Helenius 2020) tuleviin ravinnevirtoihin, kuten lannoitteisiin ja rehuihin.

Todellinen käytössä oleva peltoala, todella käytetyt luonnonvarat ja ympäristövaikutukset muodostuvat siis paljon Etelä-Pohjanmaan lakeuksien peltohehtaareja suuremmalla maatalousalueella (Koppelmäki ym. 2021). Lisäksi alue tuottaa runsaasti kotieläintuotteita. Sen tehokkuus riippuu muun muassa siitä, tuleeko tämä tuotanto osaksi hyvää ruokavaliota vai myötävaikuttaako se kansanterveyden kannalta liialliseen eläintuotteiden kulutukseen. Tämä puolestaan ei ole alueen maanviljelijöiden eikä edes alueen maatalouden vastuulla vaan laajemmin suomalaisen ruokajärjestelmän vastuulla. Esimerkin tarkoituksena on havainnollistaa, että ruoantuotannon (eko)tehokkuutta ei voi päätellä järjestelmän yksittäisen osan tarkastelusta.

Nykyisen maatalouden tilakohtaiseen hehtaarisato- ja eläinyksikkötehokkuuteen on vaikuttanut merkittävästi kaksi kehityskulkua. Ensimmäkin väkirehujen matala kuljetuskustannus on mahdollistanut kotieläintilojen alueellisen keskittymisen ja eriytymisen paikallisesta rehuntuotannosta. Toiseksi mineraalilannoitteet ovat mahdollistaneet hehtaarikohtaisen tuotoksen kasvattamisen ilman tarvetta kierrättää kasvinravinteita. Näiden seikkojen tuloksena tilat ovat erikoistuneet maatila- ja aluetasolla, mikä on johtanut ravinteiden alueelliseen keskittymiseen (Buckwell & Nadeu 2016; Schulte ym. 2019; Parviainen & Helenius 2020; Koppelmäki ym. 2021). Vaikka hehtaari- ja eläinyksikkökohtainen tuottavuus on kasvanut, kasvinravinteiden käytön ja ruoantuotannon tehokkuus systeemitasolla on dramaattisesti laskenut.

Osasysteemin tehostamisen sijaan NAES tähtää erityisesti koko systeemitason tehokkuuden parantamiseen. Esimerkiksi ravinnekierrätys AES:in ehtona sovittaa kotieläintuotteita tuottavassa (N)AES:issa kotieläinten määrän yhteen paikallisen rehuntuotannon kanssa. Tällöin ruoantuotannon tehokkuus kasvaa systeemitasolla mitattuna (Koppelmäki ym. 2021). Sen edellyttäminen, että omista biomassoista tuotettu bioenergia yhdistetään peltomaiden biologiseen typensidontaan ja ravinteiden kierrätykseen tekee NAES:ista selvästi ilmastotehokkaamman kuin nykyinen vallitseva tuotantotapa on (Helenius & Koppelmäki 2020). Lisäksi monivuotisten nurmien viljely viljelykierrässä ja orgaanisten lannoitteiden käyttö lisäävät hiilensidontaa maahan, nostavat multavuutta ja parantavat maan rakennetta.

Alkutuotannon ja elintarvikkeiden jalostuksen NAES-mallin mukainen uudistaminen lisää tehokkuutta ruokajärjestelmätasolla. Nykyiseen järjestelmään verrattuna NAES pystyy tuottamaan enemmän ruokaa pinta-alaa kohden pienemmillä negatiivisilla ympäristövaikutuksilla (Koppelmäki ym. 2021). Tämä tarkoittaa ruoantuotannon panosintensiteetin vähentämistä alueilla, joiden ruoantuotanto perustuu tuontipanoksiin, kuten kotieläinten tuontiväkirehuihin. Toisaalta ruoantuotantoa voidaan kestävästi lisätä alueilla, joilla suuri osuus kasvintuotannosta on ollut muille alueille vietäväksi tarkoitettun rehun tuotantoa. Ruokajärjestelmän kestävyys ehtona on, että tuotanto perustuu uusiutuvien luonnonvarojen uudistavaan käyttöön, kuten on AES-mallissa. Tavanomaisessa ruokaketjussa maatalous nojautuu ulkoisiin tuotantopanoksiin kuten mineraalilannoitteisiin ja uusiutumattomaan energiaan. Suuri osa maatalouden materiaalivirroista liittyy intensiiviseen kotieläintalouteen, joka

on keskittänyt ravinteita kotieläintiloille ja kotieläinvaltaisille alueille (Buckwell & Nadeu 2016; Uwizeye 2016; Spiegel ym. 2020; Koppelmäki ym. 2021).

## **Riittävyys**

Huberin (2000) mukaan tehokkuus tulee valjastaa riittävyyden palvelukseen. Riittävyys viittaa tarpeisiin, kulutustottumuksiin ja elämäntapoihin ja kysyy, kuinka paljon on tarpeeksi. Viime kädessä riittävän tarpeiden tyydyttämisen, tyytymisen siihen mikä on riittävää, on oltava yhteensopivaa myös planeettarajojen, ekosysteemien toiminnan ja luonnonvarojen riittävyyden kanssa. Ruokajärjestelmissä tärkeimmät tähän liittyvät tekijät ovat väestön koko ja ruokavalio, jotka molemmat puolestaan ovat kytkeytyneitä taloudelliseen vaurauteen. Riittävyyden näkökulmasta se ”mikä on tarpeeksi” ei voi ylittää ekosysteemin rajoja nykyhetkellä eikä tulevaisuudessa.

Maatalouden yksikkösatojen ja -tuotosten tehostaminen johtaa vain hetkelliseen helpotukseen. Yhden ihmisen ruokkimiseen tarvittavan maan koko on pienentynyt viimeisten vuosikymmenien aikana, mutta väestönkasvu ja ruokavaliomuutokset ovat peitonneet maatalouden tehostamisella saavutetut hyödyt (Kastner ym. 2012). Tarve ruokavalioiden muutokselle (Foley ym. 2011; Poore & Nemecek 2018; Willet ym. 2019), mutta myös väestön kasvun kontrolloimiselle (Crist ym. 2017) on tunnistettu globaalisti. ”Kestävä tehostaminen” (Rockström ym. 2017) on kestävää kunnes ekologiset rajat tulevat vastaan. Tehostaminen ei myöskään auta, jos väestön kasvu syö tehostamishyödyt. Todellinen (eko) tehostaminen tarkoittaa maataloudessa yksikkösatojen ja -tuotosten laskua tilanteissa, joissa kestävästi saavutettava yksikkösato ja -tuotos on ylitetty. Tämä tarkoittaa panosintensiteetin laskemista per yksikkö panos-tehokkuuden kasvattamiseksi. Viljelyjärjestelmissä, joissa esimerkiksi ravinteiden kierrätys on puutteellista tai maan kasvukunto on heikentynyt, agroekologinen tehostaminen voi merkitä myös huomattavia yksikkösatojen ja -tuotosten lisäyksiä (Pretty ym. 2006).

Riittävyyteen ruokajärjestelmässä liittyy myös kysymys tuontielintarvikkeista. Useissa tapauksissa paikallinen ruoantuotanto voisi tuottaa vastaavan ravitsemuksen, määrällisesti ja laadullisesti. Esimerkiksi Pohjoismaissa marjat, joita puutarhatuotannon lisäksi on vapaasti poimittavissa metsistä, voisivat korvata eksoottisia hedelmiä. Näiden paikallisten

resurssien parempi hyödyntäminen vähentää tuotannon ulkoisvaikutuksia ja tuo paikallista lisäarvoa. On myös eettinen kysymys, onko oikein painaa raskas ruokajalanjälki maihin ja alueille, joilla väestöjen oma ruokaturva on heikko.

### ***Yhteensopivuus***

Huberin (2000) kehyksessä yhteensopivuus, koherenssi, tarkoittaa tuotannon ja kulutuksen järjestelmän ekotehokkuutta ja riittävyttä kokonaisvaltaisen kestävyuden (*sustainability*) ehdoilla. NAES-mallin yhteensopivuutta voi arvioida esimerkiksi kestävä kehityksen globaalissa toimintaohjelmassa, Agenda2030:ssa (YK 2015; VN 2020) kuvattujen tavoitteiden kautta. Sillä varauksella, että NAES ei sisällä taloudellisen kasvun kyseenalaista (kts. esim. Lyytimäki ym. 2016; Dasgupta 2021) lähtökohtaa, se on kaikkien tavoitteiden kanssa yhteensopiva, vähintään yhteen sovitettavissa. Kuten johdannossa kuvasimme, vallitseva keskitynyt ruokajärjestelmä puolestaan ei ole yhteensopiva kestävyystavoitteiden kanssa, eikä se ole sellaiseksi säädeltävissä, vaan vaatii systeemisen transformaation mielellään heti. NAES sisältää ekologisten etujensa lisäksi kestävä ruokaturvaa, ruokasuvereniteettia, kansalaisuutta, osallistumista ja globaalia tasa-arvoa tuottavia ominaisuuksia, ja se antaa lähtökohdan sekä tuotannon että kulutuksen toimijoiden taloudelliselle tasa-arvolle, oikeudenmukaisuudelle ja reiluudelle. NAES-mallia ei ole tarkoitettu ylhäältä alaspäin suunnatuksi, jäykäksi tulkinnaiseksi ruokajärjestelmäksi, vaan malliksi, joka kestävyuden rajoissa muokkautuu osallistuvien ihmisten ja heidän yritystensä luovuuden ja motivaation mukaisesti.

### **Visio agroekologisten symbioosien verkostoista maaseuduille**

Monet yhteiskunnan rakenteet ja infrastruktuurit ovat muotoutuneet fossiilitalouden myötä, erityisesti öljyn hyödyntämisen aikakaudella. Keskitynyt ruokajärjestelmä ei ole poikkeus. Myös maatalouden rakenneuudistus ja maaseutujen elinvoiman menetys palautuvat fossiilitalouteen, halvaksi hinnoiteltuun mutta kalliiksi käyneeseen öljyyn (Floyd ym. 2020; Lehtinen & Kallio 2020). Kestävä ruokajärjestelmän mallina NAES (Helenius ym. 2020) on visio, jossa ihmisen ekologian fundamentit, energian uusiutuvuuden, ekosysteemyhteyden ja biogeokemiallisen

kierron vaatimukset toteutuvat, maaseudut näyttäytyvät voimavarana ja alueellisen hyvinvoinnin kasvun resurssina; elinvoima palaa todelliselle lähteelleen. Transformaation aloittaminen on mahdollista heti, kuten AES-pilottimme Palopurossa osoittaa. Muutospolitiikassa tarvitaan ensi sijassa mahdollistamista, ja vasta toissijaisesti keppejä ja porkkananoita. Mahdollistamisella viittamme sellaisten muutosta estävien tai hidastavien hallinnollisten esteiden ja jäykkyyksien poistamiseen, joita vallitseva järjestelmä on tahattomasti tuottanut (Edmondson ym. 2019).

Siinä missä omavaraistalouden maatilat ja kylät muodostivat maatalousyhteiskunnan rungon ja määrittivät yhteiskuntarakennetta, NAES-ruokajärjestelmä muodostaa ekologisesti sopeutuneen, sosiaalisesti kestävän ja taloudellisesti riittävän fossiili- ja urbaanitalouden jälkeisen hyvinvointiyhteiskunnan kestävän ruokaturvan ja rakenteellisen rungon. NAES on AES-yritysyhteenliittymien ja asiakkaiden toiminnallinen verkosto, joka palauttaa osallistujansa ekosysteemiin ja paikkaan. Se tuo investointeja ja työtä, luo uusia työpaikkoja ja uusia työnkuvia kyliin ja maaseutukaupunkeihin. Verkoston osana yksittäinen AES voi erikoistua. Sen tuotteet voivat olla kulutustuotteita tai alihankintaa verkoston muille AES:eille. Verkostot ovat monitasoisia, eri kokoisia seudullisiin alueellisiin, kansallisiin ja globaaleihin. AES-yrittäjällä voi olla tuotantolaitos useassa eri AES:issa, mutta toiminta säilyy yrittämisenä. Lisäarvo muodostuu seu-  
duilla ja vankistaa seutujen taloutta.

Uskomme mallin olevan soveltuva, mutta emme ole tutkineet sitä yhteiskunnallisesta ja taloudellisesta näkökulmasta. Meille ei ole selvää, millaiset yhtiö- tai osuustoimintamuodot olisivat soveltuvimpia, ja millaiset ruoan markkinoiden mallit olisivat. On ilmeistä, että digitalisaatio on osaltaan merkittävä mahdollistaja, välttämättömyys NAES-järjestelmälle. Miten teollisen ruokajärjestelmä, niin sanotut isot toimijat näkevät tämän mallin? Se ei selvästikään perustu samaan rajakustannusten alentamisen logiikkaan, suuruuden ekonomiaan. Se ei myöskään perustu ulkoisvaikutusten jättämiseen hinnoista pois. Entä näkeekö ruokakauppa tämän mahdollisuutenaan?



Kiitokset: Yhteiskehittelyn prosessista Palopuron symbioosissa kiitämme yrittäjiä Markus Eerolaa, Peter Zukalea ja Jukka Kivelää. Kannustuksesta ja ideoinnista kiitämme ohjausryhmän jäseniä RAKI-ohjelman hallinnosta Tarja Haarasta ja Marja-Liisa Tapio-Biströmiä. Kiitämme tutkijakollegoitamme, erityisesti Susanna Kujalaa, Tuure Parviaista, Ari-Matti Seppästä, Elina Virkkusta ja Erika Winquistia. Lämmin kiitos tutkijoille Janne Salovaara ja Pascal Hagolani grafiikoiden toteuttamisesta. Vertaisarvioijaa kiitämme kannustavasta kritiikistä ja lukuisista parannusehdotuksista. Agroekologisten symbioosien tutkimustyötämme ovat rahoittaneet Ympäristöministeriö YM52/481/2015 ja YM73/481/2017 rahoituspäätökset) sekä Etelä-Savon maakuntaliitto Euroopan aluekehitysrahastosta (EURA2014/7916/09 02 01 01/2019/ESAVO).

## Lähteet

- Buckwell, Alan & Elisabet Nadeu 2016. Nutrient Recovery and Reuse (NRR) in European agriculture. A review of the issues, opportunities, and actions. RISE Foundation, Brussels. Saatavilla [https://www.organicseurope.bio/content/uploads/2020/06/2016\\_RISE\\_NRR\\_Full\\_EN\\_compressed.pdf?d](https://www.organicseurope.bio/content/uploads/2020/06/2016_RISE_NRR_Full_EN_compressed.pdf?d)
- Butler, Simon J., Julia A. Vickery & Ken Norris 2007. Farmland biodiversity and the footprint of agriculture. *Science* 315, 381–384. <https://doi.org/10.1126/science.1136607>
- Campbell, Bruce M., Douglas J. Beare, Elena M. Bennett, Jason M. Hall-Spencer, John S. I. Ingram, Fernando Jaramillo, Rodomiro Ortiz, Navin Ramankutty, Jeffrey A. Sayer & Drew Shindell 2017. Agriculture production as a major driver of the Earth system exceeding planetary boundaries. *Ecology and Society* 22(4), 8. <https://doi.org/10.5751/ES-09595-220408>
- Chertow, Marian R. 2000. Industrial symbiosis: Literature and taxonomy. *Annual Review of Energy and Environment* 25: 313–337. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.25.1.313>
- Clapp, Jennifer 2016. *Food*. 2nd ed. Polity Press, London.
- Cresswell, Tim 2013. *Place: a short introduction*. John Wiley & Sons, Hoboken, United States.
- Crist, Eileen, Camilo Mora & Robert Engelman 2017. The interaction of human population, food production, and biodiversity protection. *Science* 356, 260–264. <https://www.doi.org/10.1126/science.aal2011>
- Dasgupta, Partha 2021. *The Economics of Biodiversity: The Dasgupta Review*. HM Treasury, London. Saatavilla <https://www.gov.uk/government/collections/the-economics-of-biodiversity-the-dasgupta-review>
- Dorninger, Christian, David J. Abson, Joern Fischer & Henrik von Wehrden 2017. Assessing sustainable biophysical human–nature connectedness at regional scales. *Environmental Research Letters*, 12(5), 055001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa68a5>
- Edmondson, Duncan I., Florian Kern & Karoline Rogge 2019. The co-evolution of policy mixes on socio-technical systems: Towards a conceptual framework of policy mix feedback in sustainability transition. *Research Policy* 48, 103555. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2018.03.010>

- Feagan, Robert 2007. The place of food: mapping out the 'local' in local food systems. *Progress in Human Geography* 31, 23–42. <https://doi.org/10.1177/0309132507073527>
- Floyd, Joshua, Samuel Alexander, Manfred Lenzen, Patrick Moriarty, Graham Palmer, Sangeetha Chandra-Shekeran, Barney Foran, & Lornez Keyßer 2020. Energy descent as a post-carbon transition scenario: How 'knowledge humility' reshapes energy futures for post-normal times. *Futures* 122, 102565. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2020.102565>
- Foley, Jonathan A., Navin Ramankutty, Kate A. Brauman, Emily S. Cassidy, James S. Gerber, Matt Johnston, Nathaniel D. Mueller, Christine O'Connell, Deepak K. Ray, Paul C. West, Christian Balzer, Elena M. Bennett, Stephen R. Carpenter, Jason Hill, Chad Monfreda, Stephen Polasky, Johan Rockström, John Sheehan, Stefan Siebert, David Tilman & David P. M. Zaks 2011. Solutions for a cultivated planet. *Nature* 478, 337–342. <https://doi.org/10.1038/nature10452>
- Foster, John B. 1999. Marx's theory of metabolic rift: Classical foundations for environmental sociology. *American Journal of Sociology* 105, 366–405. <https://doi.org/10.1086/210315>
- Gallopoulos Nicholas E. & Robert A. Frosch 1989. Strategies for manufacturing. *Scientific American* 261, 144–152. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0989-144>
- Graedel, Thomas E. & Braden R. Allenby 2010. *Industrial Ecology and Sustainable Engineering: International Edition*. Pearson Education, London.
- Heikkinen, Jaakko, Elise Ketoja, Visa Nuutinen & Kristiina Regina 2013. Declining trend of carbon in Finnish cropland soils in 1974–2009. *Global Change Ecology* 19, 1456–1469. <https://doi.org/10.1111/gcb.12137>
- Helenius, Juha, Kari Koppelmäki, & Elina Virkkunen (toim.) 2017. Agroecological symbiosis in nutrient and energy self-sufficient food production. Reports of the Ministry of the Environment 18/2017. Saatavilla <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4716-6>
- Helenius, Juha & Kari Koppelmäki 2020. Agroekologinen symbioosi. Teoksessa Heinonsalo, Jussi (toim.), Hiiliopas – Katsaus maaperän hiileen ja hiiliviljelyn perusteisiin. Helsinki: Baltic Sea Action Group BSAG & Carbon Action. Ss. 38–41. Saatavilla <https://carbonaction.org/wp-content/uploads/2020/01/BSAG-hiiliopas-1.-painos-2020.pdf>
- Helenius, Juha, Sophia E. Hagolani-Albov & Kari Koppelmäki. 2020. Co-creating Agroecological Symbioses (AES) for sustainable food system networks. *Frontiers in sustainable food systems* 4. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.588715>
- Huber, Joseph 2000. Towards industrial ecology: sustainable development as a concept of ecological modernization. *Journal of Environmental Policy and Planning* 2, 269 – 285. <https://doi.org/10.1080/714038561>
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 2019. IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. Special Report Climate Change and Land, Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/srccl/>
- Jongman, Rob H.G. 2002. Homogenisation and fragmentation of the European landscape: ecological consequences and solutions. *Landscape and Urban Planning* 58, 211–221. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(01\)00222-5](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(01)00222-5)

- Kastner Thomas, Maria Jose Ibarrola Rivas, Wolfgang Koch & Sandrine Nonhebel 2012. Global changes in diets and the consequences for land requirements for food. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109, 6868–6872. <https://doi.org/10.1073/pnas.1117054109>
- Katajajuuri, Juha-Matti, Kirsi Silvennoinen, Hanna Hartikainen, Lotta Heikkilä & Anu Reinikainen 2014. Food waste in the Finnish food chain. *Journal of Cleaner Production* 73, 322–329. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.12.057>
- Khoury, Colin K., Anne D. Bjorkman, Hannes Dempewolf, Julian Ramirez-Villegas, Luigi Guarino, Andy Jarvis, Loren H. Rieseberg & Paul C. Struik 2014. Increasing homogeneity in global food supplies and the implications for food security. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111, 4001–4006. <https://doi.org/10.1073/pnas.1313490111>
- Kneafsey, Moya, Rosie Cox, Lewis Holloway, Elizabeth Dowler, Laura Venn & Helena Tuomainen 2008. *Reconnecting consumers, producers and food: exploring alternatives*. Bloomsbury Publishing, Oxford.
- Koppelmäki, Kari, Markus Eerola, Sophia [Hagolani-]Albov, Jukka Kivelä, Juha Helenius, Erika Winqvist & Elina Virkkunen (2016). “Palopuro Agroecological Symbiosis’. A pilot case study on local sustainable food and farming (Finland)” in the *Challenges for the New Rurality in a Changing World*, eds. Paulina Rytönen & Ursula Hård. *COMREC Studies in Environment and Development* 12, 171–172. Saatavilla <http://sh.diva-portal.org/smash/get/diva2:956067/FULLTEXT01.pdf>
- Koppelmäki, Kari, Tuure Parviainen, Elina Virkkunen, Erika Winqvist, Rogier P. Schulte & Juha 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>
- Koppelmäki, Kari, Juha Helenius & Rogier P. Schulte 2021. 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, 105218. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105218>
- Lang, Tim & Michael Heasman 2004. *Food wars: the global battle for mouths, minds and markets*. Earthscan, London.
- Lehtinen, Ilja & Galina Kallio 2020. Maatalouden kehityksen suunnanmuutos. Energiaintensiivisestä tehotuotannosta työintensiiviseen lähituotantoon. *Maaseututkimus* 28, 83–99. Saatavilla <https://journal.fi/maaseututkimus/issue/view/6871/1067>
- Lyytimäki, Jari, Satu Lähteenoja, Mikael Sokero, Satu Korhonen & Eeva Furman 2016. *Agenda 2030 Suomessa: Kestävän kehityksen avainkysymykset ja indikaattorit*. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 32/2016. Saatavilla <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/79834>
- Marsden, Terry & Roberta Sonnino 2012. Human health and wellbeing and the sustainability of urban–regional food systems. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 4, 427–430. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2012.09.004>
- Murdoch, Jonathan, Terry Marsden & Jo Banks 2000. Quality, nature, and embeddedness: Some theoretical considerations in the context of the food sector. *Economic Geography* 76, 107–125. <https://doi.org/10.1111/j.1944-8287.2000.tb00136.x>

- Niemi, Jyrki & Xing Liu 2016. Empirical first-filter test for the existence of buyer power in the Finnish food supply chain. *Agricultural and Food Science* 25: 177–186. <https://doi.org/10.23986/afsci.53275>
- Nyström, Magnus, J.-B. Jouffray, Albert V. Norström, Beatrice Crona, P. Søgaard Jørgensen, S. R. Carpenter, Örjan Bodin, Victor Galaz, & Carl Folke 2019. Anatomy and resilience of the global production ecosystem. *Nature* 575, 98–108. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1712-3>
- Parviainen, Tuure & Juha Helenius 2020. Trade Imports Increasingly Contribute to Plant Nutrient Inputs: Case of the Finnish Food System 1996–2014. *Sustainability* 12, 702. <https://doi.org/10.3390/su12020702>
- Poore, Joseph & Tomas Nemecek 2018. Reducing food’s environmental impacts through producers and consumers. *Science* 360, 987–992. <https://doi.org/10.1126/science.aag0216>
- Pretty, Jules N., Andrew D. Noble, Deborah Bossio, John Dixon, Rachel E. Hine, Frits W.T. Penning de Vries, & James I.L. Morison 2006. Resource-conserving agriculture increases yields in developing countries. *Environmental Science and Technology* 40, 1114–1119. <https://doi.org/10.1021/es051670d>
- Quaye, Wilhelmina, Joost Jongerden, George Essegbey, & Guido Ruivenkamp 2010. Globalization vs. localization: global food challenges and local solutions. *International Journal of Consumer Studies* 34, 357–366. <https://doi.org/10.1111/j.1470-6431.2010.00868.x>
- Regina, Kristiina, Heikki Lehtonen, Taru Palosuo & Seppo Ahvenjärvi 2014. Maatalouden kasvihuonekasvupäästöt ja niiden vähentäminen. MTT Raportti 127. Saatavilla <http://www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti127.pdf>
- Ritzer, George 2013. *An Introduction to McDonaldization*. Teoksessa: George Ritzer, *The McDonaldization of Society*, Sage, Los Angeles. 7–23.
- Rockström, Johan, John Williams, Gretchen Daily, Andrew Noble, Nathaniel Matthews, Line Gordon, Hanna Wetterstrand, Fabrice DeClerck, Mihir Shah, Pasquale Steduto, Charlotte de Fraiture, Nuhu Hatibu, Olcay Unver, Jeremy Bird, Lindiwe Sibanda & Jimmy Smith 2017. Sustainable intensification of agriculture for human prosperity and global sustainability. *Ambio* 46, 4–17. <https://doi.org/10.1007/s13280-016-0793-6>
- Saarinen, Merja, Mikael Fogelholm, Raija Tahvonen & Sirpa Kurppa 2017. Taking nutrition into account within the life cycle assessment of food products. *Journal of Cleaner Production* 149, 828–844. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.062>
- Sandström, Vilma, Laura Saikku, Riina Antikainen, Laura Sokka & Pekka Kauppi 2014. Changing impact of import and export on agricultural land use: The case of Finland 1961–2007. *Agriculture, ecosystems & environment* 188, 163–168. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.02.009>
- Schneider, Mindi & Philip McMichael 2010. Deepening, and repairing, the metabolic rift. *The Journal of Peasant Studies* 37, 461–484. <https://doi.org/10.1080/03066150.2010.494371>
- Schulte, Rogier P. O., Lilian O’Sullivan, Dirk Vrebo, Francesca Bampa, Arwyn Jones & Jan Staes 2019. Demands on land: Mapping competing societal expectations for the functionality of agricultural soils in Europe. *Environmental Science & Policy* 100, 113–125. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.06.011>

- Sherwood, James 2020. The significance of biomass in a circular economy. *Bioresource Technology* 300, 122755. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122755>.
- Spiegel, Sherri, Peter J.A. Kleinman, Dinku M. Endale, Ray B. Bryant, Curtis Dell, Sarah Goslee, Robert J. Meinen, K. Colton Flynn, John M. Baker, Dawn M. Browning, Greg McCarty, Shabtai Bittman, Jennifer Carter, Michel Cavigelli, Emily Duncan, Prasanna Gowda, Xia Li, Guillermo E. Ponce-Campos, Raj Cibin, Maria L. Silveira, Douglas R. Smith, Dan K. Arthur & Qichun Yang 2020. Manuresheds : Advancing nutrient recycling in US agriculture. *Agricultural Systems* 182, 102813. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102813>
- Steffen, Will, Katherine Richardson, Johan Rockström, Sarah E. Cornell, Ingo Fetzer, Elena M. Bennett, Reinette Biggs, Stephen R. Carpenter, Wim de Vries, Cynthia A. de Wit, Carl Folke, Dieter Gerten, Jens Heinke, Georgina M. Mace, Linn M. Persson, Veerabhadran Ramanathan, Belinda Reyers & Sverker Sörlin 2015. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science* 347, 6223. <https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- Tattari, Sirkka, Markku Puustinen, Jari Koskiahho, Elina Röman & Juha Riihimäki 2015. Vesistöjen ravinnekuormituksen lähteet ja vähentämismahdollisuudet. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 35. Saatavilla <http://hdl.handle.net/10138/159464>
- Tilastokeskus 2020. Energian hankinta ja kulutus 2019. Suomen virallinen tilasto. Saatavilla [https://www.stat.fi/tii/ehk/2019/ehk\\_2019\\_2020-12-21\\_fi.pdf](https://www.stat.fi/tii/ehk/2019/ehk_2019_2020-12-21_fi.pdf)
- Uusitalo, Risto, Eila Turtola & Juha Grönroos 2007. Finnish trends in phosphorus balances and soil test phosphorus. *Agricultural and Food Science* 16, no. 4: 301–316. <https://doi.org/10.2137/145960607784125339>
- Uwizeye, Aimable, Pierre J. Gerber, Rogier P.O. Schulte & Imke J.M. de Boera 2016. A comprehensive framework to assess the sustainability of nutrient use in global livestock supply chains. *Journal of Cleaner Production* 129, 647–658. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.108>
- VN 2020. Valtioneuvoston selonteko kestävän kehityksen globaalista toimintaohjelmasta Agenda2030:sta. Kestävän kehityksen Suomi – pitkäjänteisesti, johdonmukaisesti ja osallistavasti. Valtioneuvosto. Saatavilla <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-287-942-4>
- Wezel, Alexander, Hélène Brives, Marion Casagrande, Camille Clement, Annie Dufour & Perrine Vandenbroucke 2016. Agroecology territories: places for sustainable agricultural and food systems and biodiversity conservation. *Agroecology and Sustainable Food Systems* 40, 132–144. <https://doi.org/10.1080/21683565.2015.1115799>
- Wilkins, Jennifer L. (2005). Eating right here: Moving from consumer to food citizen. *Agriculture and Human Values*, 22, 269–273. <https://doi.org/10.1007/s10460-005-6042-4>

- Willett, Walter, Johan Rockström, Brent Loken, Marco Springmann, Tim Lang, Sonja Vermeulen, Tara Garnett, David Tilman, Fabrice DeClerck, Amanda Wood, Malin Jonell, Michael Clark, Line J. Gordon, Jessica Fanzo, Corinna Hawkes, Rami Zurayk, Juan A. Rivera, Wim De Vries, Lindiwe Majele Sibanda, Ashkan Afshin, Abhishek Chaudhary, Mario Herrero, Rina Agustina, Francesco Branca, Anna Lartey, Shenggen Fan, Beatrice Crona, Elizabeth Fox, Victoria Bignet, Max Troell, Therese Lindahl, Sudhvir Singh, Sarah E. Cornell, K. Srinath Reddy, Sunita Narain, Sania Nishtar & Christopher J. L. Murray 2019. Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *The Lancet* 393, 447–492. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31788-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31788-4)
- Wittman, Hannah 2009. Reworking the metabolic rift: La Via Campesina, agrarian citizenship, and food sovereignty. *The Journal of Peasant Studies* 36, 805–826. <https://doi.org/10.1080/03066150903353991>
- YK 2015. Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. United Nations. Saatavilla <https://sdgs.un.org/publications/transforming-our-world-2030-agenda-sustainable-development-17981>