

Hiilikiertojen sulkeminen ruokaturvan edistämiseksi ja ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi – Tapaustutkimus etiopialaisista tiloista

Karoliina Rimhanen¹, Helena Kahiluoto²

¹ *MTT Kasvintuotannon tutkimus, Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki, karoliina.rimhanen@mtt.fi*

² *MTT Kasvintuotannon tutkimus, Lönnrotinkatu 5, 50100 Mikkeli, helena.kahiluoto@mtt.fi*

Tiivistelmä

Viljavuudeltaan heikentyneiden viljely- ja laidunmaiden maaperään ja kasvillisuuteen voidaan sitoa hiiltä ilmakehästä ja näin hillitä ilmastonmuutosta, parantaa siihen sopeutumista sekä edistää ruokaturvaa Saharan eteläpuolisessa Afrikassa. Orgaanisen aineksen tehokas kierrättäminen sulkee tilojen hiilivuotoja ja ehkäisee siten maan hiili- ja ravinnevarastojen ehtymistä ja parantaa maan tuottavuutta. Tutkimuksen tavoite oli kvantifioida etiopialaisten tilojen materiaalivirrat hiili- ja ravinnesisältöineen sekä tunnistaa virtojen vuotokohdat kuivana vuonna 2009 ja normaalin sadannan vuonna 2010. Analyysi toteutettiin kahdella ruokaturvan suhteen erilaisella tutkimusalueella Etiopiassa. Kummallakin alueella tarkasteltiin resurssiköyhää ja hyvin toimeentulevaa tilaa. Tilajärjestelmään tuotavien panosten, järjestelmästä poistuvien tuotosten ja tilalla kiertävien hiilen ja ravinteiden määrittämisessä käytettiin materiaalivirta-analyysiä. Analyysi perustui näytteenottoon tiloilla, semi-strukturoituihin haastatteluihin sekä täydentävään tausta-aineistoon erilaisista tietokannoista, tilastoista ja kirjallisuudesta. Tutkimustulostemme mukaan suurimmat tilan ulkopuolelta tulevat hiilen ja ravinteiden virrat ovat karjan yhteisön maalla syövä laidunheinä ja tilan ulkopuolelta kerätty polttopuu sekä merkittävimmät tilalta lähtevät virrat laidunmaalle jäävä karjanlanta ja markkinoitava vilja. Tilatasolla tarkasteltuna hiilen materiaalitaso oli kaikilla tiloilla ja molempina vuosina positiivinen. Hiilen materiaaliyli jäämä vaihteli köyhillä tiloilla 920–5060 kg C a-1 ja rikkailla 4448–10767 kg C a-1. Merkittävimmät hiilivuodot syntyvät kompostoinnissa lannan heikon varastoinnin ja käsittelyn seurauksena, yhteisön maalle hyödyntämättä jäävästä karjanlannasta, karjan aineenvaihdunnasta, ihmislannan kierrättämättä jättämisestä ja biomassan polttamisesta. Näitä vuotoja voitaisiin välttää esimerkiksi hävikkejä vähentävin kompostointitavoin, laiduntamista rajoittaen ja korvaamalla biomassan polttoa mädätyksellä, tehokkaamalla tai aurinkoenergialla toimivilla uuneilla ja kierrättämällä tai polttamalla ihmislantaa. Tilalle tulevia hiilivirtoja voisi lisätä esimerkiksi puupeltoviljelyllä.

Asiasanat: Hiili, ruokaturva, ilmastonmuutoksen hillintä, materiaalivirta-analyysi, Etiopia, tilat

Johdanto

Ilmastonmuutoksen vaikutukset uhkaavat heikentää ruokaturvaa matalilla leveysasteilla. Korkea riippuvaisuus luonnonvaroista, alhainen sopeutumiskyky muutoksiin ja köyhyys tekevät Saharan eteläpuolisen Afrikan (SSA) hyvin haavoittuvaiseksi ilmastonmuutokselle (Thornton ym. 2006). Viljavuudeltaan heikentyneiden viljely- ja laidunmaiden maaperään ja kasvillisuuteen voidaan kuitenkin sitoa hiiltä ilmakehästä ja näin hillitä ilmastonmuutosta, parantaa siihen sopeutumista sekä edistää ruokaturvaa. Ilmastonmuutoksen hillinnän pääasiallinen tapa edistää paikallista ruokaturvaa on maatalousmaiden hiilivarastojen kasvattaminen, jolla parannetaan kasvien ravinteiden saatavuutta ja vedenpidätyskykyä ja ehkäistään eroosiota (Kahiluoto ym. 2011). Hiili- ja ravinnevarastojen kasvattaminen ja niiden tehokkaampi kierrätys tilan sisällä edellyttää tilajärjestelmien orgaanisten materiaalivirtojen ja niiden vuotokohtien tunnistamista ja kvantifiointia.

Kestämätön maankäyttö on alentanut maan hiilen ja ravinteiden varastoja huomattavasti SSA:ssa. Kasvava väestö on lisännyt maatalouden paineita tuottaa enemmän ravintoa, pienentänyt kotitalouksien viljelmien kokoa ja aiheuttanut metsien hävittämistä (Pohjonen & Pukkala 1990). Esimerkiksi Etiopiassa maaperä on menettänyt arviolta 230–670 Tg hiiltä viimeisen 50 vuoden aikana (Girmay 2008).

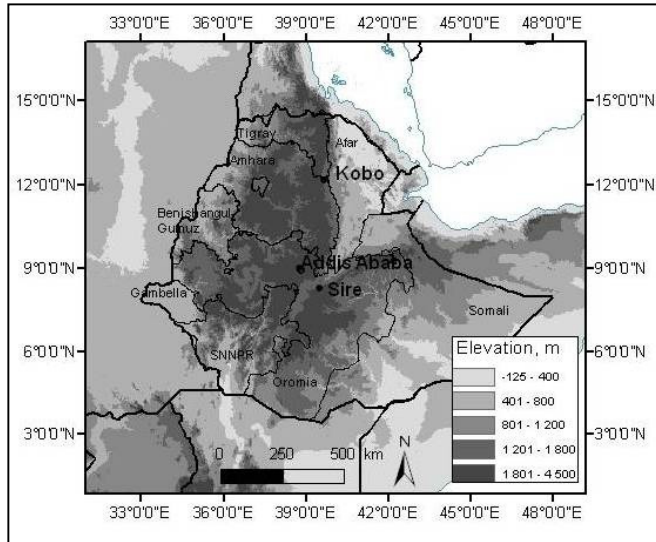
Kasvanut energiantarve ja pula puupolttoaineesta ovat johtaneet muiden eloperäisten aineiden, lähinnä kuivatun naudun lannan ja puintijätteiden energiakäyttöön. Samaan aikaan, kemiallisten lannoitteiden käyttöä ovat rajoittaneet niiden korkeat hinnat, huono saatavuus ja lainanoton taloudelliset riskit (Haileslassie ym 2005, Edwards ym. 2007). Panosten vähäinen käyttö ja jatkuva kasvijätteiden poistaminen lohkoilta kuluttavat maaperän hiilen ja makroravinteiden varastoja ja johtavat satojen alenemiseen. Arvioiden mukaan vuosittain Etiopian maaperästä häviää 41 kg typpeä (N), 6 kg fosforia (P) ja 26 kg kaliumia (K) (Stoorvogel, J. 1993). Samaan aikaan hiilen kierron vuotokohdista aiheutuu päästöjä ilmakehään.

Viimeaikaiset tutkimukset ovat osoittaneet että maatalousmailla, erityisesti kehitysmaissa, on huomattava potentiaali sitoa hiiltä ilmakehästä ja täten antaa lisäaikaa merkittävien ilmastonmuutoksen päästövähennystoimien ratkaisuille (Smith ym. 2008, Batjes 2004). Tällä hetkellä on olemassa kuitenkin hyvin vähän tutkimustietoa hiilen ja pääravinteiden varastoista ja virroista Itä-Afrikasta. Suurimmat tietoaikot liittyvät hiilen varastojen, virtojen ja hillintäpotentiaalien luotettaviin arvioihin.

Tutkimuksen tavoite oli kvantifioida etiopialaisten tilajärjestelmien materiaalivirrat hiili- ja ravinnesisältöineen sekä tunnistaa virtojen vuotokohdat kuivana vuonna 2009 ja normaalin sadannan vuonna 2010. Analyysi toteutettiin kahdella ruokaturvan suhteen erilaisella tutkimusalueella Etiopiasa. Kummallakin alueella tarkasteltiin resurssiköyhää ja hyvin toimeentulevaa tilaa.

Aineisto ja menetelmät

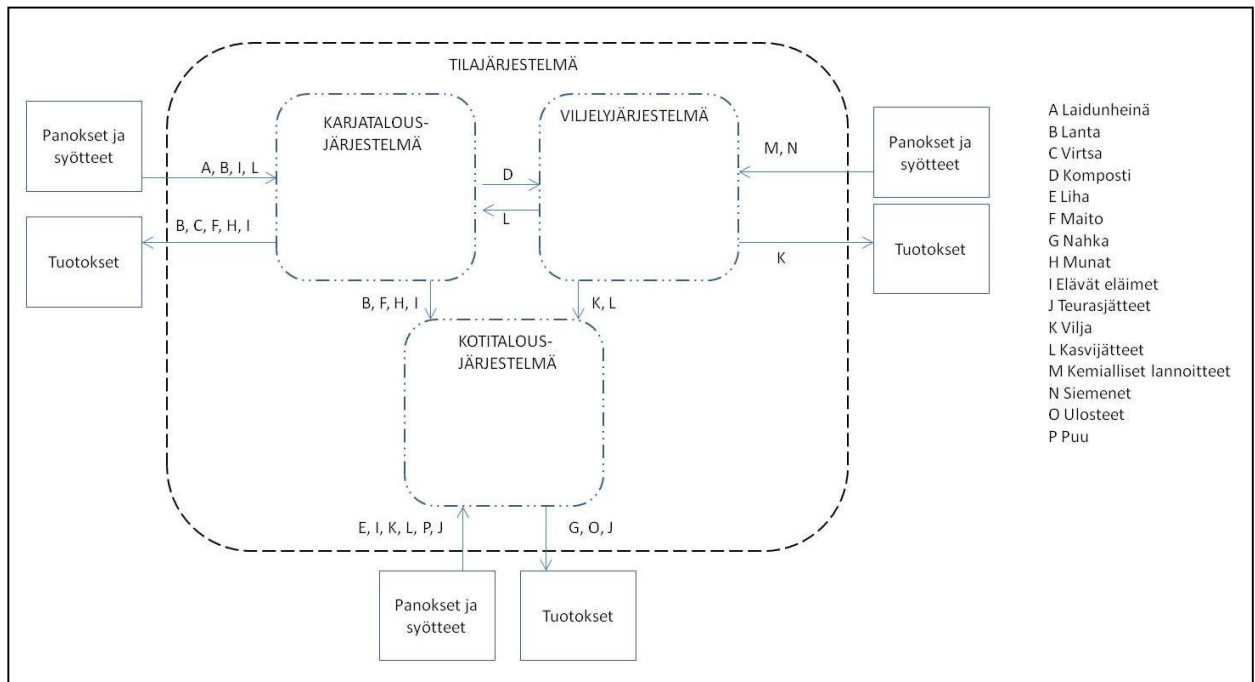
Tutkimus toteutettiin Kobossa, joka edustaa ruokaturvatonta aluetta Pohjois-Etiopiassa ja Siressä, joka edustaa ruokaturvatumpaa aluetta Keski-Etiopiassa (Kuva 1). Kobolle tyypillisiä piirteitä ovat heikentynyt maan viljavuus, pienet tilakoot, alhaiset satotasot ja alhaisempi tulotaso Sireen verrattuna, joka edustaa maatalouden tuottavuuden ja ruoan saatavuuden kannalta potentiaalisempaa aluetta. Resurssiköyhä viljelijä vastaanotti ruoka-avustusta, hänellä oli alueen keskiarvoa pienempi tilakoko ja vähemmän karjaa kun taas hyvin toimeentulevalla viljelijällä oli alueen keskiarvoa suurempi viljelyalue ja enemmän karjaa. Kaikki tutkittavat tilat harjoittivat hyviä maatalouden käytäntöjä. Kobon vuoristoisella alueella tämä tarkoitti terassiviljelyä, laidunnukselta rauhoitettuja alueita ja kompostointia ja Siressä puupeltoviljelyä ja kompostointia.



Kuva 1. Tutkimusalueiden sijainti ja hallinnollisten alueiden rajat Etiopiassa (Kahiluoto ym. 2011)

Tilajärjestelmään tuotavien panosten, järjestelmästä poistuvien tuotteiden ja tilalla kiertävien hiilen ja ravinteiden määrittämisessä käytettiin materiaalivirta-analyysiä (Baccini & Brunner 1991). Analyysissä huomioitiin kaikki tilasysteemissä esiintyvät materiaalit, jotka sisälsivät hiiltä ja NPK ravinteita (Kuva 2). Kaasumaisia virtoja ei arvioitu tässä tutkimuksessa. Tilasysteemin katsottiin muodostuvan viljely-, karjatalous- ja kotitalous- alasysteemeistä.

Hiili- ja ravinnevirrat arvioitiin kaikille tiloille vuosille 2009, joka edusti poikkeuksellisen vähäsateista vuotta ja 2010, joka edusti normaalin sadannan vuotta. Analyysi perustui näytteenottoon tiloilla, semi-strukturoituihin haastatteluihin sekä täydentävään tausta-aineistoon erilaisista tietokannoista, tilastoista ja kirjallisuudesta. Haastattelut toteutettiin paikallisilla kielillä, ne nauhoitettiin, litte-roitiin ja käännettiin englanniksi. Hiilen ja ravinteiden vuotokohtien tunnistaminen ja kvantifiointi perustui tila- ja alasysteemien materiaalitaseiden yksityiskohtaiseen laskentaan.



Kuva 2. Materiaalivirta-analyysissä seurattavat hiili- ja ravinnevirrat.

Tulokset ja tulosten tarkastelu

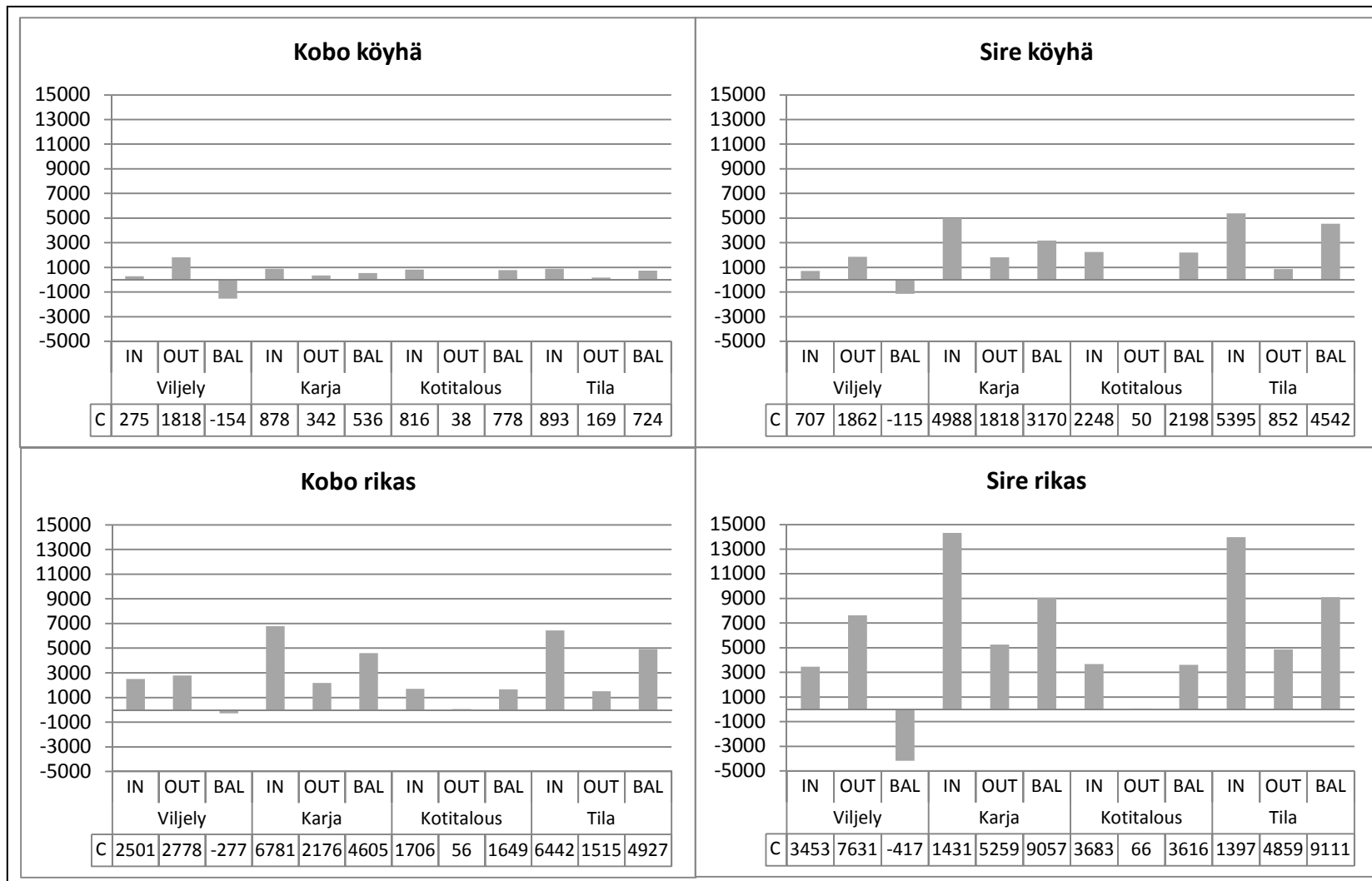
Tutkimuksemme mukaan hiilen ja ravinteiden yhteenlasketut materiaalitulovirrat tilalle olivat 893–13970 kg C a-1, 22–401 kg N a-1, 22–258 kg P a-1, ja 28–494 kg K a-1. Suurimmat materiaalitulovirrat muodostuivat karjan yhteisön maalla syömästä laidunheinästä ja tilan ulkopuolelta kerätystä polttopuusta. Yhteenlasketut tilalta poistuvat materiaalivirrat olivat 169–6412 kg C a-1, 18–312 kg N a-1, 3–68 kg P a-1, ja 14–191 kg K a-1. Ne muodostuivat pääasiassa laidunmaalle jäävästä karjanlannasta ja markkinoitavasta viljasta. Tilatasolla tarkasteltuna hiilen tase oli kaikilla tiloilla ja molempina vuosina positiivinen (Kuva 3). Hiilen materiaaliylijäämä vaihteli köyhillä tiloilla 920–5060 kg C a-1 ja rikkailla 4448–10767 kg C a-1.

Tilan sisällä viljelyjärjestelmään tulevat virrat olivat pääosin peräisin kompostin lähtöaineista, lannasta ja kasvimateriaalista. Ne muodostivat 69–97 % C:n, 27–83 % N:n, 7–55 % P:n ja 81–98 % K:n kokonaismateriaalitulovirrasta viljelyjärjestelmään. Kompostointiprosessiin tulevat materiaalivirrat olivat kuitenkin huomattavasti suuremmat kuin siitä kasvintuotantoon kompostina poistuvat virrat. Tämä viittaa huonoon lannan varastointiin ja käsittelyyn, joista voi aiheutua merkittäviä hiili- ja ravinnevuotoja. Eloperäiset lannoitteet (sis. komposti ja kasvijäte) muodostivat 3–29 % C:n, 3–11 % N:n, 1–8 % P:n, ja 2–19 % K:n kokonaispanoksista viljelyjärjestelmään. Hyvin toimeentulevat tilat käyttivät enemmän lantaa kompostin valmistamiseen suhteessa tuotantoon kuin köyhät. Lannan käyttö lannoitteeksi vaihteli hyvin toimeentulevilla 40–83 % ja köyhillä 20–40 % tuotetusta. Samansuuruisiin määriin päätyivät Yirga & Hassan (2000) tutkimuksessaan. Loppuosa kuivattiin ja käytettiin polttoaineena. Köyhien viljelijöiden alhaisempi tuotantopanosten käyttö hyvin toimeentuleviin nähden viittaisi alhaisemman varallisuuden lisäävän kilpailua niukkojen resurssien käytöstä vaihtoehtoisilla tavoilla, kuten arvioivat myös mm Makokha ym. (2001).

Suurimmat viljelyjärjestelmän lähtövirrat syntyivät viljasta ja kasvijätteistä. Satotasot ja markkinoidun viljan osuus tuotettuun määrään nähden olivat suuremmat lyhyemmän viljelyhistorian ja harvemman asutuksen alueella Siressä kuin Kobossa, jossa maat ovat köyhtyneempiä ja tilat pienempiä. Kasvijätteet käytettiin tilalla rehuksi, polttoaineeksi tai lannoitteeksi. Viljelyjärjestelmän tase oli normaalina vuonna negatiivinen (Kuva 3), mikä on seurausta kasvimateriaalin korjaamisesta ja sen jälkeisestä karjan laiduntamisesta loholla. Tämä viittaisi hiili- ja ravinnevarastojen kulumiseen maaperästä. Tulos tukee nykyistä käsitystä maan hiili- ja ravinnevarastojen vähentymisestä, ruokaturvan heikentymisestä ja päästöjen muodostumisesta SSA:ssa (Lal 2011, Haileslassie ym. 2005, Stoorvogel 1993, Girmay 2008, Batjes 2004).

Karjatalousjärjestelmän suurimman materiaalitulovirran muodosti rehu, joka koostui laidunheinästä ja kasvijätteistä. Kaikilla tiloilla karja laidunsi yhteisön mailla päiväsaikaan. Suurimman lähtövirran muodosti lanta, jonka tuotto oli suurempaa Siressä kuin Kobossa ja rikkaammilla tiloilla verrattuna köyhiin. C:n ja K:n taseet olivat kaikilla tiloilla positiivisia, viitaten vuotoihin, jotka syntyvät karjanlannan jäämisestä hyödyntämättömänä yhteisön maille ja päästöihin karjan aineenvaihdunnasta.

Kotitaloudessa suurimmat materiaalitulovirrat syntyivät polttoaineesta ja kasviperäisistä ravintotuotteista. Kaikilla tiloilla ruokavalio koostui lähinnä tilalla tuotetusta viljasta. Sekä kasvi- että eläintuotteiden kulutus oli suurempaa Siressä kuin Kobossa ja rikkailla tiloilla kuin köyhillä. Pääasiallinen energialähde oli kuivattu lanta ja kasvijätteet. Polttoaineiden kulutus oli suurempaa Siressä kuin Kobossa ja rikkailla tiloilla kuin köyhillä. Suurin kotitalouden lähtövirta syntyi ihmisulosteista. Ulosteita ei kierrätetty kompostin materiaaliksi, vaan ne kaivettiin maahan, kuten suuressa osassa maapalloa (Heinonen-Tanski & Wijk-Sijbesma 2005). Kotitalouden hiilen ja ravinteiden materiaalitaseet olivat kaikilla tiloilla ja kaikkina vuosina positiiviset, viitaten vuotoihin eloperäisen aineksen polttamisesta ja ihmislannan hyödyntämättömyydestä.



Kuva 3. Viljely-, karjatalous-, kotitalousjärjestelmien ja koko tilan hiilen materiaalivirtataseet (kg Ca-1) arvioituna vuosien 2009 ja 2010 keskiarvona tutkimustiloilla. IN = Tilalle tulevat materiaalivirrat, OUT= Tilalta lähtevät materiaalivirrat, BAL=Hiilen materiaalitase.

Johtopäätökset

Suurimmat hiilen ja ravinteiden tulovirrat tilajärjestelmään ovat karjan yhteisön maalla syövä laidunheinä ja tilan ulkopuolelta kerätty polttopuu. Merkittävimmät lähtövirrat taas muodostuvat laidunmaalle jäävästä karjanlannasta ja markkinoitavasta viljasta. Tilatasolla hiilen materiaalitase oli kaikilla tiloilla ja molempina vuosina positiivinen. Materiaaliylijäämä vaihteli köyhillä tiloilla 920–5060 kg C a-1 ja rikkailla 4448–10767 kg C a-1.

Merkittävimmät hiilivuodot syntyvät kompostoinnissa lannan huonon varastoinnin ja käsittelyn seurauksena, yhteisön maalle hyödyntämättä jäävästä karjanlannasta, karjan aineenvaihdunnasta, ihmislannan kierrättämättä jättämisestä ja biomassan polttamisesta. Lannan ja kasvijätteiden käyttö polttoaineeksi ja eläinten rehuksi lannoituksen kustannuksella heikentää viljelyjärjestelmän hiilitasetta, näin ilmeisesti kuluttaen maan hiili- ja ravinnevarastoja.

Tehokkaampi materiaalien kierrätys tilan sisällä vähentäisi hiilivuotoja ja parantaisi maaperän mahdollisuutta muuttua hiilinieluksi päästölähteen sijaan. Näitä vuotoja voitaisiin välttää esimerkiksi hävikkejä vähentävin kompostointitavoin, laiduntamista rajoittaen ja korvaamalla biomassan polttoa mädätyksellä, tehokkaammilla tai aurinkoenergialla toimivilla uuneilla ja kierrättämällä tai polttamalla ihmislantaa. Tilalle tulevia hiilivirtoja voisi lisätä esimerkiksi puupeltoviljelyllä.

Kirjallisuus

- Baccini & Brunner.** 1991. Practical Handbook of Material Flow Analysis (Advanced methods in resource and waste management series). CRC Press. Boca Raton. 336 s.
- Batjes, N.H.** 2004. Estimation of soil carbon gains upon improved management within croplands and grasslands of Africa. *Environment, Development and Sustainability* 6: 133–143 s.
- Edwards, S., Asmelash, A., Araya, H. & Egziabher T.B.G.** 2007. The impact of compost use on crop yields in Tigray, Ethiopia, 2000-2006 inclusive. *Environment & Development Series 10*. Third World Network. Penang, Malaysia.
- Girmay, G., Singh, B.R., Mitiku, H., Borresen, T. & Lal, R.** 2008. Carbon stocks in Ethiopian soils in relation to land use and soil management. *Land Degradation & Development* 19: 351-367 s.
- Hailelassie, A., Priess, J., Veldkamp, A., Teketay, D. & Lesschen, J.P.** 2005. Assessment of soil nutrient depletion and its spatial variability on smallholders' mixed farming systems in Ethiopia using partial versus full nutrient balances. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 108: 1–16 s.
- Heinonen-Tanski, H. & van Wijk-Sijbesma C.** 2005. Human excreta for plant production. *Bioresource Technology* 96: 403–411 s.
- Kahiluoto, H., Rimhanen, K., Rötter, R., Tseganeh, B.** 2011. Mitigation of climate change to enhance food security: an analytical framework. *Forum for Development Studies* (Hyväksytty julkaistavaksi).
- Lal, R., Delgado, J.A., Groffman, P.M., Millar, N. & Rotz, A.** 2011. Management to mitigate and adapt to climate change. *Journal of Soil and Water Conservation* 66(4): 276-285 s.
- Makokha, S., Kimani, S., Mwangi, W., Verkuil, H., Musembi, F.** 2001. Determinants of fertilizer and manure use in maize production in Kiambu district, Kenya. International Maize and Wheat Improvement center (CIMMYT) and Kenya Agricultural Research Institute (KARI), Mexico DF.
- Pohjonen, V. & Pukkala, T.** 1990. Eucalyptus globules in Ethiopian forestry. *Forest Ecology and Management* 36: 19-31 s.
- Yirga, C. & Hassan, R.M.** 2000. Social costs and incentives for optimal control of soil nutrient depletion in the central highlands of Ethiopia. *Agricultural systems* 103: 153-160 s.
- Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., McCarl, B., Ogle, S., O'Mara, F., Rice, C., Scholes, B., Sirotenko, O., Howden, M., McAllister, T., Pan, G., Romanenkov, V., Schneider, U., Tow-**

prayoon, S., Wattenbach, M. & Smith, J. 2008. Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society Biological Sciences* 363: 789-813 s.

Stoorvogel, J. 1993. Calculating soil nutrient balances in Africa at different scales. I. Supra-national scale. *Fertilizer Research* 35: 227-235 s.

Thornton, P.K., Jones, P.G., Owiyo, T., Kruska, R.L., Herrero, M., Kristjanson, P., Notenbaert, A., Bekerle, N., Omolo, A. 2006. Mapping climate vulnerability and poverty in Africa. Report to the Department of International Development. Nairobi.