

LAPPEENRANNAN-LAHDEN TEKNILLINEN YLIOPISTO LUT
LAPPEENRANTA-LAHTI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY LUT

LUT School of Energy Systems

Kestävyystutkimus/Sustainability Science

LUT Scientific and Expertise Publications

Raportit ja selvitykset – Reports

108

Heli Kasurinen, Ville Uusitalo, Lauri Leppäkoski

Oljen pellolta poistamisen ympäristöllisen kestävyyden näkökulmia

 LUT
University

LAPPEENRANNAN-LAHDEN TEKNILLINEN YLIOPISTO LUT
LAPPEENRANTA-LAHTI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY LUT

LUT School of Energy Systems

Kestävyystutkimus/Sustainability Science

LUT Scientific and Expertise Publications
Raportit ja selvitykset – Reports 108

Heli Kasurinen, Ville Uusitalo, Lauri Leppäkoski

OLJEN PELLOLTA POISTAMISEN YMPÄRISTÖLLISEN KESTÄVYYDEN NÄKÖKULMIA

LUT School of Energy Systems
Kestävyystutkimus
Yliopistonkatu 34
53850 Lappeenranta
Mukkulankatu 19
15210 Lahti
ISBN 978-952-335-669-6 (PDF)
ISSN-L 2243-3384
ISSN 2243-3384
Lappeenranta 2021

TIIVISTELMÄ

Olkea hyödynnetään perinteisesti maataloudessa esimerkiksi peltojen maanparannuksessa tai karjan kuivikkeena. Olkea kerätään myös energiantuotantoa ja esimerkiksi bioetanolin valmistusta varten. Olki on viime aikoina herättänyt kiinnostusta myös korkeamman jalostusarvon tuotteiden, kuten tekstiilikuitujen, raaka-aineena. Tässä raportissa esitetään eri näkökulmia oljen pellolta poistamisen ympäristölliseen kestävyYTEEN. Ympäristökestävyysnäkökulmia on analysoitu laadullisesti ja esitetty numeerisia vaihteluvälejä. Näkökulmia on kerätty kirjallisuuslähteistä ja kyselyllä. Oljen poisto voi vaikuttaa muun muassa maaperän hiilimäärään, ravinnetaseeseen, maaperän laatuun ja sen myötä satotasoihin. Oljen poistolla voi olla myös vaikutuksia ilmastonmuutokseen maaperän hiilen muutosten, pellolta muodostuvien typpioksiduuli- ja metaanipäästöjen muutosten ja kerättävän oljen mukana poistuvien ravinteiden korvaamisen tai maaperän rakenteen parantamiseen tarvittavien työkoneiden päästöjen muutosten myötä. Raporttia voidaan hyödyntää pohjana esimerkiksi oljen hyödyntämiseen liittyvissä elinkaariarvioinneissa ja muissa kestävyysarvioinneissa. Raportti on tehty osana Hämeen ELY-keskuksen Euroopan maaseudun kehittämisen maatalousrahastosta rahoittamaa Vihreän kasvun biokylä -hanketta (2019–2021).

AVAINSANAT

olki, ympäristövaikutukset, maaperän hiili, ilmastonmuutos, maaperän ravinnetase, maaperän laatu

ABSTRACT

Straw is traditionally utilized in agriculture, for example, for improving soil structure at fields and as bedding for livestock. Straw is further utilized in energy production and, for example, in bioethanol production. More recently, straw has raised interest as a raw material of higher value products, such as textile fibers. This report presents different aspects related to the environmental sustainability of removing straw from fields for further utilization. The environmental sustainability aspects have been analyzed qualitatively, and a numerical range has been presented when available. The environmental sustainability aspects have been collected from literature sources and a survey. Straw removal may affect, for example, soil organic carbon content, nutrient balance, and soil quality, and thereby, crop yields. Furthermore, straw removal may have impacts on climate change through changes in soil organic carbon, changes in N₂O and CH₄ emissions from fields, emissions from replacing nutrients removed as part of straw, or increase in emissions of machinery required to improve soil structure at fields. The report can be utilized, for example, as a basis for life cycle assessment and other sustainability studies related to straw utilization. The report is part of the project “Vihreän kasvun biokylä” (2019–2021) funded by Häme Centre for Economic Development, Transport and the Environment from the European agricultural fund for rural development.

KEYWORDS

straw, environmental impacts, soil organic carbon, climate change, soil nutrient balance, soil quality



Euroopan maaseudun
kehittämisen maatalousrahasto:
Eurooppa investoi maaseutualueisiin

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	NÄKÖKULMIA OLJEN POISTON YMPÄRISTÖLLISEEN KESTÄVYYTEEN.....	6
2.1	Globaalien ympäristökestävyyšnäkökulmien tunnistaminen kirjallisuuskatsauksella	6
2.1.1	Katsaus kestävyyskriteereihin ja -indikaattoreihin.....	6
2.1.2	Katsaus oljen poiston ympäristövaikutuksiin	8
2.2	Paikallisten ympäristökestävyyšnäkökulmien tunnistaminen kyselytutkimuksen avulla	9
2.3	Yhteenveto oljen poiston ympäristöllisen kestävyuden näkökulmista	10
3	OLJEN POISTON VAIKUTUKSET MAAPERÄN HIILIMÄÄRÄÄN	11
4	OLJEN POISTON MUUT VAIKUTUKSET ILMASTONMUUTOKSEEN	14
4.1	Maaperäkaasut.....	14
4.1.1	Typpioksiduuli.....	14
4.1.2	Metaani	15
4.2	Oljen korjuuprosessit	16
5	OLJEN POISTON VAIKUTUKSET MAAPERÄN RAVINNETASEESEEN	17
5.1	Typpi.....	17
5.2	Fosfori ja kalium	17
6	OLJEN POISTON VAIKUTUKSET MAAPERÄN LAATUUN JA SATOTASOIHIN	18
7	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	20
	LÄHTEET.....	21

1 JOHDANTO

Viljan olkea on perinteisesti hyödynnetty suoraan maataloudessa esimerkiksi peltomaan maanparannuksessa (Johnson et al. 2010) tai karjan kuivikkeena (Monforti et al. 2013). Oljen käyttö on herättänyt kasvavaa kiinnostusta erilaisissa käyttökohteissa. Perinteisen maataloushyötykäytön lisäksi 2000-luvulla kiinnostus liittyi aluksi esimerkiksi energiahyödyntämiseen ja bioetanolin valmistukseen (Pahkala et al. 2009; Meyer et al. 2018). Viime aikoina kiinnostus on kohdistunut erilaisten korkean lisäarvon tuotteiden, kuten tekstiilikuitujen, valmistukseen (Material District 2019).

Toistaiseksi vain pieni osa Suomessa tuotetusta kokonaisolkimäärästä hyödynnetään muualla kuin pellolla (Regina 2015). Tyypillisellä 20 cm:n niittokorkeudella olkea saadaan kerätyksi kuiva-aineena 1 600–2 900 kg/ha (Hakala et al. 2016). Keskimäärin esimerkiksi länsisuomalaisilla pelloilla paalataan kuiva-aineena 2 500 kg/ha olkimäärä (Pahkala et al. 2009; Laurila & Saarinen 2014). Kasvilajike ja pellolle jätettävän sängyn pituus vaikuttavat oljen saantoon (Hakala et al. 2016).

Tähän raporttiin on koottu tietoa oljen pellolta poistamiseen (jäljempänä: oljen poisto) liittyvistä ympäristökestävyyšnäkökulmista ja epävarmuuksista kirjallisuuden perusteella. Tavoitteena on tunnistaa reunaehtoja, mahdollisia riskejä ja epävarmuuksia oljen ympäristöllisesti kestäväälle hyötykäytölle erityisesti Suomen olosuhteissa. Raportti rajautuu pääasiassa vehnän, ohran, rukiin ja kauran olkeen, mutta tarvittaessa tietoja muiden viljelykasvien olkien käytöstä on käytetty apuna oleellisten näkökulmien tunnistamisessa ja vertailutarkoituksessa. Selvityksen kohteena on ympäristöllinen kestävyys, ja taloudelliset ja sosiaaliset näkökulmat on rajattu selvityksen ulkopuolelle.

Tiedonkeruun menetelmänä on käytetty kirjallisuuskatsausta, jonka aineistoon sisällytettiin sekä kotimaisia että kansainvälisiä lähteitä. Lähdeaineistona on käytetty pääasiassa tieteellisiä artikkeleita ja tutkimusraportteja. Lisäksi käytettiin muun muassa biomassaan tai -energiaan liittyvää lainsäädäntöä ja standardeja. Kirjallisuustiedonkeruussa hyödynnettiin tietolähteenä myös alan suomalaisia asiantuntijoita, joilta saatiin sähköpostitse lähetetyllä kyselyllä tietoa suomalaisista kirjallisuuslähteistä. Toisena tiedonkeruun menetelmänä on käytetty suomalaisille viljelijöille toteutettua suppeaa kyselytutkimusta oljen poiston ympäristöllisen kestävyuden näkökulmista omien kokemusten pohjalta.

Aluksi selvityksessä tunnistettiin oljen poistoon ja käyttöön liittyvät ympäristökestävyyden keskeiset näkökulmat yleisesti globaalin kirjallisuuskatsauksen ja suomalaisten viljelijöiden kyselytutkimuksen vastausten perusteella. Tämän jälkeen keskeisiä näkökulmia analysoitiin tarkemmin etsimällä lisätietoa kirjallisuudesta. Raporttiin koottuja tietoja voidaan myöhemmin hyödyntää esimerkiksi toteutettaessa oljen hyödyntämistä koskevia elinkaarimallinnuksia tai muita kestävyysarviointeja. Raportti tuo myös esille oljen poistoon liittyviä epävarmuuksia ja tunnistaa tietopuutteita tulevia tutkimuksia varten. Selvitys on tehty osana 1.9.2019–31.8.2021 toteutettua Hämeen ELY-keskuksen Euroopan maaseudun kehittämisen maatalousrahastosta rahoittamaa Vihreän kasvun biokylä -hanketta.

2 NÄKÖKULMIA OLJEN POISTON YMPÄRISTÖLLISEEN KESTÄVYYTEEN

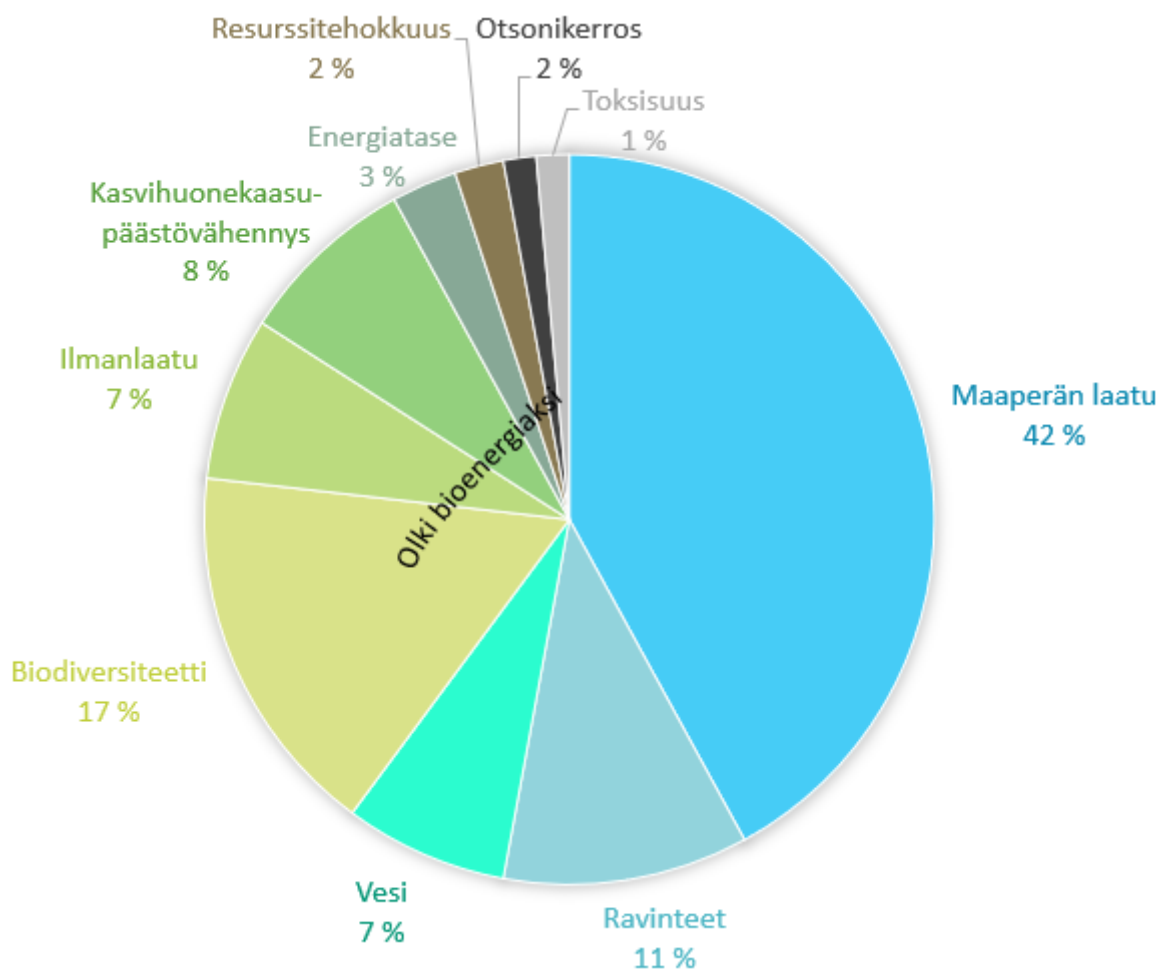
Työ alkoi kirjallisuuskatsauksella, johon saatiin tukea kuudelta suomalaiselta asiantuntijalta, ja suomalaisille viljelijöille tehdyllä kyselytutkimuksella. Kirjallisuuskatsauksen ja kyselytutkimuksen tavoitteena oli tunnistaa yleisesti oljen pellolta muuhun hyötykäyttöön poistamisen ympäristöllisiä kestävyysnäkökulmia. Kirjallisuuskatsauksen tulokset on esitelty luvussa 2.1 ja viljelijäkyselyn tulokset luvussa 2.2. Luvussa 2.3 on esitetty yhteenveto tärkeimmistä näkökulmista, joita käsitellään tarkemmin raportin seuraavissa luvuissa.

2.1 Globaalien ympäristökestävyysnäkökulmien tunnistaminen kirjallisuuskatsauksella

Kirjallisuuskatsauksessa oljen pellolta poistamisen kestävyysnäkökulmia koottiin ensin yleisesti oljen käyttöön liittyvien ympäristökestävyyskriteerien ja -indikaattorien näkökulmasta ja toiseksi oljen pellolle jättämisen ja oljen pellolta poistamisen ympäristövaikutusten näkökulmasta. Kirjallisuuskatsauksessa käytettiin yhteensä 44 lähdettä vuosilta 1997–2020. Lähteistä 17:ssä oli esitetty kriteereitä ja indikaattoreita. Olkeen liittyviä kestävyyskriteereitä ja -indikaattoreita on esitetty lainsäädännössä, standardeissa ja tutkimusjulkaisuissa. Lähteistä 33:ssa oli käsitelty oljen pellolta poistamisen tai pellolle palauttamisen ympäristövaikutuksia. Nämä lähteet olivat tutkimusjulkaisuja. Lähdeaineistossa tarkasteltiin kriteereitä, indikaattoreita tai ympäristövaikutuksia yleisesti tai paikallisesti eri puolilla maailmaa kokonaiskuvan muodostamiseksi. Myös tarkastelun kohteena oleva viljelykasvi vaihteli kirjallisuudessa: kaikissa lähteissä kasvia ei ollut rajattu ja yleisin kasvi, johon rajauduttiin, oli vehnä.

2.1.1 Katsaus kestävyyskriteereihin ja -indikaattoreihin

Lähdeaineistosta kerättiin yhteensä 139 kestävyyskriteeriä ja -indikaattoria, joista osa edelleen jakautuu lisäändikaattoreihin (393/2013; Buchholz et al. 2009; Cherubini & Strømman 2011; Cramer et al. 2007; (EU) 2018/2001; Efrogmson et al. 2013; Gabrielle & Gagnaire 2008; GBEP 2011; Joensuu & Sinkko 2015; Johnson et al. 2010; McBride et al. 2011; Monteleone et al. 2015; RSB 2016; SFS-EN 16214-3; Sheehan et al. 2003; TEM 2019; Weiser et al. 2014). Kestävyyskriteereissä ja indikaattoreissa toistuvat näkökulmat on koottu kuvaan 1.



Kuva 1. Kestävyyssuhteiden ja -indikaattorien näkökulmat prosentteina koko aineiston 139 kriteeristä tai indikaattorista

Maaperän laatu on yleisin näkökulma kestävyyskriteereissä ja -indikaattoreissa. Maaperän laatua käsitellään eri näkökulmista: hiilivarasto (esim. (EU) 2018/2001; 393/2013), orgaaninen aines (esim. RSB 2016), eroosio (esim. RSB 2016), hedelmällisyys tai satoisuus (esim. Johnson et al. 2010; Efrogmson et al. 2013) ja tiivistyminen (esim. RSB 2016). Cramer et al. (2007) mainitsevat lisäksi maaperän suo- laantumisen ja mineraalit. Osa ravinteita ja vettä koskevista kriteereistä ja indikaattoreista, jotka on ryhmitelty kuvassa 1 omiksi näkökulmiksi, liittyy suoraan myös maaperän laatuun: esimerkiksi maape- rän ravintetaseeseen (Buchholz et al. 2009; Cramer et al. 2007; Johnson et al. 2010; RSB 2016; SFS- EN 16214-3) ja vedenpidätyskykyyn (Buchholz et al. 2009). Osa ravinteita ja vettä koskevista kritee- reistä ja indikaattoreista ei liity suoraan maaperän laatuun: esimerkiksi ravinteiden päästöt ja ympäris- tövaikutukset (Cherubini & Strømman 2011; Joensuu & Sinkko 2015; Sheehan et al. 2003) ja kastelu- veden käyttö (Joensuu & Sinkko 2015).

Biodiversiteetti korostuu lähteissä, joissa käsitellään oljen energiakäyttöä (esim. (EU) 2018/2001; SFS- EN 16214-3; Buchholz et al. 2009) ja maankäytön muutosta biomassan ja bioenergian tuottamiseksi (esim. Cramer et al. 2007; (EU) 2018/2001). Samoin ilmanlaatu on mainittu lähinnä bioenergian toimi- tusketjun ja tuotannon yhteydessä (esim. GBEP 2011), vaikka ilmanlaatuun viitataan myös biomassan tuotannossa (esim. Cramer et al. 2007). Biodiversiteetti ja ilmanlaatu on kuvassa 1 ryhmitelty oljen eneri- gikäyttöä koskeviin näkökulmiin. Kasvihuonekaasupäästöt ja erityisesti niiden vähennys käytettäessä biomassaa energiantuotantoon fossiilisten polttoaineiden sijaan (esim. (EU) 2018/2001; 393/2013) on

keskeinen näkökulma kirjallisuudessa. Muina näkökulmina bioenergiatuotannon yhteydessä on mainittu energiatase ja toksisuus (esim. Joensuu & Sinkko 2015), resurssitehokkuus (Buchholz et al. 2009; Cherubini & Strømman 2011) ja otsonikerros (Cherubini & Strømman 2011; McBride et al. 2011).

Lainsäädännöllisiä kriteereitä on toistaiseksi asetettu ainoastaan energiantuotannolle biomassasta eli tässä tapauksessa tilanteelle, jossa olki poistetaan pellolta energian tuottamiseksi. Kriteerit on asetettu EU:n uusiutuvan energian direktiivissä (RED II, (EU) 2018/2001) ja vahvistettu Suomen lainsäädännössä (laki biopolttoaineista ja bionesteistä 393/2013). Uutena velvoitteena RED II:n toimeenpanon myötä on nostettu esille maaperän hiilen ja laadun seuranta- ja hallintasuunnitelmat, jotka ovat Suomessa tulossa toiminnanharjoittajan velvoitteeksi ((EU) 2018/2001; TEM 2019). Myös standardeilla ja sertifiointijärjestelmillä (esim. SFS-EN 16214-3; RSB 2016) on merkittävä rooli kestävän biomassan ja bioenergiatuotannon määrittelyssä ja ohjaamisessa.

2.1.2 Katsaus oljen poiston ympäristövaikutuksiin

Yleisen kestävyyskriteeri- ja -indikaattorikatsauksen lisäksi kirjallisuuslähteistä analysoitiin, mitä ympäristövaikutuksia on oljen pellolta poistamisella ja oljen pellolle jättämisellä. Kuten kriteeri- ja indikaattorikatsauksessa, oljen poiston keskeisin näkökulma on vaikutus maaperän laatuun ja sitä kautta mahdollinen satotasojen vähennys (Sheehan et al. 2003; Gabrielle & Gagnaire 2008; Lal 2008; Mondini & Sequi 2008; Johnson et al. 2010; Wilhelm et al. 2010;). Maaperän laatu puolestaan muodostuu useista tekijöistä, joihin oljen poisto vaikuttaa. Maaperän laatutekijät samoin kuin laadun heikkenemistä kompensoivat viljelytoimet aiheuttavat edelleen ympäristövaikutuksia esimerkiksi erilaisten päästöjen myötä.

Suurimmassa osassa lähteitä mainittiin oljen pellolle jättämisen tai pellolta poistamisen vaikutukset maaperän hiilivarastoon tai orgaanisen hiilen määrään maaperässä (esim. De Nobili et al. 2008; Petersen et al. 2013), mikä vaikuttaa myös ilmastomuutokseen. Hiilen vähenemää voidaan kompensoida esimerkiksi viljelykierrolla (Wilhelm et al. 2010) tai jättämällä pelto kyntämättä (Dick et al. 1998; Clapp et al. 2000; Sheehan et al. 2003; Wilhelm et al. 2010), mikä voi toisaalta lisätä kasviuonekaasu typpioksiduulin (N₂O) päästöjä pellolta (Monteleone et al. 2015). Maaperän hiili vaikuttaa useisiin maaperän laatutekijöihin, kuten maaperän biodiversiteettiin, rakenteeseen, ravinnekiertoon ja hedelmällisyyteen (Lal 1997). Lal (2008) toteaaakin maaperän hiilivaraston maaperän tuottoisuuden kannalta kriittiseksi tekijäksi.

Kriteeri- ja indikaattorikatsauksessa tärkeäksi tunnistettu ravinnenäkökulma nousi esille myös oljen poiston yhteydessä. Tärkeä huolenaihe olkea poistettaessa on, että oljen mukana poistuu pellolta ravinteita. Lisäksi oljen poisto voi heikentää maaperän ravinnekiertoa (Wilhelm et al. 2010; Heinonsalo (toim.) 2020) esimerkiksi maaperän vähentyneen mikrobitoiminnan myötä (Brookes et al. 2008). Oljen poisto voi myös heikentää ravinteiden pysymistä maaperässä (Gabrielle & Gagnaire 2008; Bakht et al. 2009; Silalertruksa & Gheewala 2013; Monteleone et al. 2015). Muutokset ravinnetaseessa ja mahdollisesti tarvittava lisälannoitus vaikuttavat edelleen ammoniakki- ja typpioksiduulipäästöihin, mutta syy-seuraussuhde oljen poiston kanssa ei ole yksiselitteinen, vaan riippuu paikallisista olosuhteista: päästöt voivat joko vähentyä tai lisääntyä (Gabrielle & Gagnaire 2008; Shan & Yan 2013; Wang et al. 2013; Monteleone et al. 2015).

Oljen poisto vaikuttaa myös maaperän vedensitomiskykyyn (Mondini & Sequi 2008) ja vesitaseeseen (Gabrielle & Gagnaire 2008; Lal 2008; Silalertruksa & Gheewala 2013; Heinonsalo (toim.) 2020) esimerkiksi veden haihtumisen, pintavalunnan ja -kuivuuden (Lal 2008; Mondini & Sequi 2008; Wilhelm et al. 2010) ja veden laadun heikkenemisen (Mondini & Sequi 2008; Wilhelm et al. 2010) myötä. Vesinäkökulmaa käsitellään kirjallisuudessa siis pitkälti maaperän laadun ja tuottavuuden kannalta.

Oljen poiston aiheuttamia maaperän laatumuutoksia ja niiden seurausvaikutuksia käsiteltiin kirjallisuudessa laajasti, mitä seuraavat kappaleet kuvaavat. Oljen poisto voi lisätä maaperän eroosiota (Lal 2008; Mondini & Sequi 2008; Wilhelm et al. 2010; Silalertruksa & Gheewala 2013). Mikäli eroosio vie mukanaan ravinteita (Wilhelm et al. 2010), mahdollinen lisälannoitus voi vaikuttaa esimerkiksi N₂O-päästöihin

niitä lisäten tai vähentäen (Shan & Yan 2013; Wang et al. 2013). Mikäli eroosiota kompensoidaan jättämällä pelto kyntämättä (Dick et al. 1998; Sheehan et al. 2003; Wilhelm et al. 2010), N₂O-päästöt pellolta voivat lisääntyä (Monteleone et al. 2015).

Oljen poisto voi lisätä maaperän tiivistymistä (Silalertruksa & Gheewala 2013), mikä voi lisätä metaanipäästöjä hapettomien olosuhteiden lisääntyessä maaperässä (Heinonsalo (toim.) 2020). Tiivistyminen voi myös lisätä työkoneiden energiankulutusta, vaikuttaa kasvien kasvuun lähtöön, juuriston tilavuuteen ja lannoitteiden käytön tehokkuuteen (Wilhelm et al. 2010).

Oljen poisto voi laskea maaperän lämpötilaa (Shan & Yan 2013), mikä vähentää mikrobitoimintaa (De Nobili et al. 2008; Wilhelm et al. 2010; Shan & Yan 2013; Heinonsalo (toim.) 2020) ja voi sitä kautta huonontaa maaperän rakennetta (Wilhelm et al. 2010; Parajuli et al. 2014) ja vähentää nitrifikaatio-denitrifikaatioreaktioita (ND) ja N₂O-päästöjä (Gabrielle & Gagnaire 2008; Shan & Yan 2013; Monteleone et al. 2015).

Kuten edellä todetaan, N₂O-päästöt voivat vähentyä tai lisääntyä oljen poiston myötä ja päästöt ovat olosuhderiippuvaiset. N₂O samoin kuin maaperän tiivistyessä syntyvä metaani ovat kasvihuonekaasuja, joiden päästöt vaikuttavat ilmaston lämpenemiseen. Myös muutokset työkoneiden polttoaineenkulutuksessa esimerkiksi kyntötarpeen muutosten tai pellon tiivistymisen myötä vaikuttavat kasvihuonekaasupäästöihin.

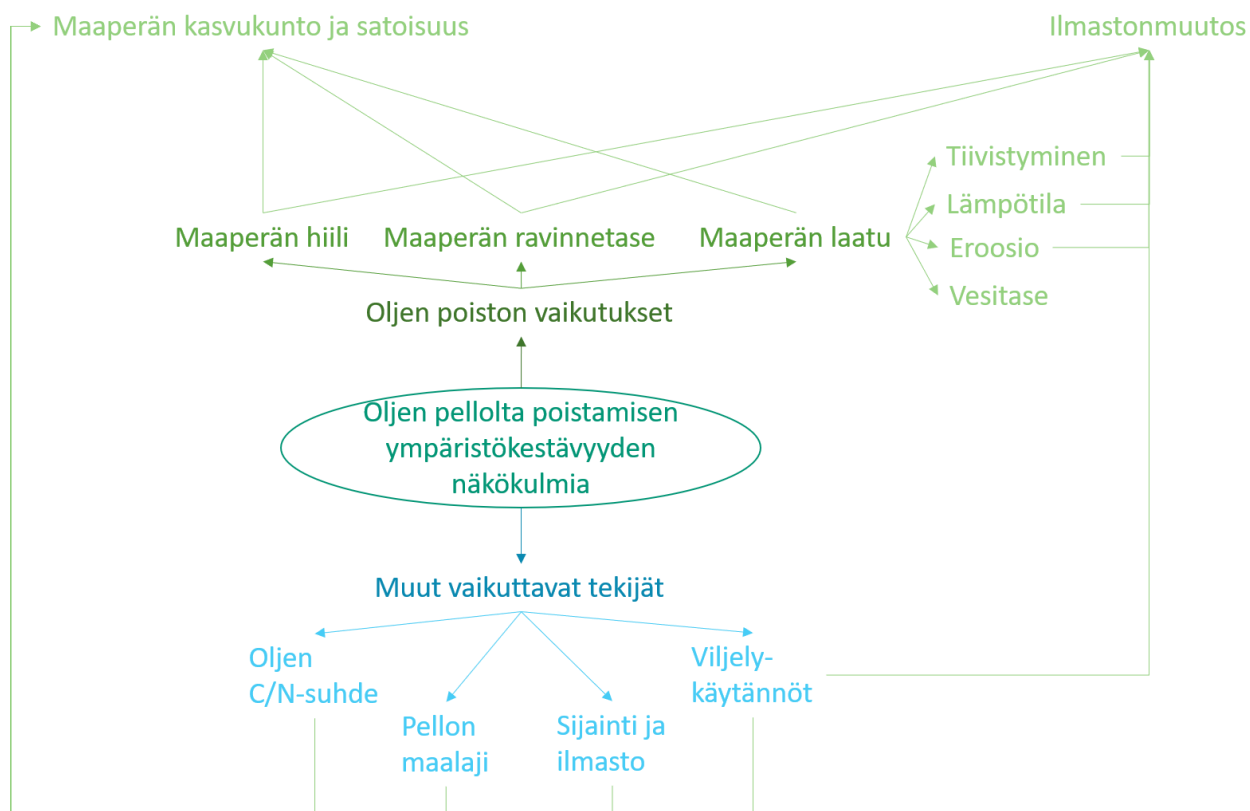
Oljen poiston tai pellolle jättämisen maaperä- tai muut ympäristövaikutukset eivät ole yksiselitteisiä. Monet paikalliset tekijät vaikuttavat merkittävästi: minkä viljelykasvin oljesta on kysymys (oljen hiili-typpi-suhde eli C/N-suhde) (Liu et al. 2011; Shan & Yan 2013), mikä maalaji on kyseessä (esim., mikä pH) (Gabrielle & Gagnaire 2008; Valkama et al. 2013; Regina 2015) tai millainen on maaperän rakenne (Singh et al. 2016), mikä ilmasto vallitsee kohteessa (Gabrielle & Gagnaire 2008; Regina 2015; Singh et al. 2016) ja mikä on maantieteellinen sijainti (Gabrielle & Gagnaire 2008) - myös esim. pinnanmuodot (Shan & Yan 2013) ja pellon kaltevuus (Puustinen et al. 2010; Regina 2015). Lisäksi vaikuttavat esimerkiksi maanmuokkaustavat, ojitus ja lannoitus (Regina 2015).

2.2 Paikallisten ympäristökestävyyšnäkökulmien tunnistaminen kyselytutkimuksen avulla

Osana Vihreän kasvun biokylä -hanketta toteutettiin Päijät-Hämeen alueen avaintiloille kysely, jossa kysyttiin viljelijöiltä oljen pellolta poistamiseen liittyviä näkökulmia. Yhtenä kysymyksenä kysyttiin viljelijöiden omia kokemuksia mahdollisista haitoista, joita oljen poisto voi aiheuttaa maaperän kasvukunnolle. Kyselyyn saatiin yhdeksän vastausta. Vastauksissa nostettiin esille muun muassa ravinteiden poistumaan, eloperäisen aineksen poistumaan ja tiivistymiseen liittyviä näkökulmia. Eloperäisen aineksen, multavuuden ja humuksen väheneminen nostettiin esille neljässä vastauksessa. Lisäksi yhdessä vastauksessa todettiin, että olkea ei kannata poistaa joka vuosi, mutta esimerkiksi eloperäisemmissä maissa olkien poisto joka toinen vuosi ei heikennä kasvukuntoa. Yhdessä vastauksessa ravinteiden poistuminen oljen mukana nähtiin ongelmana ja toisessa vastauksessa erityisesti kaliumin poistuma nostettiin esille, kun taas kolmannessa vastauksessa katsottiin, ettei olkien poisto juurikaan vaikuta maan ravinteikkuuteen. Yhdessä vastauksessa nostettiin esille märissä olosuhteissa maan tiivistyminen ja sen seurauksena kylvöön liittyvät ongelmat. Yhden vastauksen mukaan oljen poistolla ei olisi juurikaan merkitystä maaperän kasvukunnolle.

2.3 Yhteenveto oljen poiston ympäristöllisen kestävyuden näkökulmista

Kriteeri- ja indikaattorikirjallisuuskatsauksen, oljen poiston ympäristövaikutusten kirjallisuuskatsauksen ja viljelijäkyselyn tulosten perusteella oljen poiston ympäristökestävyysvaikutuksissa korostuvat kuvassa 2 esitetyt näkökulmat.



Kuva 2. Yhteenveto oljen pelloilta poistamisen ympäristökestävyyden näkökulmista kirjallisuuskatsauksen ja viljelijäkyselyn perusteella

Seuraavissa luvuissa tarkastellaan kirjallisuuden perusteella tarkemmin oljen poistamisen neljää ympäristökestävyyden näkökulmaa:

- Maaperän hiili
- Ilmastonmuutosvaikutukset
- Maaperän ravinnetase
- Maaperän laatu ja satotasot

3 OLJEN POISTON VAIKUTUKSET MAAPERÄN HIILIMÄÄRÄÄN

Keskeinen oljen pelloilta poistamiseen vaikuttava kysymys on, mitä tapahtuu oljen sisältämälle hiille pellossa ja toisaalta uudessa käyttökohteessa. Voiko oljen poisto pienentää maaperän hiilivarastoa, muuttaa ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta ja näin kiihdyttää ilmastonmuutosta jollakin aikajänteellä?

Maatalousmaat ovat globaalisti merkittävä hiilen varasto, ja hiilivaraston kehittymisellä on tärkeä rooli ilmastonmuutoksen näkökulmasta. Useissa kansainvälisissä ja kansallisissa aloitteissa ja poliittisissa instrumenteissa asetetaan tavoitteeksi maatalousmaan hiilensidonnan lisääminen pitkällä aikavälillä (4 per 1000; MMM 2014; Yli-Viikari & Aakkula 2017; YM 2017; Ruokavirasto 2018; Maaseutu 2020).

Maaperän hiili koostuu sekä orgaanisesta että epäorgaanisesta hiilestä. Epäorgaaninen hiili on karbonaattimineraalien rakenneosana esiintyvää hiiltä. Suomen kallioperässä epäorgaanista hiiltä sisältävät karbonaatit ovat harvinaisia ja Suomen maiden kokonaishiilipitoisuus onkin käytännössä pelkästään orgaanista hiiltä. Maaperän orgaanisen hiilen määrän kehittyminen johtuu monista eri tekijöistä. Maaperän hiilivarastoa kerryttää maahan joutuva kuollut orgaaninen kasviaines, eläinperäiset jätteet ja orgaaninen lannoitus. Hiiltä sen sijaan poistuu orgaanisen aineksen hajotessa hiilidioksidiksi ja muiksi kaasuisiksi, sekä poistuessa eroosion ja huuhtoutumisen kautta. Maaperään tulevan ja poistuvan hiilen määrä määrittelee, mille tasolle maaperän hiilimäärä asettuu. Tämä voi vaihdella hyvin paljon erityyppisillä alueilla, mutta esimerkiksi viileä ja kostea ilmasto, sekä hienojakoinen kivennäisaines edistävät orgaanisen aineksen kertymistä maahan. Aikajänne on aina tärkeä tarkasteltaessa hiilen määrän muutoksia maaperässä. Lyhyelläkin aikajaksolla voi tapahtua muutoksia, mutta osa vaikutuksista näkyy vasta pitkän ajan kuluessa. (Heinonsalo (toim.) 2020)

Mikrobit hajottavat orgaanista ainesta, jolloin osa orgaanisen aineksen hiilestä sitoutuu mikrobibiomassaan ja osa vapautuu mikrobien uloshengityksen hiilidioksidina. Mikrobien hiilenkäytön tehokkuus kuvaa osuutta, joka mikrobien sisäänsä ottamasta hiilestä päättyy oman biomassan rakentamiseen eli ei poistu uloshengityksessä. Mikrobibiomassaan sitoutunut hiili voi ajan kuluessa sitoutua maaperän mineraaleihin muodostaen näin hiilen pitkäaikaisen varaston, mutta tähänkin vaikuttavat monet tekijät. Jotkin viime vuosien tutkimukset ehdottavat, että suuri osa pitkäaikaisesta hiilen varastosta olisi peräisin mikrobien biomassasta, mikä nostaisi mikrobien hiilenkäytön tehokkuuden entistä merkittävämpään rooliin maaperän hiilivarastotarkasteluissa. (Heinonsalo (toim.) 2020) Heinonsalo (toim.) (2020) peräänkuuluttaa, että tarvitaan vielä lisätutkimusta ennen kuin voidaan paremmin sanoa, miten mikrobien hiilenkäytön tehokkuutta voidaan parantaa.

Biomassan sisältämä hiili voidaan jakaa karkeasti labiiliin ja stabiiliin orgaaniseen aineeseen. Labiili orgaaninen aine hajoaa kuukausien tai muutamien vuosien kuluessa, kun taas stabiili kestää maassa jopa satoja vuosia. (Heinonsalo (toim.) 2020) Stabiili orgaaninen aine muodostuu, kun hajotuksen tuotteet ja mikrobiperäinen aine reagoivat maan kivennäisaineksen kanssa. Heinonsalon (toim.) (2020) mukaan maahan lisäystä orgaanisesta aineesta 20–80 % hajoaa hyvin nopeasti 1–4 vuoden kuluessa. Hitaasti hajoavan hiilen osuus riippuu lisättävästä aineksestä, mutta on tyypillisesti maanpäällisille kasvinosille noin 20 % ja esimerkiksi biohiilelle 80 %. Kuitenkin ligniinipitoisten materiaalien, kuten oljen, hitaasti hajoavan aineksen osuus on korkea ja oljen lisäyksen on havaittu nostaneen maaperän hiilipitoisuutta. (Heinonsalo (toim.) 2020; Kätterer et al. 2011)

Maaperän hiilivarasto voidaan mitata maanäytteiden avulla. Näytteenoton tulisi olla kattava ja satunnaistettu, jotta hiilivarasto voidaan määrittää luotettavasti. Tämä tasoittaa myös paikallisten vaihteluiden aiheuttamaa epävarmuutta. Näytteenoton tulisi kattaa myös eri maakerrokset. Yleensä hiilivarasto on suurin muokkauskerroksessa, mutta toisinaan myös sen alapuolella voi olla merkittävä hiilivarasto. Maaperän orgaanisen hiilen mittaaminen on työlästä ja vaatii paljon resursseja, mikä on rajoittanut maaperämittausten määrää. Mittausten ohella maaperän hiilimäärää ja sen muutoksia voidaan arvioida myös mallilla. Mallien luotettavuutta voidaan parantaa lisäämällä niihin mittaustietoa. Mallit eivät koskaan ole täydellisiä, vaan ne edustavat yleensä parasta sen hetkistä ymmärrystä asiasta. (Heinonsalo (toim.) 2020) Tarkkaan orgaanisen aineksen määrän muutokseen maaperässä vaikuttavat monet tekijät, kuten

maalaji, ilmasto-olosuhteet, pellon tuottavuus ja maaperän orgaanisen aineksen määrä lähtötilanteessa (Saffih-Hdadi & Mary 2008).

Kirjallisuudessa on tunnistettu myös tilanne, jossa maaperä on saturaatiotilassa hiilen suhteen (Six et al. 2002; Powlson et al. 2008; Heinonsalo (toim.) 2020). Tällöin hiilen lisäys maaperään ei enää lisää maaperän hiilivarastoa (Hakala et al. 2016; Heinonsalo (toim.) 2020) ja enemmän olkea voidaan mahdollisesti poistaa pellolta vaikuttamatta negatiivisesti maaperän hiilivarastoon (Hakala et al. 2016).

Maanmuokkauskäytännöt vaikuttavat hiilidioksidin (CO₂) päästöihin maaperän hiilivarastosta: intensiivisempi muokkaus lisää päästöjä (Chatskikh & Olesen 2007; de Oliveira Silva et al. 2019; Alskaf et al. 2021). De Oliveira Silvan et al. (2019) mukaan CO₂-päästöihin vaikuttaa olennaisesti maaperän huokoisuus, johon maanmuokkauskäytännöt edelleen vaikuttavat. Intensiivinen kyntö kasvattaa maaperän huokosten kokoa ja sitä kautta CO₂-päästöjä maaperästä ja päinvastoin. (de Oliveira Silva et al. 2019) Sikäli kuin oljen pellolta poistaminen tai pellolle jättäminen vaikuttaa maaperän rakenteeseen tai maanmuokkaustavan valintaan, oljen poistolla voi olla välillisesti vaikutusta CO₂-päästöihin maaperän hiilivarastosta. Lisäksi pellon hiilivaraston muutokset vaikuttavat ilmakehän hiilidioksidipitoisuuteen: kun olkea käytetään esimerkiksi bioenergiantuotannossa pellolle jättämisen sijaan, oljen hiilisisältö vapautuu hiilidioksidina poltettaessa (Petersen et al. 2013; Sastre et al. 2013). Orgaanisen hiilen määrän muutoksia maaperässä oljen poiston seurauksena on tarkasteltu erilaisissa tutkimuksissa (taulukko 1).

Taulukko 1. Kooste tutkimuksista ja niiden johtopäätöksistä liittyen oljen keräykseen pelloilta.

SIJAINTI	MENETELMÄ	JOHTOPÄÄTÖS	LÄHDE
Etelä-Suomi	30 vuoden kenttäkokeet	Oljen poistolla ei havaittu vaikutusta maaperän hiilipitoisuuden pintamaassa (0–15 cm) savimaalla.	Singh et al. (2015)
Varsinais-Suomi	Yasso07-mallinnus	Oljen poisto (riippumatta pellolle jätetyn sängen pituudesta 10 cm, 20 cm tai 40 cm) aiheuttaa maaperän orgaanisen hiilen häviöitä kaikilla tutkituilla viljelykasveilla (kevät- ja talvivehnä, ohra, ruis, kaura, rypsi ja rapsi). Jos talvivehnän olkea ei kerätä, maahan varastoituu orgaanista hiiltä vuosittain 300 kg/ha. Jos pellolle jätetty sänki on 40 cm, talvivehnän hiilitase on lähes 0 (lievästi negatiivinen). Tyypillisellä 20 cm sängen pituudella maaperän orgaaninen hiili vähenee vuosittain 400 kg/ha kevätvehnän, rukiin ja kauran tapauksessa ja 500-600 kg/ha ohran, rypsin ja rapsin tapauksessa. Mikäli sänki jätetään 20 cm:n sijaan 40 cm pitkäksi, maaperään jää 32–48 % enemmän olkibiomassaa ja olkisadosta menetetään 28–46 %.	Hakala et al. (2016)
Eurooppa, Suomi	Kirjallisuuskatsaus, matemaattinen mallinnus	Suomessa vehnän, ohran, kauran ja rukiin oljen poistoa voisi hieman lisätä tyypillisestä 40 %:n keruutasosta siten, että SOC säilyy vuoden 2012 tasolla v. 2020 ja 2050.	Monforti et al. (2015)
Suomi, Ruotsi, Norja, Tanska	Kirjallisuuskatsaus eri lähteistä, C muuttaman vuoden jälkeen	Kasvintähteiden jättäminen pellolle sai aikaan orgaanisen hiilen lisäystä 0–5 cm kerroksessa 3–12 g/kg tai 0–10 cm kerroksessa 1–2,2 g/kg.	Rasmussen (1999)
Ruotsi	Pitkän aikavälin kenttäkokeet	Oljen lisäämisen on havaittu nostaneen maaperän hiilipitoisuutta pintakerroksessa (0–20 cm), mutta vaikutus näyttää pieneltä.	Heinonsalo (toim. 2020); Kätterer et al. (2011)
Ruotsi		Oljesta voidaan poistaa keskimäärin 35 %, kun otetaan huomioon maaperän hiilen lisäksi oljen muut käyttötarkoitukset, tekniset rajoitteet ja sääolosuhteet	Ekman et al. (2013)
Saksa	Elinkaarimallinnus	Oljesta voidaan poistaa koko valtion tasolla noin 53 %, mutta osavaltiotasolla 7–80 %.	Lindorfer et al. (2014)
Erilaisia alueita mm. Euroopassa ja Kaakkois-Aasiassa	Mallinnus, jota testattiin yhdeksän kenttäkokeen avulla (18–35 vuotta)	Oljen poisto pelloilta joka toinen vuosi laski maaperän orgaanisen hiilen määrää 2,5–10,9 % 50 vuoden aikajännteellä.	Saffih-Hdadi & Mary (2008)
Kanada	Maaperänäytteiden analysointi, tilastollinen analyysi	22–40 % oljen poistolla ei ollut vaikutuksia tuottavuuteen tai maaperän orgaanisen hiilen määrään 50 vuoden mittausjaksolla. Oljen poistolla ei ole vaikutuksia, jos oljesta poistetaan alle 40 % kahtena vuotena kolmesta.	Lafond et al. (2009)
Kanada	49 vuoden kenttäkoe	Vähäinen olkimäärän vuosittainen poisto (22 %), ei vähennä maaperän orgaanisen hiilen määrää pintamaassa (0–15 cm) savimaalla, jos lannoitus jatkuu suositusten mukaisena.	Lemke et al. (2010)
Erilaisia alueita	Aikaisempien tutkimusten (25) vertailu. Tutkimukset olivat kestoltaan 6–56 vuotta.	Oljen jättäminen peltoon lisäsi maaperän orgaanisen hiilen määrää. Muutos oli kuitenkin verraten pieni, alle 10 % suurimmassa osassa kokeita, ja merkittävä vain kuudessa.	Powlson et al. (2011)
Erilaisia alueita	Simulointi	Oljen poistaminen joka toinen vuosi johti 50 % pienempään maaperän orgaanisen hiilen määrän kasvuun kuin tilanne, jossa hiiltä ei poistettu.	Powlson et al. (2011)
Kiina, puolikuivat alueet	Nelivuotinen kenttäkoe	Maaperän orgaanisen hiilen määrä oli 0,7–23,4 % suurempi 0–40 cm maakerroksessa kuin tilanteessa, jossa olki poistettiin.	Wei et al. (2015)
		Tärkeämpi argumentti oljen jättämiselle maaperään on maaperän laatu kuin hiilen sidonta.	Powlson, et al. (2008)

4 OLJEN POISTON MUUT VAIKUTUKSET ILMASTONMUUTOKSEEN

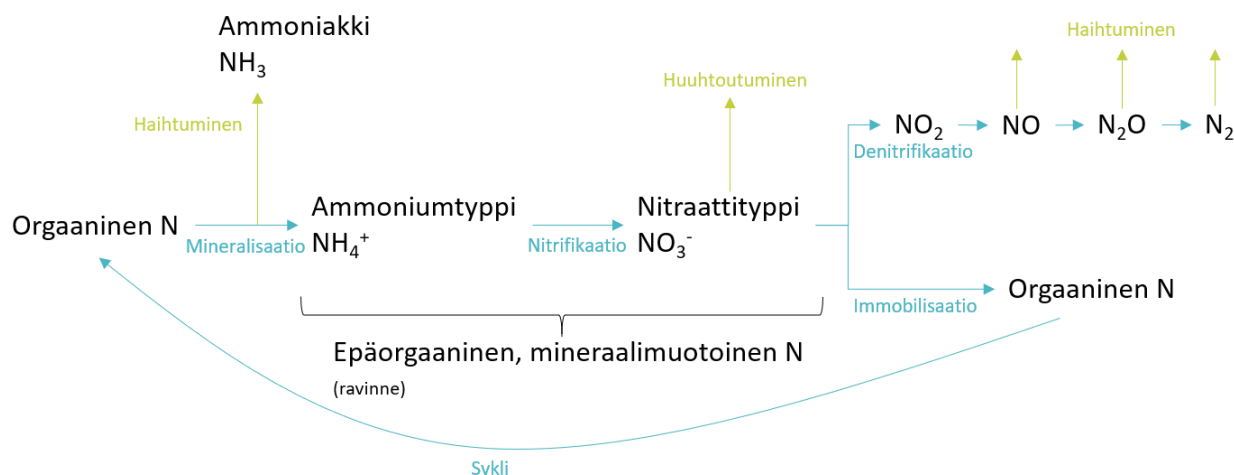
Oljen poisto vaikuttaa ilmastomuutokseen maaperän hiilimäärän muutosten myötä, kuten edellisessä luvussa kuvattiin. Lisäksi oljen poisto voi vaikuttaa muiden kasvihuonekaasujen, erityisesti typpioksiduulin N_2O ja metaanin CH_4 , päästöjen muodostumiseen maaperässä ja oljen korjuuprosesseissa käytettävien työkoneiden polttoaineenkulutuksen aiheuttamiin hiilidioksidipäästöihin, joita kuvataan tarkemmin tässä luvussa.

4.1 Maaperäkaasut

4.1.1 Typpioksiduuli

Typpioksiduuli (N_2O) on hiilidioksidia ja metaania voimakkaampi kasvihuonekaasu, joten sen päästöillä on suuri ilmastoa lämmittävä vaikutus. Maatalous on maailmanlaajuisesti merkittävä N_2O -päästölähde. Ihmistoiminnan globaaleista N_2O -päästöistä maatalouden osuus on 52 %. Päästöt ovat kasvussa erityisesti kehittyvillä alueilla, kuten Brasiliassa, Intiassa ja Kiinassa, kun taas Euroopassa maatalouden päästöjä on saatu vähennettyä typpilannoitteen käytön optimoinnilla EU:n nitraattidirektiivin mukaisesti. (Tian et al. 2020) Maatalousmaiden osuus Suomen N_2O -päästöistä oli 52 % (3,5 Mt CO_2 -ekvivalentteina) vuonna 2018 (Tilastokeskus 2020).

Shanin ja Yanin (2013) ja Laurilan ja Saarisen (2014) mukaan N_2O -päästöjen pääasiallinen lähde pellolla on mikrobitoiminnan aikaansaamat nitrifikaatio- ja denitrifikaatioprosessit. Kuvassa 3 on esitetty typen reaktioita maaperässä ja päästöreittejä. Sinisellä fontilla merkityt ovat maaperän mikrobitoiminnan aikaansaamia reaktioita. Suomen happamissa, kosteissa ja viileissä oloissa mineralisaation ammoniakkipäästöt ovat vähäiset. (Laurila & Saarinen 2014)



Kuva 3. Typen reaktiot maaperässä ja häviöt maaperästä (Christensen & Olesen 1998; Laurila & Saarinen 2014)

Shan & Yan (2013) toteavat, että oljen pellolle jättämisen (tai pellolta poiston) vaikutus N_2O -päästöihin on monimutkainen prosessi. Shan & Yan (2013) kävivät läpi 112 tutkimusta aiheesta todeten, ettei oljen pellolle jättämisellä ollut keskimäärin tilastollisesti merkittävää vaikutusta N_2O -päästöihin. Paikallisesti N_2O -päästöihin vaikuttavat kuitenkin merkittävästi oljen palautuksen yhteydessä synteettisen typpilannoitteen käyttö, oljen ominaisuudet (C/N-suhde, ligniinin, polyfenolien ja liukoisen hiilen pitoisuus) ja kemiallinen koostumus, oljen palauttamistapa (maa-ainekseen sekoittaminen, maan kattaminen eri tavoin, poltto, hautaaminen) ja maankäyttötapa (esim. kesanto tai viljelymaa) (Shan & Yan 2013). Laurila ja Saarinen (2014) toteavat parhaaksi N_2O -päästöjen ennustajaksi oljen C/N-suhteen. Typpirikas olki (pieni C/N-suhde) pellolla lisää N_2O -päästöjä (Shan & Yan 2013; Laurila & Saarinen 2014). Vastaavasti

Salo et al. (2018) toteavat vesiliukoisen hiilen ja typen korkean suhteen vähentävän typen nettomineralisaatiota ja sitä kautta N₂O-päästöjä. Jos olkea yksinään palautetaan pellolle, N₂O-päästöt kasvavat, kun taas oljen palautus yhdessä synteettisen typpilannoituksen kanssa näyttää vähentävän päästöjä mahdollisesti liukoisen orgaanisen hiilen vähenemisen vuoksi tässä tilanteessa, koska maaperän denitrifioivilla mikrobeilla on vähemmän ravintoa (Shan & Yan 2013).

Lisäksi lukuisat muut kuin oljen käsittelyyn liittyvät tekijät vaikuttavat maaperän N₂O-päästöihin:

- Maaperän tila (Shan & Yan 2013)
 - Maalaji (Laurila ja Saarinen 2014)
 - Lämpötila (Shan & Yan 2013; Basosi et al. 2014; Tian et al. 2020)
 - Kosteus (Shan & Yan 2013; Basosi et al. 2014; Tian et al. 2020)
 - Ravinteet (Shan & Yan 2013); kokonais- ja mineraalityypipitoisuus (Basosi et al. 2014; Tian et al. 2020)
 - Maaperän pH (Basosi et al. 2014; Tian et al. 2020)
 - Labiilin orgaanisen aineksen saatavuus (Basosi et al. 2014; Reddy & Crohn 2014)
 - Maaperän ilmavuus (Basosi et al. 2014) ja happitaso (Tian et al. 2020)
 - Hapetus-pelkistyspotentiaali (Basosi et al. 2014)
 - Maaperän suolaisuus voi lisätä N₂O-päästöjä (Reddy & Crohn 2014)
 - Basosi et al. (2014) huomauttavat, että kaikki maaperässä syntynyt N₂O ei välttämättä vapaudu päästöinä ilmakehään, vaan päästöt riippuvat maaperän fyysisistä ominaisuuksista.
- Viljelykäytännöt ja -tekniikat (Laurila ja Saarinen 2014)
 - Lannoitus (Laurila ja Saarinen 2014), typpilannoitus (Basosi et al. 2014) ja lannoituksen ajoittaminen (Liu et al. 2011; Shan & Yan 2013). Suurin osa ihmistoiminnan aiheuttamista maaperän N₂O-päästöistä on peräisin typpilannoituksesta (IPCC 2019).
 - Kastelu (Basosi et al. 2014) ja kastelun ajoittaminen (Liu et al. 2011)
 - Kasvipeitteisyys (Laurila ja Saarinen 2014). Maanpeitekasvit palkokasveja lukuun ottamatta vähentävät N₂O-päästöjä, mutta toisaalta lisäävät CO₂-päästöjä (Muhammad et al. 2019).
 - Maanmuokkaus: vähäisempi muokkaus voi lisätä N₂O-päästöjä (Alskaf et al. 2021) tai vähentää niitä (Chatskikh & Olesen 2007).
- Ympäristö- ja ilmasto-olosuhteet (Shan & Yan 2013), sademäärä (Laurila ja Saarinen 2014)

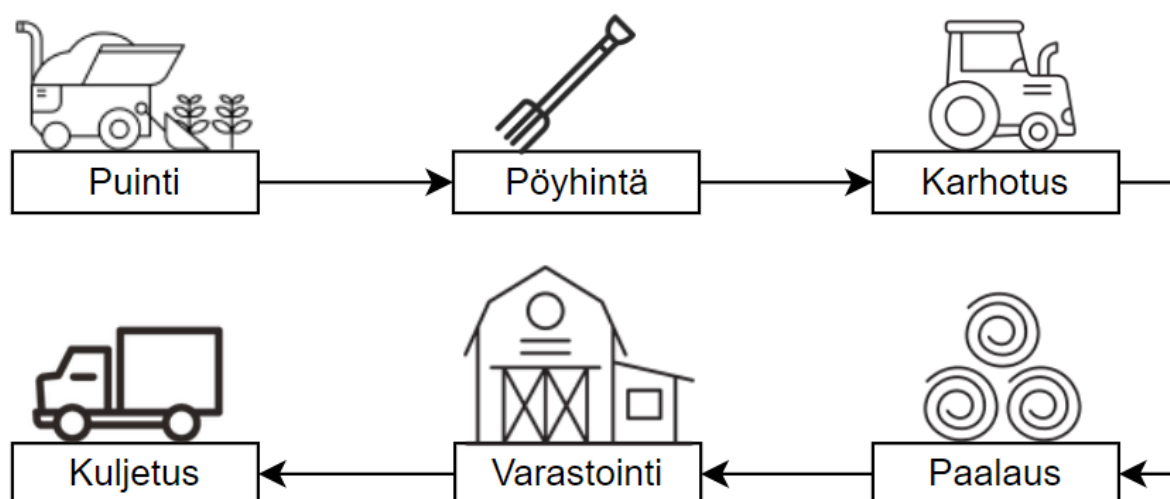
4.1.2 Metaani

Metaani on hiilidioksidia voimakkaampi mutta typpioksiduulia heikompi kasvihuonekaasu. Sitä syntyy maaperässä, jos kasviaines hajoaa hapettomissa olosuhteissa. Sen sijaan hapekas maaperä voi jopa toimia metaaninieluna, kun metanotrofiset mikrobit käyttävät metaania aineenvaihduntaansa. (Laurila & Saarinen 2014; Heinonsalo (toim.) 2020) Maaperän märkyys lisää metaanipäästöjä, joten riittävällä ojituksella pystytään hallitsemaan päästöjä (Laurila & Saarinen 2014). Laurila ja Saarinen (2014) viittaavat Hütschin tutkimukseen vuodelta 2001, jonka mukaan pellolle jätettävän oljen pieni C/N-suhde voi lisätä metaanipäästöjä, kuten myös N₂O-päästöjä. Toisaalta N₂O:n ja metaanin päästöillä on monesti käänteinen yhteys eli toisen päästön vähentäminen lisää toista. (Laurila & Saarinen 2014) Nitraattityyppä sisältävän lannoituksen käyttö voi vähentää maaperän metaanipäästöjä (Basosi et al. 2014). Alskaf et al. (2021) totesivat Iso-Britanniassa vehnällä tehdystä kokeesta, että oljen jättäminen pellolle ei vaikuttanut metaanipäästöihin, mutta maanmuokkauksella oli vaikutusta. Toisaalta olki vaikuttaa maaperän rakenteeseen, joka edelleen vaikuttaa metaanipäästöihin (Alskaf et al. 2021). Oljen poisto voi lisätä maaperän tiivistymistä (Silalertruksa & Gheewala 2013), mikä voi lisätä metaanipäästöjä hapettomien olosuhteiden lisääntyessä maaperässä (Heinonsalo (toim.) 2020).

4.2 Oljen korjuuprosessit

Oljen kerääminen ja poistaminen pellolta vaatii useita prosesseja, joista vapautuu päästöjä erityisesti fossiilisten polttoaineiden käytön myötä. Nämä prosessit ovat: puinti, karhotus, pöyhintä, paalaus ja kuljetus (kuva 4). Korjuuketjun voidaan katsoa alkavan puinnista, jossa jyvät puidaan talteen ja olki leikataan maahan. Jos olki päätetään jättää maahan, se usein silputaan puidessa, jolloin polttoaineen kulutus puimurissa saattaa olla suurempi kuin tilanteessa, jossa olki vain leikataan alas. Puinnin jälkeen olkea voidaan pöyhä ja karhottaa tarpeen tullen sen kuivumisen edistämiseksi. Kuivalla säällä pöyhintä ei ole tarpeellinen. Puinnin jälkeen olki on korjuuvalmiissa karhossa, mutta karhottamalla voidaan näitä yhdistää vielä isommaksi karhoksi. Karhottaminen on tarpeen, jos käytettävä paalain on suuritehoinen tai puimurin puintipöytä kapea. Karhottaminen myös nopeuttaa oljen kuivumista jonkin verran. (Laurila & Saarinen 2014)

Olki korjataan pelloilta paalaamalla. Yleisimmät paalintyytit ovat pyörö- ja suurkanttipaalain. Pyöröpaalaimet ovat edullisempia ja kevyempiä kuin suurkanttipaalaimet ja siksi kanttipaalaimet sopivatkin paremmin urakoitsijoille. Kanttipaalaimella saadaan aikaan tiiviimpiä ja helpommin varastoitavia paaleja kuin pyöröpaalaimella. Kanttipaalit ovat myös kuljetuksen kannalta parempi ratkaisu, sillä kanttipaaleilla saadaan kuljetusautoihin 30–50 % painavampia kuormia kuin pyöröpaaleilla. Pelloilta läheiselle välivarastolle paalit kuljetetaan usein traktorivetoisesti ja kaukokuljetus tapahtuu rekka-autoilla. (Laurila & Saarinen 2014)



Kuva 4. Oljen korjuuprosessit

5 OLJEN POISTON VAIKUTUKSET MAAPERÄN RAVINNETASEESEEN

Olki sisältää hiilen ohella maataloudessa tärkeitä kasviravinteita typpeä, fosforia ja kaliumia (Rajala 2001). Oljen poistaminen pelloilta siirtää hiilen ohella myös oljen sisältämät ravinteet pois, jolloin tämä poistuma täytyy mahdollisesti korvata lisälannoituksella. Esimerkiksi Wein et al. (2015) tutkimuksen mukaan oljen jättäminen maaperään nosti maaperän typen, fosforin ja kaliumin pitoisuuksia verrattuna tilanteeseen, jossa olki kerättiin pois. Oljen poisto saattaa aiheuttaa maaperän pH:n alenemista, mikä voi vaikuttaa ravinteiden liukoisuuteen ja siten käytettävyyteen kasveille ravinteena (Regina 2015; Lemola et al. 2018).

Tyypillisesti yhden olkikilon poistaminen pellolta johtaa noin 6 g:n typpipoistumaan, 1 g:n fosforipoistumaan ja 15 g:n kaliumpoistumaan. Tämän lisäksi Yaran (2020) mukaan oljessa on rikkiä 1,7–2,0 % ja magnesiumia 0,1 % oljen kuiva-aineesta. Oljessa on myös suhteellisen runsaasti kalsiumia, jolla on kuitenkin vähäinen merkitys lannoitusarvon kannalta, koska kalsiumia harvoin on tarve sisällyttää lannoitukseen (Jaakkola 1980). Regina (2015) toteaa kirjallisuuskatsauksessaan, että oljen poisto vähentää tyypillisesti hiilen ja typen määrää pintamaassa suhteellisesti enemmän kuin muiden ravinteiden, vaikka myös fosforin, kaliumin, kalsiumin ja magnesiumin vähenemistä on havaittu. Oljen mukana poistuvan typen, fosforin ja kaliumin määriä eri lähteistä on koottu taulukkoon 2.

Taulukko 2. Oljen mukana poistuvien ravinteiden määrä (Jaakkola 1980; Rajala 2001; Gabrielle & Gagnaire 2008; Mavi 2008; Yara 2020)

	N (% oljen kuiva-aineesta)	P (% oljen kuiva-aineesta)	K (% oljen kuiva-aineesta)
Vehnä	0,48–0,66	0,1	0,21–0,68
Ruis	0,48	0,1	
Kaura ja ohra	0,64	0,1	
Keskimäärin	0,4–0,6	0,08–0,1	1,2–1,7

5.1 Typpi

Kasvimassan hajoaminen voi joko sitoa maaperästä typpeä tai vapauttaa sitä maaperään. Tässä kriittisenä tekijänä on kasvimassan C/N-suhde. Jos kasvimassassa on vähän typpeä (C/N suhde on korkea), se sitoo maaperästä typpeä hajotessaan. Jos taas typpeä on paljon (C/N suhde on matala), vapautuu typpeä maaperään. Oljelle tyypillinen C/N-suhde on yhdysvaltalaisen tutkimuksen mukaan luokkaa 80:1. Jos C/N-suhde on 20–30, niin hajoaminen kutakuinkin käyttää kasvimassassa olevan typen, mutta ei kuluta ulkopuolista typpeä. Tällöin kasvimassan typpipitoisuus on tyypillisesti noin 1,2–1,8 % kuiva-aineessa. (Laurila & Saarinen 2014) Koska oljen typpipitoisuus on tätä matalampi, on todennäköistä, että oljen hajoaminen maaperässä kuluttaa maaperän typpeä. Jaakkola (1980) havaitsi keväthehnällä tekemässään kokeessa oljen typpeä kuluttavan vaikutuksen ensimmäisenä vuonna oljen palautuksen jälkeen. Näin ollen oljen poisto pellolta saattaa vähentää typpilannoituksen tarvetta.

5.2 Fosfori ja kalium

Oljen poiston lannoitetarpeen lisäämisen on havaittu liittyvän erityisesti fosforiin ja kaliumiin (Laurila & Saarinen 2014; Powlson et al. 2011). Oljen mukana menetetyt P-ravinteet voi korvata esimerkiksi superfosfaattilannoitteella (Parajuli et al. 2014). Jaakkola (1980) toteaa, että nimenomaan oljen kaliumilla vaikuttaa olevan eniten merkitystä oljen lannoitusarvon kannalta, ja olki sisältää kaliumia moninkertaisesti jyvihin nähden. Koeastioissa keväthehnän oljen lisääminen kaliumlannoitustarpeessa olevaan maaperään lisäsi kahden vuoden ohrasadon 3,7-kertaiseksi verrattuna tilanteeseen ilman oljen lisäystä oletettavasti pääasiassa oljen kaliumsisällön vuoksi (Jaakkola 1980). Parajuli et al. (2014) ovat oletaneet, että oljen poistossa menetetty K-ravinnearvo voidaan korvata yksi yhteen kaliumkloridilannoitteilla.

6 OLJEN POISTON VAIKUTUKSET MAAPERÄN LAATUUN JA SATOTASOIHIN

Maaperän laatua kuvaavat muun muassa maaperän hiilivarasto (Cramer et al. 2007), orgaanisen aineksen pitoisuus (Joensuu & Sinkko 2015), rakenne (SFS-EN 16214-3), esim. tiivistyminen (Joensuu & Sinkko 2015), puskurikyky (SFS-EN 16214-3), eroosioherkkyys (Johnson et al. 2010), vedenpidätyskyky (Buchholz et al. 2009) ja suolaantuminen ja mineraalit (Cramer et al. 2007). Maaperän laatutekijät vaikuttavat maaperän hedelmällisyyteen ja satotasoihin (esim. Buchholz et al. 2009; Johnson et al. 2010; Wilhelm et al. 2010).

Satoisuutta tyypillisesti lisäävät maaperän orgaaninen aines, maaperän parempi, stabiilimpi rakenne, tehokkaampi ravinnekierto, parempi vedenpidätyskyky ja veden imeytyminen ja maaperän parempi puskurikyky (epä)orgaanisia haitta-aineita (esim. raskasmetalleja ja torjunta-aineita) vastaan (Mondini & Sequi 2008; Buchholz et al. 2009; Johnson et al. 2010; Wilhelm et al. 2010; Ekman et al. 2013; NL Agency 2013; Silalertruksa & Gheewala 2013). Satoisuutta voi heikentää esimerkiksi maaperän tiivistyminen, joka heikentää taimien kasvuun lähtöä ja pienentää juuriston tilavuutta (Wilhelm et al. 2010).

Oljen poistolla on mahdollisia vaikutuksia maaperän laatutekijöihin ja sitä kautta satotasoihin: useiden lähteiden mukaan oljen poisto voi vähentää satoisuutta (Sheehan et al. 2003; Gabrielle & Gagnaire 2008; Lal 2008; Mondini & Sequi 2008; Johnson et al. 2010; Wilhelm et al. 2010). Toisaalta Monteleone et al. (2015) toteavat, ettei oljen poiston osuutta maaperän tuottavuuteen ole yksiselitteistä osoittaa, sillä muilla ympäristötekijöillä, esimerkiksi kuivuudella, voi olla enemmän vaikutusta.

Myös sillä, miten olki palautetaan pellolle (esim. maan kattaminen oljilla, silppuaminen ja sekoittaminen maa-ainekseen tai poltto), on vaikutusta satoisuuteen (Shan & Yan 2013). Esimerkiksi vaikka maan kattaminen oljella vähentää veden haihduntaa ja pintavaluntaa ja maaperän kuivumista auringossa ja rikkaruohojen kasvua (Lal 2008), se voi myös vähentää taimien itämistä ja aiheuttaa vaihtelevaa satoisuutta (Liu et al. 2017). Limon-Ortega et al. (2008) totesivat oljen polttamisen lisäävän satoa ja typenkäytön tehokkuutta maaperässä verrattuna oljen kyntämiseen peltoon, mutta poltto aiheuttaa ilmanlaatuhaittoja (Abraham et al. 2016). Myös Reginan (2015) kirjallisuuskatsauksen mukaan eri tutkimuksissa on saatu hyvin vaihtelevia tuloksia eri olkikäsittelyjen vaikutuksista satoihin ja esimerkiksi säävaihtelut selittävät satotasojätkä olkikäsittelyjä paremmin.

Oljen jättäminen maahan parantaa maan rakennetta, vesitaloutta ja biologista aktiivisuutta (Laurila & Saarinen 2014; Powlson et al. 2011). Huokoinen rakenne helpottaa sadeveden imeytymistä ja maaperän kaasunvaihtoa. Sadevesien tehokas imeytyminen estää pintavaluntaa ja maa-aineksen (eroosio) ja ravinteiden poistumista sen mukana (Wilhelm et al. 2010). Huokoisen ja mururakenteisen maan etuja ovat myös mm. liettymisen estyminen, helppo muokattavuus ja hyvä ravinteiden, kuten fosforin, pidätyskyky. (Laurila & Saarinen 2014) Oljen poisto puolestaan voi aiheuttaa maanpinnan kuorettumista (Regina 2015). Oljen jättäminen maaperään nostaa maaperän lämpötilaa, mikä edelleen lisää biologista aktiivisuutta: mikrobitoimintaa ja lieroja, jotka edesauttavat maaperän orgaanisen aineksen muodostumista (Lal 2008; Wilhelm et al. 2010; Heinonsalo (toim.) 2020).

Oljen poiston myötä aiheutuvan orgaanisen aineksen vähenemisen haitat näkyvät yleensä pitkän ajan kuluessa maaperän fysikaalisten ominaisuuksien muutoksina. Vaikka orgaanisen aineksen osuus maassa olisi pieni, sillä voi olla keskeinen rooli maan tuottavuuden kannalta, koska se vaikuttaa moniin maaperän biologisiin, kemiallisiin ja fysikaalisiin ominaisuuksiin. (Heinonsalo (toim.) 2020; Wilhelm et al. 2010) Pienikin maaperän orgaanisen aineksen määrän muutos voi aiheuttaa muutoksia maaperän laatuun, kuten veden suodattumiseen ja maaperän tiiviyteen (Powlson et al. 2011; Ronkainen 2012; Regina 2015; Salo et al. 2018). Nopeasti hajoava labiili biomassan aines edistää maan elämää ja toimii ravintona eliöille, jotka vapauttavat biomassan ravinteita uudelleen käyttöön. Tämä toiminta on tärkeää myös maan rakenteen kannalta. Stabiili orgaaninen aines tarjoaa reaktiopinnan ja se esimerkiksi pidättää ravinnepitoisuuksia kasveille, toimii puskurina happamoitumista vastaan, parantaa mm. fosforin saatavuutta kasveille ja voi sitoa haitallisia metalleja kasveille vähemmän haitalliseen muotoon. Korkea or-

gaanisen aineksen pitoisuus pelloilla voi edistää maaperän vedenpidätysominaisuuksia ja näin vähentää poudanarkuutta. (Heinonsalo (toim.) 2020) Soinne et al. (2020) totesivat suomalaisessa kenttäkokeessaan, että erityisesti savipelloilla orgaanisen hiilen korkeampi määrä suhteessa saven määrään paransi kevätvehnän, -ohran ja -kauran satotasoa riippumatta siitä, käytettiinkö typpilannoitetta. Taulukkoon 3 on koottu oljen poistamisen tai pellolle jättämisen vaikutuksia satotasoihin erilaisista tutkimuksista vaihtelevissa olosuhteissa.

Taulukko 3. Oljen vaikutukset satotasoihin (maalajien suomennokset Lemola et al. 2018)

SIJAINTI	MAALAJI	OLJEN VAIKUTUS SATOON	SYY	LÄHDE
Pohjoinen pallonpuolisko	Ei määritetty	Oljen jättäminen pellolle voi vähentää satoa 10–20 %.	Pellon mikroilmaston muutokset pellon ollessa huonosti salaojitettu ja kevään lämpötilojen ollessa epäsuotuisat	Lal (2008)
Etelä-Suomi	Hiesu Hieta	Oljen poisto hieman lisäsi satoa, mutta ei tilastollisesti merkitsevästi 10 vuoden aikana, auraton viljely.		Regina (2015)
Etelä-Suomi	Savi	Oljen poisto vähensi satoa tilastollisesti merkitsevästi kahdella kuudesta koepaikasta 10 vuoden aikana, auraton viljely.		Regina (2015)
Jokioinen, Suomi	Savi	Oljen jättämisellä peltoon, poistolla tai polttamisella ei merkittävää vaikutusta vehnä-, ohra- tai kaurasatoihin (kyntö tai kevennetty muokkaus).		Singh (2015); Regina (2015)
Jokioinen ja Maaninka, Suomi	Savi	Orgaanisen aineksen väheneminen lisäsi maan pintakerroksen (0–20 cm) tilavuuspainoa eli tiivistymistä. Tiiviimmiltä mailta saatiin pienempiä jyväsatoja. Myös korkeampi saves-hiilisuhde vähensi satoa.	Orgaanisen aineksen määrä ei ollut ainoa jyväsatoa selittävä tekijä tai mahdollisesti lainkaan suoraan satoon vaikuttava tekijä. Korkeampi saves-hiilisuhde vähensi orgaanisen typen nettomineralisaatiota ja satoa selvästi.	Salo et al. (2018)
Kaakkois-Norja	Hiue ja hiesuinen hiesu	Kevätohran, -kauran ja -vehnän oljen pilkkominen pellolle lisäsi keskimäärin satoa 6 vuoden tarkastelujaksolla 290 kg/ha verrattuna oljen poistoon, polttoon ja oljen kyntämiseen 2 tai 8 cm:n syvyydelle peltoon. Keskimääräistä sateisempänä vuonna oljen pilkkominen pellolle vähensi satoa 336 kg/ha.	Kuivempina vuosina sadonlisäys johtui todennäköisesti veden haihtumisen vähenemisestä olkipiteen ansiosta.	Børresen (1999)
Koillis-Ranska	Pintakerros hiue tai hiesu-hiue	1 tonni poistettua vehnäolkea vähensi satoa 50–150 kg kuiva-ainetta/ha.	Typen nettomineralisaation väheneminen	Gabrielle & Gagnaire (2008)
Koillis-Ranska	Emäksinen kalkkikivi-maa (rendzina)	Vehnäoljen poisto 1,05 t kuiva-ainetta/a kerran viljelykierrossa (rypsi-vehnä-vehnä) lisäsi satoa 0,3 %.		Gabrielle & Gagnaire (2008)
Koillis-Ranska	Hiue	Vehnäoljen poisto 1,34 t kuiva-ainetta/a kerran viljelykierrossa (rypsi-vehnä-vehnä) vähensi satoa 2,8 %.		Gabrielle & Gagnaire (2008)

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Oljen poiston vaikutukset maaperän hiilimäärään ovat paikallisesti erittäin vaihtelevia. Yleensä ainakin osa oljesta voidaan poistaa pellolta aiheuttamatta haitallisia vaikutuksia peltomaaperän hiilivarastolle. Oljen niittokorkeutta ja keruutiheyttä säätämällä voidaan vaikuttaa olkibiomassana pellolle jäävään hiilimäärään. Lähdeaineiston mukaan paikalliset mittaukset tai selvitykset ovat tarpeen, jotta voidaan määrittää hyväksyttävä pellolta poistettavan oljen osuus, eli kuinka paljon ja usein olkea voidaan poistaa, jotta maaperän hiilen muutokset ovat hyväksyttävällä tasolla (Powlson et al. 2011; Regina 2015). Oljen käyttö muualla kuin pellolla siirtää hiiltä pellon hiilivarastosta tuotteisiin tai ilmakehään hiilidioksidina vaikuttaen näin ilmastomuutokseen. Lisäksi oljen poisto voi välillisesti vaikuttaa esimerkiksi pellon maanmuokkaustarpeeseen, mikä vapauttaa hiilidioksidia ilmakehään suoraan pellon hiilivarastosta.

Oljen poistaminen pellolta voi vaikuttaa ilmastomuutokseen myös vaikuttamalla maaperästä vapautuvien kasvihuonekaasujen, typpioksiduulin ja metaanin, muodostumiseen. Oljen poiston vaikutuksesta pellon N_2O -taseeseen ei ole yksiselitteistä tietoa. Olkea poistettaessa toiset mekanismit lisäävät N_2O -päästöjä (maaperän heikentynyt typensitomiskyky ja lisääntyvät ND-reaktiot, pellon kyntämättä jättäminen maaperän hiilen vähenemisen kompensoimiseksi) ja toiset vähentävät (maaperän lämpötilan lasku, vähentynyt mikrobitoiminta ja vähentyvät ND-reaktiot). Oljen poisto on kuitenkin vain yksi N_2O -päästöihin vaikuttava tekijä muiden, kuten maaperän ominaisuuksien, viljelykäytäntöjen ja ilmasto-olosuhteiden, ohella. Oljen poiston tai pellolle jättämisen N_2O -päästövaikutusten hillintä on tärkeää, mutta vaikutukset voivat olla vaikeasti eriteltävissä erityisesti muun typpilannoituksen aikaansaamasta N_2O -päästöistä. Toisaalta lisääntynyt synteettisten typpilannoitteiden käyttö oljen mukana pellolta poistuvan typpiravinteiden kompensoimiseksi voi paikallisesti joko lisätä tai vähentää N_2O -päästöjä. Metaanipäästöt voivat lisääntyä oljen poiston aiheuttaman maaperän tiivistymisen lisätessä hapettomia olosuhteita maaperässä. Toisaalta myös metaanipäästöihin on suuri vaikutus pellon maalajilla ja viljelykäytännöllä, kuten lannoituksella ja maanmuokkauksella.

Pellolla käytettävät työkoneet ja työvaiheet oljen keräämiseksi aiheuttavat CO_2 -päästöjä vaikuttaen siten ilmastomuutokseen. Lisäksi oljen poisto vaikuttaa työkoneiden päästöihin välillisesti: oljen poiston mahdollisesti aikaansaama maaperän tiivistyminen voi lisätä työkoneiden energiankulutusta ja lisääntyvän polttoaineenkulutuksen myötä CO_2 -päästöjä. Tiivistyminen voi myös aiheuttaa maanmuokkauksen lisätarvetta, mikä lisää päästöjä. Toisaalta oljen poiston vaikutuksia maaperän hiilen vähenemiseen ja eroosioherkkyyden lisääntymiseen voidaan kompensoida jättämällä pelto kyntämättä, mikä vähentää työkoneiden päästöjä. Myös esimerkiksi, kun olki kerätään, sitä ei tarvitse silputa, mikä voi vähentää puimurin polttoaineenkulutusta ja päästöjä.

Oljen poisto voi aiheuttaa lisälannoitustarvetta. Osa lähteistä toteaa erityisesti typpilannoitustarpeen, vaikka toisaalta oljen poisto voi vähentää typpentarvetta maaperässä, koska maaperän tyypeä ei kulu oljen hajotusprosessissa. Toisaalta osa lähteistä toteaa lisälannoitustarpeen liittyvän erityisesti fosforiin ja kaliumiin. Typpilannoituksella on yhteys pellon N_2O -päästöihin ja kaikilla ravinteilla satoisuuteen. Lisälannoitustarve aiheuttaa päästöjä myös lannoitteiden tuotantoketjussa.

Oljen poisto vaikuttaa useisiin maaperän laatutekijöihin ja siten mahdollisesti satotasoihin, mutta usein muilla ympäristötekijöillä, kuten vaihtelevilla sääolosuhteilla, voi olla suurempi merkitys. Eri tutkimuksien mukaan oljen poisto voikin paikallisesti joko vähentää tai lisätä satoa.

Poistettaessa olkea pellolta muuhun hyötykäyttöön ja määritettäessä poistettavan oljen hyväksyttävää osuutta korostuu paikallisten olosuhteiden ja mittausten merkitys. Oljen poisto ei vaikuta yksiselitteisen kielteisesti tai myönteisesti pellon kasvukuntoon ja satoisuuteen tai kasvihuonekaasupäästöihin. Myös pellon maaperän ominaisuudet, viljelykäytännöt ja sääolosuhteet vaikuttavat merkittävästi. Oljen poiston mahdollisia haitallisia vaikutuksia voidaan osin kompensoida esimerkiksi monipuolisilla viljelykierron ja aluskasveja käyttämällä (Regina 2015). Oljen poiston vaikutuksista Suomen olosuhteissa tarvittaisiinkin lisää mittaustietoa. Kokonaisuuden kannalta on myös tärkeää esimerkiksi mitä tuotantoa voidaan välttää käyttämällä olkea raaka-aineena ja mitkä ovat tällöin kokonaiskestävyysvaikutukset.

LÄHTEET

393/2013 Laki biopolttoaineista ja bionesteistä.

4 per 1000. Welcome to the “4 per 1000” initiative. Saatavissa: <https://www.4p1000.org/>

Abraham, A., Mathew A.K., Sindhu, R., Pandey, A., Binod, P. 2016. Potential of rice straw for bio-refining: An overview. *Bioresource Technology*, 215, 29–36. <https://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2016.04.011>

Alskaf, K., Mooney, S.J., Sparkes, D.L., Wilson, P., Sjögersten, S. 2021. Short-term impacts of different tillage practices and plant residue retention on soil physical properties and greenhouse gas emissions. *Soil & Tillage Research* 206, 104803. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104803>

Bakht, J, Shafi, M., Tariq Jan, M., Shah, Z. 2009. Influence of crop residue management, cropping system and N fertilizer on soil N and C dynamics and sustainable wheat (*Triticum aestivum* L.) production. *Soil & Tillage Research*, 104, 233–240. <https://doi.org/10.1016/j.still.2009.02.006>

Basosi, R., Spinelli, D., Fierro, A., Jez, S. 2014. Mineral nitrogen fertilizers: Environmental impact of production and use. *Fertilizers: Components, Uses in Agriculture and Environmental Impacts*, NOVA Science Publishers, 3–43. Saatavissa: https://www.researchgate.net/publication/264124538_Mineral_Nitrogen_Fertilizers_Environmental_Impact_of_Production_and_Use

Brookes, P.C., Cayuela, M.L., De Nobili, M., Kemmitt, S.J., Mondini, C. 2008. The mineralisation of fresh and humified soil organic matter by the soil microbial biomass. *Waste Management*, 28, 716–722. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.09.015>

Buchholz, T., Luzadis, V.A., Volk, T.A. Sustainability criteria for bioenergy systems: results from an expert survey. *Journal of Cleaner Production*, 17, S86–S98. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.04.015>

Børresen, T. 1999. The effect of straw management and reduced tillage on soil properties and crop yields of spring-sown cereals on two loam soils in Norway. *Soil & Tillage Research*, 51, 91–102. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(99\)00030-6](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(99)00030-6)

Chatskikh, D., Olesen, J.E. 2007. Soil tillage enhanced CO₂ and N₂O emissions from loamy sand soil under spring barley. *Soil & Tillage Research*, 97, 5–18. <https://doi.org/10.1016/j.still.2007.08.004>

Cherubini, F., Strømman, A.H. 2011. Life cycle assessment of bioenergy systems: State of the art and future challenges. *Bioresource Technology*, 102, 437–451. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.08.010>

Christensen, B.T., Olesen, J.E. 1998. Nitrogen mineralization potential of organomineral size separates from soils with annual straw incorporation. *European Journal of Soil Science*, 49, 25–36. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2389.1998.00130.x>

Clapp, C.E., Allmaras, R.R., Layese, M.F., Linden, D.R., Dowdy, R.H. 2000. Soil organic carbon and ¹³C abundance as related to tillage, crop residue, and nitrogen fertilization under continuous corn management in Minnesota. *Soil & Tillage Research*, 55, 127–142. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(00\)00110-0](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(00)00110-0)

Cramer, J., Wissema, E., de Bruijne, M., Lammers, E., Dijk, D., Jager, H., van Bennekom, S., Breunese, E., Horster, R., van Leenders, C., Wonink, S., Wolters, W., Kip, H., Stam, H., Faaij, A., Kwant, K. 2007. Testing framework for sustainable biomass: Final report from the project group “Sustainable production of biomass”. Saatavissa: <https://www.rvo.nl/sites/default/files/bijlagen/Testing%20framework%20for%20sustainable%20biomass.pdf>

De Nobili, M., Contin, M., Mahieu, N., Randall, E.W., Brookes, P.C. 2008. Assessment of chemical and biochemical stabilization of organic C in soils from the long-term experiments at Rothamsted (UK). *Waste Management*, 28, 723–733. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.09.025>

De Oliveira Silva, B., Moitinho, M.R., de Araújo Santos, G.A., De Bortoli Teixeira, D., Fernandes, C., La Scala Jr., N. 2019. Soil CO₂ emission and short-term soil pore class distribution after tillage operations. *Soil & Tillage Research*, 186, 224–232. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.10.019>

Dick, W.A., Blevins, R.L., Frye, W.W., Peters, S.E., Christenson, D.R., Pierce, F.J., Vitosh, M.L. 1998. Impacts of agricultural management practices on C sequestration in forest-derived soils of the eastern Corn Belt. *Soil & Tillage Research*, 47, 235–244. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(98\)00112-3](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(98)00112-3)

Efroymsen, R.A., Dale, V.H., Kline, K.L., McBride, A.C., Bielicki, J.M., Smith, R.L., Parish, E.S., Schweizer, P.E., Shaw, D.M. 2013. Environmental indicators of biofuel sustainability: What about context? *Environmental Management*, 51, 291–306. <https://doi.org/10.1007/s00267-012-9907-5>

Ekman, A., Wallberg, O., Joelsson, E., Börjesson, P. 2013. Possibilities for sustainable biorefineries based on agricultural residues – A case study of potential straw-based ethanol production in Sweden. *Applied Energy*, 102, 299–308. <https://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.07.016>

(EU) 2018/2001. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2018/2001, annettu 11 päivänä joulukuuta 2018, uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisestä (uudelleenlaadittu) (ETA:n kannalta merkityksellinen teksti).

Gabrielle, B., Gagnaire, N. 2008. Life-cycle assessment of straw use in bio-ethanol production: A case study based on biophysical modelling. *Biomass and Bioenergy*, 32, 431–441. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2007.10.017>

GBEP. 2011. The Global Bioenergy Partnership Sustainability indicators for bioenergy: First edition. Saatavissa: http://www.globalbioenergy.org/fileadmin/user_upload/gbep/docs/Indicators/Report_HYPERLINK_updated_CM_25-05-2017.pdf

Hakala, K., Heikkinen, J., Sinkko, T., Pahkala, K. 2016. Field trial results of straw yield with different harvesting methods, and modelled effects on soil organic carbon. A case study from Southern Finland. *Biomass and Bioenergy*, 95, 8–18. <https://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.08.021>

Heikkinen, J., Ketoja, E., Nuutinen, V., Regina, K. 2013. Declining trend of carbon in Finnish cropland soils in 1974-2009. *Global Change Biology*, 19 (5), 1456–1469. <https://doi.org/10.1111/gcb.12137>

Heinonsalo, J. 2020. Hiiliopas. Katsaus maaperän hiilen ja hiiliviljelyn perusteisiin. Carbon Action & BSAG. Saatavissa: <https://carbonaction.org/wp-content/uploads/2020/01/BSAG-hiiliopas-1.-painos-2020.pdf>

IPCC. 2019. Climate change and land. Saatavissa: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/02/SPM_Updated-Jan20.pdf

Jaakkola, A. 1980. Olkien, olkituhkan ja sokerijuurikkaan naattien arvo kaliumlannoitteena. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2014120350326>

Joensuu, K., Sinkko, T. 2015. Environmental sustainability and improvement options for agribiomass chains: Straw and turnip rape. *Biomass and Bioenergy*, 83, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.08.014>

Johnson, J.M.F., Karlen, D.L., Andrews, S.S. 2010. Conservation considerations for sustainable bioenergy feedstock production: If, what, where, and how much? *Journal of Soil and Water Conservation*, 65 (4), 88A–91A. <https://doi.org/10.2489/jswc.65.4.88A>

Kätterer, T., Bolinder, M., A., Andren, O., Kirchmann, H., Menichetti, L. 2011. Roots contribute more to refractory soil organic matter than above-ground crop residues, as revealed by a long-term field experiment. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 141, 184–192. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.02.029>

- Lafond, G. P., Stumborg, M., Lemke, R., May, W., E., Holzapfel, C. B., Campbell, C.A. 2009. Quantifying Straw Removal through Baling and Measuring the Long-Term Impact on Soil Quality and Wheat Production. *Agronomy Journal*, 101 (3), 529–537. <https://doi.org/10.2134/agronj2008.0118x>
- Lal, R. 1997. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂-enrichment. *Soil & Tillage Research*, 43, 81–107. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(97\)00036-6](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(97)00036-6)
- Lal, R. 2008. Crop residues as soil amendments and feedstock for bioethanol production. *Waste Management*, 28, 747–758. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.09.023>
- Laurila, J., Saarinen, J. 2014. Oljen hyötykäyttöön liittyviä otteita tutkimusraportista: ”Peltobiomassojen korjuu ja sen ympäristövaikutukset kohdealueena Varsinais-Suomi ja Satakunta” Saatavissa: http://www.sbe.fi/SBE/Sopimukset_files/Peltobiomassojen_hyodyntaminen.pdf
- Lemke, et al. 2010. Crop residue removal and fertilizer N: Effect on soil organic carbon in a long-term crop rotation experiment on a Udic Boroll. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 135, 42–51. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.08.010>
- Lemola, R., Uusitalo, R., Hyväluoma, J., Sarvi, M., Turtola, E. 2018. Suomen peltojen maalajit, multavuus ja fosforipitoisuus: Vuodet 1996–2000 ja 2005–2009. Saatavissa: https://juku.luke.fi/bitstream/handle/10024/541851/luke-luobio_17_2018.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Limon-Ortega, A., Govaerts, B., Sayre, K.D. 2008. Straw management, crop rotation, and nitrogen source effect on wheat grain yield and nitrogen use efficiency. *European Journal of Agronomy*, 29, 21–28. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.01.008>
- Lindorfer, J., Fazeni, K., Steinmüller, H. 2014. Life cycle analysis and soil organic carbon balance as methods for assessing the ecological sustainability of 2nd generation biofuel feedstock. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 5, 95–105. <https://dx.doi.org/10.1016/j.seta.2013.12.003>
- Liu, C., Wang, K., Meng, S, Zheng, X., Zhou, Z., Han, S., Chen, D., Yang, Z. 2011. Effects of irrigation, fertilization and crop straw management on nitrous oxide and nitric oxide emissions from a wheat-maize rotation field in northern China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 140, 226–233. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.12.009>
- Liu, Z., Wang, D., Ning, T., Zhang, S., Yang, Y., He, Z., Li, Z. 2017. Sustainability assessment of straw utilization circulation modes based on the emergent ecological footprint. *Ecological Indicators*, 75, 1–7. <https://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.12.024>
- Maaseutu. 2020. Vaikuttavuusindikaattorit. Saatavissa: <https://www.maaseutu.fi/maaseutuverkosto/vaiikutukset/tavoitteet-ja-tulokset/tavoitteiden-edistaminen>
- Material District. 2019. The world’s first wheat straw based clothing. Saatavissa: <https://material-district.com/article/wheat-straw-based-clothing/>
- Mavi. 2008. Ravinnetaseet: Ympäristötuen lisätoimenpide lannoituksen ja sadon ravinnemäärien seurantaan. Saatavissa: <https://docplayer.fi/3988113-Ravinnetaseet-ymparistotuen-lisatoimenpide-lannoituksen-ja-sadon-ravinnemaarien-seurantaan-maatalouden-ymparistotuki.html>
- McBride, A.C., Dale, V.H., Baskaran, L.M., Downing, M.E., Eaton, L.M., Efroymsen, R.A., Garten Jr., C.T., Kline, K.L., Jager, H.I., Mulholland, P.J., Parish, E.S., Schweizer, P.E., Storey, J.M. 2011. Indicators to support environmental sustainability of bioenergy systems. *Ecological Indicators*, 11, 1277–1289. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.01.010>

- Meyer, A.K.P., Ehimen, E.A., Holm-Nielsen, J.B. 2018. Future European biogas: Animal manure, straw and grass potentials for a sustainable European biogas production. *Biomass and Bioenergy*, 111, 154–164. <https://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.05.013>
- MMM. 2014. Maatalouden ilmasto-ohjelma – Askeleita kohti ilmastoystävällistä ruokaa. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-453-871-8>
- Mondini, C., Sequi, P. 2008. Implication of soil C sequestration on sustainable agriculture and environment. *Waste Management*, 28, 678–684. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.09.026>
- Monforti, F., Lugato, E., Motola, V., Bodis, K., Scarlat, N., Dallemand, J.-F. 2015. Optimal energy use of agricultural crop residues preserving soil organic carbon stocks in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44, 519–529. <https://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.12.033>
- Monteleone, M., Cammerino, A.R.B., Garofalo, P., Delivand, M.K. 2015. Straw-to-soil or straw-to-energy? An optimal trade off in a long term sustainability perspective. *Applied Energy*, 154, 891–899. <https://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.04.108>
- Muhammad, I., Sainju, U.M., Zhao, F., Khan, A., Ghimire, R., Fu, X., Wang, J. 2019. Regulation of soil CO₂ and N₂O emissions by cover crops: A meta-analysis. *Soil & Tillage Research* 192, 103–112. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.04.020>
- NL Agency. 2013. Rice straw and wheat straw: potential feedstocks for the biobased economy. Saatavissa: <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/288866>
- Pahkala, K., Hakala, K., Kontturi, M., Niemeläinen, O. 2009. Peltobiomassat globaalina energianlähteenä. Saatavissa: <https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/474866/met137.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Parajuli, R., Løkke, S., Østergaard, P.A., Knudsen, M.T., Schmidt, J.H., Dalgaard, T. 2014. Life cycle assessment of district heat production in a straw fired CHP plant. *Biomass and Bioenergy*, 68, 115–134. <https://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.06.005>
- Petersen, B.M., Knudsen, M.T., Hermansen, J.E., Halberg, N. 2013. An approach to include soil carbon changes in life cycle assessments. *Journal of Cleaner Production*, 52, 217–224. <https://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.03.007>
- Powlson, D.S., Riche, A. B., Coleman, K., Glendining, M.J., Whitmore, A. P. 2008. Carbon sequestration in European soils through straw incorporation: Limitations and alternatives. *Waste Management*, 28, 741–746. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.09.024>
- Powlson, D., S., Glendining, M., J., Coleman, K., Whitmore, A., P. 2011. Implication for Soil Properties of Removing Cereal Straw: Results from Long-Term Studies. *Agronomy Journal*, 103 (1), 279–287. <https://doi.org/10.2134/agronj2010.0146s>
- Puustinen, M., Turtola, E., Kukkonen, M., Koskiaho, J., Linjama, J., Niinioja, R., Tattari, S. 2010. VIHMA – A tool for allocation of measures to control erosion and nutrient loading from Finnish agricultural catchments. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 138, 306–317. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.06.003>
- Rajala, J. 2001. Ravinneopas kestävään maatalouteen. Saatavissa: <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/134884/opaste.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Rasmussen, K.J. 1999. Impact of ploughless soil tillage on yield and soil quality: A Scandinavian review. *Soil & Tillage Research* 53, 3–14. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(99\)00072-0](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(99)00072-0)

- Reddy, N., Crohn, D.M. 2014. Effects of soil salinity and carbon availability from organic amendments on nitrous oxide emissions. *Geoderma*, 235–236, 363–371. <https://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.07.022>
- Regina, K. 2015. Kirjallisuusselvitys olkien poiston vaikutuksesta satoon ja maaperän laatuun. Saatavissa: http://www.sbe.fi/SBE/Sopimukset_files/Oiki%20ja%20maan%20laatu.pdf
- Ronkainen, N. 2012. Suomen maalajien ominaisuuksia. Saatavissa: <http://hdl.handle.net/10138/38773>
- Ruokavirasto. 2018. Viljelyn monipuolistaminen. Saatavissa: <https://www.ruokavirasto.fi/viljelijat/tuet-ja-rahoitus/viherryttamistuki/viljelyn-monipuolistaminen/>
- RSB. 2016. RSB Principles & Criteria. Saatavissa: http://rsb.org/wp-content/uploads/2017/04/RSB-STD-01-001_Principles_and_Criteria-DIGITAL.pdf
- Saffih-Hdadi, K., Mary, B. 2008. Modeling consequences of straw residues export on soil organic carbon. *Soil Biology & Biochemistry*, 40, 594–607. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.08.022>
- Salo, T., Keskinen, R., Nuutinen, V., Rätty, M., Turtola, E., Akujärvi, A., Grönroos, J., Kortelainen, P., Rankinen, K., Hyytiäinen, K., Kanerva, S., Simojoki, A., Soinne, H. 2018. Orgaaninen aines maaperän tuottokyvyn kulmakivenä (ORANKI). Saatavissa: https://mmm.fi/documents/1410837/3476612/Salo_Oranki_Mato_2018.pdf/7f800811-8d2c-41f3-83d9-ee4da568dcc2/Salo_Oranki_Mato_2018.pdf
- Sastre, C.M., González Arechavala, Y., Santos Montes, A.M. 2013. Evaluation of the environmental sustainability of the use of straw for electricity production: Global warming potential and energy yield assessment incorporating uncertainty for the Spanish case. *IEEE*. <https://doi.org/10.1109/ICRERA.2013.6749848>
- SFS-EN 16214-3. 2012. Sustainability criteria for the production of biofuels and bioliquids for energy applications. Principles, criteria, indicators and verifiers. Part 3: biodiversity and environmental aspects related to nature protection purposes.
- Shan, J., Yan, X. 2013. Effects of crop residue returning on nitrous oxide emissions in agricultural soils. *Atmospheric Environment*, 71, 170–175. <https://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.02.009>
- Sheehan, J., Aden, A., Paustian, K., Killian, K., Brenner, J., Walsh, M., Nelson, R. 2003. Energy and environmental aspects of using corn stover for fuel ethanol. *Journal of Industrial Ecology*, 7 (3–4), 117–146. <https://doi.org/10.1162/108819803323059433>
- Silalertruksa, T., Gheewala, S.H. 2013. A comparative LCA of straw utilization for fuels and fertilizer in Thailand. *Bioresource Technology*, 150, 412–419. <https://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2013.09.015>
- Singh, P., Heikkinen, J., Ketoja, E., Nuutinen, V., Palojärvi, A., Sheehy, J., Esala, M., Alakukku, L., Regina, K., Mitra, S. 2015. Tillage and crop residue management methods had minor effects on the stock and stabilization of topsoil carbon in a 30-year field experiment. *Science of the Total Environment*, 518, 337–344. <https://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.03.027>
- Singh, R., Srivastava, M., Shukla, A. 2016. Environmental sustainability of bioethanol production from rice straw in India: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 202–216. <https://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.005>
- Six, J., Conant, R.T., Paul, E.A., Paustian, K. 2002. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. *Plant and Soil*, 241, 155–176. <https://doi.org/10.1023/A:1016125726789>
- Soinne, H., Keskinen, R., Rätty, M., Kanerva, S., Turtola, E., Kaseva, J., Nuutinen, V., Simojoki, A., Salo, T. 2020. Soil organic carbon and clay content as deciding factors for net nitrogen mineralization and

cereal yields in boreal mineral soils. *European Journal of Soil Science*, 2020, 1–16. <https://doi.org/10.1111/ejss.13003>

TEM. 2019. Kestävyysskriteerityöryhmän väliraportti. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja, Energia, 2019:63. Saatavissa:

https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161926/TEM_2019_63.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Tian, H., Xu, R., Canadell, J.G., Thompson, R.L., Winiwarter, W., Suntharalingam, P., Davidson, E.A., Ciais, P., Jackson, R.B., Janssens-Maenhout, G., Prather, M.J., Regnier, P., Pan, N., Pan, S., Peters, G.P., Shi, H., Tubiello, F.N., Zaehle, S., Zhou, F., Arneeth, A., Battaglia, G., Berthet, S., Bopp, L., Bouwman, A.F., Buitenhuis, E.T., Chang, J., Chipperfield, M.P., Dangal, S.R.S., Dlugokencky, E., Elkins, J.W., Eyre, B.D., Fu, B., Hall, B., Ito, A., Joos, F., Krummel, P.B., Landolfi, A., Laruelle, G.G., Lauerwald, R., Li, W., Lienert, S., Maavara, T., MacLeod, M., Millet, D.B., Olin, S., Patra, P.K., Prinn, R.G., Raymond, P.A., Ruiz, D.J., van der Werf, G.R., Vuichard, N., Wang, J., Weiss, R.F., Wells, K.C., Wilson, C., Yang, J., Yao, Y. 2020. A comprehensive quantification of global nitrous oxide sources and sinks. *Nature*, 586, 248–256. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2780-0>

Tilastokeskus. 2020. Kasvihuonekaasupäästöt Suomessa, 1990–2018. Saatavissa: http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ymp_khki/statfin_khki_pxt_111k.px/

Valkama, E., Salo, T., Esala, M., Turtola, E. 2013. Nitrogen balances and yields of spring cereals as affected by nitrogen fertilization in northern conditions: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 164, 1–13. <https://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2012.09.010>

Wang, L., Littlewood, J., Murphy, R.J. 2013. Environmental sustainability of bioethanol production from wheat straw in the UK. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 715–725. <https://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.031>

Wei, T., Zhang, P., Wang, K., Ding, R., Yang, B., Nie, J., Jia, Z., Han, Q. 2015. Effects of Wheat Straw Incorporation on the Availability of Soil Nutrients and Enzyme Activities in Semiarid Areas. *PLoS One*, 10 (4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0120994>

Weiser, C., Zeller, V., Reinicke, F., Wagner, B., Majer, S., Vetter, A., Thraen, D. 2014. Integrated assessment of sustainable cereal straw potential and different straw-based energy applications in Germany. *Applied Energy*, 114, 749–762. <https://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.07.016>

Wilhelm, W.W., Hess, J.R., Karlen, D.L., Johnson, J.M.F., Muth, D.J., Baker, J.M., Gollany, H.T., Novak, J.M., Stott, D.E., Varvel, G.E. 2010. Balancing limiting factors and economic drivers for sustainable midwestern US agricultural residue feedstock supplies. *Industrial Biotechnology*, 6 (5), 271–287. <https://doi.org/10.1089/ind.2010.6.271>

Yara. 2020. Viljan ravinteiden otto. Saatavissa: <https://www.yara.fi/lannoitus/viljat/viljan-ravinteiden-otto/>

Yli-Viikari, A., Aakkula, J. (toim.). 2017. Maaseutuohjelman ympäristöarviointi. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-822-7>

YM. 2017. Valtioneuvoston selonteko keskipitkän aikavälin ilmastopoliittikan suunnitelmasta vuoteen 2030: Kohti ilmastoviisasta arkea. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4748-7>

ISBN 978-952-335-669-6 (PDF)

ISSN-L 2243-3384

ISSN 2243-3384

Lappeenranta 2021

...the most crucial elements, which have been identified in the framework agreement between the EU and the United States (TCE) and the...

The Multi...

...the most crucial elements...

