

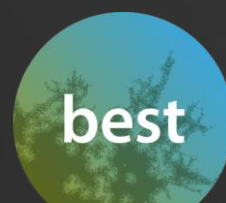
**CLEEN**  
Cluster for Energy and Environment



**Tutkimusraportti nro 4.1.6**  
**Helsinki 2015**

Kaija Hakala  
Katri Joensuu

# **Kestävää bioenergian tuotantoa Suomessa ja Intiassa. Mistä tekijöistä bioenergian tuotannon kestävyys muodostuu?**



Sustainable Bioenergy  
Solutions for Tomorrow



Sustainable Bioenergy  
Solutions for Tomorrow

Kestävää bioenergian  
tuotantoa Suomessa ja  
Intiassa. Mistä tekijöistä  
bioenergiatuotannon  
kestävyys muodostuu?  
Hakala, K. & Joensuu, K.

15.3.2015

2(32)

**CLEEN OY**  
ETELÄRANTA 10  
00130 HELSINKI  
FINLAND  
[www.cleen.fi](http://www.cleen.fi)

ISBN 978-952-7205-05-1



Sustainable Bioenergy  
Solutions for Tomorrow

Kestävää bioenergian  
tuotantoa Suomessa ja  
Intiassa. Mistä tekijöistä  
bioenergiantuotannon  
kestävyys muodostuu?  
Hakala, K. & Joensuu, K.

15.3.2015

3(32)

**Cleen Oy**  
Tutkimusraportti nr 4.1.6

Kaija Hakala  
Katri Joensuu

# Kestävää bioenergian tuotantoa Suomessa ja Intiassa. Mistä tekijöistä bioenergiantuotannon kestävyys muodostuu?



Sustainable Bioenergy  
Solutions for Tomorrow

**Cleen Oy**  
Helsinki 2015



Sustainable Bioenergy  
Solutions for Tomorrow

Kestävää bioenergian  
tuotantoa Suomessa ja  
Intiassa. Mistä tekijöistä  
bioenergiantuotannon  
kestävyys muodostuu?  
Hakala, K. & Joensuu, K.

15.3.2015

4(32)

## Alkusanat

Tämä raportti on osa Sustainable Bioenergy Solutions for Tomorrow (BEST) – tutkimusohjelmaa, joka on FIBIC Oy:n ja CLEEN Oy:n yhteinen tutkimusohjelma. BEST – ohjelmaa rahoittaa innovaatorahoituskeskus Tekes.

Raportti on osa Fortum Oy:n BEST –tutkimusohjelmaan liittyvää tilaustutkimusta ”Energiakasvien plantaasiviljely kestävyysnäkökulmasta”. Tässä raportissa kerromme bioenergiantuotannon kestävyuden arvioinnista kahden käynnissä olevan hankkeen tulosten ja kirjallisuuden pohjalta (osio 1), sitten kerromme, miten maan hiilivaroja voidaan tutkia, arvioida ja säilyttää ja miksi se on tärkeää (osio 2) ja lopuksi arvioimme, mitä vaikutuksia ilmastonmuutoksella on kahden erilaisen maan, Suomen ja Intian, peltokasvituotantoon ja bioenergiapotentiaaliin.

Kaija Hakala, Luonnonvarakeskus (Luke)

Katri Joensuu, Luonnonvarakeskus (Luke)

Helsinki, maaliskuu 2015



**Raportin nimi:** Kestävää bioenergian tuotantoa Suomessa ja Intiassa. Mistä tekijöistä bioenergiantuotannon kestävyys muodostuu?

**Avainsanat:** peltobiomassa, ekologinen kestävyys, taloudellinen kestävyys, sosiaalinen kestävyys, maan hiili, ilmastonmuutos

## Tiivistelmä

Tämä raportti perustuu kahden käynnissä olevan bioenergian kestävyttä tarkastelevan hankkeen, BEST (Sustainable Bioenergy Solutions for Tomorrow) ja BIOTEAM (Optimizing Pathways and Market Systems for Enhanced Competitiveness of Sustainable Bio-Energy and Technologies in Europe, [www.sustainable-biomass.eu](http://www.sustainable-biomass.eu)), tuloksiin sekä kirjallisuuteen. Raportissa keskitytään bioenergian kestävyden arviointiin, maan hiilipitoisuuden merkitykseen ja arviointiin sekä ilmastonmuutoksen vaikutukseen kahden erilaisen maan, Suomen ja Intian, maatalouteen.

Suositteluihin ekologisen kestävyden indikaattoreihin kuuluvat BIOTEAM –hankkeessa valitut kasvihuonekaasupäästöt, typpi- ja fosforitase, happamoittavat päästöt, ilmanlaatu, vedenkäyttö, maankäyttö ja energiatase, sekä näiden lisäksi maan eroosio, maan hiilipitoisuuden muutos ja biodiversiteettivaikutus. Myös taloudellisen ja sosiaalisen kestävyden arvioinnissa voidaan käyttää BIOTEAM-hankkeessa valittuja indikaattoreita. Näitä ovat taloudellisen kestävyden osalta sisäinen korko, takaisinmaksuaika, maan hinnan muutos, vaikutus kansantalouteen, tuotteen hinta loppukäyttäjälle ja tuotantokustannukset ja sosiaalisen kestävyden osalta työllisyys, vaikutus paikallistalouteen, työn laatu, kiinteistön arvonmuutos ja ympäristön laadun ja viihtyisyyden muutos (melu, haju, esteettisyys).

Maaperän hiilipitoisuus on todettu keskeiseksi peltomaan viljavuusindikaattoriksi. Sen on kuitenkin todettu jatkuvasti pienenevän sekä Suomessa että Intiassa. Intiassa syynä ovat intensiivinen korjuutähteiden keruu ja orgaanisten lannoitteiden korvaaminen halvoilla epäorgaanisilla lannoitteilla, Suomessa lisäksi pellonraivauksen pitkäaikaisvaikutus.

Viljelytoimenpiteiden vaikutusta maan hiilipitoisuuteen voidaan arvioida Yasso07- mallilla, joka sisältää tärkeimmät tekijät, jotka vaikuttavat biomassan hajoamiseen. Mallinnusta varten tarvittavia tietoja ovat satotaso, satoindeksi sekä arviot maahan jäävien kasvintähteiden osuudesta ja juurten biomassasta. Maahan jäävän kokonaisbiomassan määrä on arvioitava erikseen jokaiselle viljelykasville ja ilmastovyöhykkeelle. Tiedot Suomen yleisimpien viljelykasvien osalta on jo kerätty.

Ilmastonmuutoksen on ennustettu aiheuttavan pääasiassa myönteisiä muutoksia Suomen maataloudessa seuraavien 50 vuoden aikana. Intiassa taas ennustetut vaikutukset vaihtelevat suuresti eri tutkimusten välillä. Intian ruoantuotannon arvioidaan kasvavan tulevaisuudessa. Tämä tarkoittaisi, että myös korjuutähteiden tuotanto kasvaa, mutta toisaalta bioenergiakasvien viljely vähenee. Kuitenkin, jos maan hiilipitoisuutta päätetään lisätä, korjuutähteiden saatavuus vähenee. Toisaalta yhdyskuntajätteellä voisi olla suuria mahdollisuuksia bioenergian lähteenä. Tuotannon monimuotoisuus on tapa lisätä mahdollisuuksia vastata ilmasto-olosuhteiden muutoksiin.



**Name of the report:** Sustainable bioenergy production in Finland and India. Of which factors does the sustainability of bioenergy production consist of?

**Key words:** agribiomass, environmental sustainability, economic sustainability, social sustainability, soil carbon, climate change

## Summary

This report is based on the results of two on-going projects, BEST (Sustainable Bioenergy Solutions for Tomorrow) and BIOTEAM (Optimizing Pathways and Market Systems for Enhanced Competitiveness of Sustainable Bio-Energy and Technologies in Europe, [www.sustainable-biomass.eu](http://www.sustainable-biomass.eu)), and published literature. The report focuses on bioenergy sustainability assessment, the importance and assessment of soil carbon levels as well as the effects of climate change in the agriculture of two different countries, Finland and India.

Recommended environmental sustainability indicators include those identified in the BIOTEAM project (greenhouse gas emissions, nitrogen and phosphorus balance, acidifying emissions, air quality, water use, land area use and net energy balance) as well as soil erosion, change in soil carbon level and biodiversity impact. Also for the assessment of economic and social sustainability the indicators and methods identified in the BIOTEAM project can be used. These include internal rate of return, repayment period, land price change, contribution to national economy, product price to the end user and production cost for economic sustainability and employment, effect on the regional economy, job quality, property price change and change in environmental status and wellbeing (noise, smell, aesthetic) for social sustainability.

Soil carbon level has been identified as a central indicator for field soil fertility. It has however been found to continuously decrease in both Finland and India. In India this is caused by the intensive removal of crop residues from the fields and the replacement of organic fertilizers by cheap inorganic fertilizers. In Finland, on the other hand, the continuing effect of past forest clearance also plays a central role in soil carbon loss.

The effect of different farming practices on soil carbon levels can be assessed using the model Yasso07, that already contains the most important factors that influence the decomposition of biomass. Data needed for the assessment include crop yield level, harvest index, estimates of the share of residue biomass that is left on the field and root biomass production. The estimation of total biomass left on the field has to be done separately for each crop and climatic zone. Data on the most common Finnish crops has already been collected.

Climate change has been predicted to cause mainly positive changes in the Finnish agriculture during the next 50 years, but the predictions of the effects in India vary greatly between different studies. Food production in India is estimated to increase in the future. This would mean that the production of crop residues is also increased, but the production of bioenergy crops in turn decreased. However, if soil carbon levels are decided to be increased, the availability of crop residues would be reduced. On the other hand, municipal waste could have a great potential as a source of bioenergy. Diversity of production is a way to increase the possibilities to respond to changes in climatic conditions.



## Sisällysluettelo

<b>1</b>	<b>Johdanto</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>Bioenergian tuotannon kestävyiden arviointi</b>	<b>9</b>
<b>2.1</b>	<b>Viitekehys</b>	<b>9</b>
2.1.1	Kestävyttä kuvaavien indikaattorien valinta	9
2.1.2	Ekologinen kestävyys	9
2.1.2.1	Toksisten vaikutusten arviointi	10
2.1.2.2	Biodiversiteetin ja maan ladun arviointi	11
2.1.3	Taloudellinen ja sosiaalinen kestävyys	12
<b>2.2</b>	<b>Arviointi</b>	<b>13</b>
2.2.1	Vertailuketju	14
2.2.2	Esimerkkejä laskennasta, ekologinen kestävyys	15
2.2.3	Esimerkkejä laskennasta, taloudellinen ja sosiaalinen kestävyys	17
<b>3</b>	<b>Maan hiilipitoisuus, miksi se on tärkeä ja miksi se muuttuu? Voiko mitään tehdä sen parantamiseksi?</b>	<b>19</b>
3.1	Maan hiilipitoisuuden mittaaminen ja arviointi	20
3.2	Miten yksivuotisista kasveista voitaisiin saada lisää hiiltä maahan ja silti kerätä oikea bioenergiaksi?	21
3.3	Maan hiilipitoisuuden mallituksen edellytykset	23
3.4	Mitä hiilen lisäys maaperään maksaa ja kannattaako se?	23
<b>4</b>	<b>Muuttuvatko kasvintuotanto, viljelyn edellytykset ja pellon käyttö Intiassa ja Suomessa, kun ilmasto muuttuu ja miten muutokset vaikuttavat maiden bioenergiapotentiaaliin?</b>	<b>24</b>
<b>5</b>	<b>Tulevaisuuden tutkimustarpeita</b>	<b>26</b>
<b>6</b>	<b>Referenssit</b>	<b>27</b>



## 1 Johdanto

Ilmastonmuutos uhkaa ruoantuotantoa ja ihmisten hyvinvointia koko maailmassa. Tarvitaan keinoja ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi. Yksi keino ovat uusiutuvat energianlähteet, joista tällä hetkellä tärkein on bioenergia. Bioenergiaa voidaan tuottaa metsistä saatavista biomassoista, pellolta saatavista biomassoista (joko erikseen kasvatetusta biomassasta tai korjuujätteistä) tai kaikenlaisista orgaanisista jätteistä (yhdyskuntajäte, lanta, liete).

Kaikkien biomassojen käyttö bioenergiaksi ei aina vähennä kasvihuonekaasupäästöjä tai ei ole muuten kestävä. Esim. liikenne-etanolin tuottaminen viljojen jyvistä ei ole kestävä Suomen oloissa, jossa sadot ovat pienet ja panokset suuret (Soimakallio ym. 2009b). Sen sijaan kun bioenergiaksi käytetään ruoantuotannon erilaisia sivutuotteita, kuten viljojen olkea, niille ei tarvitse laskea viljelystä aiheutuvia päästöjä, jolloin niiden energiatase ja kasvihuonekaasupäästöt jäävät alle fossiilisten energianlähteiden. Tällöinkin kestävyttä pitää ajatella, mutta kestävyystarkastelut on ulotettava maaperän kasvukykyyn ja ravinnetalouteen: miten paljon sivutuotteita kuten olkea voidaan kerätä bioenergiaksi maan kasvukunnon kärsimättä ja miten kerättyjen biomassojen sisältämiä ravinteita voidaan kannattavasti palauttaa peltoon niin, ettei pellon kasvukunto vähene. Erilaisissa ilmastoissa maaperä reagoi eri tavoin, ja kasvukunnon ylläpito vaatii kohdennetut toimet maa- ja aluekohtaisesti.

Silloinkin, kun peltobioenergian tuotanto vähentää kasvihuonekaasupäästöjä ja on kestävä monella ympäristöllisen kestävyuden mittarilla arvioituna, kysymykseksi jää, onko se myös taloudellisesti kestävä ja riittävän kannattavaa viljelijöiden innostamiseksi sitä tuottamaan. Miten peltobiomassojen tuotanto saadaan kestäväksi ja kannattavaksi, mikä on niiden energiatase ja millä menetelmillä niiden tuotannon kokonais-kasvihuonekaasupäästöt saadaan jäämään riittävästi alle fossiilisten energianlähteiden päästöjen?

Tässä raportissa kerromme ensin bioenergiantuotannon kestävyden arvioinnista kahden käynnissä olevan projektin tulosten ja kirjallisuuden pohjalta (osio 1), sitten kerromme, miten maan hiilivaroja voidaan tutkia, arvioida ja säilyttää ja miksi se on tärkeää (osio 2) ja lopuksi arvioimme, mitä vaikutuksia ilmastonmuutoksella on kahden erilaisen maan, Suomen ja Intian, peltokasvituotantoon ja bioenergiapotentiaaliin.





## 2 Bioenergian tuotannon kestävyden arviointi

Biomassojen tuotannon kestävyttä on tutkittu hiljattain mm. BEST-projektissa (Cleen & Fibic), 2013-2014 (Sustainable Bioenergy Solutions for Tomorrow), tutkimuskausi 1 ja BIOTEAM-projektissa (EU IEE-hanke), 2013-2016 (Optimizing Pathways and Market Systems for Enhanced Competitiveness of Sustainable Bio-Energy and Technologies in Europe, [www.sustainable-biomass.eu](http://www.sustainable-biomass.eu)), joihin molempiin MTT:n tutkijat osallistuvat. Nyt esitettävät tulokset perustuvat näihin vielä käynnissä oleviin tutkimuksiin ja alan julkaistuun kirjallisuuteen.

### 2.1 Viitekehys

#### 2.1.1 Kestävyttä kuvaavien indikaattorien valinta

Sekä BEST-hankkeen työpaketissa 4.2. että BIOTEAM-hankkeessa on luotu kestävyden viitekehys bioenergialle. BEST-hankkeessa viitekehys luotiin peltobiomassapohjaisille energiatuotteille ja se rajoittui ekologiseen kestävyteen, kun taas BIOTEAM-hankkeen viitekehys kattaa myös metsäbiomassat ja kestävyden sosiaalisen ja taloudellisen ulottuvuuden. BEST- hankkeen viitekehystä testattiin kotimaisilla bioenergiaketjuilla (olki polttoon ja rypsi biodiesel liikennepolttoaineeksi), BIOTEAM- hankkeen viitekehystä taas kuudessa EU-maassa (Suomi, Liettua, Italia, Saksa, Alankomaat ja Puola) kussakin kuudelle eri bioenergiaketjulle, joista kaksi oli kiinteitä, kaksi nestemäisiä ja kaksi kaasumaisia energiatuotteita). Molemmista hankkeista kestävyysindikaattorien valinnan pohjana käytettiin kirjallisuuskatsauksia, joiden keskeisenä aineistona olivat erilaiset sertifiointijärjestelmät. Näistä kerättiin eniten käytetyt kestävyden indikaattorit, joista valittiin tärkeimmät ja käyttökelpoisimmat. Lisäksi BEST -hankkeessa kerättiin hankkeessa mukana olevien yritysten edustajien ja tutkijoiden näkemyksiä keskeisimmistä kestävyyshaasteista ja indikaattoreista, joiden perusteella valittujen indikaattorien listaa täydennettiin.

#### 2.1.2 Ekologinen kestävyys

BEST ja BIOTEAM –hankkeissa käytetyt ekologisen kestävyden indikaattorit on koottu taulukkoon 1. BIOTEAM -hankkeen viitekehystä on testattu kuudessa eri maassa ja todettu toimivaksi. Toisaalta se ei ota huomioon agrobiomassojen tuotannon vaikutusta peltomaahan/maaperään tai biodiversiteettiin. Varsinkin vaikutukset maan orgaaniseen ainekseen (hiilivarasto) ja eroosioon on kansainvälisissä (elinkaariarviointi) tutkimuksissa todettu tärkeiksi (Mattsson et al. 2000, Mila i Canals ym. 2007, Garrigues ym. 2012, Koellner ym. 2013). Intiassa merkittäviä ekologisia haasteita, joihin maatalous vaikuttaa, ovat erityisesti biodiversiteetin väheneminen, veden käyttö ja maan laadun (hiilipitoisuus, eroosio, rakenne, ravinnepitoisuudet, suolaantuminen) heikentyminen (Singh 2000, Singh & Bagchi 2013).



Taulukko 1. Ekologisen kestävyuden indikaattorit BEST-hankkeen taskissa 4.2. ja BIOTEAM-hankkeessa

Haaste	Indikaattorit	Yksikkö	BEST 4.2	BIOTEAM
<b>Ilmastonmuutos</b>	Kasvihuonekaasupäästöt	g CO <sub>2</sub> -eq./MJ	x	x
<b>Rehevöityminen</b>	Typpitase	kg N /MJ	x	x
	Fosforitase	kg P /MJ	x	x
<b>Happamoituminen</b>	Happamoitavat päästöt	g SO <sub>2</sub> -eq/MJ		x
<b>Viljelymaan eroosio</b>	Eroosio	kg maa-ainesta /MJ	x	
<b>Maan hiilivaraston pientyminen</b>	Muutos maan hiilipitoisuudessa	kg C hävikki/MJ	x	
	Vuosittainen hiilisyöte	kg C syöte/MJ	x	
<b>Maan tiivistyminen</b>	Maan tiivistymisriski	-	x	
<b>Ilmanlaatu</b>	Ilmanlaatu	g PM <sub>10</sub> /MJ		x
<b>Ekotoksisuus</b>	Ekotoksisuus	-	x	
	Kemikaalien käyttö	pisteitä		x
<b>Biodiversiteetti</b>	Peltoalan muutos viimeisen 20 vuoden aikana	%	x	
	Maatalousympäristön biodiversiteetti-indikaattorit (peltolinnut, perhoset, rikkakasvit)	-	x	
<b>Uusiutumattomien luonnonvarojen käyttö</b>	Uusiutuvan energian osuus	%	x	
	Eloperäisten lannoitteiden osuus	%	x	
	Fosforitase	kg P /MJ	x	
<b>Veden käyttö</b>	Kasteluveden käyttö ja saatavuus	-	x	
	Veden käyttö	m <sup>3</sup> /MJ		x
<b>Viljelyn alhainen tehokkuus</b>	Maankäyttö	ha/MJ	x	x
	Nettoenergiatase	MJ/MJ		x

### 2.1.2.1 Toksisten vaikutusten arviointi

BIOTEAM -hankkeessa bioenergiaketjujen toksisia vaikutuksia on arvioitu pisteyttämällä ketjussa käytettyjen kasvinsuojeluaineiden ja kemikaalien haitallisuuden perusteella. BEST-hankkeen taskissa 4.2 indikaattoriksi valittiin ekotoksinen vaikutus, jonka arviointia ovat kehittäneet Räsänen ym. (2013 ja 2014). Arviointi perustuu PestLCI 2.0 (Dijkman et al. 2012) ja USEtox™ (Rosenbaum et al. 2008) malleihin, joiden avulla on periaatteessa mahdollista arvioida myös kasvinsuojeluaineiden humanitoksinen vaikutus. Taskissa 4.2 tarkasteltujen bioenergiaketjujen ekotoksista vaikutusta ei kuitenkaan voitu hankkeen puitteissa määrittää, koska tilastotietoa tarkasteltavien bioenergiakasvien (ohra ja rypsi) viljelyssä käytettävistä kasvinsuojeluaineista ei ole vielä tarjolla. Lisäksi kaikille viljelyssä kasvinsuojelussa käytettäville tehoaineille ei ole vielä määritetty karakterisointikertoimia (Räsänen ym. 2014). Tike on alkanut kerätä tietoa kasvinsuojeluaineiden käytöstä tärkeimpien viljelykasvien viljelyssä syksyn 2013 satotutkimuksen yhteydessä, joten tulevaisuudessa tätä tietoa tulee olemaan saatavilla.



### 2.1.2.2 Biodiversiteetin ja maan ladun arviointi

Biomassantuotannon vaikutusta biodiversiteettiin, maan hiilipitoisuuteen ja eroosioon voidaan mallintaa elinkaariarvioinneissa UNEP-SETACin kehittämän ohjeistuksen avulla (Koellner ym. 2013, biodiversiteetin päivitettyt kertoimet de Baan ym. 2013). Ohjeistus sisältää karakterisointikertoimet eri maankäyttötyypeille kasvillisuusvyöhykkeittäin. Maankäytön muutoksille ja maankäytölle on omat kertoimensa. Tämä laskentatapa ei kuitenkaan erittele eri viljelykasveja tai viljelytapoja (Mila i Canals ym. 2013, Helin ym. 2014). Lisäksi maan käytön vaikutukset lasketaan tässä menetelmässä suhteessa potentiaaliseen luonnontilaiseen kasvustoon, mikä ei välttämättä ole järkevää, jos viljeltävän maa-alueen ei oleteta ilman tarkasteltavaa viljelykäyttöä kokonaan poistuvan viljelykäytöstä. Toisaalta tämän laskentatavan antamat tulokset ovat globaalisti vertailukelpoisia.

Agrobiomassojen tuotannon vaikutusta biodiversiteettiin on BEST-hankkeen taskissa 4.2 arvioitu kansallisten peltolintujen, päiväperhosten ja rikkakasvien seuranta-aineistoihin perustuvien maatalousympäristön biodiversiteetti-indikaattorien avulla. Nämä indikaattorit kuitenkin kertovat maanviljelyn vaikutuksista kokonaisuutena, eivät yksittäisen viljelykasvin tai viljelytavan vaikutuksesta. Maailmalaajuisesti maankäytön suunnitteluun (alkukartoituksen tekeminen) soveltuu IBAT – Integrated Biodiversity Assessment tool. Työkalu tarjoaa karttapohjalla tietoa alueen lajistosta, suojelukohteista ja tärkeydestä.

Myös Lindner ym. (2014) ovat kehittämässä menetelmää, joka yhdistää biodiversiteettivaikutukset elinkaariarviointiin. Tässä menetelmässä vertailutilanne on Koellnerin ym. 2013 ja de Baan:in ym. 2013 ehdotuksesta poiketen kansallisen biodiversiteettistrategian määrittämä tavoitetila, ei välttämättä luonnontilainen kasvusto. Menetelmässä voidaan huomioida useiden maankäyttötapaan liittyvien tekijöiden (esim. satotaso, kasvinsuojeluaineiden käyttö, valitaan aluekohtaisesti asiantuntija-arvioiden pohjalta) vaikutus biodiversiteettiin.

Suomessa maan hiilipitoisuuden mallinnukseen voidaan käyttää Yasso07-mallia (Tuomi ym. 2009, Karhu ym. 2012, Heikkinen 2015). Malli on alun perin kehitetty suomalaisten metsämaiden hiilen muutosten arviointiin, mutta sen on todettu soveltuvan myös peltomaille (Karhu ym. 2012). BEST-hankkeen taskissa 4.2 mallia ei kuitenkaan tiedonpuutteen takia pystytty käyttämään, vaan maan hiilipitoisuuden muutosta arvioitiin Heikkisen ym. (2013) pitkäaikaisen seurantakokeen tulosten sekä vuosittaisen laskennallisen hiilisyötteen avulla. Maan hiilipitoisuuden säilyttämisestä ja sen mallinnuksesta lisää osiossa 2.

Viljelymaan eroosiota on BEST-hankkeen taskissa 4.2 arvioitu VIHMA -mallilla (Puustinen ym. 2010). Malli on luotu eroosion ja ravinnekuormituksen arviointiin valuma-alueetasolla ja sen avulla laskettujen tulosten on todettu olevan yhteneväisiä pitkäaikaisten huuhtoumakenttäkokeiden kanssa. Se ei huomioi vuotuisia sääoloja tai peltolohkon kokoa ja muotoa, joten sen antamat tulokset eivät kerro todellisesta tilanteesta lohkolla. Mallia voidaan kuitenkin pitää sopivana elinkaariarviointeihin, koska se huomioi kaikki viljelytekniikan kannalta keskeiset tekijät ja on muita käytettävissä olevia eroosiomalleja, kuten RUSLE ( Revised Universal Soil Loss Equation, Renard & Ferreira 1993) tai ICECREAM (Tattari ym. 2001), huomattavasti helppokäyttöisempi. Kansainvälisesti RUSLE



on kuitenkin käytetyin eroosiomalli (Lilja ym. 2014). Sen käyttö on periaatteessa mahdollista Suomessakin, mutta vaatii laajan paikkatietoaineiston käyttöä, mikä ei ollut BEST-hankkeen puitteissa mahdollista. Lisäksi malli kaipaa vielä tarkennuksia, että se olisi sovellettavissa Suomen oloihin (Lilja ym. 2014). Tulevaisuudessa RUSLE olisi kuitenkin todennäköisesti VIHMA:a parempi vaihtoehto viljelyn aiheuttaman eroosioriskin arviointiin myös elinkaariarvioinneissa, koska sen avulla mm. maaston muodot saadaan otettua paremmin huomioon. RUSLE-mallia on käytetty eroosion mallintamiseen myös Intiassa (mm. Jaiswal ym. 2014).

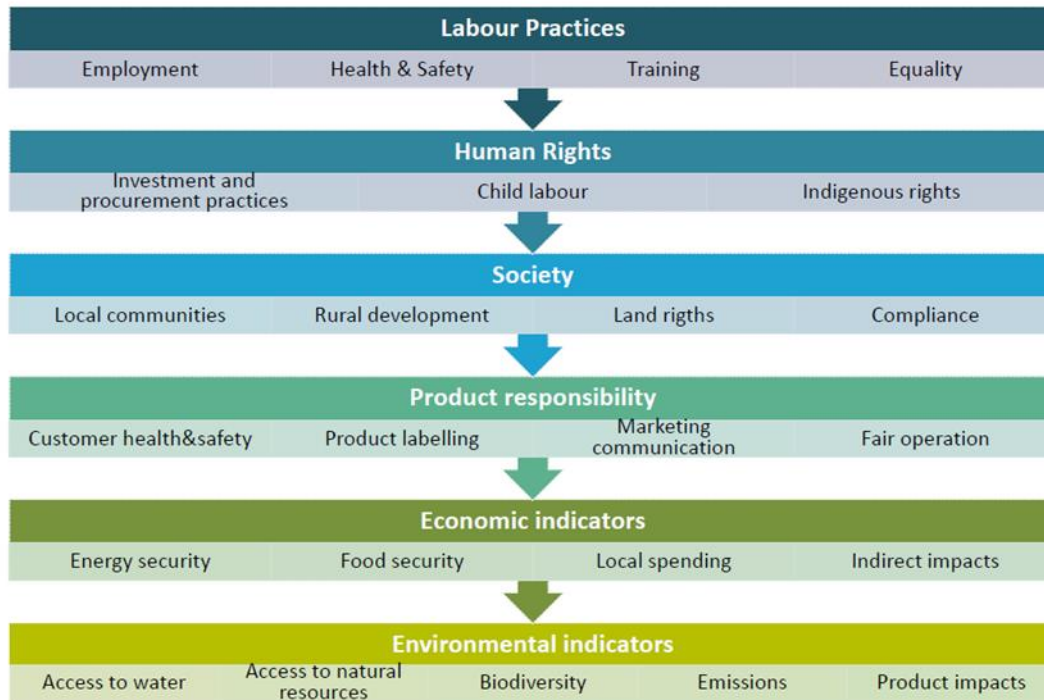
Elinkaariarvioinneissa on myös mallinnettu maan suolaantumista (Feitz & Lundie 2002) ja tiivistymistä (Garrigues et al. 2012). BEST -hankkeen taskissa 4.2 maan tiivistyminen on tunnistettu tärkeäksi indikaattoriksi, mutta sitä ei ole tiedon puutteen vuoksi pystytty mallintamaan. Tehty yleistasoisempi arvio perustuu mm. MTT:llä tehtyjen peltokokeiden julkaistuihin tuloksiin.

### 2.1.3 Taloudellinen ja sosiaalinen kestävyys

BIOTEAM-hankkeessa on määritetty indikaattoreita taloudelliselle ja sosiaaliselle kestävyydelle (taulukko 2). Tämä indikaattoristo on kuitenkin suppea eikä sellaisenaan sovellu käytettäväksi EU:n ulkopuolella. BEST- hankkeen TASK 4.7.:ssa Fedorova ja Poncrác (2014) ovat luoneet kuusi sosiaalisen kestävyuden kategorioita ja näihin yhteensä 24 indikaattoria (kuva 1.). Tämä viitekehys on huomattavasti laajempi ja sisältää useita kehittyvissä maissa merkityksellisiä indikaattoreita. Sitä voisi tulevaisuudessa kehittää eteenpäin esimerkiksi osana sosiaalis-taloudellista elinkaariarviointia (S-LCA, UNEP/SETAC 2009). Menetelmästä on annettu kansainvälinen ohjeistus, mutta siinä sovellettavat vaikutuksia kuvaavat indikaattorit ovat vielä kehityksen alla.

Taulukko 2. Taloudellisen ja sosiaalisen kestävyuden indikaattorit BIOTEAM-hankkeessa

Kestävyyden osa-alue	Indikaattori	Yksikkö
<b>Taloudellinen kestävyys</b>	Sisäinen korko (internal rate of return)	%
	Takaisinmaksuaika	vuosia
	Maan hinnan muutos	%
	Vaikutus kansantalouteen	ppm
	Tuotteen hinta loppukäyttäjälle	€/MJ
	Tuotantokustannukset	€/MJ
<b>Sosiaalinen kestävyys</b>	Työllisyys	henkilötyövuosi (full-time equivalent)/MJ
	Vaikutus paikallistalouteen	%
	Työn laatu	tapaturmien lukumäärä palkkataso
	Kiinteistön arvonmuutos	pisteitä
	Ympäristön laadun ja viihtyisyyden muutos (melu, haju, esteettisyys)	pisteitä



Kuva 1. Bioenergian sosiaalisen kestävyden indikaattorit (Fedorova & Poncrác, Oulun yliopisto, Thule-instituutti, posteriesitys BEST -hankkeen vuosiseminaarissa 18. 9. 2014).

## 2.2 Arviointi

BIOTEAM-hankkeessa luotujen ekologisen kestävyden indikaattorien voidaan katsoa soveltuvan bioenergian kestävyysarviointiin myös Intiassa (taulukko 3.). Niiden lisäksi suositellaan kahta maan laatua kuvaavaa indikaattoria (hiilipitoisuus ja eroosio) sekä biodiversiteetti-indikaattoria. Maan hiilipitoisuuden mallinnukseen olisi mahdollista käyttää Yasso07-mallia, jos tarvittava lähtötieto on käytettävissä (ks. osio 2.3.). Eroosion ja biodiversiteetin osalta arviointi ei ole yksiselitteistä, ja menetelmät vaativat vielä kehitystä.

Myös taloudellisen ja sosiaalisen kestävyden arvioinnissa voidaan hyödyntää BIOTEAM-hankkeen indikaattoreita (taulukko 2.), mutta niitä tulisi täydentää Fedorovan & Poncrácin (2014) työn pohjalta. Bioenergian tuotannon sosiaalisen kestävyden arviointi vaatii vielä runsaasti menetelmäkehitystä.

Elinkaaristen vaikutusten laskennassa tulisi noudattaa yleisiä elinkaariarvioinnin (life cycle assessment, LCA) periaatteita. Arvioinnin tulisi sisältää seuraavat ketjun vaiheet: viljely, kuljetus, prosessointi, muuntaminen energiaksi, jakelu, loppukäyttö ja jätteenkäsittely (Directive 2009/28/EC). Myös viljelyssä ja prosessoinnissa käytetyt panokset (esim. lannoitteet ja kemikaalit) tulisi sisällyttää laskentaan. Jos kyseessä on jäte- tai sivuvirtamateriaali, laskennassa huomioidaan elinkaaren vaiheista keräys, varastointi, kuljetus ja mahdollinen prosessointi. Vaikutusta maankäyttöön, eroosioon ja biodiversiteettiin ei tällä hetkellä huomioida, mutta nämä vaikutukset tulisi sisällyttää arviointeihin..

Taulukko 3. Suositellut ekologisen kestävyuden indikaattorit. Muut paitsi eroosio, hiilipitoisuus ja biodiversiteetti arvioitavissa BIOTEAM- hankkeessa luodun laskentaohjeistuksen avulla.

Haaste	Indikaattorit	Yksikkö	Sivuvirtamateriaalit huomioidaan
<b>Ilmastonmuutos</b>	Kasvihuonekaasupäästöt	g CO <sub>2</sub> -eq./MJ	x
<b>Rehevöityminen</b>	Typpitase	kg N /MJ	x
	Fosforitase	kg P /MJ	x
<b>Happamoituminen</b>	Happamoitavat päästöt	g SO <sub>2</sub> -eq/MJ	x
<b>Viljelymaan eroosio</b>	Eroosio (RUSLE, Renard & Ferreira 1993)	kg maa-ainesta /MJ	
<b>Maan hiilivaraston pienentyminen</b>	Muutos maan hiilipitoisuudessa (Yasso07-malli, Tuomi ym. 2009)	kg C/MJ	x
<b>Ilmanlaatu</b>	Ilmanlaatu	g PM <sub>10</sub> /MJ	x
<b>Ekotoksisuus</b>	Kemikaalien käyttö	pisteitä	x
<b>Biodiversiteetti</b>	Biodiveristeettivaikutus (Lindner ym. 2014)		
<b>Veden käyttö</b>	Veden käyttö	m <sup>3</sup> /MJ	x
<b>Maankäyttö</b>		ha/MJ	
<b>Nettoenergiatase</b>		MJ/MJ	x

Ekologisen kestävyuden indikaattorien arvojen laskentaa varten tarvittavia lähtötietoja ovat kaikkien ekologisten vaikutusten osalta viljelykasvin satotaso, käytetty raaka-ainemäärä, energiasaanto (alempi lämpöarvo, MJ/kg), kuljetusmatkat ja käytetyt kulkuneuvot sekä prosessoinnin energiatase. Kasvihuonekaasu- ja happamoittavien päästöjen sekä ilmanlaadun arviointiin tarvitaan lisäksi tietoa päästöistä, jotka aiheutuvat viljelyn ja prosessoinnin tuotantopanosten käytöstä (lannoitteet, kalkki, siemenet, kasvinsuojeluaineet, kemikaalit), viljelyn ja kuljetuksen polttoaineenkäytöstä sekä jakelusta, loppukäytöstä ja jätteenkäsittelystä. Typpi- ja fosforitaseen laskentaa varten tarvitaan tietoa lannoitteiden mukana lisätyistä sekä raaka-aineen ja lopputuotteen sisältämistä ravinteista. Kemikaalien käytön arvioinnissa huomioidaan kasvinsuojeluaineiden ja prosessikemikaalien käyttö, sekä kunkin aineen vaarallisuus asteikolla 1-5. Laskentamenetelmät on esitetty tarkemmin BIOTEAM -hankkeen julkaisussa (Deliverable 2.3, [http://www.sustainable-biomass.eu/images/deliverables/BIOTEAM\\_D2\\_3\\_updated\\_19082014.pdf](http://www.sustainable-biomass.eu/images/deliverables/BIOTEAM_D2_3_updated_19082014.pdf)).

## 2.2.1 Vertailuketju

Tulosten tulkinnan tueksi jokaiselle arvioitavalle bioenergiaketjulle määritetään realistinen vertailuketju, johon ketjun tuloksia verrataan. BIOTEAM -hankkeessa määritettiin, että vertailuketjuna käytetään kunkin bioenergiamuodon käyttötapaa vastaavaa fossiilista energiamuotoa. Vertailuketjun vaikutuslaskenta voi perustua kansalliseen tai EU keskiarvoon. Laskenta tehdään kaavalla:

Nettovaikutus (indikaattorikohtainen) = bioenergiaketjun vaikutus – vertailuketjun vaikutus

## 2.2.2 Esimerkkejä laskennasta, ekologinen kestävyys

Bioenergiaketjujen ekologisen kestävyuden arviointien tuloksia esitellään BEST -hankkeen taskin 4.2 osalta taulukoissa 4 ja 5 ja BIOTEAM -hankkeen osalta taulukoissa 6-7. BIOTEAM-hankkeen tulokset ovat saatavilla myös hankkeen verkkosivuilla (BIOTEAM deliverable 2.4. 2014).

Taulukko 4. BEST-hankkeen taskin 4.2 rypsi biodieselin kestävyysarvioinnin tulokset numeeristen indikaattorien osalta: ekologinen kestävyys.

Haaste	Indikaattorit	Bioenergiaketju	Yksikkö
<b>Ilmastonmuutos</b>	Kasvihuonekaasupäästöt	61,4	g CO <sub>2</sub> -eq./MJ
<b>Rehevöityminen</b>	Typpitase	2,66E-03	kg N /MJ
	Fosforitase	1,23E-04	kg P /MJ
<b>Viljelymaan eroosio</b>	Eroosio (VIHMA)	0,0198	kg maa-ainesta/MJ
<b>Maan hiilivaraston pienentyminen</b>	Muutos maan hiilipitoisuudessa (Heikkinen ym. 2013)	7,65E-03	kg C/MJ
	Hiilisyöte	0,04	kg C/MJ
<b>Biodiversiteetti</b>	Peltoalan kasvu viimeisen 20 vuoden aikana	0	%
<b>Uusiutumattomien luonnonvarojen käyttö</b>	Uusiutuvan energian osuus	23	%
	Eloperäisten lannoitteiden osuus	9	%
	Fosforitase	1,23E-04	kg P /MJ
<b>Viljelyn alhainen tehokkuus</b>	Maankäyttö	6,6E-05	ha/MJ

Taulukko 5. BEST-hankkeen taskin 4.2 ohran oljen kestävyysarvioinnin tulokset numeeristen indikaattorien osalta: ekologinen kestävyys.

Haaste	Indikaattorit	Bioenergiaketju	Yksikkö
<b>Ilmastonmuutos</b>	Kasvihuonekaasupäästöt	1,92	g CO <sub>2</sub> -eq./MJ
<b>Rehevöityminen</b>	Typpitase	2,59E-04	kg N /MJ
	Fosforitase	1,91E-05	kg P /MJ
<b>Maan hiilivaraston pienentyminen</b>	Muutos maan hiilipitoisuudessa (Heikkinen ym. 2013)	2,40E-03	kg C/MJ
	Hiilisyöte	0,01	kg C/MJ
<b>Biodiversiteetti</b>	Peltoalan kasvu viimeisen 20 vuoden aikana	0	%
<b>Uusiutumattomien luonnonvarojen käyttö</b>	Uusiutuvan energian osuus	38	%
	Eloperäisten lannoitteiden osuus	35	%
	Fosforitase	1,91E-05	kg P /MJ

Taulukko 6. BIOTEAM-hankkeen ohraetanolin kestävyysarvioinnin tulokset: ekologinen kestävyys.

Haaste	Indikaattorit	Bioenergia- ketju	Vertailu- ketju	Netto- vaikutus	Yksikkö
<b>Ilmastonmuutos</b>	Kasvihuonekaasupäästöt	69,9	84,3	-14,4	g CO <sub>2</sub> -eq./MJ
<b>Rehevöityminen</b>	Typpitase	-2,4 E-04	-1E-04	-3,4E-04	kg N /MJ
	Fosforitase	-2,3 E-05	0	-2,3 E-05	kg P /MJ
<b>Happamoituminen</b>	Happamoitavat päästöt	1,04	0,63	0,41	g SO <sub>2</sub> -eq/MJ
<b>Ilmanlaatu</b>	Ilmanlaatu	0,0078	0,01	-0,0022	g PM <sub>10</sub> /MJ
<b>Ekotoksisuus</b>	Kemikaalien käyttö	2	3	-1	pisteitä
<b>Veden käyttö</b>	Veden käyttö	4 E -04	8 E-05	3,2E-04	m <sup>3</sup> /MJ
<b>Maankäyttö</b>		3 E -05	2,6 E-10	3 E -05	ha/MJ
<b>Nettoenergiatas</b>		0,57	0,18	0,39	MJ/MJ

Taulukko 7. BIOTEAM-hankkeen metsähakekaukolämmityksen kestävyysarvioinnin tulokset: ekologinen kestävyys.

Haaste	Indikaattorit	Bioenergia- ketju	Vertailu- ketju	Nettovaikutus	Yksikkö
<b>Ilmastonmuutos</b>	Kasvihuonekaasupäästöt	3,42	93,7	-90,28	g CO <sub>2</sub> -eq./MJ
<b>Rehevöityminen</b>	Typpitase	-0,045	-0,0001	-3,4E-04	kg N /MJ
	Fosforitase	0	0	-2,3 E-05	kg P /MJ
<b>Happamoituminen</b>	Happamoitavat päästöt	0,125	0,194	-0,069	g SO <sub>2</sub> -eq/MJ
<b>Ilmanlaatu</b>	Ilmanlaatu	0,289	0,007	-0,282	g PM <sub>10</sub> /MJ
<b>Ekotoksisuus</b>	Kemikaalien käyttö	0	3	-3	pisteitä
<b>Veden käyttö</b>	Veden käyttö	0	1,38E-04	-1,38E-04	m <sup>3</sup> /MJ
<b>Maankäyttö</b>		0	2,6 E-10	-2,6 E-10	ha/MJ
<b>Nettoenergiatas</b>		0,20	0,20	0	MJ/MJ





### 2.2.3 Esimerkkejä laskennasta, taloudellinen ja sosiaalinen kestävyys

BIOTEAM- hankkeen taloudellisen ja sosiaalisen kestävyysarvioinnin tuloksia esitellään taulukoissa 8 ja 9.

Taulukko 8. BIOTEAM-hankkeen ohraetanolin kestävyysarvioinnin tulokset: sosiaalinen ja taloudellinen kestävyys.

Kestävyys- osa-alue	Indikaattori	Bioenergiaketju	Vertailuketju	Netto- vaikutus	Yksikkö
<b>Taloudellinen kestävyys</b>	Sisäinen korko	12,7	> 13	> -0,3	%
	Takaisinmaksuaika	16	8	8	vuosia
	Maan hinnan muutos	0	0	0	%
	Vaikutus kansantalouteen	200	1000	-800	ppm
	Tuotteen hinta loppukäyttäjälle	0,030	0,028	0,002	€/MJ
	Tuotantokustannukset	0,012	0,011	0,001	€/MJ
<b>Sosiaalinen kestävyys</b>	Työllisyys	2,5E-07	4,9 E-08	2 E -07	htv/MJ
	Vaikutus paikallistalouteen	93,4			%
	Työn laatu	maatalous 50 tuotantolaitos 28	öljynporaus 15 teollisuus 28	35 0	tapaturmien lukumäärä/ 1000 työntekijää
		maatalous 0,05 tuotantolaitos 0,03	öljynporaus 0,5 teollisuus 0,03	-0,45 0	kuolemaan johtaneiden onnettomuuksi- en lukumäärä/ 1000 työntekijää
		energiasektori Suomessa 42000	öljynporaus 12 900 öljy-yhtiö 42 000	29100	palkkataso, €/vuosi
	Kiinteistön arvonmuutos	0	-2	2	pisteitä
	Ympäristön laadun ja viihtyisyyden muutos (melu, haju, esteettisyys)	2	3	-1	pisteitä

Taulukko 9. BIOTEAM-hankkeen metsähakekaukolämmityksen kestävyysarvioinnin tulokset: sosiaalinen ja taloudellinen kestävyys.

Kestävyyden osa-alue	Indikaattori	Bioenergia- ketju	Vertailuketju	Netto- vaikutus	Yksikkö	
<b>Taloudellinen kestävyys</b>	Sisäinen korko	9,4	13	-3,6	%	
	Takaisinmaksuaika	12	8	4	vuosia	
	Maan hinnan muutos	4,5	0	4,5	%	
	Vaikutus kansantalouteen	468	1050	-582	ppm	
	Tuotteen hinta loppukäyttäjälle	0,021	0,031	-0,01	€/MJ	
	Tuotantokustannukset	0,019	0,018	0,001	€/MJ	
<b>Sosiaalinen kestävyys</b>	Työllisyys	1,3E-07	4,8 E-08	8,2 E -08	htv/MJ	
	Vaikutus paikallistalouteen	85,1			%	
	Työn laatu	metsätalous 43 tuotantolaitos 0	öljynporaus 15 teollisuus 28	28 -28		tapaturmien lukumäärä/ 1000 työntekijää
		metsätalous 0 tuotantolaitos 0	öljynporaus 0,5 teollisuus 0,03	-0,5 -0,03		kuolemaan johtaneiden onnettomuuksien lukumäärä/ 1000 työntekijää
		energiasektori Suomessa 42 000	öljynporaus 12 900 öljy-yhtiö 42 000	29100		palkkataso, €/vuosi
	Kiinteistön arvonmuutos	1	-2	3	pisteitä	
	Ympäristön laadun ja viihtyisyyden muutos (melu, haju, esteettisyys)	1	3	-2	pisteitä	



### 3 Maan hiilipitoisuus, miksi se on tärkeä ja miksi se muuttuu? Voiko mitään tehdä sen parantamiseksi?

Peltomaiden hiili on tärkeää maan hedelmällisyydelle: ravinteiden saatavuudelle, vesitaloudelle, mururakenteelle, ilmanvaihdolle ja mikrobien toiminnalle (Hakala ja Keskitalo 2007). Hyvä maan hiilitaso myös auttaa vähentämään ravinnevalumia pellostä.

Suomessa maan hiilipitoisuus laskee jatkuvasti sekä mineraali- että turvemaiilla (Heikkinen ym. 2013). Kehitys johtuu siitä, että Suomen peltomaiden raivauksesta on vasta suhteellisen vähän aikaa. Metsämaassa, josta mineraalipellot paljolti on raivattu, on paljon orgaanista hiiltä, koska metsiä ei muokata ja niiden karike on hitaasti hajoavaa. Soilla hiiltä säilyttää kostea, hapan ympäristö. Peltomaata muokatessa hiili vähitellen hajoaa, kun se pääsee ilman kanssa tekemisiin ja muutkin peltojen olot (mm. typpilannoitus ja kalkitus) suosivat mikrobien toimintaa. Viljelystä aiheutuva karike hajoaa nopeasti eikä jää maaperään hiileksi (Heikkinen 2015). Tämän takia peltomaassa on yhä vähemmän hiiltä. Hiiltä voidaan kuitenkin yrittää lisätä maahan erilaisin keinoin. Näitä ovat mm. lannoittaminen orgaanisilla lannoitteilla (esim. karjanlanta), talvipeitteisyys, viherlannoitus, korjuujätteen kyntäminen peltoon (jos jäte on vähätyypistä, samalla lannoittaen), alus- ja kerääjäkasvien käyttö sekä palkokasvien ja monivuotisten viljelykasvien ottaminen osaksi viljelykiertoa (Hakala ja Keskitalo 2007, Karhu ym. 2012). Vähennetty muokkaus ja suorakylvö auttavat hiilen kertymistä maan pintakerrokseen, mutta eivät välttämättä lisää hiiltä maan syvempiin kerroksiin, kun maata ei kynnetä. Laitumilla orgaaninen hiili säilyy hyvin, kun kasvina on monivuotinen heinä ja lanta palautuu maahan suurelta osin.

Maan orgaanisen aineksen häviäminen on pääasiassa mikrobien ansiota, vaikka eroosionkin mukana tietysti häviää maata ja sen mukana orgaanista ainesta. Mitä paremmat olot maassa on mikrobeille, sitä enemmän hiiltä metaboloituu ja vapautuu. Myös se, minkälaisia mikrobeja maassa on vaikuttaa hajoamisnopeuteen. Karikkeen tai viljelykasvien maahan jäävien osien hiili/typpisuhde on tärkeä. Mitä enemmän karikkeessa on tyypeä, sitä nopeammin se hajoaa, sillä runsas typpi auttaa mikrobeja lisääntymään. Maan kosteus ja etenkin lämpötila vaikuttavat myös mikrobitoimintaan ja maan hiilipitoisuuteen. Joissakin maan hiiltä kuvaavissa malleissa lämpötilan vaikutus tasaantuu maksimilämpötilan jälkeen (Yasso07 – malli), toisissa lämpötilan nousu kiihdyttää orgaanisen aineksen hajoamista maan sulamisesta lähtien eksponentiaalisesti lämpötilan noustessa (RothC –malli) (Heikkinen 2015).

Ruotsissa Ultunassa tehdyissä pitkäaikaiskokeissa havaittiin, että normaali yksivuotisten kasvien viljely vähentää aina maan hiiltä, ellei kasvijätteitä (olkea tai naatteja ym.) kynnetä maahan. Pelkkä juuristo ei pysty ylläpitämään maan hiiltä, jos käytetään yksivuotisia viljelykasveja. Oljen lisäyskään ei lisää maan hiiltä, ellei samalla lisätä tyypeä (Karhu ym. 2012). Olki yksinään kynnettynä maaperään voi väliaikaisesti sitoa maaperän typen, ja seuraavien kasvien kasvun varmistamiseksi maahan on lisättävä hiukan lisätyypeä. Viherlannoitus, karjanlannalla lannoittaminen ja turpeen ja typen lisäys kaikki parantavat maan hiilipitoisuutta (Karhu ym. 2012). Suomalaisessa seurantatutkimuksessa havaittiin, että



monivuotiset kasvustot auttavat säilyttämään maan hiilitasoa, mutta paikasta riippuen niilläkin viljellyn pellon hiilitaso laskee, joskin vähemmän kuin yksivuotisilla kasvustoilla viljellyn pellon (Heikkinen ym. 2013). Kun metsä- tai suomaa tai muu runsashiilinen maa (luonnon niitty, jokisuisto) muutetaan viljelysmaaksi, maan hiilen muutos on siis jatkuvaa ja yleensä muutos on pienempään suuntaan.

Intiassa peltomaa käytetään tarkasti viljelyyn. Lisäksi sadon korjuusta ylijäävä olki ja muu korjuujäte menevät eläinten rehuksi, kuivikkeeksi ja jossain määrin pienpolttoon kotiuuneissa. Usein peltoon jää vain lyhyt sänki, ja kun korjuujätteitäkään ei palauteta peltoon, ei maahan juuri jää sen hiilitasoa ylläpitävää biomassaa (Grace ym. 2012). Lisäksi kemiallisten lannoitteiden halpa hinta on suurelta osin syrjäyttänyt orgaanisten lannoitteiden käytön Intiassa (Singh ym. 2007). Nämä tekijät ovat johtaneet siihen, että suuressa osassa Intian peltomaata hiilipitoisuus on laskenut hyvin alas, alle 1%. Tämän takia peltojen kasvukyky on vaarassa romahtaa ja samalla peltojen tuotot laskea, vaikka viljelyä kuinka yritetään vauhdittaa lannoitteilla (Singh ym. 2007, Pathak ym. 2011). Suomessa mineraalimaiden hiilipitoisuus on yleensä 3-4% ja orgaanisten maiden 20-40% (Heikkinen ym. 2013). Vaikka tilanne on Suomessa paljon parempi kuin Intiassa, Suomessa on jo pitkään oltu hyvin huolestuneita peltomaiden hiilipitoisuuden laskusta, sillä hiilen määrä vaikuttaa selvästi maan kasvukuntoon. Intiassakin on herätty huomaamaan maaperän köyhtyminen ja sen mukanaan tuomat mahdolliset ongelmat, ja pohdinta siitä, miten maan hiilipitoisuutta voitaisiin kasvattaa, on alkanut. Intiassa lasketaan, että pelkällä suorakylvön käyttöönotolla voitaisiin Indo-Gangesin tasangon alueella maahan varastoida yli 50 miljoonaa tonnia hiiltä seuraavien 20 vuoden aikana, mikä tarkoittaisi 9,6 % vähennystä Intian vuosittaisiin kasvihuonekaasupäästöihin (Grace ym. 2012). Vaikka suuresta kemiallisellakin lannoitteella tuotetusta kasvibiomassasta yleensä jää biomassaa myös peltomaahan kynnettäväksi, lannoittaminen karjanlannalla lisäisi maan hiiltä vielä paljon tehokkaammin (Pathak ym. 2011). Viherlannoitus, karjanlannan lisäys ja olkien kyntö maahan, etenkin jos lisätään myös ravinnelähde viherlannoituksen muodossa, lisääisivät merkittävästi maan hiilipitoisuutta ja edelleen kasvukuntoa (Singh ym. 2007).

### 3.1 Maan hiilipitoisuuden mittaus ja arviointi

Maan hiilipitoisuuden muutoksia voidaan tutkia pitkäaikaisilla seurannoilla, kuten Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksessa on tehty (Heikkinen ym. 2013). Tällöin maanäytteet pitää ottaa samoilta alueilta ja aina samalla tavalla pitkän ajan kuluessa. Tämän menetelmän tulokset ovat oikein tehtyinä luetettavia, mutta tutkimus on kallis toteuttaa, tuloksia saadaan vain tietyistä paikoista ja trendien selvittäminen kestää pitkään. Tilanne voi jo olla muuttunut huonoksi ennen kuin huomataan ryhtyä toimenpiteisiin. Samantyyppinen menetelmä ovat pitkäaikaiset kokeet, jotka myös ovat kalliita ja aikaavieviä, mutta voivat olla luetettavia, jos ne tehdään oikein. Lisäksi näissä kokeissa voidaan kokeilla eri menetelmiä vaikuttaa hiilen määrään maassa. Tällaisten kokeiden tuloksia voidaan käyttää erilaisten maan hiiltä kuvaavien mallien testaukseen. Esim. Karhu ym. (2012) käyttivät Ultunassa Ruotsissa tehtyjä pitkäaikaiskokeita Yasso07 –mallin testauksessa. Muita menetelmiä maan hiilipitoisuuden muutosten arviointiin ovat maaperän kaasupäästömittaukset ja laboratoriokokeet. Kaikkien edellä mainittujen menetelmien tuloksia voidaan käyttää



työkaluina maan hiilen muutosten arvioinnissa mallituksen avulla. Kun malli on todettu luotettavaksi, siihen voidaan syöttää erilaisia lähtöarvoja ja muodostaa tunnetuista vaikutuksista prosesseja, joiden avulla voidaan arvioida maan hiilen muutoksia eri oloissa ja eri viljelyteknologioilla. Jos lähtöarvot ja prosessit ovat monipuolisia ja luetettavia, malleilla voidaan arvioida maan hiilen muutoksia missä tahansa maailman maassa. Intiassa voidaan käyttää siellä tehtyjen tutkimusten tuloksia (esim. Singh ym. 2007, Pathak ym. 2011 tai Grace ym. 2012) mallien testaamiseksi ja jos malli toimii hyvin ja oikeat syöttötiedot ovat saatavilla, voidaan saada arvioita erilaisten teknologioiden ja maan käytön vaikutuksista maaperän hiileen.

### **3.2 Miten yksivuotisista kasveista voitaisiin saada lisää hiiltä maahan ja silti kerätä olkea bioenergiaksi?**

Yksivuotisten viljojen, etenkin ohran, viljely on Suomessa hyvin yleistä: noin puolella Suomen peltomaasta viljellään yksivuotisia viljoja, ja yli 437 000 hehtaarilla ohraa (Maataloustilastot 2014). Olemme arvioineet, että olkea voitaisiin kerätä pelloilta noin joka toinen vuosi maan hiilen tason suuresti kärsimättä (Hakala ym. 2009b, Pahkala ja Lötjönen 2012, Hakala ym. 2014). Heikkisen ym. (2013) tulosten mukaan tosin oljen jokavuotinen kyntö peltoon ei pysty estämään maan hiilipitoisuuden laskua, vaan lisätoimia tarvitaan. Eri kasvit poikkeavat kuitenkin siinä, miten paljon niistä jää kasvijätettä maahan. Jo pelkkä satoindeksi kertoo kasvin potentiaalista lisätä maan hiiltä tai toimia bioenergian lähteenä (katso listaus eri viljelykasvien satoindekseistä ja korjuujätteen määrästä julkaisussa Hakala ym. 2009b). Juurten vaikutusta ei satoindeksi kerro, ja jotkut kaksi- tai monivuotiset kasvit (esim. kumina) jättävätkin paljon biomassaa, jopa kaksi kertaa niiden maanpäällisen biomassan verran myös maanpinnan alle (Hakala ym. 2009a) sen lisäksi että niistä jää vuosittain paljon korjaamatonta biomassaa silputtuna pellon pintaan.

BEST-projektin raportissa (Hakala ym. 2014) arvioimme korjattavan korjuujätteen määrää yleisimmillä viljakasveilla Euroopassa, Intiassa ja Kiinassa. Arviot perustuivat tavanomaisimpaan korjuutekniikkaan, jossa noin kolmasosa kasvin satoindeksin ilmoittamasta korresta (naatista, varresta) jää korjattaessa sängeksi tai varsistoksi maan pintaan. Näin arvioiden ja ottaen huomioon olkibiomassan muun käytön ja sen, että säännöllisin väliajoin olkea pitää myös kyntää maahan, Suomessa oljesta saataisiin energiaa noin 4 ja Intiassa 578 TWh vuodessa. Mitä korkeammalta korjataan, sitä enemmän biomassaa jää maahan ja sitä vähemmän olkea tai varsia voidaan korjata bioenergiakäyttöön. Jo normaalissa korjuussa, jossa jää 15-20 cm sänki, maan pintaan jää 20-45% kasvin korsi- tai varsimateriaalista. Paljonko materiaalia jää, riippuu kasvilajista ja kasvin korkeudesta (Soimakallio ym. 2009a). Ohran kuivapainon jakautuminen eripituisiin olkifraktioihin on esitetty Taulukossa 1. Taulukosta näkyy, että ohran varsisto on paksuinta ja painavinta sen alaosissa ("Näytteen kuivapaino/cm olkea"). Tästä johtuen ohran korren kuivapainosta 35% sijoittuisi sänkeen, jonka korkeus maanpinnasta olisi 20 cm. Kasvilajit poikkeavat toisistaan. Esim. lyhytvartisella öljypellavalla osuus on vielä suurempi: 20 cm sängessä on 45% koko kasvin varren kuivapainosta. Pitkävartisella rypsilä taas ensimmäisten 20 cm osuus kuivapainosta on pienempi kuin monilla muilla kasveilla (Soimakallio ym. 2009a). Jokaisesta viljelykasvista, josta kerätään korjuujätteitä

bioenergiaksi, olisi tämän takia hyvä tietää paitsi satoindeksi, myös se, paljonko maahan jää korjuun jälkeen biomassaa eri korjuuteknologioilla eli kun sato leikataan tarkasti käsin eikä olkea tai muuta korjuujätettä palauteta peltoon tai kun konekorjuussa jätetään eripituisia sänkiä.

Taulukko 1. Ohran korsisato leikkuukorkeudesta riippuen. Olki jaoteltiin 5 cm pituisiin osiin ja laskettiin, paljonko kunkin fraktion osuus oli koko kasvin oljesta ja paljonko yhteensä oljen saanti oli eri korkeuksilta leikattaessa ("Kumulatiivinen paino-osuus koko oljesta"). Näytteen koko oli 50 ohrayksilöä ja tulokset 5 toiston keskiarvoja. Data julkaisusta: Pahkala ja Kontturi 2008.

Olkinäyte cm	Näytteen paino-osuus koko oljesta, %	Kumulatiivinen paino-osuus koko oljesta, %	Näytteen kuiva-paino/cm olkea
65-	6,5	100,0	0,59
60-65	5,1	93,5	0,47
55-60	5,2	88,4	0,48
50-55	6,8	83,2	0,62
45-50	6,5	76,4	0,60
40-45	6,7	69,9	0,62
35-40	6,8	63,2	0,62
30-35	6,7	56,4	0,62
25-30	7,3	49,6	0,66
20-25	7,6	42,4	0,70
15-20	7,7	34,7	0,71
10-15	8,4	27,0	0,77
5-10	8,8	18,6	0,81
0-5	9,8	9,8	0,90

Tarkat arvioinnit peltoon jäävistä biomassoista pitää luotettavien tulosten saamiseksi tehdä jokaiselle kasville ja jokaiselle ilmastovyöhykkeelle erikseen. Suomessa työ on nyt aloitettu, ja meillä on tieto Suomen tärkeimmistä viljelykasveista (Soimakallio ym. 2009a). Jos halutaan saada vastaava tieto Intian oloissa, tutkimus pitäisi tehdä Intiassa sen eri ilmastotyypeissä, tai vastaavissa ilmastotyypeissä muualla maailmassa, mutta Intiassa käytetyillä viljelykasveilla. Intian viljelykasvituotannosta FAO listaa 129 hyödykettä, Suomelle listataan 63 (FAO 2014). Intiassa kasvintuotanto on ymmärrettävästi monipuolisempaa kuin Suomessa, sillä siellä asuu 212 kertaa enemmän ihmisiä kuin Suomessa ja maan pinta-ala on kymmenkertainen Suomeen verrattuna. Lisäksi Intiassa ruokavalio on kasvisvoittoinen, minkä vuoksi tarjolla on monenlaisia palkokasveja, vihanneksia, juureksia ja viljoja. Kun Intiassa sekä viljelykasvit että pelto-olot vaihtelevat enemmän kuin Suomessa, maahan kynnättävän biomassan määrän arvioimiseen tarvitaan paljon enemmän kokeita ja koepaikkoja kuin Suomessa. Työ voitaisiin kuitenkin aloittaa viljelykasveilla, joista jo nyt on runsaasti tietoa eri osista maailmaa, esim. Intiassakin viljeltävillä maissilla, riisillä ja vehnällä.



### 3.3 Maan hiilipitoisuuden mallituksen edellytykset

Tärkeimmät tekijät, jotka vaikuttavat biomassojen hajoamiseen ovat jo hiilen metaboliaa kuvaavissa malleissa ja toimivat hyvin (Heikkinen 2015). Ongelmana onkin sen selvittäminen, miten paljon ja minkälaista biomassaa maahan lisätään kasvukaudessa. Edellä mainittiin työ, jonka avulla Suomessa voidaan jo laskea monen viljelykasvin maahan kynnettävä biomassa sen mukaan, mikä on korjuukorkeus (Pahkala ja Kontturi 2008, Soimakallio ym. 2009a). Näistäkin tutkimuksista ei kuitenkaan selviä, paljonko kukin kasvi on tuottanut juurta maaperään vuoden aikana. Jos halutaan tietää tarkkaan, paljonko biomassaa maahan jää sadonkorjuun jälkeen, myös juurten osuus biomassasta pitää selvittää. Yleisesti ollaan sitä mieltä, että yksivuotisilla viljelykasveilla juurta on hyvissä oloissa noin 10-20% koko kasvin biomassasta (Reynolds ym. 2007, Hakala ym. 2009a, Allard ym. 2013). Tästä arviosta voidaan lähteä laskennoissa liikkeelle. Kuitenkin on otettava huomioon, että kuivissa tai ravinneköyhissä oloissa juurten määrä voi kasvaa (Siddique ym. 1990), ja että monivuotisilla viljelykasveilla juuribiomassaa voi olla jopa kaksi kertaa enemmän kuin maanpäällistä biomassaa (Hakala ym. 2009a).

Jotta maan hiilipitoisuuden muutoksia voitaisiin mallittaa, tarvitaan lisäksi maan käytön historia riittävän pitkältä ajalta. Joissakin maissa, kuten Suomessa ja muualla EU:ssa peltojen viljelytiedot ovat saatavilla, sillä niitä tarvitaan tukien maksamiseen. Monissa muissa maissa, joissa pellon käyttöä ei valvota yhtä tarkasti, viljelytiedot voivat olla muistin tai hatarien muistiinpanojen varassa. Silloin maan hiilipitoisuuden muutoksia ei voida luotettavasti arvioida, vaikka malli siihen oikeilla syöttötiedoilla pystyisikin.

### 3.4 Mitä hiilen lisäys maaperään maksaa ja kannattaako se?

Pitkäaikaisissa tutkimuksissa saatiin selville, että kemiallisen lannoituksen (ja siten biomassantuoton) lisäyksellä voitaisiin nostaa maan hiilimäärää 0,16 tonnia/ha/v, mutta lisäämällä karjanlantaa kemiallisen lannoituksen lisäksi hiilen määrän lisäys voitaisiin tästä kaksinkertaistaa (Pathak ym. 2011). Tutkimuksen 26:sta koepaikasta 17:llä karjanlannan avulla saatu maan hiilipitoisuuden nosto tuotti myös paremmat sadot ja kokonaistuoton ja oli kannattavaa viljelijälle. 9 tapauksessa 26:sta sen sijaan lisätoimenpiteistä koitui viljelijälle taloudellista tappiota (Pathak ym. 2011). On vaikea uskoa, että viljelijä vapaaehtoisesti ottaisi sellaisia toimenpiteitä käyttöön, joista koituu tulon menetyksiä. Näissä tapauksissa valtion olisikin tuettava viljelijän työtä maan hiilipitoisuuden nostamiseksi.

Lisähaasteen toimenpiteille tuo Intian maan suuri pinta-ala. Koko Intian käytettävissä oleva karjanlanta (225 miljoonaa tonnia vuodessa) riittäisi maan hiilitason nostoon vain yhdellä kolmasosalla Intian peltoalasta. Käyttöön voitaisiin kuitenkin ottaa myös yhdyskuntajäte, jota pelkästään suurissa kaupungeista kootaan yhteensä 40 000 tonnia päivässä. Tästä määrästä vähän alle kolmasosa on biohajoavaa, ja siitä kertyisi 4.1 miljoonaa tonnia maahan sijoitettavaa hiiltä vuodessa. Lisäksi korjuujätteitä voitaisiin kyntää maahan nykyistä



enemmän, noin 500 miljoonaa lisätonna vuodessa (Pathak ym. 2011). Nykyään suuri osa esim. riisin korjuujätteestä vain poltetaan, koska se helpottaa seuraavien kasvien kylvämistä.

Suorakylvöön siirtyminen voisi lisätä maan hiiltä, mutta toimenpiteen houkuttavuus riippuu myös siitä saatavasti korvauksesta. Jos korvausta maksettaisiin viljelijöille 25 US\$ tonnista hiiltä, joka on poistunut ilmakehästä, tulos voisi pelkästään Indo-Gangesin tasangon alueen riisi-vehnäkierrossa olla kolme miljoonaa tonnia hiiltä maahan varastoituneena 20 vuoden aikana. 50 US\$ hinnalla varastoitu määrä voisi kasvaa 7,3 miljoonaan tonniin hiiltä. Suurimmat hiilen varastot voitaisiin kerätä Biharin ja Punjabin valtioissa, jos hiilitonnista maksettaisiin 200 US\$ (Grace ym. 2012). Tällä hiilen hinnalla voitaisiin toteuttaa 79% potentiaalista hiilen varastoinnista, 34,7 miljoonaa hiilitonnia, Intian riisi-vehnä-kierroissa. Tästä hiilimäärästä Uttar Pradeshin osuus yksinään olisi 13,9 miljoonaa tonnia (Grace ym. 2012).

Paras tapa säilyttää maan hiili maaperässä olisi tuottaa tehokkaasti ruoka siellä, missä se on taloudellisesti ja ympäristön kannalta kestävä ja viljellä monivuotisia kasveja tai metsittää ne maat, jotka joko eivät sovellu ruoan tehokkaaseen tuottamiseen tai joilta tehotuotannossa helposti karkaa ravinteita tai maapartikkeleja vesistöihin. Tehokas tuotanto parhailla pelloilla vähentäisi alaa, jota muokataan ja siten vähentäisi hiilen karkaamista maaperästä. Monivuotisten kasvien viljely huonosti tuottavilla mailla taas voisi auttaa parantamaan maaperän ominaisuuksia, ja maat voitaisiin myöhemmin ottaa takaisin ruoantuotantoon. Nämä käytännöt sopisivat sekä Intian että Suomen oloihin, mutta viljelijöille olisi korvattava heidän tulonmenetyksensä niiltä mailta, jotka pannaan syrjään tehotuotannosta, esimerkiksi ”hiilen lisäys-palkkioina” ympäristötuen yhtenä osana.

#### **4 Muuttuvatko kasvintuotanto, viljelyn edellytykset ja pellon käyttö Intiassa ja Suomessa, kun ilmasto muuttuu ja miten muutokset vaikuttavat maiden bioenergiapotentiaaliin?**

Ilmastonmuutos on jo muuttanut kasvintuotantoa maailmassa, ja yleensä muutos on ollut huonompaan suuntaan (Porter ym. 2014). Sadot ovat kuitenkin jatkuvasti parantuneet niin Intiassa kuin muuallakin maailmassa, pääasiassa parempien lajikkeiden, parempien lannoitteiden ja teknologian ja tehokkaamman kasvinsuojelun ansiosta. Pohjoisilla alueilla ilmastonmuutos on voinut jopa parantaa kasvintuotannon ja kotieläintuotannon edellytyksiä mm. vähentämällä lämmitystarvetta eläinsuojissa ja kasvihuoneissa ja pidentämällä kasvukautta (Kaukoranta ja Hakala 2008). Seuraavien 50 vuoden aikana ilmastonmuutos tulee todennäköisesti etenemään, ja vaikutukset maatalouteen tulevat voimistumaan entisestään. Suomessa maltillisen lämpötilan nousun odotetaan tuovan mukanaan pääasiassa hyviä vaikutuksia, lisääntyneitä satoja ja parempaa kannattavuutta maatalouteen. Suomessa muutoksiin pystytään varautumaan ja niistä hyötymään, sillä rikkaana maana meillä on paljon vaihtoehtoisia tapoja reagoida muutoksiin.





Tropiikin maissa ilmaston muutos on tähän mennessä vaikuttanut vähemmän satotasoihin kuin lauhkeilla alueilla, ja tulevaisuudessakin vaikutusten ennustetaan olevan trooppisilla alueilla lauhkeita alueita pienempiä vuoteen 2050 asti (Porter ym. 2014). Näillä alueilla maat ovat kuitenkin usein köyhiä, mikä huonontaa niiden sopeutumiskykyä. Tämän vuoksi ennustetaan, että seuraavien 35 vuoden aikana trooppiset alueet tulevat kärsimään enemmän ilmastonmuutoksesta kuin lauhkeat alueet (Porter ym. 2014). Ennusteiden mukaan ilmastonmuutos tulee todennäköisesti alentamaan Etelä-Aasian viljojen satoja keskimäärin 4-10%, jos maapallon keskilämpötila nousee kolme astetta. Maissin satojen ennustetaan kuitenkin laskevan jopa 16% ja durran 11% jo vuoteen 2050 mennessä (Porter ym. 2014, Liite 1). Ilmastonmuutoksen vaikutusennusteet Intian riisin, maissin ja durran satoihin vaihtelevat eri julkaisuissa ja eri ilmastonmuutoskenaarioissa pienestä sadon parantumisesta jopa 60% sadon alenemaan riippuen kasvihuonekaasujen päästömääristä, alueesta ja ilmastomallista (Porter ym. 2014, Liite 1). Yleisesti voidaan ajatella, että tärkeimpien viljojen kokonaissadot laskevat Intiassa samalla tavalla kuin Etelä-Aasiassa keskimäärin eli noin 10-15%, mutta alueellisesti voi tulla joko satojen rajuja romahduksia (maissin ja durran satojen jopa 50% menetys Intian rannikkoalueilla, etenkin länsirannikolla (Western Ghats)) tai satojen reipastakin nousua (jopa 35% riisin sadon nousu länsirannikolla (Western Ghats)) (Porter ym. 2014, Liite 1).

Intian ruoantuotanto on noussut tasaisesti, kuten muuallakin maailmassa, jopa niin, että väestönkasvusta huolimatta ruoantuotanto henkilöä kohden on jatkuvasti noussut (FAO 2014). Sama tilanne on keskimäärin koko maailmassa ([http://faostat3.fao.org/browse/Q/\\*/E](http://faostat3.fao.org/browse/Q/*/E)), vaikkakin joillain maailman alueilla sodat, poliittinen epävarmuus, epäoikeudenmukaiset omistussuhteet ja köyhyys, kuivuuskaudet, sään ääri-ilmiöt ja luonnonmullistukset ovat vaarantaneet ruokaturvan paitsi ruoantuotannon vähenemisen, myös ruoan jakeluongelmien, varastoinnin epäonnistumisen ja väestön ostovoiman heikkenemisen kautta (vrt. Porter ym. 2014). Intian nykykehityksestä voidaan kuitenkin päätellä, että jatkossakin ruokaa tuotetaan yhä enemmän väestön kasvaessa. Bioenergian saatavuuden kannalta tämä tarkoittaa suurempaa korjuujätteiden tuotantoa, mutta mahdollisesti heikentyvää bioenergiakasvien viljelyä, ellei maassa tapahdu teknologioiden nopeaa kehitystä ja siitä seuraavaa tuotannon tehokkuuden kasvua, jolloin huonotuottoisimmat pellot voitaisiin ottaa bioenergian tuotantoon. Viljelymaan hedelmällisyyden parantaminen vaatii yhä suurempaa panostusta eri keinoihin, joilla hiilen määrää maaperässä voidaan nostaa. Jos yhä enemmän korjuujätteitä ja orgaanisia lannoitteita päätetään kyntää maahan, yhä vähemmän niitä riittää bioenergian tuotantoon. Toisaalta, jos yhdyskuntajätteet saataisiin tehokkaasti kierrätykseen, niissä voisi olla suuri potentiaali bioenergian lähteinä.

Ilmastonmuutokseen, etenkin sen mukanaan tuomiin sään ääri-ilmiöihin voidaan niin Intiassa kuin Suomessakin varautua etenkin lisäämällä joustavuutta maatalouden harjoittamisessa. Jos maatilalla on monimuotoista tuotantoa, sillä on mahdollisuus selvittää ääri-ilmiöistä niin, ettei koko tuotantoa menetetä esim. yhden kuivuus- tai kuumuusjakson takia. Lisäksi tuotantoa on pystyttävä sopeuttamaan muuttuvaan ilmastoon, esim. vaihtamalla tuotantosuuntaa tai ainakin viljelykasveja. Myös kasvintuhoojiin ja tauteihin samoin kuin lisääntyviin eläintauteihin ja kuumuusstressiin voidaan sopeutua viljelemällä kestäviä kasvilajeja ja -lajikkeita, torjumalla tauteja ja tuholaisia niiden ilmaantuessa ja karjataloudessa panostamalla eläinten sitkeysominaisuuksiin niiden tuotantotohon rinnalla.



## 5 Tulevaisuuden tutkimustarpeita

1. Arvioidaan intialaisten bioenergiaketjujen kestävyttä BIOTEAM-hankkeessa luotujen kestävyysindikaattorien avulla. Tunnistetaan kestävyysarviointia varten tarvittavat tietolähteet ja testataan olemassa olevien indikaattorien ja arviointimenetelmien toimivuutta intialaisilla bioenergiaketjuilla.
2. Paljonko ja minkälaista biomassaa Intian eri osissa jää maahan eri viljelytavoilla? Intiassa on huomattava määrä erilaisia ravintokasveja, mutta siellä viljellään myös tavanomaisia maailmalla laajasti viljeltäviä maissia, riisiä ja vehnää. Pitkän aikavälin tavoite on, että kaikista Intiassa laajasti viljeltävistä peltokasveista määritetään niiden maahan jättämä biomass ja sen laatu eri viljelyteknologioilla. Lyhyellä tähtäimellä voidaan tutkia mallittamalla ja herkkyysanalyysin avulla maissin, riisin ja vehnän mahdollisia vaikutuksia viljelymaan hiilipitoisuuteen eri tuotantoteknologioilla.
3. Miten Intian maaperän hiili hajoaa Intian eri ilmastovyöhykkeillä ja voidaanko joissakin Intian osissa kestävästi korjata korsi- ja varsibiomassoja bioenergiaksi? Pilottitarkasteluun ehdotetaan otettavaksi maissi, vehnä ja riisi, joista on paljon tutkimusta eri ilmasto-oloissa ja joiden lähtötiedoista suuri osa voidaan saada kirjallisuudesta, minkä jälkeen mallitus voidaan tehdä Yasso07-mallilla.
4. Paljonko voi kestävästi kerätä korjuujätebiomassoja ja mitä muita kestävyystekijöitä kuin maan hiilipitoisuus pitää ottaa huomioon bioenergia-biomassojen korjuussa ja käytössä?
5. Julkaistaan Pahkalan ja Kontturin (Soimakallio ym. 2009a) data tieteellisessä vertaisarvioidussa lehdessä, jolloin saadaan laajemmin selville myös muu aiheesta tehty tutkimus.
6. Miten bioenergiantuotanto vaikuttaa maan eroosioherkkyyteen Intiassa? Kartoitetaan, millaista tutkimusta Intiassa on tehty bioenergiakasvien viljelyn vaikutuksesta maan eroosioon ja onko korjuujätebiomassojen korjuulla vaikutusta. Selvitetään, miten bioenergiantuotannon aiheuttamaa eroosioriskiä voidaan arvioida RUSLE-mallin (Revised Universal Soil Loss Equation) avulla Intiassa.
7. Millaisia sosiaalis-taloudellisia vaikutuksia bioenergiantuotannolla on Suomessa ja Intiassa ja miten niitä voidaan arvioida määrällisesti? BIOTEAM -hankkeessa on tunnistettu joitakin sosiaalisen ja taloudellisen kestävyden keskeisiä indikaattoreita ja luotu näille arviointimenetelmät. Tätä indikaattoristoa tulisi kuitenkin vielä täydentää, erityisesti jos sitä halutaan soveltaa EU:n ulkopuolella. Bioenergian sosiaalisen kestävyden indikaattoreita ovat lisäksi määrittäneet Fedorova & Poncrác BEST -hankkeen taskissa 4.7. Heidän luomansa viitekehys on huomattavasti laajempi ja sisältää useita kehittyvissä maissa merkityksellisiä indikaattoreita. Tulevaisuudessa sosiaalisten vaikutusten määrällistä arviointia olisi mahdollista kehittää sosiaalis-taloudellisen elinkaariarvioinnin (S-LCA) keinoin. Menetelmästä on annettu



kansainvälinen ohjeistus (UNEP/SETAC 2009), mutta siinä sovellettavat vaikutuksia kuvaavat indikaattorit ovat vielä kehityksen alla.

## 6 Referenssit

Allard, V., Martre, P. & Le Gouis, J. 2013. Genetic variability in biomass allocation to roots in wheat is mainly related to crop tillering dynamics and nitrogen status. *European Journal of Agronomy* 46: 68-76.

BIOTEAM deliverable 2.3. 2014. Harmonized pathway sustainability assessment framework, advanced version. Saatavilla: [www.sustainable-biomass.eu](http://www.sustainable-biomass.eu)

BIOTEAM deliverable 2.4. 2014. Results of pathway sustainability assessment in BIOTEAM countries, national reports. Saatavilla: [www.sustainable-biomass.eu](http://www.sustainable-biomass.eu)

de Baan, L., Mutel, C.L., Curran, M., Hallweg, S. & Koellner, T. 2013. Land Use in Life Cycle Assessment: Global Characterization Factors Based on Regional and Global Potential Species Extinction. *Environmental Science & Technology* 47: 9281-9290.

Dijkman T. J., Birkved M. and Hauschild M. Z. 2012. PestLCI 2.0: a second generation model for estimating emissions of pesticides from arable land in LCA. *Int J Life Cycle Assess* 17: 973–986.

Directive 2009/28/EC of the European parliament and of the council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC. *Official Journal of the European Union* 5.6.2009. L140/16-62.

FAO 2014. Food and Agriculture Organization of the United Nations, statistics, <http://faostat3.fao.org/home/E> . (Viitattu 8.12. 2014).

Fedorova, E. & Pongrácz, E. 2014. Social sustainability criteria of bioenergy value chains. Oulun yliopisto, Thule-instituutti, posteresitys BEST -hankkeen vuosiseminaarissa 18. 9. 2014.

Feitz, A. J. & Lundie, S. 2002. Soil salinisation: a local life cycle assessment impact category. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 7: 244-249.

Feitz, A. J., & Lundie, S. 2002. Soil salinisation: a local life cycle assessment impact category. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 7(4), 244-249.

Garrigues, E., Corson, M.S., Walter, C., Angers, D.A. & Van der Werf, H. 2012. Soil-quality indicators in LCA: method presentation with a case study. Corson, M.S., van der Werf, H.M.G (ed.). In: *Proceedings of the 8th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector (LCA Food 2012)*, 1-4 October 2012, Saint Malo, France. p. 20-25. Rennes, France: INRA. p. 347-352.



Grace, P.R., Antle, J., Aggarwal, P.K., Ogle, S., Paustian, K. & Basso, B. 2012. Soil carbon sequestration and associated economic costs for farming systems of the Indo-Gangetic Plain: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 146: 137-146.

Hakala, K., Huuskonen, S., Lötjönen, T. & Hynynen, J. 2014. Synthesis report on bio-based raw material potential and availability. Research report D 2.1.1: 31 p. (voi ladata sivustolta: <http://www.cleen.fi/en/best/results#Public>).

Hakala, K. ja Keskitalo, M. 2007. Monipuolinen kasvinviljely pellon kasvukunnon ja ravinnetalouden säätelijänä. Teoksessa: *Peltoluonnon ja viljelyn monimuotoisuus*. Jukka Salonen, Marjo Keskitalo ja Marjo Segerstedt (toim.). *Maa- ja elintarviketalous* 110: 142-152.

Hakala, K., Keskitalo, M., Eriksson, C. & Pitkänen, T. 2009a. Nutrient uptake and biomass accumulation for eleven different field crops. *Agricultural and Food Science* 18: 366-387.

Hakala, K., Kontturi, M. & Pahkala, K. 2009b. Field biomass as global energy source. *Agricultural and Food Science* 18: 347-365.

Heikkinen, J., Ketoja, E., Nuutinen, V. & Regina, K. 2013. Declining trend of carbon in Finnish cropland soils in 1974–2009. *Global Change Biology* 19: 1456-1469.

Heikkinen, J. 2015. Carbon storage of Finnish agricultural mineral soils and its long-term change. Väitöskirja (tarkastettu, korjattavana 2014).

Helin, T., Holma, A., & Soimakallio, S. 2014. Is land use impact assessment in LCA applicable for forest biomass value chains? Findings from comparison of use of Scandinavian wood, agro-biomass and peat for energy. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(4), 770-785.

IBAT – Integrated Biodiversity Assessment tool. <https://www.ibatforbusiness.org/login>

Jaiswal, M. K., Thakuria, G., Borah, A. C., & Saikia, R. (2014). Evaluation of parametric impact on soil loss of Panchnoi river basin, North-east India, using revised universal soil loss equation (rusle). *The Clarion*, 3(1), 51-60.

Jaiswal, M. K., Thakuria, G., Borah, A. C., & Saikia, R. (2014). Evaluation of parametric impact on soil loss of Panchnoi river basin, North-east India, using revised universal soil loss equation (rusle). *The Clarion*, 3(1), 51-60.

Karhu, K., Gärdenäs, A.I., Heikkinen, J., Vanhala, P., Tuomi, M. & Liski, J. 2012. Impacts of organic amendments on carbon stocks of an agricultural soil — Comparison of model-simulations to measurements. *Geoderma* 189–190: 606-616.

Kaukoranta, T. ja Hakala, K. 2008. Impact of spring warming on sowing times of cereal, potato and sugar beet in Finland. *Agricultural and Food Science* 17: 165-176.

Koellner, T., De Baan, L., Beck, T., Brandão, M., Civit, B., Margni, M., Milà i Canals, L., Saad, R., de Souza, D.M. & Müller-Wenk, R. 2013. UNEP-SETAC guideline on global land



use impact assessment on biodiversity and ecosystem services in LCA. The International Journal of Life Cycle Assessment 18: 1188-1202.

Lilja, H., Turtola, E., Hyväluoma, J., Hakala, O., Puustinen, M., & Uusi-Kämpä, J. (2014). Suomen peltojen karttapohjainen eroosioluokitus: karttojen kattavuus ja käyttömahdollisuudet (Map-based classification of soil erosion risk in Finnish agricultural fields). MTT Raportti 133.

Lindner, J. P., Niblick, B., Eberle, U., Bos, U., Schmincke, E., Schwarz, S., Luick, R., Blumberg, M. & Urbanek, A. 2014. Proposal of a unified biodiversity impact assessment method. 9th International Conference LCA of Food San Francisco, USA 8-10 October 2014.

Maataloustilastot 2013. Kasvinsuojeluaineiden käytöstä maataloudessa kerätään tietoa syksyn sato- ja puutarhatutkimuksissa. Tiedote saatavilla: <http://www.maataloustilastot.fi/>

Maataloustilastot 2014. [http://www.maataloustilastot.fi/kasvintuotanto\\_fi](http://www.maataloustilastot.fi/kasvintuotanto_fi) (Viitattu 8.12. 2014).

Mattsson, B., Cederberg, C. & Blix, L. 2000. Agricultural land use in life cycle assessment (LCA): case studies of three vegetable oil crops. Journal of Cleaner Production 8: 283-292.

Milà i Canals, L., Romanyà, J. & Cowell, S.J. 2007. Method for assessing impacts on life support functions (LSF) related to the use of 'fertile land' in Life Cycle Assessment (LCA). Journal of Cleaner Production 15: 1426-1440.

Pahkala, K. ja Lötjönen, T. (toim.). 2012. Peltobiomassat tulevaisuuden energiareсурssina. MTT Raportti 44. (Voi ladata osoitteesta: <http://jukuri.mtt.fi/bitstream/handle/10024/479555/mttraportti44.pdf>).

Pahkala, K. ja Kontturi, M. 2008. Korsibiomassojen laatu bioetanolin raaka-aineena. Maataloustieteen päivät 2008. (Voi ladata osoitteesta: [http://www.smts.fi/mpol2008/index\\_tiedostot/Esitelmat/es044.pdf](http://www.smts.fi/mpol2008/index_tiedostot/Esitelmat/es044.pdf)).

Pathak, H., Byjesh, K., Chakrabarti, B. & Aggarwal, P.K. 2011. Potential and cost of carbon sequestration in Indian agriculture: Estimates from long-term field experiments. Field Crops Research 120:102-111.

Porter, J.R., L. Xie, A.J. Challinor, K. Cochrane, S.M. Howden, M.M. Iqbal, D.B. Lobell, and M.I. Travasso, 2014: Food security and food production systems. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 485-533.

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 & Environment 138: 306-317.



- Renard, K.G. & Ferreira, V. A. 1993. RUSLE model description and database sensitivity. *Journal of Environmental Quality* 22, 458-466. Riesinger, P. 2010. Agronomic challenges for organic crop husbandry. Helsinki, Finland: University of Helsinki, Faculty of Agriculture and Forestry, Department of Agricultural Sciences.
- Reynolds, M., Dreccer, F. & Trethowan, R. 2007. Drought-adaptive traits derived from wheat wild relatives and landraces. *Journal of Experimental Botany* 58: 177-186.
- Rosenbaum, R.K., Bachmann, T.M., Gold, L.S., Huijbregts, M.A.J., Jolliet, O., Juraske, R., Koehler, A., Larsen, H.F., MacLeod, M., Margni, M.D., McKone, T.E., Payet, J., Schuhmacher, M., van de Meent, D., Hauschild, M.Z., 2008. USEtox - The UNEP-SETAC toxicity model: Recommended characterisation factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in life cycle impact assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 13, 532-546.
- Räsänen, K., Nousiainen, R., Kurppa, S., Autio, S., Junnila, S., Tiilikkala, K., Kaseva, J. & Laitinen, P. 2013. How to measure the environmental risks from uses of plant protection products for achieving the IPM requirements and risk communication – A case study on the production chain of cereal farming in Finland. MTT report 105. 65 pages.
- Räsänen, K., Ratilainen, A. K. & Kurppa, S. 2014. Pesticide usage data for the application of the research to be utilized for IPM actions? Poster presentation at SETAC Europe 24th Annual Meeting 11-15 May Basel.
- Siddique, K.H.M., Belford, R.K. & Tennant, D. 1990. Root:shoot ratios of old and modern, tall and semi-dwarf wheats in a mediterranean environment. *Plant and Soil* 121: 89-98.
- Singh, R. B. 2000. Environmental consequences of agricultural development: a case study from the Green Revolution state of Haryana, India. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 82: 97–103.
- Singh, G., Jalota, S.K. & Singh, Y. 2007. Manuring and residue management effects on physical properties of a soil under the rice-wheat system in Punjab, India. *Soil & Tillage Research* 94: 229-238.
- Singh, N. J. & Bangchi, S. 2013. Applied ecology in India: scope of science and policy to meet contemporary environmental and socio-ecological challenges *Journal of Applied Ecology* 50: 4–14.
- Soimakallio, S., Antikainen, R., Thun, .R., Kaustell, S., Kontturi, M., Pahkala, K., Usva, K. 2009a. Assessing the sustainability of liquid biofuels from evolving technologies: a Finnish approach. VTT Research notes 2482. 220 p. + app. 41 p.
- Soimakallio, S., Mäkinen, T., Ekholm, T., Pahkala, K., Mikkola, H., & Paappanen, T. 2009b. Greenhouse gas balances of transportation biofuels, electricity and heat generation in Finland—dealing with the uncertainties. *Energy Policy* 37: 80-90.



Sustainable Bioenergy  
Solutions for Tomorrow

Kestävää bioenergian  
tuotantoa Suomessa ja  
Intiassa. Mistä tekijöistä  
bioenergiatuotannon  
kestävyys muodostuu?  
Hakala, K. & Joensuu, K.

15.3.2015

31(32)

Tattari, S., Bärlund, I., Rekolainen, S., Posch, M., Siimes, K., Tuhkanen, H. R., & Yli-Halla, M. (2001). Modeling sediment yield and phosphorus transport in Finnish clayey soils. *Transactions of the ASAE*, 44(2), 297-307.

Tuomi, M., Thum, T., Järvinen, H., Fronzek, S., Berg, B., Harmon, M., Trofymow, J.A., Sevanto, S. & Liski, J. 2009. Leaf litter decomposition—Estimates of global variability based on Yasso07 model. *Ecological Modelling* 220: 3362-3371.

UNEP/SETAC, 2009. Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products.  
[http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/DT1x1164xPA-guidelines\\_sLCA.pdf](http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/DT1x1164xPA-guidelines_sLCA.pdf)

Projected impacts for crops and livestock in global regions and sub-regions under future scenarios. Crop yield impacts in parentheses correspond to parenteticals in the scenario column.  $-CO_2$  = without  $CO_2$  effects;  $+CO_2$  = with  $CO_2$  effects; (I) = irrigated; (R) = rainfed. ARPEGE = Action de Recherche Petite Echelle Grande Echelle; CSIRO = Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation; ECHAM4 = European Centre for Medium Range Weather Forecasts Hamburg 4; GFDL-CM2.0/2 = Geophysical Fluid Dynamics Laboratory-Climate Model 2.0/2; HadCM3 = Met Office Hadley Centre Climate Prediction Model 3; HIRHAM = High-Resolution Hamburg Climate Model; MIROC = Model for Interdisciplinary Research On Climate; MPI-OM = Max Planck Institute; MRI-CGCM2.3.2 = Meteorological Research Institute of Japan Meteorological Agency-Coupled General Circulation Model 2.3.2; PRECIS = Providing Regional Climates for Impact Studies; RCA3 = Rossby Centre Regional Atmospheric Model 3.

#### Regional impacts on crops

Region	Sub-region	Yield impacts (%)	Scenario	Reference
World		<ul style="list-style-type: none"> <li>(I) Maize: -4, -7</li> <li>(R) Maize: -2, -12</li> <li>(I) Rice: -9.5, -12</li> <li>(R) Rice: -1, +0.07</li> <li>(I) Wheat: -10, -13</li> <li>(R) Wheat: -4, -10</li> </ul>	A1B CSIRO, MIROC 2050	Nelson et al. (2010)
East Asia	China	(I) Maize: <ul style="list-style-type: none"> <li>-10.9 to -1.4 (-7.8 to -1.6),</li> <li>-21.7 to -9.8 (-16.4 to -10.2),</li> <li>-32.1 to -4.3 (-26.6 to -3.9)</li> </ul> (R) Maize: <ul style="list-style-type: none"> <li>-22.2 to -1.0 (-10.8 to +0.7),</li> <li>-27.6 to -7.9 (-18.1 to -5.6),</li> <li>-33.7 to -4.6 (-25.9 to -1.6)</li> </ul> (I) Rice: <ul style="list-style-type: none"> <li>-18.6 to -6.1 (-10.1 to +3.3),</li> <li>-31.9 to -13.5 (-16.1 to +2.5),</li> <li>-40.2 to -23.6 (-19.3 to +0.18)</li> </ul>	+1°C, +2°C, +3°C $-CO_2$ (+ $CO_2$ )	Tao et al. (2011)
	Eastern China	Rice: <ul style="list-style-type: none"> <li>-10 to +3 (+7.5 to +17.5),</li> <li>-26.7 to +2 (0 to +25),</li> <li>-39 to -6 (-10 to +25)</li> </ul>	2030, 2050, 2080 $-CO_2$ (+ $CO_2$ )	Tao and Zhang (2013)
	Huang-Huai-Hai Plain, China	Wheat-maize: $+4.5 \pm 14.8$ , $-5.8 \pm 25.8$	+2°C, +5°C	Liu et al. (2010)
	North China Plain	<ul style="list-style-type: none"> <li>(I) Wheat: -0.9 (+23)</li> <li>(R) Wheat: -1.9 (+28)</li> </ul>	A1B 2085-2100 $-CO_2$ (+ $CO_2$ ) MIROC	Yang et al. (2013)
	Yangtze River, China	<ul style="list-style-type: none"> <li>(I) Rice: -14.8 (-3.3)</li> <li>(R) Rice: -15.2 (-4.1)</li> </ul>	B2 2021-2050 $-CO_2$ (+ $CO_2$ )	Shen et al. (2011)
South Asia	South Asia	<ul style="list-style-type: none"> <li>Maize: -16</li> <li>Sorghum: -11</li> </ul>	2050	Knox et al. (2012)
	South Asia	Net cereal production -4 to -10	+3°C	Lal (2011)
	India	Winter sorghum: up to -7, -11, -32	A2 2020, 2050, 2080	Srivastava et al. (2010)
		<ul style="list-style-type: none"> <li>(I) Rice: -4, -7, -10</li> <li>(R) Rice: -6, -2.5, -2.5</li> </ul>	A1B; A2; B1; B2 2020, 2050, 2080 $+CO_2$ MIROC; PRECIS/HadCM3	Kumar et al. (2013)
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Monsoon maize: -21 to 0, -35 to 0, -35 to 0</li> <li>Winter maize: -13 to +5, -50 to +5, -60 to -21</li> </ul>	A2 2020, 2050, 2080 HadCM3	Byjesh et al. (2010)
	Northeast India	<ul style="list-style-type: none"> <li>(I) Rice: -10 to +5</li> <li>(R) Rice: -35 to +5</li> <li>Maize: up to -40</li> <li>Wheat: up to -20</li> </ul>	A1B 2030 $+CO_2$ PRECIS/HadCM3	Kumar et al. (2011)
	Coastal India	<ul style="list-style-type: none"> <li>(I) Rice: -10 to +5</li> <li>(R) Rice: -20 to +15</li> <li>(I) Maize: -50 to -15</li> <li>(R) Maize: -35 to +10</li> </ul>		
	Western Ghats, India	<ul style="list-style-type: none"> <li>(I) Rice: -11 to +5</li> <li>(R) Rice: -35 to +35</li> <li>Maize: up to -50</li> <li>Sorghum: up to -50</li> </ul>		
Pakistan	Wheat: -7, -24 (Swat); +14, +23 (Chitral)	+1.5°C, +3°C	Section 24.4.4.3	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wheat: -6, -8</li> <li>Rice: -16, -19</li> </ul>	B2, A2 2080	Iqbal et al. (2009)	

Continued next page →