

# On bioenergy and the optimal regulation of terrestrial carbon storage

Aapo Rautiainen,  
Jussi Lintunen & Jussi Uusivuori

Metsätieteenpäivä 2014

## Mistä on kyse?

- Kuinka bioenergialla voidaan vähentää hiilipäästöjä tehokkaasti?
  - Käyttöä optimoitaessa tulee huomioida
    - Vaihtoehtoiskustannukset/synergiat ruuan ja raaka-aineiden tuotannon ja käytön suhteen
    - hiilen varastointi biomassassa, maaperässä ja tuotteissa
    - koko maankäyttösektorilla.
- Kuinka hiilivaikutukset tulee huomioida päätöksissä “tuotantoketjun” eri vaiheissa?

# Miksi asiaa kannattaa tutkia?

## ■ Bioenergiatavoitteet:

### – EU (Directive 2009/28/EC):

- Uusiutuvan energian osuuden kasvattaminen
  - 20 %:iin vuoteen 2020
  - 27 %:iin vuoteen 2030 (Tuore tavoite 23.10.2014)
- Bioenergian (lisäämisen) rooli hahmoteltu kansallisissa ohjelmissa (NREAP)

### – USA (Energy Independence Act, 2007):

- Biopolttoaineiden käytön lisääminen 140 miljardiin litraan vuoteen 2020
- vuonna 2007 kulutus oli 18 miljardia litraa

### – Tavoitteena käytön lisäys ei optimointi.

- Lisäyksellä voidaan saavuttaa päästövähennyksiä, mutta niiden tehokkuutta on vaikea arvioida.

METLA

# Miksi asiaa kannattaa tutkia?

## ■ Hiilivaikutusten arviointi/säätely:

### – Elinkaarianalyysi:

- Tuotantoprosessin päästöt lasketaan lopputuotteelle
- Vaikutuksia ei diskontata, niille lasketaan ”hiilivelka” ja takaisinmaksuaika
- Antaa karkean kuvan siitä, onko jonkin tietyn biopolttoaineen käyttö järkevää

### – Optimaalinen säätely / ohjauskeinot:

- Huomiovat vaikutukset prosessin joka vaiheessa erikseen.
  - Poikkeaa siis elinkaariajattelusta
  - Parhaassa tapauksessa: parantaa tehokkuutta, vähentää ilmastopolitiikan kustannuksia jne.

METLA

# Kuinka asiaa tutkitaan?

- Kootaan malli, jossa on mukana:
  - maankäyttö
    - metsät, maatalous, (joutomaa)
  - Biomassan korjuu ja allokointi
    - ruoka- ja energiakasvit, korjuutähteet, (kuitu- ja tukki)puu
    - käytöt: ruoka, energia, uusiutuvat raaka-aineet
  - hiilen kierto
    - biomassa, maaperä, tuotteet, ilmakehä, (meri).
- Tutkittu aiemmin erikseen, ei kaikkia yhdessä
- Iso malli! (Mihin sopii parhaiten?)
  - Suppea muoto -> Analyyttinen tarkastelu
  - Laaja muoto -> Numeeriset tarkastelut

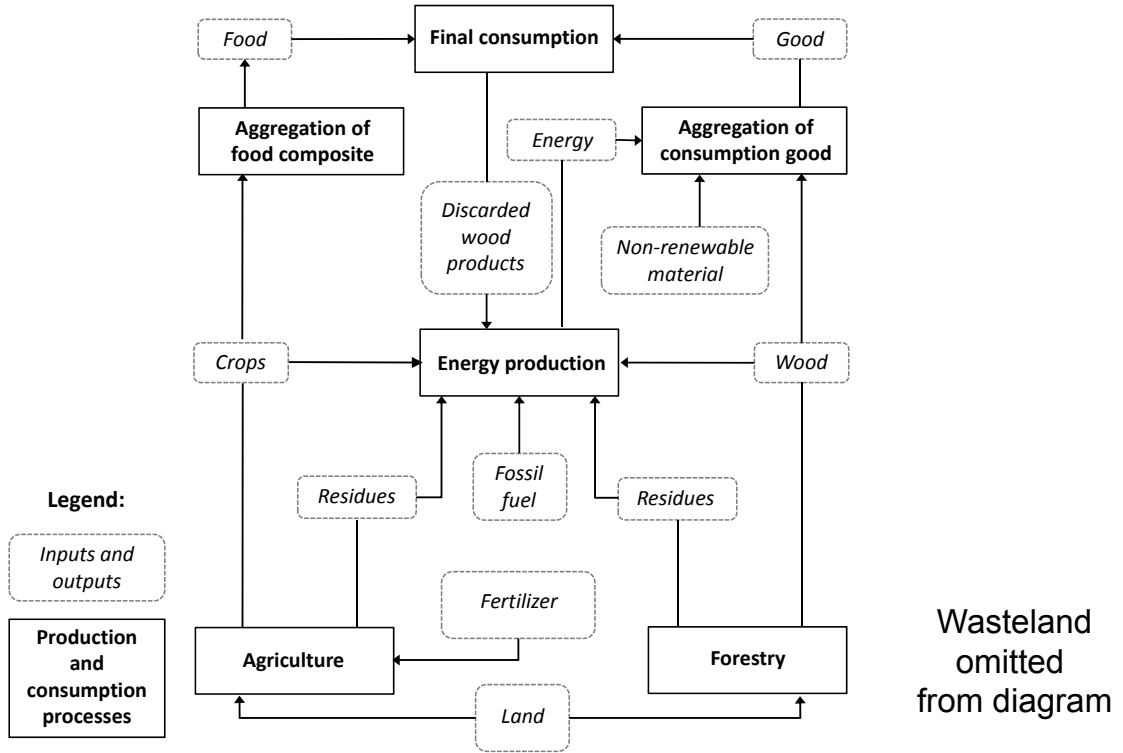
METLA

## Mitä uutta?

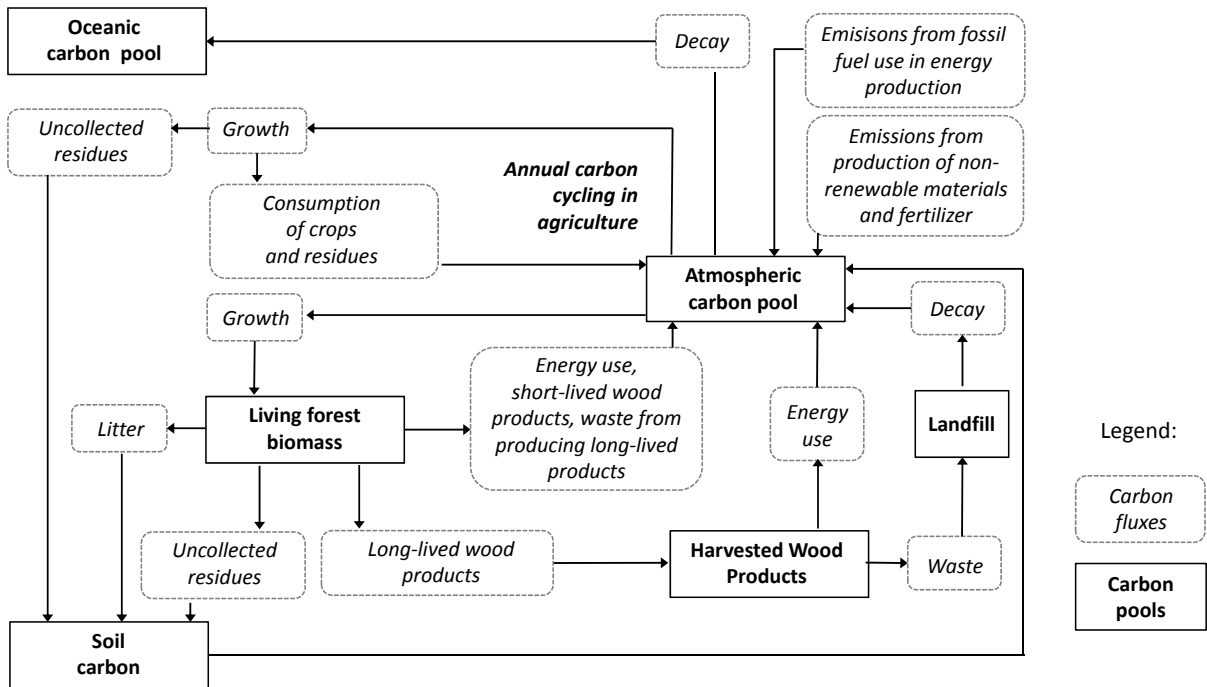
- Samassa mallissa:
  - (1) Aiempaa tarkempi maankäytön kuvaus
    - Maankäytön ja kiertoaikojen optimointi
      - Esim. (Salo & Tahvonen 2004, Cunha-e-Sá 2013)
    - Maaperän hiili
      - Rajallisemmin esim. (Tahvonen 1995, Lintunen & Uusivuori 2014)
  - (2) Tuotteet mukana
    - Ruoka, energia, uusiutumattomien raaka-aineiden korvaaminen puulla
      - Vain puu esim. (Tahvonen 1995, Lintunen & Uusivuori 2014)
  - (3) Rajallinen mahdollisuus analyttiseen tarkasteluun
    - Suuret markkinatason mallit biomassan tuotannon ja käytön optimointiin ovat yleensä numeerisia
      - Esim. FASOM (Adams et al. 1996) tai GLOBIOM (Havlík et al. 2011)

METLA

# Talous



# Hiili



# Optimointiongelma

$$\max_{\{\mathbf{d}_t\}_{t=0}^{\infty}} \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t [u_F(y_t^F) + u_C(y_t^C) - D(S_t^{ATM}) - C_t],$$

missä

$$C_t = p^z z_t + p^f f_t + \sum_{i=1}^N [(p^v v_{Ft} + c_i^{FC}) x_{i1t} + c_i^{aRES}] + c^H H_t^W + c^{wFRES} + c^{wCRES} \\ + \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^{N+1} c_{jkt}^{CON} s_{jkt} x_{j1t} + \sum_{k=1}^{N+1} c_{N+1,k,t}^{CON} s_{N+1,k,t} x_{N+1,0,t} \\ + c^{HWP} + c^{LF} (W_t^{HWP} - w_t^{HWP})$$

ja

$$\mathbf{d}_t = \left\{ z_t, f_t, v_{it}, \mathbf{a}_t^F, \mathbf{a}_t^E, \mathbf{a}_t^{RES}, w_t^L, w_t^P, w_t^E, w_t^{FRES}, w_t^{CRES}, w_t^{HWP}, \boldsymbol{\theta}_t, x_{N+1,0,t}, \mathbf{x}_{t+1}, x_{t+1}^w, \mathbf{s}_{jkt}, \boldsymbol{\sigma}_t \right\} \\ \mathbf{s}_t^{AR}, s_t^{FT}, s_t^{CT}, \mathbf{s}_{t+1}^A, \mathbf{s}_{t+1}^F, \mathbf{s}_{t+1}^C, s_{t+1}^{FW}, s_{t+1}^{CW}, s_{t+1}^{ATM}, s_{t+1}^{HWP}, s_{t+1}^{LF},$$

Muodostetaan Lagrangen funktio, ratkaistaan 1. kertaluvun välttämättömät ehdot

METLA

## Hiilen hinta

- Ilmakehään päästetyn hiilen hinta

$$\lambda_t^{S^{ATM}} = \sum_{i=1}^{\infty} \beta^i (1 - \delta^{ATM})^{i-1} D'(S_{t+i}^{ATM}).$$

- Muihin varastoihin siirtyvän hiilen hinta:
  - Viivästettyjen päästöjen diskontattu haitta

METLA

# Maan allokaatioehdot

- Maan arvo nykyisessä käytössä
  - ≥ maan arvo vaihtoehtoisessa käytössä
  - + konversiokustannukset
- Maan arvo muuttuu yli ajan
- Steady-state tapaus (ilman konversiokustannuksia):
  - Pellon hinta = Faustmann BLV,
  - kun molemmissa tapauksissa huomioidaan hiilikorvaukset

METLA

# Biomassan energiakäyttö

- Fossiilisen energian hinta
  - polttoaine + päästöjen hinta
- Bioenergiaa verrataan fossiiliseen energiaan
  - Täytyy olla vähintään yhtä halpaa
    - (biomassa + päästöjen hinta)
  - Biomassojen päästökertoimissa on eroja
    - Kertoimeen vaikuttavat korko ja hajoamisnopeus
  - Jos biomassalla on myös vaihtoehtoinen käyttö (johon osa tuotetusta biomassasta allokoidaan) rajahyödyn täytyy olla yhtä suuri energia- ja tuotekäytössä

METLA

# Lopuksi

- Optimaalisessa ratkaisussa hiilivaikutuksia säädellään erikseen tuotantoketjun joka vaiheessa
- Me esitämme kuinka.
  - Tulokset loogisia ja oletetunlaisia
    - ekonomisteille osittain jopa triviaaleja
  - Kuvaus on hyödyllinen yhteenveto bioenergian optimaalisesta säätelystä
    - tukee politiikan ja ohjauskeinojen suunnittelua
    - hyötyä myös laajemmalle policy-yhteisölle (ei-ekonomisteille)
- WIP: yksityiskohtaisempi numeerinen malli Etelä-Suomelle (ruokohelpi-vehnä-kuusi)

The logo for METLA is displayed on a dark green background with a bokeh effect. The word "METLA" is written in a light, sans-serif font.