

# Metsähiilen ja albedon ilmastosäätelyn markkinatason vaikutukset

Aapo Rautiainen, Jussi Lintunen, Jussi Uusivuori  
Luonnonvarakeskus (Luke)

Metsätieteen päivä  
20.11.2019

# Taustaa

- Metsät vaikuttavat ilmastoon monin tavoin
  - CO<sub>2</sub> ja muut KHK:t
  - Aerosolit
  - Albedo
  - Veden kierto...
- Tässä työssä keskitymme hiileen ja albedoon

# Hiili

- Metsän hiilivaraston kasvattaminen viilentää ilmastoaa
  - Kasvavat puut sitovat hiilidioksidia ilmakehästä
  - Hiili varastoituu biomassaan, maaperään ja tuotteisiin
  - Varasto kasvaa, jos poistumat ylittävät päästöt
    - => Vähemmän hiilidioksidia ilmakehässä
- Metsän hiilivaraston kasvattaminen tarkoittaa
  - Metsäalan kasvattamista ja/tai
  - Hehtaarikohtaisen hiilimäärän kasvattamista

# Albedo

- Albedo on pinnan heijastavuuden mitta
  - Yksikötön luku nollan (“tumma”) ja yhden väliltä (“vaalea”)
  - Tummat pinnat lämmittävät ilmastoa enemmän kuin vaaleat
- Metsäalan ja puuston tilavuuden kasvut alentavat maanpinnan albedoa, erityisesti boreaalisella alueella, missä
  - Havupuut ovat tummempia kuin maanpinta (Bright et al. 2011)
  - Lumipeite kasvattaa albedo-eroja

=> Metsitys lämmittää ilmastoa

# Taloustiedettä ja tutkimuskysymys

- Ilmastovaikutukset ovat metsätalouden ulkoisvaikutuksia
- Ulkoisvaikutuksia voidaan hinnoitella niiden yhteiskunnallisen kustannuksen mukaisesti (Pigou 1920)
  - Hinnoitellaan hiilivirrat ja albedo
- Tunnettua:
  - Hiilen hinnoittelu pidentää kiertoaikoja ja lisää metsitystä (esim. Cunha-e-Sá ym. 2013, Lintunen & Uusivuori 2016)
  - Albedo lyhentää kiertoaikoja (esim. Thompson ym. 2009)
- Mikä on hiilen ja albedon yhteisvaikutus?

# Johdonmukainen hiilen ja albedon hinnoittelu

- Jotta hiilen ja albedon vertailu olisi mielekästä pitää niiden haittojen hinnoittelun olla johdonmukaista
  - Sama hinta samasta rajahaitasta
- Meidän ratkaisu: Käytetään säteilypakotteen rajahaittaa (the Social Cost of Forcing, SCF) (Rautiainen and Lintunen 2017)
  - SCF on marginaalisen säteilypakotelisäyksen hinta
  - Yksikkö: € per  $Wm^{-2}yr$

# Johdonmukainen hiilen ja albedon hinnoittelu

- Hiilen hinta (the Social Cost of Carbon, SCC) lasketaan SCF:ään perustuen
- Albedon lämmittävän vaikutuksen arvo perustuu myös SCF:ään
  - Lasketaan keskimääräinen albedon aiheuttama lämmitysteho ( $Wm^{-2}$ ) maanpeitteille (Bright et al. 2011)
  - Arvo on lämmitysteho kertaa SCF (Lutz & Howarth 2014)

# Aiempaa kirjallisuutta

Metsikkötaso + Hiili	Markkinataso + Hiili	Metsikkötaso + Hiili ja albedo	Markkinataso + Hiili ja albedo
van Kooten et al. 1995 (...ja monet muut!)	Tahvonen 1995 Sohngen & Mendelsohn 2003 Cunha-e-Sá ym. 2013 Lintunen & Uusivuori 2016 Rautiainen ym. 2017 Rautiainen & Tahvonen 2017	Thompson ym. 2009 Lutz & Howarth 2014 Lutz & Howarth 2015 Lutz ym. 2016 Matthies & Valsta 2016	Sjølie ym. 2013 Favero ym. 2018 Rautiainen ym. 2018



# Miksi markkinatason malli?

- Metsikkötason mallin tyypilliset oletukset:
  - Muuttumaton maankäyttö
  - Eksogeeninen hinta
- Mutta, hiilen ja albedon ilmasto-ohjaus vaikuttaa:
  - Maan arvoon
  - Puun tarjontaan ja siten hintaan
- Puun hinta vaikuttaa metsänhoitoon ja metsätalouden maanarvoon => Maankäyttömuutoksia

# Malli

- Diskreettiaikainen dynaaminen osittaistasapainomalli
- Kaksi maankäyttöluokkaa
  - Maatalous ja ikärakenteinen metsätalous
- Kaksi hyödykettä
  - Maatalouden sato ja puu
- Erilliset kysyntäfunktiot hyödykkeille
- Maksimoidaan hyvinvoinnin nettonykyarvo (taloudellinen ylijäämä - ilmastohaitta)
- Edeltäjät: Salo & Tahvonen (2004), Cunha-e-Sá et al. (2013) Lintunen and Uusivuori (2016), Rautiainen et al. (2017)

# Malli

$$\max_{D_t \forall t} U = \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t (U(h_t) + \tilde{U}(\tilde{h}_t) + p_t^c \Delta_t^c - p_t^w W_t - C_t)$$
$$D_t = \{y_t, z_{at}, x_{a,t+1} \forall a\}$$

Maankäytön dynamiikka:

Hakkuut/sadonkorjuu:

Taloudellinen ylijäämä:

$$x_{0t} + y_t = y_{t-1} + \sum_{a=1}^{\infty} z_{at} \quad \forall t$$

$$x_{a+1,t+1} = x_{at} - z_{at}$$

$$y_t \geq 0 \quad \forall t,$$

$$x_{at} \geq 0 \quad \forall a, t,$$

$$x_{at} \geq z_{at} \geq 0 \quad \forall a \geq 1, t.$$

$$h_t = \sum_{a=1}^{\infty} v_a z_{at}$$

$$\tilde{h}_t = b y_t$$

$$U_t = U(h_t) := \int_0^{h_t} p(h) dh$$

$$U' = p > 0 \quad U'' = p' < 0$$

$$\tilde{U}_t = \tilde{U}(\tilde{h}_t) := \int_0^{\tilde{h}_t} \tilde{p}(h) dh$$

$$\tilde{U}' = \tilde{p} > 0 \quad \tilde{U}'' = \tilde{p}' < 0$$

$$C_t = c_h h_t + \tilde{c}_h \tilde{h}_t + c_r x_{0t}$$

## Malli

$$\max_{D_t \forall t} U = \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t (U(h_t) + \tilde{U}(\tilde{h}_t) + p_t^c \Delta_t^c - p_t^w W_t - C_t)$$

Maanpinnan lämmitysteho:

$$W_t = w_y y_t + \sum_{a=0}^{\infty} w_a x_{at}$$

Muutokset hiilivarastoissa:

$$\Delta_t^c = \Delta_t^b + \Delta_t^s + \Delta_t^p$$

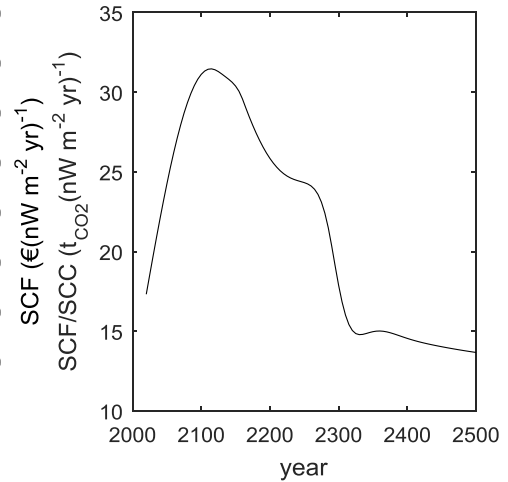
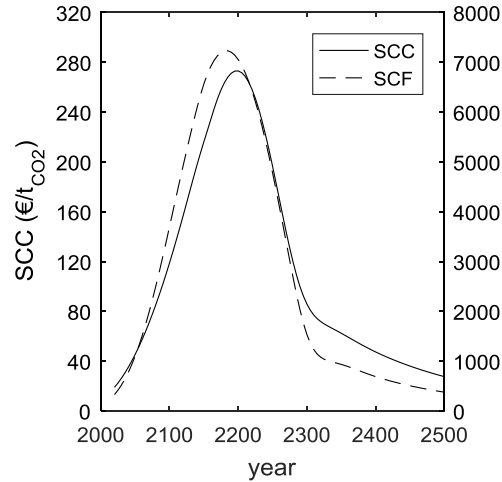
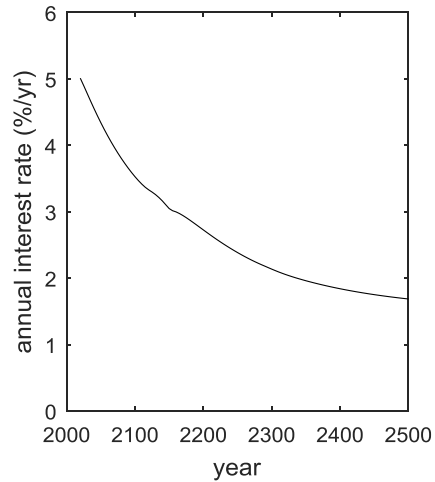
$$\Delta_t^b = (\gamma_v + \gamma_b) \left[ \sum_{a=1}^{\infty} (v_{a+1} - v_a) (x_{at} - z_{at}) + v_1 x_{0t} \right]$$

$$\Delta_t^p + \Delta_t^s = \left( \gamma_v h_t - \sum_{k=1}^m \delta_s^p \gamma_v h_{t-k} \right) + \left( \gamma_b h_t - \sum_{j=1}^n \delta_s^s \gamma_b h_{t-j} \right)$$

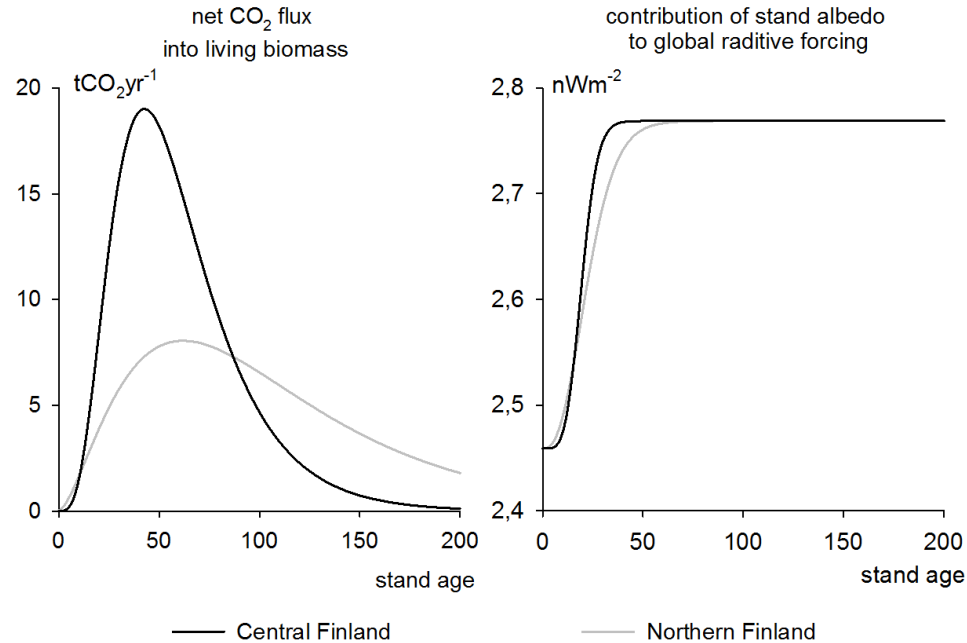
# Numeerisen esimerkin oletukset

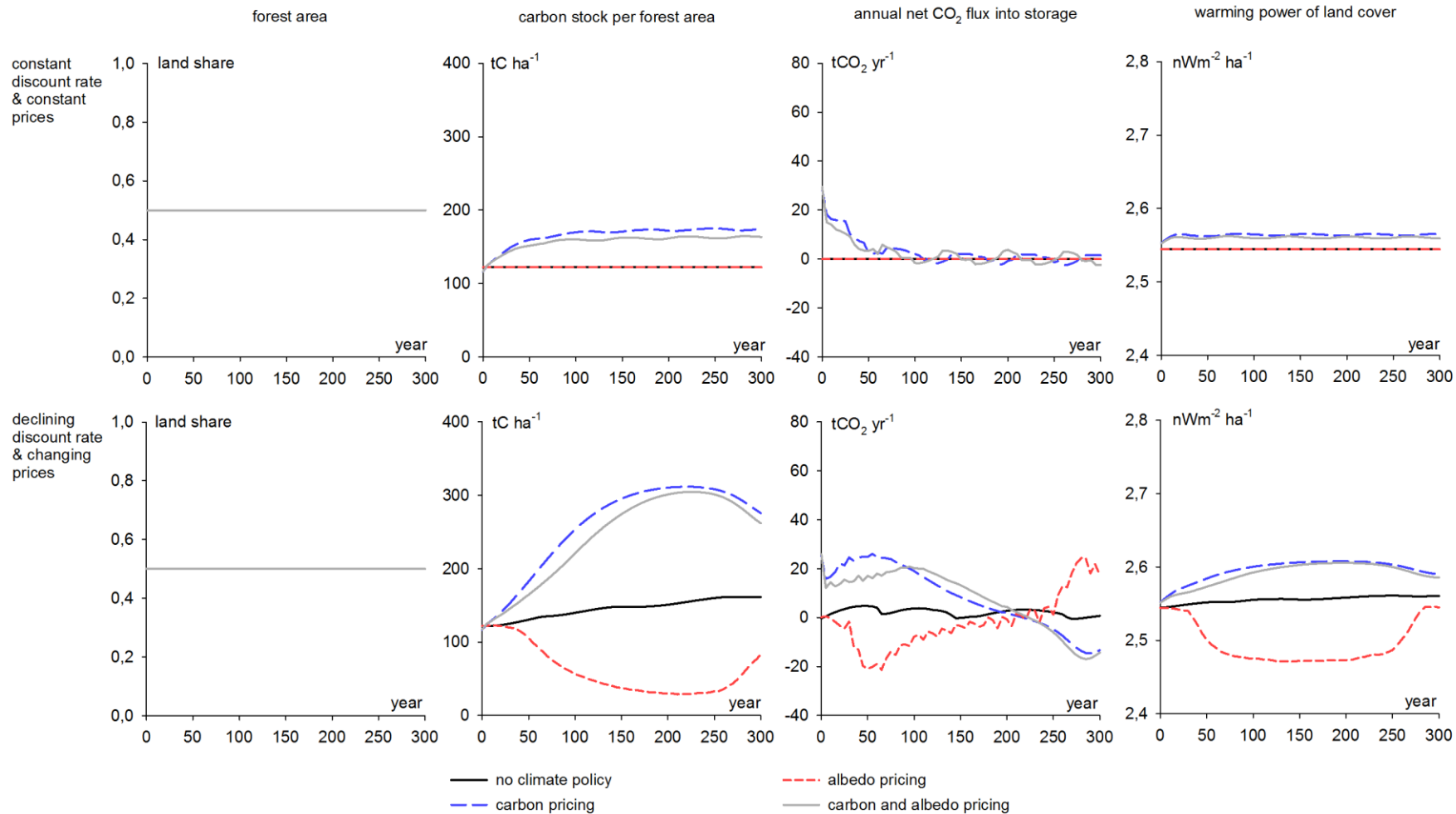
- Kuusi, Etelä-Suomen olosuhteet, ei harvennuksia
- Pinta-ala: 1 yksikkö
- Ilmastopolitiikka DICE-2013R mallista (Nordhaus & Sztorc 2013)
- Kalibrointi:
  - Kiertoaika:
    - 50 vuotta
  - Maankäyttö:
    - 50% metsä (normaali)
    - 50% maatalous
- Ilmastopolitiikka-skenaariot:
  - Kattavuus:
    1. Ei politiikkaa
    2. Hiilen hinnoittelu
    3. Albedon hinnoittelu
    4. Hiilen & albedon hinnoittelu
  - Hintojen ja koron kehitys
    - Vakiohinnat (DICE, 2015)
    - Muuttuvat hinnat (DICE-aikaurat)

# DICE korko- ja hintaurat

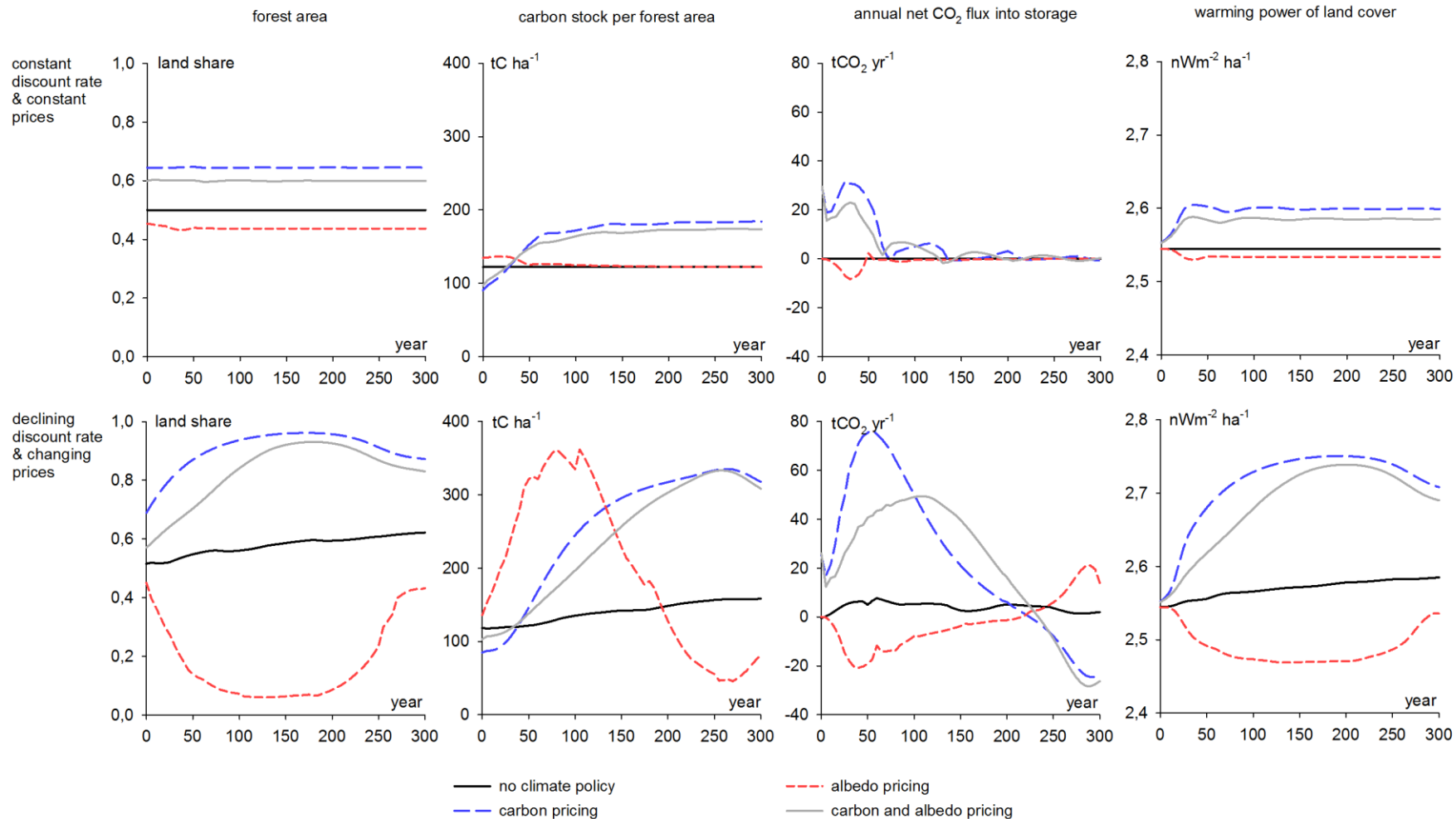


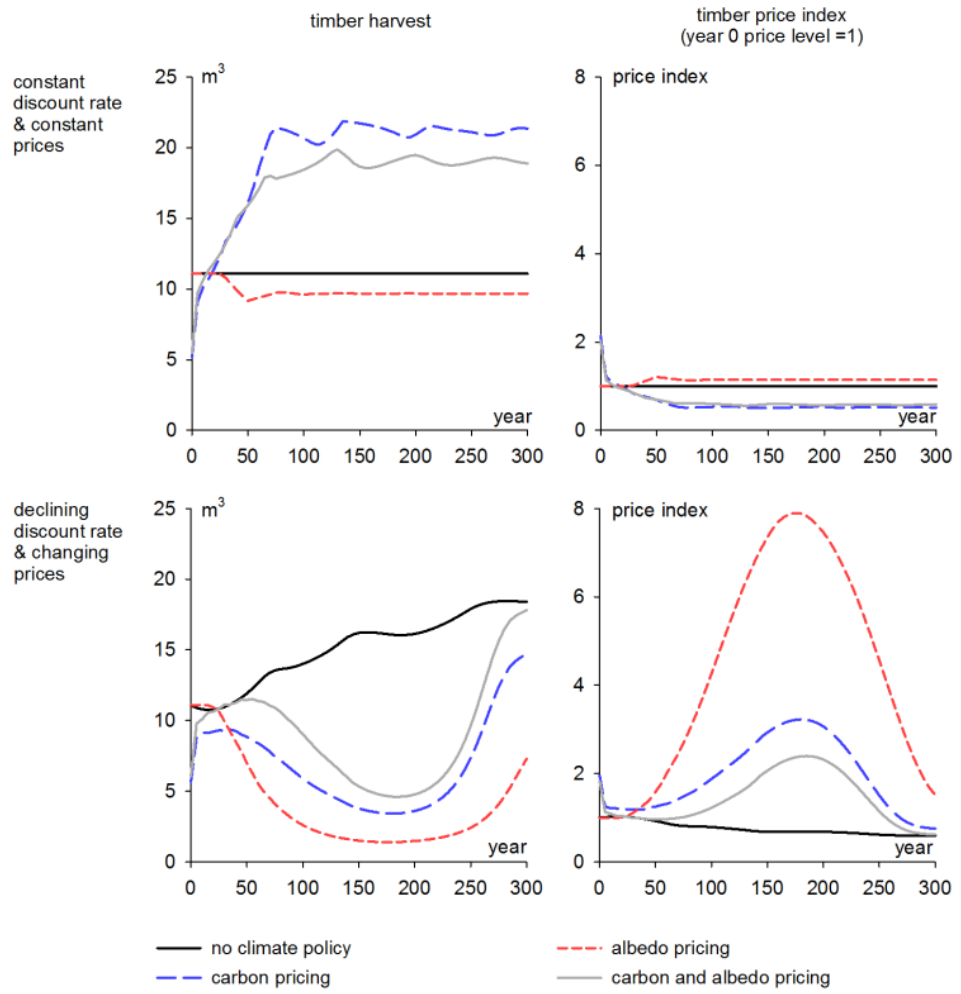
# Metsän hiilinielu ja lämmittävä teho











**Table 1. Welfare gains from alternative climate policies**

Policy	Welfare gain compared to no-policy solution, €/ha (of total land area)						
	Food	Timber	Production subtotal	Carbon	Albedo	Climatic impacts subtotal	Total
Land use change enabled							
No climate policy	0	0	0	0	0	0	0
Full carbon pricing only	-795	-1152	-1946	4964	-2576	2389	442
Full albedo pricing only	-155	-320	-474	-1608	1340	-269	-743
Full carbon and albedo pricing	-175	-577	-752	3166	-1559	1607	856
1/3 carbon and albedo pricing	-24	-77	-101	1144	-536	608	507
2/3 carbon and albedo pricing	-85	-280	-365	2230	-1087	1143	778
Land use change not enabled							
No climate policy	6	-13	-6	-164	149	-15	-22
Full carbon pricing only	6	-886	-880	1960	-638	1322	442
Full albedo pricing only	6	-480	-473	-1344	1137	-208	-681
Full carbon and albedo pricing	6	-477	-471	1452	-445	1007	536

# Johtopäätökset

- Markkinatason tulokset yleistävät metsikkötason tuloksia
  - Hinta- ja maankäyttömuutokset
- Hiili dominoi albedoa, kun tarkastelukohde on hyvän tuotoskyvyn kuusikko Keski-Suomessa
  - Albedon suhteellinen merkitys kasvaa, kun metsän tuotoskyky on heikompi (ei esityksessä)
- Pelkkä hiiliohjaus tuotti suurimmat ilmastohyödyt, mutta myös suurimmat taloudelliset haitat
- Metsänkäsittelymuutoksilla ilman metsityksiä saatiin myös huomattava hyvinvoinnin lisäys

# Kiitos!

Jussi.lintunen@luke.fi

Rautiainen, A., Lintunen, J., & Uusivuori, J. (2018). Market-Level Implications of Regulating Forest Carbon Storage and Albedo for Climate Change Mitigation. *Agricultural and Resource Economics Review*, 47(2), 239-271.  
DOI: <https://doi.org/10.1017/age.2018.8> (open access)

