

A photograph of a forest landscape. In the foreground, there are large, flat rocks covered in thick, light-colored moss. Small, dark green shrubs are scattered among the rocks. In the background, a dense forest of tall, thin trees stands in a misty or foggy atmosphere. Sunlight filters through the trees, creating a soft, golden glow. The overall scene is serene and natural.

Puuntuotannon ja hiilinielujen taloudellisesti tehokas yhteensovittaminen
Olli Tahvonen, professori, metsäekonomia ja –politiikka, Helsingin yliopisto
Taloudellis-ekologinen optimointi -tutkimusryhmä

Julkisessa keskustelussa* metsien roolista ilmastonmuutoksen torjunnassa on tyypillisesti vastakkain kaksi näkemystä:

1. Puuntuotanto-orientoitunut näkemys

- Nykyinen metsien käyttö ja hoito on erinomaista ilmastonmuutoksen torjuntaa
- Metsät säilytettävä hakkuiden avulla nopean kasvun tilassa, hiili varastoituu puutuotteisiin
- Puubiomassan käyttö korvaa fossiilisia hiilipäästöjä aiheuttavia materiaaleja

2. Metsien hiilivarastoja korostava näkemys

- Hiilivarastoja olisi kasvatettava puuvarannossa ja metsämaassa
- Metsien käyttö vähentää kokonaishiilivarastoja ja lisää hiilipäästöjä
- Metsien hiilivarastojen lisääminen tukee myös monimuotoisuuden suojelua

*Esimerkiksi: Tieteen päivät 2019, päivän paini, Ilvesniemi (Luke) vs Vesala (HY)

<https://www.youtube.com/watch?v=mhgP6WIoHUw>

Ratkaisu: optimoidaan metsien käyttö + käytön vaikutukset ilmakehän CO₂ –pitoisuuteen

Määritellään hiilelle hinta ja sisällytetään tarkasteluun

1. luonnontieteen kuvaus metsän hiilivirroista ja -varastoista
2. kuvaus puubiomassan käytöstä ja hiilen vapautumisesta eri tarkoituksissa
3. substituutiovaikutukset puutuote- ja energiamarkkinoilla
4. normaali kuvaus metsien talouskäytöstä ja nettokantorahatuloista

=>Saadaan monitieteinen dynaaminen asetelma, jonka ymmärtäminen on mahdollista vain soveltamalla monitieteisiä “system perspective” –metodeja

=>Yksityiskohtaisten mallien ratkaisu onnistuu uusien koneoppimismetodien avulla¹

Teoreettinen tulos¹ A:

Jos

- Puun kantohinta suhteessa hiilen hintaan on korkea
- Hiili vapautuu hitaasti puutuotteista
- Substituutiovaikutus puubiomassan ja fossiilisten päästöjen välillä merkittävä

niin

- ⇒ **Puuntuotannon tehostaminen on perusteltua**
- ⇒ **Optimikiertoaika ei pitene** nykyisistä kiertoajoista
- ⇒ **Metsäpinta-alan kasvattaminen on perusteltua**

¹Tahvonen and Rautiainen 2017
Korhonen and Tahvonen 2021

Teoreettinen tulos¹ B:

Jos

- Hiilen hinta suhteessa puun kantohintaan on korkea
- Hiili vapautuu nopeasti puutuotteista/puun energiakäytöstä
- Substituutiovaikutus puubiomassan ja fossiilisten päästöjen välillä ei ole merkittävä

niin

- ⇒ **Puuntuotannon tehostamisen sijaan on kasvatettava metsien hiilivarastoja**
- ⇒ **Optimikiertoaika pitenee nykyisistä kiertoajoista**
- ⇒ **Osa metsistä voi olla perusteltua pitää pelkästään hiilivarastoina**
- ⇒ **Metsäpinta-alan kasvattaminen on perusteltua**

- =>Teoreettisen tarkastelun perusteella ilmastonmuutoksen torjunta voi korostaa joko puuntuotannon merkitystä tai hiilivarastoja metsissä (tai jotain näiden kombinaatiota)
- =>Julkisessa keskustelussa edustetaan usein vain ääripäitä
- =>Tarvitaan yksityiskohtaisia malleja sen selvittämiseksi minkälaiset ratkaisut näyttävät tämänhetken tilanteessa perustelluilta eli miten optimoinnissa painottuvat puuntuotanto ja toisaalta metsien hiilivarastojen kasvattaminen

Tutkimus 1: Puuntuotanto, hiilivirrat ja –varastot yksityiskohtaisessa prosessimallissa¹

- tutkimuksen mallia käytettiin 2006 Tapion metsänhoidon ohjeiden uudistuksen taustatyössä
- huomioidaan ainespuun laatu, oksien laatu ja koko, optimoidaan apteeraus, istutustiheys,...

Tutkimus 2: Puuntuotanto, hiilivirrat ja -varastot Ylä-Lapissa²

- uudistaminen: siemenpuut/metsien hoito jatkuvapeitteisenä

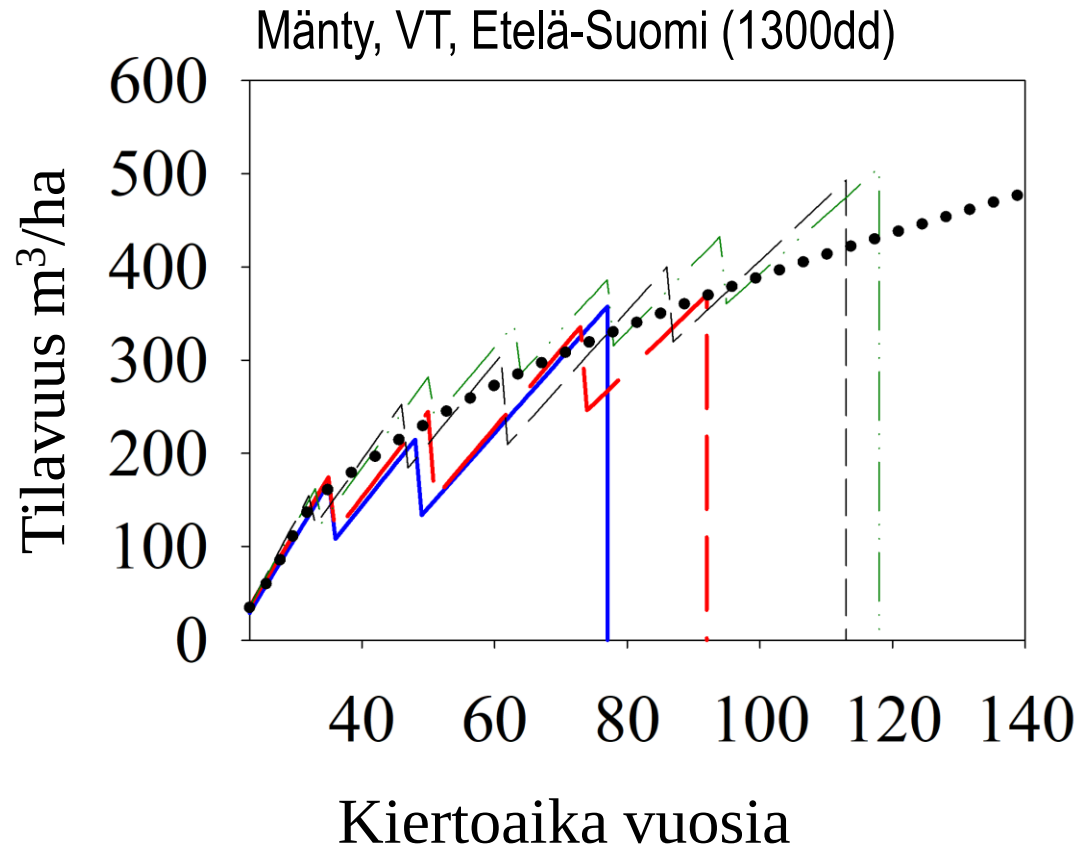
Tutkimus 3: Puuntuotannon ja hiilivirtojen optimointi: yksityiskohtainen malli metsämaan hiilivirroista³

- hiilivirrat metsämaassa: yksityiskohtainen Yasso maamalli

Kaikissa kolmessa tutkimuksessa

- optimoidaan istutustiheys, harvennusten määrä, ajoitus, ylä/alaharvennus ja kiertoaika
- huomioidaan eri puutuotteet ja hiilen vapautumisnopeudet puutuotteista
- substituutio puubiomassan ja muiden materialien/energialähteiden välillä vaikuttaa puun hinnan välityksellä
- tutkimuksissa 2 ja 3 optimoidaan valinta jaksollisen jatkuvapeitteisen ratkaisun välillä
- tutkimuksissa 1 ja 2 metsämaan hiilivirrat yksinkertaistettu

Tutkimus 1: Prosessimalli

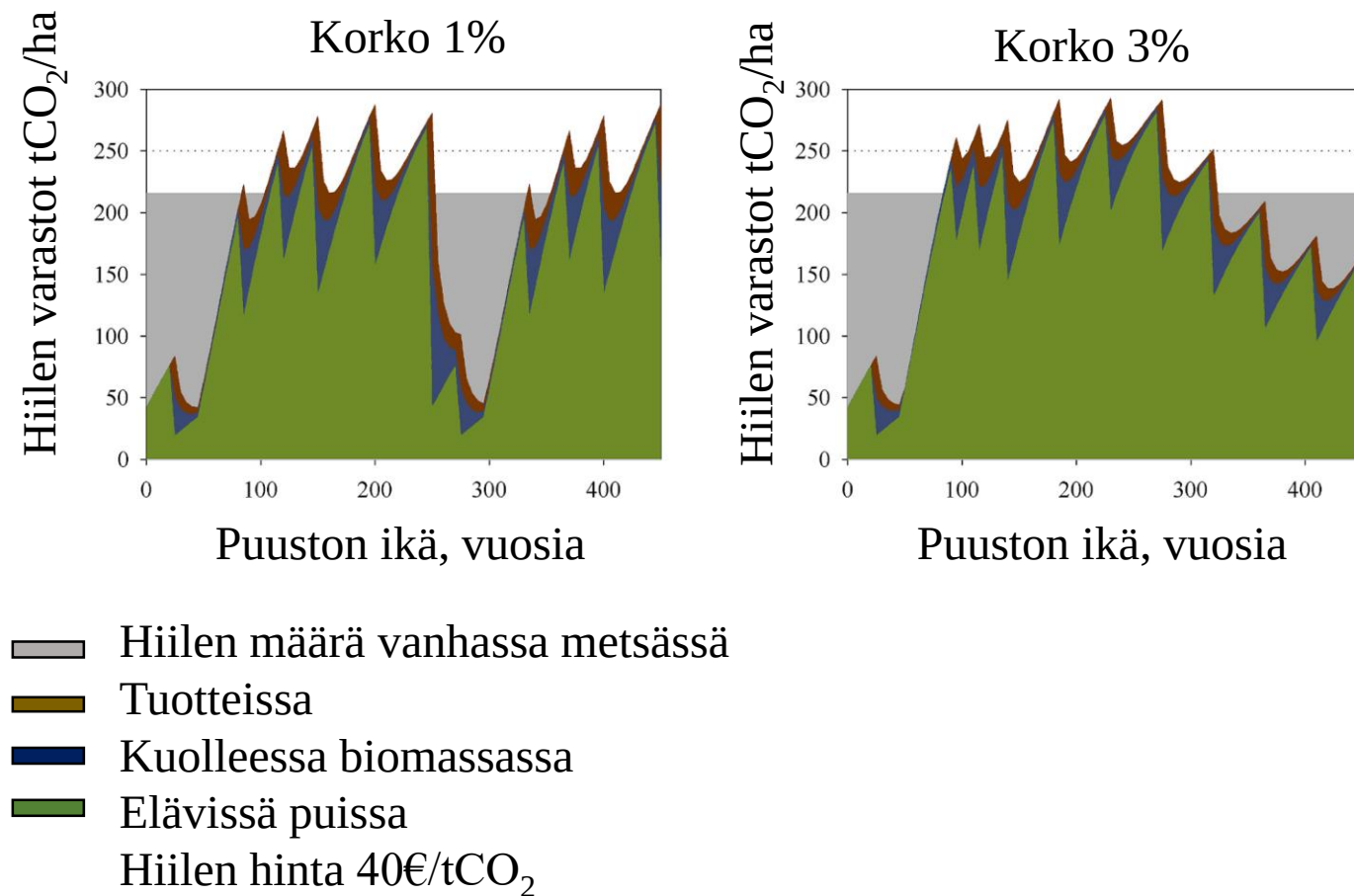


- Hiilellä ei hintaa => nykyinen optimikiertoaika
- - - Hiilen hinta 20€/CO₂ tonni
- · - · Hiilen hinta 40€/CO₂ tonni
- · - · - Hiilen hinta 60€/CO₂ tonni
- Kehitys ilman hakkuita

Päätuloksia

- jos hiilellä ei hintaa => optimikiertoaika 78 vuotta
- hiilen hinta 20-60€/tCO₂ =>kiertoaika pitenee 10-40 vuotta
- keskimääräinen hiilivarasto per ha kasvaa 27-80%
- puuntuotanto alenee lyhyellä aikavälillä, pitkän aikavälin vaikutus puuntuotantoon ±0
- jos koko nettohiilinielua tuetaan hiilen hinnalla, metsänomistuksen kannattavuus paranee merkittävästi

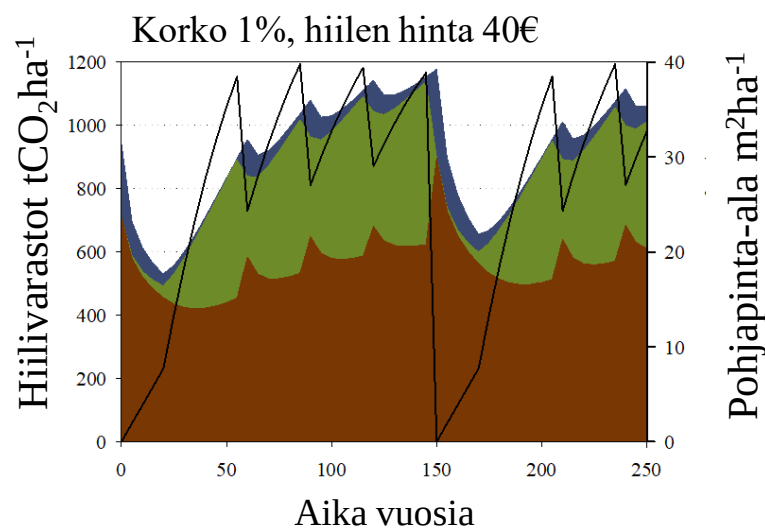
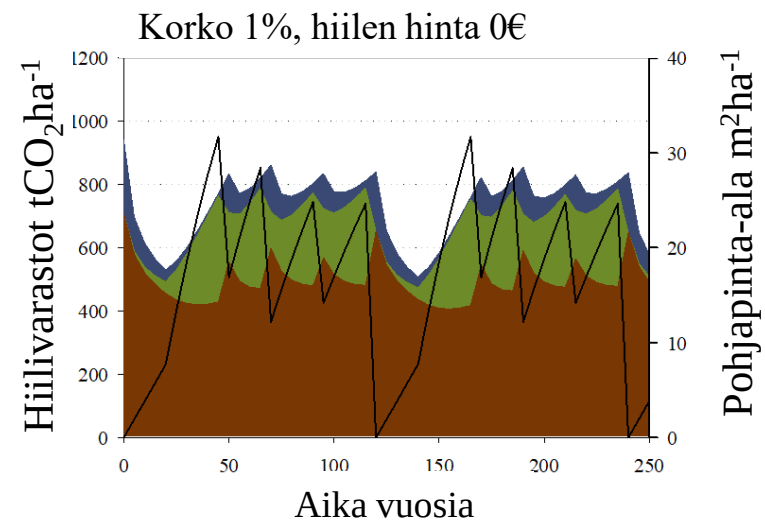
Tutkimus 2: Puuntuotanto ja hiilivirrat Ylä-Lapissa¹



Päätuloksia

- paljaan maan arvo puuntuotannossa 10-40€/ha (korko 1.8%)²
- hiilen hinta 20€/ tCO₂ pidentää kiertoaikaa: 215v → 245v (korko 1%)
- jatkuvapeitteinen on optimiratkaisu kun korko 3%
- hiilen hinta 20-40€ lisää harvennusväliä ja pienentää harvennusten intensiteettiä
- kun hiilen hinta yli 20€/ tCO₂, vanhoja metsiä ei kannata ottaa nykyisenkaltaiseen puuntuotantoon vaan pitää hiilen varastoina ja porolaitumina
- EU hiilipäästötonnin hinta 2.12.2021: ~80€

Tutkimus 3: Puuntuotannon ja hiilivirtojen optimointi: yksityiskohtainen malli metsämaan hiilivirroista



hiilen hinnan 40€/ tCO₂ vaikutuksia*

- kiertoaika pitenee 120→150v
- kuutiotuotanto alenee 5.5→5 $\text{m}^3\text{ha}^{-1}\text{a}^{-1}$
- hiili tuotteissa 57→55 tCO₂
- hiili puustossa 180→313 tCO₂
- hiili metsämaassa 483→672 tCO₂
- kokonaishiilivaranto 720→1040 tCO₂ (kasvu 44%)
- päästöjen vähentämisen kustannukset: 20€/tCO₂

■ Hiili tuotteissa
■ Hiili puissa
■ Hiili metsämaassa
— Puuston pohja-pinta-ala

*kuusi, MT, Keski-Suomi

Yhteenvetoa

- Ilmastonmuutoksen torjunta korostaa puuntuotantoa, jos hiili säilyy puutuotteissa ja substitutiovaikutukset ovat merkittäviä – muussa tapauksessa korostuvat hiilen varastot metsissä
 - Substitutiovaikutukset syntyvät energiamarkkinoilla ja puubiomassa korvaa fossiilisia polttoaineita mutta kilpailee myös vähäpäästöisten energiamuotojen kanssa (tuuli-, aurinko- ja ydinenergia)
 - Toistaiseksi julkaistut optimointitutkimukset korostavat hiilivarastojen lisäämistä puustoihin ja metsämaahan –puuntuotanto ei kuitenkaan välttämättä oleellisesti alene
 - Myös metsäpinta-alan lisääminen kasvattaa sekä hiilivarastoja, että puuntuotannon mahdollisuuksia
 - Hiilinieluille maksettu julkinen tuki kasvattaisi metsänomistuksen kannattavuutta, mutta vaikutuksen suuruus riippuu siitä maksetaanko koko nielusta vai ainoastaan lisäisyydestä
 - Hiilen nettohielujen kasvattamisen kustannukset alhaisia verrattuna hiilen markkinahintaan ja päästöjen vähentämiskustannuksiin muilla talouden sektoreilla
- => Argumenttia, jonka mukaan nykyinen metsien käyttö on automaattisesti myös parasta ilmastonmuutoksen torjuntaa on vaikeaa puolustaa, koska metsien roolia Suomen nettopäästöjen vähentämisessä voitaisiin nykyisestä oleellisesti lisätä alhaisin kansantaloudellisin kustannuksin

Viittaukset:

- Korhonen, S. and O. Tahvonen (2021). Integration of climate and forest policy. Helsinki GSE seminar presentation, Majvik, November, 30.
- Malo, P., Tahvonen, O., Suominen, A., Beck, P. and L. Viitasaari (2021). Reinforcement learning in optimizing forest management. *Canadian Journal of Forest Research*, 51: 1393–1409.
- Parkatti, V.P. and O. Tahvonen (2021). Economics of multifunctional forestry in the Sámi people homeland region. *Journal of Environmental Economics and Management*, 110: 102542.
- Parkatti, V-P., Tahvonen, O., Liski, J. and T. Viskari (2021) Optimizing timber production and carbon sinks. Helsinki GSE seminar presentation, Majvik, November, 30.
- Pihlainen, S. O. Tahvonen, and S. Niinimäki (2014). Economics of timber and bioenergy production and carbon storage in Scots pine stands. *Canadian Journal of Forest Research*, 44: 1091-1102.
- Tahvonen, O. and A. Rautiainen (2017). Economics of forest carbon storage and the additionality principle. *Resource and Energy Economics* 50: 124-134.
- Tapio Palvelut Oy. (2020). Tapion summa-arvomenetelmän taulukot.