

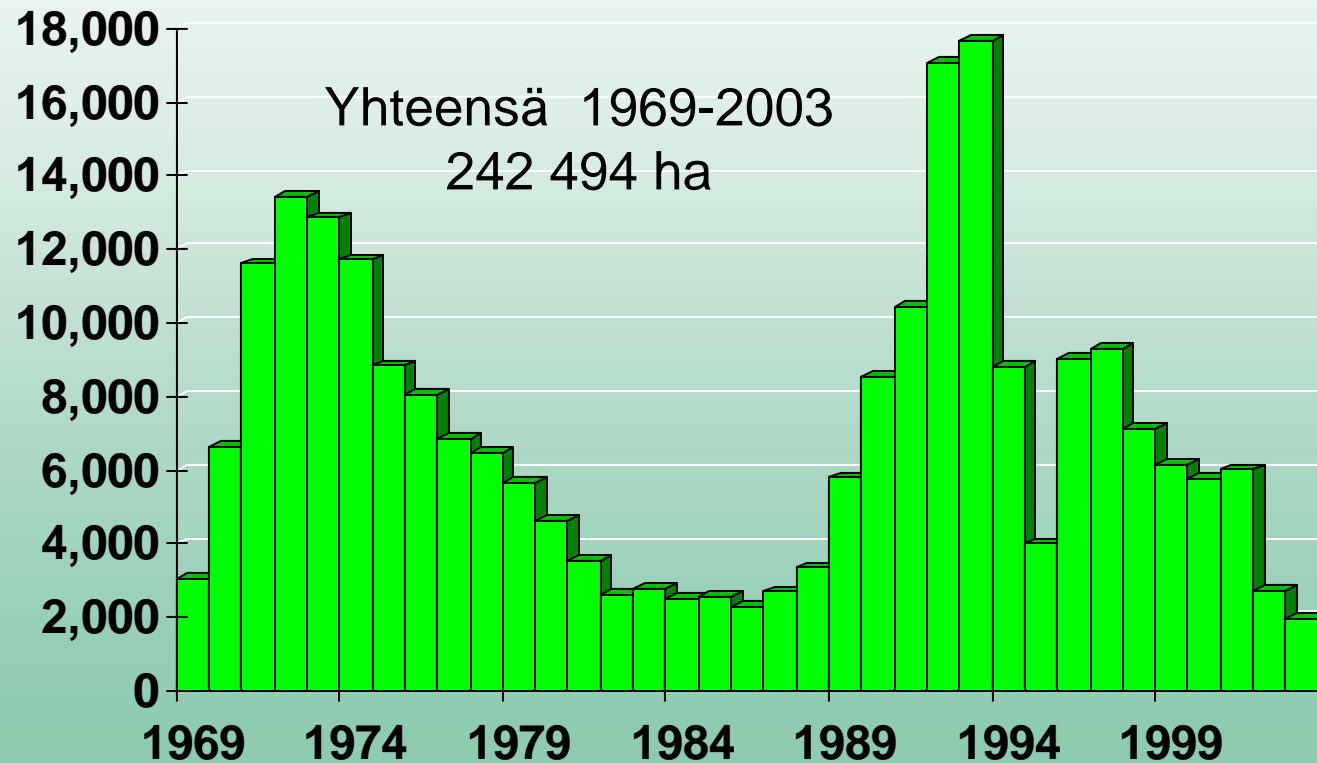
A photograph of a birch forest with a person standing in the foreground for scale. The trees are tall and thin, with characteristic white bark and black lenticels. The ground is covered in dry, yellowish-brown grass and twigs. The lighting suggests a bright day, with shadows cast on the ground.

**Metsitettyjen peltojen hiilivarasto ja sen
muutos metsän
kehityksen myötä**

Jyrki Hytönen, Antti Wall, Carl Johan Westman

HMS-seminaari 2.9.2004

Pellonmetsitysala Suomessa, ha/vuosi



1. Orgaanisen hiilen määrittymenetelmät

Tavoitteet

- 1) voidaanko maan orgaanisen hiilen määrä arvioida maan orgaanisen aineksen määrän perusteella käyttämällä vakiomuuntokerrointa.
- 2) onko peltomaiden kalkitus lisännyt maan epäorgaanisen hiilen määrää niin paljon, että se on otettava huomioon virhelähteenä maan orgaanisen hiilen varastojen määrittämisessä.

Aineisto ja menetelmät

- Maanäytteen: 12 metsitetyltä pellolta ja niiden reunametsistä (kerroksittain)
30 CT-OMT mänty- ja kuusimetsästä (horisonteittain)
- Hehkutushäviö (550 °C vakiopainoon)
- C-LECO
- C-LECO/LOI- suhde, lisäksi muuntokerroin 58 % (van Bemmelen).
- Peltomaista kerätyt maanäytteen otettiin kahtia ja toisesta näyte-erästä poistettiin epäorgaaninen hiili suolahapon avulla.

Tulokset

- *Orgaanisessa kerroksessa* pelto- ja metsämailla C_{LECO}/LOI -suhde 56-59 % (lähes van Bemmelenin kertoimen mukainen)
- *Kivennäismaassa* syvyyden lisääntyessä orgaanisen hiilen osuus orgaanisesta aineesta (C_{LECO}/LOI -suhde) pienenee ja 30-40 cm syvyydellä sen osuus on enää runsaat 30 %.
- *Kivennäismaassa* C_{LECO}/LOI -suhde erilainen metsitetyssä peltomaassa kuin metsämaassa

Keskimääräiset C_{LECO}/LOI -suhteet laskettuna horisonteittain metsämaille ja kerroksittain metsitetyille peltomaille. Keskiarvon keskivirhe suluissa.

Horisontti/kerros	Metsämaa	Metsitetty peltomaa
O	0.561 (0.005)	0.590 (0.038)
E / 0-10 cm	0.428 (0.011)	0.477 (0.019)
B1 /10-20 cm	0.337 (0.011)	0.439 (0.018)
B2 /20-30 cm	0.265 (0.014)	0.389 (0.027)
C /30-40 cm	0.221 (0.013)	0.327 (0.029)

Maan hiilimäärien vertailu orgaanisessa kerroksessa ja kivennäismaassa (0-40 cm) käyttäen C_{LECO} tuloksia ja laskemaalla hiilimäärä LOI:sta muuntokertoimella 0,58 tai kerroskohtaisella muuntokertoimilla

Kerros	C-LECO, kg/m ²	C-LOI 0,58 van Bemmelen, kg/m ²	C-LOI kerroskohtainen muuntokerroin, kg/m ²
Metsämaat			
O	2.17±0.20	2,25 **	2.17
Kiv. maa (0-40)	4.42±0.26	8.36***	4.63
Metsitetyt peltomaat			
O	1.08±0.21	1.08	1.09
Kiv. maa (0-40)	10.82±0.82	14.72***	10.71

Kun kerroskohtaisia muuntokertoimia käytettiin toiseen riippumattomaan aineistoon saatiin suuria eroja > muuntokertoimet eivät toimiva ratkaisu kivennäismaan osalta Humuskerroksen osalta kuitenkin päästäisiin luotettavaan arvioon käyttämällä muuntokerrointa.

Karbonaattihiilen vaikutus

Metsitettyjen peltomaiden hiilipitoisuus (mg/g) ennen ja jälkeen karbonaattihiilen poiston:

C_{LECO}	26.7±2.98
$C_{LECO-HCl}$	22.5±2.70

Mittausten välinen lineaarinen regressio:

Vakio 2.34 P-arvo 0,081 Kerroin 1.083 keskivirhe 0.049 P-arvo 0.000, Selitysaste R^2 0,956

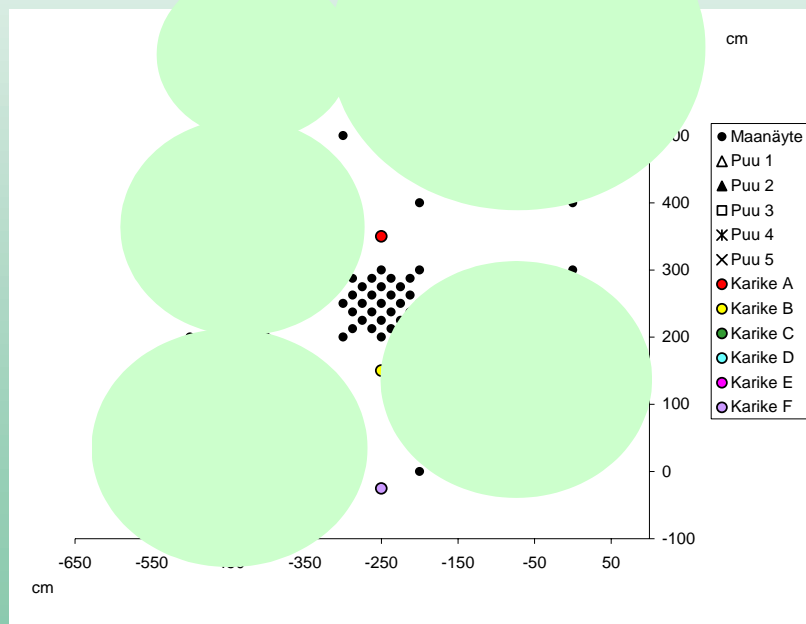
Tutkimuksen mukaan kalkittujen peltomaiden karbonaattihiilen poisto on tehtävä ennen hiilimääritystä. Tämä on erityisen tärkeä metsitettyjen peltojen pintakerroksesta otetuissa näytteissä.

Julkaisu: Westman, C.J., Hytönen, J. & Wall, A. 2004. Loss-on-ignition in the determination of pools of organic carbon in soils of forests and afforested arable fields. In review.

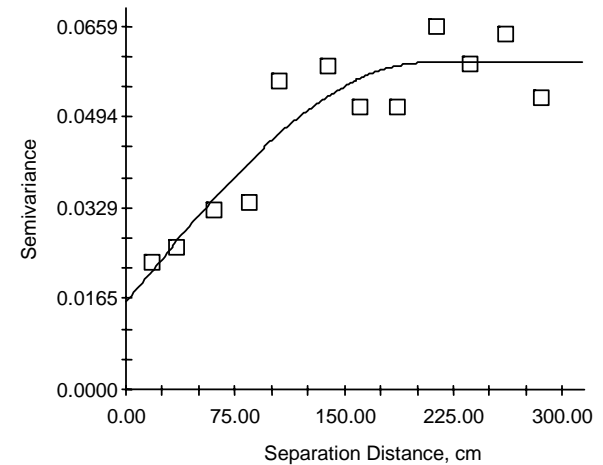
2. Hiilen spatiaalinen vaihtelu metsitetyssä peltomaassa

Tavoite: määrittää luotettavaan näytteiden ottoon tarvittava näytemäärä.

Otanta: Orivedellä sijaitsevalta 30 vuotta sitten männyllä metsitetyltä peltomaalta otettiin n. 50:stä systemaattisesti sijoitetusta näytteenottopisteestä tilavuustarkat näytteet kangashumuskerroksesta, entisestä muokkauskerroksesta ja alla olevista maannoshorisonteista aina 50 cm syvyyteen ja määritettiin hiilipitoisuus.

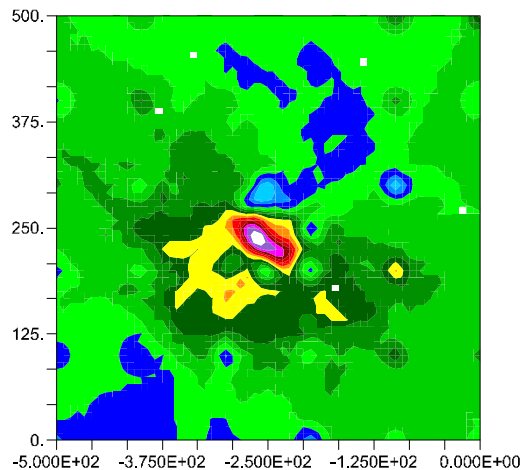
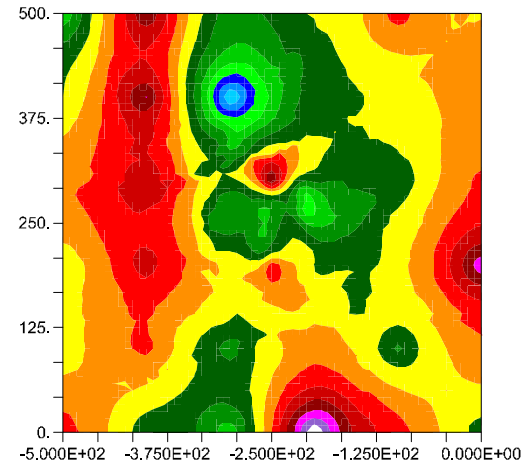
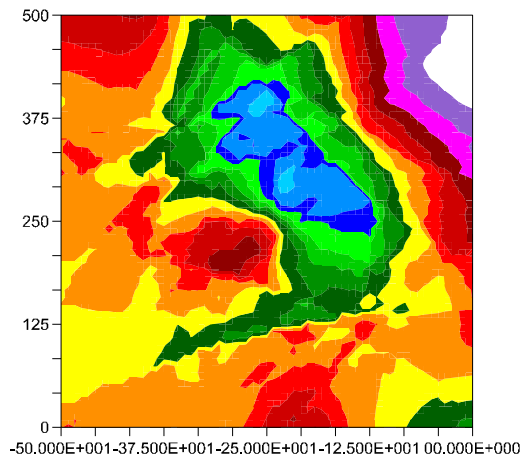


Koalojen sijoittelu, vihreät läiskät mäntyjen latvuksia



Hiilipitoisuuden spatiaalinen vaihtelu suhteessa näytteenottopisteiden väliseen etäisyyteen

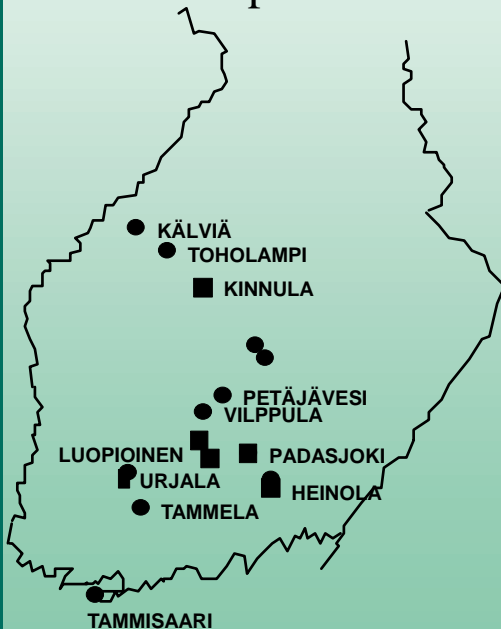
Päätulos: Osanäytteitä oltava noin 10 kpl ja niiden olisi oltava vähintään 2,5 m etäisyydellä toisistaan, jotta otantavirhe olisi alle 10-%



Interpoloitu kartta maan hiiliitiheydestä (kg/m^2) 0-50 cm maakerroksessa (ylhäällä vasemmalla), muokkauskerroksessa (0-20 cm, %) ja pohjamaassa (20-40 cm, %).

3. Orgaanisen hiilen määrä metsitetyssä peltomaassa ja metsämaassa

Verrattiin 10 vuotta ja 70 vuotta sitten kuuselle metsitettyjen peltojen ja viereisten kuusta kasvavien metsämaiden maaperän ravinne- ja hiilimääriä. Määritettiin orgaanisen kerroksen, 0-10, 10-20, 20-30 ja 30-40 cm kerrosten orgaanisen hiilen määrä. Karbonaattihiili poistettiin ennen analyysiä. Kummassakin ikäryhmässä oli 6 vertailuparia eli kaikkiaan tutkittiin 12 metsikköparia.

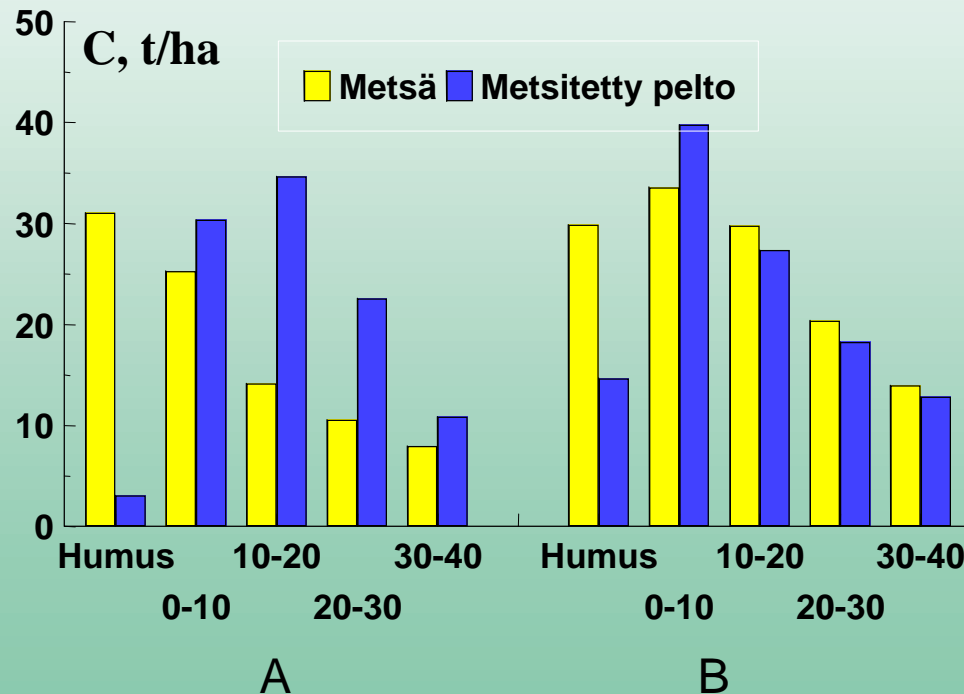


Tulokset

*Erot metsämaiden ja 10-vuotta sitten metsitettyjen peltojen välillä suurimmat orgaanisen kerroksen hiilimäärissä.

*Metsitetyssä peltomaassa on tämän aineiston perusteella huomattavasti enemmän hiiltä kuin metsämaassa.

*Orgaanisen kerroksen muodostuminen metsitetylle peltomaalle on hidaskeski prosessi. Laskettu orgaanisen hiilen kertymänopeus metsityksen jälkeen 247 kg/ha/a.



Hiilen määrä metsitettyjen peltojen (A= metsitys 10 vuotta sitten, B = metsitys noin 70-vuotta sitten) ja niiden reunametsien maassa ja humuksessa

4. Maan hiilivarasto ja sen muutos metsän kehityksen myötä

Tavoite

Maastoaineistoon perustuen selvittää metsitettyjen peltojen maan hiilen varastot, sekä puulajin ja metsän sukcession vaikutuksia hiilivaraston dynamiikkaan, sekä metsiköiden sitoman hiilen määrä.

Aineisto

Eri ikäisiä männylle, kuuselle ja koivulle metsitettyjä peltoja Etelä-Suomesta ja Keski-Suomesta

Maastoaineiston (88 metsikköä) jakauma puulajeittain, alueittain ja metsiköiden ikäluokittain.

Tunnus	Puulaji, kpl metsiköistä			Yht.
	Mänty	Kuusi	Koivu	
Maalajijakauma				
Hienojakoinen	8	14	16	38
Karkeajakoinen	19	21	10	50
Aluejakauma				
Etelä-Suomi	15	19	11	45
Keski-Suomi	12	16	15	43
Ikä 10-25 v.	8	9	15	32
Ikä 25-40 v.	16	14	8	38
Ikä >40 v.	3	12	3	18

Näytteenotto

*Maanäytteet näytteenottoputkilla 50 cm:n syvyyteen asti (10 kpl/koeala) (jaettiin kerroksiin laboratoriossa).

*Näytteet pintakasvillisuudesta, karikkeesta ja humuksesta biomassan ja hiilen määrittystä varten.

*Mitattiin puuston tilavuus ja kannot (koealan säde 6,25 m) puuston biomassan määrittystä varten. Kasvillisuuden lajisto kuvattiin ja kerättiin perustietoja metsityksestä.



*Humusnäytteet, jotka sisälsivät myös neulaset otettiin veitsen ja saksien avulla (10 kpl 0,02 m² koealoja).

*Kasvillisuuden ja karkean karikkeen biomassaa määritettiin kuvassa näkyvältä neliöltä (0,25 m²) leikkaamalla saksilla kasvillisuus ja ottamalla karkea karike (oksat, kävyt) pusseihin (10 kpl/koeala).

Analyysit

*Karike-, humus- ja kasvinäytteet esikäsiteltiin kuivaamalla (60 °C) ja jauhamalla

*Maanäytteistä

maannoshorisonttien paksuudet

tiheys

jaettiin seulomalla kolmeen fraktioon: >2mm, 0,6-2 mm, <0,6 mm

hehikutushäviö (550 °C)

poistettiin epäorgaaninen karbonaatteihin sitoutunut hiili HCl-uutolla.

hiilipitoisuus kuivapolttomenetelmällä (LECO CHN 600).

raekokojakauma laserfraktioinnilla.

Koealojen hiilen määrän laskenta

•Puuston maanpäällinen (runko, elävät oksat, kuolleet oksat, kanto) ja maanalainen (juuret <5 cm, juuret >5 cm) biomassa laskettiin allometrisillä funktioilla (Marklund 1987, 1988).

•Harvennuksissa poistuneen puuston massa laskettiin kantojen läpimittojen perusteella käyttäen allometrisiä funktioita.

•Puuston sisältämä hiilen määrä laskettiin biomassojen perustella käyttäen hiilen pitoisuutena 50 % massasta. Hienujuuret > 0,6 mm, hehikutushäviö, C-pitoisuus 50 %.

*Pintakasvillisuuden ja karikekerroksen hiilen määrät laskettiin koealoilta mitatuista kuivamassoista, C-pitoisuus 50 %. Organisisessa kerroksessa C-pitoisuus 58 %.

* Maanäytteet LECO C, muut ositteet tehtäneen myös

Biomassaan sitoutuneen hiilen määrä, kg/m² puulajeittain ja ikäluokittain.

	Ikäluokka		
	9-25 v.	26-40 v.	>40 v.
	Kuusi		
Kasvillisuus	0.026	0.001	0.009
Latvus+runkopu	2.111	7.795	12.100
Kanto	0.148	0.398	0.951
Hienojuuret	2.185	2.598	3.699
Karkeajuuret	0.428	1.643	2.443
yhteensä	4.900	12.614	19.208
	Mänty		
Kasvillisuus	0.021	0.028	0.040
Latvus+runkopu	3.790	5.501	6.655
Kanto	0.322	0.473	0.595
Hienojuuret	3.605	1.682	2.682
Karkeajuuret	0.7726	1.1199	1.3620
yhteensä	8.513	8.806	11.300
	Koivu		
Kasvillisuus	0.077	0.028	0.050
Latvus+runkopu	1.317	4.44	4.810
Kanto	0.080	0.292	0.331
Hienojuuret	2.229	2.082	2.304
Karkeajuuret	0.189	0.691	0.776
yhteensä	3.880	7.538	8.300

Biomassaan sitoutuneesta hiilestä suurin osa oli puustossa jo nuorissakin kasvatusmetsissä. Puuston merkitys hiilen varastona kasvaa sen kehityksen myötä.

Metsitysikä selitti varsin hyvin, vaikka osalla kohteista oli tehty harvennuksia, puustoon sitoutunutta hiilivarastoa (mallin selitysaste kuuselle 70 %, koivulle 73 % ja männylle 43 %).

Pintakasvillisuuteen sitoutuneen hiilen määrä alenee puuston kehityksen myötä kuusikoissa ja koivikoissa. Pintakasvillisuuden merkitys hiilen varastona oli suurin koivikoissa, joissa nuorissa kasvatusmetsissä pintakasvillisuuden osuus oli noin 2 % biomassaan sitoutuneen hiilen määrästä.

Karikkeeseen (karkea karike, kuollut puusto ja harvennetun puuston kanto ja juuristo) sitoutuneen hiilen määrä, kg/m² puulajeittain ja ikäluokittain.

	Ikäluokka		
	9-25 vuotiaat	26-40 vuotiaat	>40 vuotiaat
	Kuusi		
Karkea karike	0.052	0.176	0.219
Latvus+runkopuu	0.103	0.174	0.121
Kanto	0.009	0.012	0.009
Juuret	0.021	0.034	0.025
Kanto, harv.	0.027	0.068	0.172
Juuret, harv.	0.081	0.197	0.485
yhteensä	0.289	0.657	1.050
	Mänty		
Karkea karike	0.160	0.210	0.173
Latvus+runkopuu,	0.104	0.082	0.000
Kanto	0.009	0.007	0.000
Juuret	0.021	0.016	0.000
Kanto, harv.	0.049	0.056	0.185
Juuret, harv.	0.118	0.135	0.435
yhteensä	0.462	0.500	0.800
	Koivu		
Karkea karike	0.034	0.078	0.105
Latvus+runkopuu,	0.004	0.062	0.000
Kanto	0.000	0.004	0.000
Juuret	0.001	0.009	0.000
Kanto, harv.	0.008	0.191	0.095
Juuret, harv.	0.020	0.066	0.225
yhteensä	0.067	0.263	0.433

Karikkeen hiilivarasto kasvaa puuston iän myötä kaikilla puulajeilla

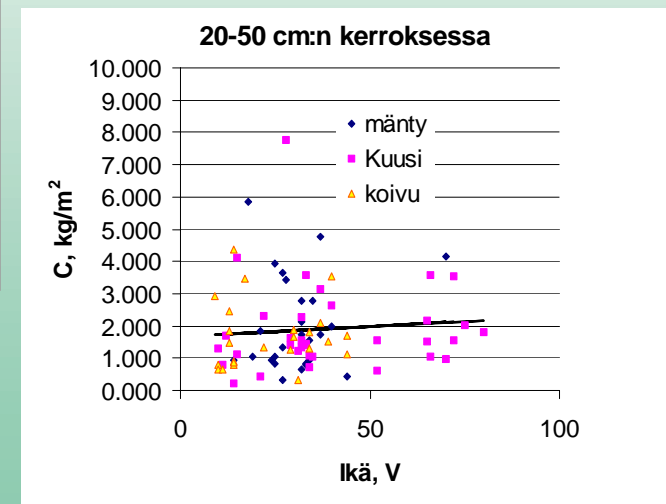
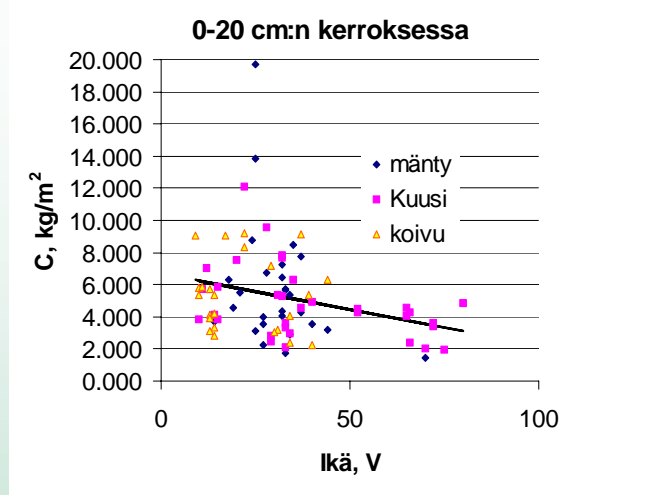
Karikkeen määrän kasvuun vaikuttavat voimakkaasti puuston harvennukset, joissa syntyy erityisesti juurikariketta ja hakkuutähdettä.

Kuolleen puuston tuottama karikkeen määrä oli pieni alhaisesta puuston kuolleisuudesta johtuen.

Maan eri kerroksiin sitoutuneen hiilen määrä, kg/m^2 puulajeittain ja ikäluokittain.

	Ikäluokka		
	9-25 v	26-40 v	>40 v
	Kuusi		
Org. kerros	0.353	0.795	0.988
0-20 cm	6.256	4.921	3.743
20-50 cm	1.492	2.115	1.916
yhteensä	7.244	7.464	6.658
	Mänty		
Org. kerros	0.717	0.739	1.243
0-20 cm	8.190	5.040	2.738
20-50 cm	2.055	1.930	2.177
yhteensä	10.950	7.706	6.167
	Koivu		
Org. kerros	0.237	0.214	1.036
0-20 cm	5.693	4.907	4.269
20-50 cm	1.730	1.472	2.106
Yhteensä	7.427	5.988	6.000

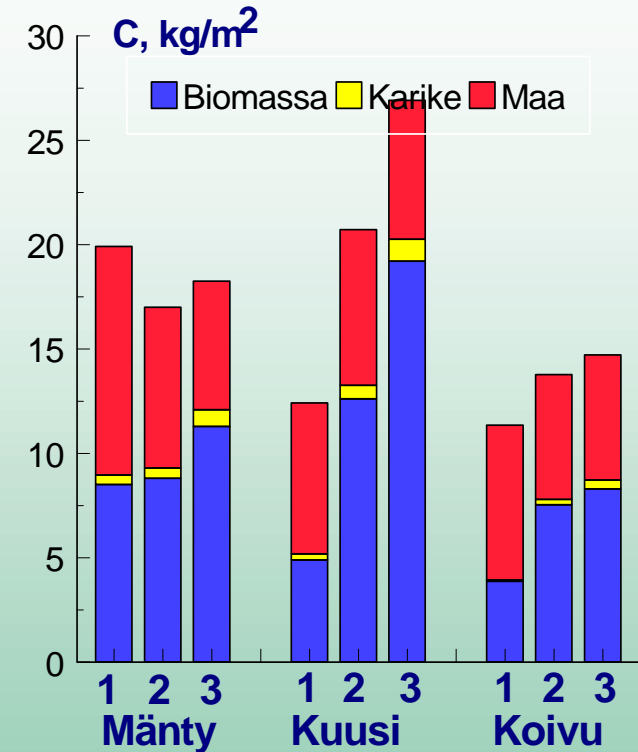
Maan hiilivarasto oli suurin entisen peltomaan muokauskerroksessa (0-20 cm). Tämän pintakerroksen hiilivarasto aleni metsikön iän kasvaessa. Kokonaishiilimäärä aleni kuitenkin puuston iän kasvaessa vain hieman, sillä orgaanisen kerroksen hiilivarastot kasvoivat ja 20-50 cm:n maakerroksen hiilivarastot muuttuivat vain vähän iän myötä.



Maan hiilivaraston muutos puuston iän myötä syvyydellä 0-20 cm ja 20-50 cm.

Biomassaan, karikkeeseen ja maaperään sitoutuneen hiilen määrä, kg/m² puulajeittain ja ikäluokittain.

	Ikäluokka		
	9-25 v	26-40 v	>40 v
Kuusi			
Biomassa	4.900	12.614	19.208
Karike	0.289	0.657	1.050
Maa	7.244	7.464	6.658
yhteensä	12.433	20.736	26.917
Mänty			
Biomassa	8.513	8.806	11.30
Karike	0.463	0.500	0.800
Maa	10.950	7.706	6.167
yhteensä	19.925	17.013	18.267
Koivu			
Biomassa	3.880	7.538	8.300
Karike	0.067	0.263	0.433
Maa	7.427	5.988	6.000
Yhteensä	11.373	13.788	14.733



Kasvupaikan kokonaishiilivarasto (biomassa, karike ja maaperä) eri ikäisissä (1=9-25 v, 2= 26-40 v, 3= yli 40 v) kivennäismaiden pelloille viljellyissä mänty-, kuusi- ja koivumetsiköissä.

Tarkastelua

*Metsitettyjen entisten peltomaiden hiilivarasto on varsin suuri verrattuna metsämaihin.

Tämä tutkimus	8.5 kg/m (0-50 cm)
Metsämaat (Liski & Westman 1995)	3.7 – 5.3 kg/m ² .

*Metsitettyjen peltomaiden orgaaninen kerros kehittyminen hidasta, kehittyminen tulee metsän kehityksen myötä lisäämään huomattavasti sitoutuneita hiilimääriä.

*Maan muokkauskerroksen (0-20 cm) hiilimäärä väheni puuston ikääntyessä vahvistaen mallilaskelmien tuloksia.

*Muokkauskerroksen alapuolisessa maassa muutokset hiilivarastoissa olivat pieniä.

*Kun huomioidaan maan hiilivarastojen lisäksi puustoon sitoutunut hiilivarasto, metsitys on selkeä hiilinielu, jonka suuruus kasvaa metsityksestä kuluneen ajan kasvaessa.

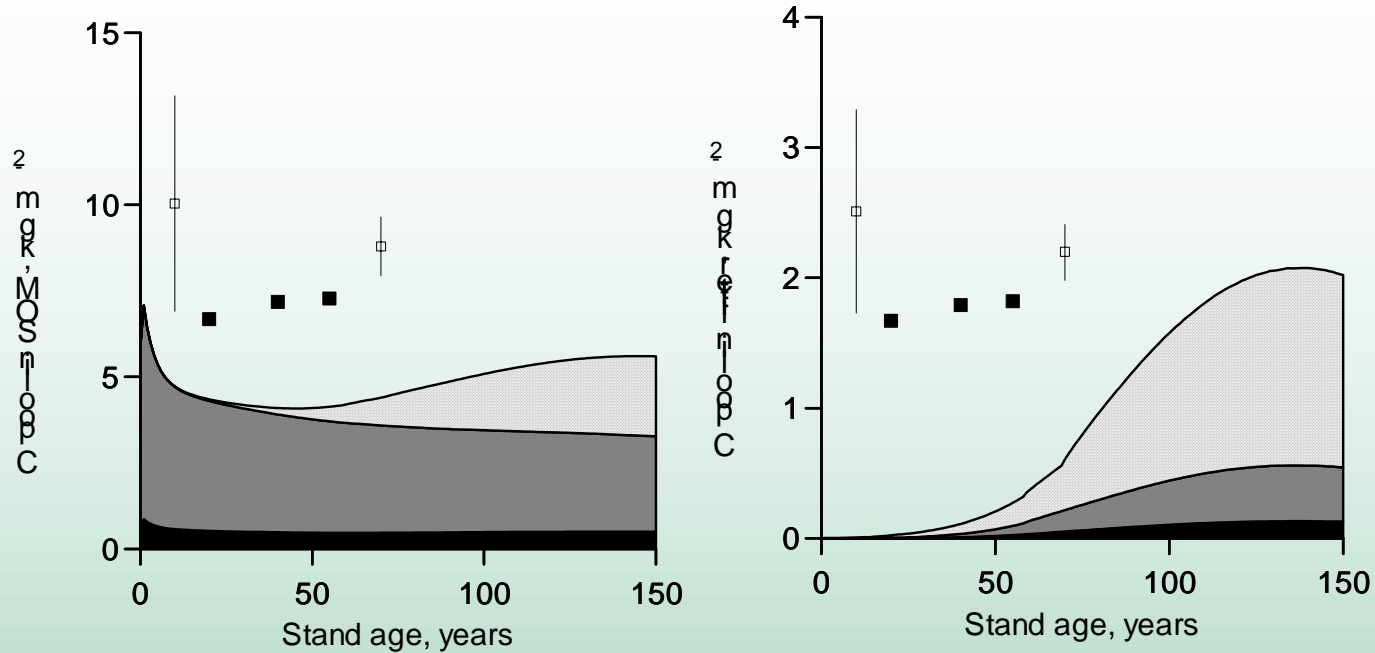
*Puulajin merkitys kasvupaikan hiilivaraston kertymiseen merkittävä. Kuusi.

*Hiilivarastojen peltokohtainen vaihtelu oli varsin suuri, mikä näkyy keskiarvojen suurina keskihajontoina.

* Ajan korvaamisessa paikalla: esim. lähtötilanteet eivät tiedossa

FINNISH
FOREST
RESEARCH
INSTITUTE

METLA



Kuva 6 Hiilivarastot maan eri kerroksissa (vasemmanpuoleinen kuva) ja maan karikkeessa (oikeanpuoleinen kuva) . Vaalea varjostus kuvaa O kerroksen varastoja, tumma varjostus varastoja kivennäismaan ylimmässä kerroksessa (0 - 20 cm) ja musta osa varastoja maan syvemmissä kerroksissa (20 – 40 cm). Avoimet symbolit kuvaavat empiirisen aineiston (3.1) 10 ja 70 vuotiaat metsitykset. Mustat neliö kuvaavat 20, 40 ja 55 vuoden ikäisiä kuusikoita Alriksson & Olsson (1995) mukaisesti.