

Metsien hiilitasearvioiden epävarmuus kansallisessa kasvihuonekaasuinventaariossa

Juha Heikkinen, Luonnonvarakeskus
juha.heikkinen@luke.fi

Kurssi *Tilastotiede tutuksi*
HY matematiikan ja tilastotieteen laitos
24.9.2015, Physicum D101, Kumpula

Sisältö

- ”Tilastotieteen sovellusalueet kattavat lähes kaikki tieteenalat ja jokapäiväisen elämämme hahmottamisen, ilmiöiden kvantifioinnin ja päätelmien epävarmuuden dokumentoinnin.
- Kurssilla luodaan yleiskatsaus tähän laajaan kokonaisuuteen luentojen, esseiden, kirjallisuuden ja laskuharjoitusten avulla. Kurssin luento-moduulissa on luennoitsijoina tilastotieteilijöitä eri laitoksilta”
- Tällä luennolla
 - Luonnonvarakeskuksen (Luke) esittelyä
 - tilastotiede Lukessa
 - kasvihuonekaasujen (KHK) inventaario
 - esimerkki tilastotieteen roolista KHK-inventaariossa

Valtion tutkimuslaitokset

lähde: www.stat.fi/meta/kas/valtutklait.html 17.9.2015

- Yhteiskunnallisessa päätöksenteossa tarvittavan tiedon tärkeimpiä tuottajia
 - Ulkopoliittinen instituutti UPI (EK)
 - Valtion taloudellinen tutkimuskeskus VATT (VM)
 - **Luonnonvarakeskus LUKE** (MMM)
 - Elintarviketurvallisuusvirasto EVIRA (MMM)
 - Maanmittauslaitos MML (MMM)
 - Ilmatieteen laitos (LVM)
 - Geologian tutkimuskeskus GTK (TEM)
 - Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy * (TEM)
 - Säteilyturvakeskus STUK (STM)
 - Terveyden ja hyvinvoinnin laitos THL (STM)
 - Työterveyslaitos TTL (STM)
 - Suomen ympäristökeskus SYKE (YM)

* voittoa tavoittelematon valtion erityistehtäväyhtiö

Valtion tutkimuslaitosten tehtäviä

- Hankkia, tuottaa ja välittää tietoa poliittisen päätöksenteon pohjaksi ja yhteiskunnan kehittämiseksi.
- Tutkimustehtävien lisäksi laitoksilla on vaihtelevassa määrin erilaisia asiantuntija-, valvonta-, koulutus-, neuvonta- ja muita viranomaistehtäviä, maksullista ja muuta palvelutoimintaa jne.
- Tutkimuslaitokset tuottavat palveluita horisontaalisesti useille eri hallinnonaloille sekä muulle julkiselle sektorille.
- Ne tuottavat palveluita myös sekä yrityksille että kolmannen sektorin toimijoille.

Luonnonvarakeskus – pohjaa biotaloudelle

- Luke on tutkimus- ja asiantuntijaorganisaatio, joka yhdistää uusiutuvien luonnonvarojen ja vastuullisen ruoantuotannon osaajat kokonaisuudeksi, joka tarjoaa innovatiivisia ratkaisuja elinkeinojen edistämiseksi.
- Monitieteinen tutkimustieto ja asiantuntijapalvelut ovat pohja kestäville päätöksille niin kotimaassa kuin kansainvälisesti.
- Luonnonvarojen tutkimus palvelee kansalaisia tuottamalla tietoa terveydestä ja hyvinvoinnista sekä edistämällä suomalaisen luonnon puhtautta ja elinvoimaisuutta.

Luke aloitti toimintansa 1.1.2015, kun Metsäntutkimuslaitos Metla, Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus MTT, Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos RKTL ja maa- ja metsätalous-ministeriön tietopalvelukeskus Tiken tilastopalvelut yhdistyivät.

Toiminta-ajatus

Luonnonvarakeskuksen tutkijat ja asiantuntijat

- tuottavat tietoon perustuvia ratkaisuja ja palveluita asiakkaille (ml. ministeriöt ja tutkimusrahoittajat),
- tuottavat lisäarvoa, kestävyyttä ja kilpailukykyä uusiutuviin luonnonvaroihin perustuvalla elinkeinotoiminnalla ja
- tukevat yhteiskunnan päätöksentekoa.

Strategiset vaikuttavuusalueet

Uusiutuviin luonnonvaroihin perustuvat

- biomassapohjaiset tuotteet ja energia
- ruokajärjestelmä ja ruokaturva
- hyvinvointi ja terveys
- kestävä luonnonvaratalous ja -politiikka

Biomassapohjaiset tuotteet ja energia

- Biohajoava kate mullistaa maailman puutarhatuotannon
- Biohiilestä hyötyy maaperä ja ilmasto
- Puu on kestävä rakennusmateriaali
- Hybriditeknologia säästää polttoainetta
- Ennustemalleilla ja täsmätoimituksilla kilpailukykyä metsähakkeen toimituksiin
- Kalamassojen sivutuotteista elintarvikkeita, rehuja, lannoitteita ja energiaa

Ruokajärjestelmä ja ruokaturva

- Ruokahävikki hallintaan
- Ruokaturvaa Afrikan maihin
- Kotimaisen kalan kulutus kasvuun
- Keinoja nurmien selviytymiseen ilmastonmuutoksessa
- Ravinnejalanjälki on uusi resurssitehokkuuden mittari
- Kehitämme vesiviljelyä koko Itämeren alueella
- Kirjolohi ui myös rypsiöljyllä

Hyvinvointi ja terveys

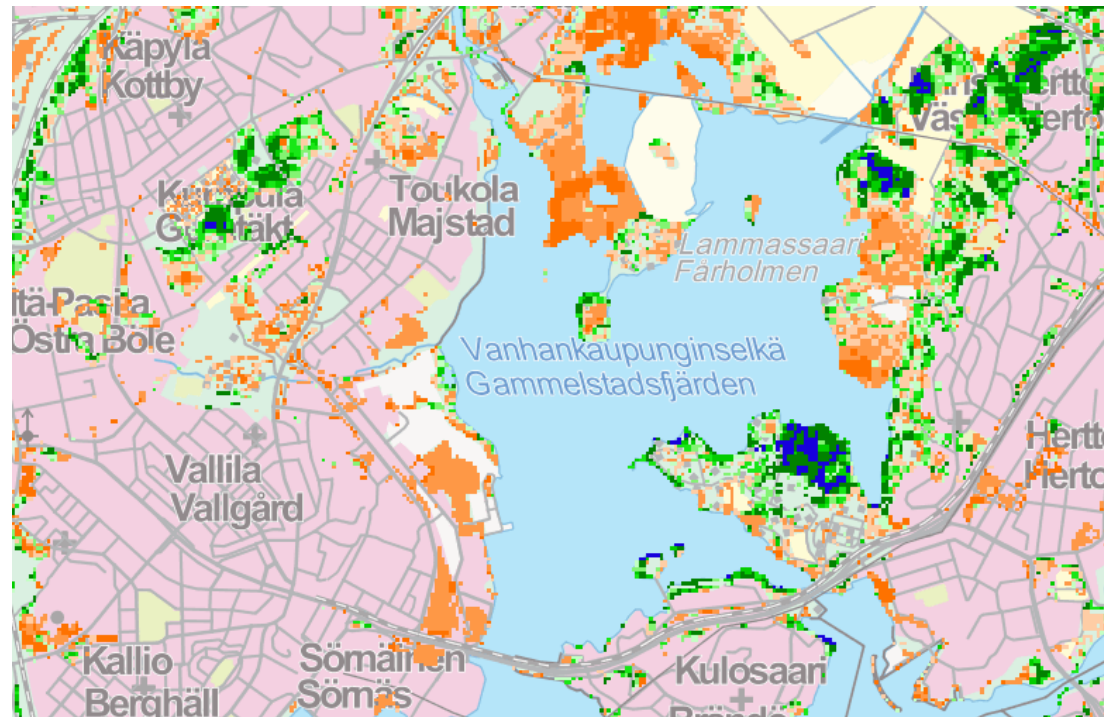
- Puusta on moneksi
- Nutrigenomiikalla lehmille hyvinvointidieetti
- Virikkeitä lohille
- Ravitsemussuositusten mukaista sianlihaa
- Metsässä mieli lepää – vihreän ympäristön hyvinvointihyödyt ovat kaikkien saatavilla
- Mustikka on superfoodia – metsämarjoissa ja sienissä on ravintoarvot kohdallaan

Kestävä luonnonvaratalous ja -politiikka

- Tutkimus tuottaa välineitä susiin liittyvien ristiriitojen hallintaan
- Työkaluja ja palveluja riistahallinnolle, metsästäjille ja kansalaisille
- Taloustohtori-verkkopalvelu kertoo maa- ja puutarhatalouden talous- ja kannattavuustiedot
- Elintarvikkeiden kuluttajahinnan muodostuminen selville
- Vapaa-ajankalastustutkimus auttaa kehittämään kalastusharrastuksen edellytyksiä
- Ruoka- ja luonnonvaratilastot päätöksenteon pohjaksi. Luke on yksi Suomen neljästä tilastoviranomaisesta.
- Suomen metsät kasvavat ja voivat hyvin
- Metsäsektorin suhdannekatsaus – aina ajan hermoilla

Esimerkki Luken tuotteista

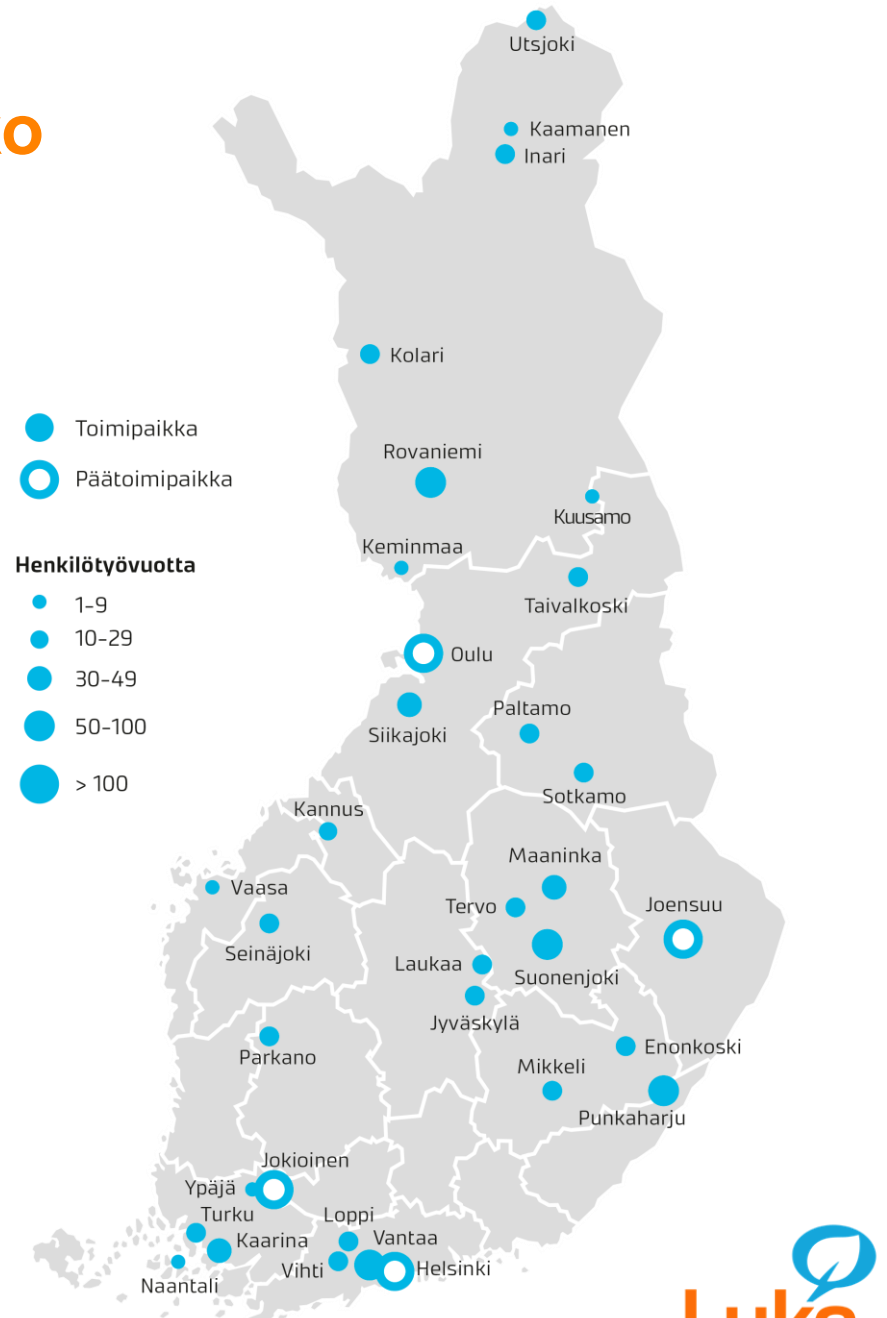
- [Metsävarakartat \(www.luke.fi](http://www.luke.fi) -> Ruoka ja luonnonvarat -> Metsät) katseltavissa Maanmittauslaitoksen Paikkatietoikkunassa, esim. [Kumpulan lähialue, puuston ikä](#)



- Tilastotiede vahvasti tämänkin taustalla!

Toimintamme kattaa koko Suomen

- Pääkonttori Viikissä
- Päätoimipaikkoja neljä: pääkaupunkiseutu, Jokioinen, Joensuu, Oulu
- Noin 1600 työntekijää (tutkijoita tai vast. n. puolet)
- Toimimme maan eri osissa hyödyntäen yhteistyömahdollisuudet yliopistojen ja muiden tutkimuslaitosten kanssa



Tilastotiede ja tilastotieteilijät Lukessa

- Tilastotieteen menetelmiä tarvitaan käytännössä kaikessa otannalla tai koejärjestelyillä kerättyihin aineistoihin perustuvassa tutkimuksessa
- Eri sovellusalueiden tutkijat toteuttavat itse suuren osan tilastollisista analyyseistä
- Kuitenkin myös merkittävä määrä tutkimusprojekteja, joissa tilastotieteilijä työskentelee osana tutkimusryhmää
- Työaika jakautuu tyypillisesti useille projekteille yhtä aikaa (n. 2kk/projekti/vuosi)

Tilastotieteen menetelmätuki Lukessa

Tutkimusprojekteihin osallistumisen lisäksi Luken tilastotieteilijät

- järjestävät menetelmäkoulutusta (tyypillisesti 1-3 päivän kurseja) tutkijoille ja muulle henkilökunnalle (esim. aineistopalvelu),
- tarjoavat tutkijoille konsultointityyppistä neuvontaa sekä tilastotieteen ohjelmistojen (SAS, R ja SPSS) käytön tukea ja
- osallistuvat tutkimussuunnitteluun ja tilasto-ohjelmistojen hallintaan

Tähän menetelmätukitoimintaan osallistuu 20 tilastotieteen asiantuntijaa keskimäärin 2kk/vuosi.

Greenhouse gas (GHG) inventories

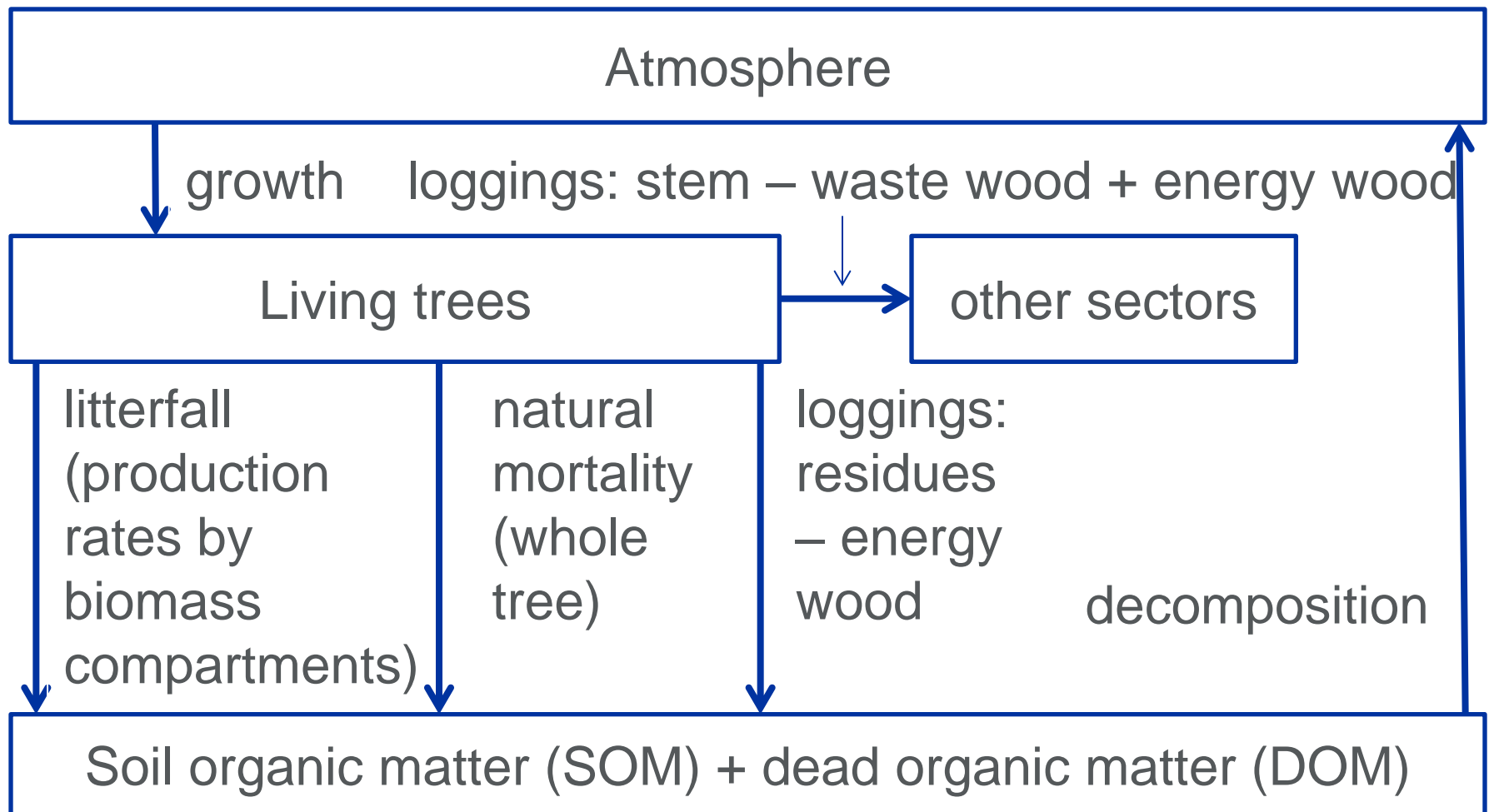
- United Nations Framework Convention on Climate Change and its Kyoto Protocol require from participating countries annual reports of human-induced GHG-emissions and removals to/from the atmosphere
- “Accurate, consistent and internationally comparable data on GHG emissions is essential for the international community to take the most appropriate action to mitigate climate change”

unfccc.int

Finland's GHG-inventory

- Statistics Finland is the national responsible unit
<http://www.stat.fi/tup/khkinv/index.html>
- Hyvä suomenkielinen dokumentti
[Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990-2014](#)
- **Luke**: assessment of sources and sinks in reporting sectors
3. Agriculture, and 4. Land use, Land-use change and Forestry
www.metla.fi/ghg
- The other sectors are Energy, Industrial processes, and Waste
- This presentation: CO₂ fluxes associated to forestry

Some CO₂ (or carbon) fluxes



Accounting for forestry

Living biomass (carbon fraction 0.5 of dry matter)

- Increment due to tree growth (gain, sink) – drain due to loggings and natural mortality (loss, source)
- Or change of tree biomass stock (balance)
- In both cases essential to estimate **whole tree biomass**

DOM+SOM

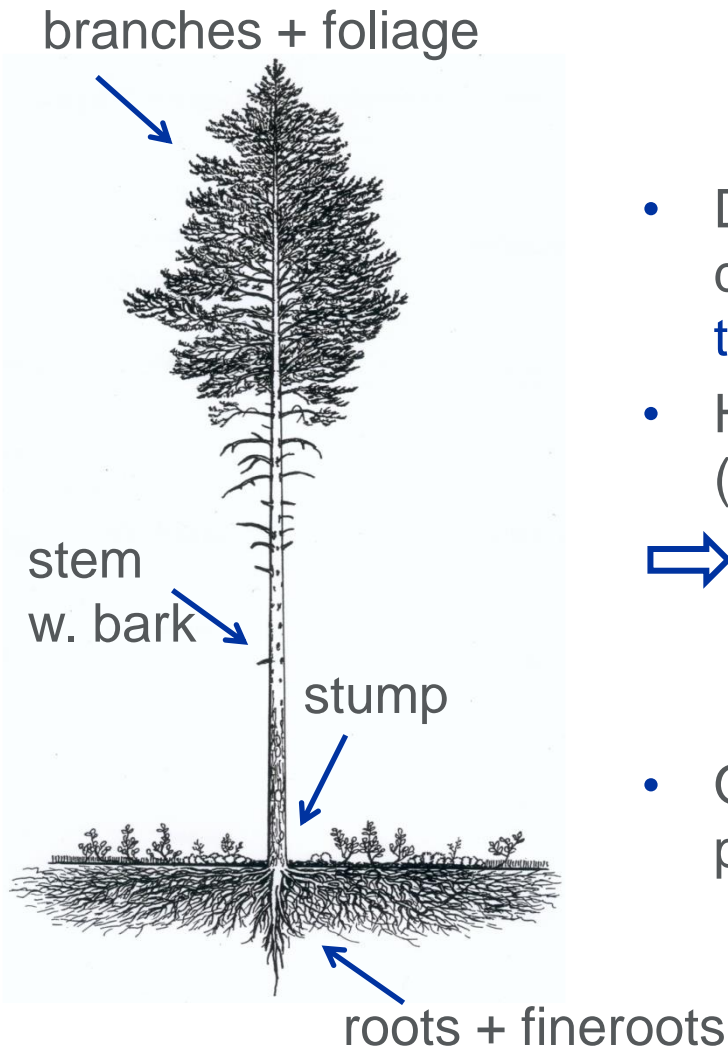
- Input from **living biomass** (litterfall), **loggings** (residues), and **natural mortality** – CO₂-emission due to **decomposition**
- Mineral soils: Yasso07 soil model; needs estimates of input (+ weather).

Uncertainty

- “[...] so that the resources available for research can be directed toward reducing uncertainties over time, and the improvement can be tracked.” (IPCC 2000, p. 1.4)
- “**Key Categories:** [...] have a significant influence on a country’s total inventory of greenhouse gases in terms of the absolute level of emissions and removals, the trend in emissions and removals, or **uncertainty** in emissions and removals.” (IPCC 2006, Vol 1. p. 1.6)
- ”Tunnettaessa ... ainoastaan ... keskiarvo on tulos vähäarvoinen; on aivan välttämätöntä, että lisäksi tunnetaan tämän keskiarvon luotettavuus l. tarkkuus, s.o. se mahdollinen virhe, mikä keskiarvoon liittyy.” (Ilvessalo 1923, s. 24)
- Käytännön kannalta tärkeintä pystyä arvioimaan suhteellisen virheen suuruusluokkaa.

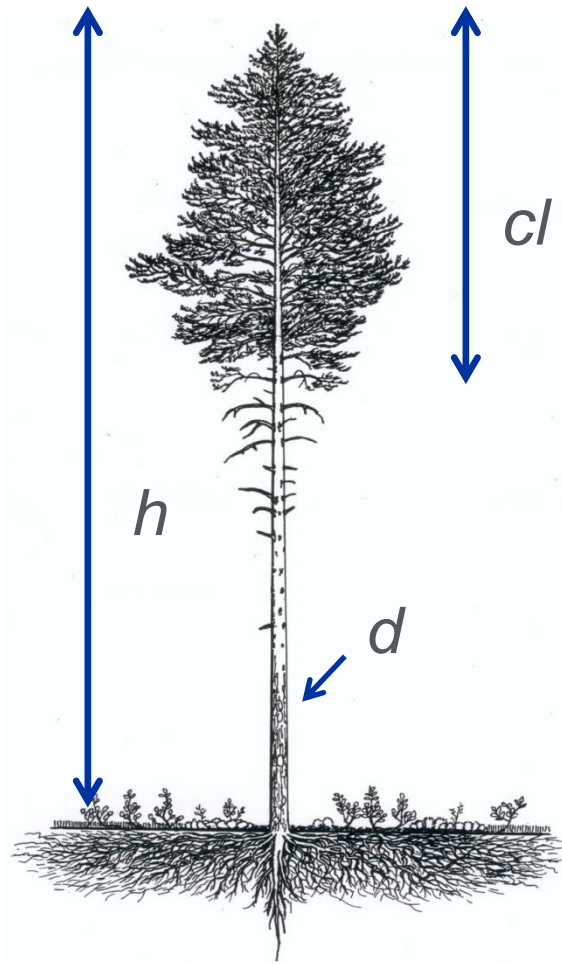
National Forest Inventory (NFI)

www.metla.fi/ohjelma/vmi/info-en.htm



- During 5 years rotation, breast height diameter measured from over 400 000 **tally trees**
- Height, upper (6m) diameter and increment (growth) from every 7th (**sample trees**)
- ⇒ good estimate of stem volume and its increment; uncertainty in volume model usually ignored
- Other **biomass components** more problematic

Tree biomass (dry weight)



- Measurement laborious and destructive
- **Models** by species (pine, spruce, birch) and component (Repola 2008, 2009)
- Based on moderate #trees mainly from experiments, not representative sample
- Predictors x_k include diameter d , height h , crown length cl

Uncertainty in biomass estimates

- Regional estimates (total, mean/ha) derived using **model-predicted** biomasses of **NFI** trees
- Sources of uncertainty
 - NFI **sampling**; estimated from variability in predictions
 - Uncertainty and correlations of model **parameters**; estimated from variability in modelling data
 - Random errors in model parameters result in systematic errors in predictions, because same parameter estimates are applied to all trees (of same species)
 - **Residual** uncertainty around the models results in random errors in predictions. Not so influential, when models are applied to the large NFI data.

Propagation of uncertainty

$$\text{Var}(A + B) = \text{Var}(A) + \text{Var}(B) + \text{Cov}(A, B) \text{ vrt. } (a + b)^2$$

- Kun otoskeskiarvolla estimoidaan populaation keksiarvoa, niin epävarmuuteen vaikuttavat
 - otoskoko,
 - yksittäisten havaintojen / ennusteiden / keskiarvon komponenttien satunnaisvaihtelu, ja
 - komponenttien välinen korrelaatio
- Jos esim. ryvästynyt aineisto (samasta metsästä useita puita), niin vahvoja korrelaatioita → samalla puumäärällä epävarmempi arvio kuin täysin satunnaisesta otoksesta (yleensä yksi puu / metsikkö, jos otantasuhde pieni)
- Jos taas systemaattinen otos (kaikenlaiset metsät tasaisesti edustettuina), niin monet korrelaatiot negatiivisia → parempi kuin täysin satunnainen otos

Uncertainty in biomass / change (Ståhl et al. 2013)

- Even with large NFI samples, uncertainty due to sampling more influential than that due to model parameters.
- Reason: stem constitutes a large portion of total biomass and is well predicted by models.
- Role of parameter uncertainty negligible in estimates of biomass change.
- Reason: Error in parameter causes similar systematic error for both of the two stock estimates and hence largely cancels out in the change estimate.

Model uncertainty more important in biomass estimates by components

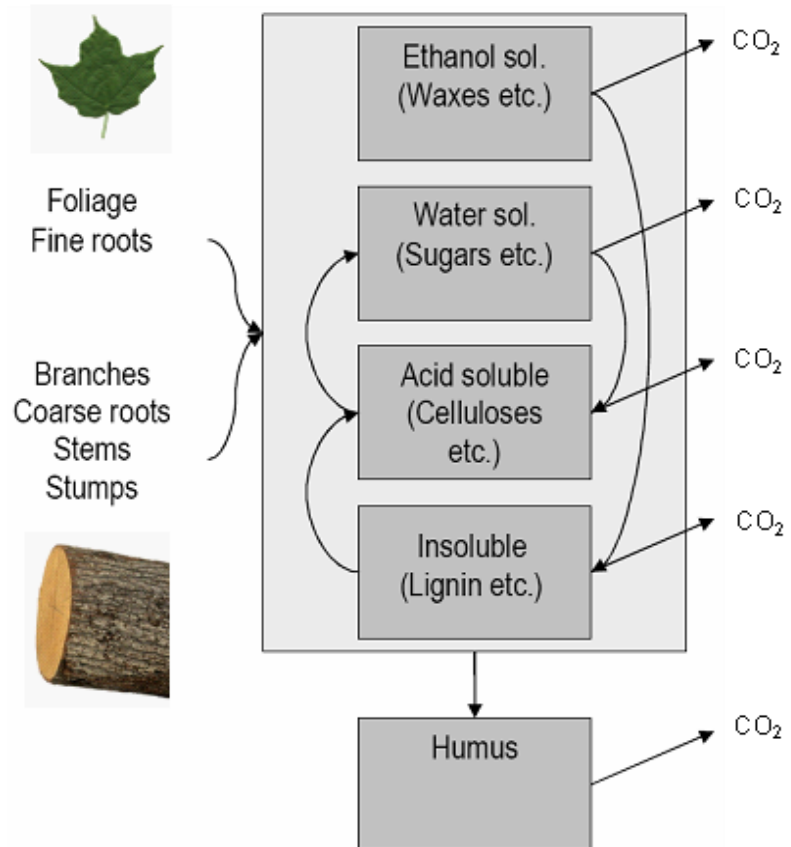
Relative model uncertainty $U_{\text{model}} / \bar{y}$, % for Finland (Ståhl et al. 2013)

Species	Region	Stem	Bark	Branches	Foliage	Dead branches
Pine	South	1.0	2.5	3.3	4.9	7.3
	North	0.9	2.5	3.3	4.9	7.0
Spruce	South	1.6	3.3	3.5	4.8	9.7
	North	1.7	4.1	4.0	4.9	10.6
Birch	South	1.1	2.7	4.3	7.4	24.2
	North	1.6	4.3	7.3	12.8	28.6

Changes in DOM+SOM

Yasso07 soil model

- requires as input annual coarse/fine/non-woody litter divided into pools
 - A acid soluble
 - W water soluble
 - E ethanol soluble
 - N insoluble
- models flows between these pools and into humus & CO₂-emissions due to decomposition



Litter input from trees for year t

$$L_{t,g} = \sum_k \sum_{c,s \in g} p_{s,k,c} b_{s,t,k,c} V_{s,t,k}$$

where

- $g \in \{cwl, fwl, nwl\}$, e.g., foliage and fineroots \in nwl
- s source: living trees, natural mortality, loggings
- k species (pine, spruce, deciduous)
- c biomass component (stem, branches, foliage etc.)
- p litter production rate
- b biomass conversion and expansion factor, BEF
- V total stem volume (bV current biomass stock)

Litter from understorey vegetation and division into AWEN-components omitted here for simplicity.

Source: living trees, lb

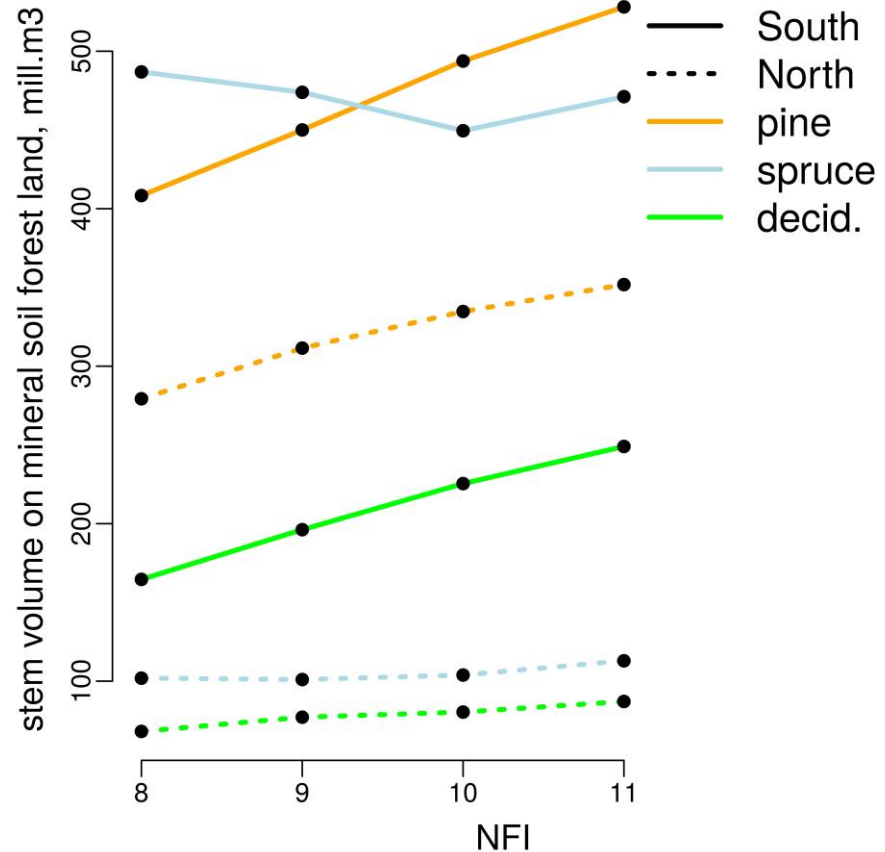
- Litter production rates p from experiments, monitoring, and longevity studies, e.g., how many needle cohorts at one time
 - pine stem w. bark
0.0052
 - pine foliage (needles)
0.245
 - birch foliage (leaves)
0.79
- Foliage biomass more important here, but less well known than stem biomass



Source of photograph: Luke/Erkki Oksanen

Biomass of living trees

- b and V from NFIs for mid-years of the inventory rotation
- V computed from tally trees
- b ratio of mean biomass and mean volume computed from sample trees
- linear interpolation



Source: loggings, logg

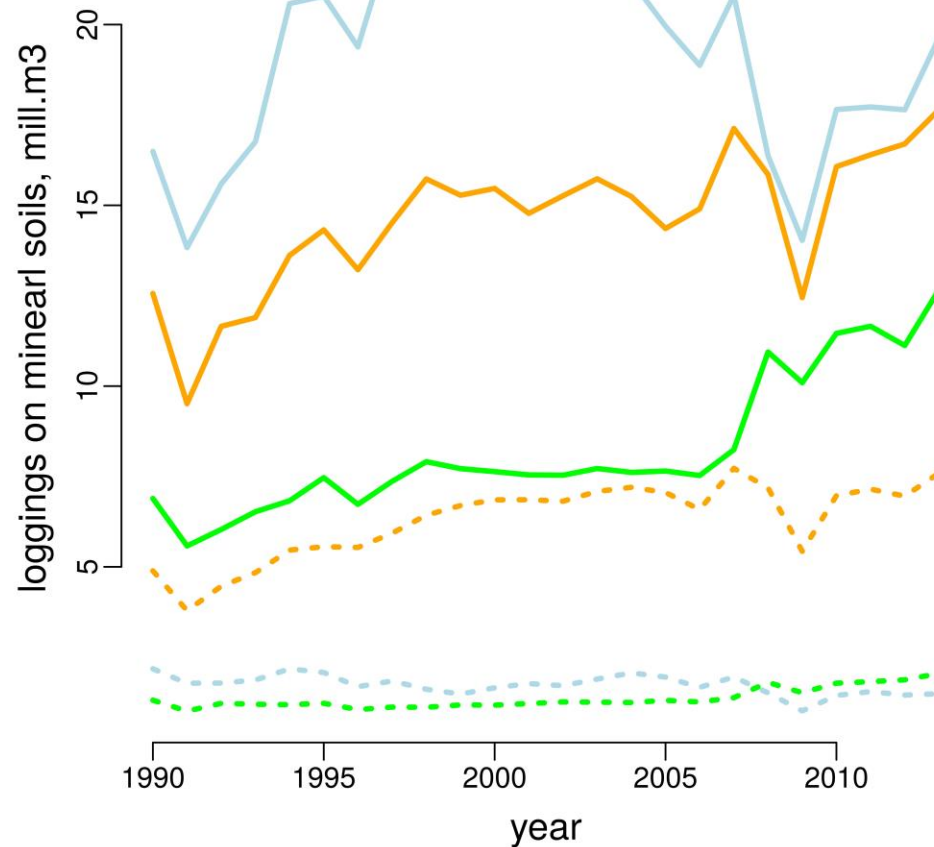
For biomass components other than stem, litter production rate $p=1$ (totally left to forest, except energy wood); p of stem is the waste wood ratio (again stem least important)



Source of photograph: Luke/Erkki Oksanen

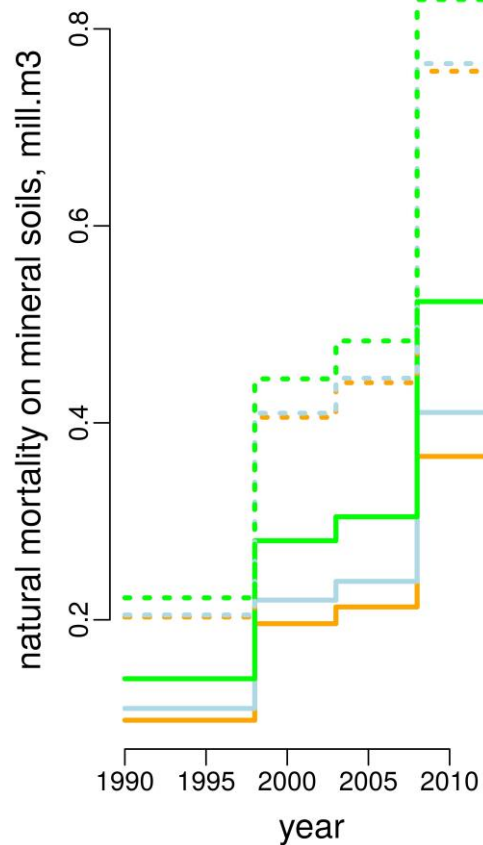
Logging volumes and biomass expansion

- V from annual statistics on commercial wood removals
- b estimated from permanent NFI sample plots: trees removed between two inventories



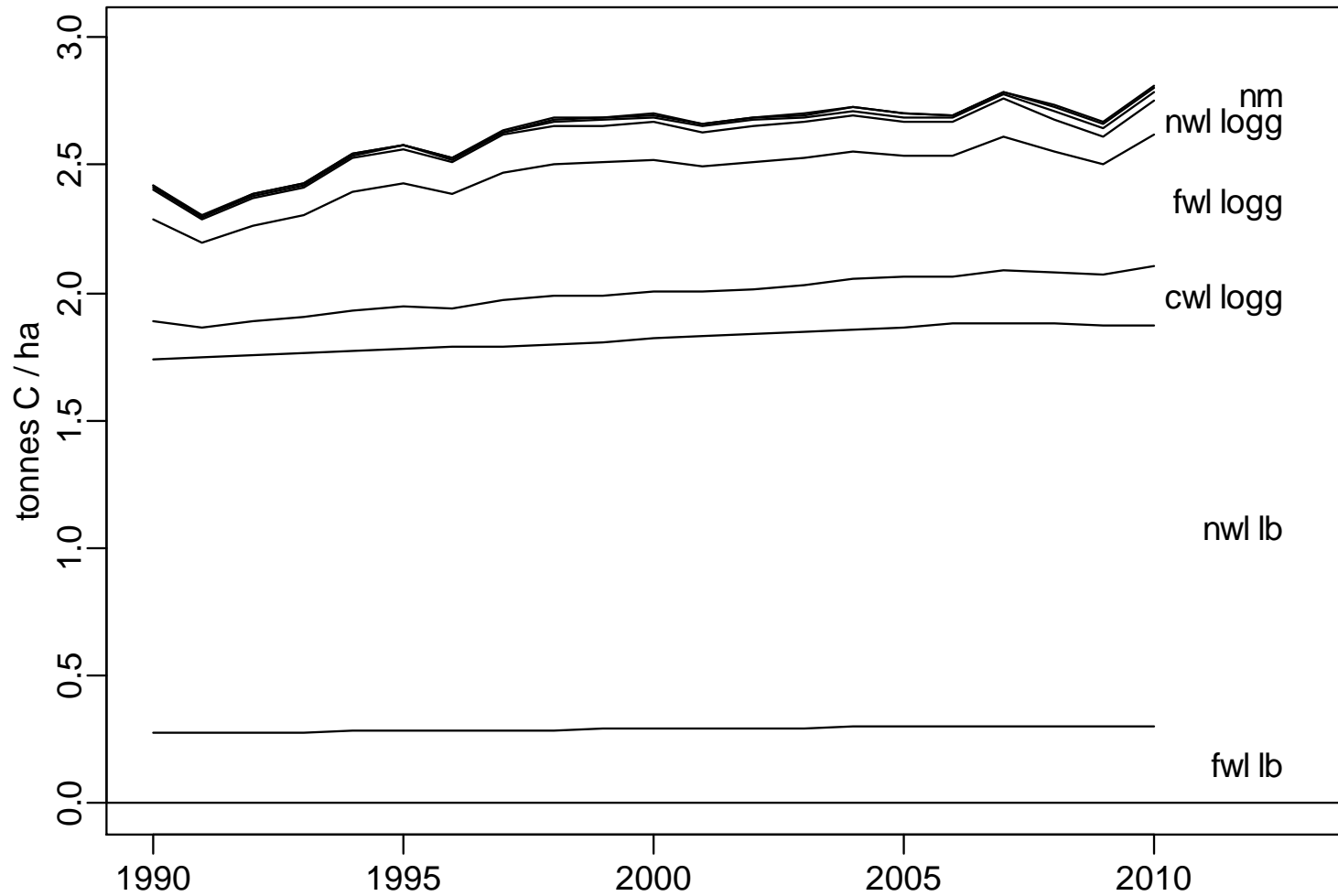
Source: natural mortality, nm

- $p=1$ for all components, b as for loggings
- V from various sources (constant within certain periods)



Source of photograph: Luke/Erkki Oksanen

Litter on mineral soils in South Finland



Sources of uncertainty

$$L_{t,g} = \sum_k \sum_{c,seg} L_{s,t,k,c} = \sum_k \sum_{c,seg} p_{s,k,c} b_{s,t,k,c} V_{s,t,k}$$

- NFI sampling : V_{lb} , V_{nm} , all b 's
- Possibly systematic error in logging statistics: V_{logg}
- Parameter uncertainty in biomass models: b 's
- Uncertainty in p 's

Lehtonen & Heikkinen (2015)

- simulate a large number of litter input series, whose variability and correlations reflect the uncertainty
- feed these to Yasso07, which can combine this with uncertainty of its own parameters to produce a distribution of soil carbon budgets reflecting the total uncertainty

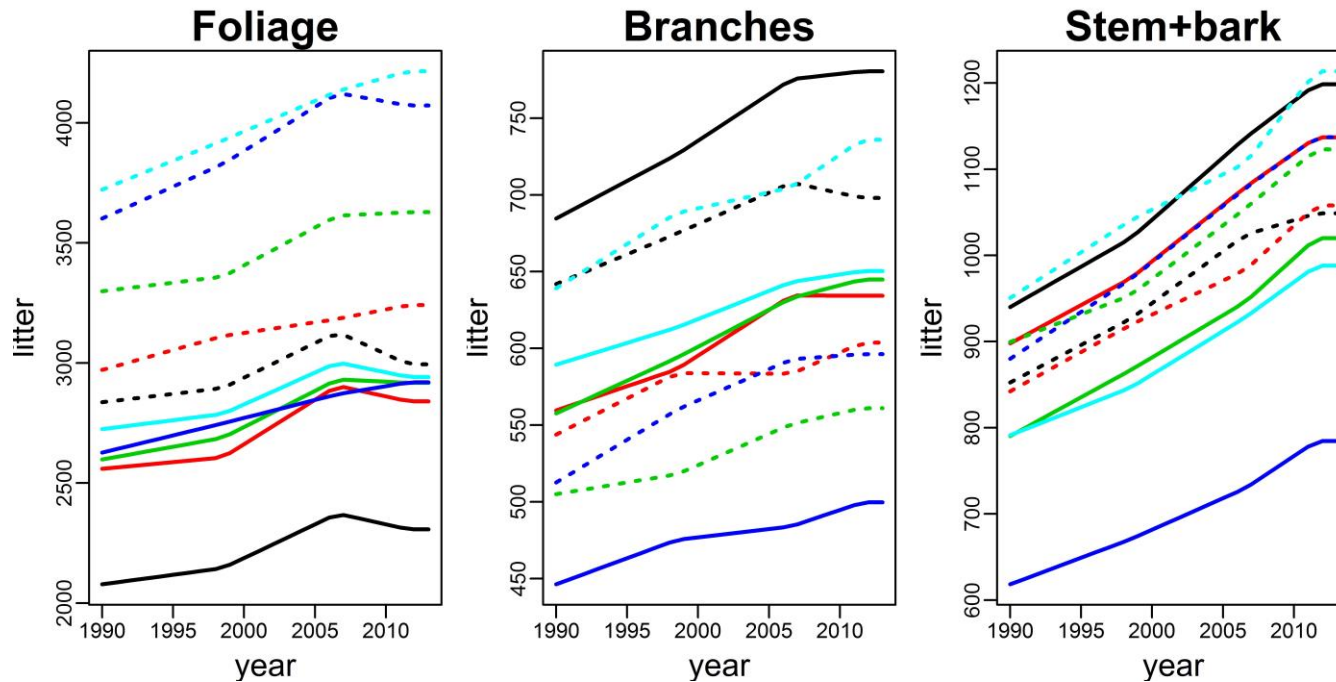
Strong and complex correlations

- Same sample of trees contributes to the b 's of all biomass components c for given s, t, k
- Same volume estimates for all c ...
- Same b 's for all t in nm and logg
- Same models behind the b 's for different s and t
- Negative correlations between volume estimates for different species

etc.

Illustration

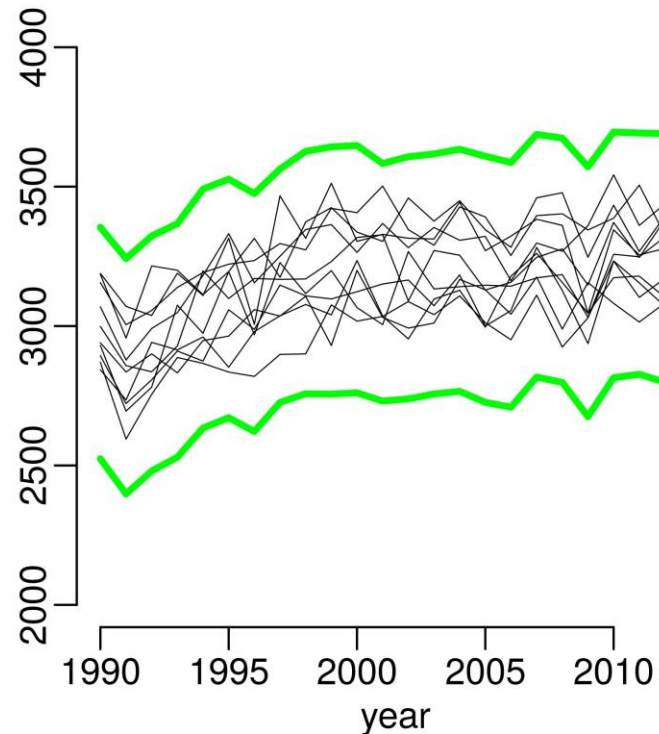
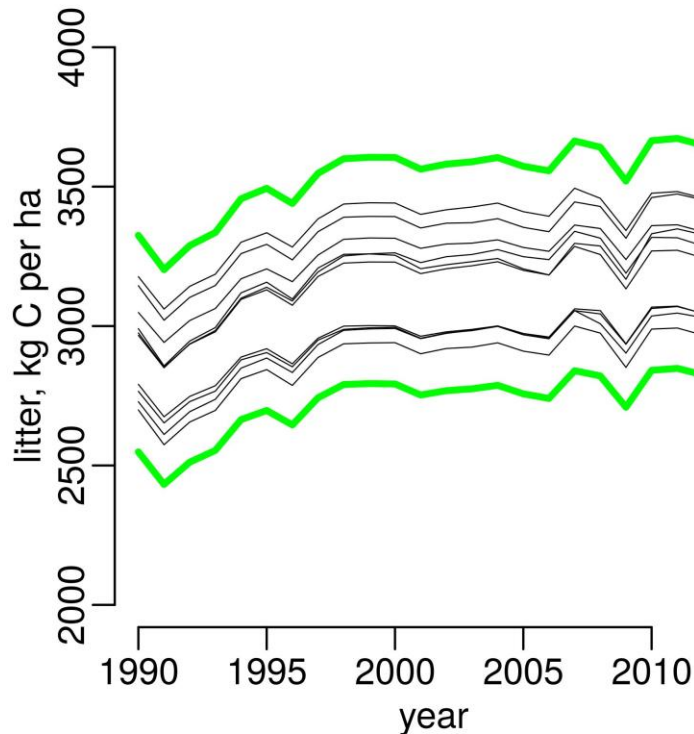
- 10 simulated series of litter input from above-ground biomass components of living pine trees in South Finland



- Strong temporal autocorrelations (same models and litter rates throughout the series)
- E.g. foliage and branches weakly correlated, because uncertainty in uncorrelated litter rates dominates

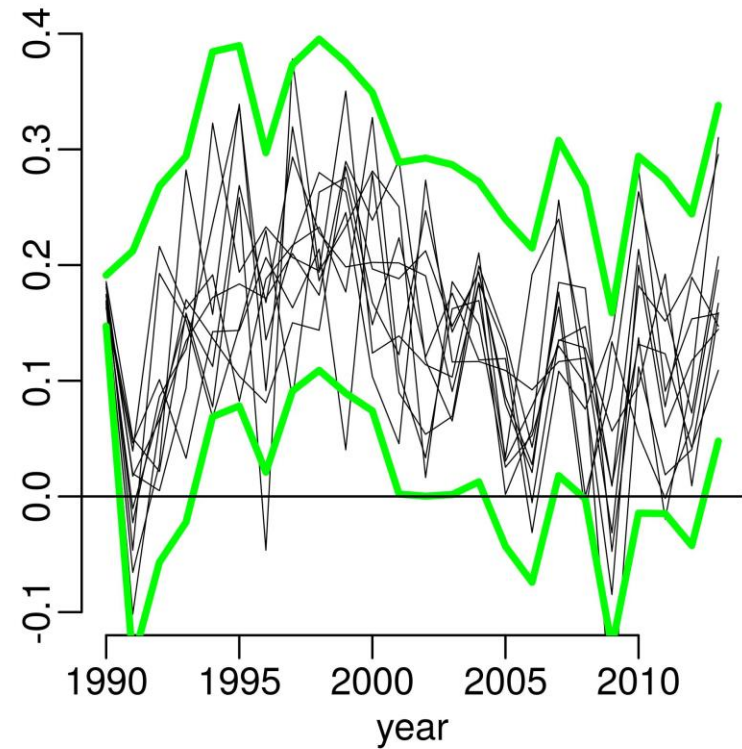
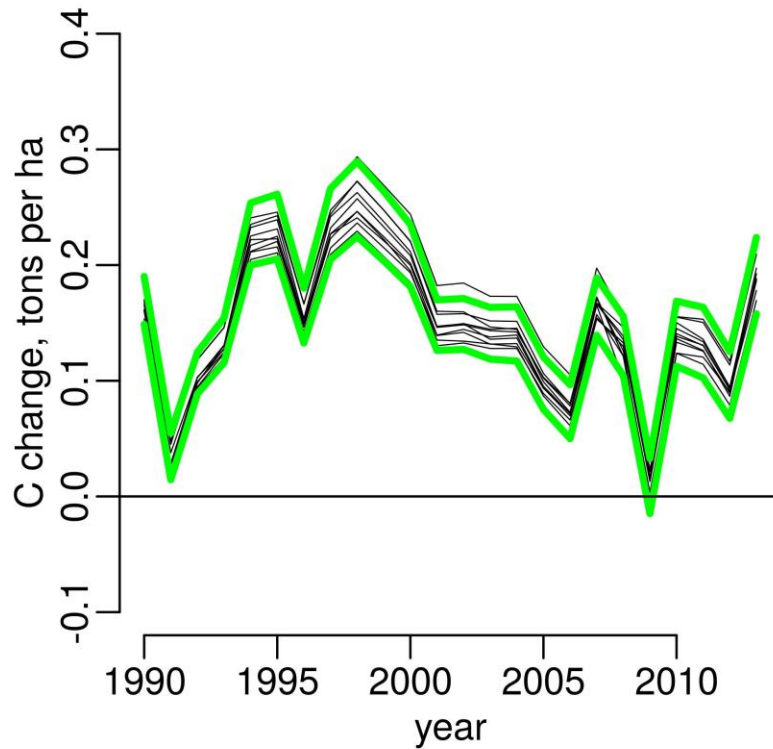
Total litter for South Finland mineral soils

10 simulated series (black) and confidence intervals (green), in the right, random noise with 5% rel.s.e. added to non-woody litter from living trees to account for unobserved year-to-year variation.



Soil carbon change from Yasso07

Using constant weather and litter series of previous slide



Discussion & conclusions

- Exact values for uncertainty not as important as identification of most influential / uncertain components (key categories)
- Other sources of uncertainty, difficult to quantify
 - representativeness of models
 - temporal variation in biomass allocation
 - etc.
- **Take-home message: In error propagation, proper handling of correlations** (here both between parameter estimates and between various model-predicted litter values) **often more essential than accurate estimates of standard errors of components.**

References

Ilvessalo, Y. 1923. Tutkimuksia yksityismetsien tilasta Hämeen läänin keskiosissa. Acta Forestalia Fennica 26.

IPCC 2000. Penman, J & al. (eds). *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA/IGES, Hayama, Japan.

IPCC 2006. Eggleston, H.S. & al. (eds). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. IGES, Japan.

Lehtonen, A. & Heikkinen, J. 2015. Uncertainty of upland soil carbon sink estimate for Finland. *Canadian Journal of Forest Research*, Just-IN. DOI [10.1139/cjfr-2015-0171](https://doi.org/10.1139/cjfr-2015-0171).

Repola, J. 2008. Biomass equations for birch in Finland. *Silva Fennica* 42: 605-624.

Repola, J. 2009. Biomass equations for Scots pine and Norway spruce in Finland. *Silva Fennica* 43: 625-647.

Ståhl, G., Heikkinen, J., Petersson, H., Repola, J. & Holm, S. 2014. Sample-based estimation of greenhouse gas emissions from forests - a new approach to account for both sampling and model errors. *Forest Science* 60: 3-13.

Kiitos!