



HELSINGIN YLIOPISTO
HELSINGFORS UNIVERSITET
UNIVERSITY OF HELSINKI

Prosessimallit ja metsäsuunnittelu: kokeellisen ja teoriapohjaisen tiedon yhdistäminen kasvu- ja tuotosmalleissa

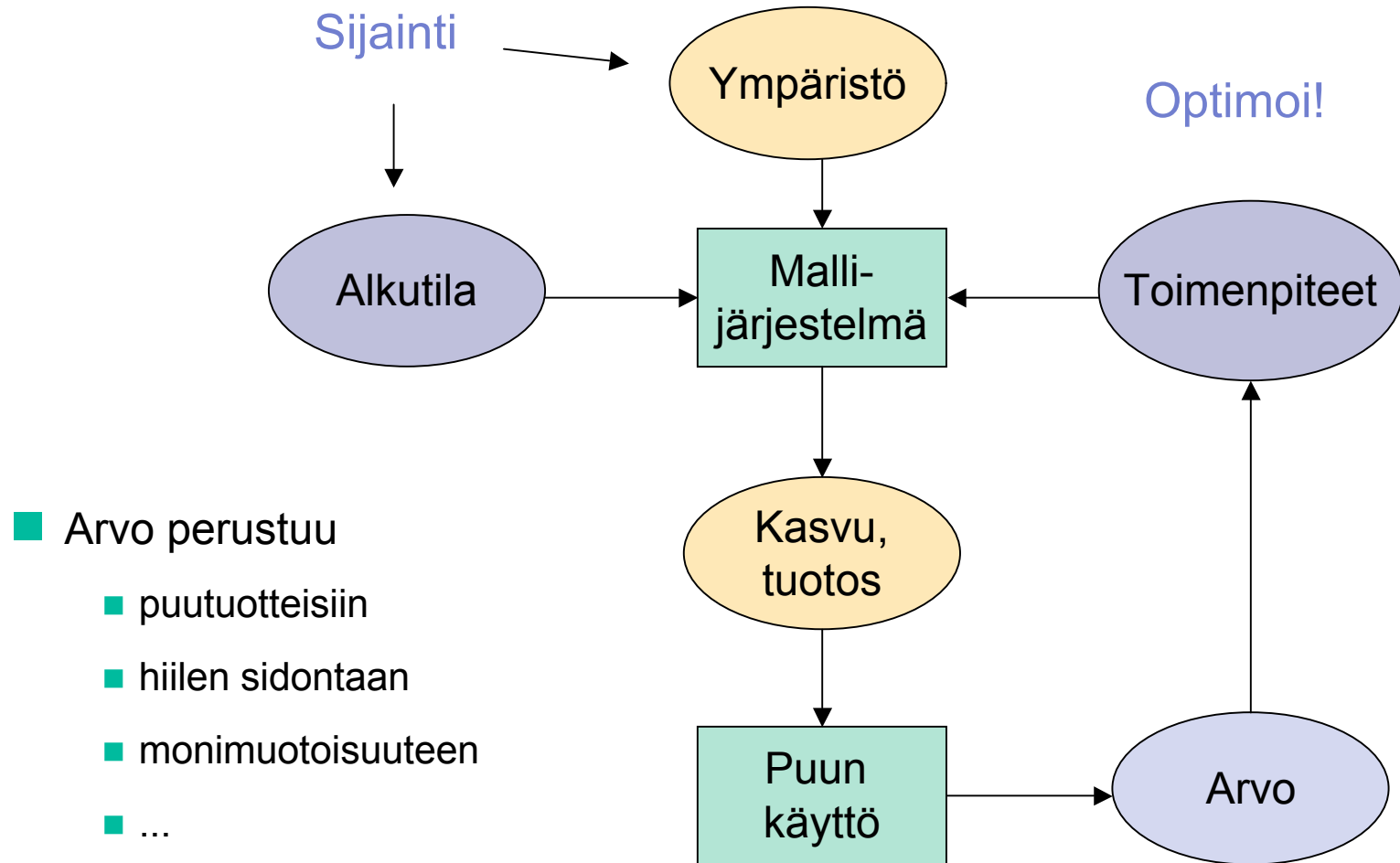
Annikki Mäkelä

Metsäekologian laitos

SIMO loppuseminaari 2.11.2007



Metsäsuunnittelu muuttuvassa ympäristössä





Kasvumallit

Prosessimallit

elintoiminnot
ympäristötekijät
metsikkötaso
lyhyt / pitkä aika

tuotoskyky

arvo?
liikaa syöttötietoja
epävarmuus

Empiiriset mallit

kasvu ja laatu
kiertoaika
kokojakaumat

metsän rakenne
hoitotoimet

muuttuva tuotoskyky?
aineistosidonnainen

Voidaanko molempia yhdistämällä parantaa kasvun ja
tuotoksen ennusteita / metsäsuunnittelua muuttuvassa
ympäristössä?



Vaihtoehtoja

- Hybridimallit
- Tiivistelmämallit
- Ympäristötekijät selittäjinä empiirisissä malleissa
- Prosessiparametrien johtaminen systeemitason aineistosta

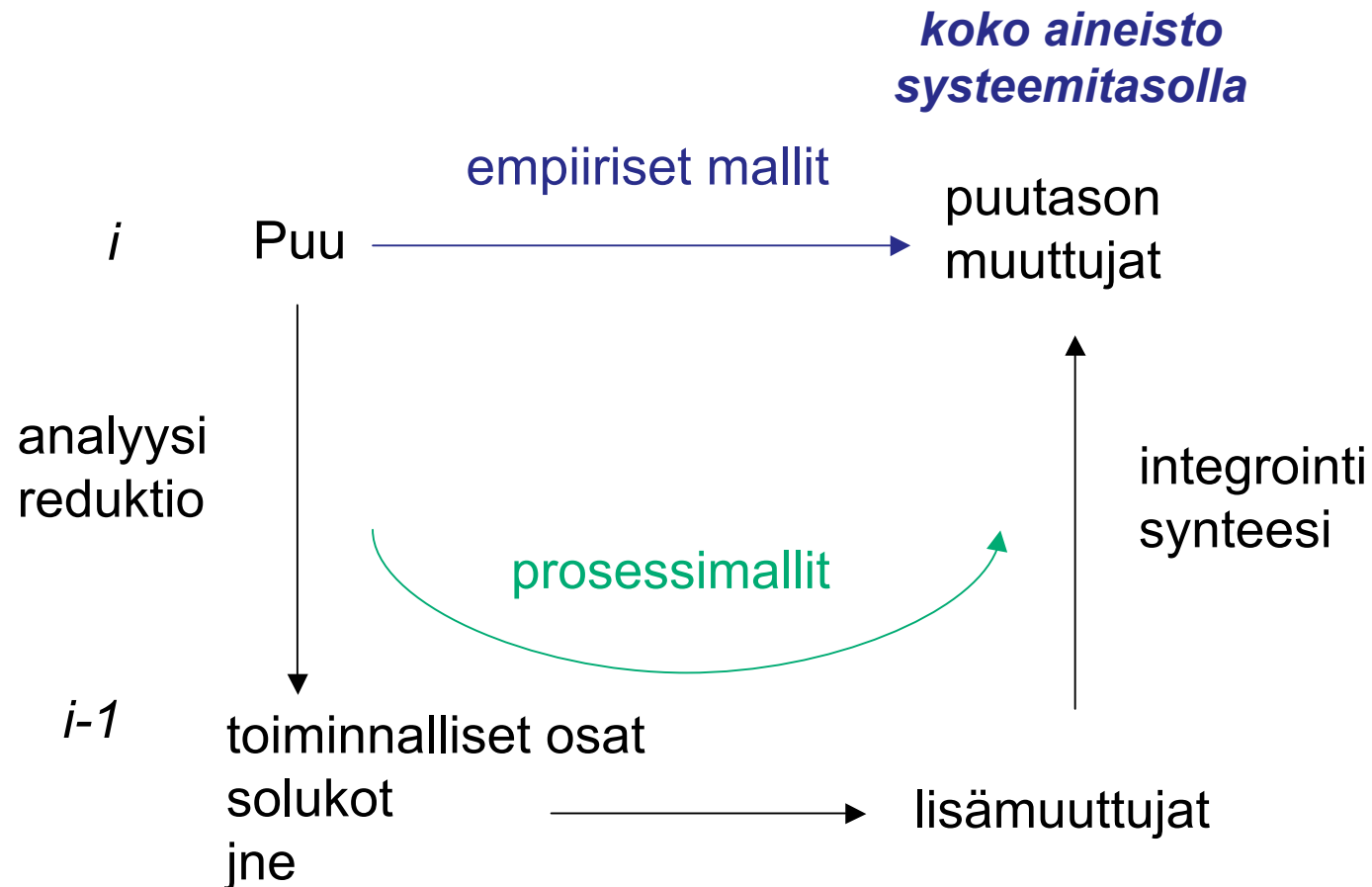


Hybridimalli?

- HYBRID: Thing made by combining two different elements. A mixture. (The New Oxford Dictionary of English)
- HYBRIDI kasvu- ja tuotosmalli yhdistää prosessielementtejä kokeellisiin elementteihin
- Prosessielementti / Empiirinen elementti?



Processielementti / Empiirinen elementti?



*laadinta-aineisto analyysitasolla,
testiaineisto systeemitasolla*



Hybridimalli?

- HYBRID: Thing made by combining two different elements. A mixture. (The New Oxford Dictionary of English)
- HYBRIDI kasvu- ja tuotosmalli yhdistää prosessielementtejä kokeellisiin elementteihin
- Prosessielementti / Empiirinen elementti?
 - Empiirinen malli jossa prosessipohjainen **osamalli**
 - Prosessimalli jossa empiirinen **osamalli** systeemitasolla



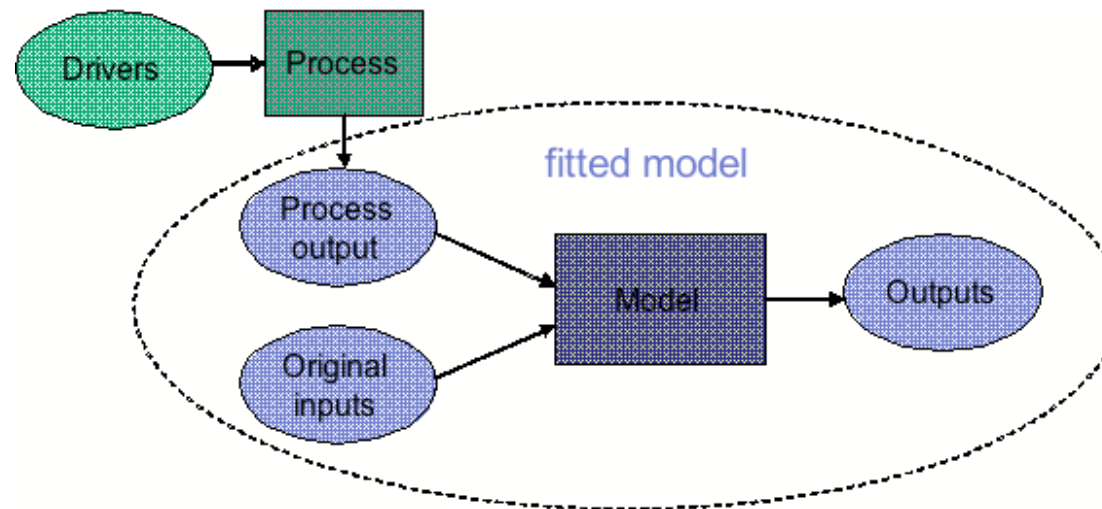
-
- ```
graph TD; Sijainti[Sijainti] --> Alkutila[Alkutila]; Alkutila --> Malli[Malli-järjestelmä]; Ymparisto[Ympäristö] --> Malli; Toimenpiteet[Toimenpiteet] --> Malli; Malli --> Kasvu[Kasvu, tuotos]; Kasvu --> Puun_kaytto[Puun käyttö]; Puun_kaytto --> Arvo[Arvo]; Arvo --> Toimenpiteet; Toimenpiteet --> Ymparisto; Ymparisto --> Sijainti;
```
- The flowchart illustrates a forest management system model. It begins with 'Sijainti' (Location) in a blue oval, which points to 'Alkutila' (Initial state) in a blue oval. 'Alkutila' points to 'Malli-järjestelmä' (Model system) in a green rectangle. 'Ympäristö' (Environment) in an orange oval also points to 'Malli-järjestelmä'. 'Toimenpiteet' (Measures) in a blue oval points to 'Malli-järjestelmä'. From 'Malli-järjestelmä', the flow goes to 'Kasvu, tuotos' (Growth, yield) in an orange oval, then to 'Puun käyttö' (Wood use) in a green rectangle, and finally to 'Arvo' (Value) in a blue oval. 'Arvo' points to 'Toimenpiteet', which in turn points to 'Ympäristö'. 'Ympäristö' also points back to 'Sijainti', completing a cycle.





## Empirialähtöiset hybridimallit: **Esimerkkejä**

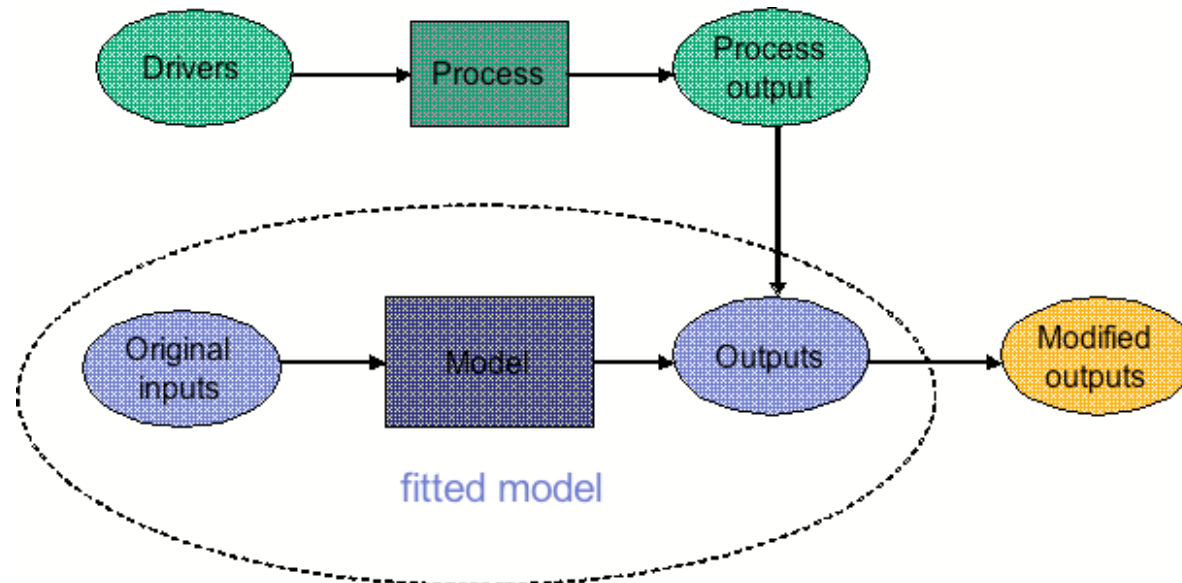
- MENETELMÄ 1: Uusia syötteitä mekanistisesta osamallista
- CanSPBL(water) (Pinjov et al. 2006, For Ecol Manage 236:37-46)
- Vesitasemalli liitettiin tilastolliseen kasvumalliin, kasvumallin parametrit sovitettiin





## Empirialähtöiset hybridimallit: **Esimerkkejä**

- MENETELMÄ 2: Mallin ennusteita / muuttujia modifioidaan mekanistisen mallin perusteella
- MOTTI ja ilmastonmuutos (Matala et al. 2006, Ecol Mod 199:39-52)
- Tilavuuskasvun suhteellinen muutos FinFor-mallista saatujen muunnosfunktioiden perusteella





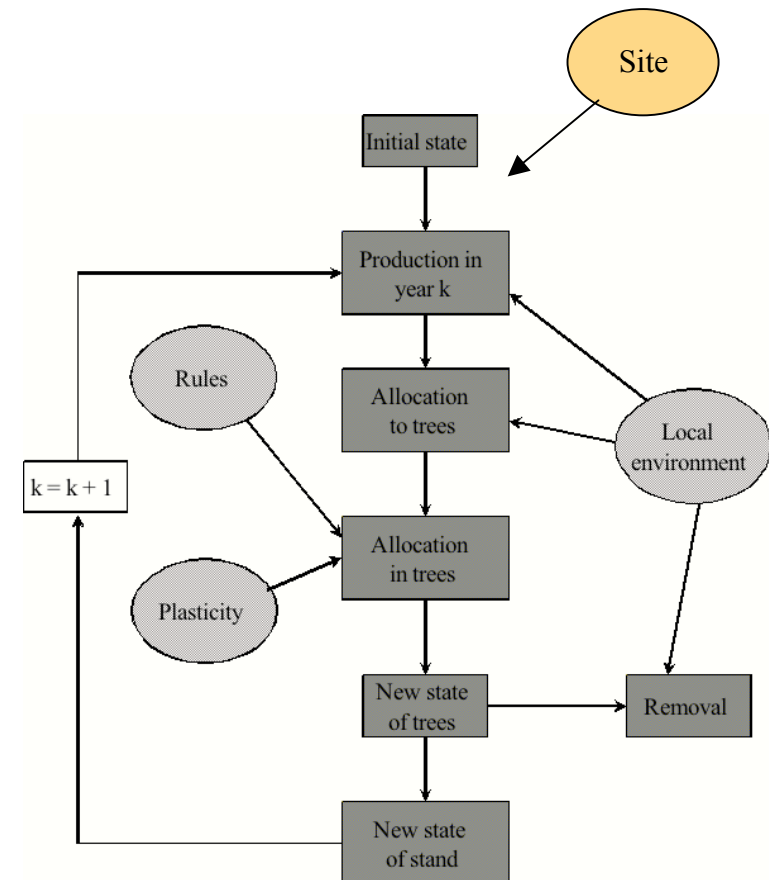
## Prosessilähtöiset hybridimallit

### ■ Fotosynteesituotos

- ajaa kasvua
- riippuu ympäristöstä
- tunnetaan melko hyvin  
(Eddy covariance!)

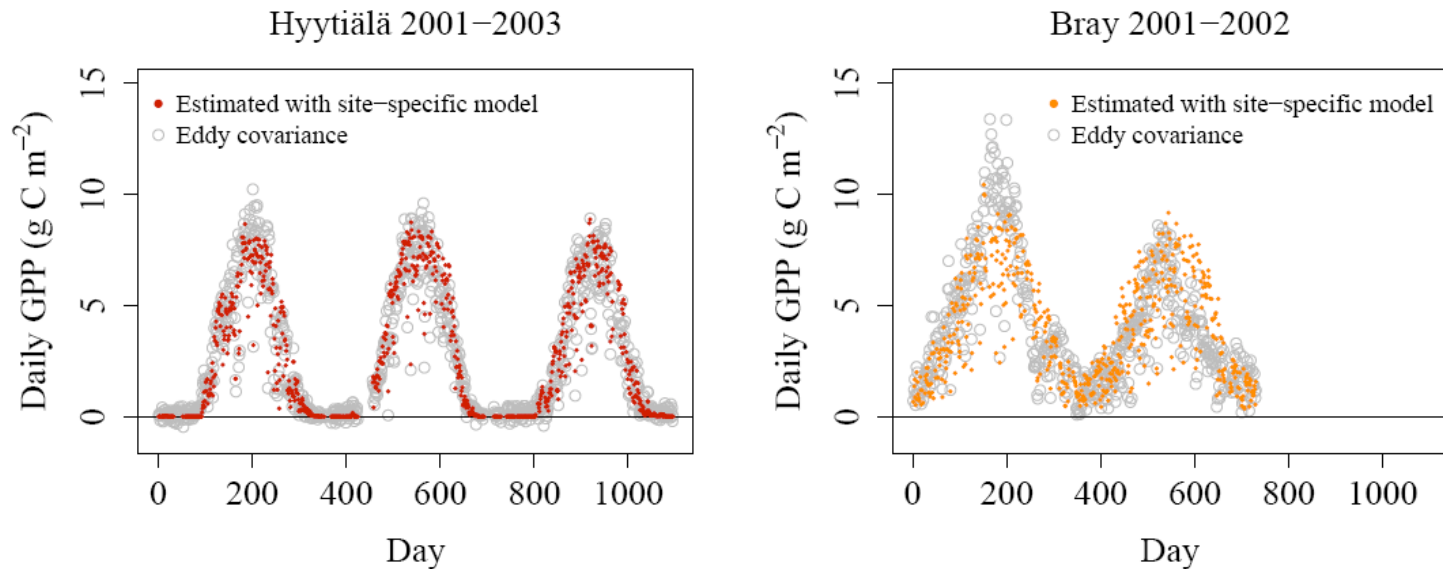
### ■ Empiiriset osamallit hiilen jakautumiseen

- puiden välille
- puiden sisällä





## Prosessilähtöiset hybridimallit: **Fotosynteesi** **EC-mittauksista**



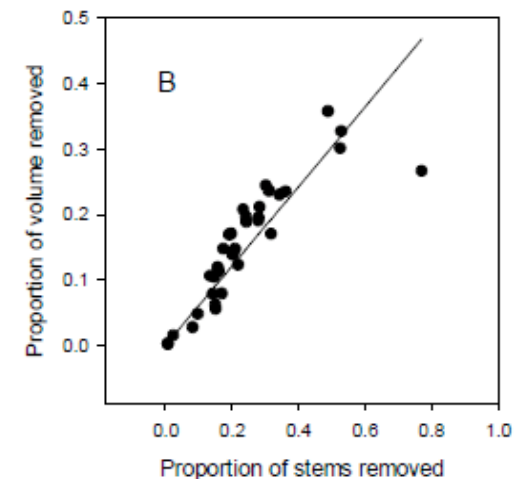
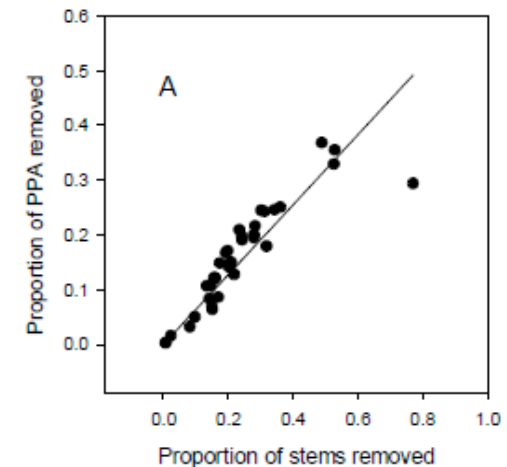
Kuva: Minna Pulkkinen

- **Esimerkki** (Mäkelä et al. in press, GCB): Ekosysteemin bruttoprimäärituotoksen ennustaminen päivittäisen lämpötilan, säteilyn, ilman kosteuden ja lehtialan perusteella eri suuralueilla



## Prosessilähtöiset hybridimallit : Esimerkkejä

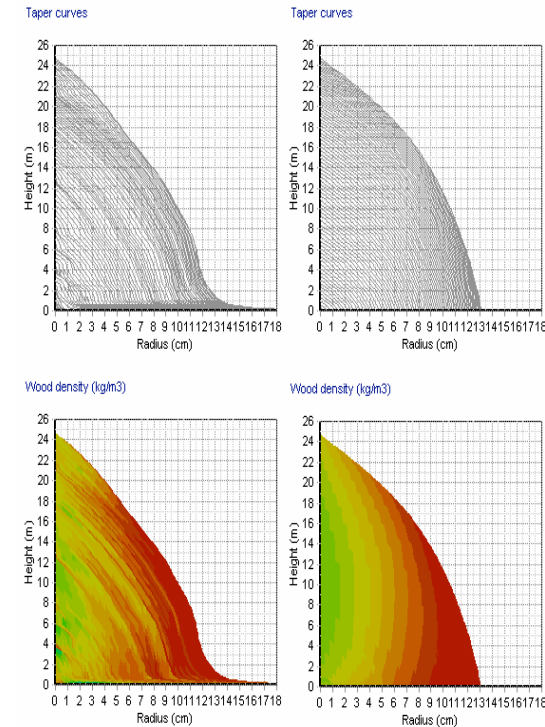
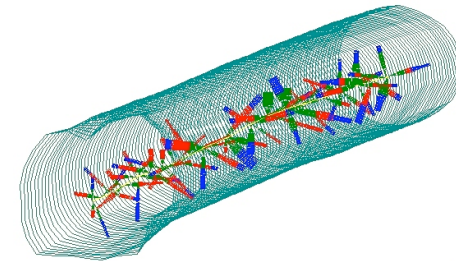
- 3-PG (Landsberg and Waring 1997)
  - Hiilen sidonta kuukausittain toimivasta NPP-mallista
  - Keskipuu
  - Kasvun allokaatio puiden sisällä:
    - Kokeellinen allometriaan perustuva osamalli
  - Kasvun allokaatio puiden välillä (metsikön rakenne):
    - Kokojakauma ja sen vaikutus poistuman keskokokoon kokeellisella osamallilla





# Prosessilähtöiset hybridimallit : Esimerkkejä

- PipeQual (Mäkelä and Mäkinen 2003, For Ecol Manage)
- Fotosynteesituotos tiivistelmämallista
- Kasvun jakautuminen puiden välillä:
  - kilpailu ja rakenteen sopeutuminen
- Kavun jakautuminen puiden sisällä:
  - rakenteelliset säännöt (teoriaperusta, kokeelliset parametrit)
- Kokeelliset osamallit
  - kiehkuran oksa-ppa:sta yksittäiset oksat
  - puuaineen ominaisuudet lustoissa (Mäkinen 2007)





# Tiivistelmämallit

## ■ Perustelu:

- Prosessimalleissa liikaa syöttötietoja käytännön kannalta
- Usein kuitenkin vain muutamat syötteet / syötekombinaatiot relevantteja systeemin toiminnalle
- Tiivistelmämalli sisältää relevantin tiedon mutta on helpompi käyttää

## ■ Menetelmä:

- Redusoi mallin muoto => parametrien ja syötteiden lkm
  - simuloimalla ("mallin malli")
  - johtamalla matemaattisesti



# Tiivistelmämallit: Esimerkkejä

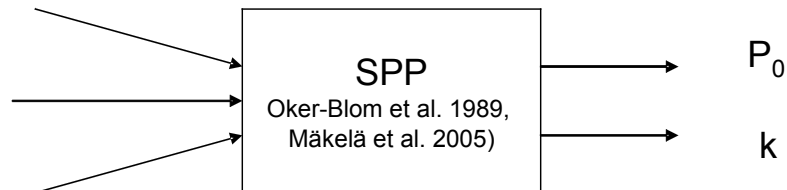
■  $GPP = P_0 (1 - \exp(-k LAI))$

environment

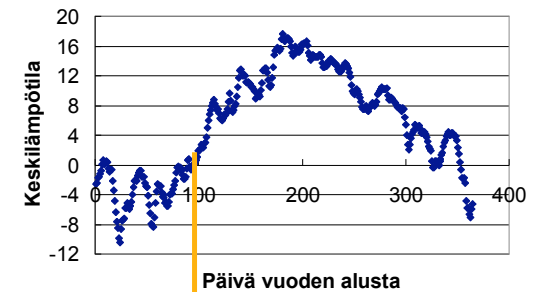
- weather
- (light, temp, VPD, rain)

stand structure

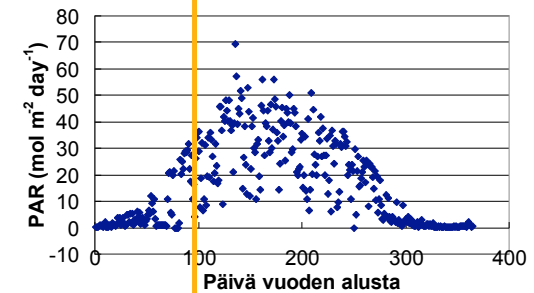
- grouping into crowns
  - clustering
- Duursma and  
Mäkelä 2007



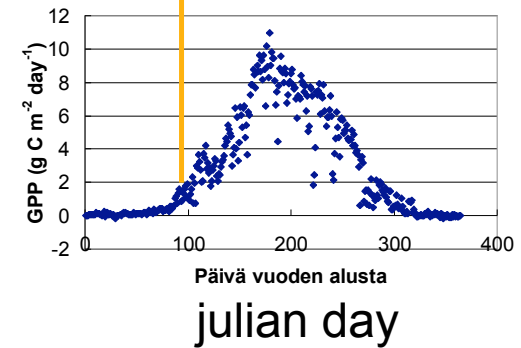
T



PAR



GPP



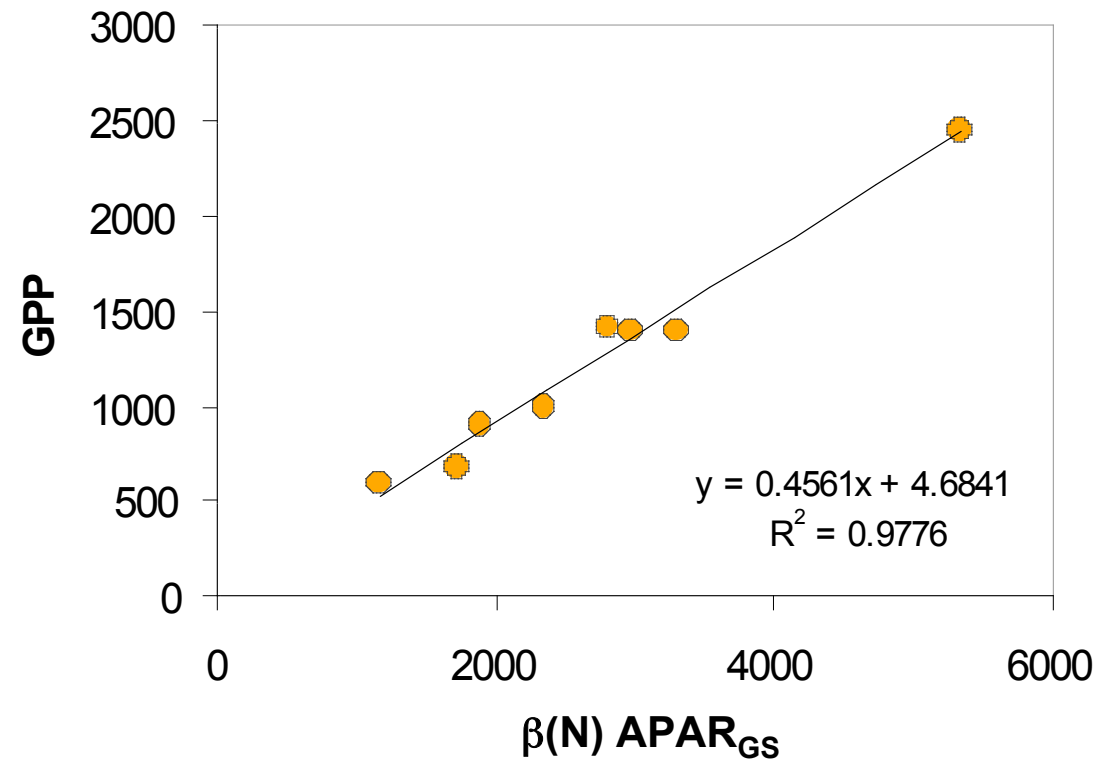




## Tiivistelmämallit: **Esimerkkejä**

*Vuotuisen tuotoksen ennustaminen (in prep.)*

Eddy-paikat Euroopasta, Amerikasta, Australiasta





## Tiivistelmämallit: Esimerkkejä

- Lämpimän ja pituuden kasvun ennustemallit prosessipohjaisen tarkastelun perusteella (PipeStem /CROBAS) (Valentine and Mäkelä 2005, Tree Phys.)

$$\frac{dH}{dt} = g_1(H - H_c) \left[ \frac{g_2 - (g_4 - 1)H_c - H}{g_3 + (g_5 - 1)H_c + H} \right]$$

$$\frac{dH_c}{dt} = S(C) \frac{dH}{dt} \quad G_{t_2} = G_{t_1} + \beta_3 [L_{c,t_2}^2 - (H_{t_1} - H_{c,t_2})^2]$$

- Parametrit ovat metabolisten ja rakenteellisten parametrien yhdistelmiä
- Parametrit voidaan estimoida määritelmiensä perusteella mutta myös sovittamalla aineistoon ( $H$ ,  $H_c$  and  $D_{13}$ )



## Ympäristötekijät selittäjinä empiirisissä malleissa

- Kokeellisia kasvumalleja muuttujille  $D_{13}$ ,  $H$ ,  $ym$ , joissa ympäristömuuttujat selittäjinä, esim:

$$\Delta D = \Delta D_{\max} f_1(T) f_2(I)$$

("Gap models", JaBoWa Janak, Botkin and Wallis 1972)

- **Tavoite:** mallit soveltuvat eri alueille ja erilaisiin kilpailuasemiin

- Puutason mallit, mutta eroavat prosessimalleista:
  - ei massataseita
  - sekä laadinta- että testianeistot systeemitasolla



# Ympäristötekijät selittäjinä empiirisissä malleissa : **Esimerkkejä**

## SORTIE-BC

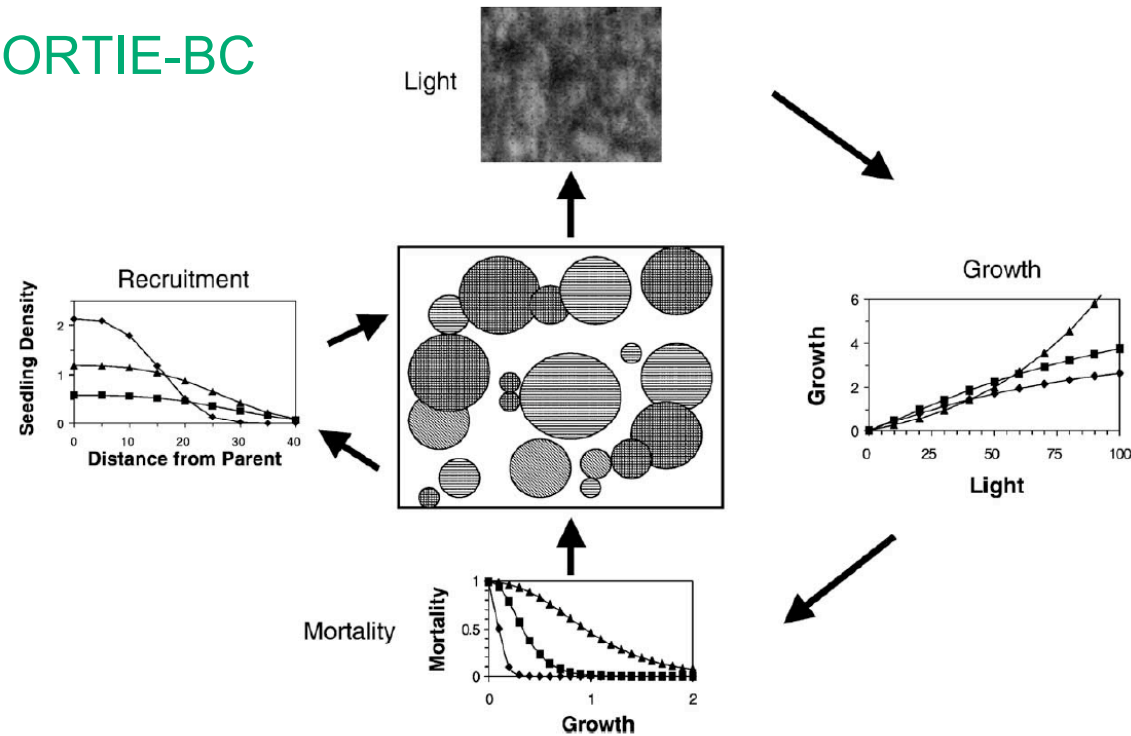


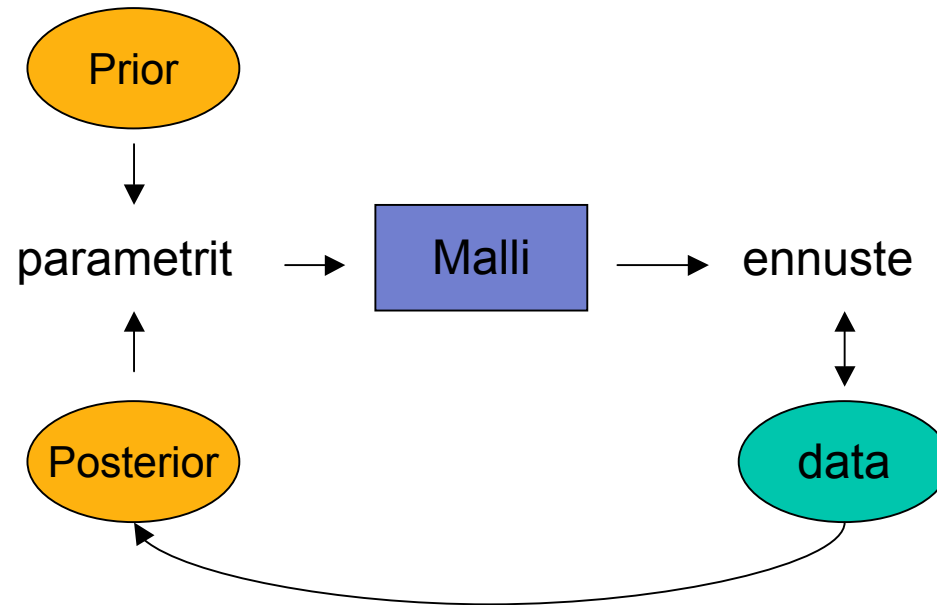
Fig. 1. Schematic diagram of the SORTIE-BC model for a hypothetical forest with three species. The spatial distribution of trees in the forests (central panel) determines both the spatial distribution of light (Light Submodel) and the spatial distribution of new seedlings (Recruitment Submodel). Spatial variation in light levels determines growth (Growth Submodel), and growth rates are used to predict mortality rates (Mortality Submodel), which in turn determine the distribution of trees at the beginning of the next time step.

*K.D. Coates et al./Forest Ecology and Management 186 (2003) 297–310*

Pacala, S.W., Canham, C.D., Silander Jr., J.A., 1993. Can. J. For. Res. 23, 1980–1988.



## Prosessiparametrien johtaminen systeemitason aineistosta



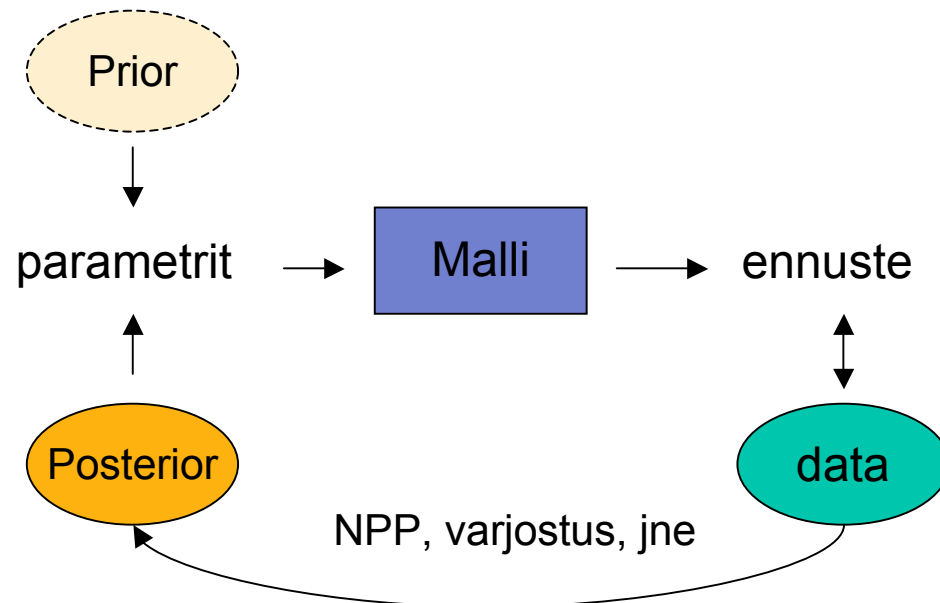
- Yrityksen ja erehdyksen menetelmä
- Kalibrointi
- "Inversio-ongelma"
- Bayes, Monte Carlo



# Prosessiparametrien johtaminen systeemitason aineistosta: **Esimerkkejä**

## ■ FORECAST (Kimmins et al. 1999)

- Tavoite: Hyödyntää "biologista historiatietoa" prosessimallissa
- "Hybridilähestymistapa" (Kimmins 1999) – mutta ei tarkkaan ottaen "hybridimalli"
- Ääriesimerkki prosessiparametrien sovittamisesta ennusteen perusteella – "Inversio-ogelman" ratkaisu osa simulointia





## Prosessiparametrien johtaminen systeemitason aineistosta: **Esimerkkejä**

- Monte Carlo -menetelmät parametrien estimoinnissa
  - CROBAS (Mäkelä 1988, *Scand. J. For Res.*)
  
- Bayesin teoreeman sovellukset ja MCMC prosessimallin parametrien estimoinnissa ja epävarmuusanalyysissa
  - PipeStem (Green et al. 1999. *Forest Science* 45:528-538)
  - Neljä metsänkasvumallia (Van Oijen et al. *Tree Phys* 25:915–927)



## Yhteenveto 1/2

- Kasvu- ja tuotosmallit tarvitsevat
  - ympäristötekijöitä syöttötietoina
  - ennustemuuttujia, jotka hyödynnettävissä talouslaskelmissa ja päätöksenteossa
- Empiriapohjaiset hybridimallit
  - sovitettut osamallit: kyseessä tavallista monimutkaisempi muuttujanvaihdos
  - muunnoskertoimet: edellyttää käytetyn prosessimallin luotettavuuden arviointia => kuten prosessimallien käyttö yleensä
- Prosessipohjaiset hybridimallit
  - hiilitase yhdistettynä kokeellisiin rakenteen säännönmukaisuuksiin on robusti vaihtoehto
- Tiivistelmämallit
  - prosessitiedosta johdetaan suhteellisen yksinkertaisia malleja, jotka parametroitavissa ja kvantifioitavissa käyttökelpoisten mittausten perusteella





## Yhteenveto 2/2

- Ympäristötekijät selittäjinä empiirisissä malleissa
  - työläämpi tapa kuin (1) tavalliset empiiriset tai (2) prosessipohjaiset mallit, mutta lupaavia tuloksia etenkin kilpailun kuvauksessa
- Systeemitason aineistojen käyttö prosessien parametroinnissa
  - tämän menetelmän systemaattinen käyttöönotto on avain, kun halutaan hyödyntää kokeellisia aineistoja ja prosessimalleja
  - mahdollisuus kasvumallien uuden sukupolven syntyyn siten että empiirinen ja prosessipohjainen tieto ja aineistojen käsittelyn menetelmät yhdistyvät
- Riippumatta valitusta menetelmästä mallitus yksin ei voi ratkaista epävarman tulevaisuuden ennustamista – biologiset mittaukset ja niiden tulkinta avainasemassa