

A world map showing temperature anomalies in 1950. The map uses a color scale from blue (-2°C) to red (2°C). A semi-transparent white box is overlaid on the map, containing the title and author information. A vertical color scale legend is on the left side of the map, labeled with 2°, 1°, 0° C, -1°, and -2°. The year '1950' is printed at the bottom of the map.

# Hospodárska úprava lesov

v kontexte klimatických zmien



**Michal Bošela**

Katedra plánovania lesných zdrojov a  
informatiky

1950

# Obsah

Klimatické zmeny a jej dopady

Mitigačný potenciál lesov

Reakcie drevín na meniace sa podmienky

Vzťahy v lesných ekosystémoch v podmienkach meniacej sa klímy (aj v kontexte manažmentu lesa)

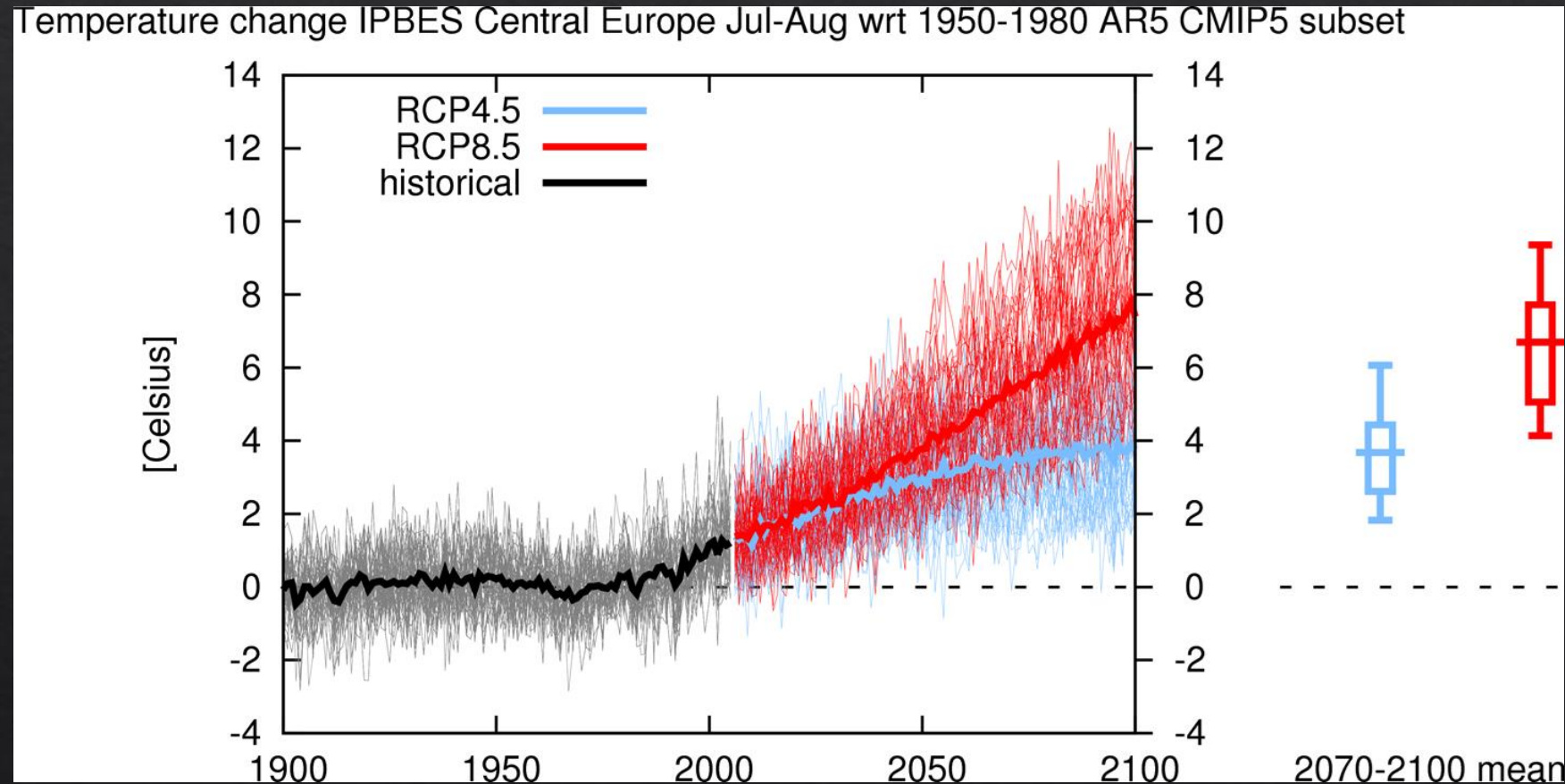
Hospodárska úprava lesov – klimaticky inteligentný manažment

# Rapidly increasing concentration of CO<sub>2</sub> in the atmosphere



# Očakávaná klíma v budúcnosti?

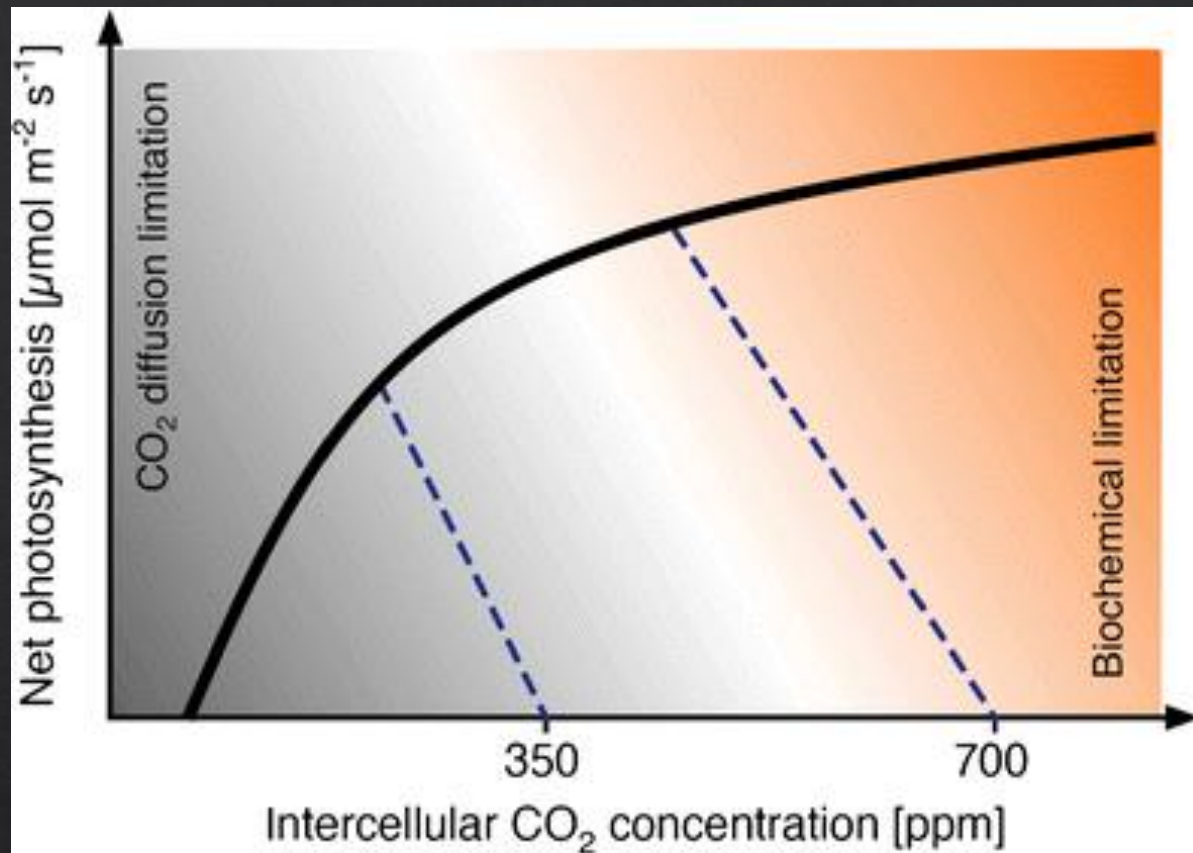
- ◇ RCP 8.5 – žiadna aktivita - BAU
  - ◇ Zvýšenie emisií v 21. storočí
- ◇ RCP 4.5 – EU Bioenergia
  - ◇ Vrchol 2040 a potom pokles
- ◇ RCP 6.0
  - ◇ Vrchol 2080 potom pokles
- ◇ RCP 2.6 – Globálna bioenergia
  - ◇ Vrchol 2010-2020 potom pokles



Priamy vplyv



Nepriamy vplyv



sucho

výchrice

biotickí škodcovia

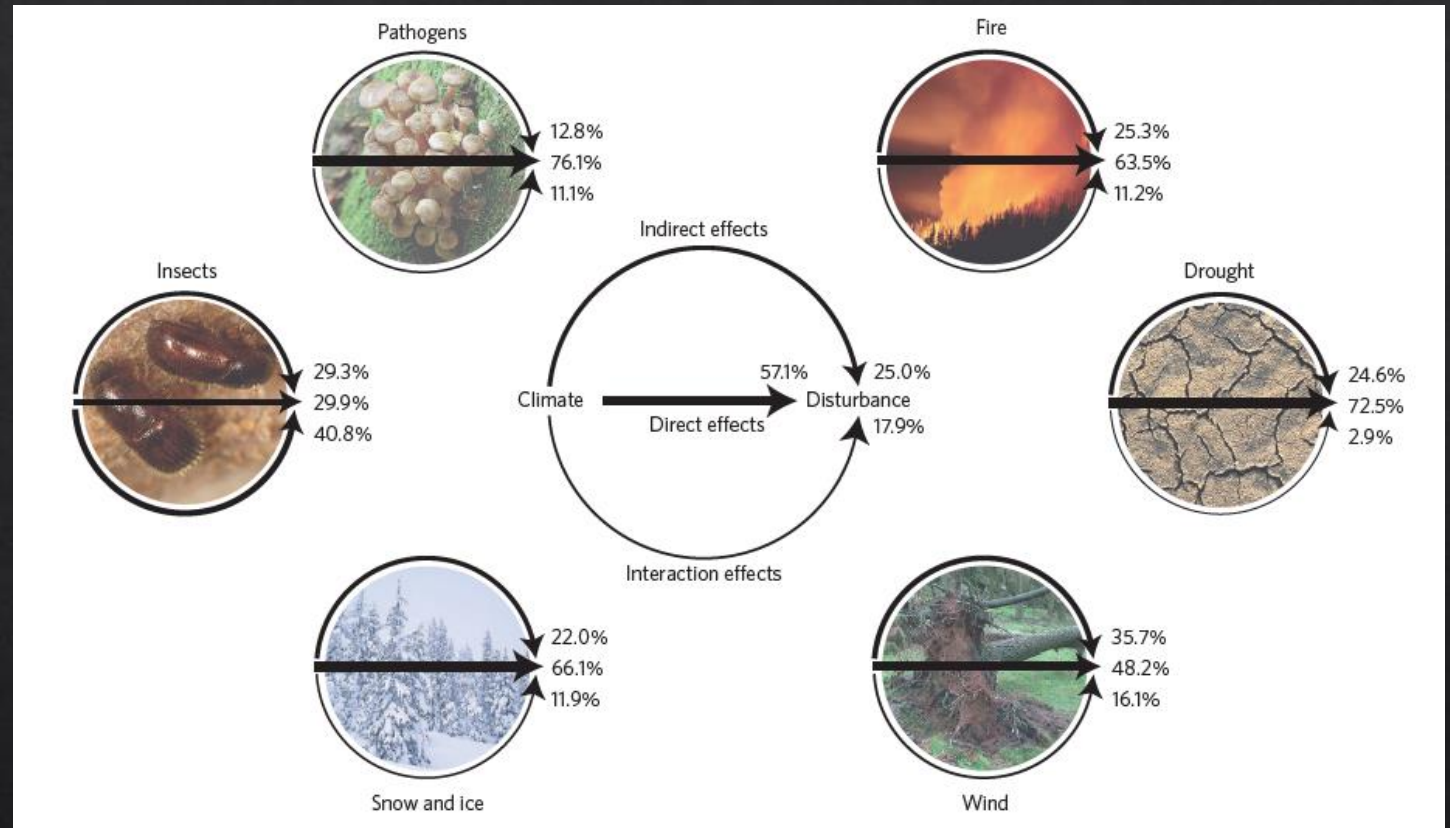
požiare



# Disturbancie v lesoch a klimatická zmena

Seidl et al. 2017 in *Nature Climate Change*

- **Teplejšia a suchšia** klíma zlepšuje podmienky pre výskyt požiarov, sucha a gradáciu hmyzích škodcov
- **Teplejšia a zároveň vlhkejšia** klíma zvyšuje disturbancie vetrom a patogénmi
- **Interakcie** medzi škodlivými činiteľmi ešte zvyšujú pravdepodobnosť výskytu disturbancií
- Očakáva sa, že zmeny v disturbanciách budú najvýraznejšie v **ihličnatých lesoch a lesoch boreálneho pásma**



Akú rolu v tom hrajú lesy a  
lesníctvo?

# Adaptácia na a mitigácia dopadov klimatických zmien

Aktivita človeka

Koncentrácia GHG

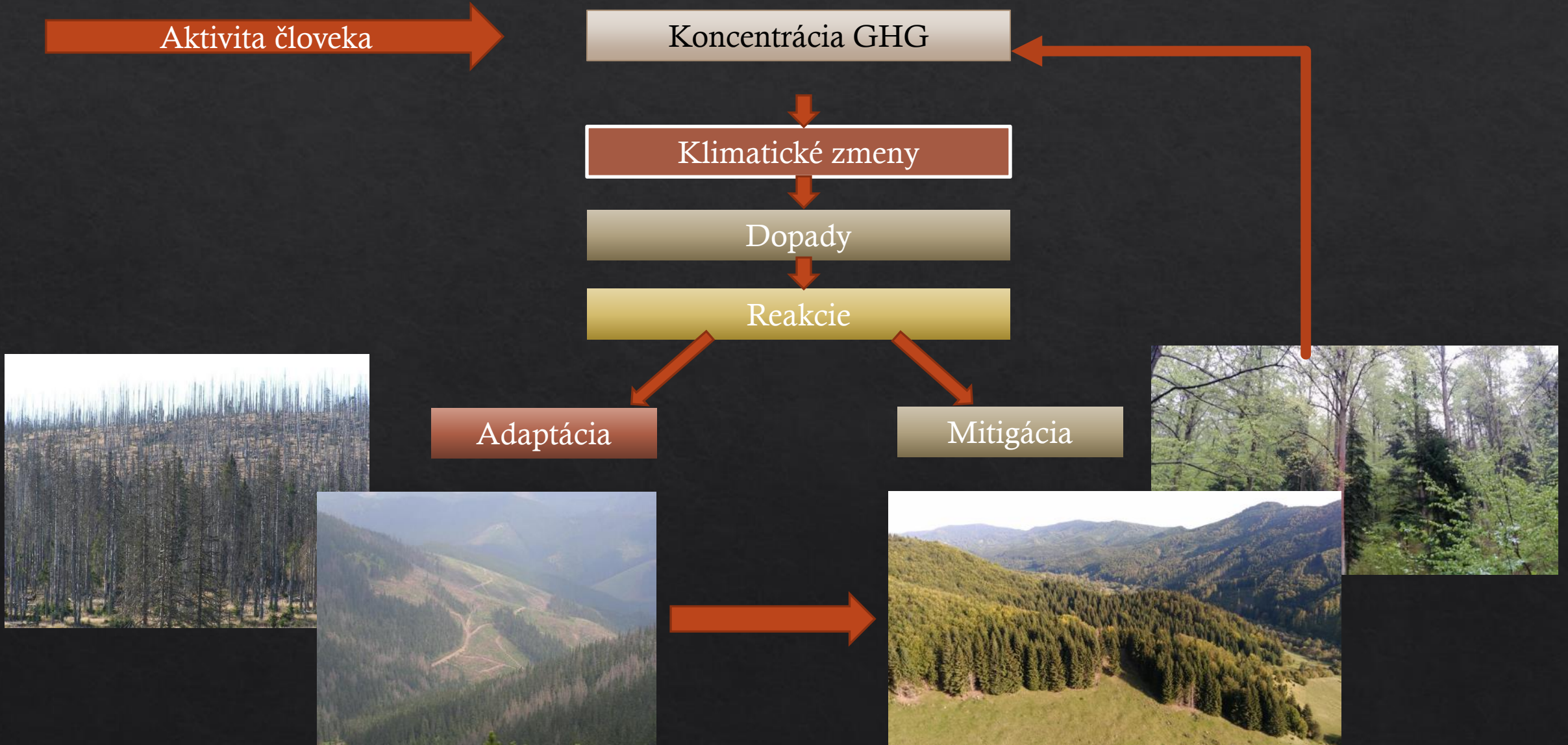
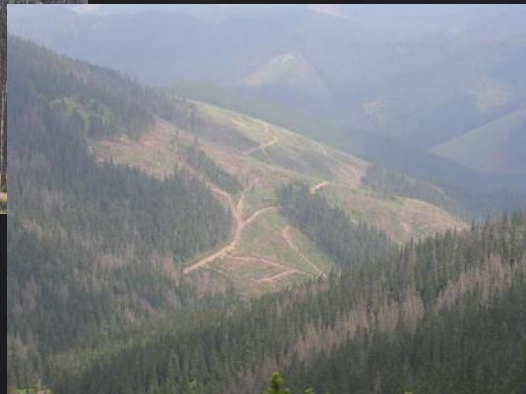
Klimatické zmeny

Dopady

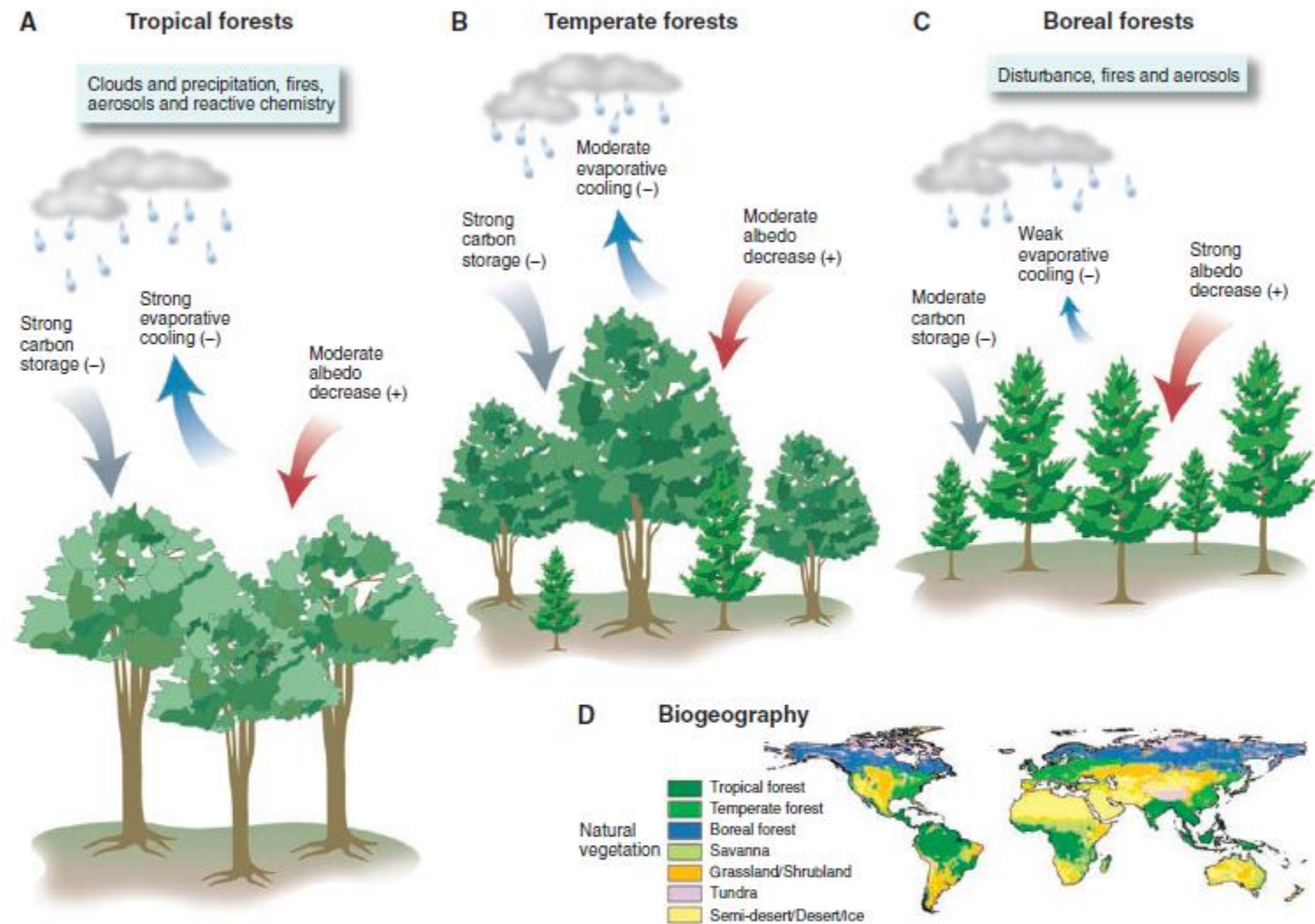
Reakcie

Adaptácia

Mitigácia

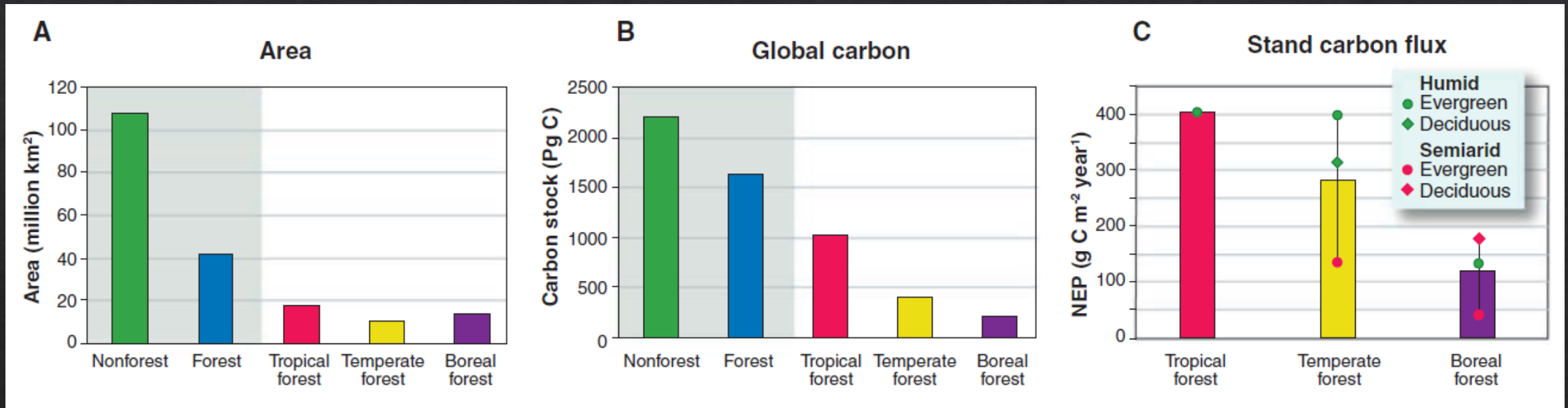


# Forests in Flux



Bonan (2008) in *Science*





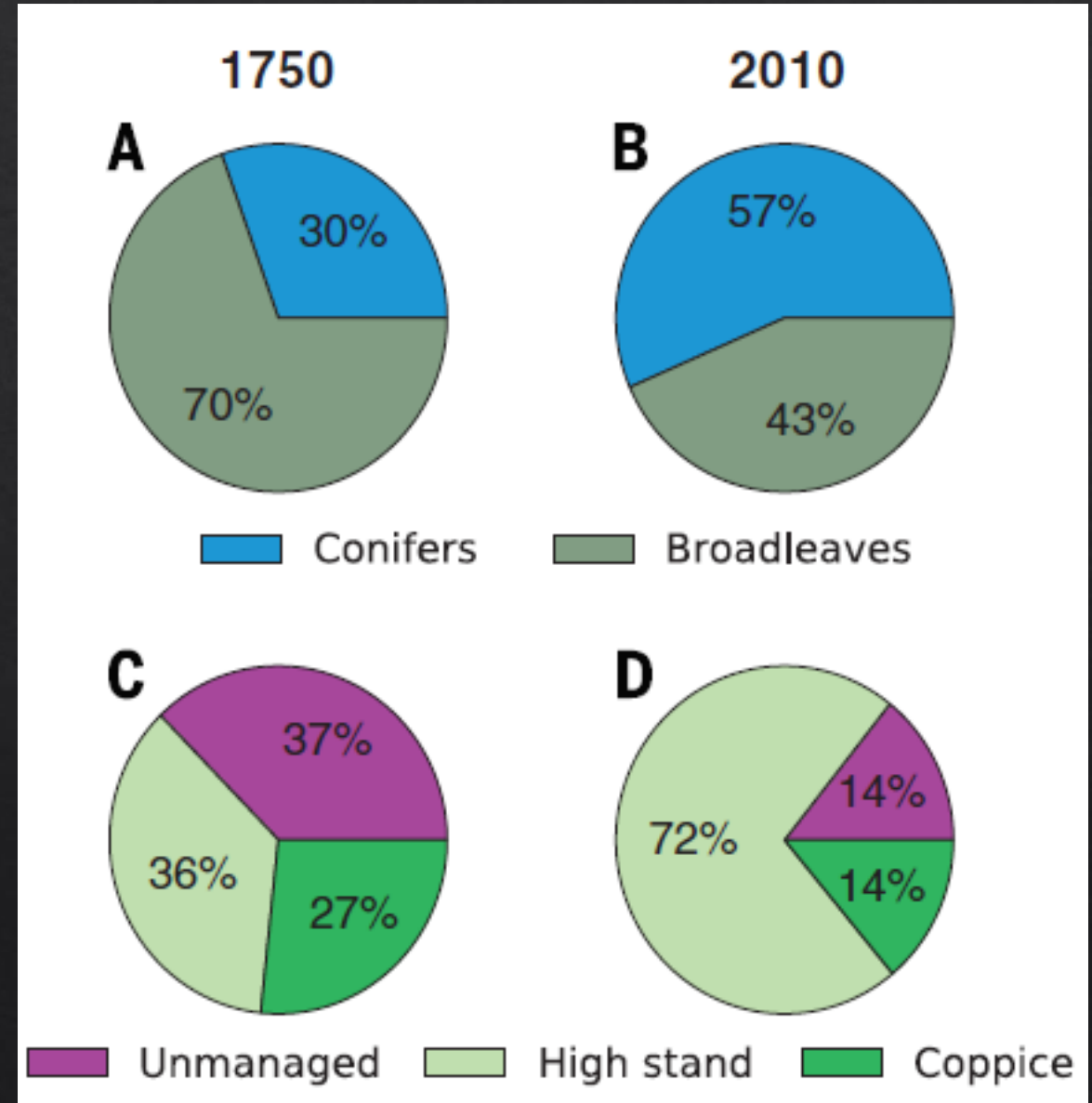
Majú lesy rovnaký vplyv na celom svete?

Bonan (2008) in *Science*

# Hospodárenie v lese môže významne ovplyvniť klimatické zmeny

- ◇ Zmeny v manažmente európskych lesov za ostatné storočia
- ◇ Listnaté a zmiešané na ihličnaté rovnorodé
- ◇ Nemaňžované a výmladkové lesy na intenzívne obhospodarované

Naudts et al. 2016 in *Science*



2 ½ storočia:

- ◇ Zvýšenie výmery lesa o 10%
- ◇ 85% lesov sa zmenilo na intenzívne obhospodarované
- ◇ Zmena listnatých na ihličnaté lesy

→ C sink

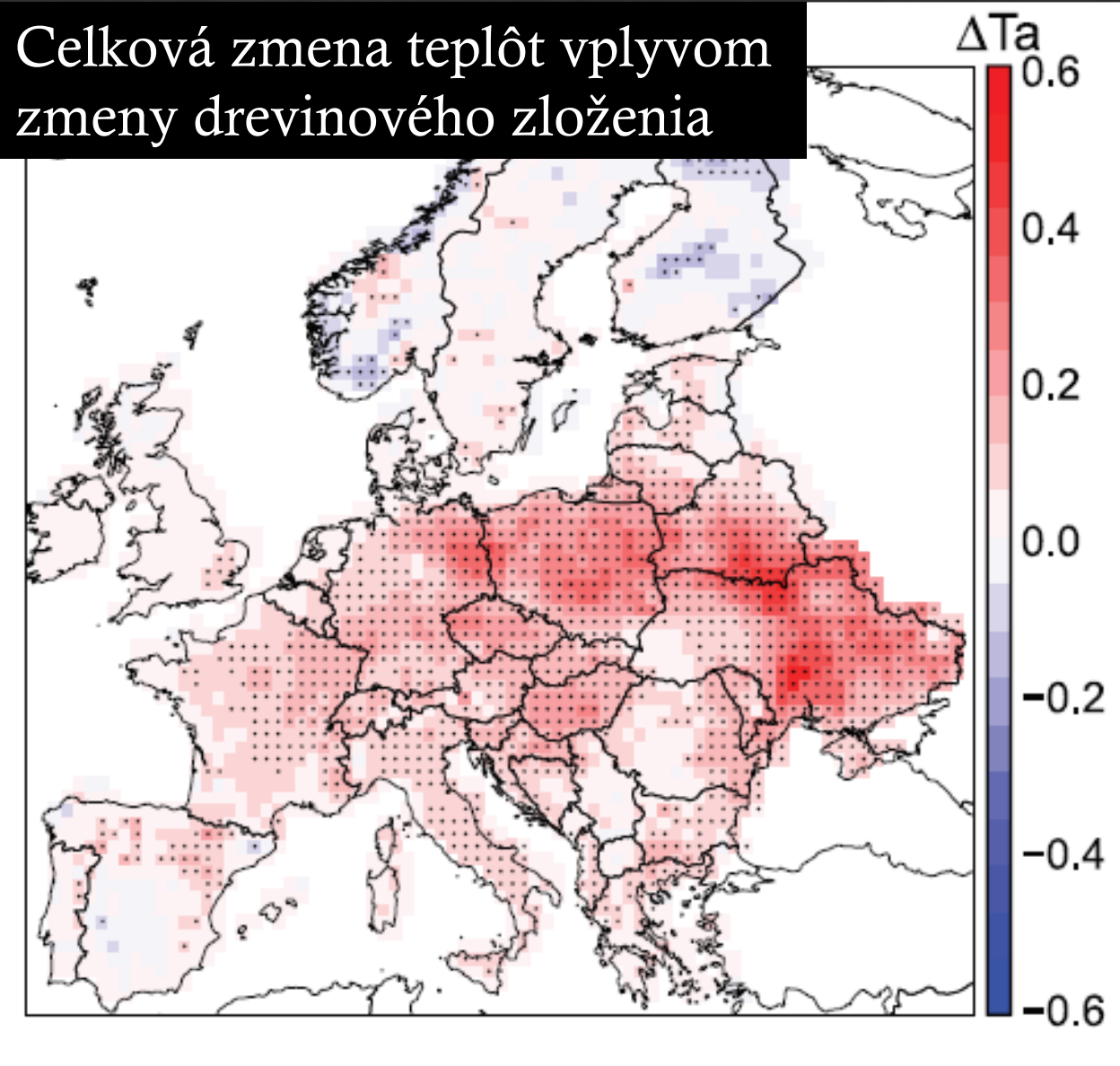
→ C loss

→ pokles albeda



Carbon debt of 3.1 Pg C

Celková zmena teplôt vplyvom zmeny drevinového zloženia

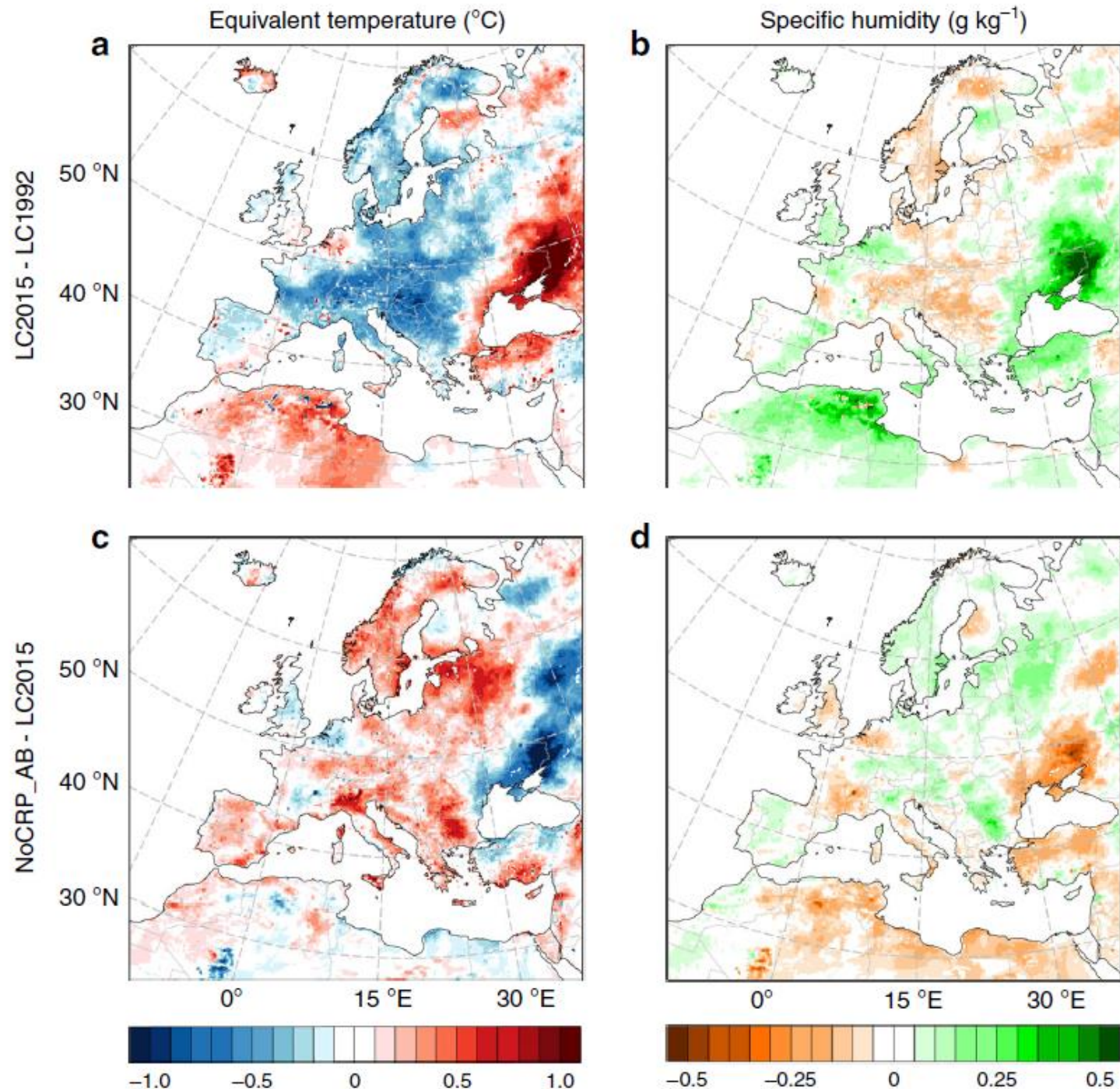


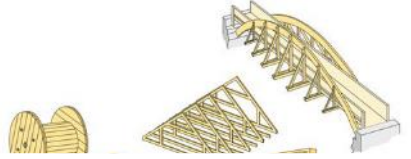
Naudts et al. 2016 in *Science*

# Priemerná ročná zmena ekvivalentnej teploty a povrchovej vlhkosti vplyvom LCC

- ◇ A, B – zmena teploty vplyvom všetkých zmien využívania krajiny
- ◇ C, D – zmena teploty očistená od vplyvu zmeny poľnohospodárskej krajiny na inú (kroviny, lesy)

Huang et al. 2020 in Nat Com  
<https://doi.org/10.1038/s41467-020-14890-0>





# PERSPECTIVE

PUBLISHED ONLINE: 18 AUGUST 2013 | DOI: 10.1038/NCLIMATE1853

nature  
climate change

## First signs of carbon sink saturation in European forest biomass

Gert-Jan Nabuurs<sup>1\*</sup>, Marcus Lindner<sup>2</sup>, Pieter J. Verkerk<sup>2</sup>, Katja Gunia<sup>3</sup>, Paola Deda<sup>4</sup>, Roman Michalak<sup>4</sup> and Giacomo Grassi<sup>5</sup>

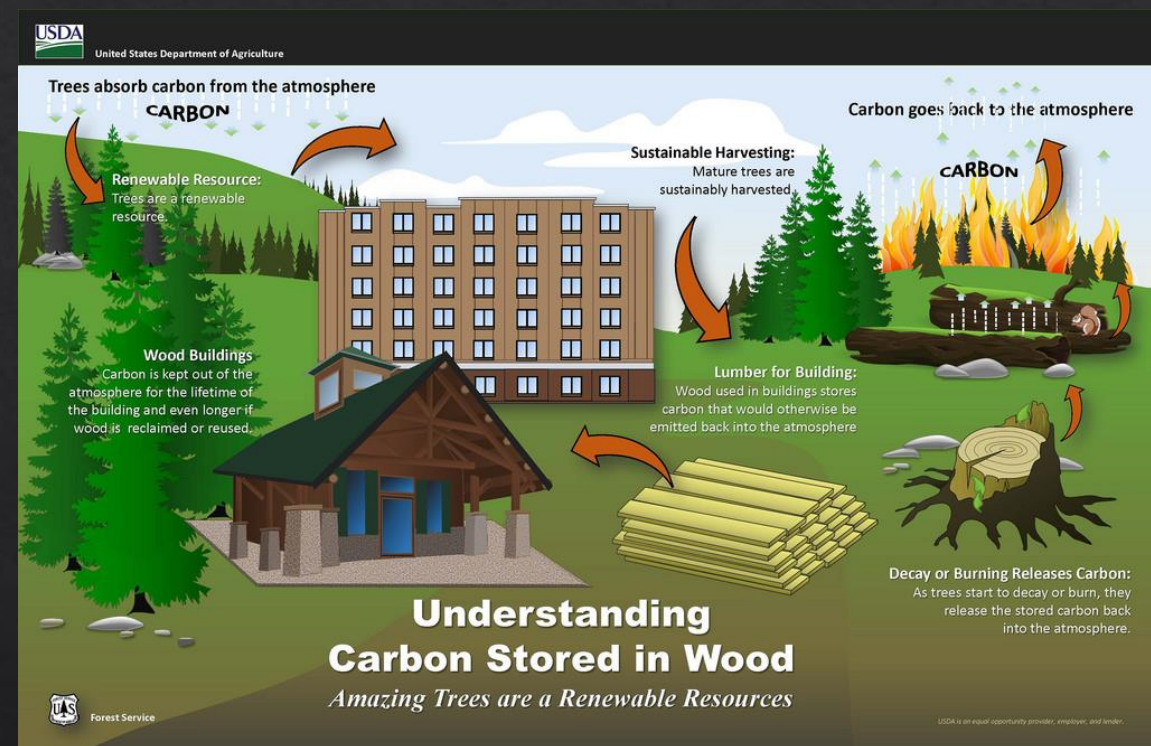
European forests are seen as a clear example of vegetation rebound in the Northern Hemisphere; recovering in area and growing stock since the 1950s, after centuries of stock decline and deforestation. These regrowing forests have shown to be a persistent carbon sink, projected to continue for decades, however, there are early signs of saturation. Forest policies and management strategies need revision if we want to sustain the sink.



*Adapted from Wilson 2006, data from Perez-Garcia et al. 2005.*

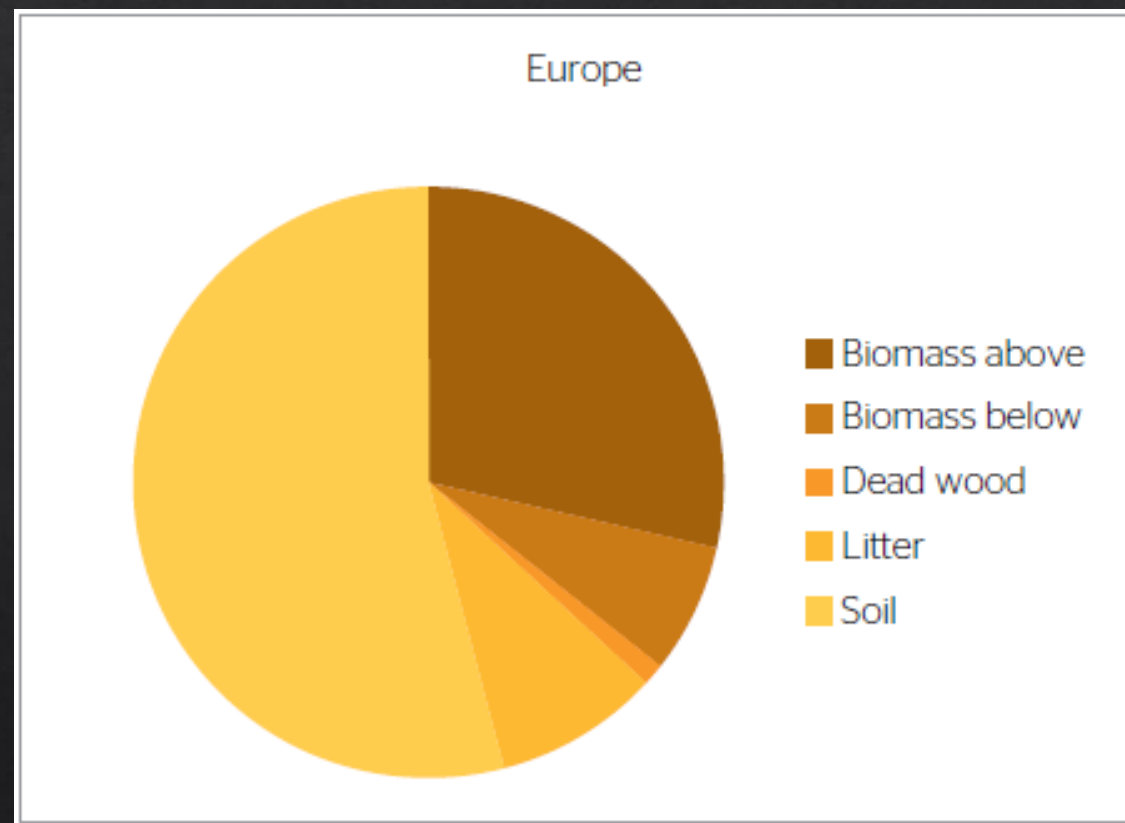
# Material substitution

- ◆ Substitúcia uhlíkovo náročných materiálov (železo, betón) drevom
- ◆ Tento efekt môže byť niekoľko násobne vyšší ako ponechanie lesa na samovývoj bez ďalšieho využitia dreva



# Zásoba uhlíka v lesoch Európy

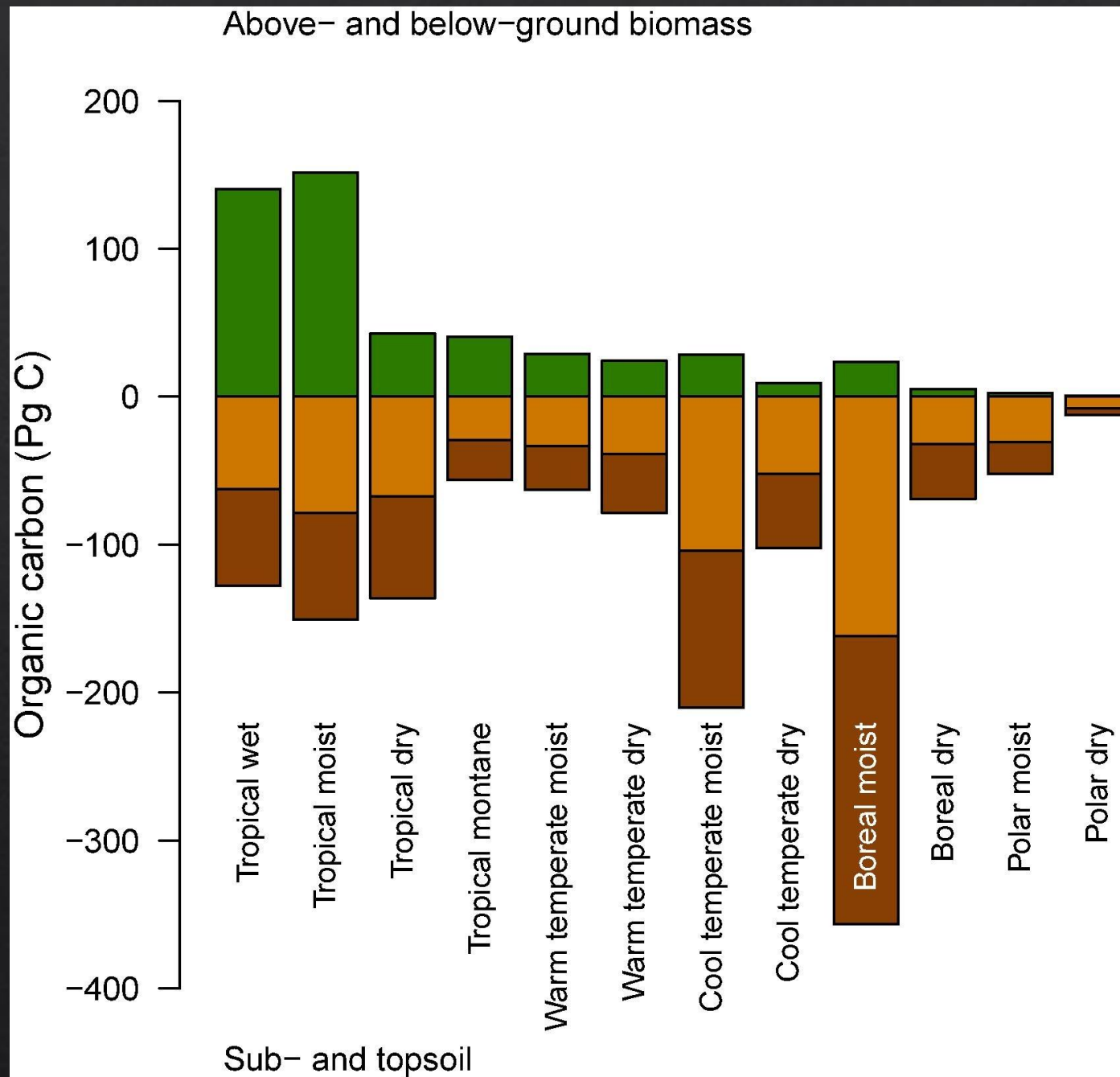
- ◊ Najväčšia zásoba je v pôdach (viac ako 50%)
- ◊ Nadzemná biomasa uskladňuje druhé najväčšie množstvo uhlíka (viac ako  $\frac{1}{4}$ )
- ◊ Významné množstvo je aj v opadanke



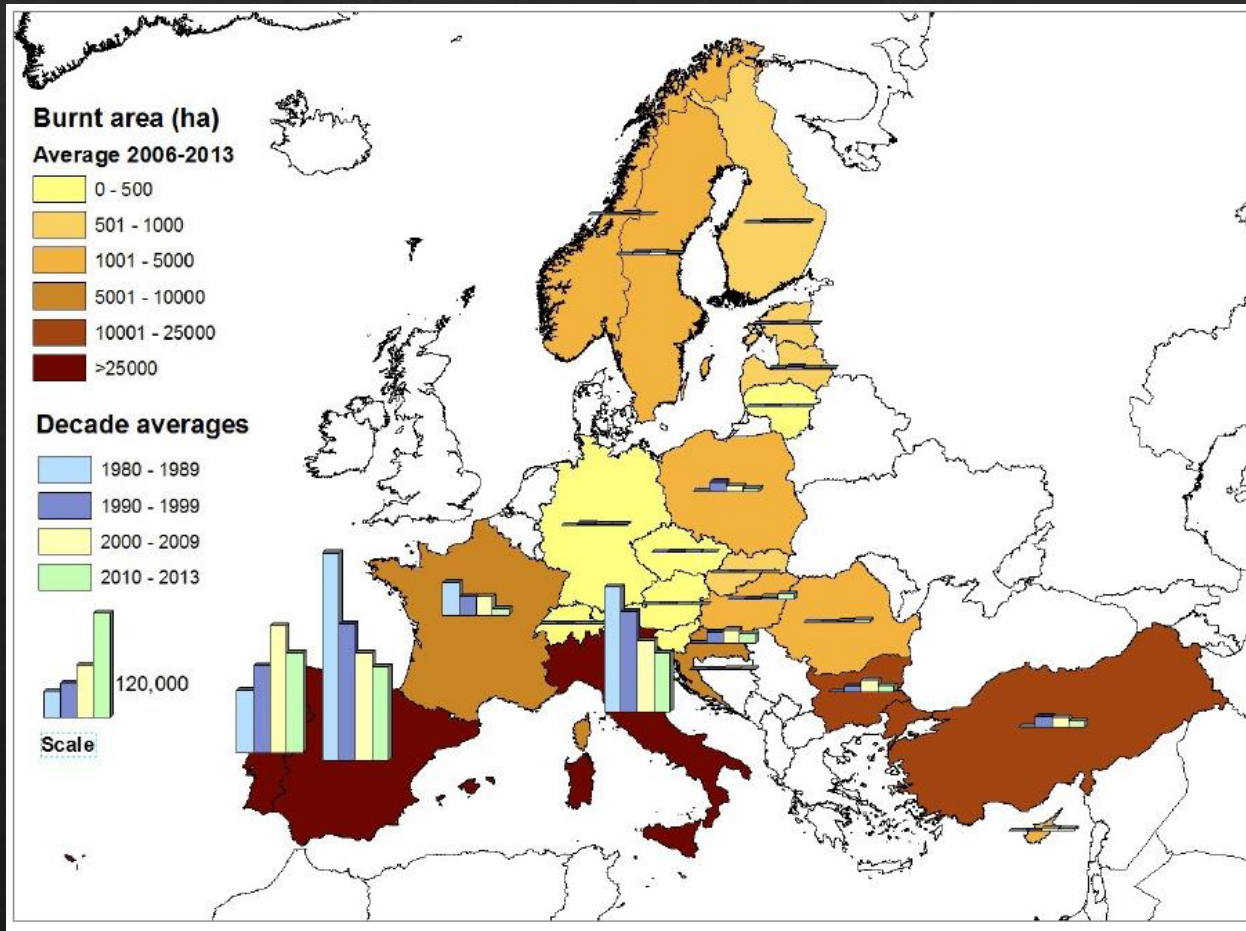
Zdroj: State of Europe Forests 2015 Report

# Zásoba organického uhlíka v pôde a nadzemnej biomase

◇ Scharlemann et al. 2014




# Lesné požiare ako zdroj emisie CO<sub>2</sub>



- ◊ Najrozsiahlejšie požiare v Európe sú v Španielsku a Taliansku
- ◊ Zanedbateľný výskyt požiarov v krajinách strednej Európy

Zdroj: State of Europe Forests 2015 Report



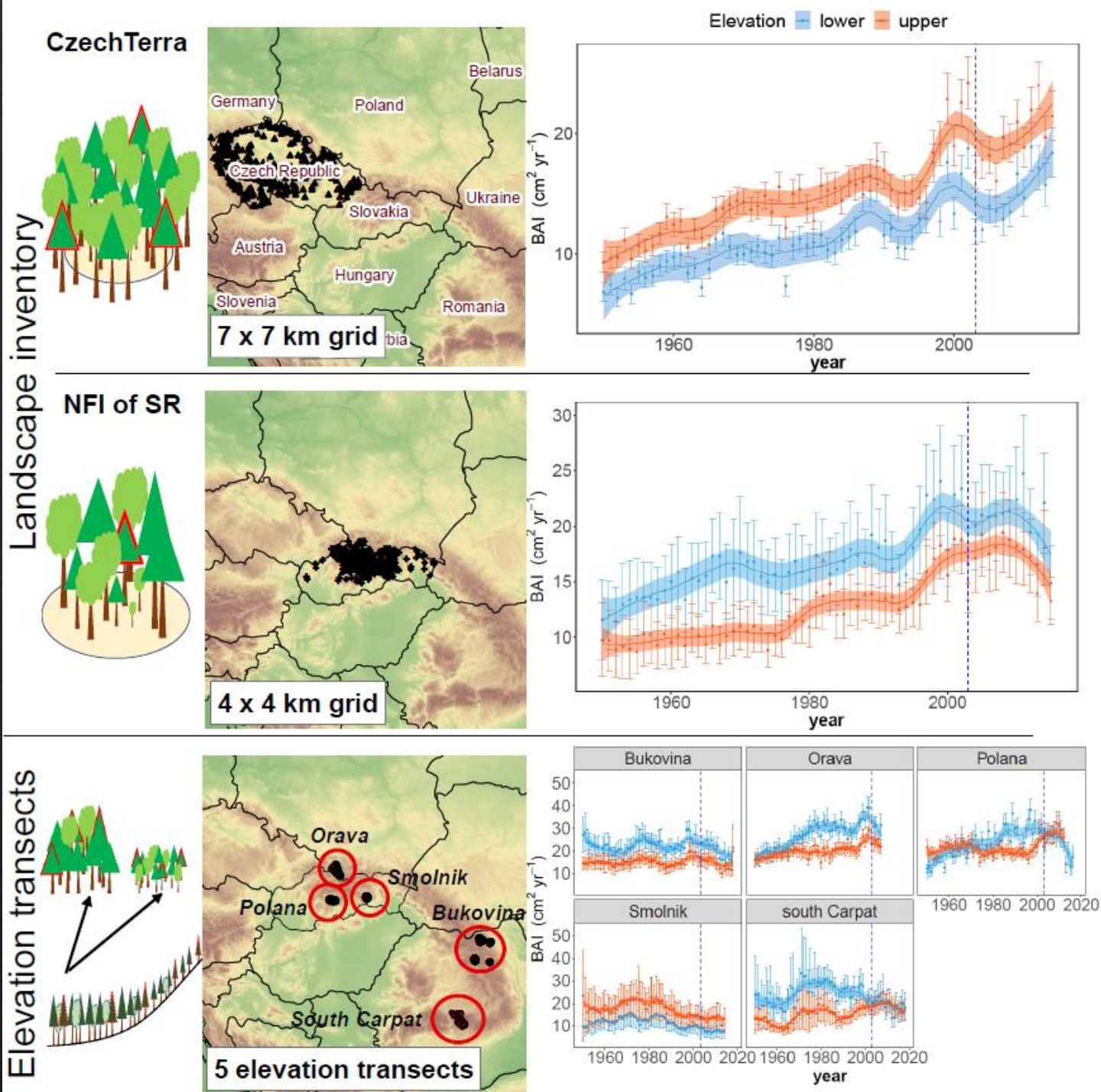
# Adaptačná schopnosť lesných drevín

Klimatické zmeny

Hospodárenie v lese

# Dlhodobý rast smreka v Karpatoch

- ◇ Dlhodobý pokles v Karpatoch po roku 2000
- ◇ Zlepšenie rastu populácie v ČR

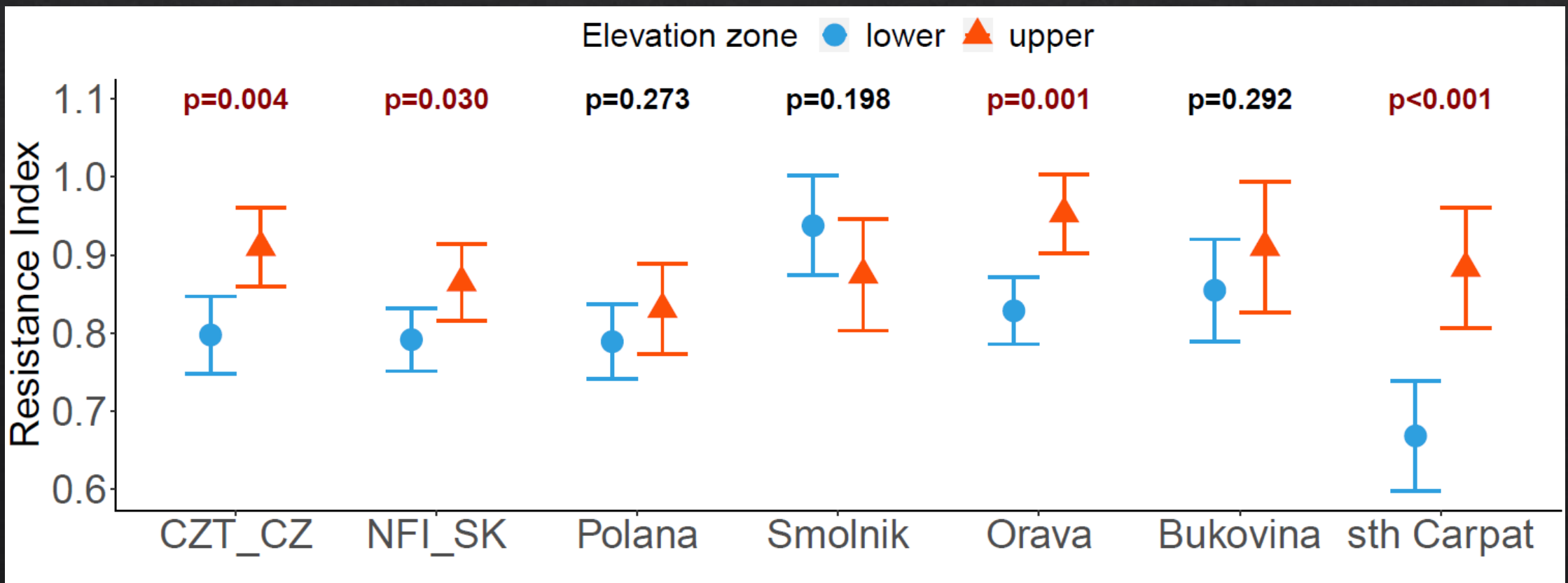


Bosela et al. 2021

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141794>

# Rezistencia voči estrémom počasia

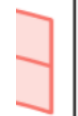
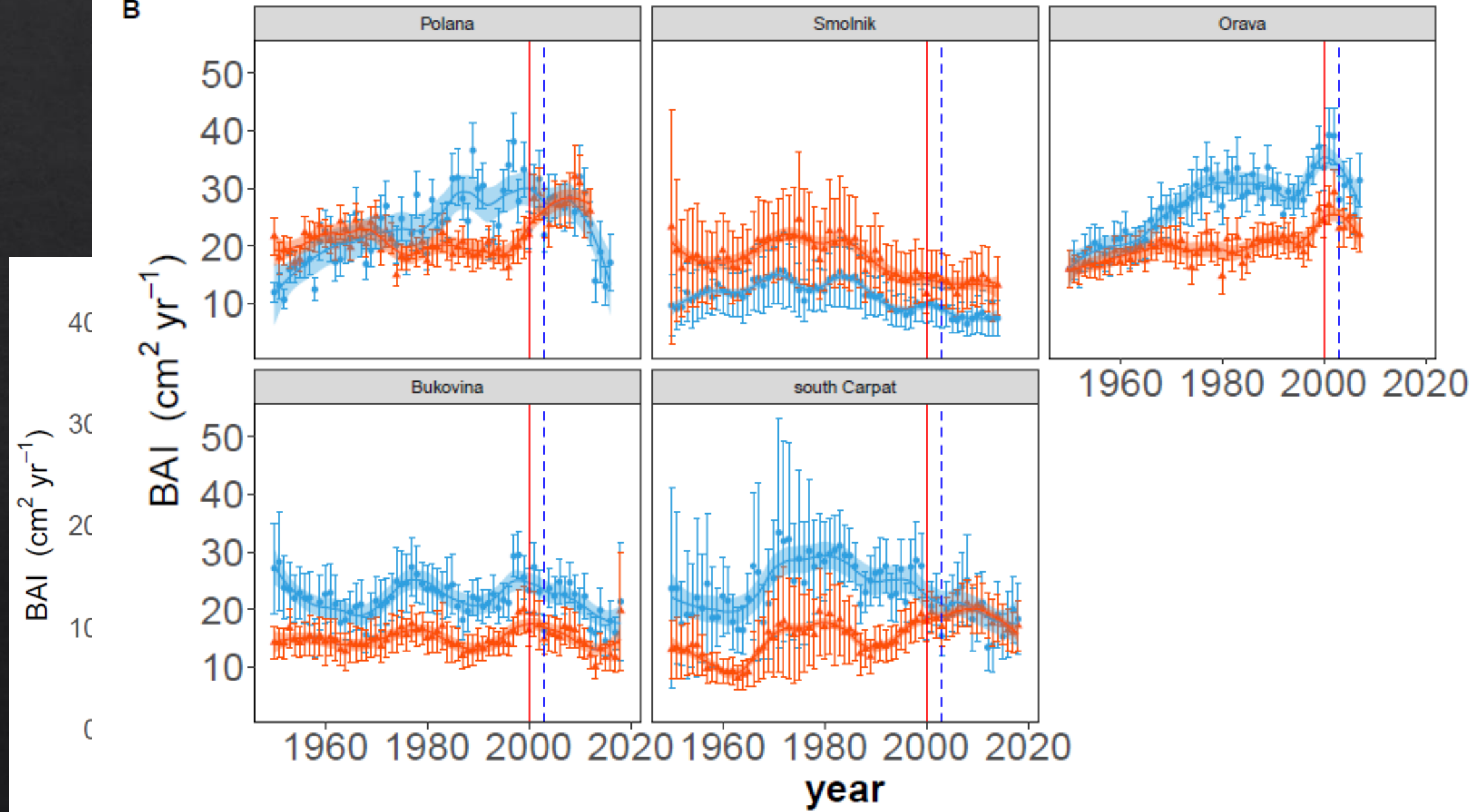
- ◊ Nízka rezistencia na letné horúčavy pozdĺž nadmorskej výšky
- ◊ Najnižšia v južných Karpatoch
- ◊ Nižšia v nižších nadmorských výškach





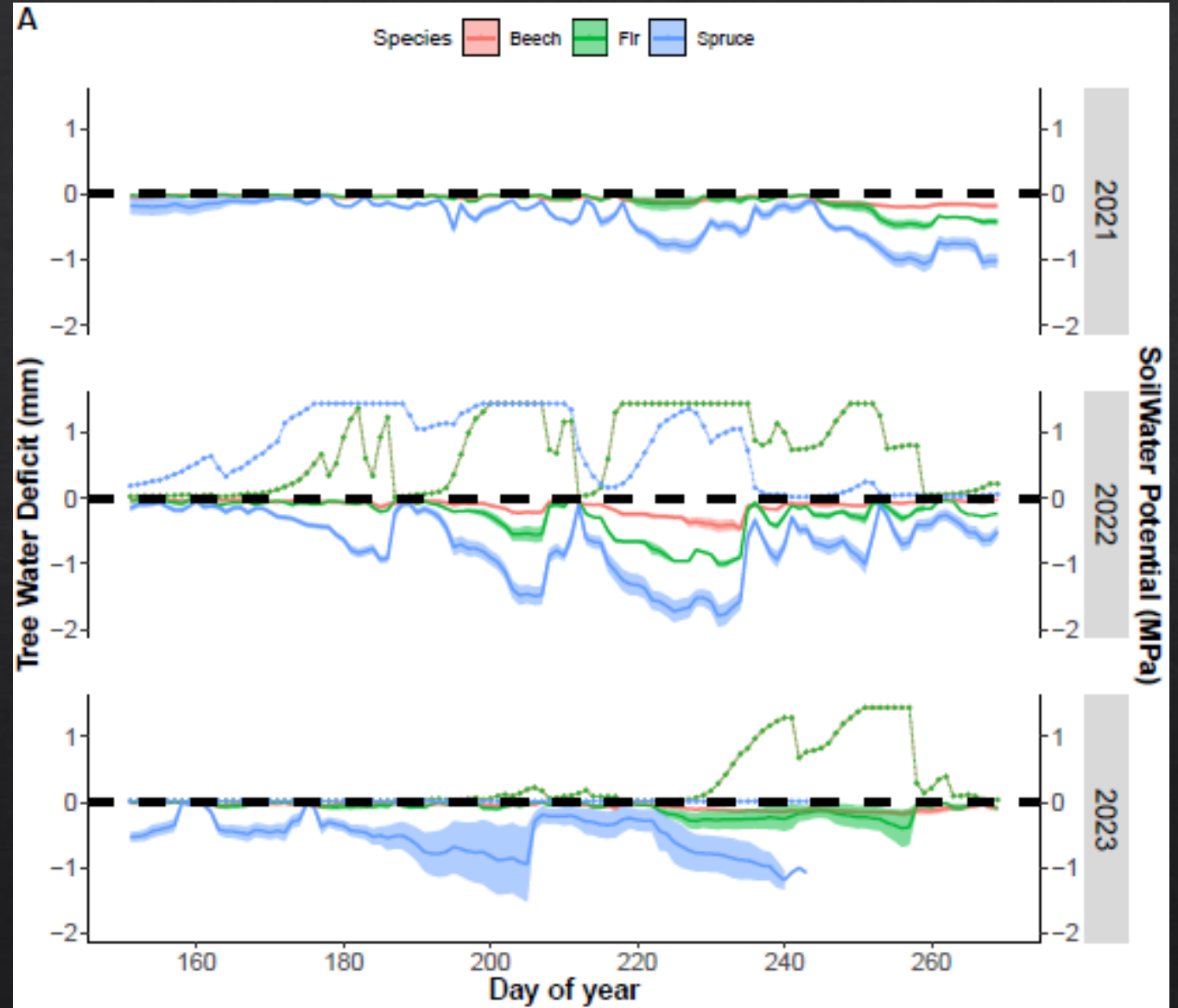
N  
▲

B

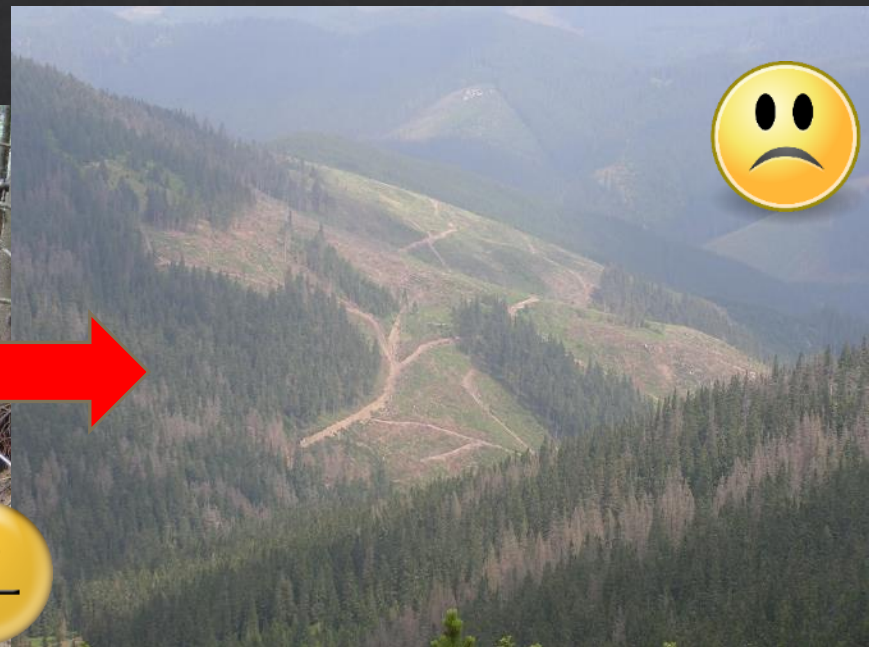
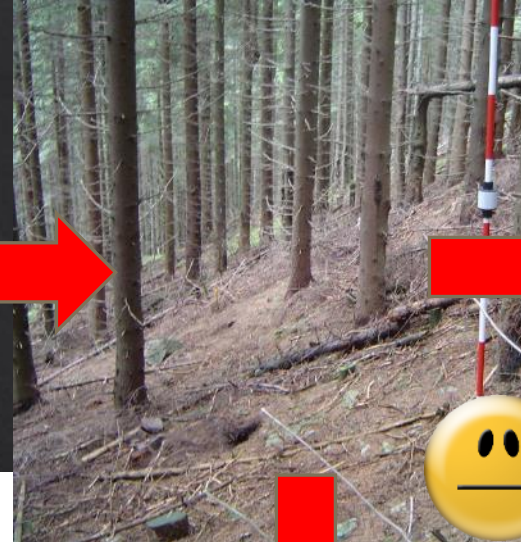


# Sezónny rast a sucho

- ◇ Smrek ako najcitlivejšia drevina na sucho v porovnaní s jedľou a bukom
- ◇ Buk ako najplastickejšia drevina v porovnaní s jedľou a smrekom
- ◇ Reakcie jedle sú stredne silné v porovnaní so smrekom a bukom



# Nie optimálne rozhodnutia v minulosti?



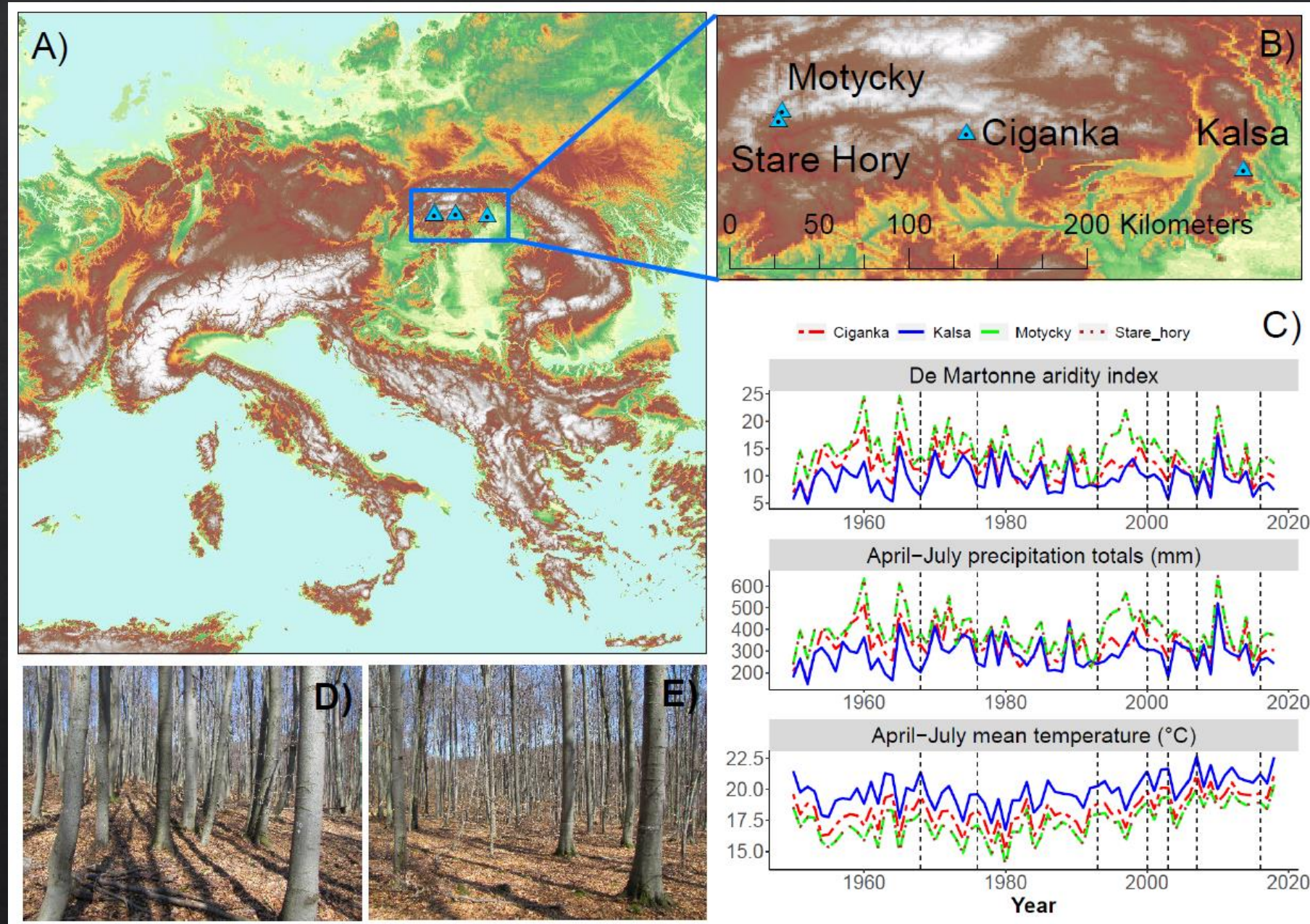
- ◇ Pôvodné jedľové bučiny na smrečiny (Spiecker *et al.* 2004)
- ◇ Smrek náchylný na sucho
- ◇ Zvýšená frekvencia víchric (Seidl *et al.* 2014)
- ◇ Premnoženie podkôrneho hmyzu (Hlásny & Turčáni 2013)

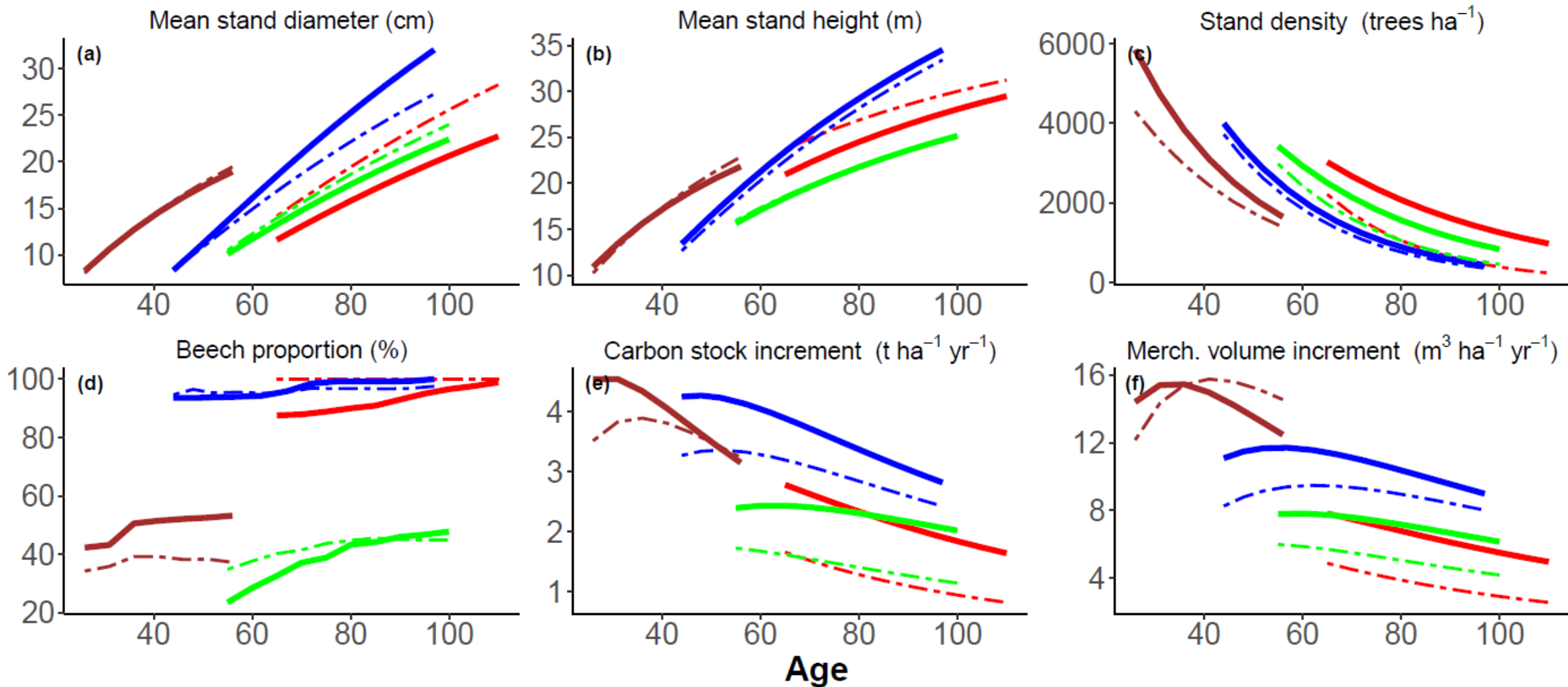
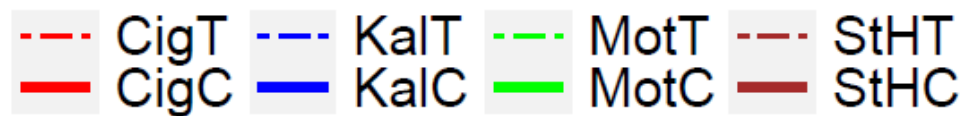


# Buk lesný

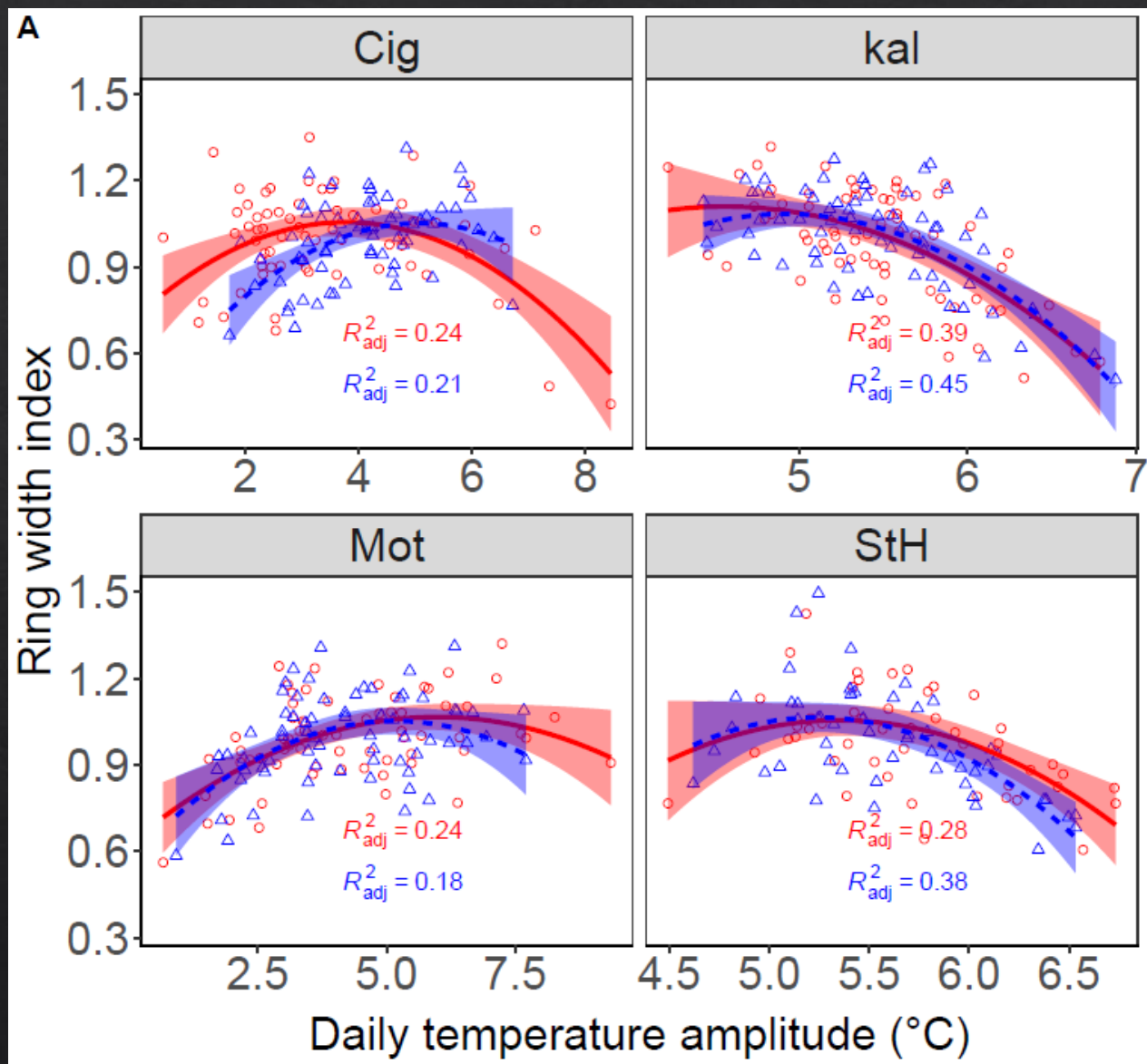
## ◆ Prebierky

- ◆ Samovývoj
- ◆ Úrovňová voľná prebierka
- ◆ 60-ročný výskum
- ◆ dendrochronológia

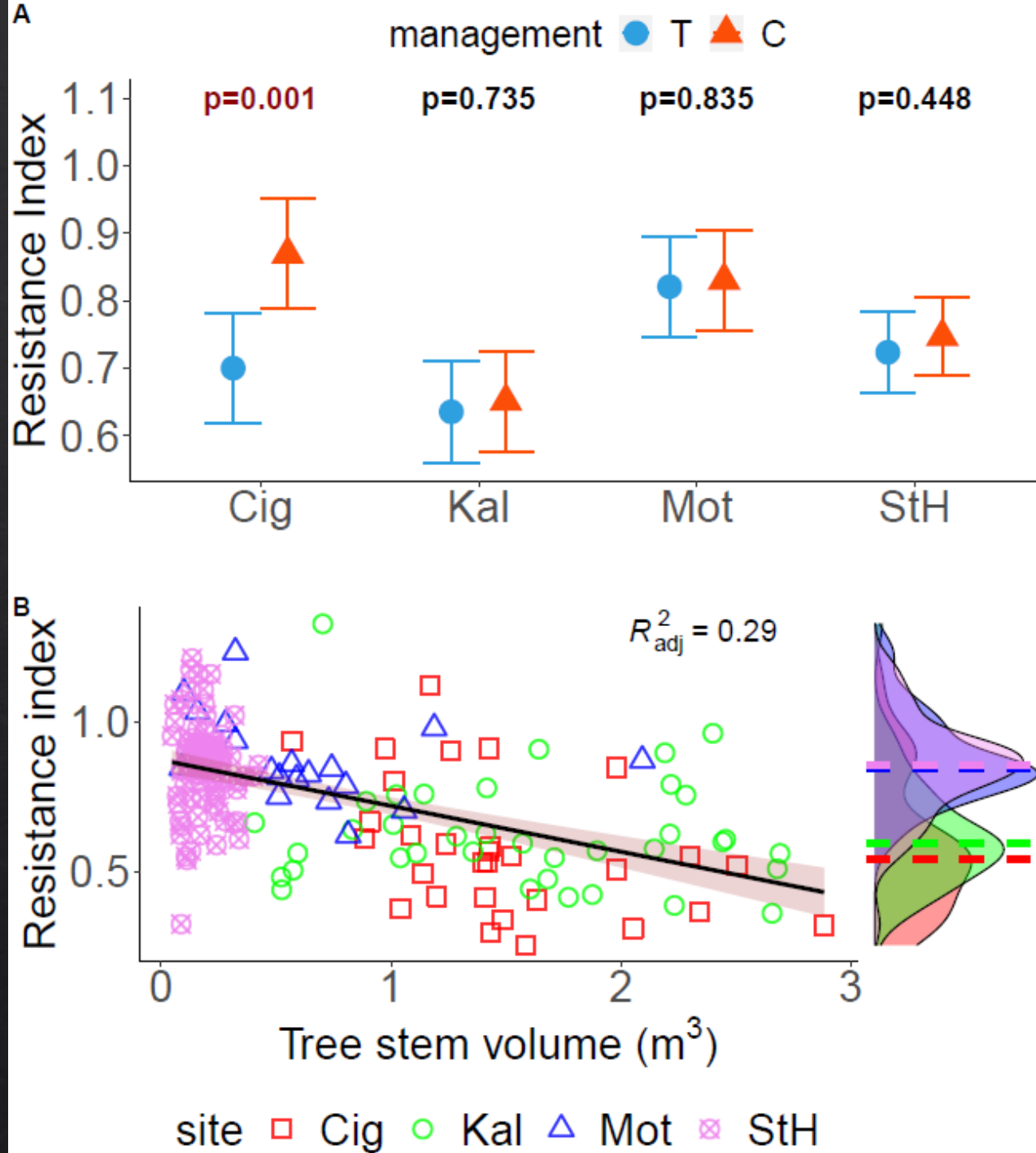




# Klimatické reakcie



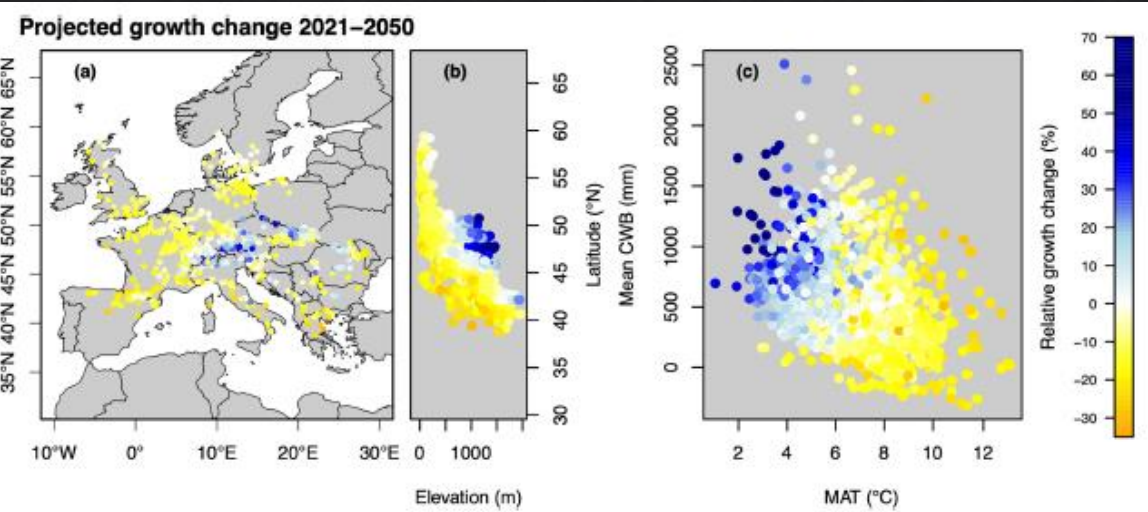
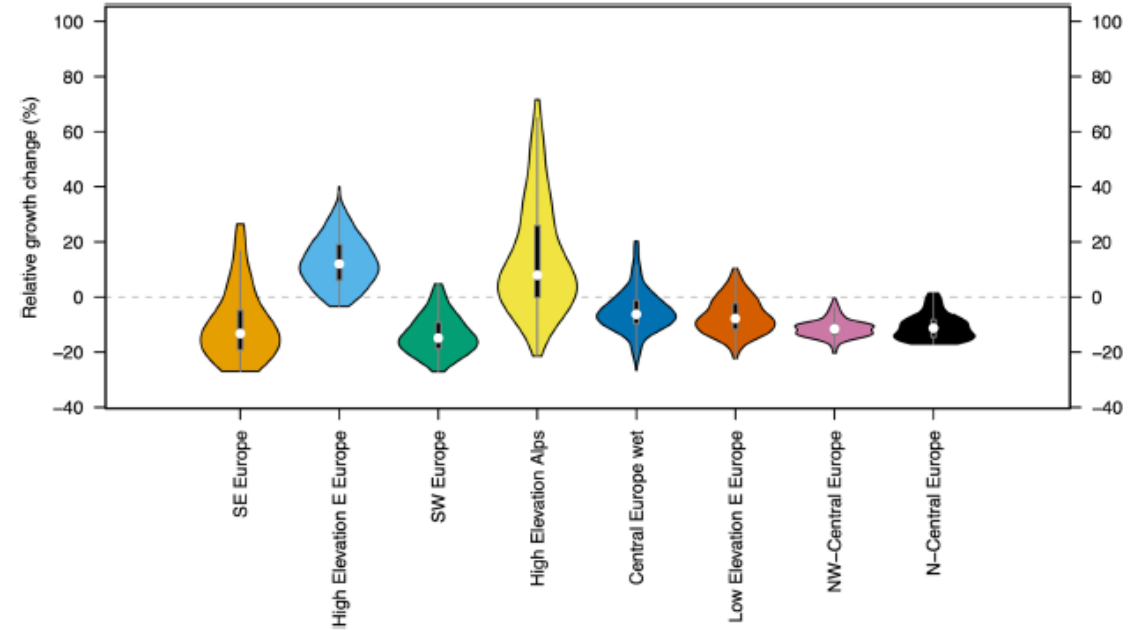
# Rezistencia na extrémny počasia



# Buk v najbližších desaťročiach?

◇ Predpoklad zlepšenia rastu v európskych horských lesoch

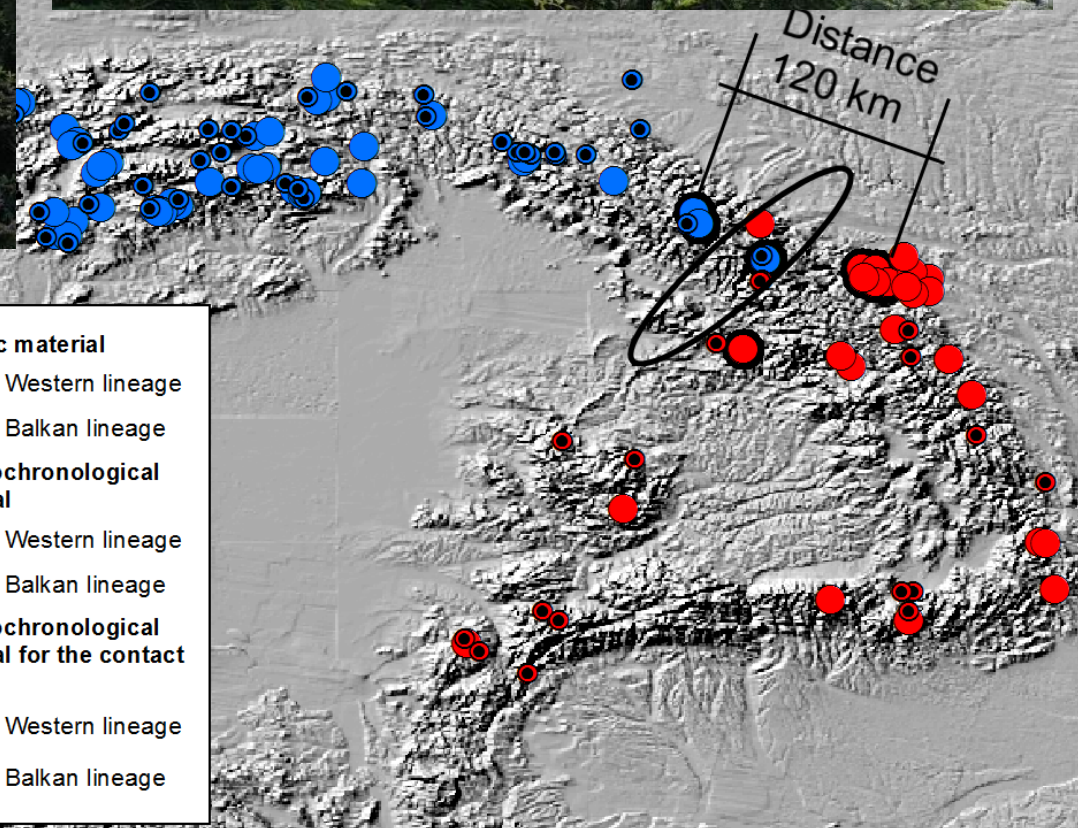
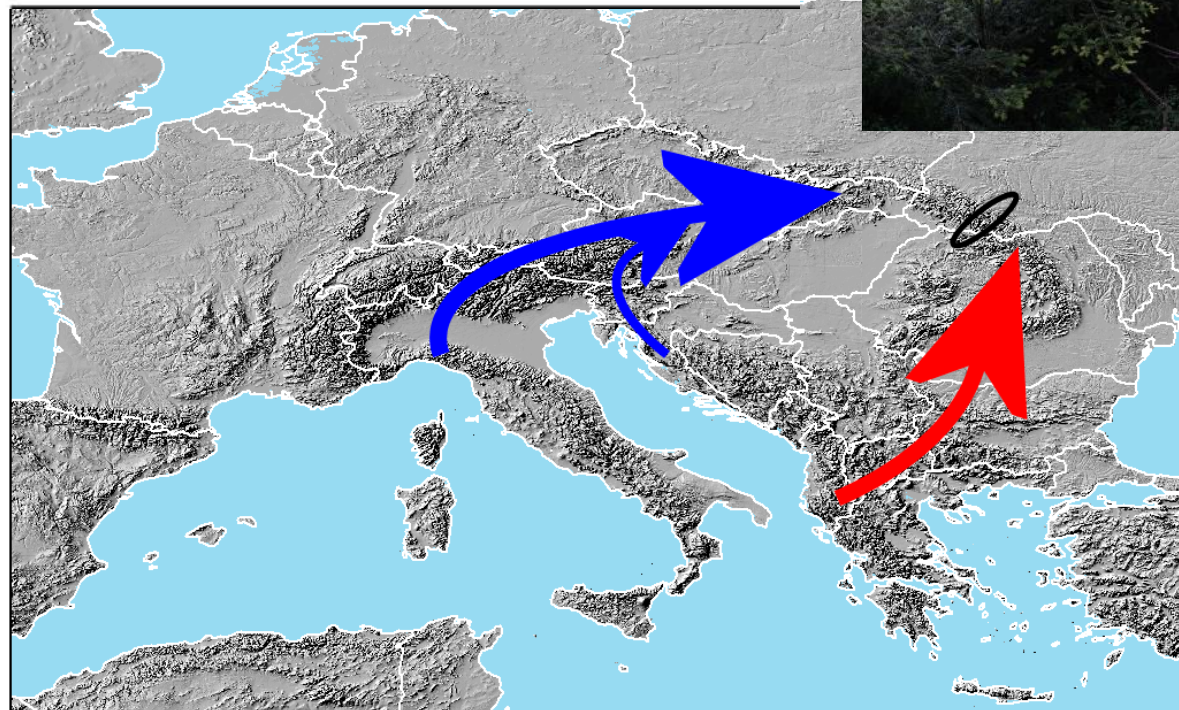
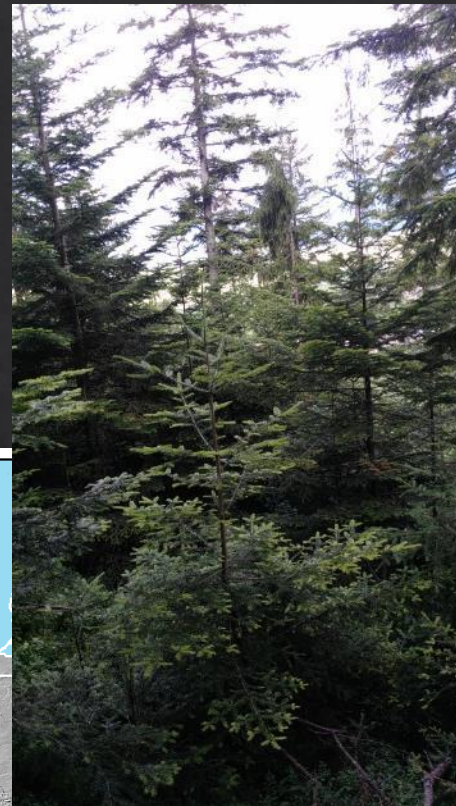
◇ Pokles produkcie v nižších polohách



# Jedľa biela (*Abies alba* M.)

Potenciálna pôvodná drevina pre zmenenú klímu?

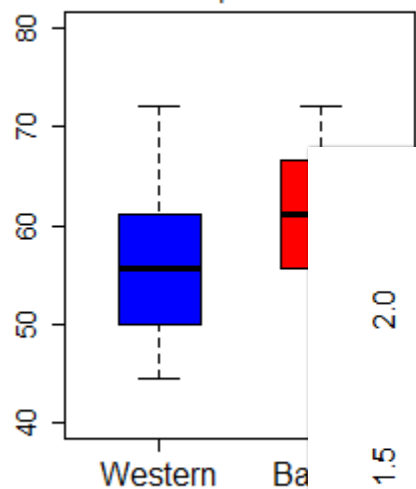
- Zmena nepôvodných smrečín
- Zníženie rizika veľkoplošných disturbancií
- Zvýšenie produktivity lesa – uskladňovanie uhlíka



- Genetic material**
- Western lineage
- Balkan lineage
- Dendrochronological material**
- Western lineage
- Balkan lineage
- Dendrochronological material for the contact zone**
- Western lineage
- Balkan lineage

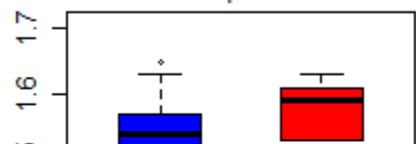
Proportion of polymorphic loci

Wilcoxon test: p-value = 0.001174



Allelic richness

Wilcoxon test: p-value = 0.03554



Effective number of alleles

Wilcoxon test: p-value = 9.335e-10



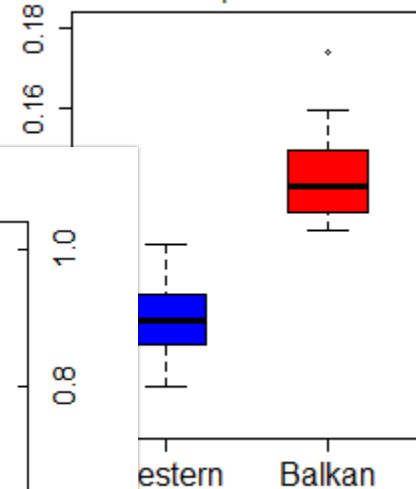
Expected heterozygosity

Wilcoxon test: p-value = 8.538e-10

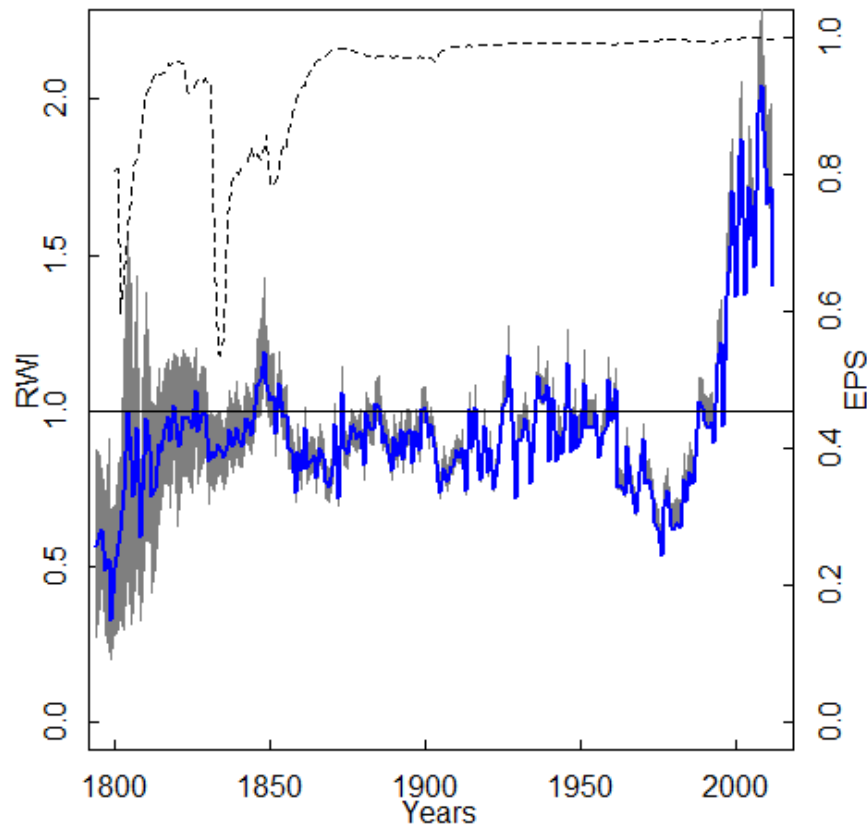


Observed heterozygosity

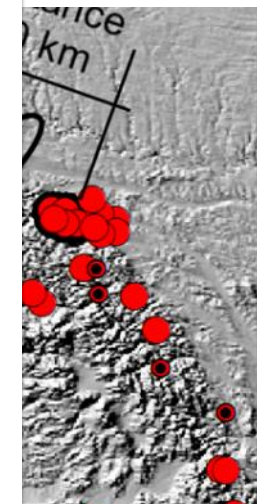
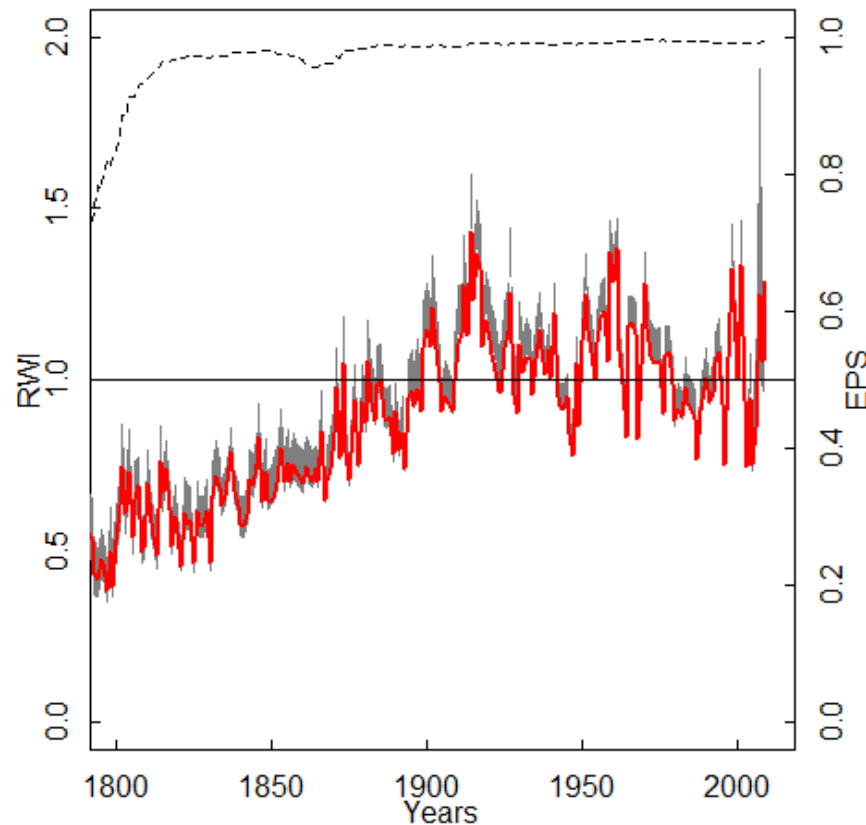
Wilcoxon test: p-value = 7.835e-10



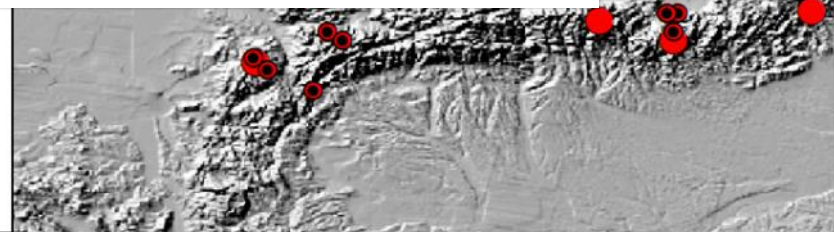
Western lineage



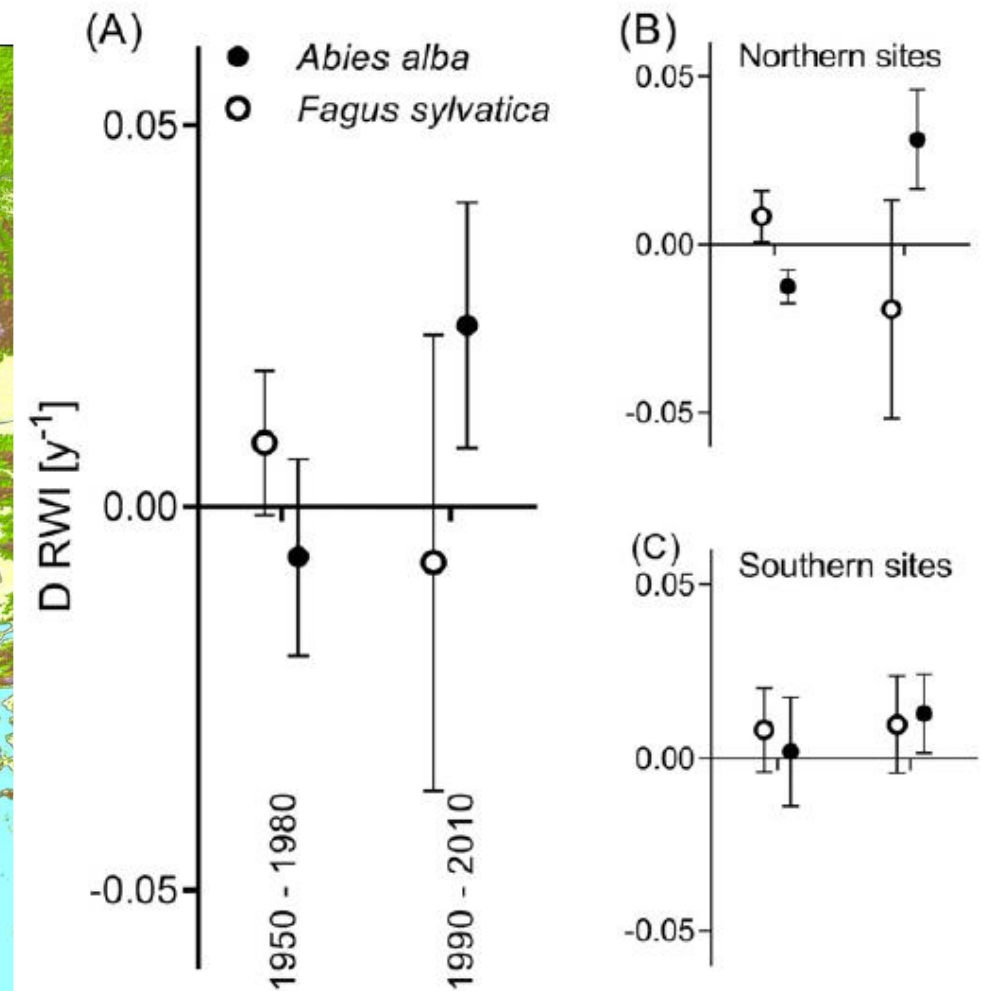
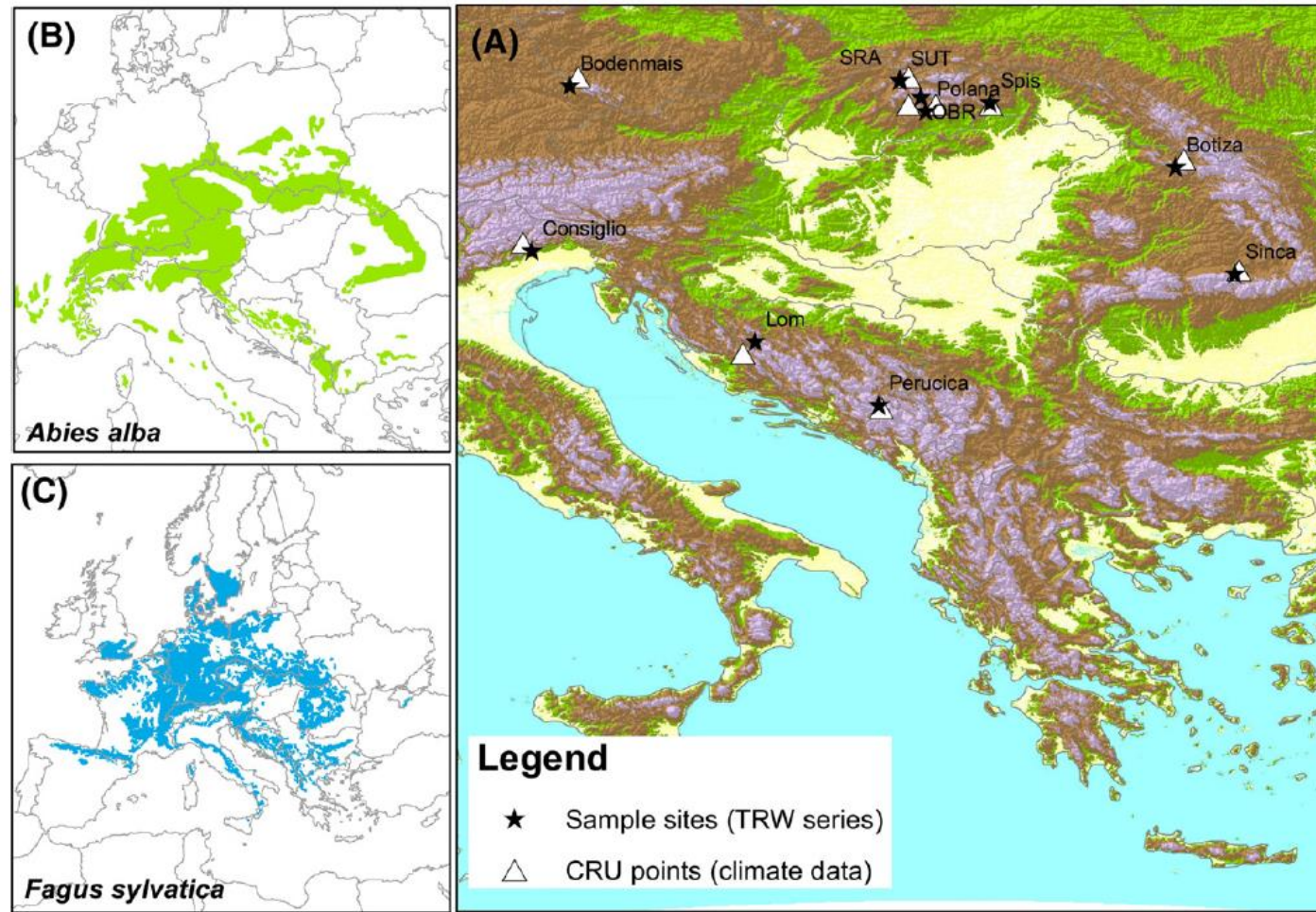
Balkan lineage



 Balkan lineage  
 Dendrochronological material for the contact zone  
 Western lineage  
 Balkan lineage



**Bosela et al. 2016 in Journal of Ecology**  
<https://doi.org/10.1111/1365-2745.12561>

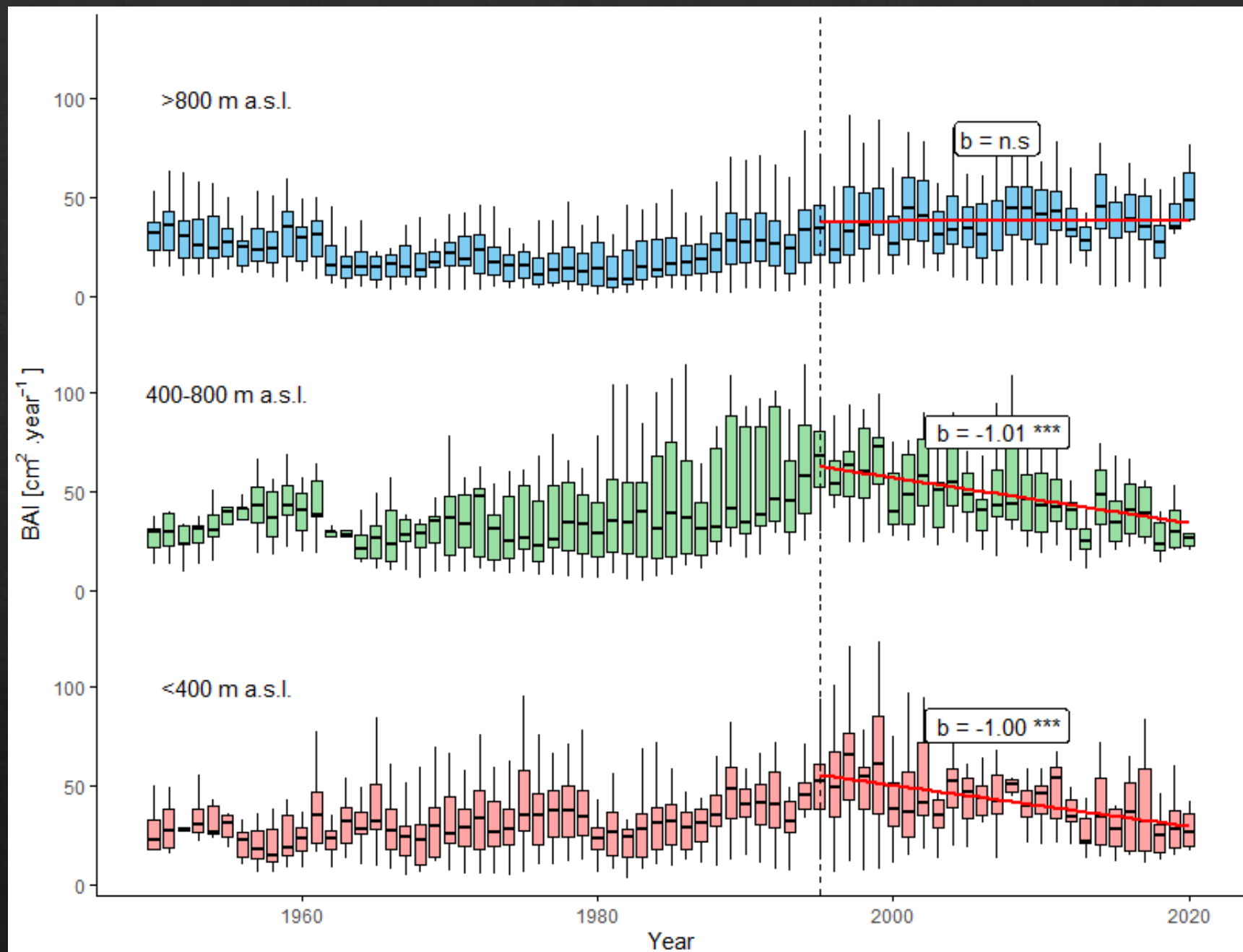


Bosela et al. 2018 in Science of the Total Environment  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.092>

◇ Jedľa zvýšila produktivitu v Európe

◇ Buk zvýšil produktivitu (vid' tiež Pretzsch et al. 2014), no sú náznaky poklesu produktivity

- ◆ Pokles prírastkov v nižších nadmorských výškach

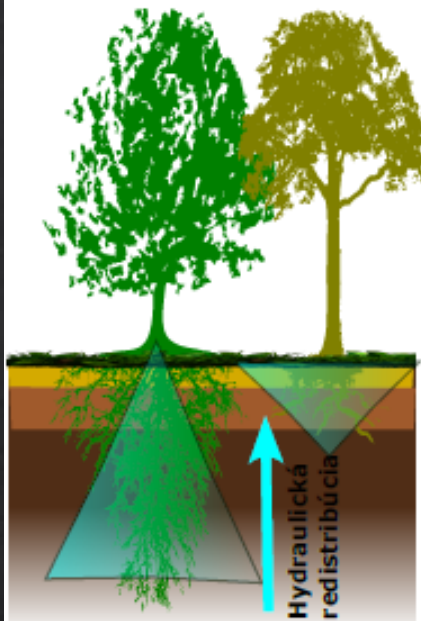




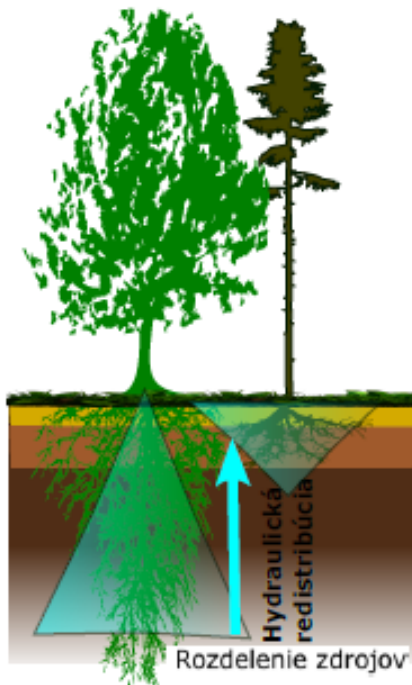
# Rovnorodé vs zmiešané lesy

Porovnanie rastu a produkcie

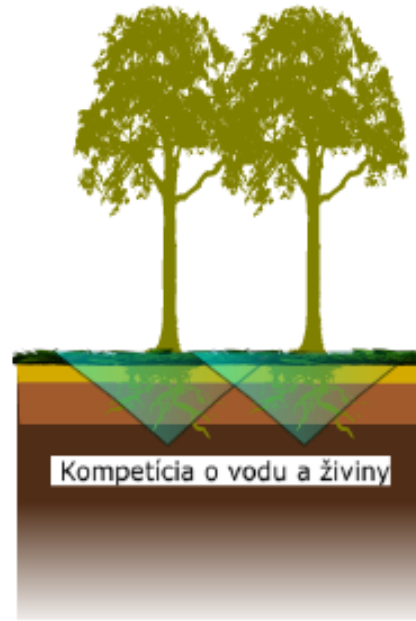
Komplementarita



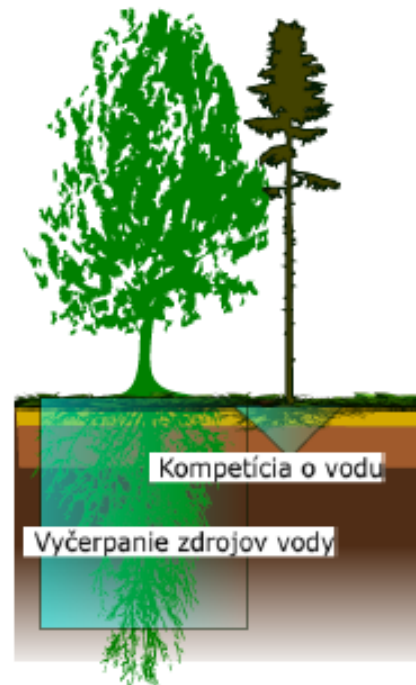
Mierne sucho



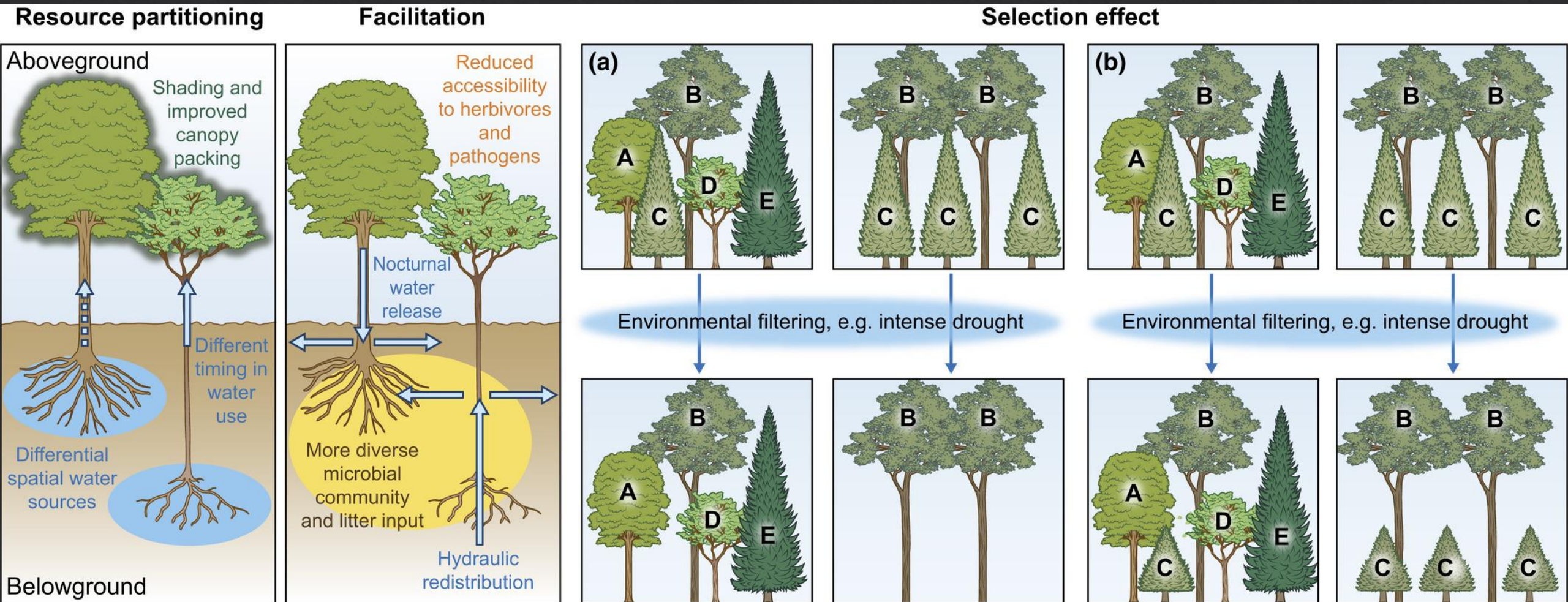
Kompetícia



Extrémne sucho



# Kompetícia či facilitácia?

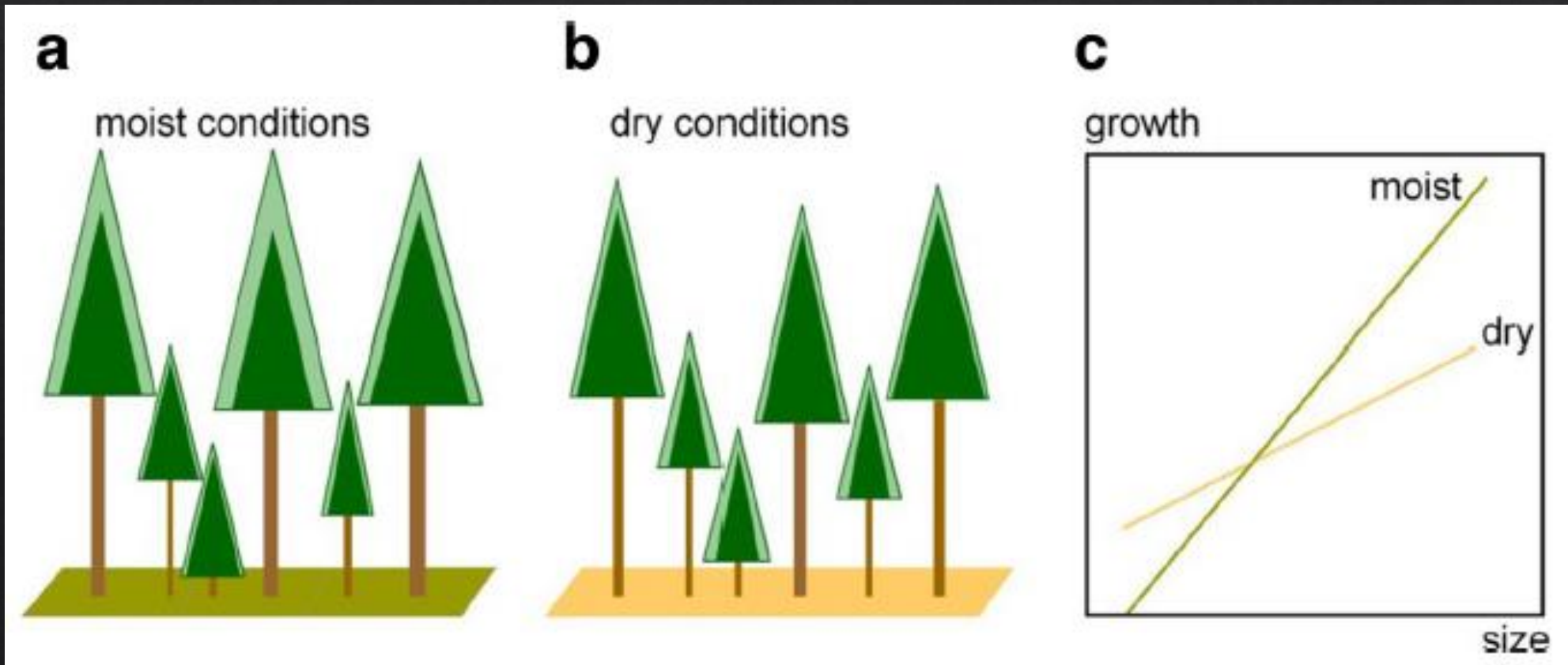


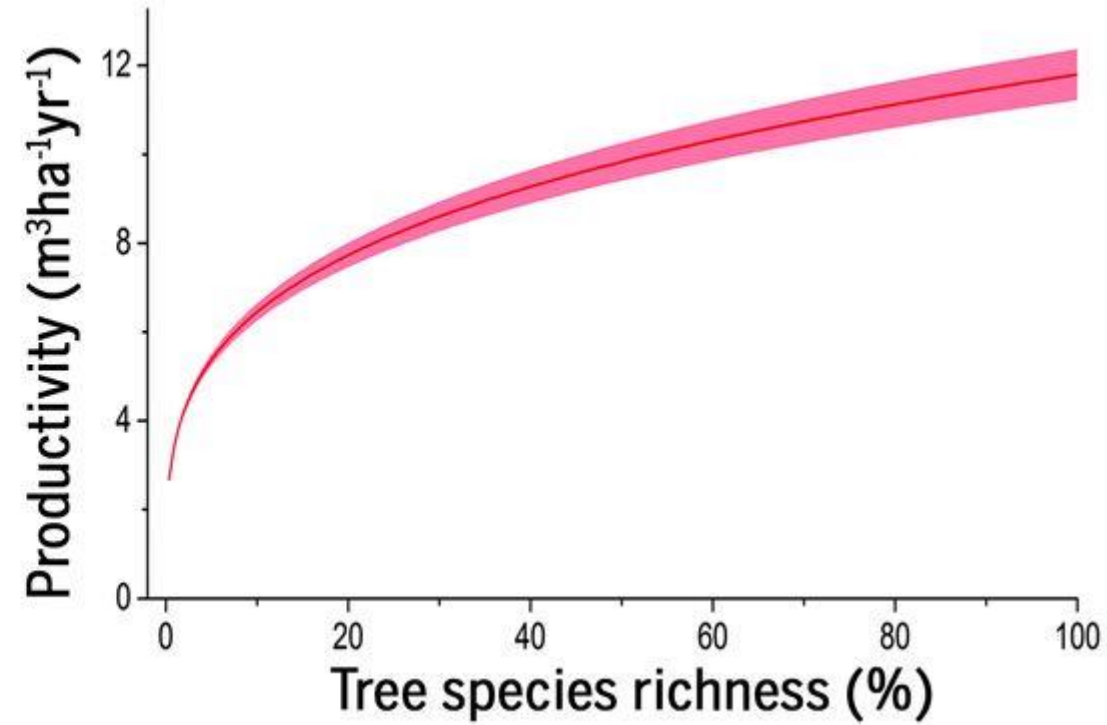
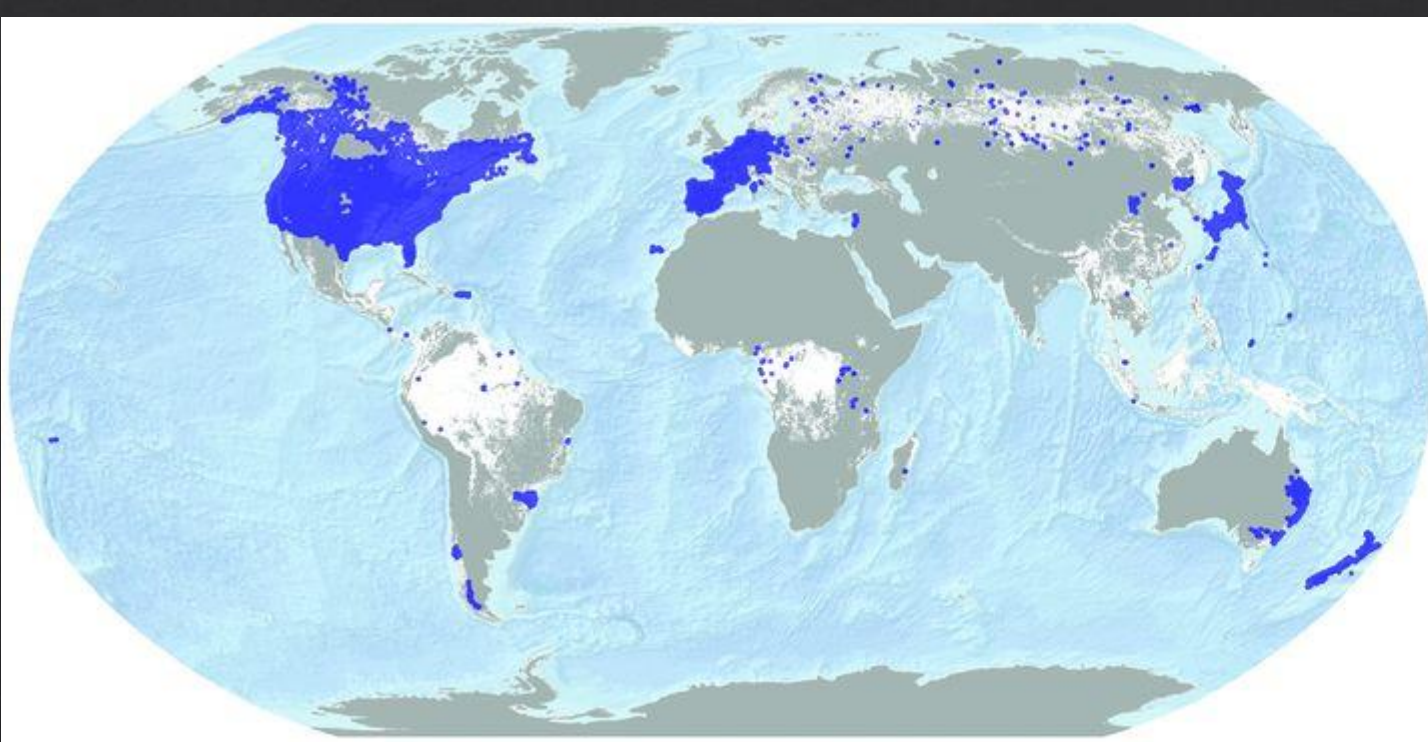
Grossiord, C. (2020), Having the right neighbors: how tree species diversity modulates drought impacts on forests. *New Phytol*, 228: 42-49

# Vertikálna diverzita (rozrôznenosť)

Pretzsch et al. 2018

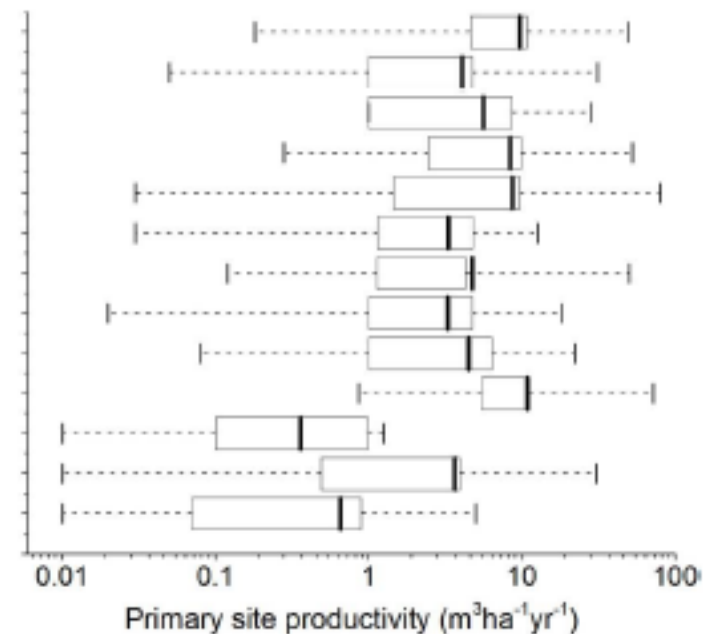
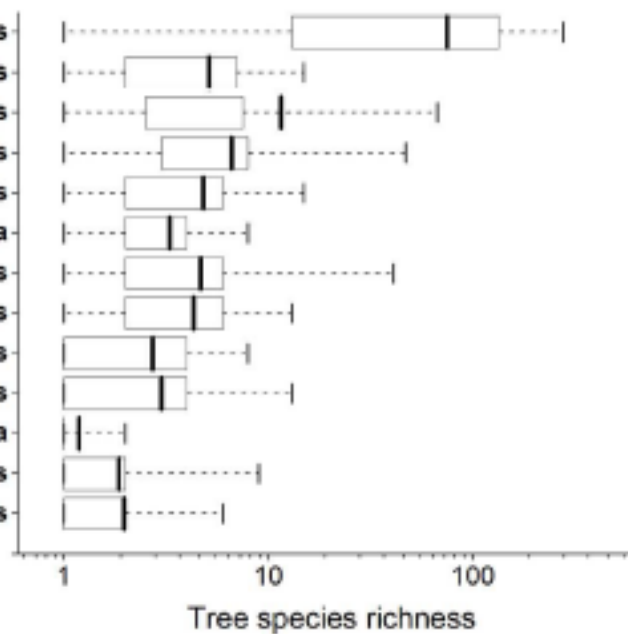
<https://doi.org/10.1186/s40663-018-0139-x>

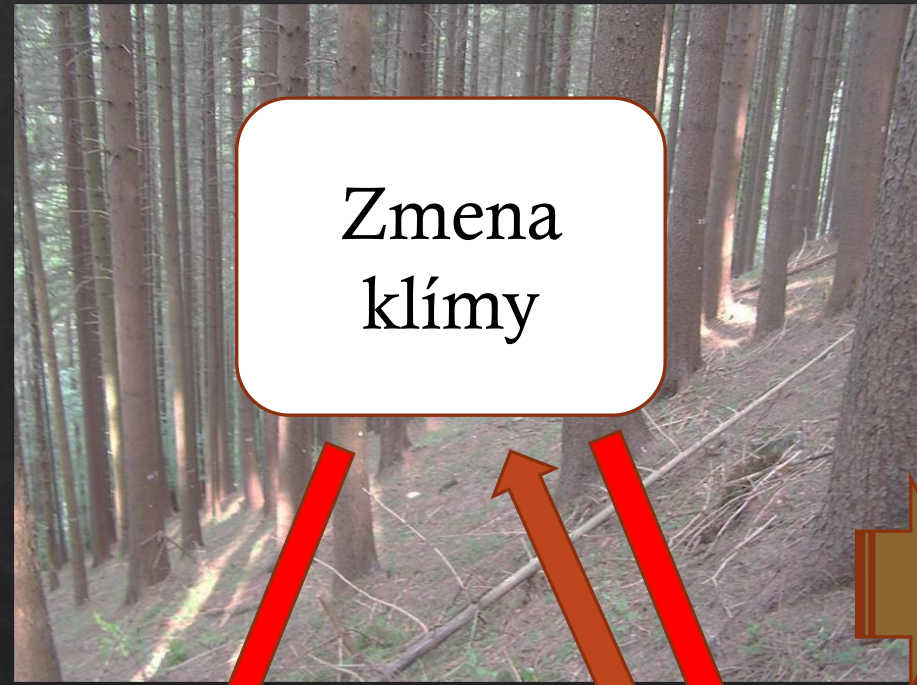




Biodiverzita  
zlepšuje  
produktivitu v  
globálnych  
lesoch

1. Tropical Moist Broadleaf Forests
2. Tropical Dry Broadleaf Forests
3. Mangroves
4. Temperate Broadleaf and Mixed Forests
5. Temperate Conifer Forests
6. Boreal Forests/Taiga
7. Tropical Grasslands and Shrublands
8. Temperate Grasslands and Shrublands
9. Flooded Grasslands and Savannas
10. Montane Grasslands and Shrublands
11. Tundra
12. Mediterranean Forests
13. Deserts and Xeric Shrublands



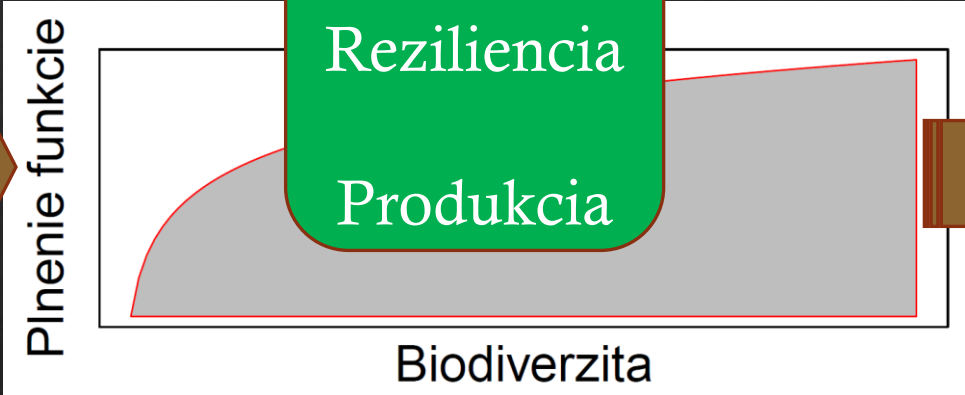


Zmena klímy



Biodiverzita

Ekosystémové funkcie



Negatívny vplyv KZ:  
Zníženie biomasy vplyvom sucha  
Zmierňovanie dopadov

Pozitívny vplyv KZ:  
Zväčšenie biomasy zvýšením CO2  
Zvýšenie pozitívneho vplyvu

Je možné manažmentom prispieť k zlepšeniu stavu lesných ekosystémov?

Je vôbec manažment lesa potrebný?

Bolo by lepšie mať všetky lesy na Slovensku či dokonca v Európe bez zásahu človeka?

# Piliere adaptívneho manažmentu lesa

## Poznatková báza

- Klimatické zmeny – identifikácia neistoty predikcií RCP scenárov
- Vnímanie KZ tými, ktorý rozhodujú v lesníctve



## Alternatívy

- Modely/simulátory rastu lesa
- Identifikácia adaptačnej schopnosti drevín a ekosystémov
- Identifikácia stratégií pre adaptívny manažment



## Rozhodnutia

- Evaluácia alternatívnych prístupov hospodárenia
- Optimalizácia
- Rozhodnutie o prioritách

# Národný lesnícky program SR 2022-2030

Uskutočniť adaptačné opatrenia v lesoch ohrozených KZ

- Zlepšiť účinnosť vykonávania opatrení ochrany lesa
- Rozpracovať premenu porastov s nevhodným drevinovým zložením
- Zabezpečiť zachovanie genofondu drevín – asistovaná migrácia

Zavádzať prírode blízke hospodárenie v lesoch

- Prebudova na PBHL najmenej na ¼ výmery lesov SR
- Vytvoriť predpoklady pre zníženie neg. vplyvu raticovej zveri

Využiť dreviny na nelesných pozemkoch pri adaptácii krajiny na KZ

- Vytvoriť podmienky na doriešenie statusu tzv. bielych plôch
- Podporiť uplatnenie agrolesníckych systémov v podmienkach SR

# Zmena drevinového zloženia



# Prírode blízke hospodárenie



# Zníženie rubnej doby ?



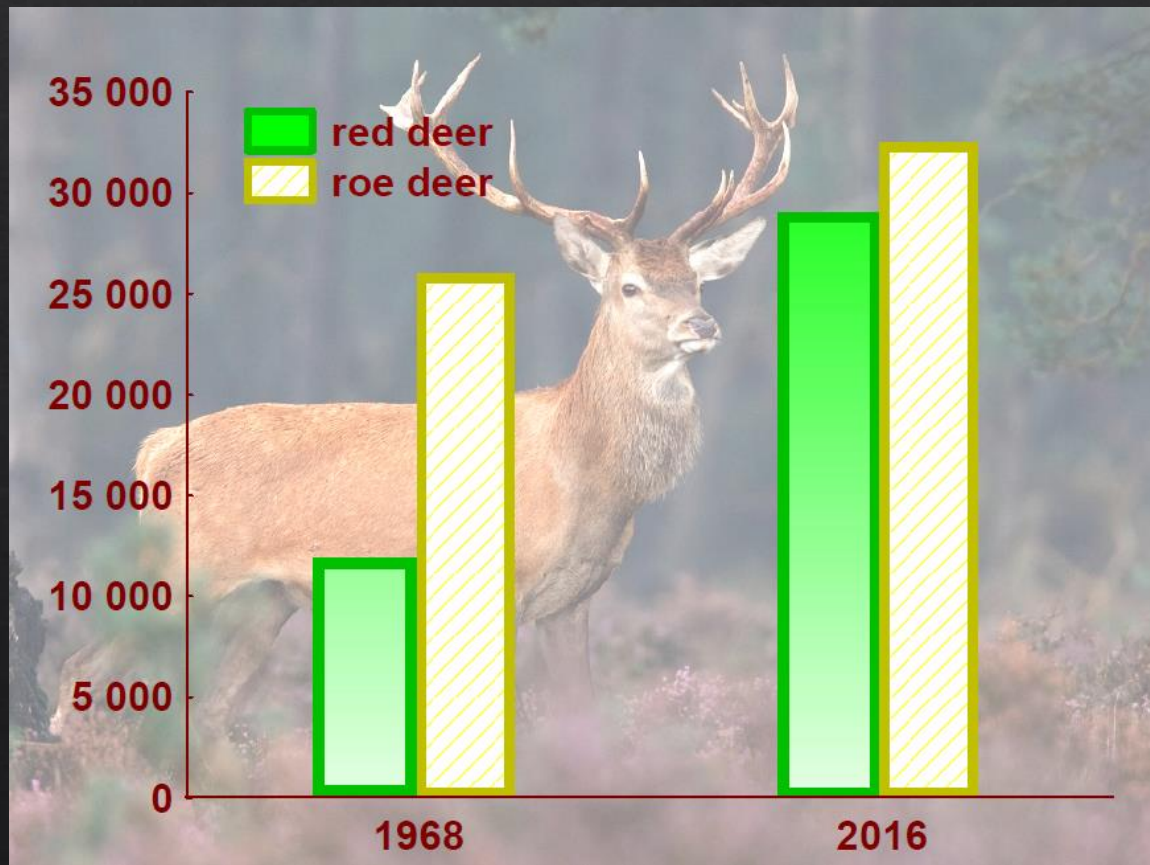
# Predĺženie obnovnej doby



Predĺženie zákonnej doby na  
zalesnenie a zabezpečenie



# Úprava manažmentu zveri



# Intenzita a prioritizácia adaptačných opatrení, najmä rekonštrukcie drevinového zloženia, závisí od viacerých faktorov (Hlásny a kol. 2012):

- ◊ Očakávanej intenzity zmeny klímy
- ◊ Exponovanosti porastov voči iným ako klimatickým faktorom

## Pri rozhodovaní je potrebné zohľadniť:

- ◊ Poznatky získané z projekcií dopadov zmeny klímy na les (simulácie rastu – procesné modely)
- ◊ Poznatky z provenienčných pokusov (dlhodobý výskum)
- ◊ Poznatky o reakciách drevín na zmeny klímy získané v minulosti (experimentálne výskumy)
- ◊ Poznatky získané z iných regiónov Európy, kde sa klimatická zmena prejavuje skôr ako na Slovensku (napr. južné hranice rozšírenia drevín)

# Možné dopady klimatickej zmeny na HÚL na Slovensku

- ◇ Zmena obnovného a cieľového drevinového zloženia
  - ◇ Rozšírenie areálu drevín (napr. dub či buk)
  - ◇ Zúženie areálu výskytu (napr. smrek)
  - ◇ Posuny vegetačných stupňov (resp. rozširovanie či zužovanie)
- ◇ Zmena rubnej a obnovnej doby vplyvom zmeny produkcie drevín
  - ◇ Zvýšenie produkcie drevín na ich hornom okraji výskytu (napr. smrek horná hranica)
  - ◇ Zníženie produkcie drevín na ich spodnom okraji (vplyv sucha)
- ◇ Zmena rubnej doby, priestorovej a ťažbovej úpravy vplyvom zvýšenia ohrozenia drevín a porastov
  - ◇ Zvýšený výskyt veľkoplošných vetrových a následne podkôrníkových kalamít
  - ◇ Zvýšený výskyt iných škodlivých činiteľov (požiare, huby, hmyz, sucho)

# Možnosti zníženia negatívnych dosahov klimatickej zmeny na lesy na Slovensku

- ◆ **Zmena hospodárskych postupov a opatrení** (typ prebierok, hospodárske spôsoby a ich formy)
- ◆ **Rámcové plánovanie** a modely hospodárenia
  - ◆ Úprava cieľového drevinového zloženia (napr. jedľa verzus smrek)
  - ◆ Preferovanie zmiešaných lesov namiesto monokultúr (najmä v prípade smreka v 4. až 6. VS)
  - ◆ Úprava rubnej doby niektorých drevín (najmä u smreka vzhľadom k zvýšenému riziku výskytu veľkoplošných kalamít starších porastov)
  - ◆ Introdukované dreviny (napr. Duglaska tisolistá)
  - ◆ Vzhľadom k neustálemu drobeniu lesa na menšie užívateľské celky sa bude do popredia dostávať výberkový hospodársky spôsob a jeho formy
  - ◆ Zlepšenie vekovej a priestorovej diverzity lesov v jednotlivých lesných celkoch

# Možnosti zníženia negatívnych dosahov klimatickej zmeny na lesy na Slovensku

- ◆ **Predĺženie doby na zalesnenie a zabezpečenie** – striktné uplatňovanie doby ma zalesnenie a zabezpečenie vedie k nadmernému uplatňovaniu umelej obnovy
- ◆ **Využitie zahraničných proveniencií** z oblastí s klímou podobnou klíme očakávanej v našich podmienkach v budúcnosti (Gömöry a kol. 2011, 2015; Longauer a kol. 2010) - človekom riadená migrácia (assisted migration)
  - ◆ Problém pamäťových efektov (Gömöry a kol. 2015)
  - ◆ Výsledky provenienčných pokusov sú zatiaľ nejednoznačné (problém reprezentatívnosti materiálu)
  - ◆ Modely fenológie sú skôr empirické ako procesné
  - ◆ V prípade **smreka**, provenienčné pokusy založené na Slovensku ukazujú, že **západokarpatské proveniencie patria k najlepším**. Pritom najhodnotnejšie proveniencie pochádzajú z nižšie položených častí prirodzeného areálu smreka (Longauer et al. 2010 in Hlásny and Sitková 2010).
  - ◆ Pri smreku sa s vekom znižuje „adaptívny vankúš“ (schopnosť zmierniť vplyv oteplenia a sucha) – **argument pre skrátenie rubnej doby v ohrozených regiónoch (Kysuce, Beskydy)**
  - ◆ úprava legislatívnych rámcov: smernica EU, zákon 217/2004 o lesnom repr. Materiály a pod.

# Literárne zdroje

- ◆ Hlásny a kol. 2012: <http://www.nlcsk.sk/download/epol/EPOL3.pdf>
- ◆ Hlásny, T., Sitková, Z. (eds.) 2010. Spruce forests decline in the Beskids – Hynutie smrekových porastov v Beskydoch. National Forest Centre – Forest Research Institute Zvolen, Zvolen & Czech University of Life Sciences, Prague & Forestry and Game Management Research Institute, Jíloviště –Strnady. 182 s
- ◆ Büntgen, U. et al., 2016. Cooling and societal change during the Late Antique Little Ice Age from 536 to around 660 AD 1–7. doi:10.1038/NGEO2652
- ◆ Luterbacher, J., 2004. European Seasonal and Annual Temperature Variability, Trends, and Extremes Since 1500. Science (80-. ). 303, 1499–1503. doi:10.1126/science.1093877
- ◆ Lindner, M., et al., 2010. Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. For. Ecol. Manage. 259, 698–709. doi:10.1016/j.foreco.2009.09.023
- ◆ Gömöry, D., Longauer, R., Krajmerová, D., 2015. Voľba lesného reprodukčného materiálu v podmienkach klimatickej zmeny. Lesn.cas.For. J. 61, 124–130. doi:10.1515/forj-2015-0021
- ◆ Gömöry, D., Longauer, R., Hlásny, T., Pacalaj, M., Strmeň, S., & Krajmerová, D. (2011): Adaptation to common optimum in different populations of Norway spruce (*Picea abies* Karst.). European Journal of Forest Research 131,2: 401–411.
- ◆ Pretzsch, H., Biber, P., Schütze, G., Uhl, E., Rötzer, T., 2014. Forest stand growth dynamics in Central Europe has accelerated since 1870. Nat. Commun. 1–10. doi:10.1038/ncomms5967