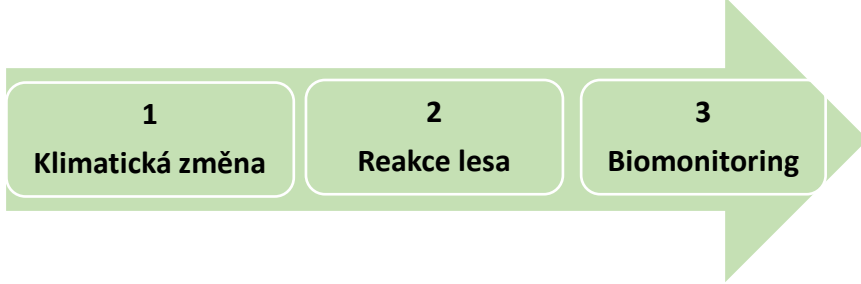




# Lesy v čase změny: Biomonitoringem k pochopení reakce lesů

Jan Krejza & Petr Horáček

XXV. konference SVOL  
Hotel Tři Věžičky – Střítež u Jihlavy 11, 23.4. 2024



## 1 Klimatická změna

Teplotní a vlhkostní režim lesních ekosystémů v ČR a Evropě

## 2 Reakce lesa

Změna dřevinné skladby

## 3 Biomonitoring

Podmínky prostředí a reakce dřevin

1

Klimatická změna

2

Reakce lesa

3

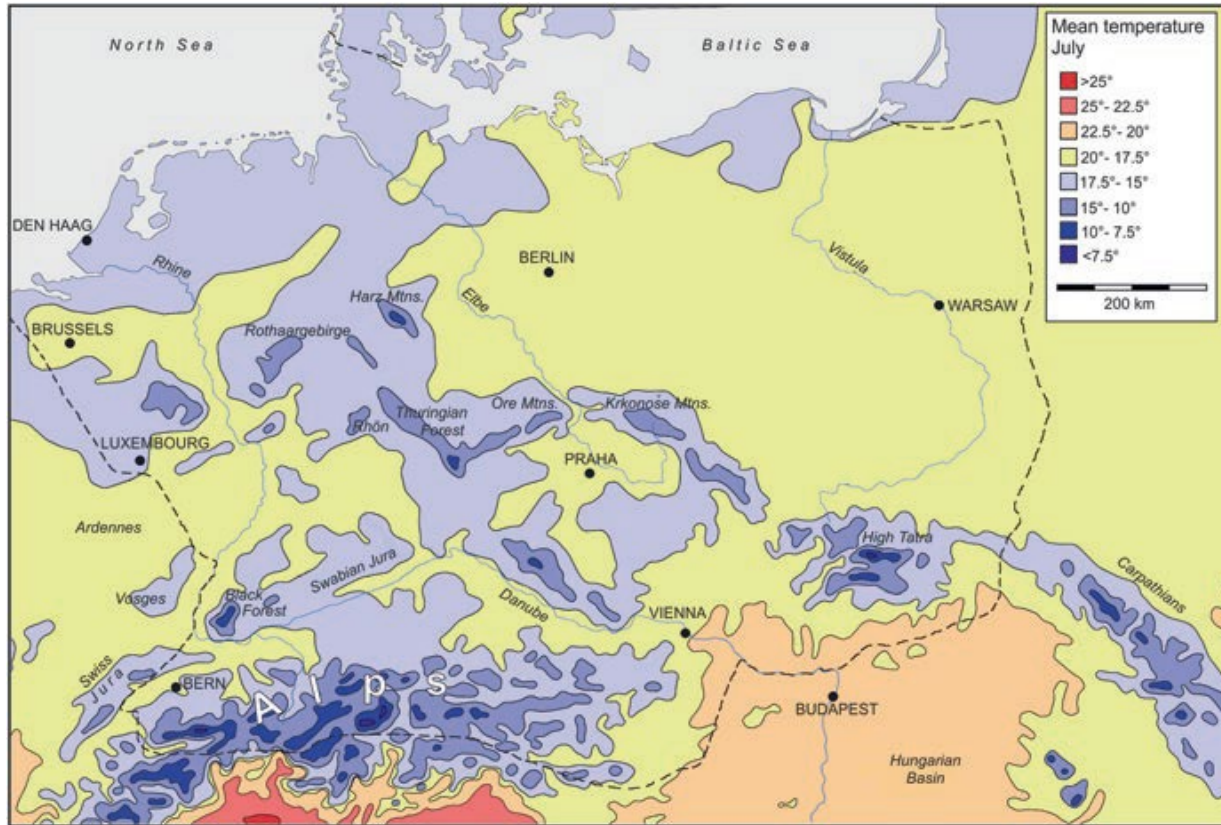
Biomonitoring

# 1 Klimatická změna

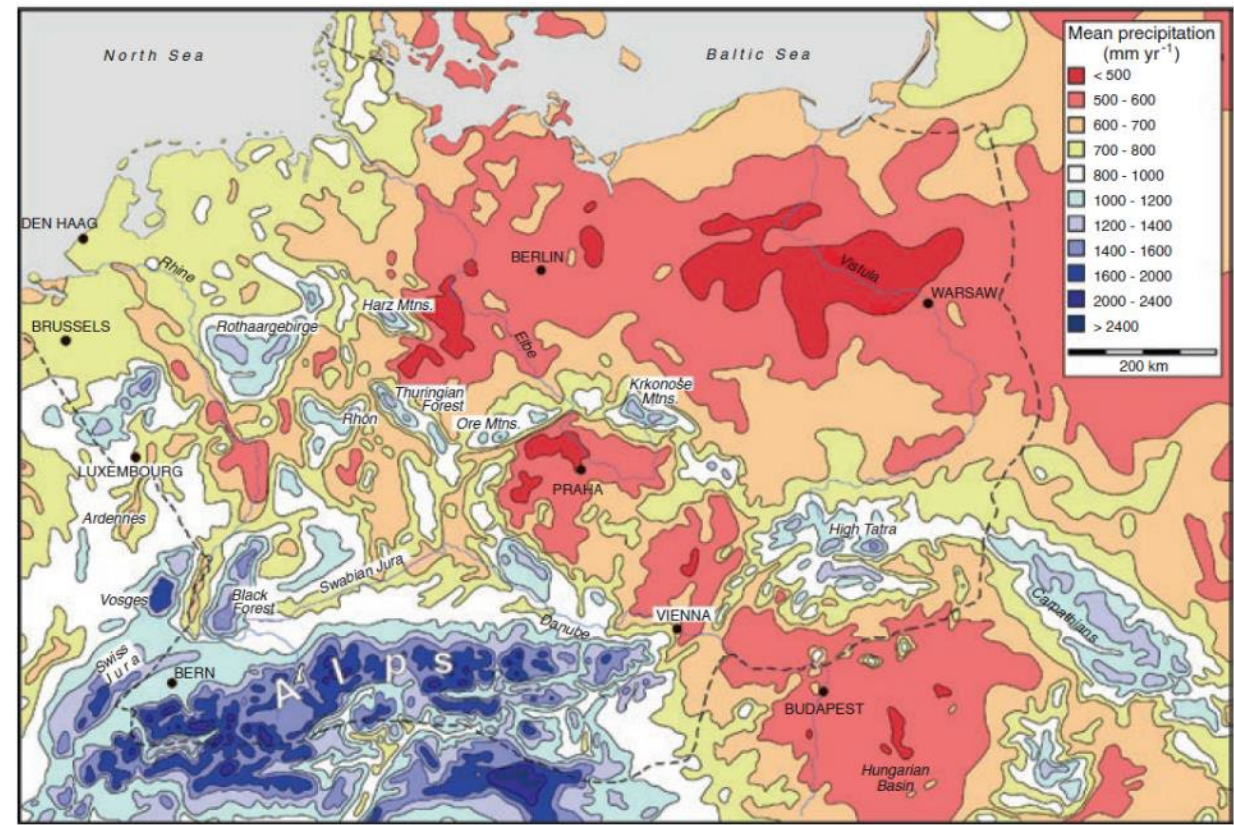
## Teplotní a vlhkostní režim lesních ekosystémů v ČR a Evropě

- **Zvyšování průměrných teplot** v Evropě; **změny v rozložení srážek**, včetně změny jejich načasování a rozložení
- **Stres dřevin suchem** oslabuje jejich odolnost vůči škůdcům a chorobám
- Stres dřevin suchem vede také ke **zvýšenému úhynu** stromů a snížení produktivity lesů
- Rostoucí teploty ovlivňují **areál a rozšíření dřevin** v závislosti na jejich odolnosti vůči teplu a suchu
- **Změny v druhovém složení lesů ...**



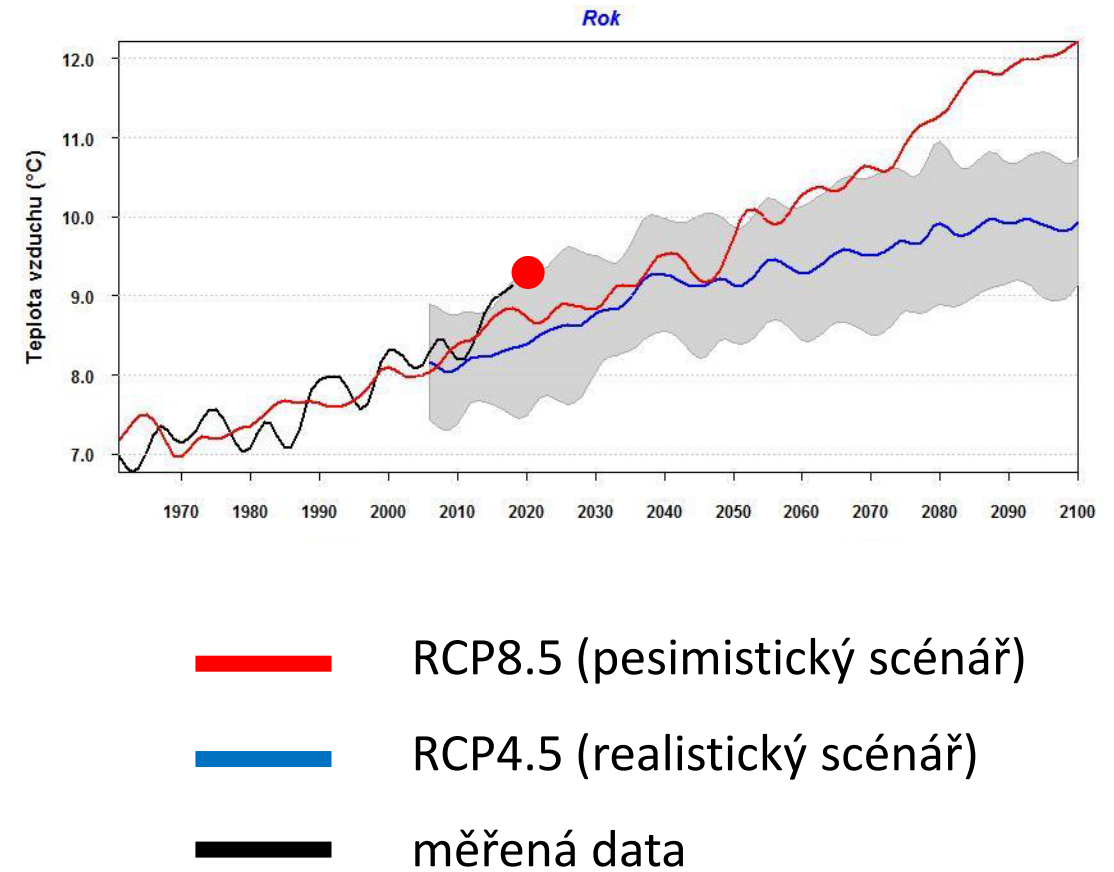
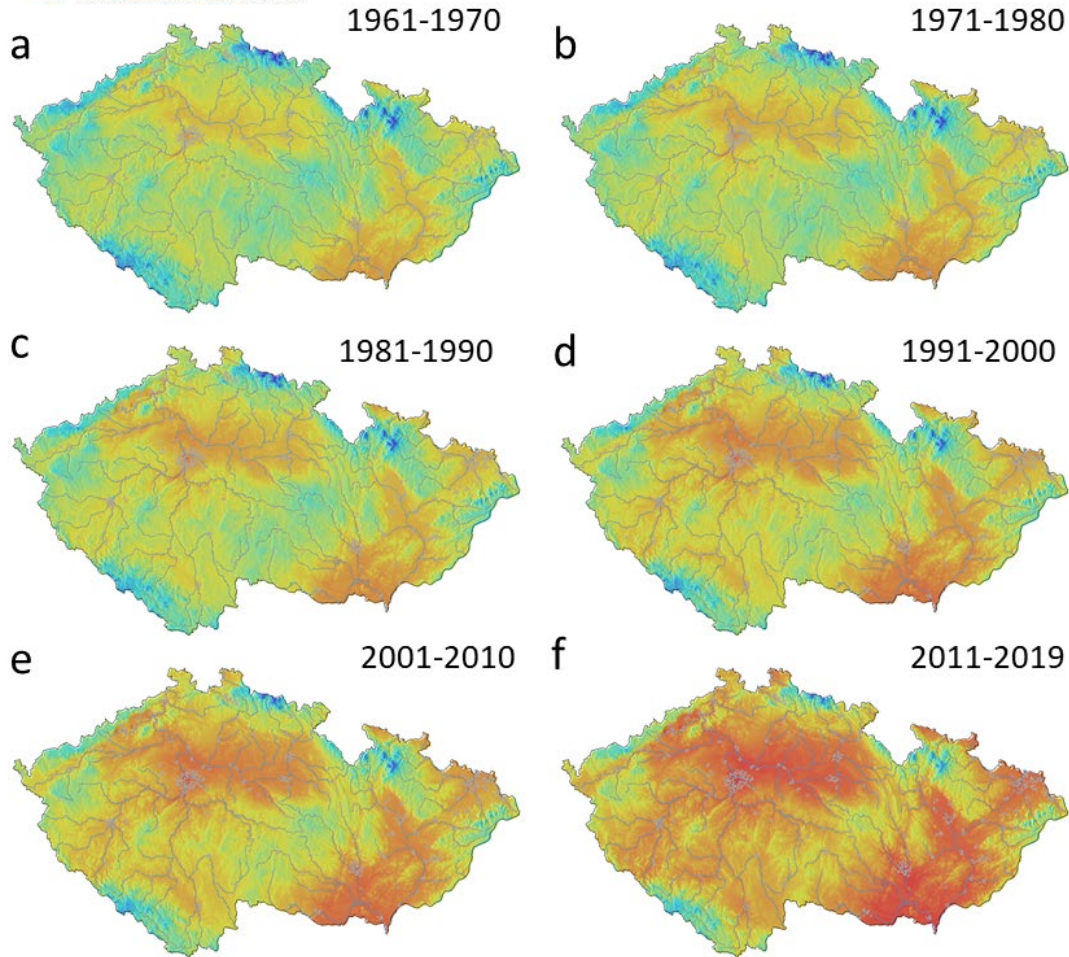


Průměrné červencové  
teploty vzduchu  
ve Střední Evropě;  
výškový gradient



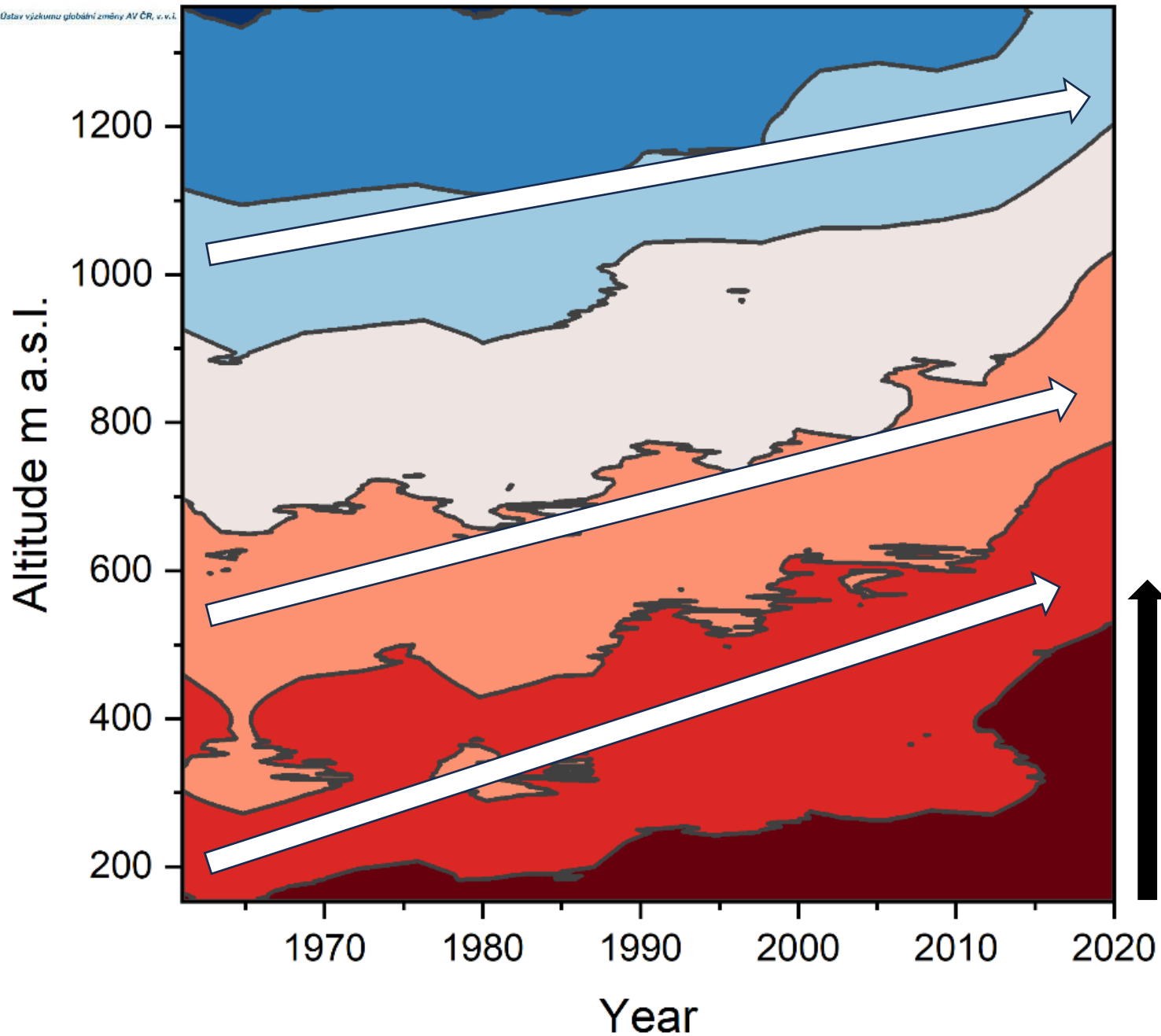
Průměrné  
roční srážky  
ve Střední Evropě;  
výškový & geografický gradient

Leuschner, Ellenberg (2017)



Průměrné **roční teploty** (°C) v **ČR**;  
1961 – 2019;  
výškový gradient



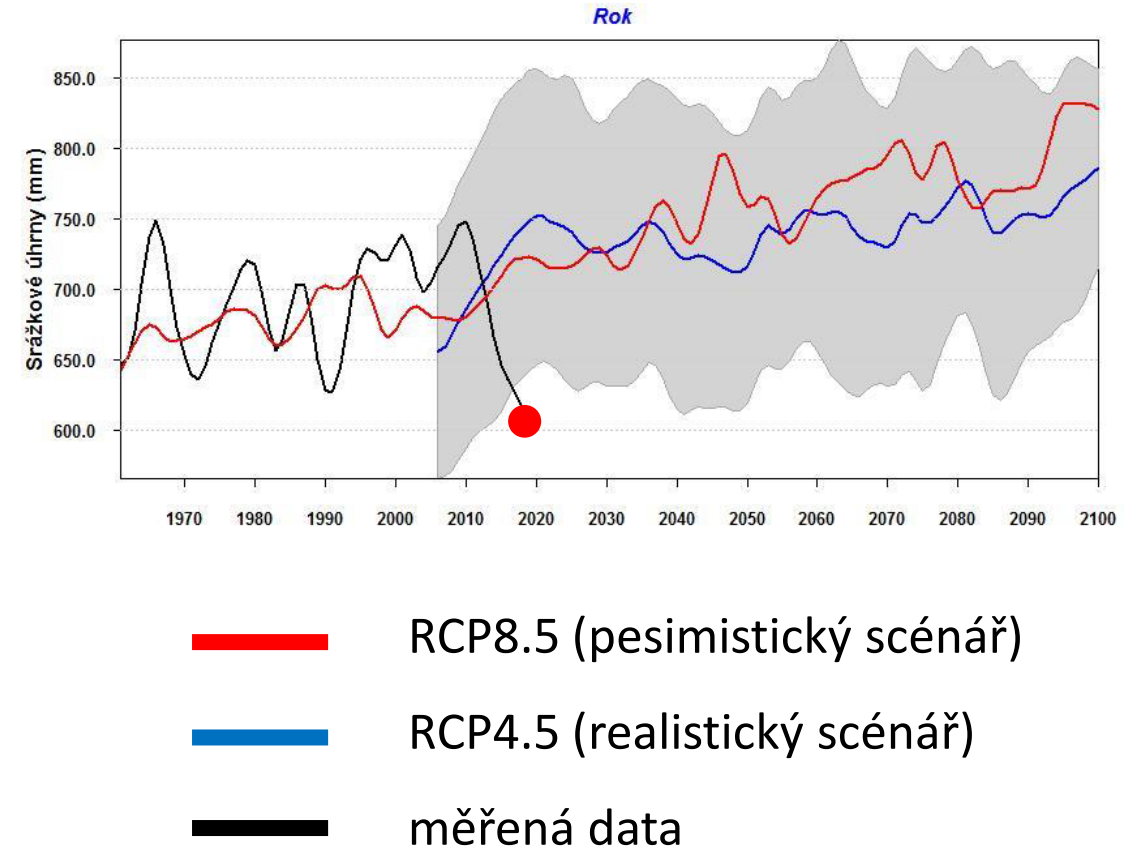
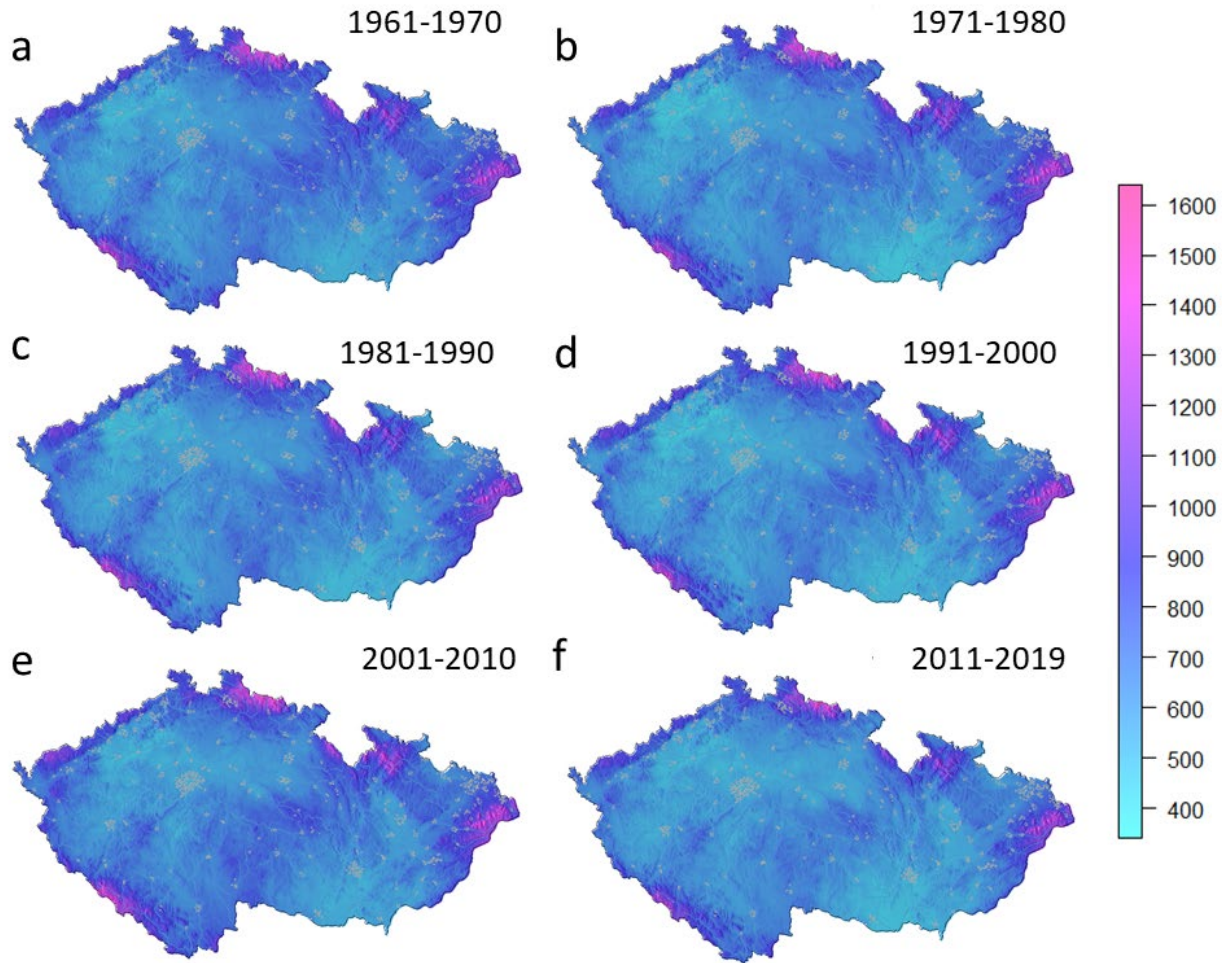


Průměrná roční teplota

Teplota vzduchu

+3°C  
≈  
+ 300 m n.m.

Posun vegetačních  
stupňů



Roční suma srážek (mm) v ČR;  
1961 – 2019;  
výškový gradient



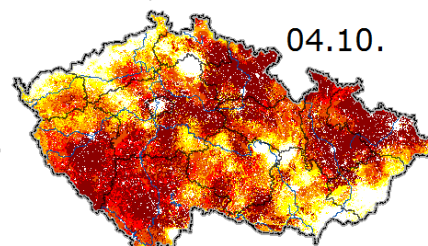
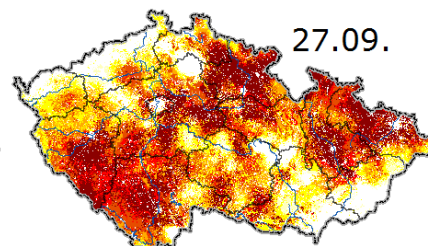
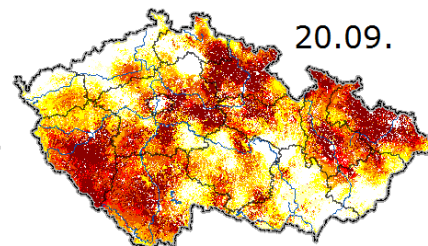
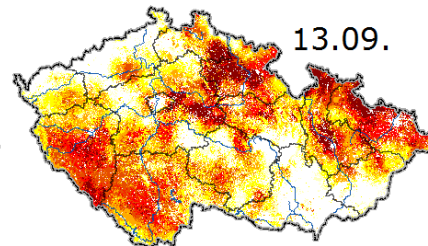
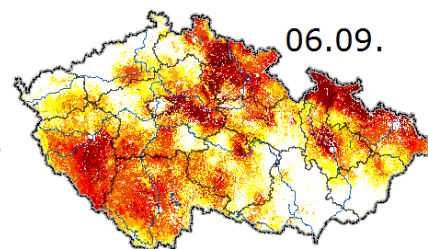
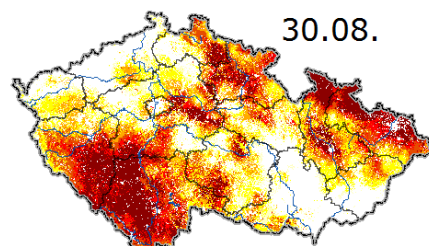
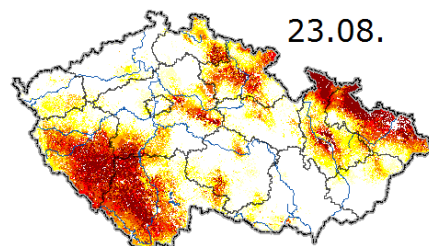
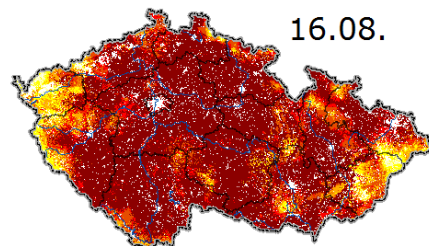
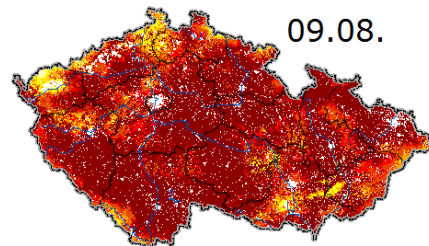
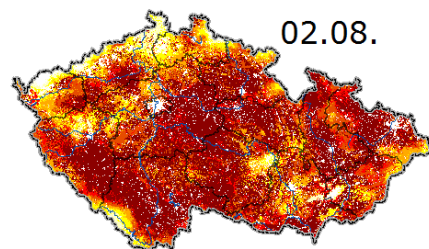
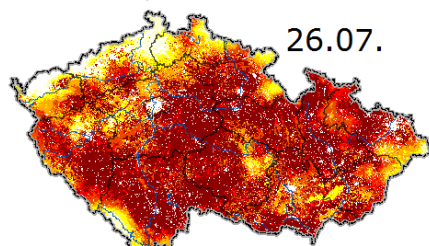
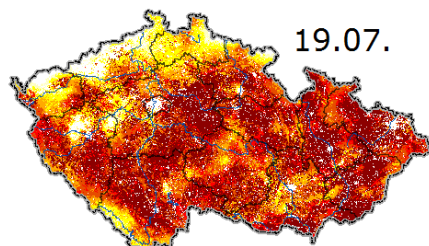
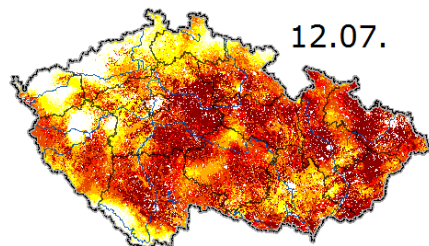
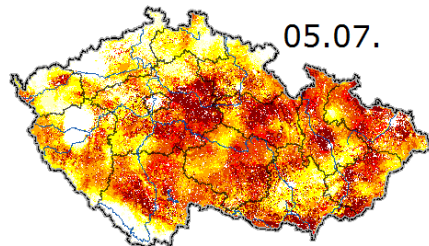
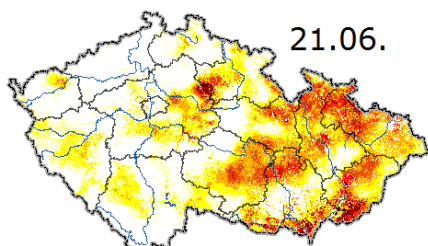
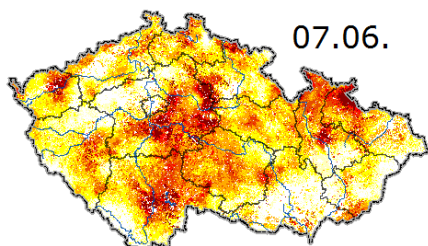
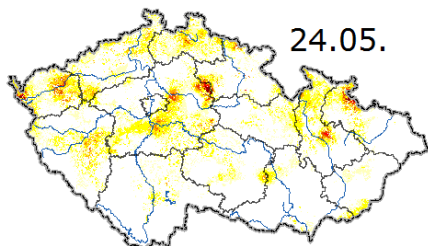
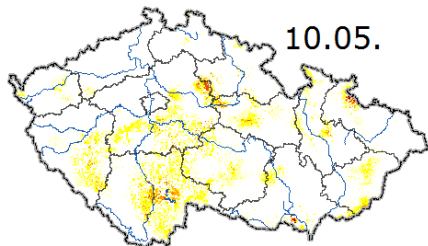
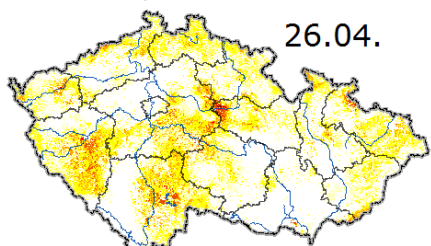
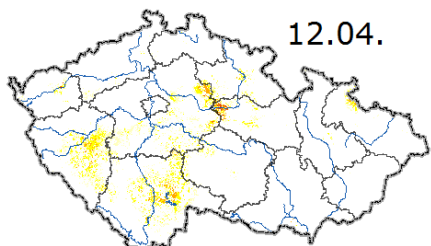
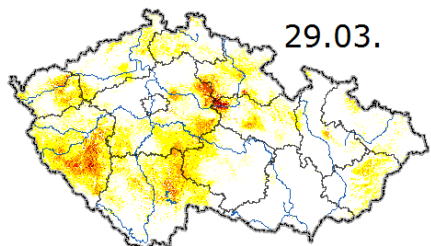
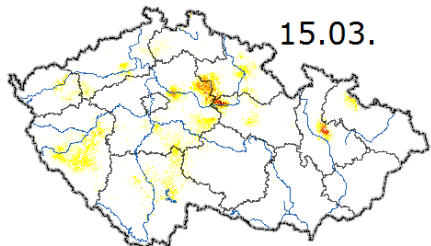
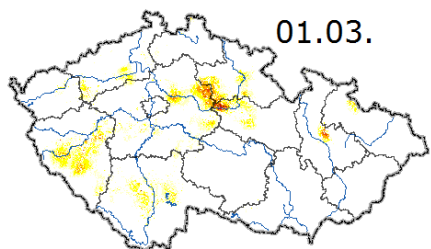
# INTEGROVANÝ SYSTÉM SLEDOVÁNÍ SUCHA



2015

Intenzita sucha v půdním profilu (0-100 cm)

= odchylka půdní vlhkosti od obvyklého stavu během let 1961-2010 pro daný týden





1

Klimatická změna

2

Reakce lesa

3

Biomonitoring

## 2 Reakce lesa

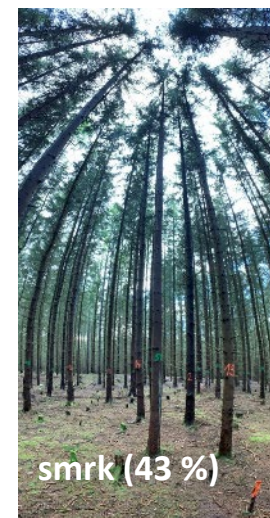
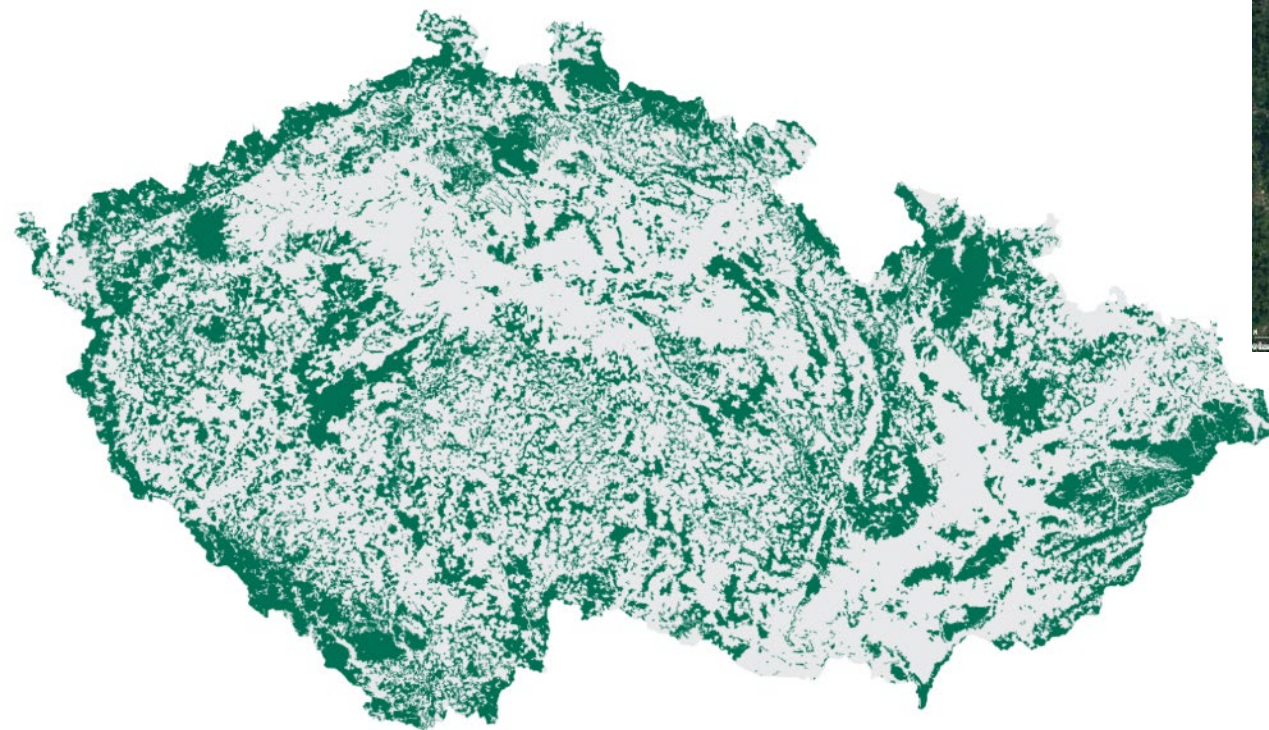
### Změna dřevinné skladby

- Kombinace sucha a vysokých teplot vede ke zvýšené **mortalitě dřevin**
- Lesy jsou závislé na **dostupnosti vody**
- Lesní ekosystémy jsou citlivé na změnu **vodní bilance**
- Voda hraje ústřední roli ve fyziologických procesech rostlin a změny v její dostupnosti vedou ke strukturálním a funkčním změnám od jednotlivých buněk až po celé stromy
- Znalost těchto zákonitostí a procesů spojené se změnami v lese je klíčové pro **management lesa**



# Forest cover

(Copernicus – CORINE Land Cover)



## Současná dřevinná skladba

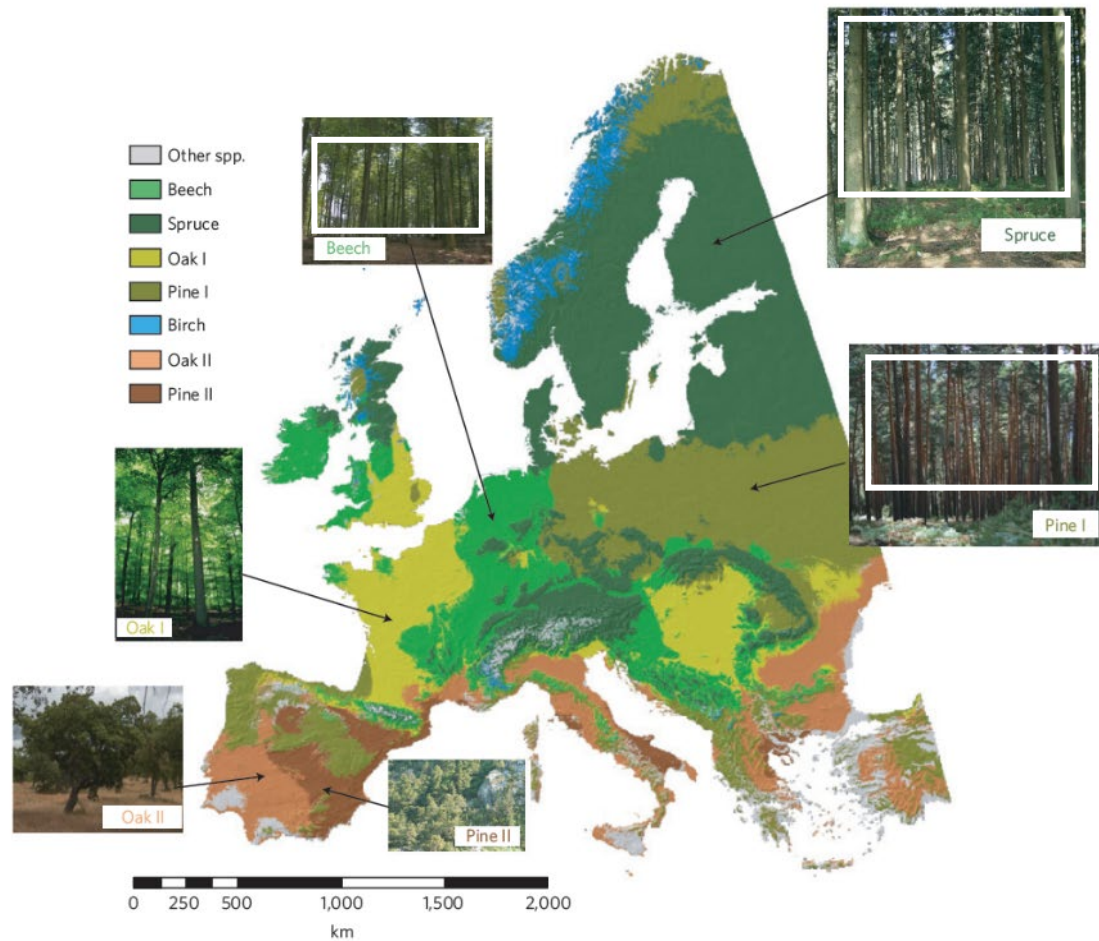
(podmínky odpovídající ekologickým požadavkům dřevin?)



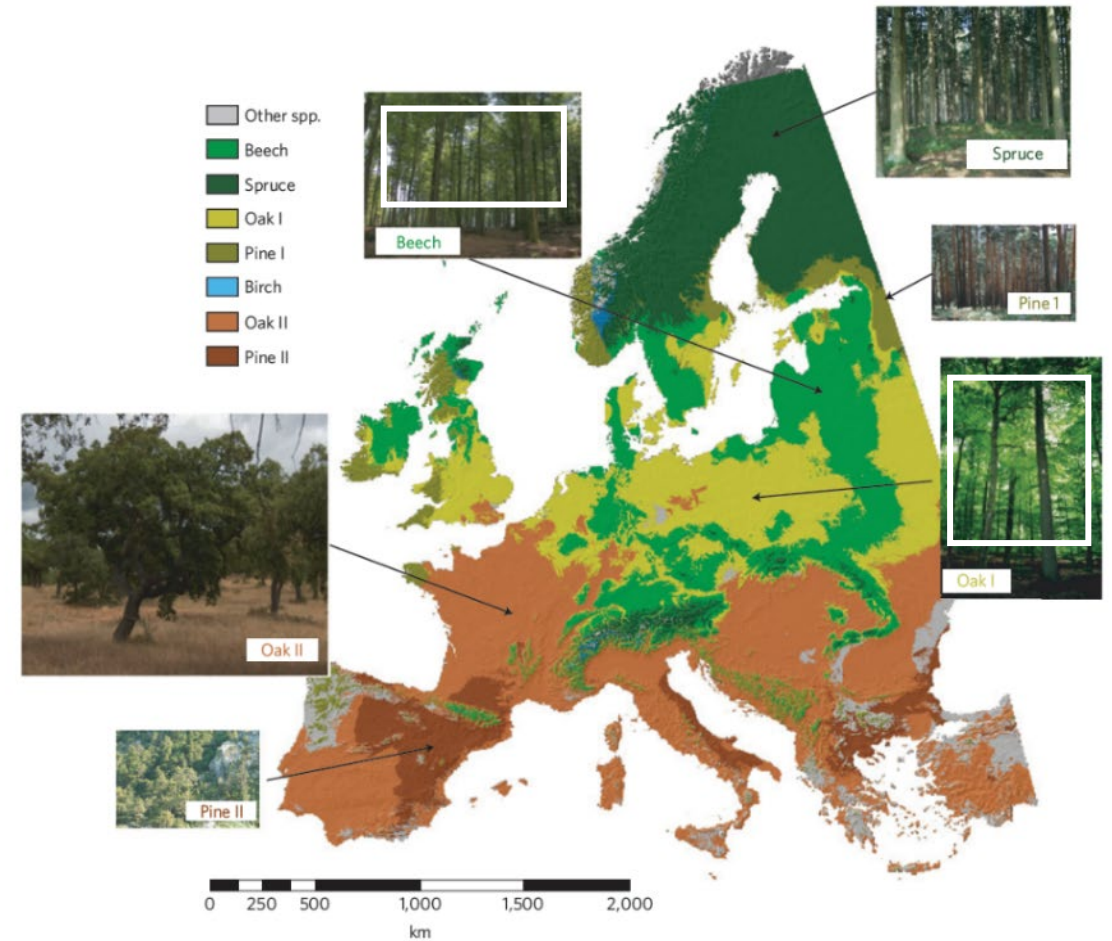
Současnost  
1950-2000



Výhled  
2070-2100



**Figure 1** | Potential range of major tree species in Europe for the climate normal period (1950–2000). The size (area) of the pictures, showing typical aspects of forests dominated by the modelled species, approximately corresponds to the share of the total area in the climate normal period (birch not depicted). For an explanation of the tree species groups, see Methods.



**Figure 2** | Potential range of major tree species in Europe for scenario A1B, CLM/ECHAM5—moderate warming (2070–2100). The size (area) of the pictures, showing typical aspects of forests dominated by the modelled species, approximately corresponds to the share of the total area in A1B (2071–2100; birch ~0.3%, not depicted).



Tree species	Shade tolerance		Drought (seedling)	Sensitivity		
	adult	young		Drought (mature)	Spring frost	Winter frost
<i>Pinus uncinata</i>	1	0		1	1	2
<i>Pinus nigra</i>	3	1		1	1	4
<i>Pinus cembra</i>	4	3		1	1	1
<i>Quercus robur</i>	2	1	2	2	3	3
<i>Quercus petraea</i>	3	2	2	2	3	4
<i>Pinus sylvestris</i>	1	1	3	2	1	2
<i>Quercus pubescens</i>	2	1		2	4	4
<i>Quercus cerris</i>	2	2		2	4	4
<i>Sorbus aria</i>	3	2		2	3	3
<i>Sorbus aucuparia</i>	2	2		2	1	2
<i>Acer campestre</i>	3	3		2	3	4
<i>Castanea sativa</i>	3	3		2	5	5
<i>Ulmus minor</i>	3	3		2	2	4
<i>Sorbus torminalis</i>	3	4		2	4	4

Leuschner, Meier (2018)

## Reakce dřevin na půdní sucho – malá

●	5	very high
○	4	high
◐	3	moderate
◑	2	low
○	1	very low

Tree species	Shade tolerance		Drought (seedling)	Sensitivity		
	adult	young		Drought (mature)	Spring frost	Winter frost
<i>Tilia cordata</i>	4	3	2	3	3	3
<i>Acer pseudoplatanus</i>	4	4	2	3	3	4
<i>Carpinus betulus</i>	3	4	2	3	4	4
<i>Betula pendula</i>	1	1	4	3	1	2
<i>Malus sylvestris</i>	2	1		3	4	4
<i>Populus tremula</i>	2	2		3	1	2
<i>Acer platanoides</i>	4	4		3	3	4
<i>Sorbus domestica</i>	4	4		3	4	4
<i>Tilia platyphyllos</i>	4	4		3	3	4
<i>Ulmus glabra</i>	4	4		3	2	4

Leuschner, Meier (2018)

## Reakce dřevin na půdní sucho – střední

●	5	very high
○	4	high
◉	3	moderate
◊	2	low
○	1	very low

Tree species	Shade tolerance		Drought (seedling)	Sensitivity		
	adult	young		Drought (mature)	Spring frost	Winter frost
Fraxinus excelsior	3	4	4	4	5	4
Abies alba	5	5	4	4	5	3
Fagus sylvatica	5	5	4	4	5	4
Larix decidua	1	0		4	3	1
Populus alba	2	3		4	3	4
Prunus padus	3	3		4	4	3
Ulmus laevis	4	4		4	2	4
Picea abies	4	3	5	5	3	2
Betula pubescens	1	1		5	1	2
Alnus incana	3	2		5	2	2
Alnus glutinosa	3	3		5	3	3
Populus nigra	2	3		5	2	3
Salix alba	2	3		5	2	4
Salix fragilis	2	3		5	2	4

Leuschner, Meier (2018)

## Reakce dřevin na půdní sucho – velká

●	5	very high
○	4	high
◐	3	moderate
◑	2	low
○	1	very low



1  
Klimatická změna

2  
Reakce lesa

3  
Biomonitoring



## 3 Biomonitoring

### Podmínky prostředí a reakce dřevin

- **Volba dřevin** podle citlivosti na změny prostředí (sucho) – **SM, BO, BK, DB**
- Růstová reakce dřevin = přímý indikátor stresových faktorů (např. degradace stanovišť nebo změna klimatu)
- Růstová reakce = okamžitá změna = real-time biomonitoring (aktuální analýza)
- Sledování **změny růstové reakce** vyžaduje stanovení referenčního stavu = **dlouhodobý normál**
- Dlouhodobé údaje o stavu ekosystému před (významným) narušením životního prostředí (retrospektivní analýza)
- **Reference** pro budoucí hodnocení

# Motivace pro biomonitoring lesních ekosystémů v reálném čase



Produkty DPZ

DendroNetwork

## Klimatická změna

- Zvyšující se teploty
- Měnící se srážkové poměry
- Extrémní povětrnostní jevy
- Škůdci a choroby

## Tradiční metody monitoringu

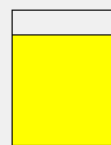
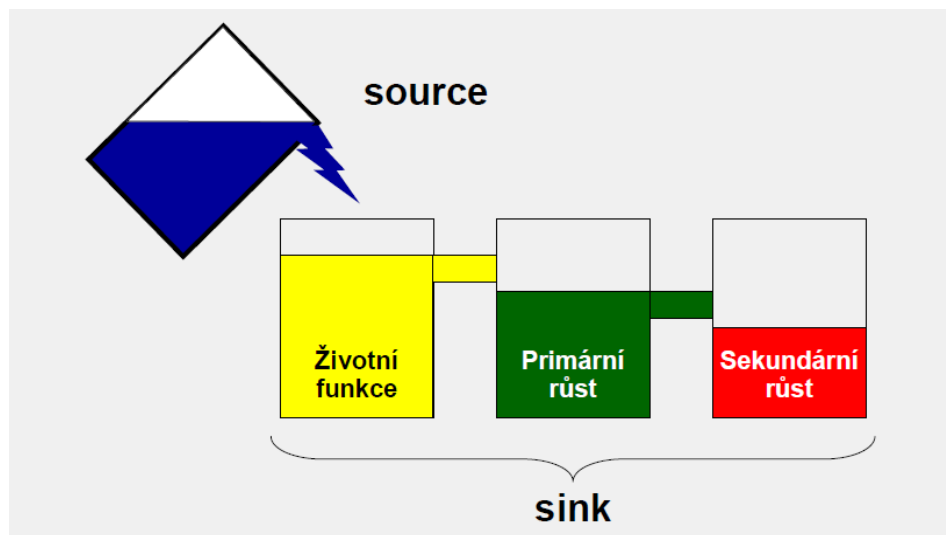
- Přerušované hodnocení
- Omezený rozsah údajů
- Opožděná reakce



## Průběžné monitorování lesa v reálném čase

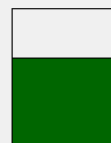
- Průběžný sběr dat
- Komplexní poznatky o datech
- Téměř okamžitá analýza

# Růstová reakce dřevin



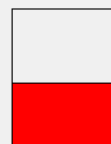
## Životní funkce

- respirace, obnova pletiv



## Primární (dlouživý) růst

- listy, prýty, kořeny
- postupně *přestávají* být konzumenty a *produkuji*



## Sekundární (radiální, tloušťkový) růst

- větve, kmen, kořeny
- ukládání *přebytečných* asimilátů, vždy *konzumenti*



## Primární růst

- ... koruna, listoví, prýty
- ... produkty **DPZ**



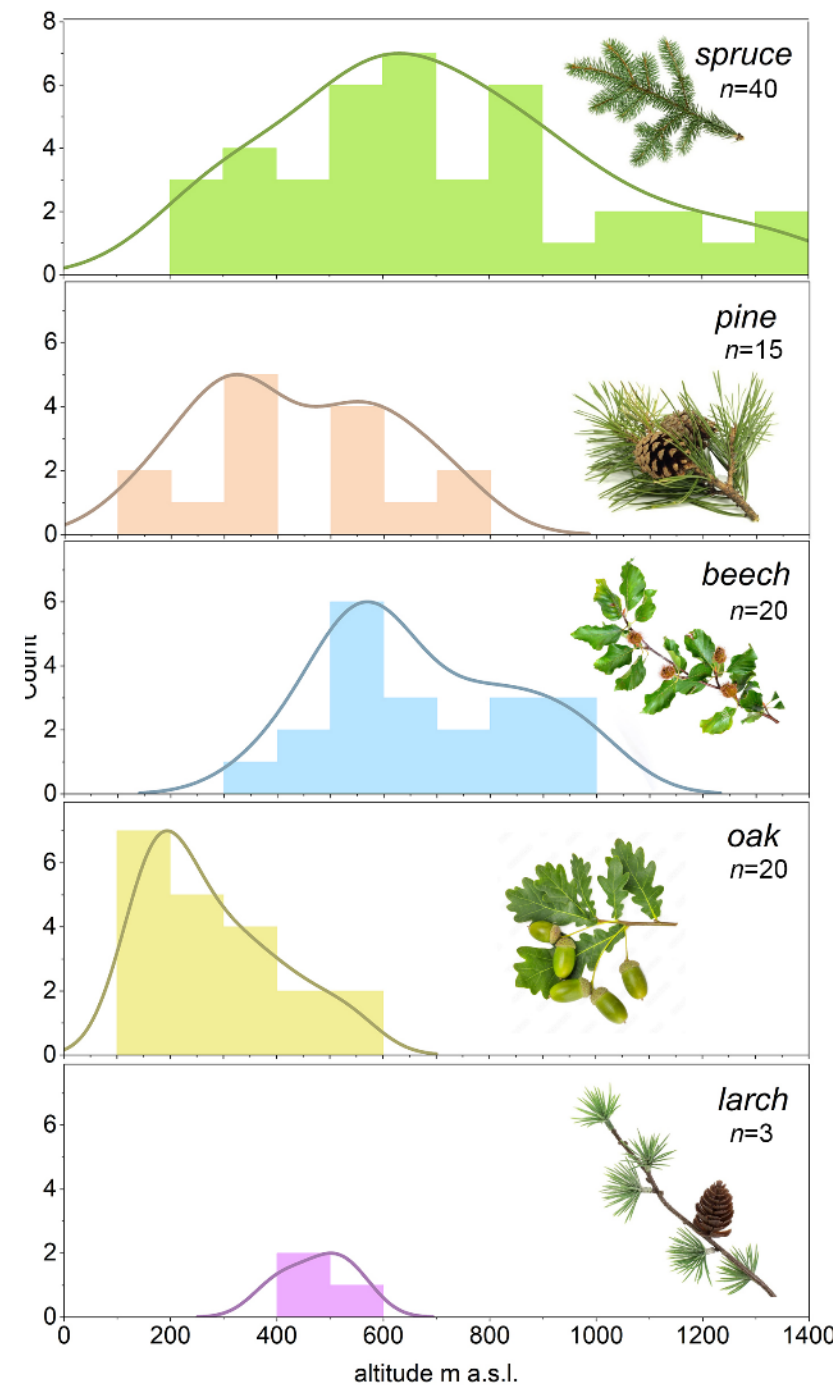
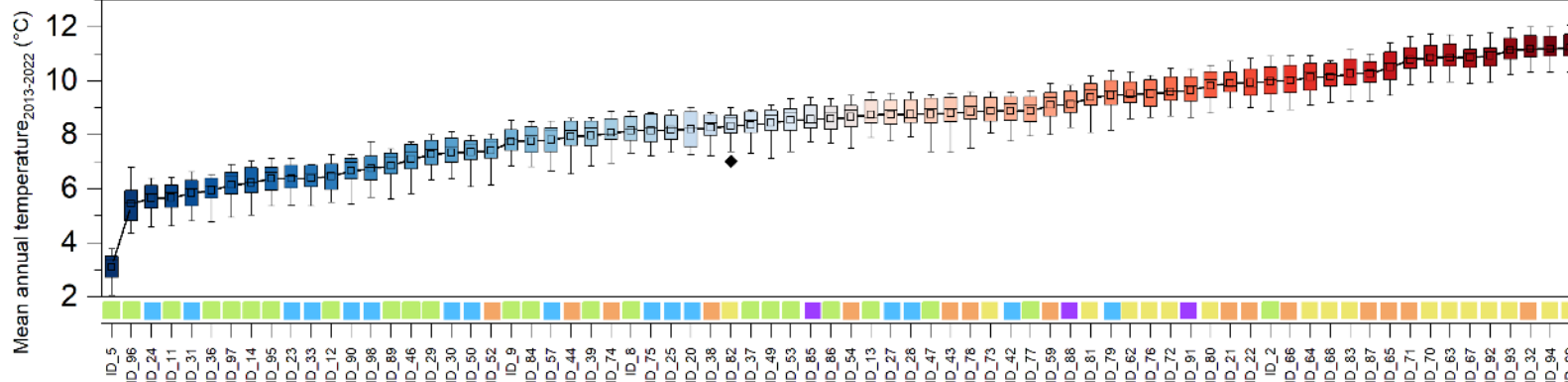
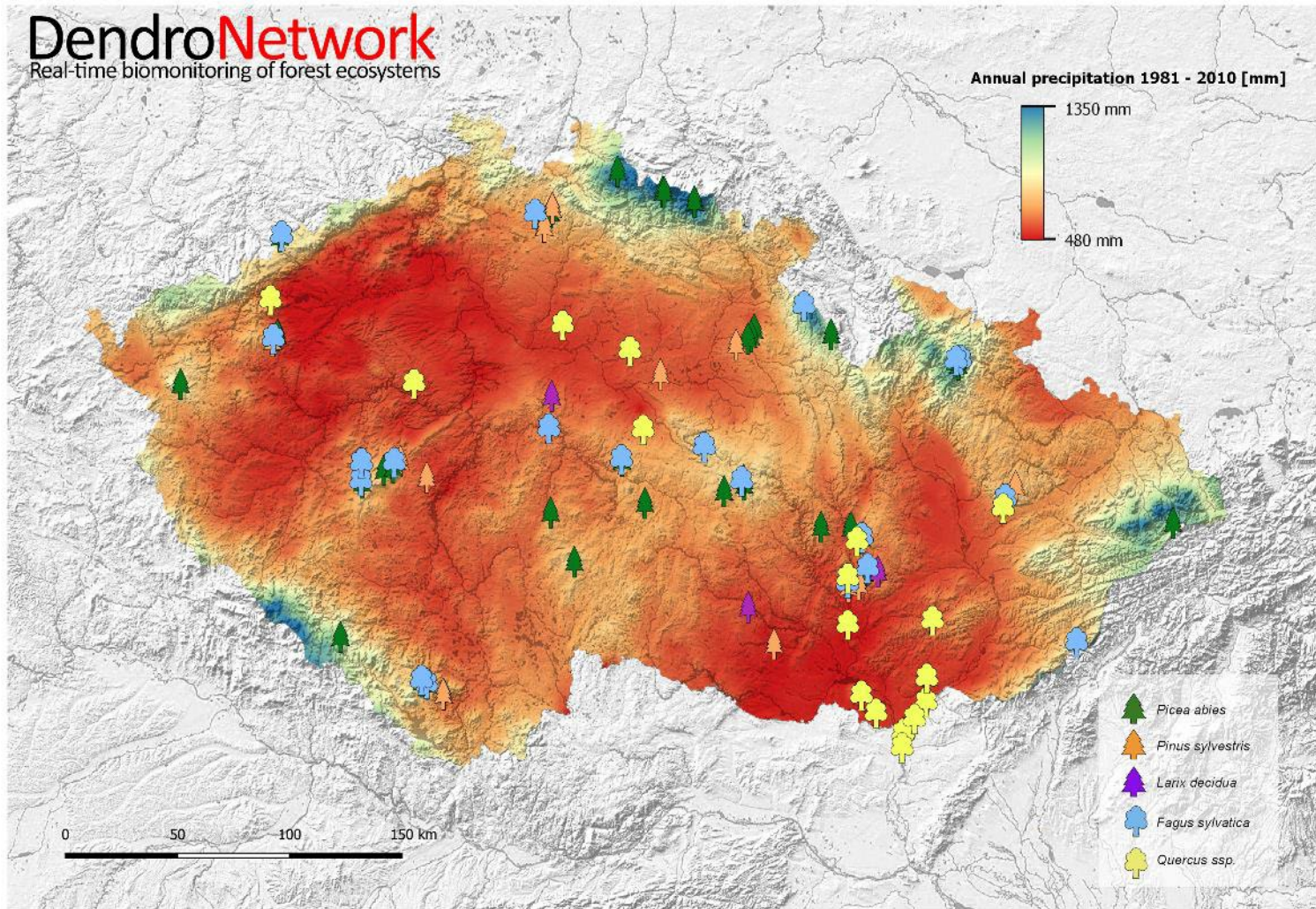
## Sekundární růst

- ... kmen
- ... inventarizace
- ... ekonomika
- ... nejcitlivější indikátor
- ... **DendroNetwork**



# DendroNetwork

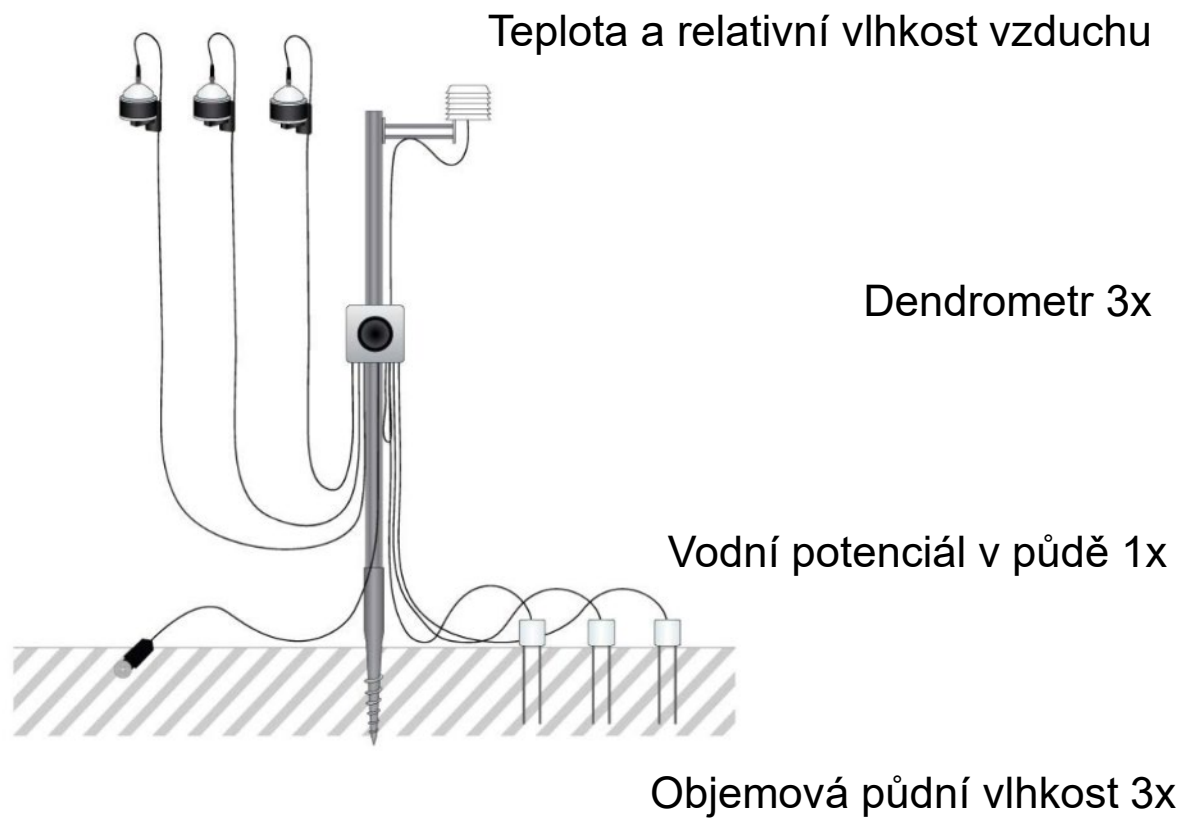
Real-time biomonitoring of forest ecosystems





# DendroNetwork

- On-line stanice (172 ploch)
- Off-line stanice (20 ploch)



EMS33S



DR26P



TEROS 21



CS616

Odesílání dat 0:00; 12:00





**Near-real time products**

Diagram toku dat v rámci sítě Dendro NETWORK

www.dendronet.cz

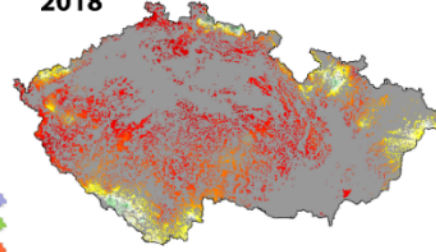
**Upscaling  
na národní  
úroveň**



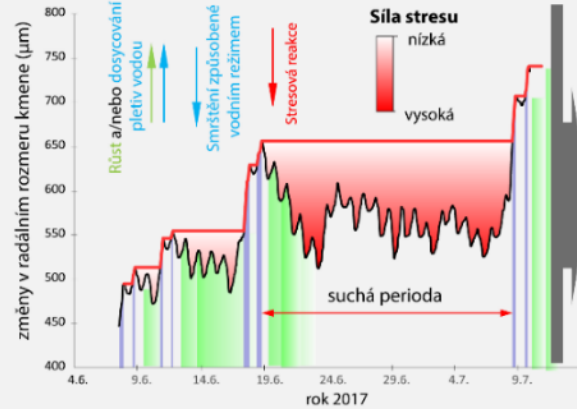
- Růst dřeva
- Ukládání uhlíku
- Vodní režim
- Stresová reakce

**Vizualizace dat (v reálném čase)**

2018



Index ročního přírůstu smrkových porostů  
 0,0 1,0 2,0



- Růst dřeva
- Ukládání uhlíku
- Vodní režim
- Stresová reakce



Monitoring  
kvality dat

**Cloudové  
uložiště**

**Měřené parametry**

- radiální rozměr kmene
- relativní vlhkost vzduchu
- teplota vzduchu
- teplota půdy
- vodní potenciál půdy
- vlhkost půdy



Dlouhodobé  
serie měření  
**DENDROMETR**

Retrospektivní  
analýza růstu  
**Dendrochronologie**

**Produkce dříví**

**Ukládání uhlíku**

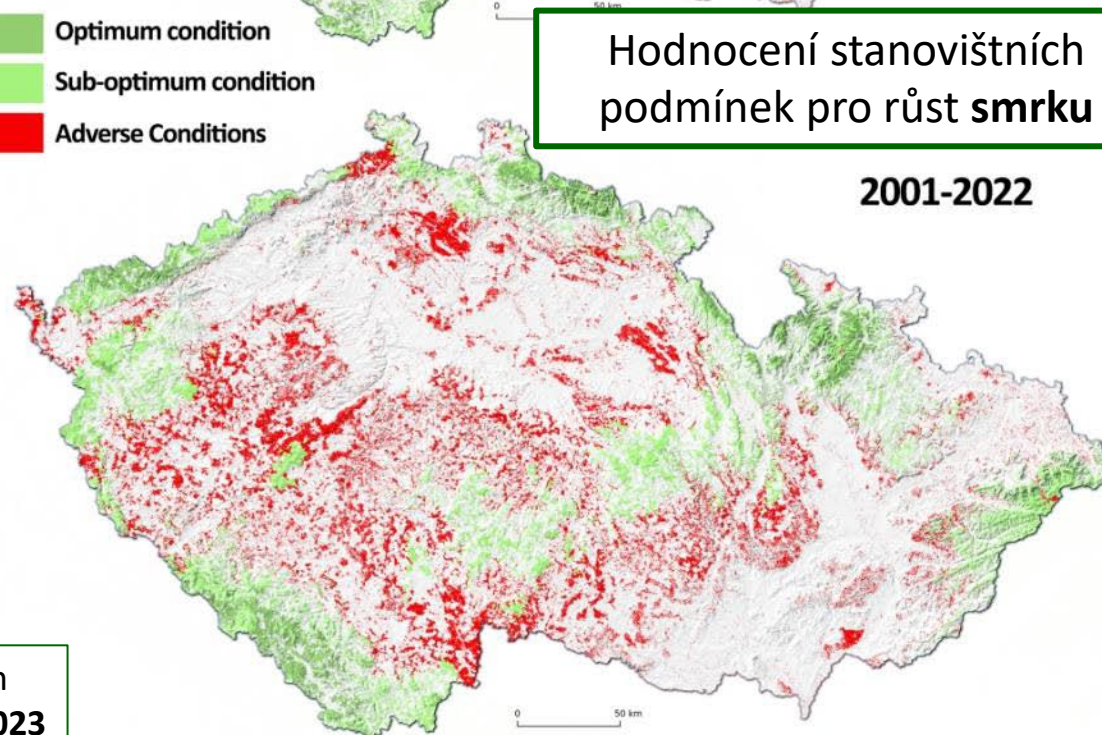
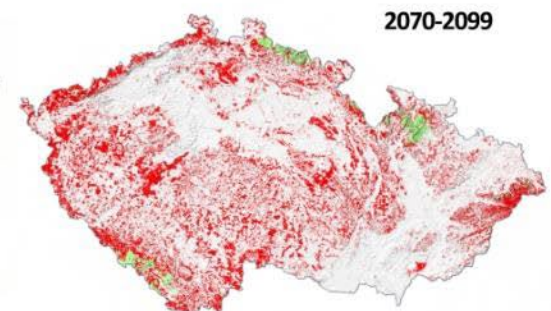
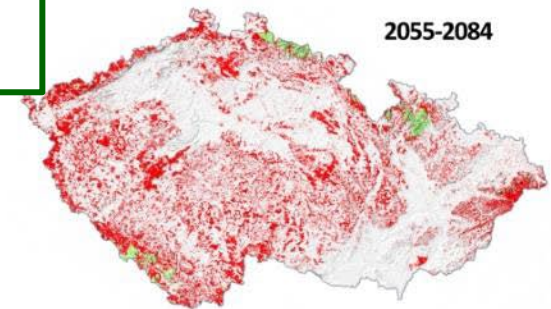
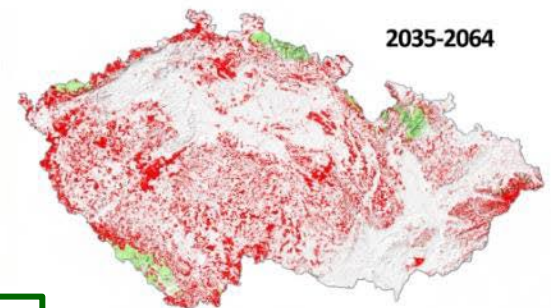
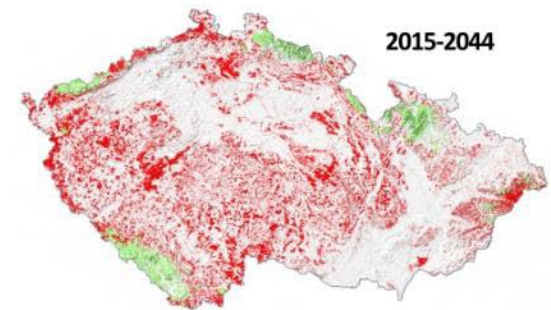
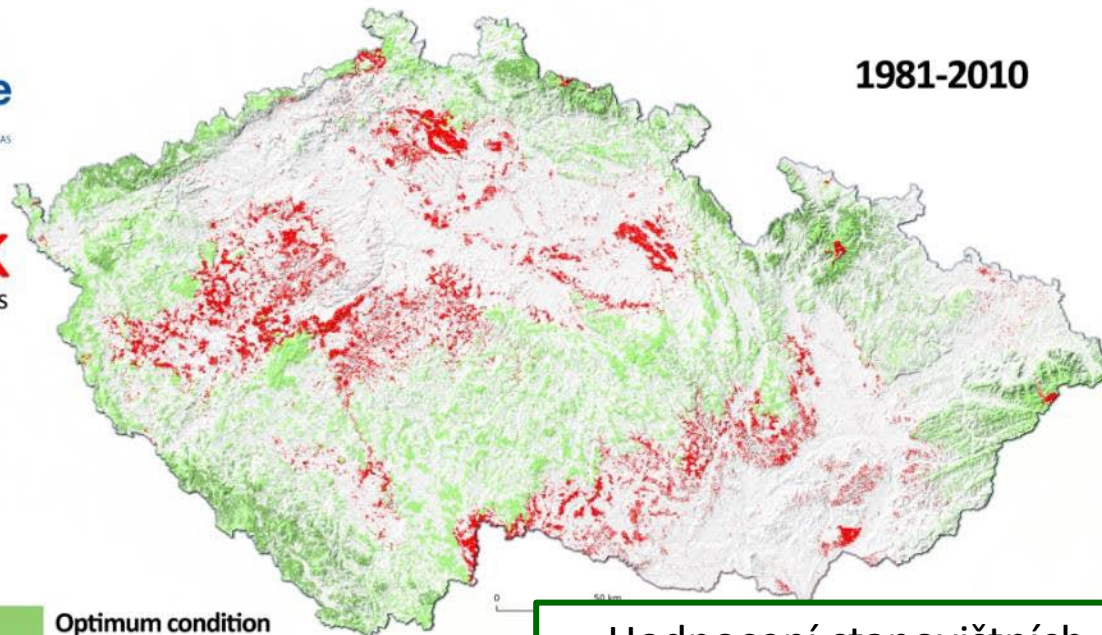
**Vodní režim**

**Indikátor stresu suchem**



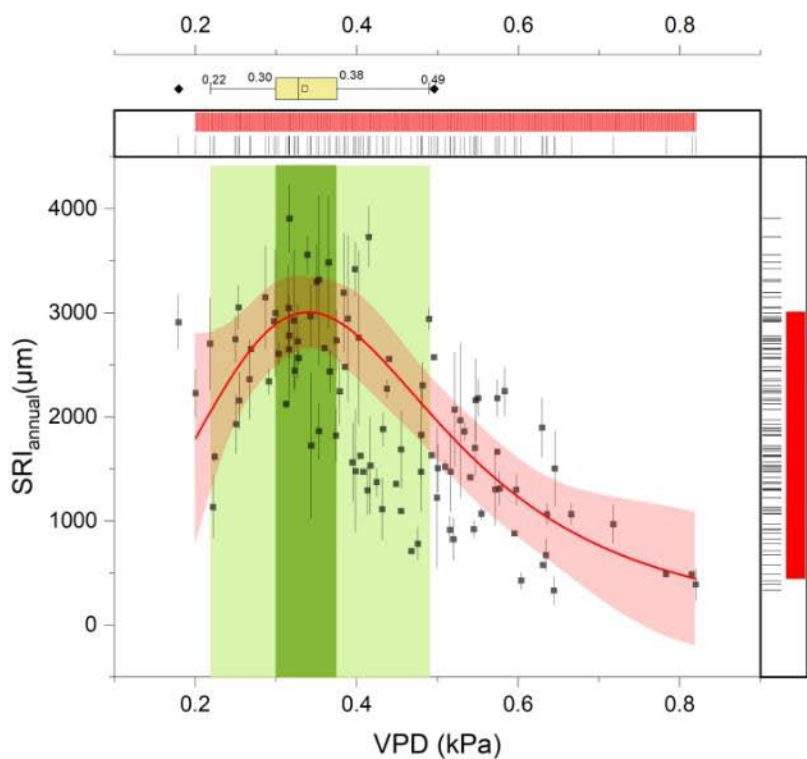


**DendroNetwork**  
Real-time biomonitoring of forest ecosystems



Hodnocení stanovištních podmínek pro růst smrku

- Optimum condition
- Sub-optimum condition
- Adverse Conditions



Vztah mezi tloušťkovým přírůstem **smrku** a sytostním doplňkem pro lokality DendroNetwork v letech **2016-2023**



1981-1990



1991-2000



Plnění produkční funkce smrku v jednotlivých letech (1981-2022)

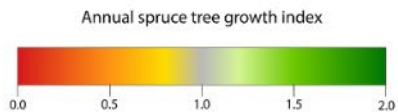
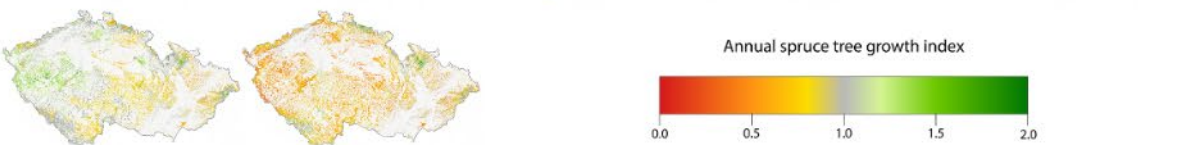
2001-2010



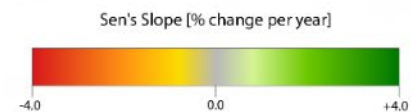
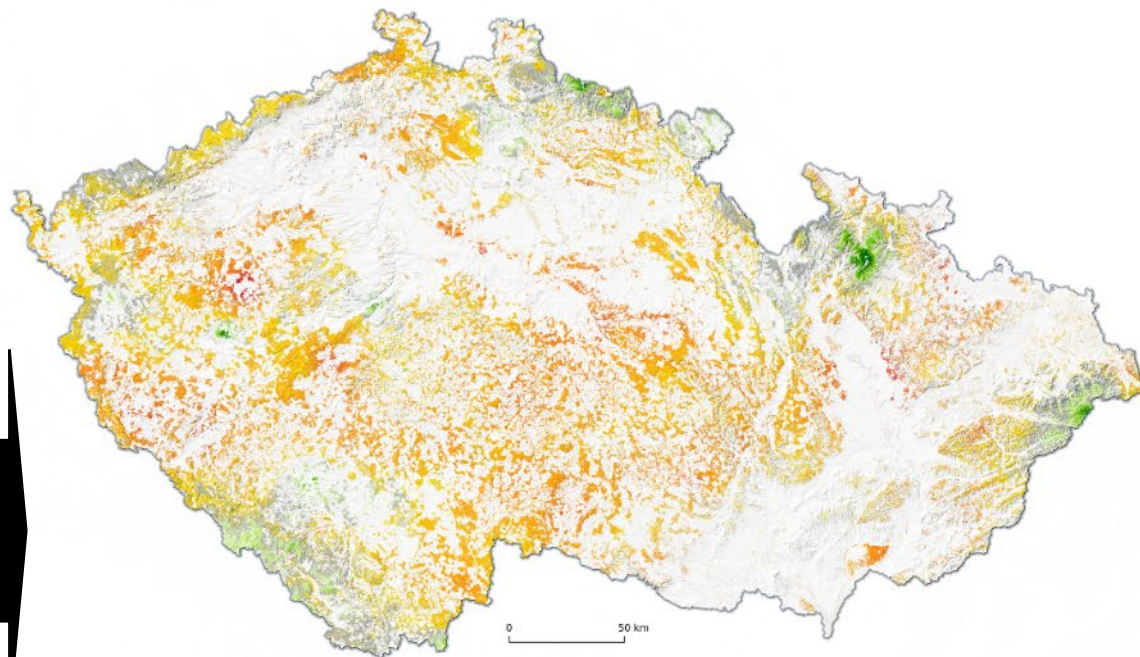
2011-2020



2021+

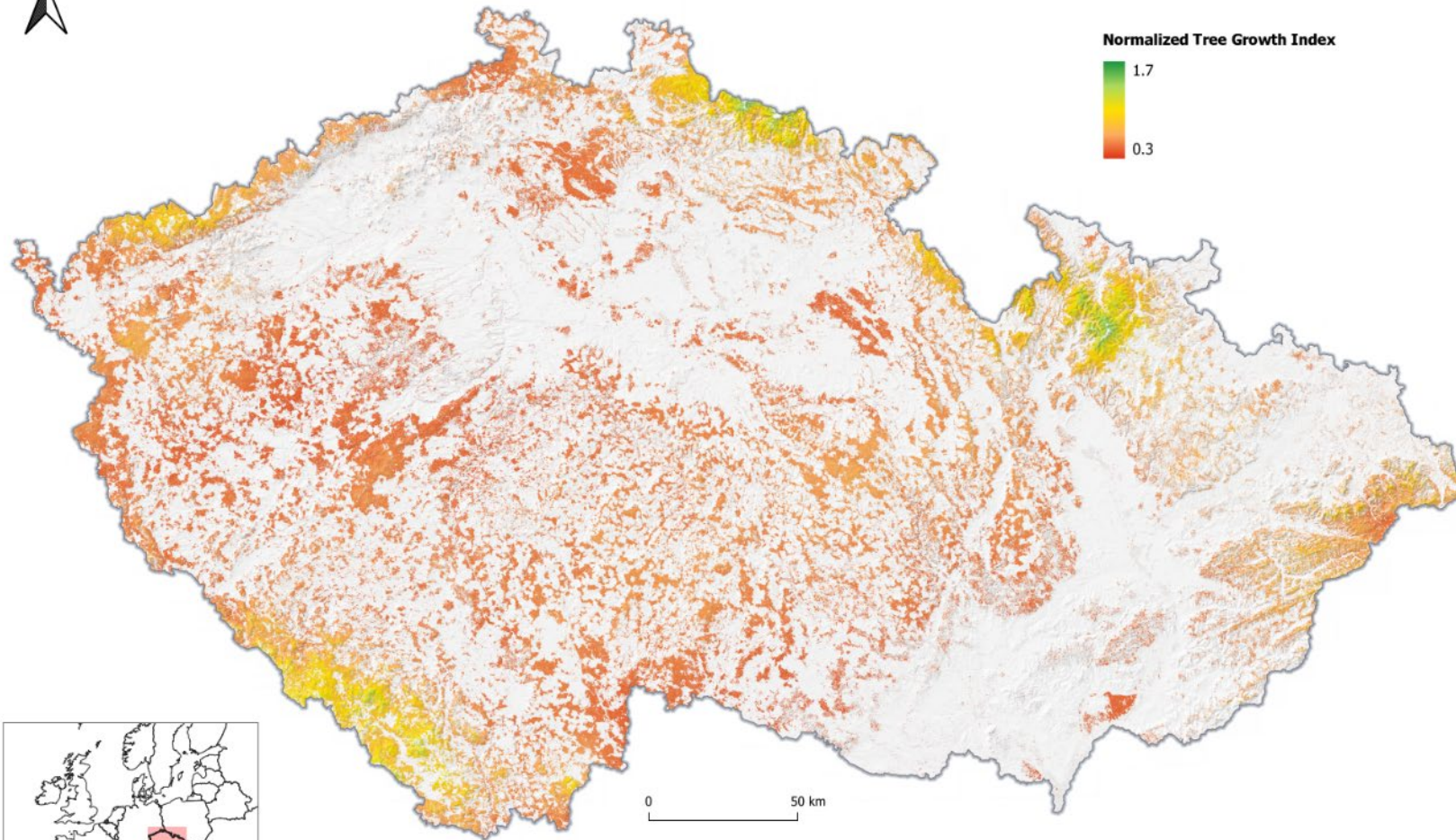


Trend produkční funkce smrku (2001-2022)



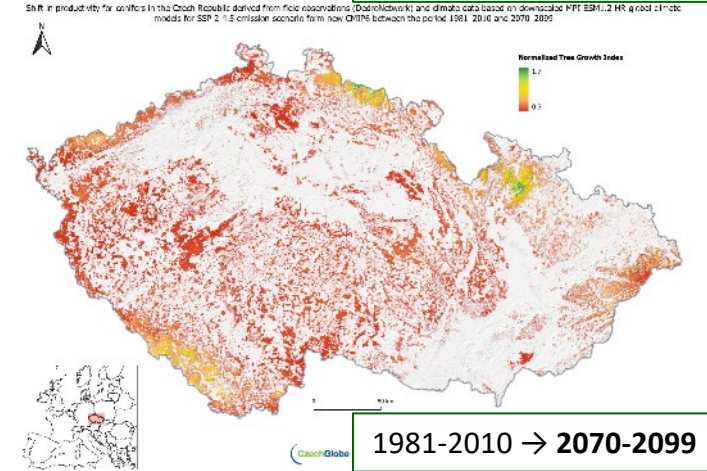
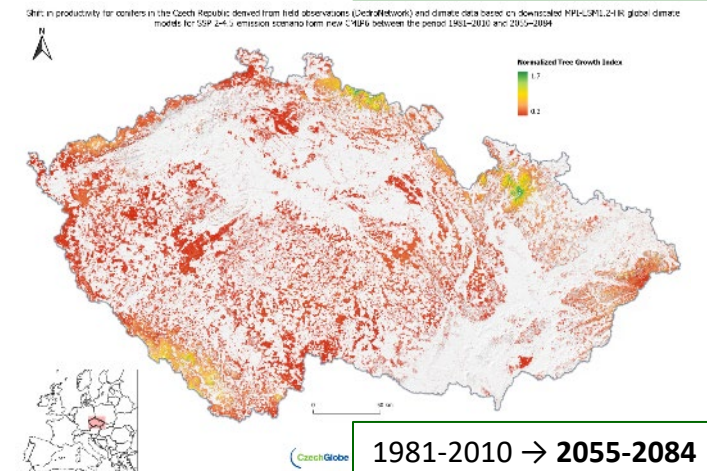
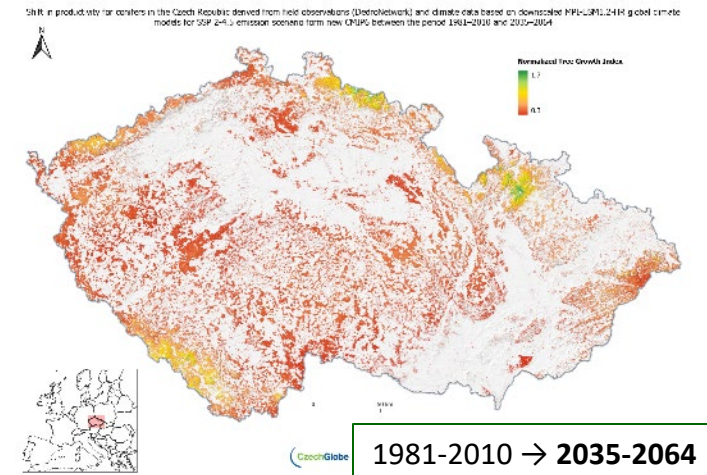


# Změna produkční funkce smrku mezi obdobími 1981-2010 a 2015-2044 (DendroNetwork)



Iceland  
Liechtenstein  
Norway grants

Specialised map with technical/scientific content – the result of TAČR Kappa project T001000345 "Forest functions in the past, present and future - what can society expect from forests under climate change?" Map is available at the project website <https://forest4future.czechglobe.cz/>.



ShR in productivity for conifers in the Czech Republic derived from field observations (DendroNetwork) and climate data based on downscaled RCP-2.6 (RCP-2.6) global climate models for SSP 2-4.5 emission scenario from new CMIP6 between the period 1981-2010 and 2035-2064

ShR in productivity for conifers in the Czech Republic derived from field observations (DendroNetwork) and climate data based on downscaled RCP-2.6 (RCP-2.6) global climate models for SSP 2-4.5 emission scenario from new CMIP6 between the period 1981-2010 and 2055-2084

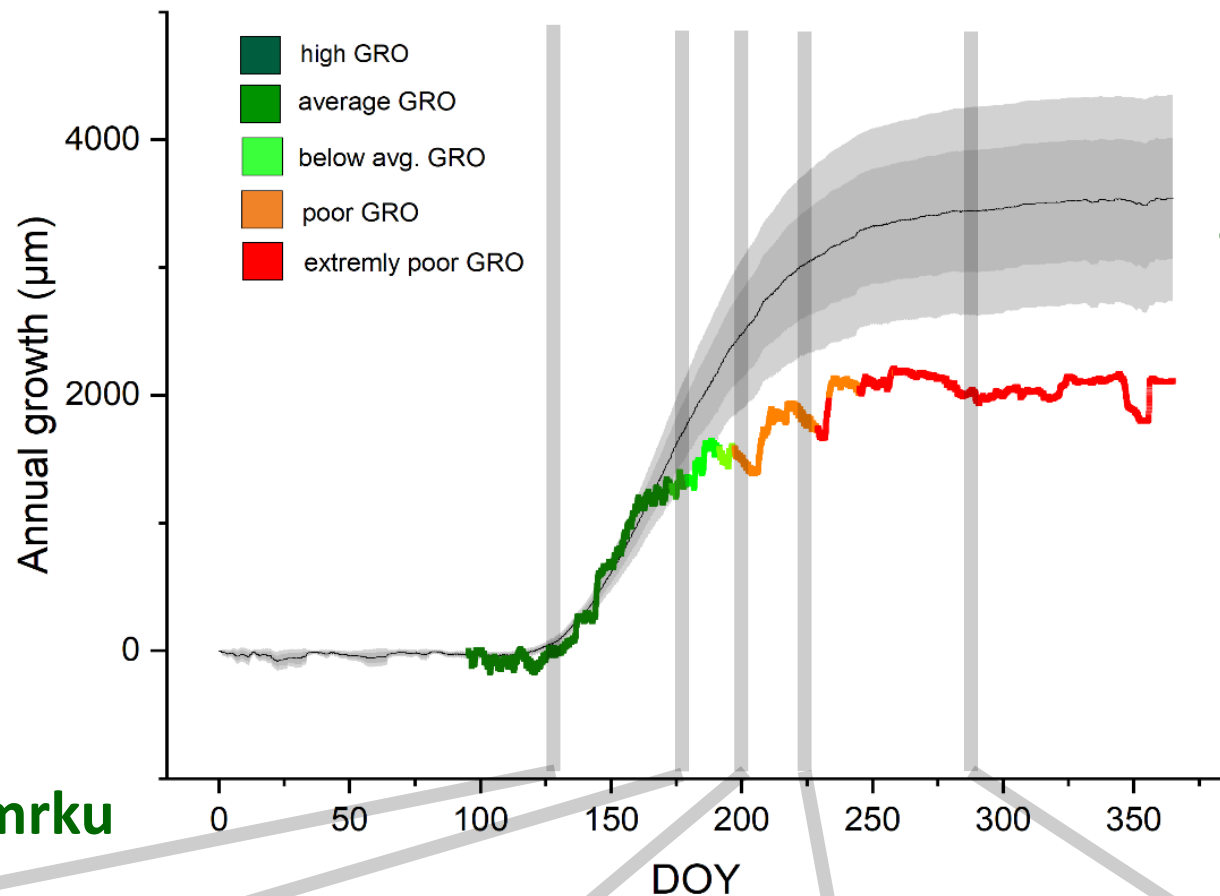
ShR in productivity for conifers in the Czech Republic derived from field observations (DendroNetwork) and climate data based on downscaled RCP-2.6 (RCP-2.6) global climate models for SSP 2-4.5 emission scenario from new CMIP6 between the period 1981-2010 and 2070-2099



# Průběžný monitoring lesa v reálném čase

- velké prostorové a časové rozlišení  
růstové reakce dřevin

<http://dendronet.cz>

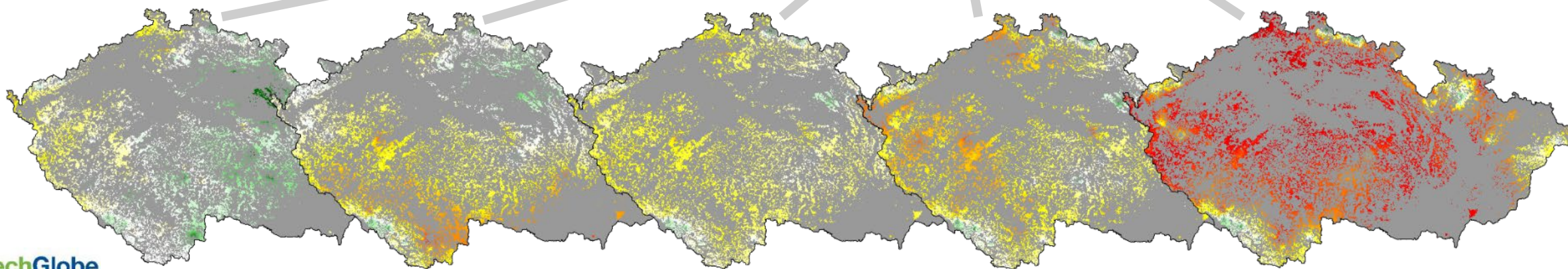


## Produkce dříví / Sekvestrace uhlíku

Dlouhodobý normál tloušťkového přírůstu smrku na daném stanovišti (2000-2024)

- šedě podbarvené oblasti označují 5-95% percentil (světle šedá) a 25-75% percentil (tmavě šedá)

## Produkční schopnost smrku

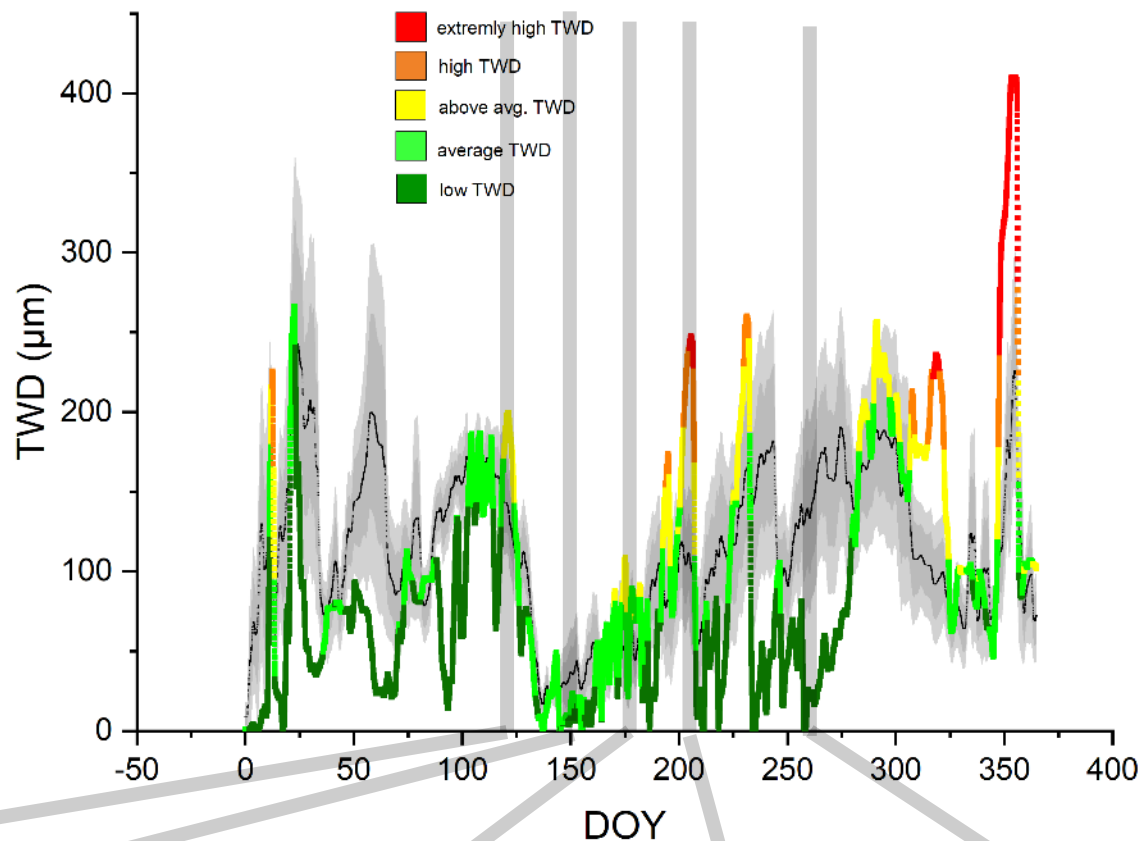


# Průběžný monitoring lesa v reálném čase

- velké prostorové a časové rozlišení vodního deficitu dřevin

<http://dendronet.cz>

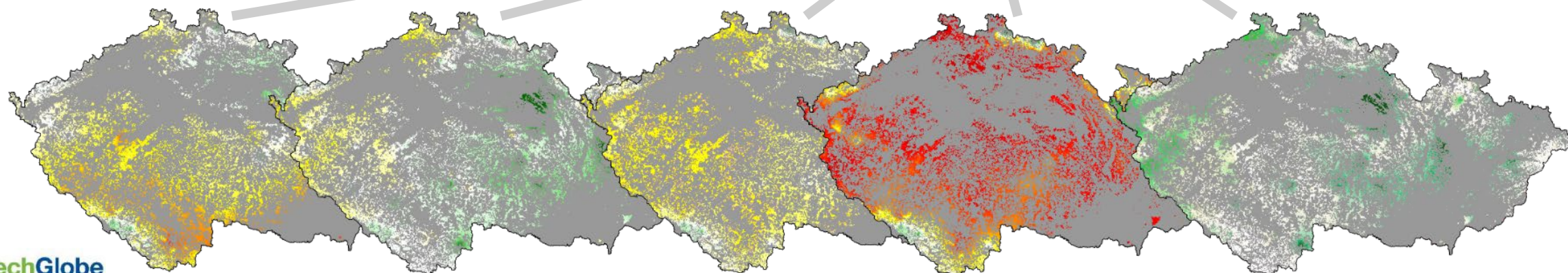
## Vodní deficit smrku



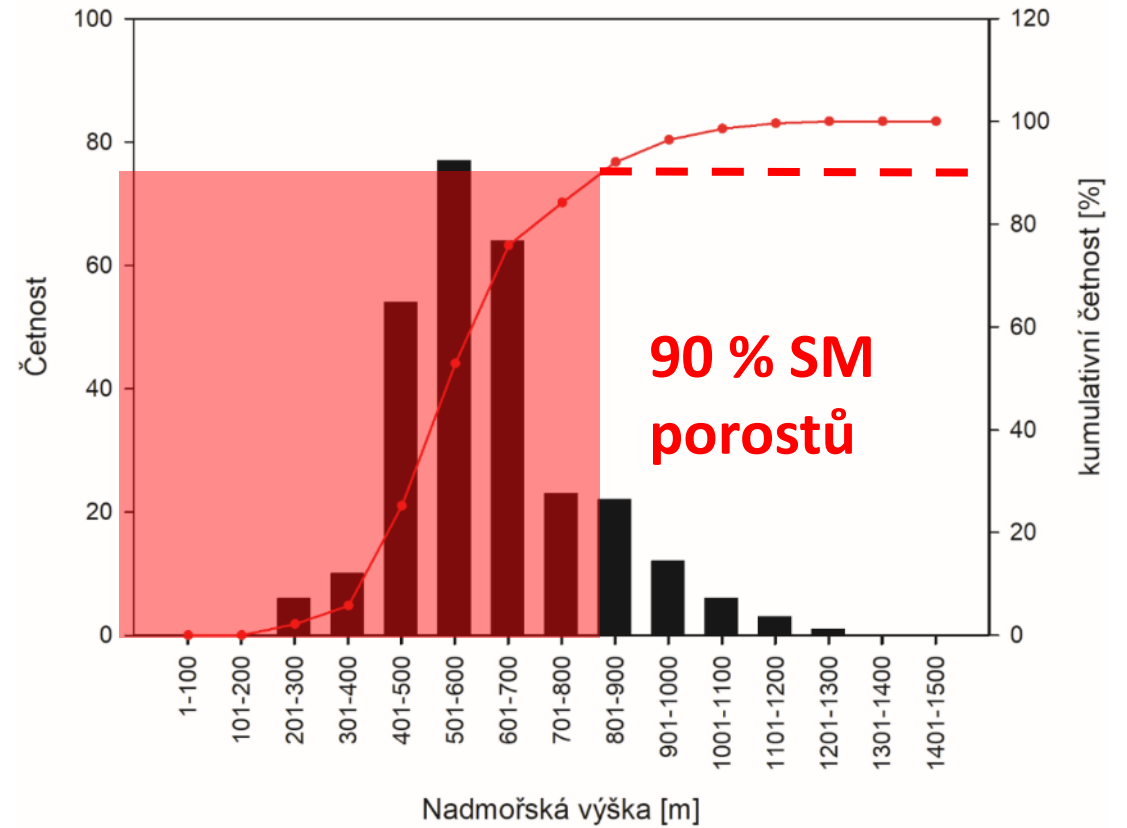
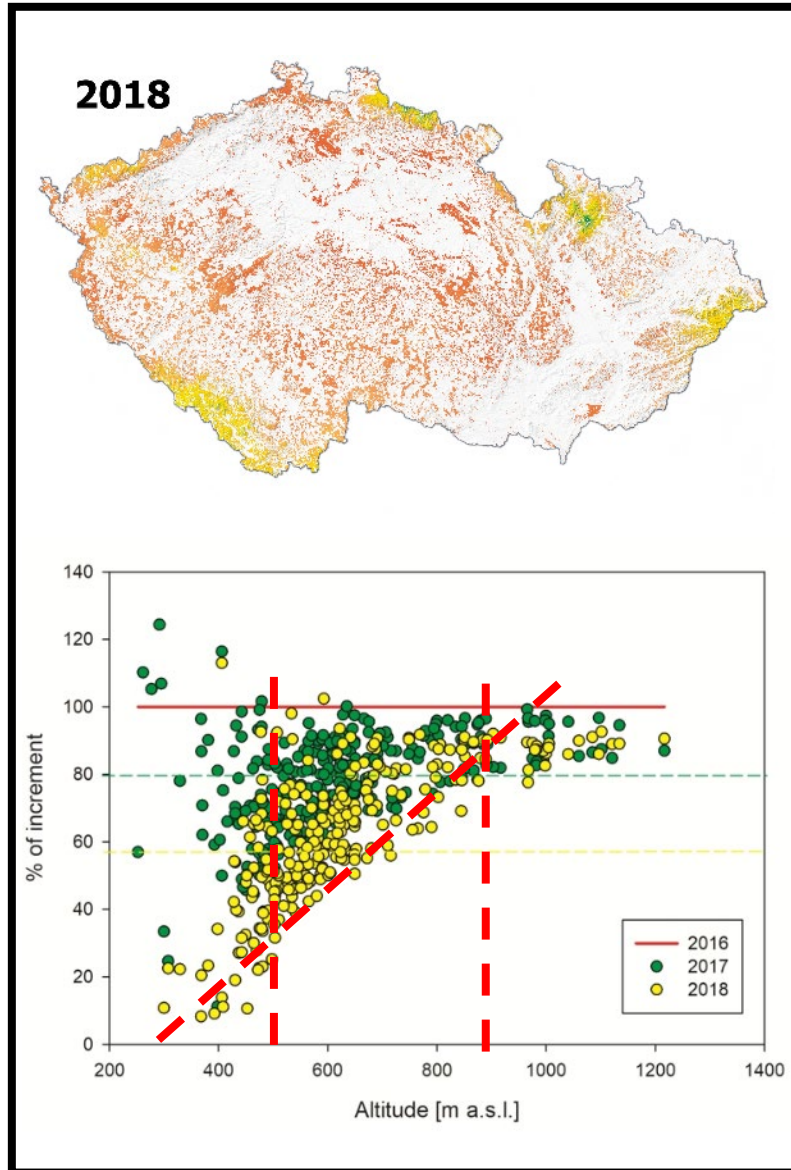
## Stres suchem / Nedostatek vody

Dlouhodobý normál deficitu vody smrku na daném stanovišti 2000-2024

- šedě podbarvené oblasti označují rozsah 5-95 % percentilu (světle šedá) a 25-75 % percentilu (tmavě šedá)



# Kolik procent SM porostů bylo ovlivněno suchem 2018?



Altitude – nadmořská výška, % of increment compared to year 2016 – procento přírůstu vztahené k roku 2016



## Finanční aspekty sucha 2018

Průměrný roční přírůst dříví (hroubí) **smrku** zteplého odhadován na základě šetření Národní Inventarizace Lesů v prvním (2001 – 2004) a druhém (2011 – 2014) cyklu za celou Českou republiku činí:

**14,34 milionů m<sup>3</sup>.rok<sup>-1</sup>**

Produkce díky nepříznivým klimatickým podmínkám v roce 2018 klesla na:

**61 %**

Jedná se tedy o pokles přírůstu dřeva o více než:

5,59 milionů m<sup>3</sup>

x

Průměrná cenu dřeva pro rok 2018:

1105,- Kč.m<sup>-3</sup>

=

**Přímý efekt sucha 2018 na produkci SM dříví v rámci České republiky**

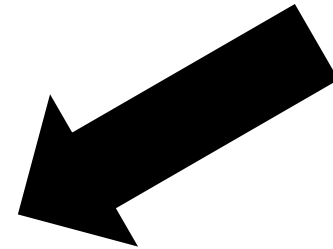
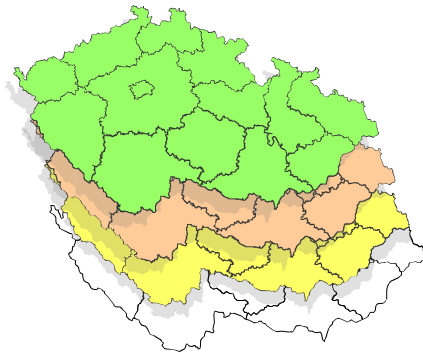
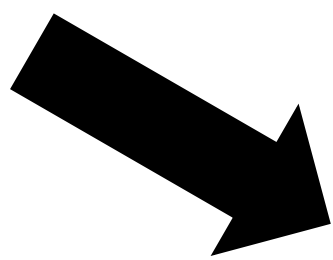
**6,18 miliard Kč**

# Komplexní biomonitoring = pozemní šetření + DPZ

Dendrometr



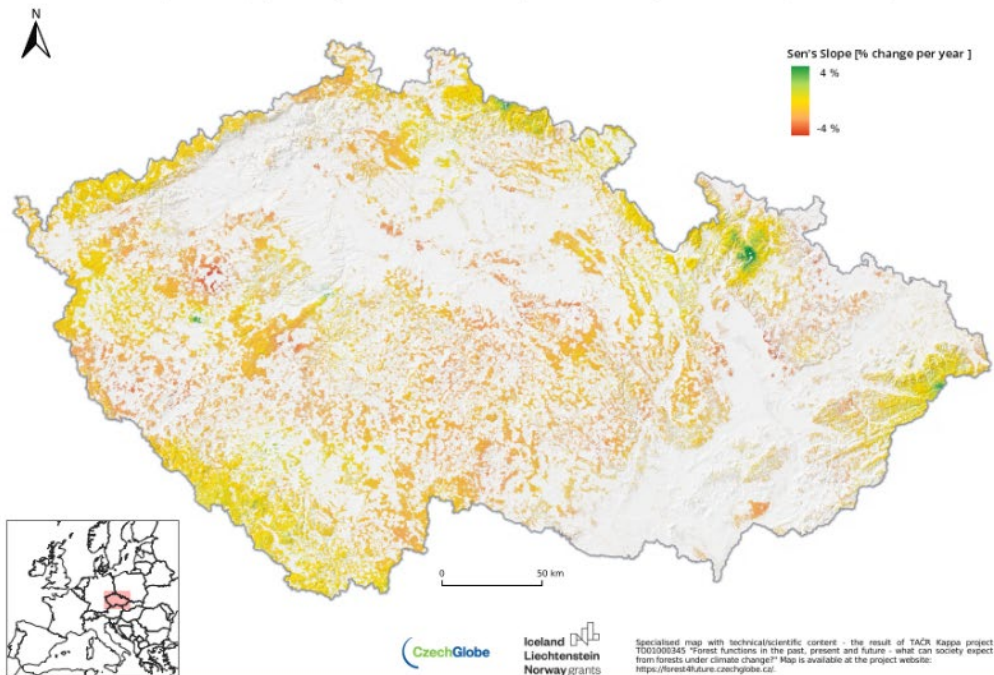
MODIS satellite



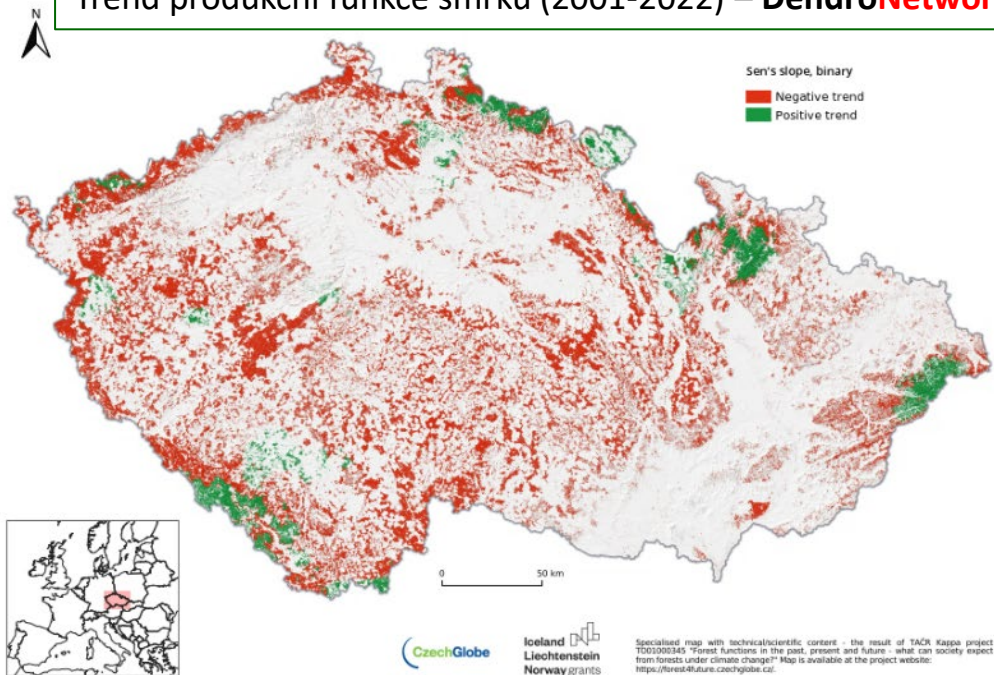
Mapy produkčních funkcí vybraných druhů dřevin v ČR



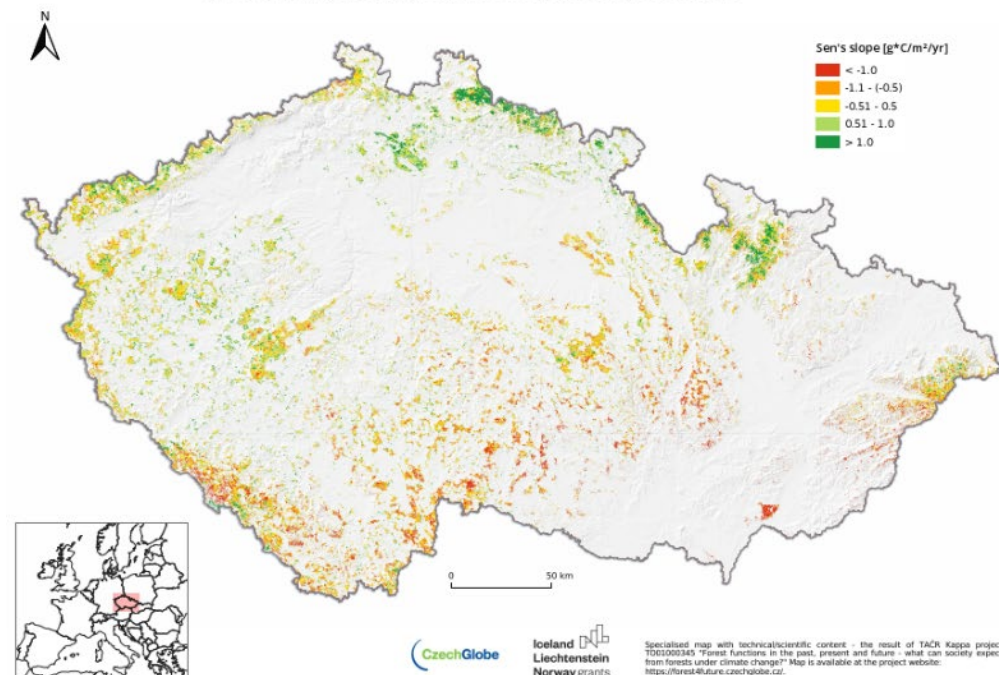
Trends (2001 - 2022) of productivity for conifers in the Czech Republic derived from ground observations (DedroNetwork)



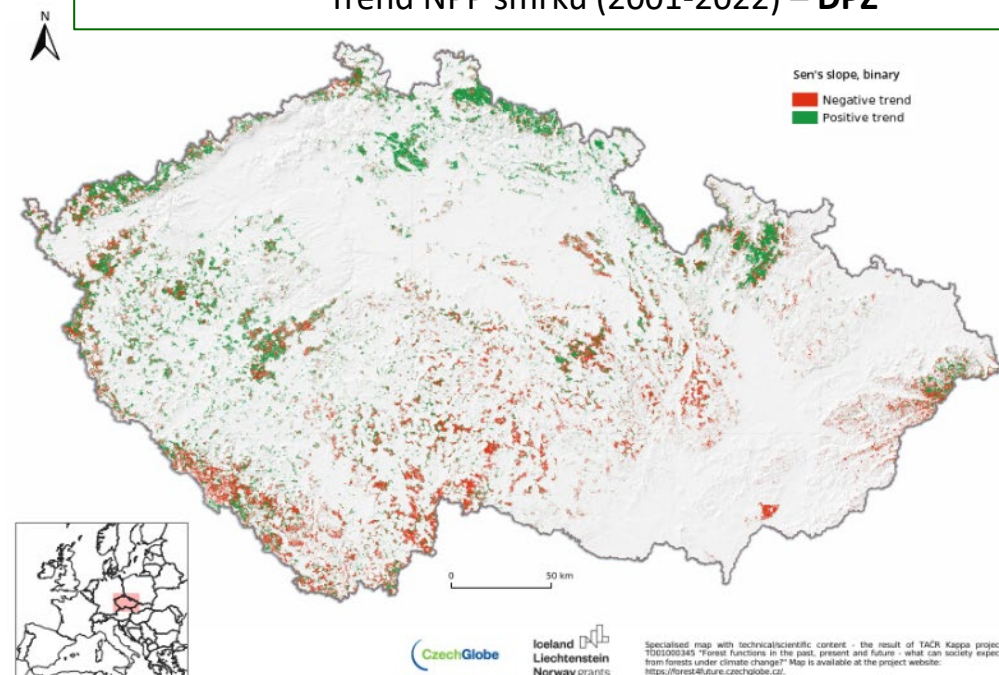
Trend produkční funkce smrku (2001-2022) – DendroNetwork



Trend of Net Primary Productivity, Coniferous Forest, 2001 to 2022, Czech Republic



Trend NPP smrku (2001-2022) – DPZ







<http://dendronet.cz>

[krejza.j@czechglobe.cz](mailto:krejza.j@czechglobe.cz)

# DendroNetwork

Real-time biomonitoring of forest ecosystems

Jan Krejza, Jan Světlík, Petr Horáček, Martin Benc, Sergei Mikhailov, Ondřej Nezval, Lucia Petrovičová, Marko Stojanovič, Lukáš Vlachovič, Roman Zweifel, Matthias Haeni, Eva Dařenová, Ladislav Šigut, Lucie Homolová, Marek Fajstavr, Janko Arsič, Michal Bellan, Jiří Kučera, Michal V. Marek



# Čím tedy přispívá biomonitoring k pochopení reakce lesů na klimatickou změnu?

**DendroNetwork**  
Real-time biomonitoring of forest ecosystems



je klíčovým nástrojem pro moderní lesnický sektor, umožňuje lépe rozumět a reagovat na výzvy současného lesnictví.

## 1. Sledování vitality lesů

- **Popis:** DendroNetwork umožňuje průběžné sledování vitality pomocí dendrometrů
- **Význam:** Rychlá identifikace stresových faktorů (např. sucha, škůdci) umožňuje včasné zásahy a minimalizaci škod.



# Čím tedy přispívá biomonitoring k pochopení reakce lesů na klimatickou změnu?

## 2. Předpověď vývoje Lesů

- **Popis:** Dlouhodobá data z DendroNetworku poskytují cenné informace o trendech růstu a vlivu klimatických změn.
- **Význam:** Lepší plánování lesnického hospodaření a adaptace na změnu klimatu.

## 3. Podpora udržitelného Lesnictví

- **Popis:** DendroNetwork poskytuje data pro vědecký výzkum a podporu politik pro udržitelné lesnictví (*Programové prohlášení vlády 2022 = biomonitoring reakce lesů*).
- **Význam:** Zlepšení praxí založených na důkazech zvyšuje produktivitu a vitalitu lesních ekosystémů.

## 4. Vzdělávání

- **Popis:** Biomonitoring podporuje vzdělávání a školení lesnických odborníků.
- **Význam:** Vyškolení pracovníci jsou klíčoví pro implementaci inovativních přístupů v lesním hospodářství.



# Lesy v čase změny: Biomonitoringem k pochopení reakce lesů

Jan Krejza & Petr Horáček

XXV. konference SVOL  
Hotel Tři Věžičky – Střítež u Jihlavy 11, 23.4. 2024