



HRVATSKI
ŠUMARSKI INSTITUT
CROATIAN FOREST
RESEARCH INSTITUTE

A növényzet fenológiai ciklusának vizsgálata a Kárpát-medencében: műholdas távérzékelés és modellalkotás

Kern Anikó¹, Hrvoje Marjanović²,
Dávid Réka³, Barcza Zoltán³

¹ Geofizikai és Űrtudományi Tanszék, Űrkutató Csoport, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest

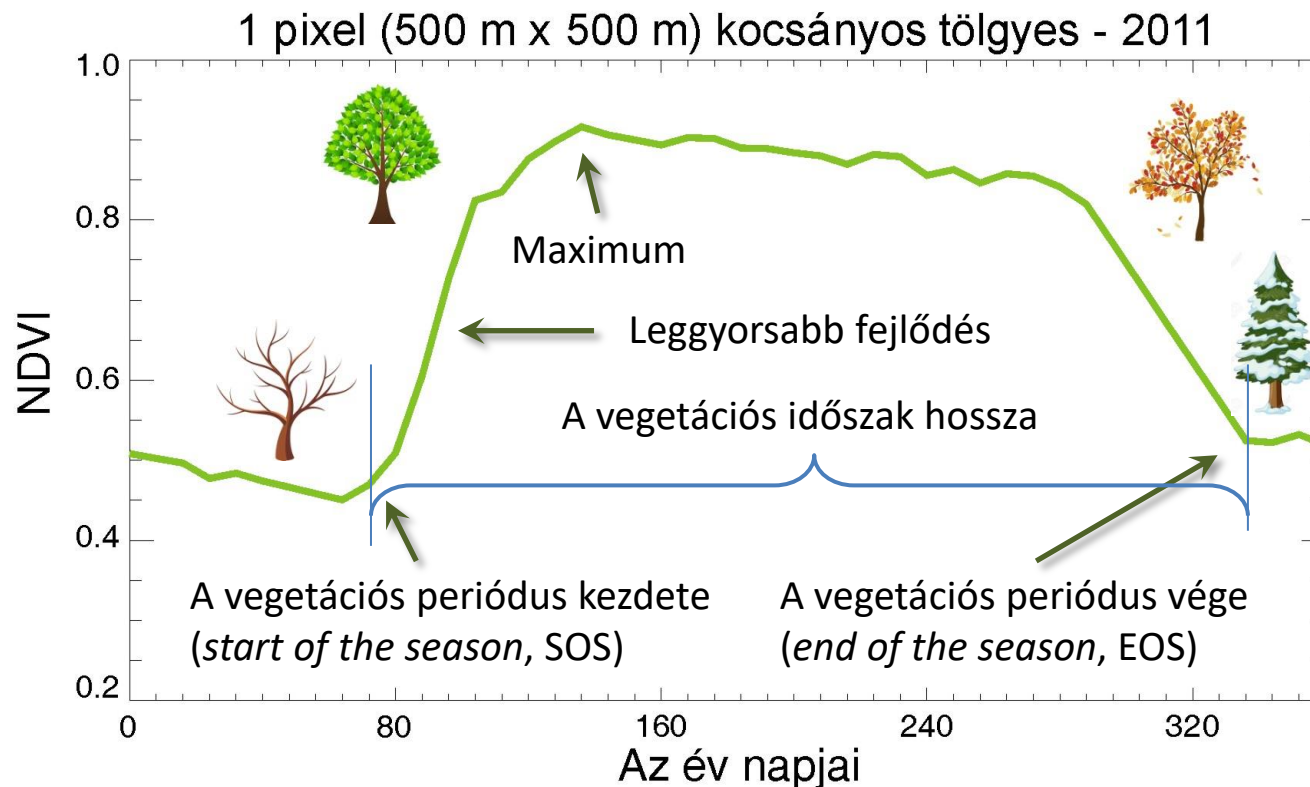
² Department of Forest Management and Forestry Economics, Croatian Forest Research Institute, Jastrebarsko, Croatia

³ Meteorológiai Tanszék, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest

Mi az a fenológia?

Növényfenológia: a növény fejlődésében bekövetkező (szabályszerűen) **ismétlődő** (megfigyelhető) **események** vizsgálata, melyet a genetika és a környezet* (elsősorban annak szezonális változékonysága) befolyásol.

Fenofázisok: fajfüggő



Miért fontos a fenológia?

- A földi bioszféra érzékeny az időjárásra és az éghajlat ingadozásaira
- A növényfenológia az **egyik legfontosabb indikátor**
- **A fenológián belüli változások kölcsönhatásban állnak a produkcióval**
 - A vegetációs időszak hossza hatással van az éves szénfelvételre



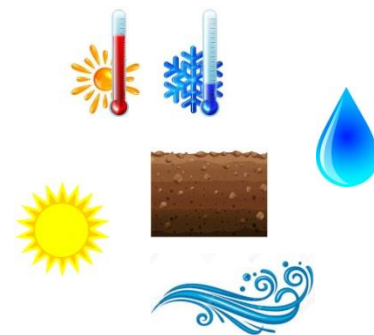
- A növényfenológia pontos leírása alapvető fontosságú
- Az ökoszisztéma jövőbeli dinamikájának előrejelzéséhez meghatározó
- Globális $\neq$ regionális



A fenológiát befolyásoló hatások

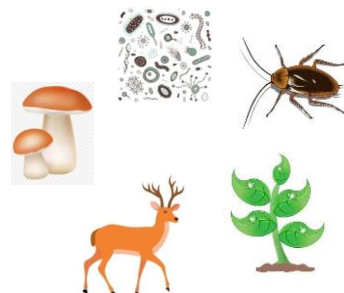
• Abiotikus hatások

- Időjárás: hőmérséklet, a nappal hossza, csapadék (φ)
 - „azonnali” és
 - késleltetett hatásokon keresztül
- Egyéb környezeti tényezők: pl. emelkedő légköri CO_2 koncentráció
- Antropogén beavatkozások (termesztés, műtrágyázás, stb.)
- Talajnedvesség, tápanyagok, Nitrogén-üledék, stb.



• Biotikus hatások

- Kártevők
- Fertőzések, gombák, stb.

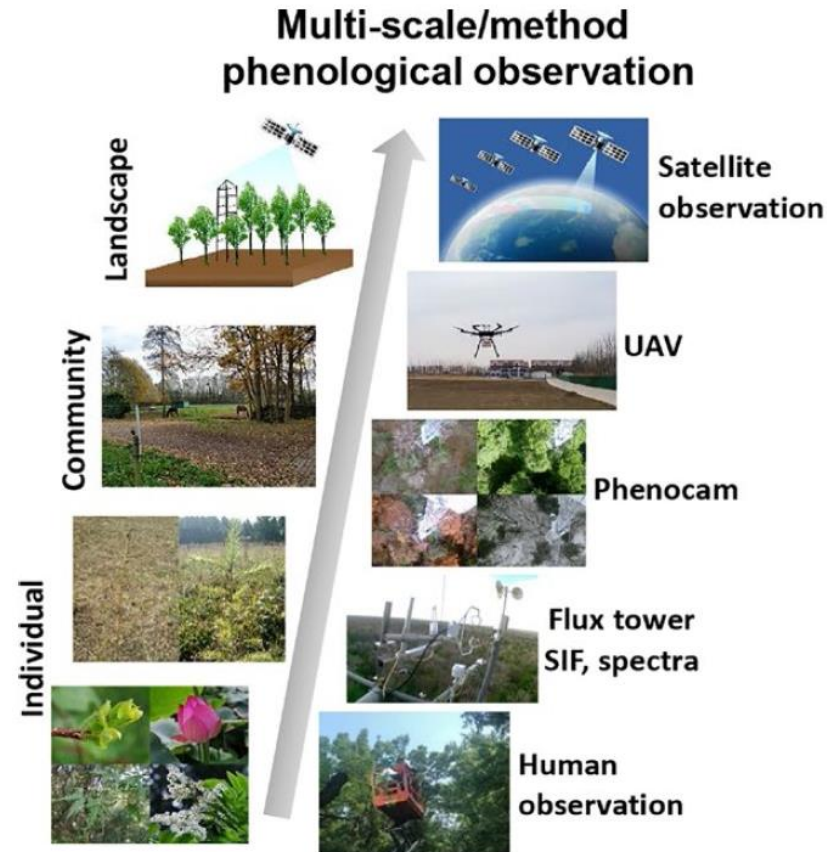


- Rövidtávú, helyi változások
- Hosszútávon megfigyelhető, nagytérségű változások (trendek)

A fenológia megfigyelése

Eszközök:

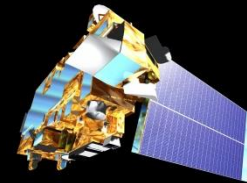
- (1) **egyed-szintű** *in situ* fenológiai megfigyelések
(pl. a kínai 5000 éves adatsor, vagy Közép-Európa 670 éves szőlőszüretelési adatsora)
- (2) **a légköri szén-dioxid koncentráció monitorozása által** (mely a fotoszintézis hatására bekövetkező szénfelvétel időzítéséről ad információt)
(palackos levegőmintavétellel, repülőgépes és eddy-kovariancia mérésekkel)
- (3) a növényi produktivitás **műholdas távérzékelés útján** történő meghatározása (1957: első műhold)



Távérzékelés környezetkutató műholdakkal

Megfigyelések a növényzet állapotáról:

- „Jó” időbeli felbontással
- Hosszú időszakon át (→ archívum!)
- Nagy térségről (globális)
- Jó minőségben



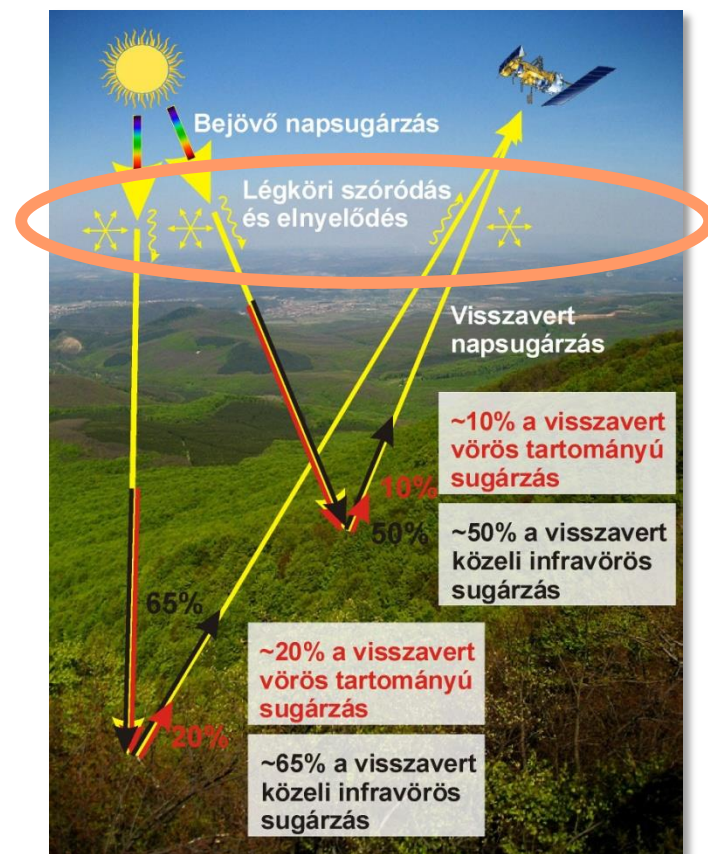
Vegetációs indexek: NDVI

Normalized Difference Vegetation Index

Források:

- *in situ* mérések
- űrbázisú szenzorok:
 - számos **AVHRR** – met. NOAA műholdak (6-19) (1979 óta!!!) + MetOp - A&B (2006-)
 - **MODIS** – Terra & Aqua (2000-)
 - VIIRS – Suomi NPP (2011-)
 - VIIRS – JPSS-1 (2017-)
 - Vegetation – SPOT-4 – (1998-)
 - SeaWIFS (1997-2013)
 - TM, ETM – Landsat 4-6 (1984), ETM+ (-7, 1999) & OLI (-8, 2013)
 - MSI – Sentinel-2A&B
 - SEVIRI – geostac. MSG 1-4 (2002-)
 - etc.

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}}$$



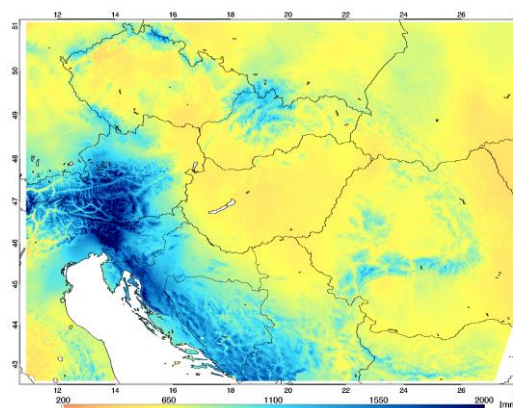
AVHRR - Advanced Very High Resolution Radiometer
VIIRS - Visible Infrared Imaging Radiometer Suite
JPSS - Joint Polar Satellite System

MODIS - MODerate resolution Imaging Spectroradiometer
SeaWIFS - Sea-Viewing Wide Field-of-view Sensor
MSI - Multispectral Imager

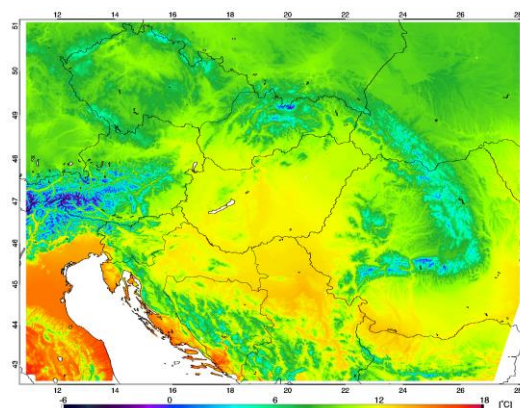
Kiegészítő adatok

Meteorológiai adatbázis (FORESEE)

- megfigyelési (1951-2019)
- és előrejelített (-2100)
- napi adatok
- $1/6^\circ \times 1/6^\circ$ szabályos rács



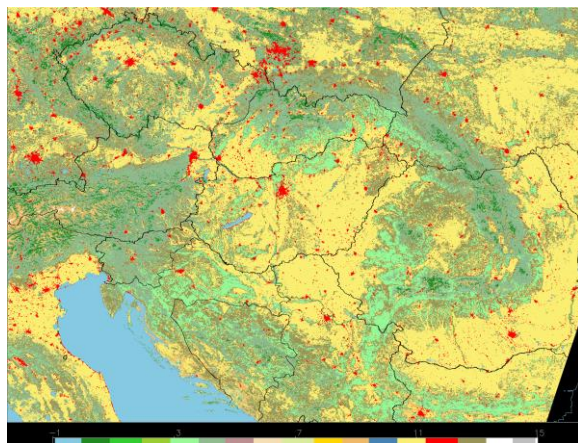
Éves átlagos csapadékösszeg (2000-2017)



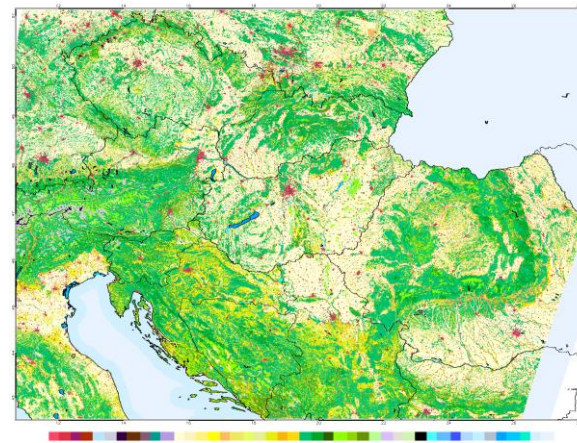
Éves átlagos hőmérséklet (2000-2017)

+ Talajnedvesség (ERA Reanalízis)

Felszínborítottsági adatbázis (MODIS & CORINE) + Magasság (SRTM)



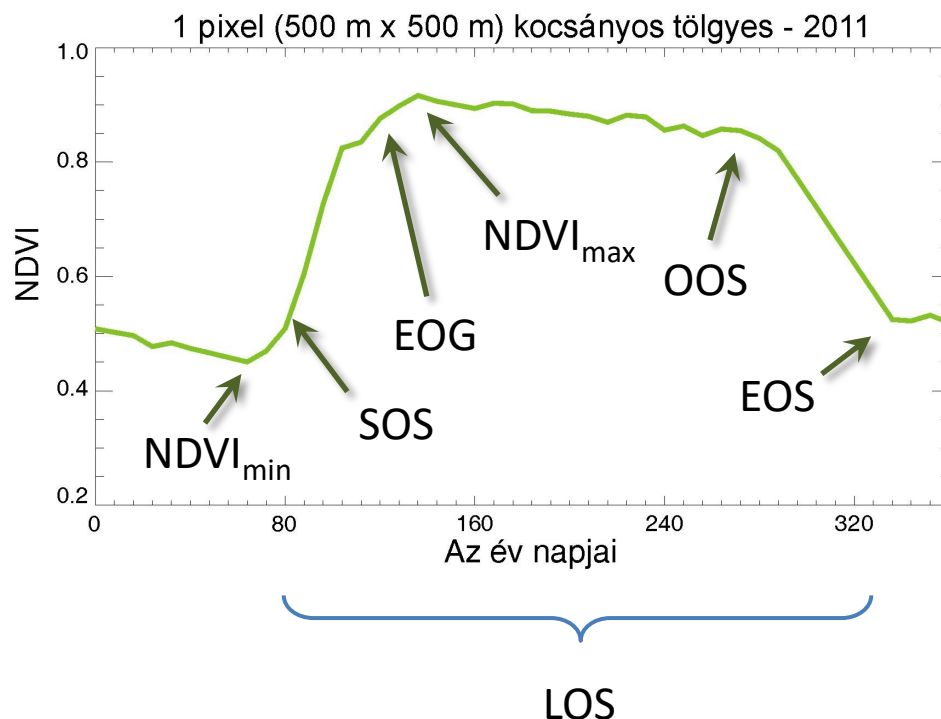
MCD12Q1: 2001-2018



CLC2012

Távérzékelhető jellemzők

- **SOS:** *Start Of the Season*
 - $NDVI_{max} - NDVI_{min} \times \%$ -a
 - max. derivált
 - illesztett görbe max. deriváltja
 - sok éves átlagos görbe max deriváltjának elérése, stb.
- **EOG:** *End Of the Greening*
- **$NDVI_{max/min}$:** *Max/Min NDVI*
- **OOS:** *Onset Of the Senescence*
- **EOS:** *End Of the Season*



-
- **LOS:** *Length Of the Season*
 - **GUS** vagy **GUD:** *Green-up Speed*
vagy *Green-Up Duration*

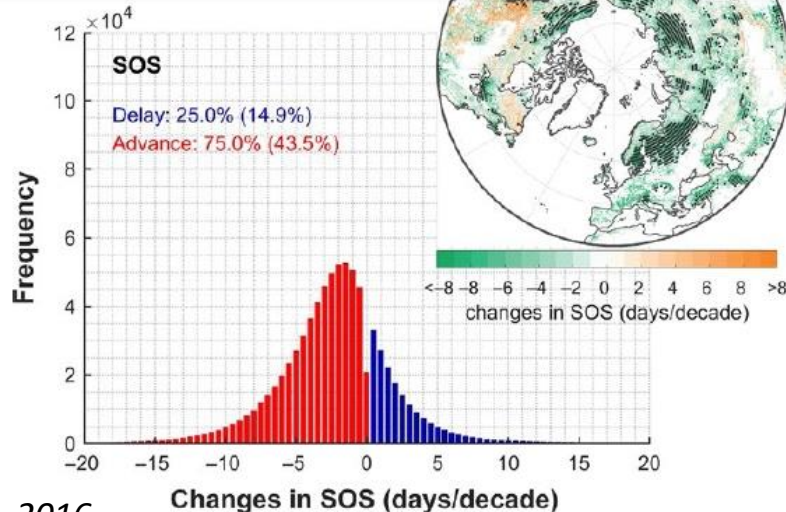
Globális megfigyelések – 1

- Globális változások hatására bekövetkező fenológiai eltolódás

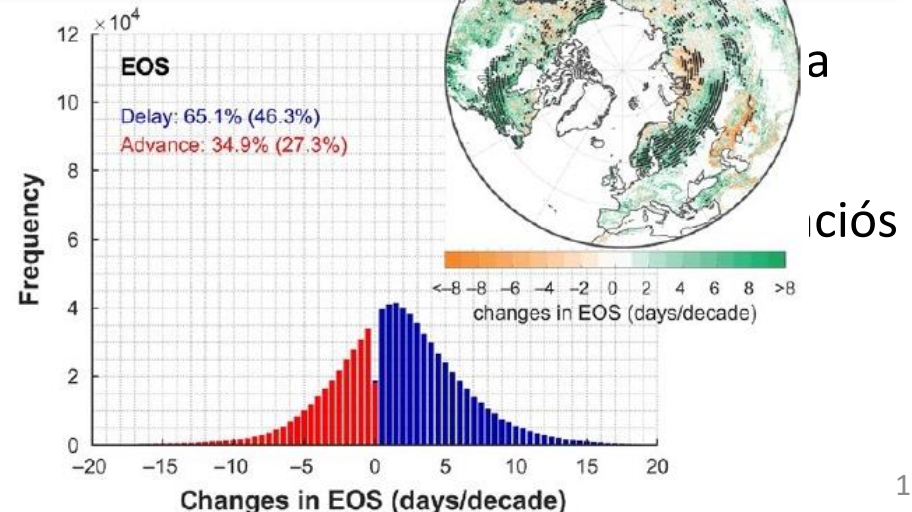
(Myneni et al., 1997; Parmesan et al., 2003; Menzel et al., 2003; 2006; etc):

- **egyértelmű korábbi tavaszi fenológiakezdet** (SOS)
fajfüggő, koratavaszi fajok erősebb gyorsulást mutatnak (Menzel et al., 2003)
 - **vegetációs időszak végének későbbre tolódása** (EOS)
- } **hosszabb vegetációs időszak**
- 5-10 napos hosszabbodás erdők esetén akár 1/3-dal is **megegyezhet**

(a)



(b)



Globális megfigyelések – 2

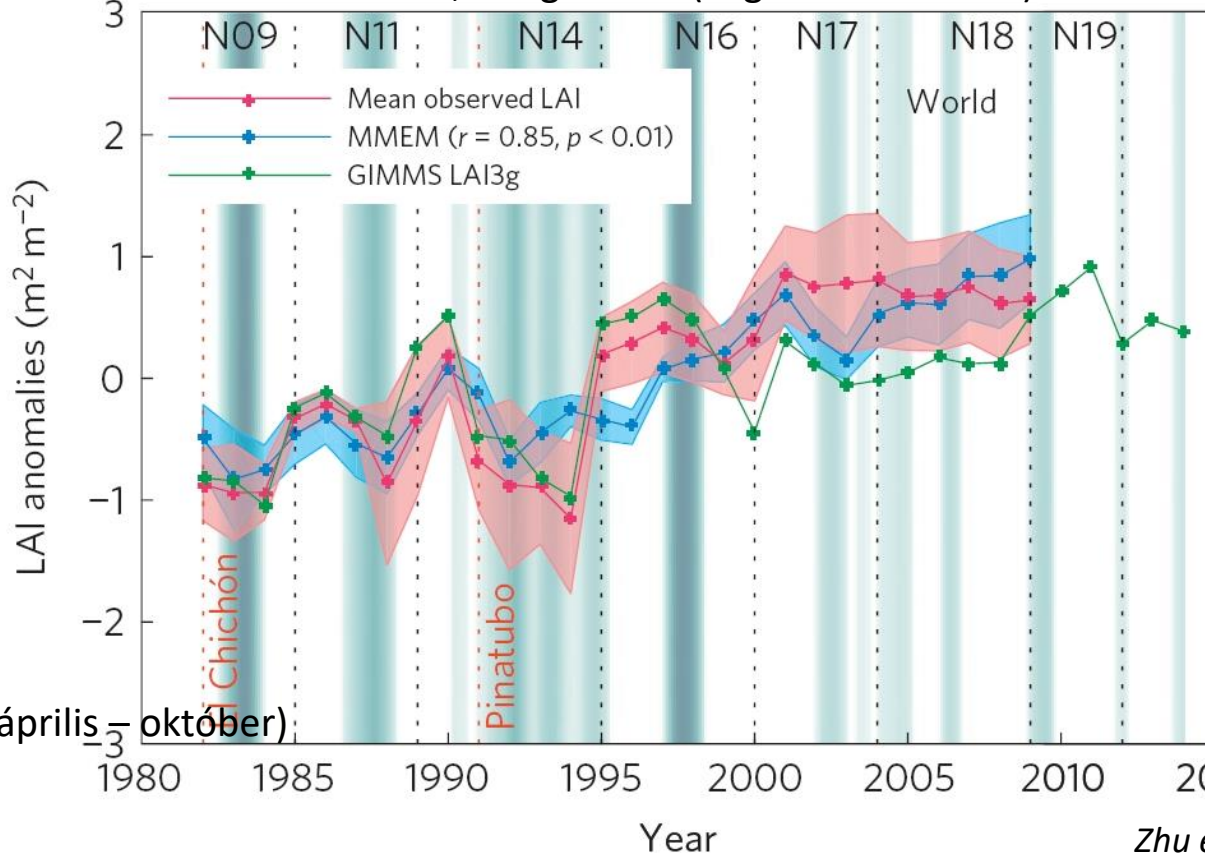
- Greening vs. browning

- Növekedés a növényzet zöldességében és produktivitásában

(Zhou et al., 2001; Nemani et al., 2003, Zhu et al., 2016), melynek okai:

- Bi

Globális, integrált LAI (vegetációs időszak)



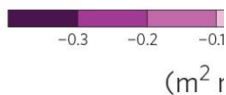
igárazás hatása)

lőgazdálkodás,

et al., 2016)

szpiráció

Átlagos LAI (április - október)



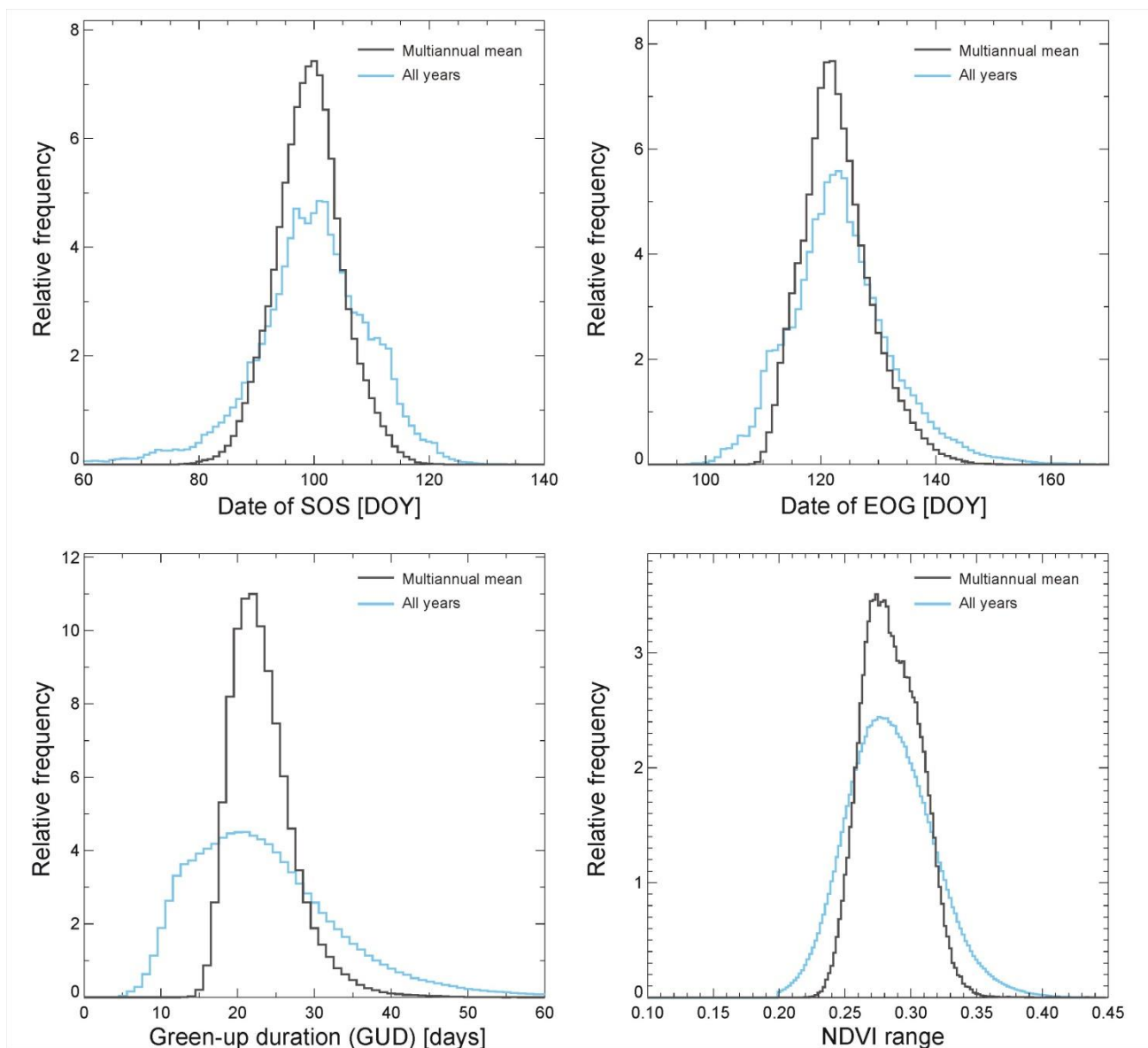
Globális megfigyelések – 3

- A **csapadéknak** fontos **szerpe van** a fenológia **hőmérséklet-függésében** száraz/félszáraz területeken (*Shen et al., 2015*)
 - nedvesebb területeken az aszály alacsonyabb kockázata nagyobb hőmérséklet-érzékenységet tesz lehetővé (pl. SOS)
- A fagyigény és hőigény kapcsolatban állnak (*Dantec et al., 2014*)
- Fagyigény a téli pihenő állapotból való kijutáshoz
 - **lassulás a tavaszi fenológia eltolódásában** (*Fu et al., 2015*)
- De gyorsulás a kizöldülésben (*Badeck et al., 2004*)
- A fagy elmaradása késleltetheti a vegetáció kezdetét (*Menzel et al., 2019*)
- A kora tavaszi hirtelen vegetáció kezdet **megnöveli a fagykár valószínűségét** (2017) (*Liu et al., 2018*)
- A fagykárnak a következő tavaszra is hatása lehet (*Gu et al., 2008*)



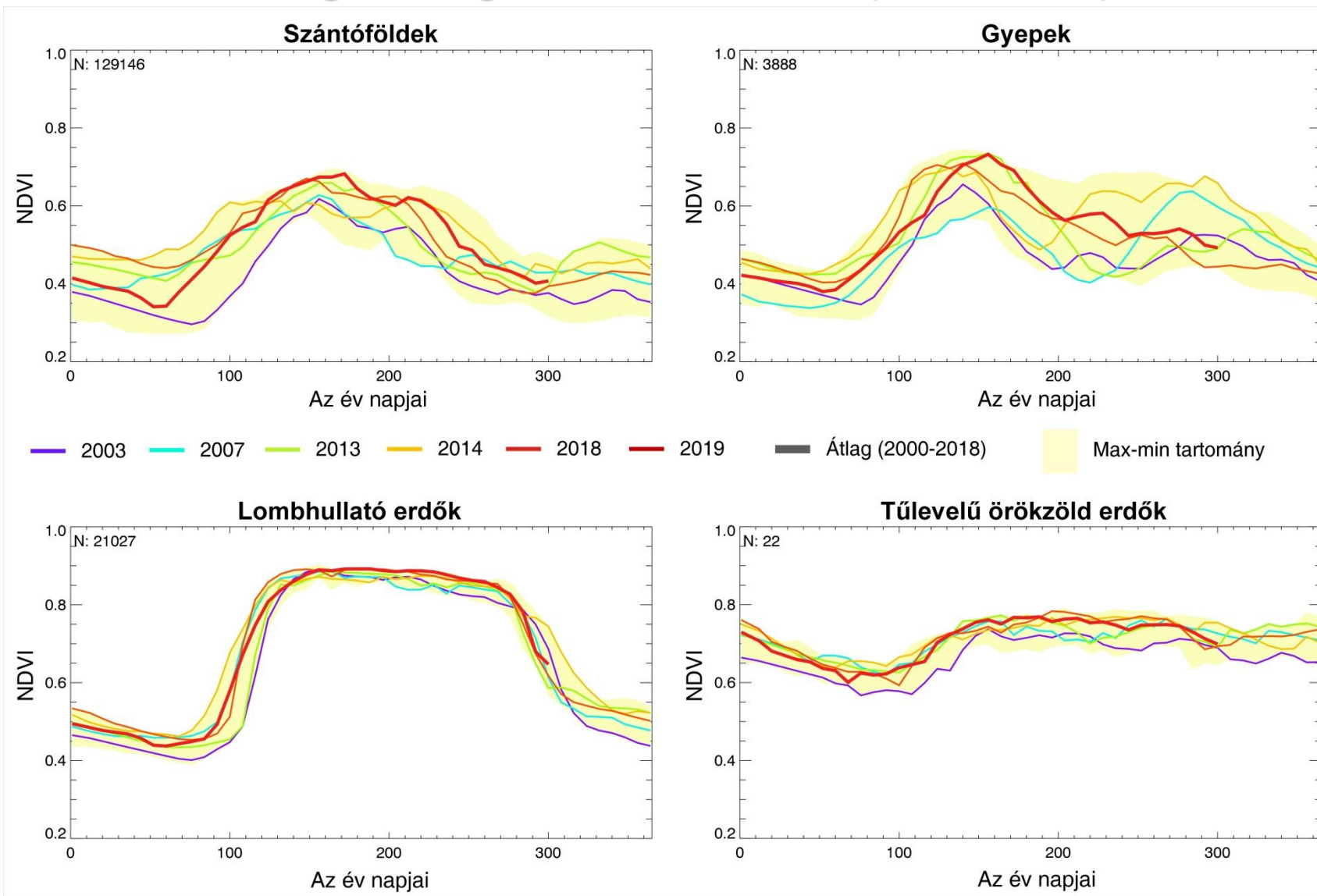
Hufkens et al., 2012

A Kárpát-medence értékei (2000-2019) - DBF

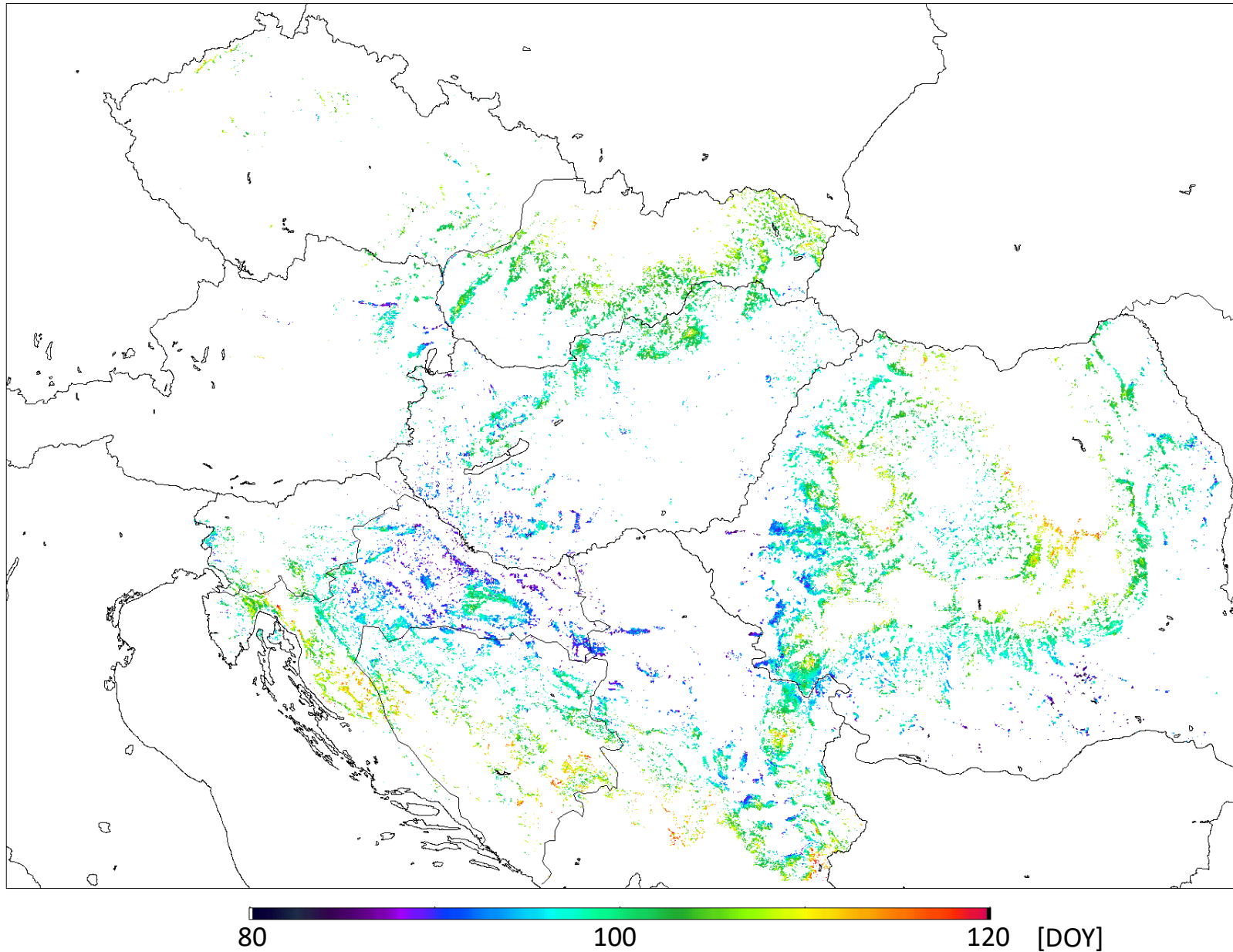


MODIS NDVI

Országos átlagos NDVI-menetek (2000-2019)

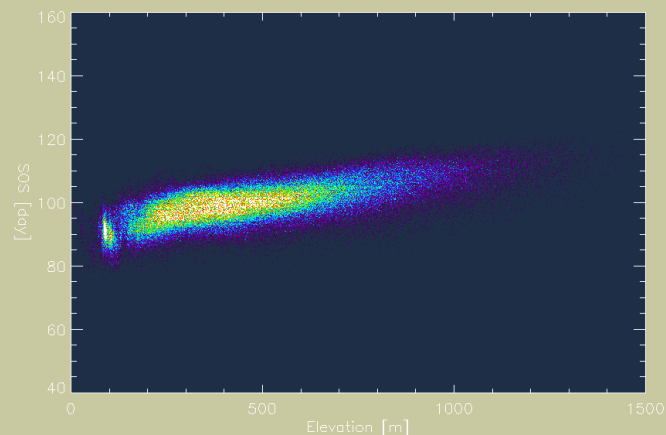
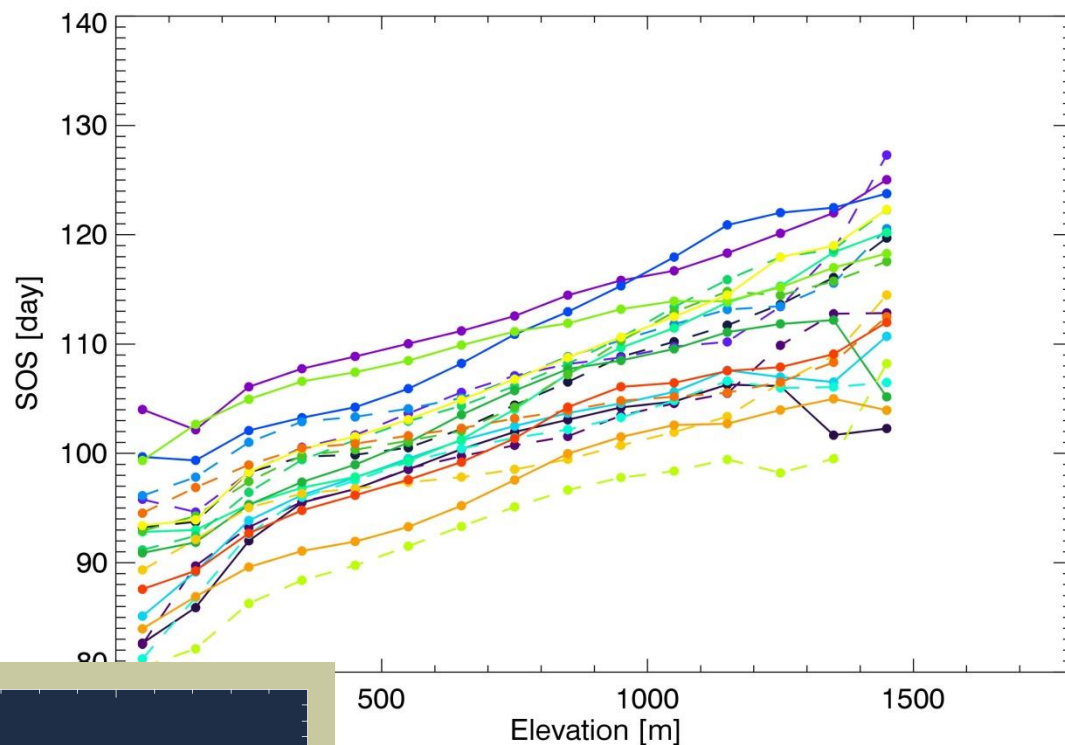


SOS – átlagos mező (2000-2019)



SOS tengerszint feletti magasság szerint

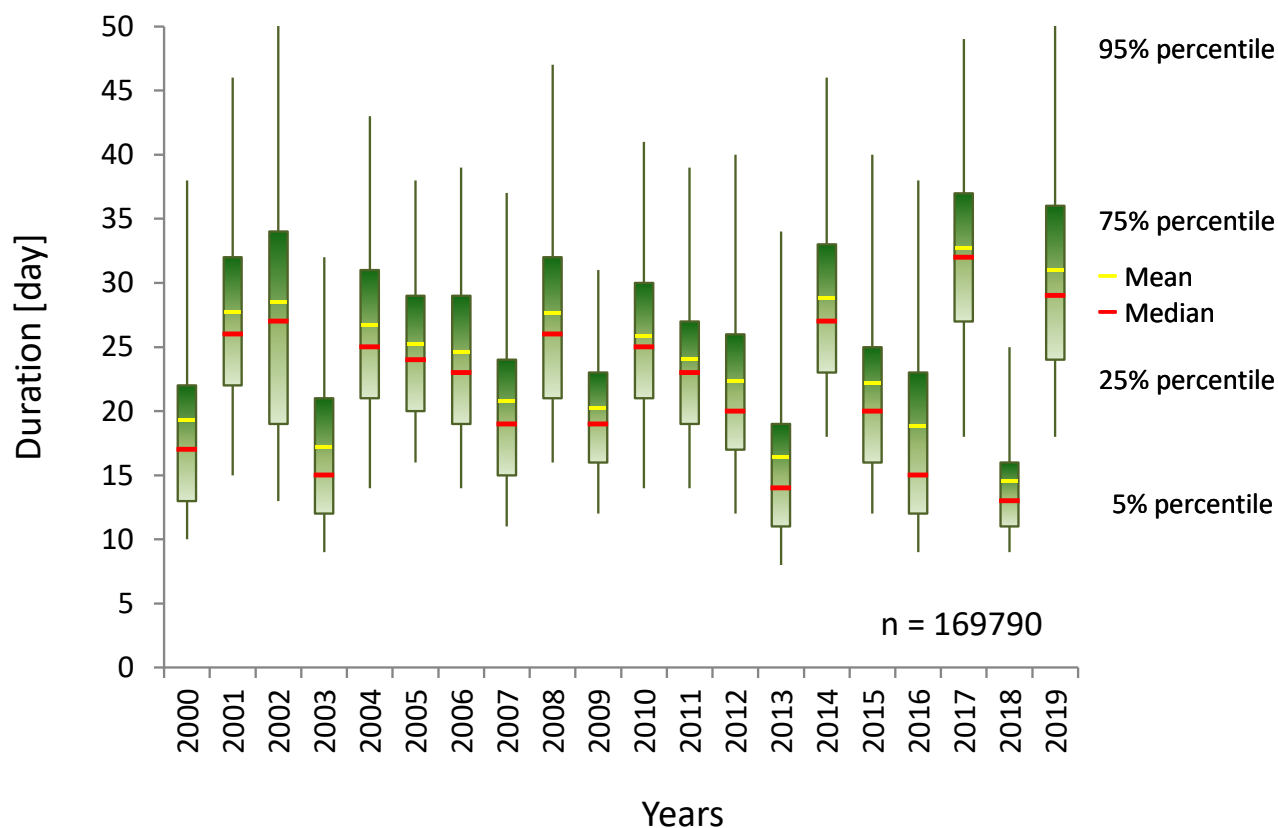
A Kárpát-medence átlagos értékei



1,7 nap / 100 méter

A kizöldülés időtartama

A Kárpát-medence területére

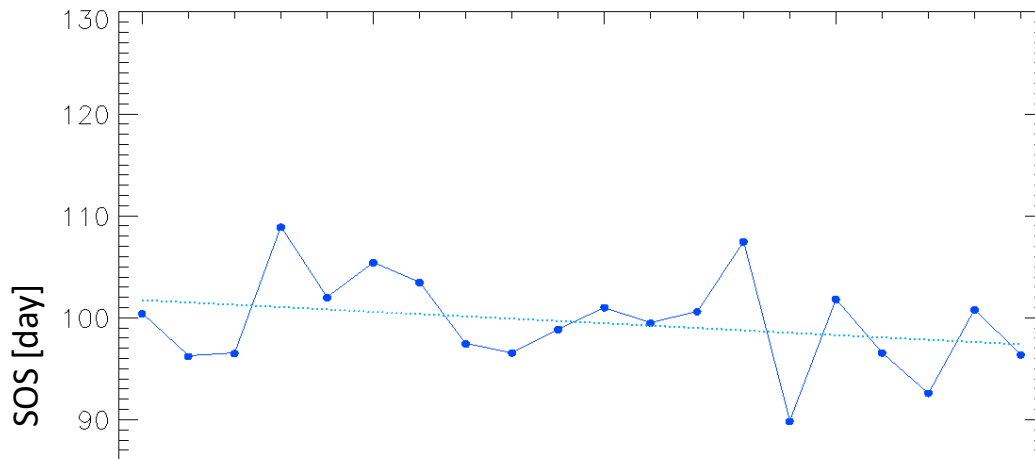


Trend: +0,07 nap / 10 év

(Hun: -0,25 nap / 10 év, Croatia: -1,3 nap / 10 év, Czech: +2,6 nap/10 év)

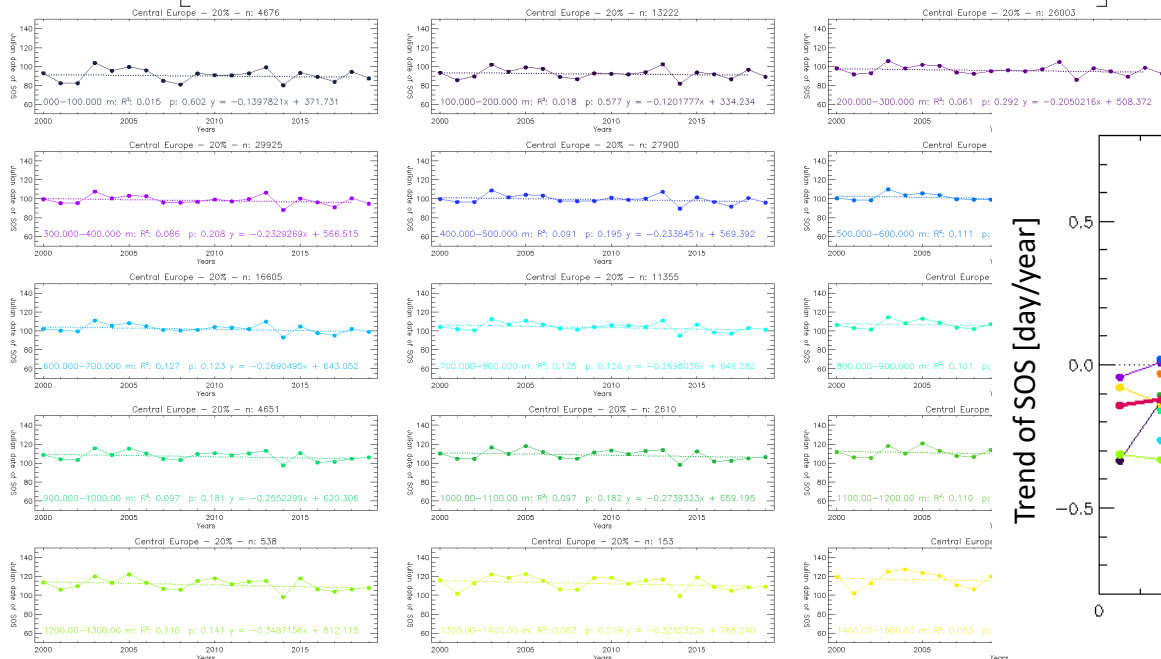
SOS - trend?

A Kárpát-medence területére

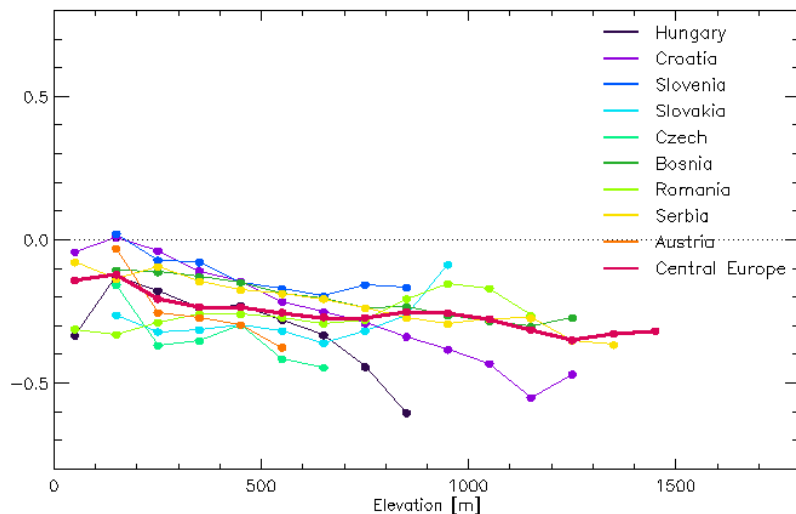


-2,3 nap / 10 év

(Hun: -2,1 nap / 10 év,
Czech: -3,1 nap / 10év)



Trend of SOS [day/year]



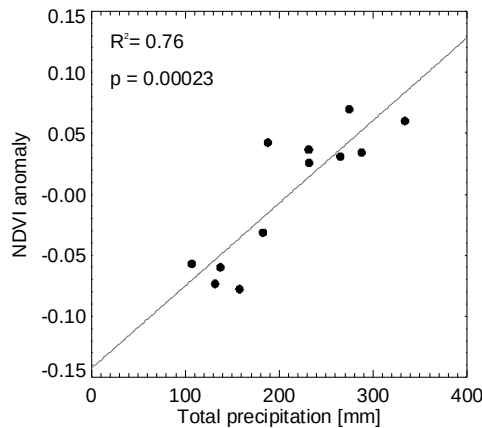
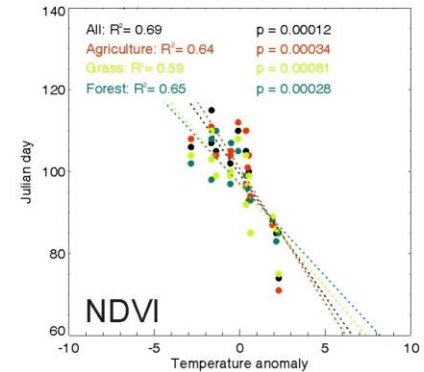
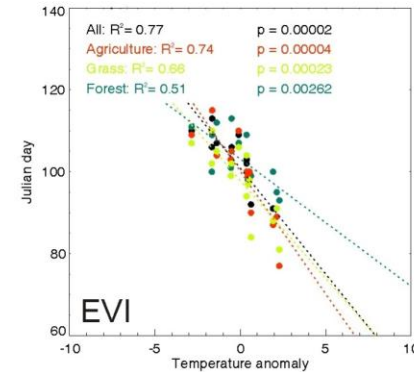
Az időjárás hatása a fenológiára

- **Mi** (változó és mikor) **határozza meg a vegetációs időszak kezdetét**, vagy a produktivitását?
- Mik azok a **kritikus elemek és kritikus időszakok**, amelyek a legjobban befolyásolják a növényzet, a terméshozam alakulását?
- **Mi határozza meg az extrém éveket a vegetáció állapotában?**
- Mi az **időjárás szerepe a terméshozamban?**

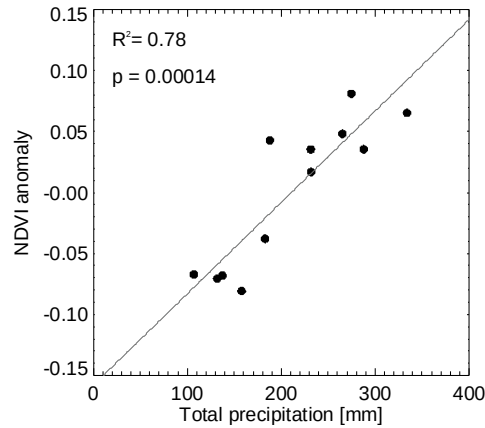


Országos átlagok alapján

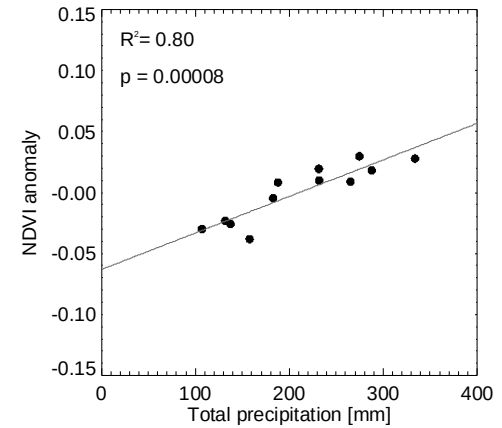
- A vegetációs időszak kezdetét legerősebben a márciusi hőmérséklet határozza meg
- A kizöldülés gyorsaságát pedig az áprilisi hőmérséklet
- Az augusztusi NDVI-t legerősebben a június-augusztusi csapadékösszeg határozza meg (1 hónapos eltolódás csapadék esetén)



Mezőgazdaság



Gyepek



Erdők

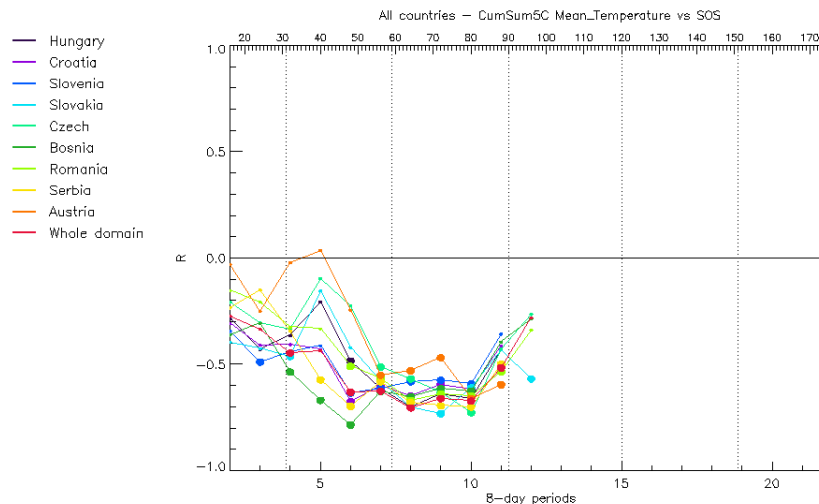
Fenológiai modellek

- 1) **Elméleti:** a levél élettartamának és stratégiájának a fejlődésével foglalkozik
- 2) **Statisztikus:** a fenológiai események és a környezeti tényezők (meteorológiai változók) közötti statisztikai kapcsolattal

Pl.: többváltozós lineáris regresszió felállításával:

- Meghatározó változók meghatározó időpontban
- Meghatározó változók az összes időpontban

→ *Stepwise* lineáris regresszió



Tmax - Maximum hőmérséklet

Tmin – Minimum hőmérséklet

GDD – 5°C feletti napi
átlaghőmérsékletek összege

Fenológiai modellek

1) **Elméleti:** a levél élettartamának és stratégiájának a fejlődésével foglalkozik

2) **Statisztikus:** a fenológiai események és a környezeti tényezők (meteorológiai változók) közötti statisztikai kapcsolattal

Pl.: többváltozós lineáris regresszió felállításával:

- Meghatározó változók meghatározó időpontban
- Meghatározó változók az összes időpontban

→ *Stepwise* lineáris regresszió



3) **Folyamat alapú modellek:** leírják az ismert vagy feltételezett ok-okozati összefüggéseket a biológiai folyamatok és a környezeti tényezők között. (Általában ezek a modellek a nyugalmi időszak alatti eseményekkel foglalkoznak).

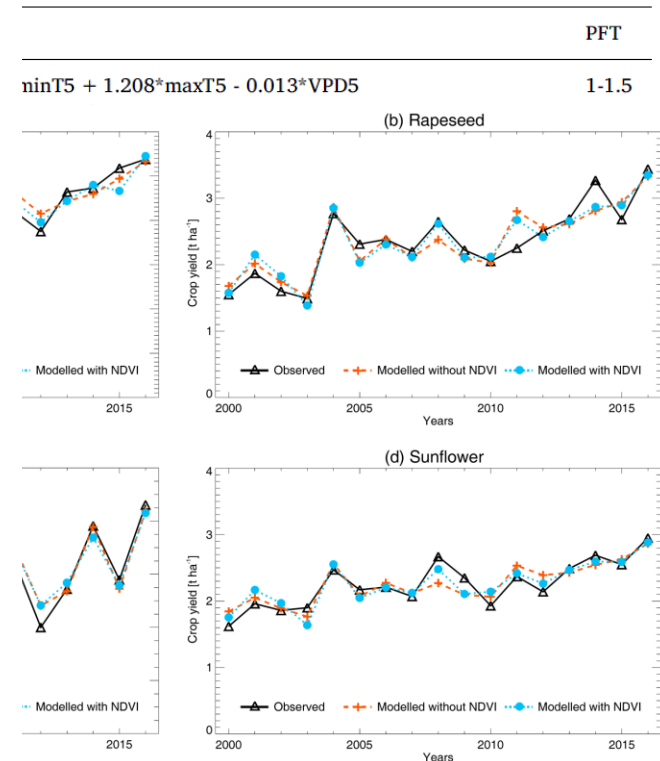
→ Előrejelzésekhez

→ Importálás szénciklus-modellekbe (pl. BIOME-BGCMuSo)

Statisztikus modellezés

$$XXX = \alpha \cdot Tmax_{PoA} + \beta \cdot Tmin_{PoA} + \gamma \cdot Rad_{PoA} + \delta \cdot Prec_{PoA} + \varepsilon \cdot DEM + \dots + constant;$$

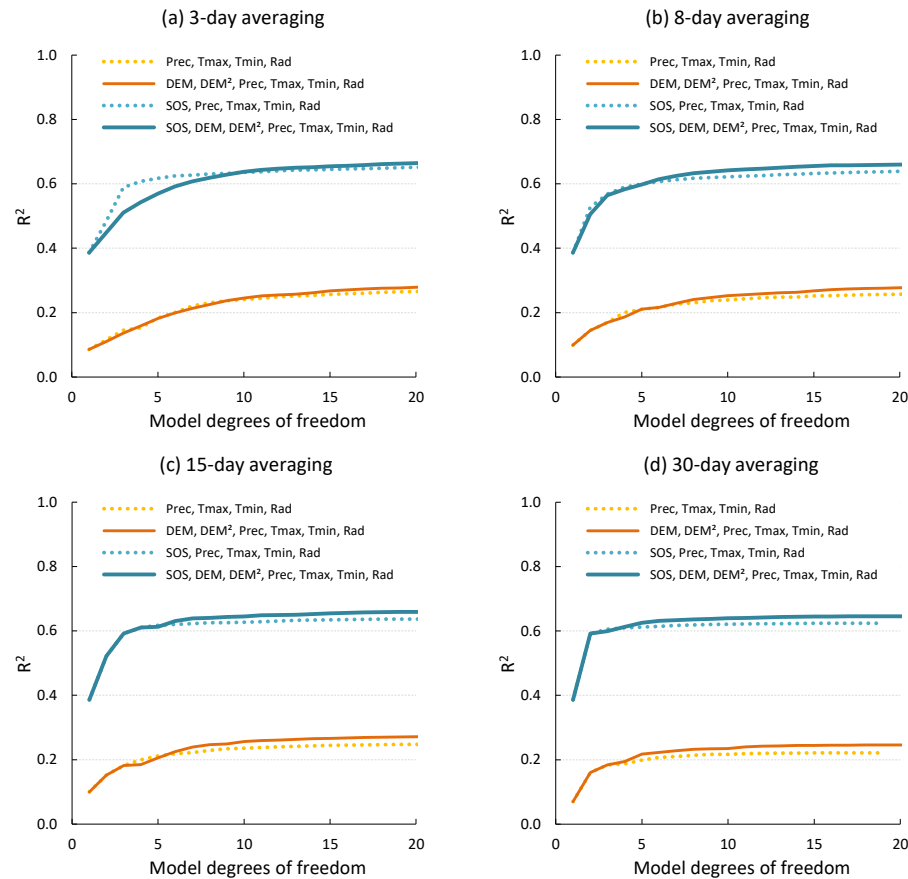
	Model	Model equation	R	R ²	RMSE
With SOS	No meteorology				
	M1 (1.2C)	$GUD = 94.932 - 0.006 \cdot DEM + 0.000017 \cdot DEM^2 - 0.735 \cdot SOS$	0.692	0.478	7.343
	Meteorology before SOS				
	M2 (5.0C) Only T_{max} before SOS (last 8 days)	$GUD = 100.291 - 0.009 \cdot DEM + 0.000018 \cdot DEM^2 - 0.630 \cdot T_{max_{SOS}} - 0.676 \cdot SOS$	0.718	0.516	7.063
	M3 (5.3C) Meteorology before SOS (last 8 days)	$GUD = 94.487 - 0.009 \cdot DEM + 0.000019 \cdot DEM^2 + 0.099 \cdot T_{max_{SOS}} - 0.624 \cdot T_{min_{SOS}} - 0.823 \cdot Rad_{SOS} - 0.580 \cdot SOS$	0.728	0.530	6.961
	Meteorology after SOS				
	M4 (3.1C) Only T_{max} during green-up	$GUD = 101.44 - 0.015 \cdot DEM + 0.000020 \cdot DEM^2 - 1.173 \cdot T_{max_{GU}} - 0.547 \cdot SOS$	0.740	0.547	6.832
	M5 (4.3SC) Only T_{max} after SOS (first 8 days)	$GUD = 96.327 - 0.013 \cdot DEM + 0.000019 \cdot DEM^2 - 0.850 \cdot T_{max_{ASOS}} - 0.578 \cdot SOS$	0.746	0.556	6.762
are and after SOS	M6 (4.1C) Meteorology during green-up	$GUD = 94.00 - 0.014 \cdot DEM + 0.000014 \cdot DEM^2 - 2.278 \cdot T_{max_{GU}} + 1.393 \cdot T_{min_{GU}} + 2.036 \cdot Rad_{GU} + 1.731 \cdot Prec_{GU} - 0.747 \cdot SOS$	0.782	0.611	6.334
	M7 (4.3C) Meteorology after SOS (first 8 days)	$GUD = 94.247 - 0.013 \cdot DEM + 0.000019 \cdot DEM^2 - 0.660 \cdot T_{max_{ASOS}} - 0.256 \cdot T_{min_{ASOS}} - 0.036 \cdot Rad_{ASOS} + 0.168 \cdot Prec_{ASOS} - 0.573 \cdot SOS$	0.747	0.558	6.750
	M8 (4.6C) Meteorology during green-up + before SOS (last 8 days)	$GUD = 82.738 - 0.013 \cdot DEM + 0.000015 \cdot DEM^2 - 3.085 \cdot T_{max_{GU}} + 2.821 \cdot T_{min_{GU}} + 2.806 \cdot Rad_{GU} + 1.561 \cdot Prec_{GU} + 1.479 \cdot T_{max_{SOS}} - 2.075 \cdot T_{min_{SOS}} - 1.387 \cdot Rad_{SOS} - 0.644 \cdot SOS$	0.805	0.649	6.018



Statisztikus modellezés

$$XXX = \alpha \cdot Tmax_{PoA} + \beta \cdot Tmin_{PoA} + \gamma \cdot Rad_{PoA} + \delta \cdot Prec_{PoA} + \varepsilon \cdot DEM + \dots$$

+ *constant*;



Kártevők hatása a fenológiára

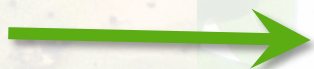
- **Gyapjaslepke** (*Lymantria dispar*, jelentőségű (tölgy, bükk), cikliku 2005-ben kártétel 2018.06.07.
- **Tölgy csipkésposlos**

2018.08.11.

2018.06.07.

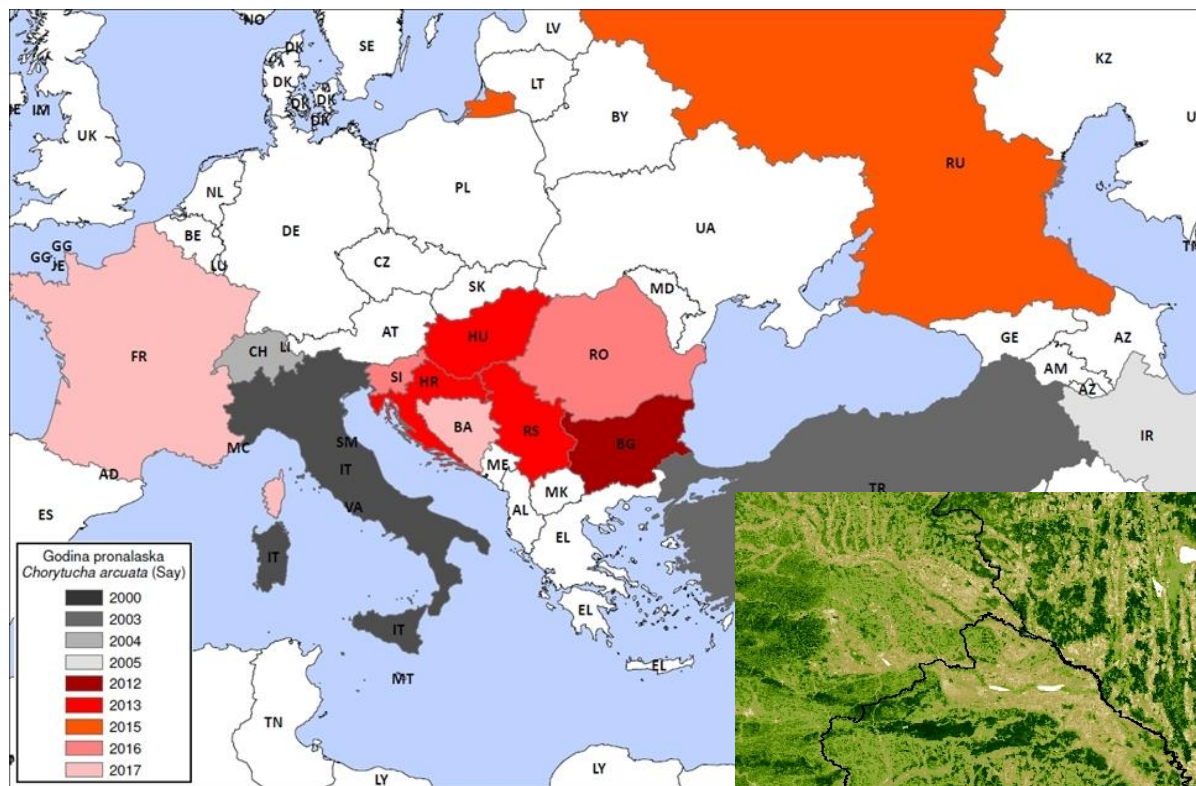
2018.04.24.

2017.10.11.



Hogyan hat az időjárás és az éghajlatváltozás a kártevők szaporulataira, elterjedésére?

Kártevők hatása a fenológiára



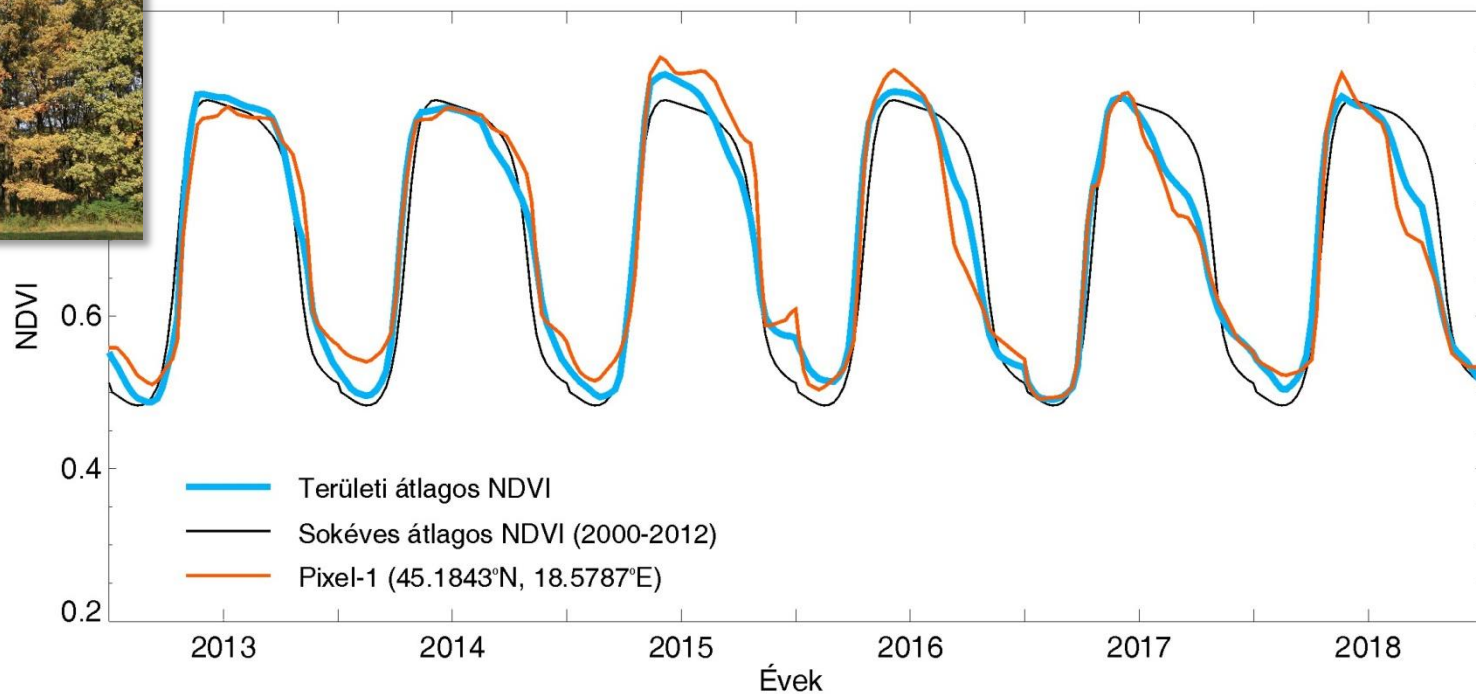
A tölgy csipkésposloska megjelenési évei és elterjedése



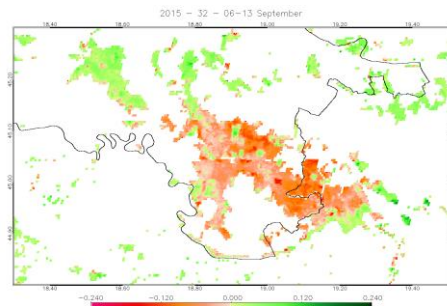
Kártevők hatása a fenológiára



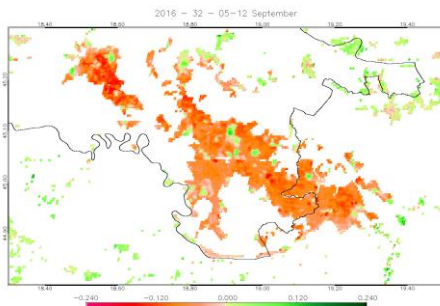
Elválasztható-e az időjárás hatásától?



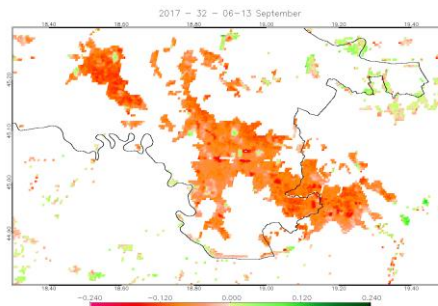
2015



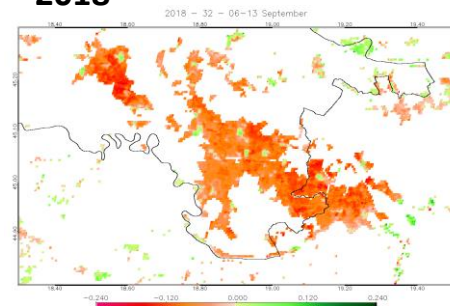
2016



2017

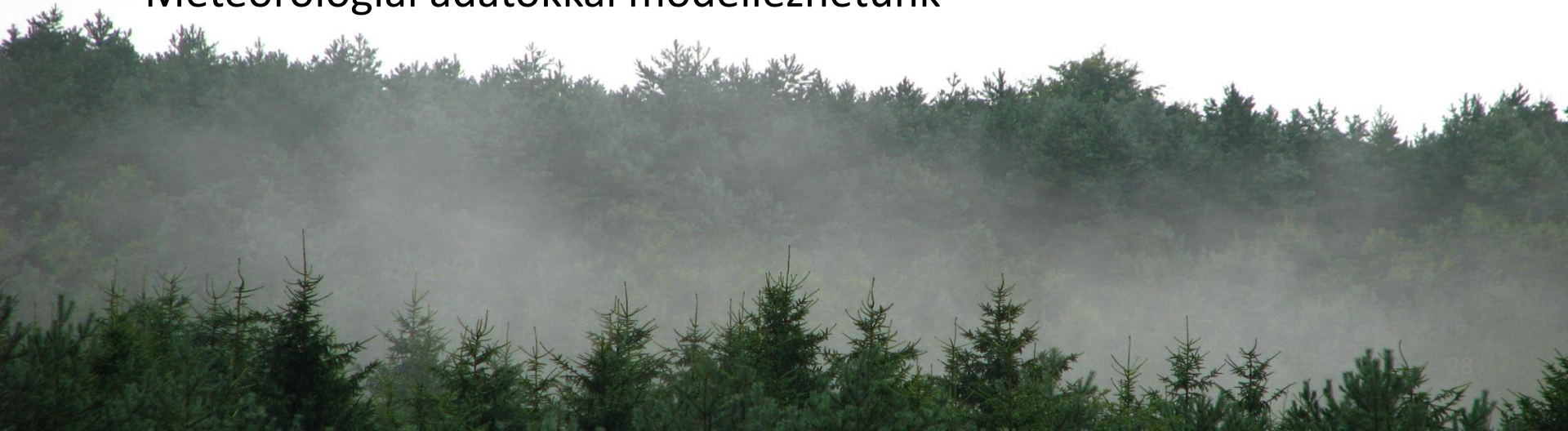


2018



Összefoglalás

- Nem mindig rossz az a durva felbontás... 😊
- Az időjárás hatása a vegetációra egyértelműen kimutatható az úrből
- Globális változások folyamatban:
 - eltolódó fenológia, zöldülés, adaptálódás
- Kárpát-medencében is kimutatható trendek (SOS előretolódása)
- Extrémumok megjelenése
- Meteorológiai adatokkal modellezhetünk



Köszönöm a figyelmet!



Köszönetnyilvánítás: NASA & EOSDIS for the MOD09, MOD12, MOD13, MOD15, MOD17 produktumok
Hungarian Scientific Research Fund (OTKA PD-111920 & OTKA FK-128709)
ELTE Űrkutató Csoport