



MODIS a Sentinel műholdak korában: rügyfakadástól a tölgy csipkésposzkáig

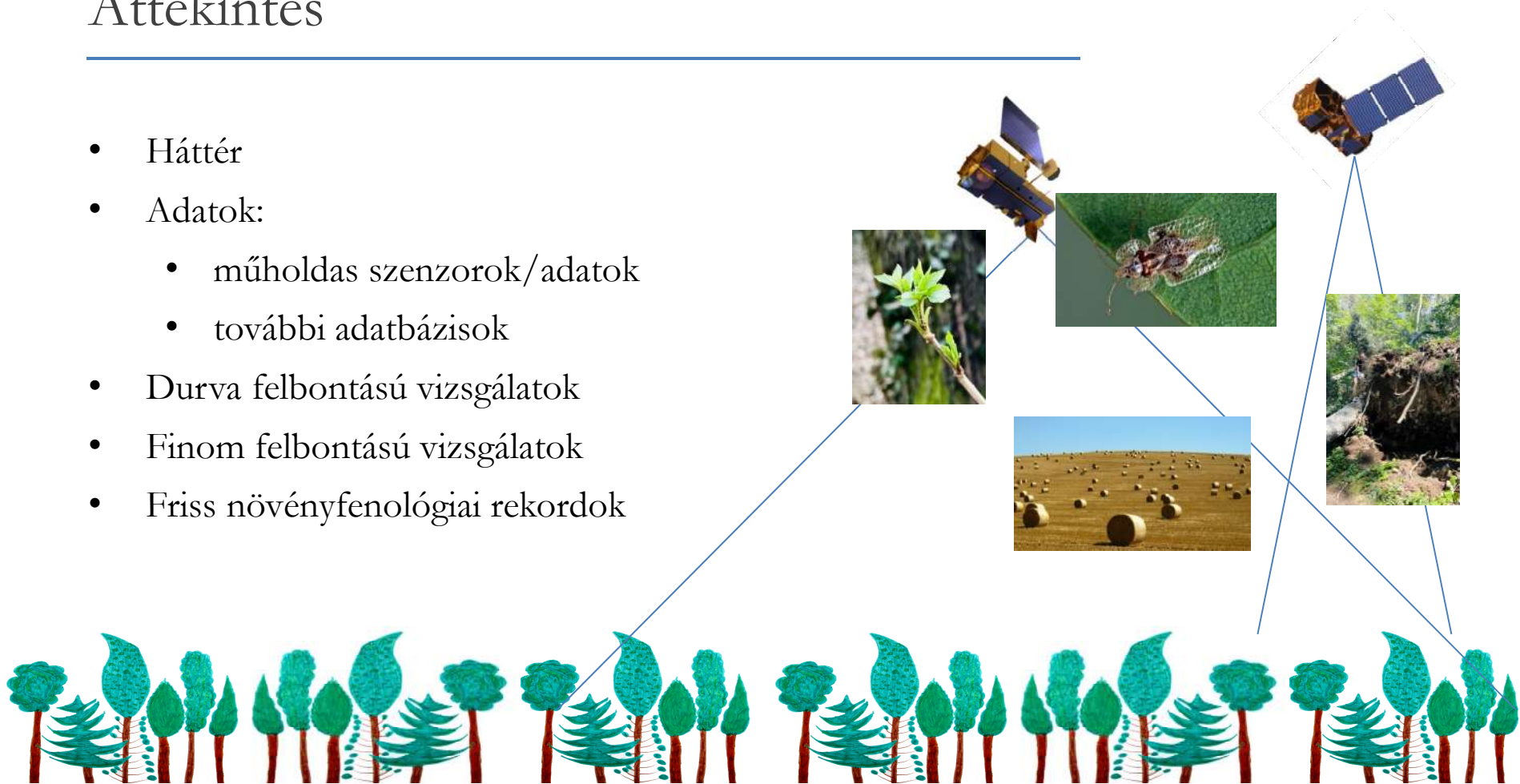
Kern Anikó

Eötvös Loránd Tudományegyetem,
Geofizikai és Űrtudományi Tanszék, Űrkutató Csoport



Áttekintés

- Háttér
- Adatok:
 - műholdas szenzorok/adatok
 - további adatbázisok
- Durva felbontású vizsgálatok
- Finom felbontású vizsgálatok
- Friss növényfenológiai rekordok



Háttér

- **Amit tudunk...**

- az időjárás és rajta keresztül az éghajlatváltozás befolyásolja a növényfenológiát, pl.:
 - korábbi fenológiai kezdet
 - „zöldülés” → ?
 - aszályok

- **Eszköz:** vegetációs index idősor, pl.: $NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{RED}}{R_{NIR} + R_{RED}}$

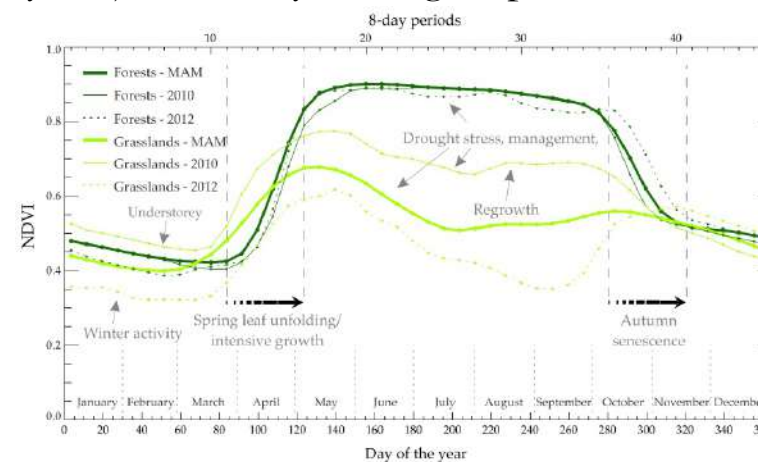
- **Adat?**

- minél hosszabb idősor
- nem feltétlen a legfinomabb térbeli felbontással



MODIS

- 2000 óta (!)
- napi visszatérésű, de a 8 napos produktum kitűnő
- A hosszabbításán dolgoznak (VIIRS, OLCI?)



MSI

- Sentinel-2A: 2015, 2B: 2017
- 10 naponként (5 naponként)
- 10, 20, 60 méter

MODIS

- MODERate resolution Imaging Spectroradiometer
 - 36 spektrális csatorna (0,4 – 14,2 μm)
 - 250 m, 500 m, 1000 m
 - ~ 2300 km széles leképezés
 - 490 detektor (!)
 - Összetett és széleskörű fedélzeti kalibráció
 - Nagy kalibrációs pontosságú, precíz georegisztrálású szenzor
- Terra = EOS-AM1 (1999/12): ECT: 10:30 UTC
- Aqua = EOS-PM1 (2002/05): ECT: 13:30 UTC
 - MODIS esetén napi 2x, globális lefedettség





MODIS

MODERATE RESOLUTION IMAGING SPECTRORADIOMETER



- Data
- About
- Data
- Tools
- Science Team
- Images
- News
- Related Sites
- MODARCH

Data Products

Algorithms

Direct Broadcast



Dust storm over the Caspian Sea
09-04-2014



Hurricane Igor in the Atlantic Ocean
09-17-2010



Sea Ice off western Alaska
02-04-2015

Data Products

There are many standard MODIS data products that scientists are using to study global change. These products are being used by scientists from a variety of disciplines, including oceanography, biology, and atmospheric science. This section provides some detail for each product individually, introducing you to the products, explaining the science behind them, and alerting you to known areas of concern with the data products. Additional information about these products can be obtained by going to the appropriate URL's noted below. Select a data product below for a detailed overview of the product and links to product specific information.

Level 1

- [MODIS Raw Radiances](#)
- [MODIS Calibrated Radiances](#)
- [MODIS Geolocation Fields](#)

MODIS Atmosphere Products

- [MODIS Aerosol Product](#)
- [MODIS Total Precipitable Water](#)
- [MODIS Cloud Product](#)
- [MODIS Atmospheric Profiles](#)
- [MODIS Atmosphere Joint Product](#)
- [MODIS Atmosphere Gridded Product](#)
- [MODIS Cloud Mask](#)

MODIS Land Products

- [MODIS Surface Reflectance](#)
- [MODIS Land Surface Temperature and Emissivity \(MOD11\)](#)
- [MODIS Land Surface Temperature and Emissivity \(MOD21\)](#)
- [MODIS Land Cover Products](#)
- [MODIS Vegetation Index Products \(NDVI and EVI\)](#)
- [MODIS Thermal Anomalies - Active Fires](#)
- [MODIS Fraction of Photosynthetically Active Radiation \(FPAR\) / Leaf Area Index \(LAI\)](#)
- [MODIS Evapotranspiration](#)
- [MODIS Gross Primary Productivity \(GPP\) / Net Primary Productivity \(NPP\)](#)
- [MODIS Bidirectional Reflectance Distribution Function \(BRDF\) / Albedo Parameter](#)
- [MODIS Vegetation Continuous Fields](#)
- [MODIS Water Mask](#)
- [MODIS Burned Area Product](#)

MODIS Cryosphere Products



- [MODIS Snow Cover](#)
- [MODIS Sea Ice and Ice Surface Temperature](#)

MODIS Ocean Products

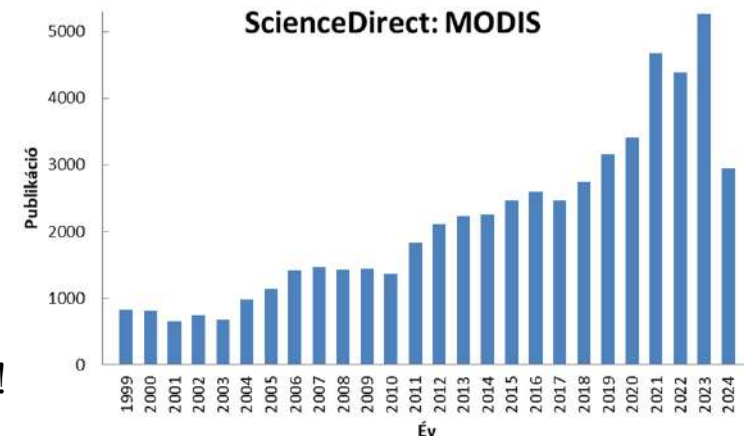
- [MODIS Sea Surface Temperature](#)
- [MODIS Remote Sensing Reflectance](#)
- [MODIS Chlorophyll-a Concentration](#)
- [MODIS Diffuse Attenuation at 490 nm](#)
- [MODIS Particulate Organic Carbon](#)
- [MODIS Particulate Inorganic Carbon](#)
- [MODIS Normalized Fluorescence Line Height \(FLH\)](#)
- [MODIS Instantaneous Photosynthetically Available Radiation](#)
- [MODIS Daily Mean Photosynthetically Available Radiation](#)

Miért még mindig MODIS?

- **24 (Terra) és 22 (Aqua) éves adatsor, ugyanazon szenzorral!!!** (15 PB adat)
- **Globális változások korában (2000 óta)**
- Napi lefedettség globálisan
- Kiváló minőségű produktumok
- **Kapcsolatok felállítása során a durva felbontás sokszor előny**

-  **ScienceDirect** (2024.05.25):
 - MODIS: 103 238
 - MODIS + vegetation: 20 473
-  **Google Scholar** (2024.05.25):
 - MODIS: ~777 000

- A két hordozó műholdnak még mindig van jövője!

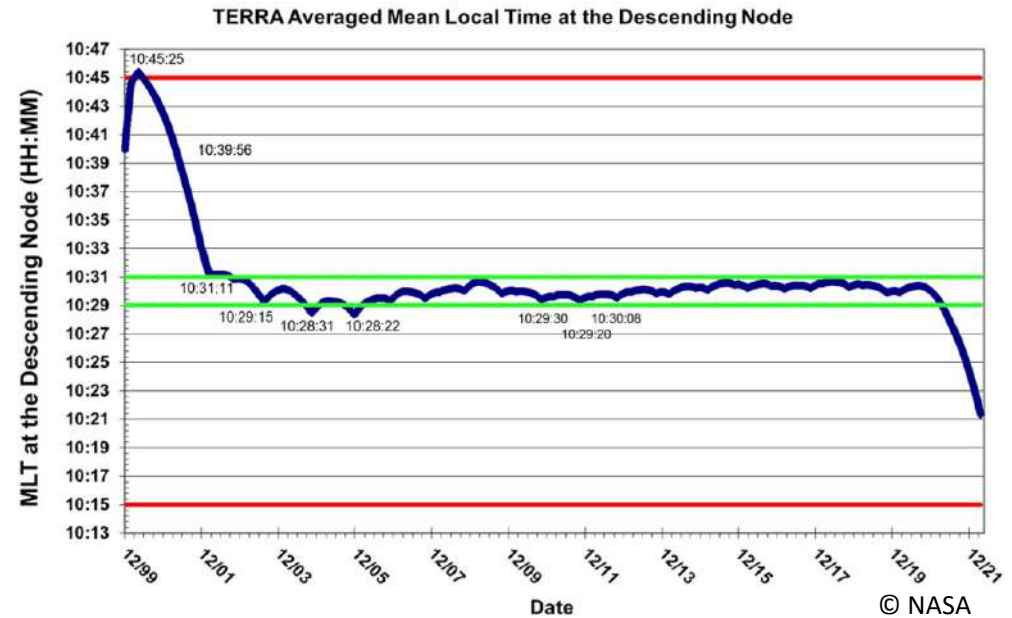
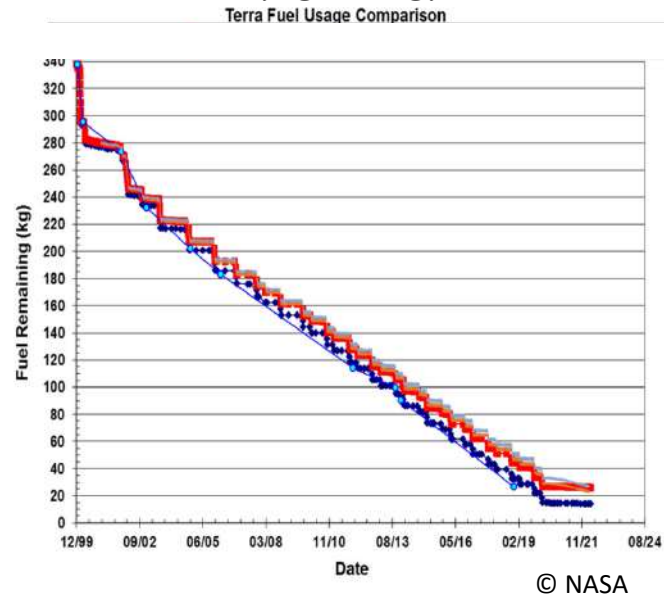


A Terra jövője

Terra: nincs ismert komoly műszaki problémája!!!

De: öregszik → fenntartása egyre drágább

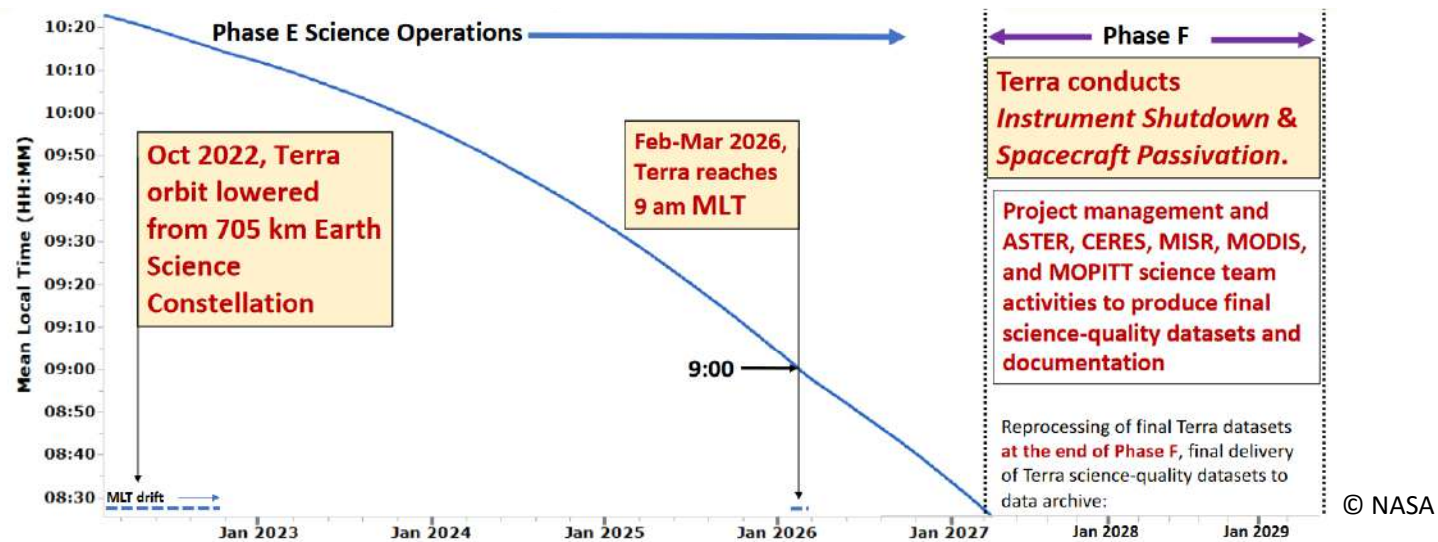
+ az üzemanyaga elfogyott



Terra CEM (Constellation Exit Maneuver): 10:15 MLT eléreskor

2022 október 12-én és 19-én → Adathiány: 2022 október 12-28

A Terra jövője



Manőverek:

- Az űrszemét kikerülésére: folytatódik ✓
- Inklinációs: a névleges Egyenlítő-átlépési idők megőrzésért (utolsó: 2020 tavasza) ✗
- Drag Makeup: a műholdak magasságának fenntartásáért ✗ → A 16 napos pálya: ✗
- Kalibrációs: havonta egyszer, a Holdhoz ✗

2027 Február: *End of science*

2027 Szeptember: Passziválás, perigeum csökkentés

A Terra és **Aqua** után...

VIIRS:

- 22 csatorna, 375/750 méter
- **SNPP** (2011/10), **13:30** MLT
- **JPSS-1** = NOAA-20 (2017/11), **13:30** MLT
- **JPSS-2** = NOAA-21 (2022/11), **13:30** MLT



MLT – Mean Local Time

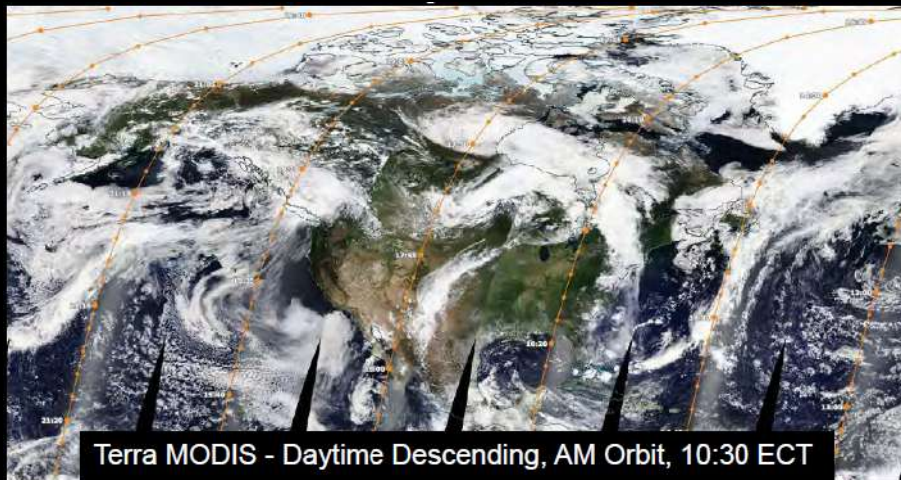
VIIRS – Visible/Infrared Imager Radiometer Suite

NPP – National Polar-orbiting Partnership

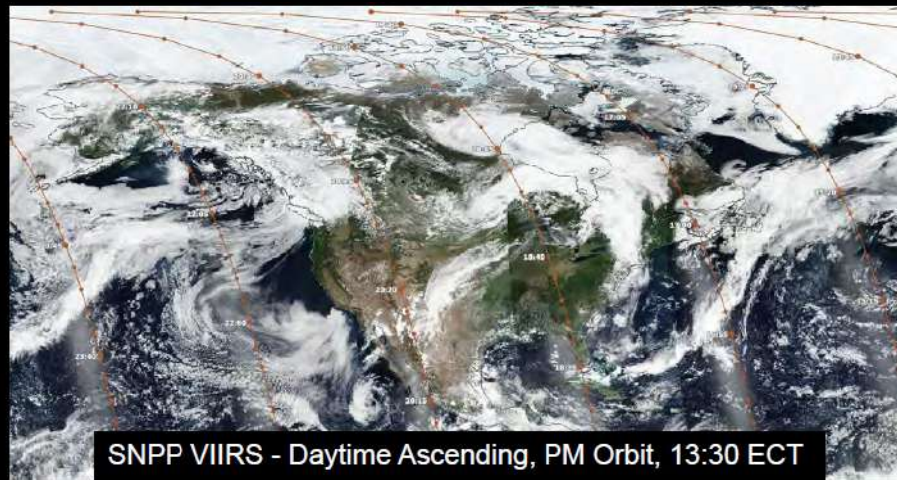
(NPP – NPOESS Preparatory Project, korábban)

JPSS – Joint Polar Satellite System

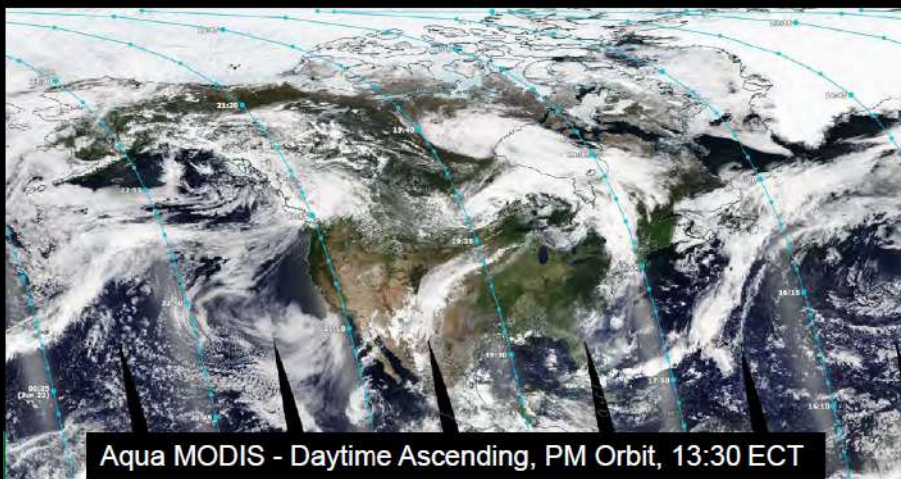
NPOESS – National Polar-orbiting Operational
Environmental Satellite System



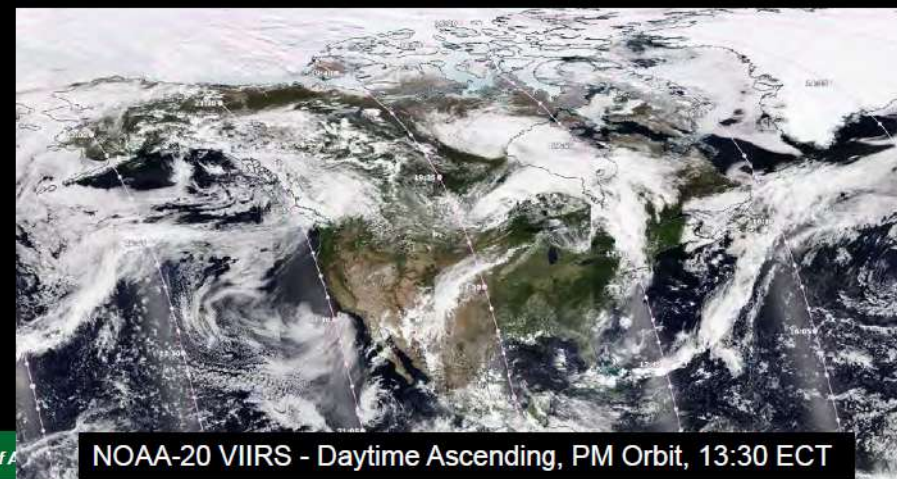
Terra MODIS - Daytime Descending, AM Orbit, 10:30 ECT



SNPP VIIRS - Daytime Ascending, PM Orbit, 13:30 ECT



Aqua MODIS - Daytime Ascending, PM Orbit, 13:30 ECT



NOAA-20 VIIRS - Daytime Ascending, PM Orbit, 13:30 ECT

A Terra és Aqua után...

VIIRS:

- 22 csatorna, 375/750 méter
- **SNPP** (2011/10), 13:30 MLT
- **JPSS-1** = NOAA-20 (2017/11), 13:30 MLT
- **JPSS-2** = NOAA-21 (2022/11), 13:30 MLT



OLCI:

- 21 csatorna, 300 méter

SLSTR:

- 6 csatorna, 500/1000 méter
- **Sentinel-3A** (2016/02), 10:00 MLT
- **Sentinel-3B** (2018/04), 10:00 MLT
- **Sentinel-3C** (2024?), 10:00 MLT



METImage:

- **MetOp-SG A** (2024?) EUMETSAT Polar System Second Generation): 09:30 MLT

MLT – Mean Local Time

VIIRS – Visible/Infrared Imager Radiometer Suite

NPP – National Polar-orbiting Partnership

(NPP – NPOESS Preparatory Project, korábban)

JPSS – Joint Polar Satellite System

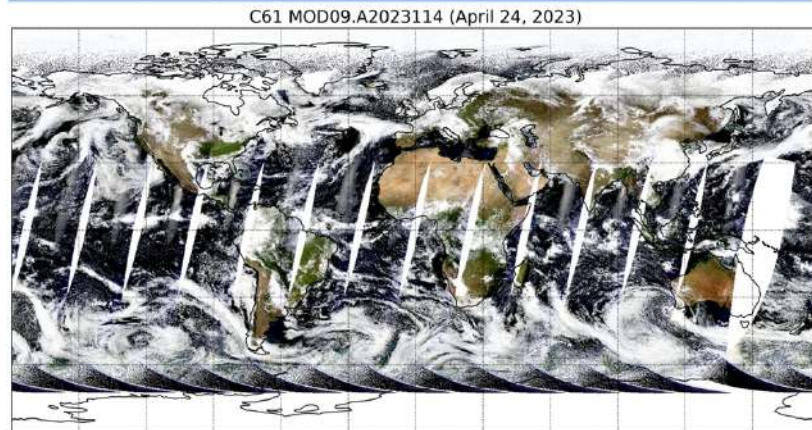
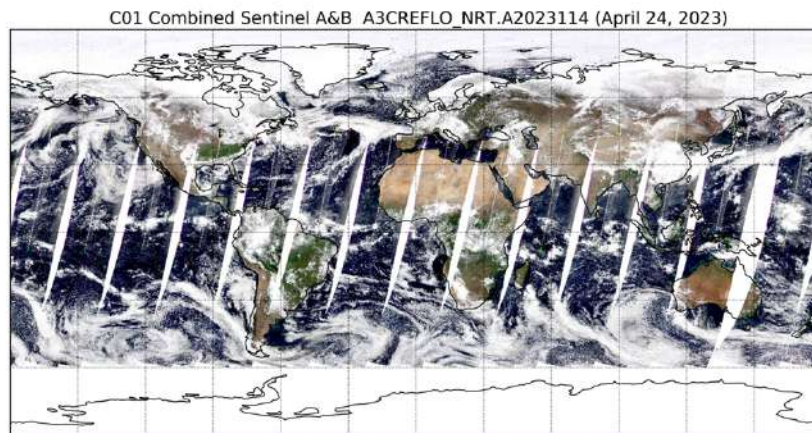
NPOESS – National Polar-orbiting Operational Environmental Satellite System

OLCI – Ocean and Land Color Instrument

SLSTR – Sea and Land Surface Temperature Radiometer

Nincs NASA misszió mely délelőtti mérésekkel biztosítaná a Terra folytatását!!!

A Terra és Aqua után...



Korrigált reflectancia: S3 OLCI vs Terra MODIS

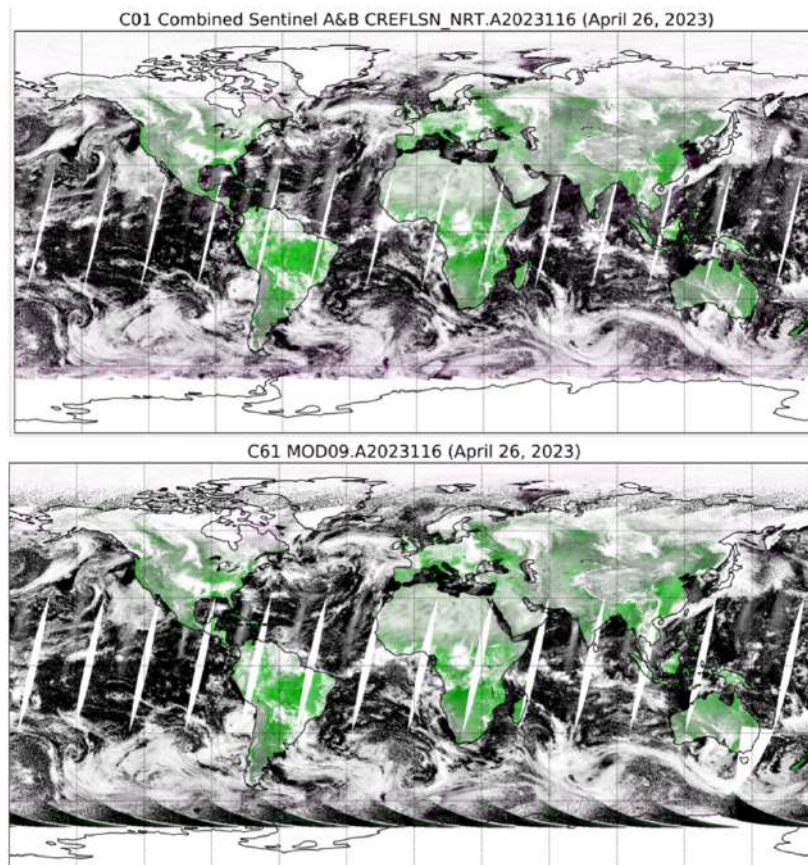
R: O8	0.660 – 0.670
G: O6	0.555 – 0.565
B: O4	0.485 – 0.495

May 1-4, 2023

R: b1	0.620 – 0.670
G: b4	0.545 – 0.565
B: b3	0.459 – 0.479

Devadiga, 2023, NASA GSFC

A Terra és Aqua után...



Korrigált reflectancia: S3 SLSTR vs Terra MODIS

R: S2	0.650 – 0.670
G: S3	0.858 – 0.878
B: S2	0.650 – 0.670

May 1-4, 2023

R: B1	0.620 – 0.670
G: B2	0.841 – 0.876
B: B1	0.620 – 0.670

Devadiga, 2023, NASA GSFC

Sentinel-2 MSI

- Multispectral Imager
 - „Pushbroom” szenzor
 - 13 spektrális csatorna (0,443 – 2,190 μm)
 - 10 m, 20 m, 60 m
 - ~ 290 km széles leképezés
 - 2 x 12 detektor
- Sentinel-2A (2015/06), 10:30 ECT
- Sentinel-2B (2017/03), 10:30 ECT
 - 786 km, 98°
 - 10 naponként ismétlődő pálya
- Sentinel-2C (2024/09 ?)

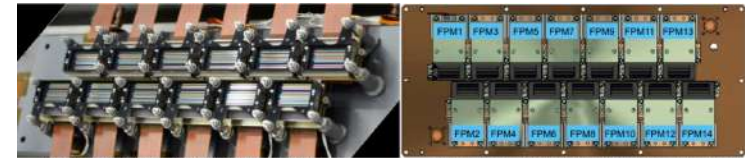
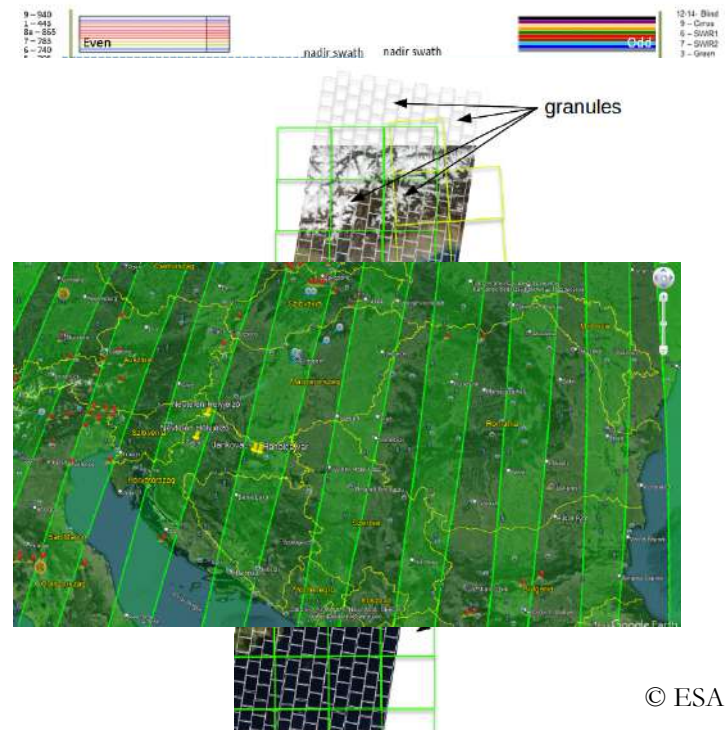


Figure 1a. Sentinel-2/MSI Focal Plane Assembly (FPA) composed by 12 modules for VNIR (Airbus DS-F, e2v according [1])

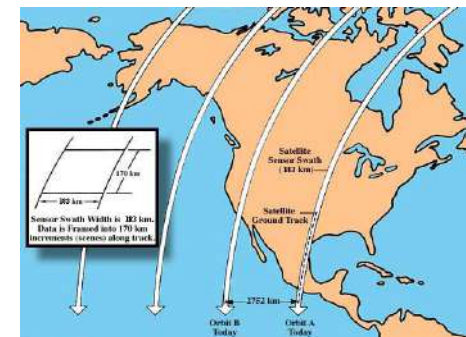
Figure 1b. Landsat-8/OLI Focal Plane Assembly (FPA) composed by 14 modules (according [2])



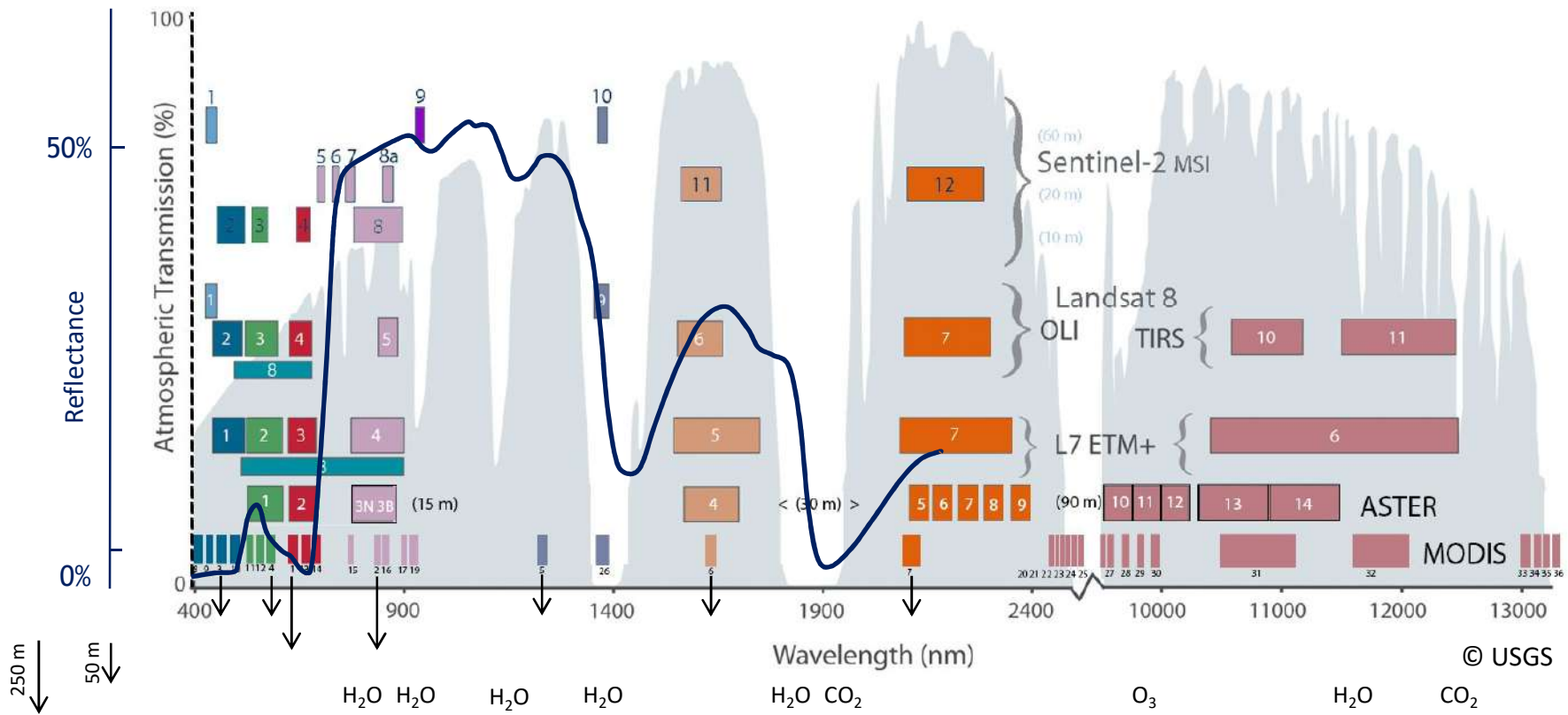
© ESA

Landsat-8/9, OLI + TIRS

- Operational Land Imager
 - „Pushbroom” szenzor
 - 9 spektrális csatorna (0,443 – 2,190 μm)
 - 30 m, 15 m
 - ~ 185 km széles leképezés
- Thermal Infrared Sensor
 - 2 spektrális csatorna (10,60 – 12,51 μm)
 - 100 m (30 méterre átrácsozott)
- Landsat-8 (2013/02), 10:00 ECT
- Landsat-9 (2021/09), 10:00 ECT
 - 16 naponként ismétlődő pálya



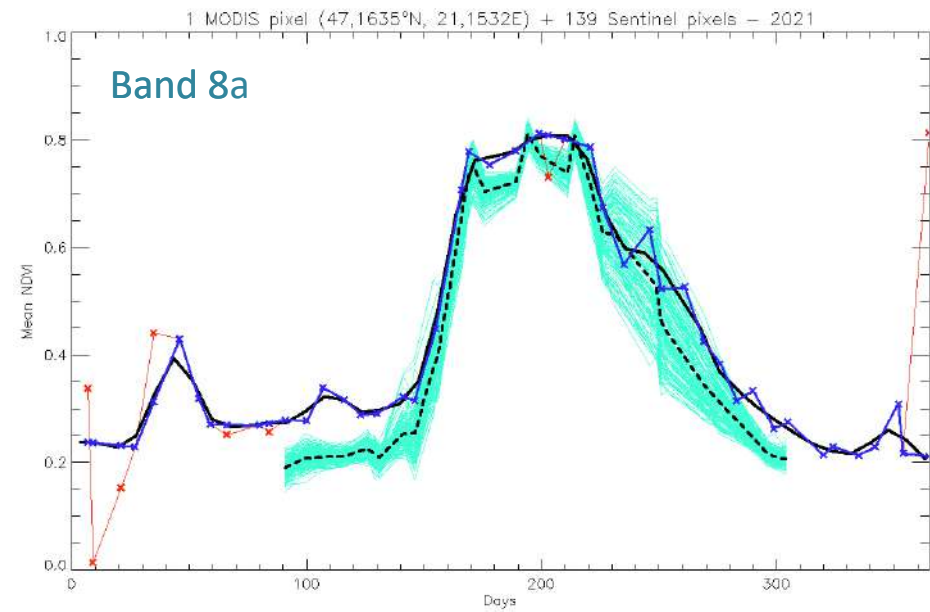
MODIS, MSI és OLI csatornák



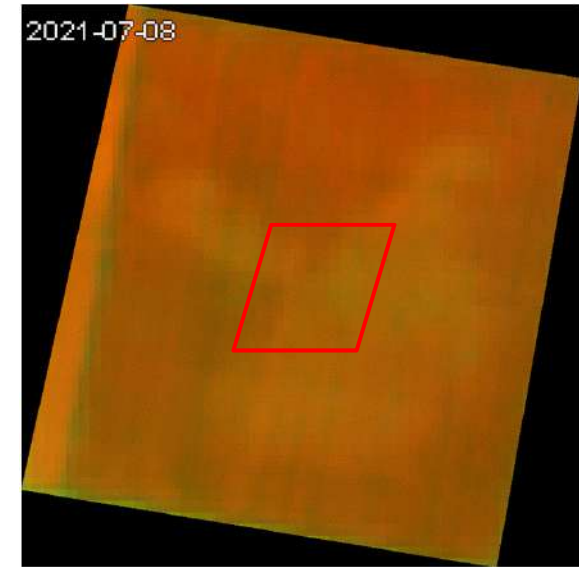


MODIS vs MSI – pixelszintű összehasonlítás

MODIS pixel-szint (250 m)



MODIS vs MSI – pixelszintű összehasonlítás



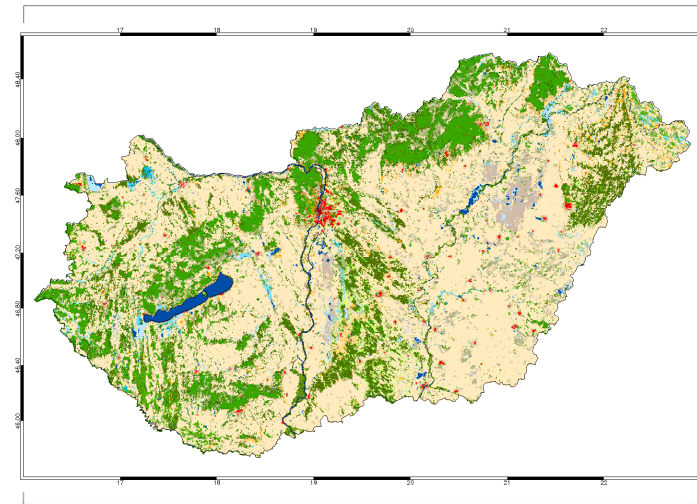
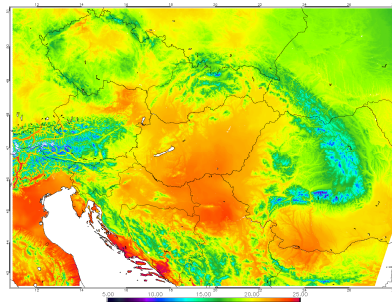
Nagy területek kiátlagolásával a helyi „zavaró” hatások kevésbé befolyásolják az eredményt, pl:

- Helyi topográfia (magasság, kitétttség, meredekség, stb.)
- Mikroklíma (T_{\min})
- Talajtulajdonságok
- Kezelés
- Faj, fajta
- Korábbi diszturbanciákból való regenerálódás
- Hosszabb késleltetett hatások („lagged” affects)
- stb.

További adatforrások

- **Műholdas:**

- *Harmonized Landsat-Sentinel* adatsor (HLS): 30 méter, 2013–
- Planet: 3 méter (!)
- Felszín-/ökoszisztéma-típus:
 - MODIS,
 - CORINE,
 - GLANCE,
 - NÖSZTÉP



- **Meteorológia:**

- FORESEE
- ERA5-Land

- **Erdészeti:**

- Műholdas famagasság (GEDI)
- Évenkénti fakitermelés
- Fafaj és famennyiség



Rügyfakadás

Terra,
2018.04.09.

Terra,
2018.04.21.

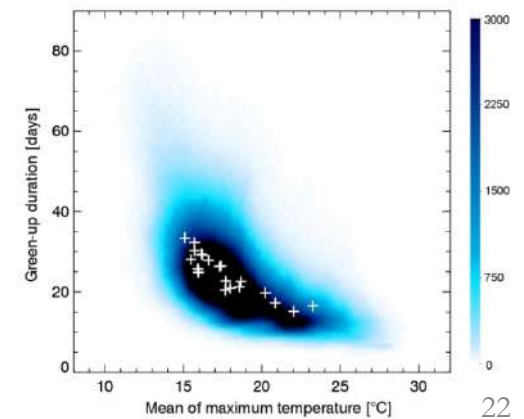
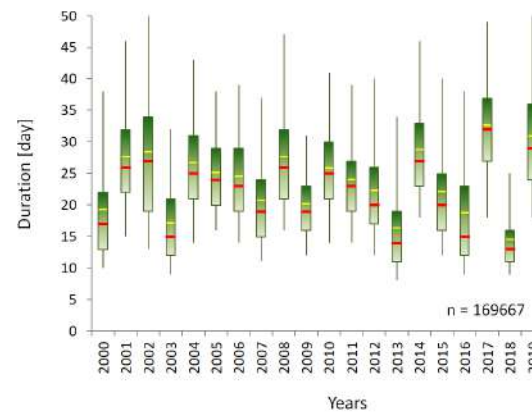
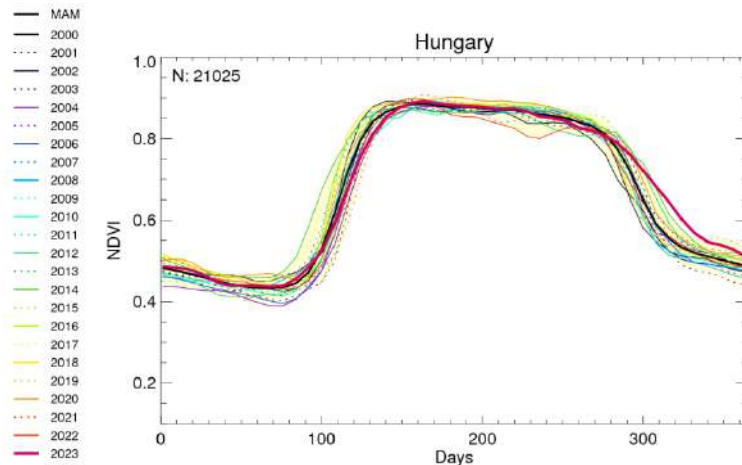
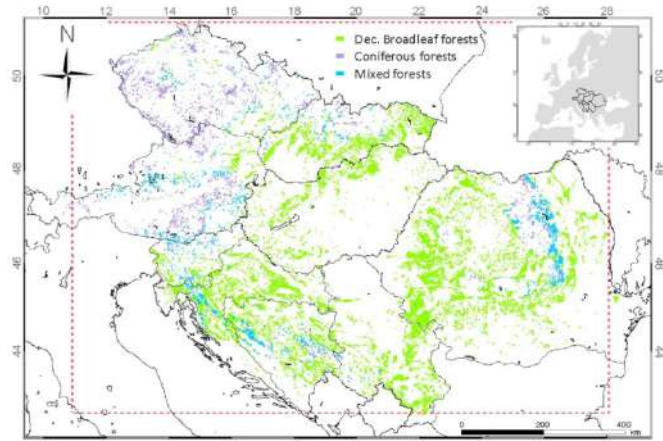


Rügyfakadás



A felfutás/kizöldülés hosszának vizsgálata

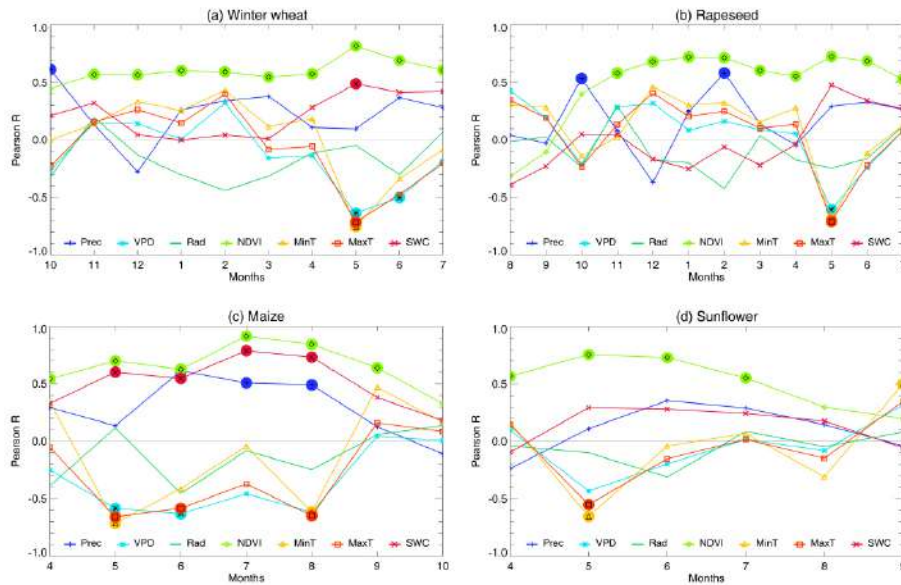
- függ a fenológia kezdetének időpontjától (SOS) ($R = -0.65$)
- a magassággal ($R^2 = 0,47$)
- Meteorológiai változókkal modellek építése ($R^2 = 0,65$)
- Leghosszabb: 2017: 32,7 nap, legrövidebb: 2018: 14,5 nap



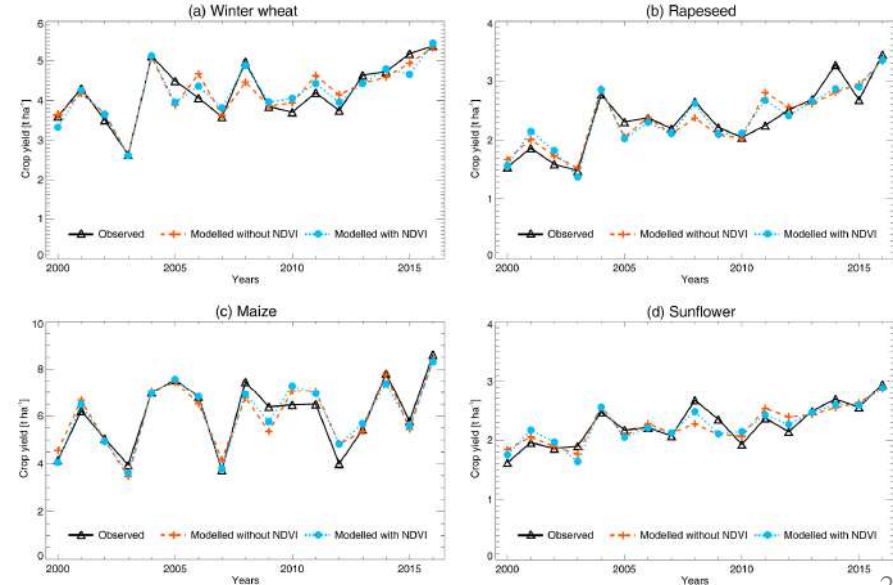
Terméshozambecslés

- Meteorológiai és NDVI adatokat felhasználva
- A legmeghatározóbb változók és legmeghatározóbb időszakok kiválasztása
- Modellek építése

Lineáris korrelációs értékek



Végző modell-szimulációk



Kritikus időszakok

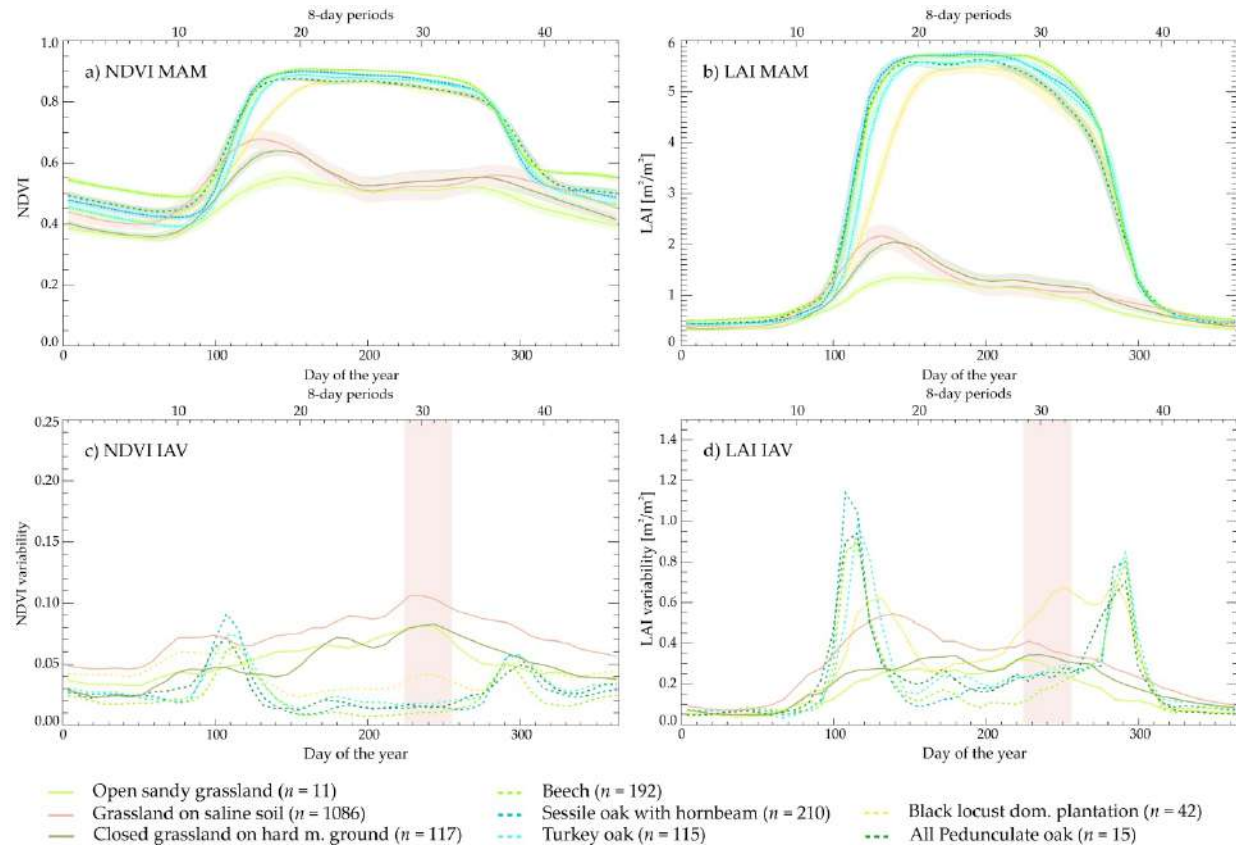
A hosszúadatsor előnyei:



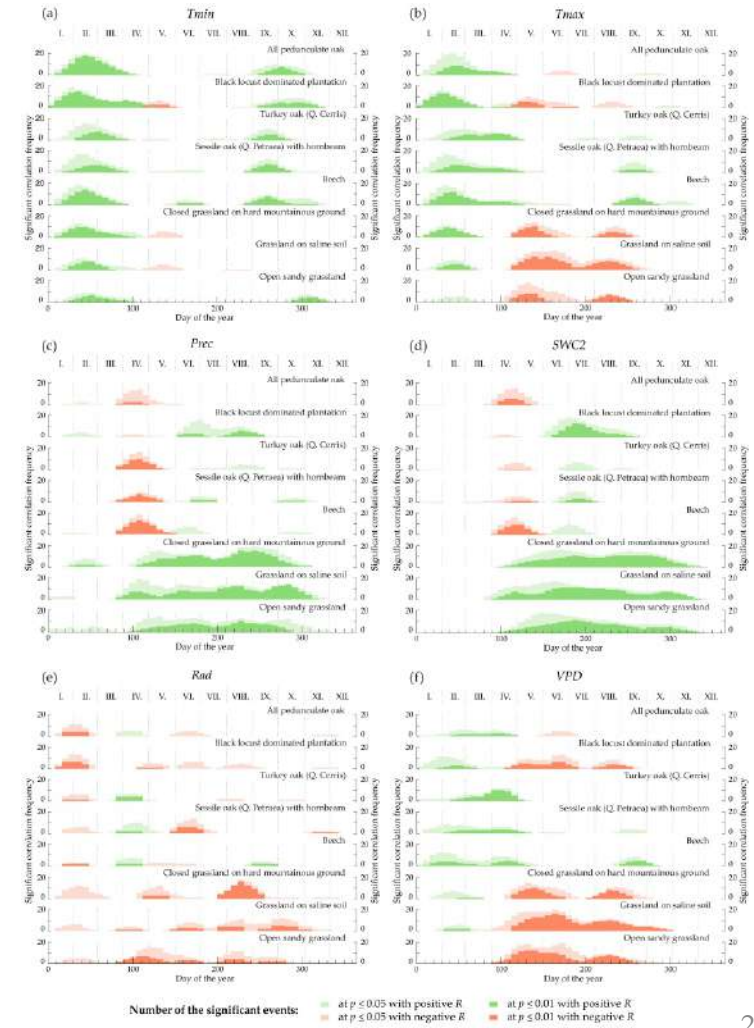
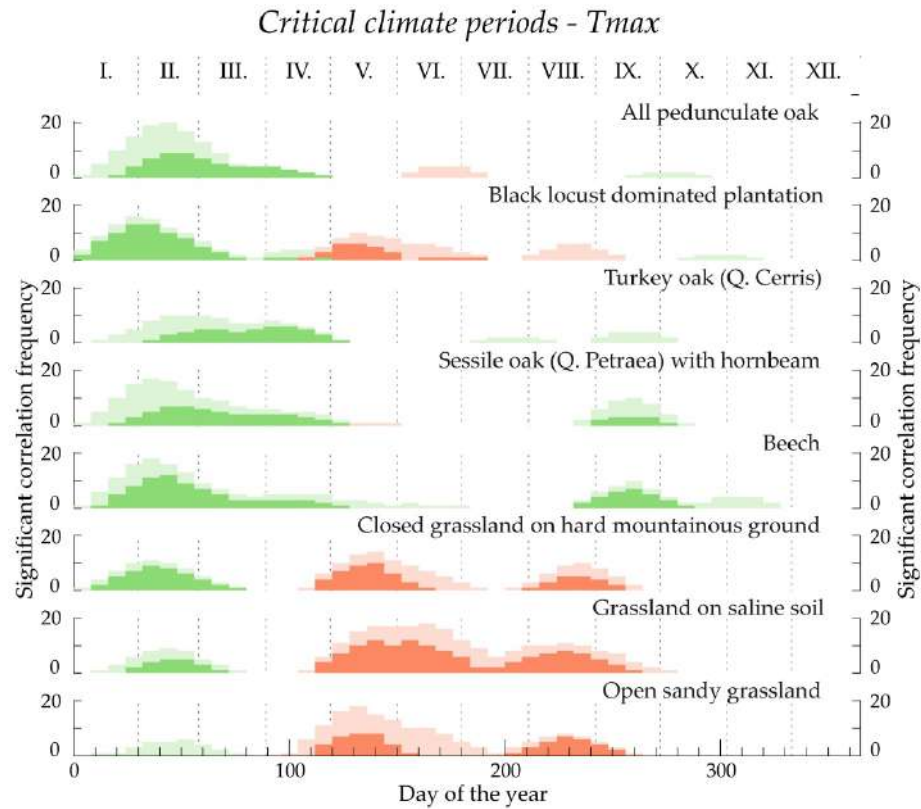
- Sokéves átlag felállítható
- átlagtól való eltérés, évek közötti változékonyság
- Meteorológiai változókkal korreláltatható



- Kritikus periódusok kijelölhetők



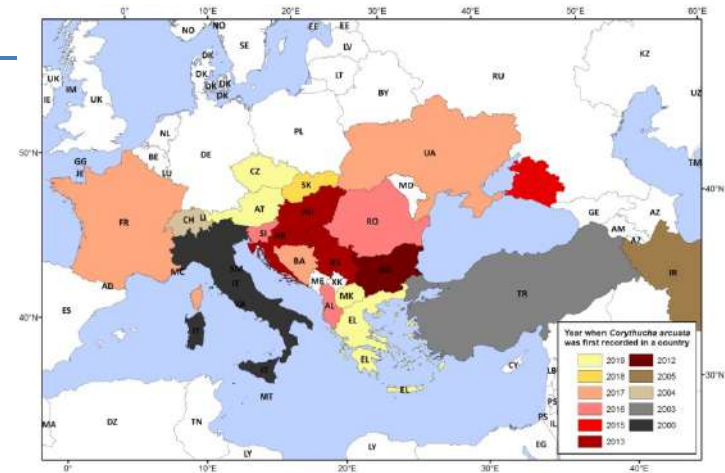
Kritikus időszakok



A tölgy csipkésposloska

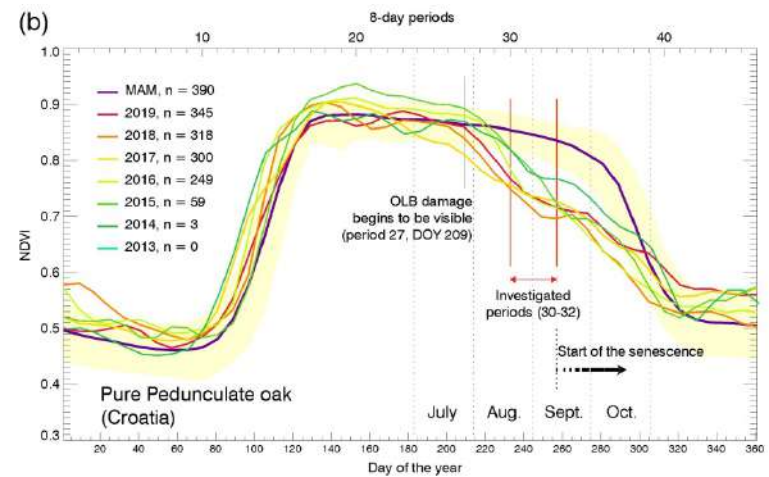
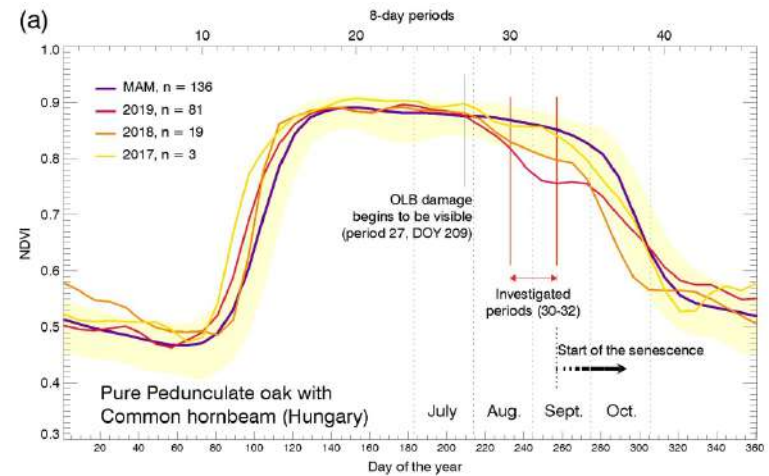
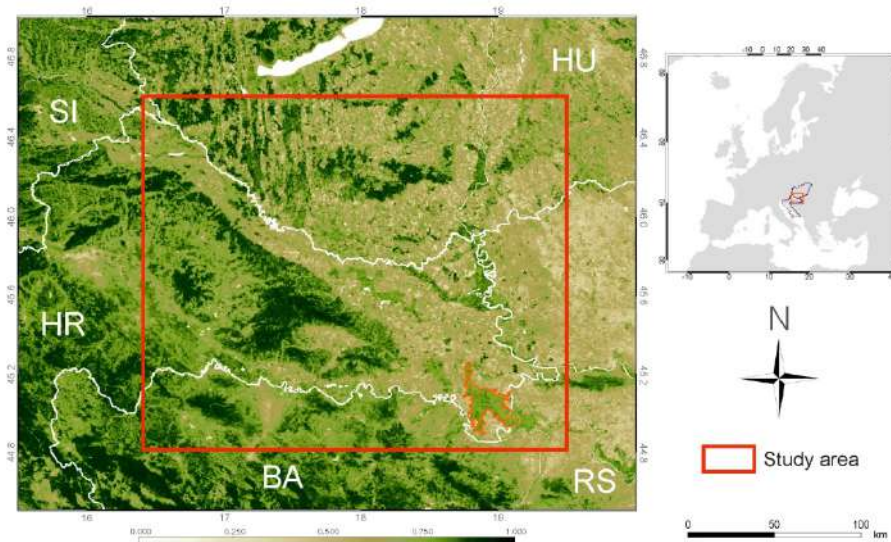
Kártevők hatásának vizsgálata:

- Tölgy csipkésposloska (*Corythucha arcuata*, Say 1832)
 - Hazai megjelenése: **2013**
(Csóka *et al.*, 2013; Hrašovec *et al.*, 2013)



A tölgy csipkéspoloska

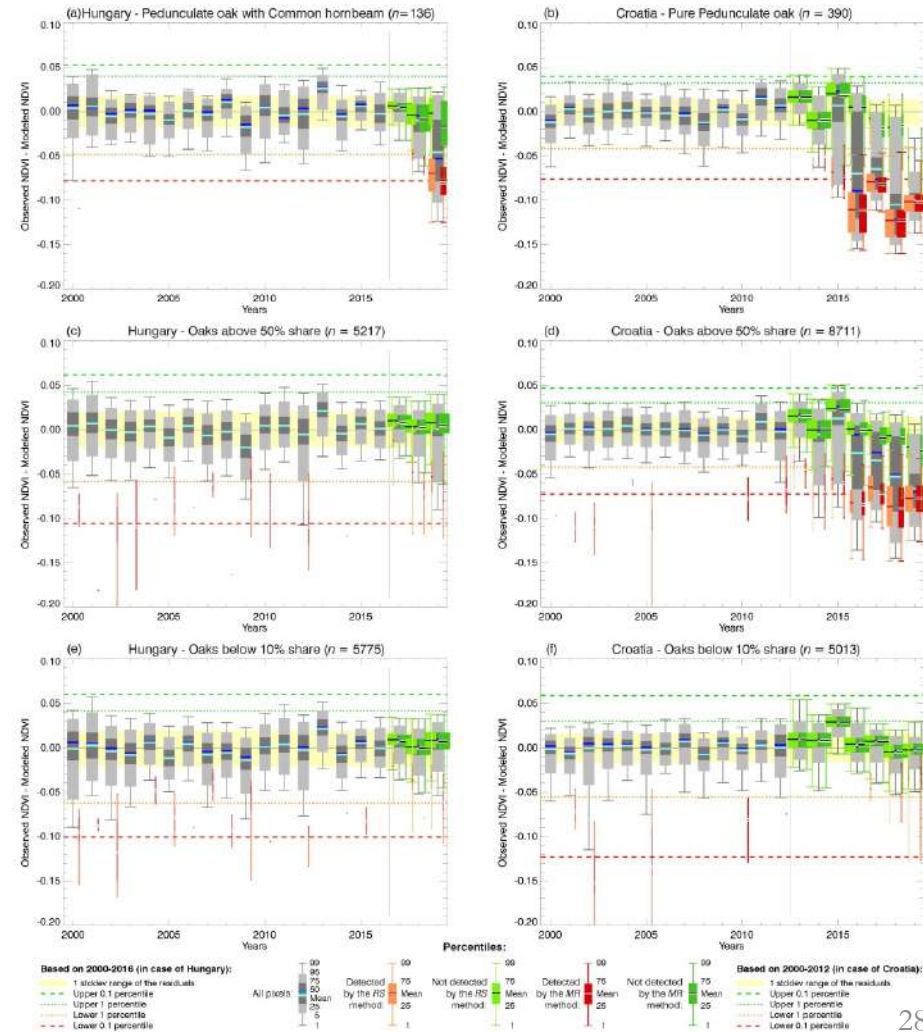
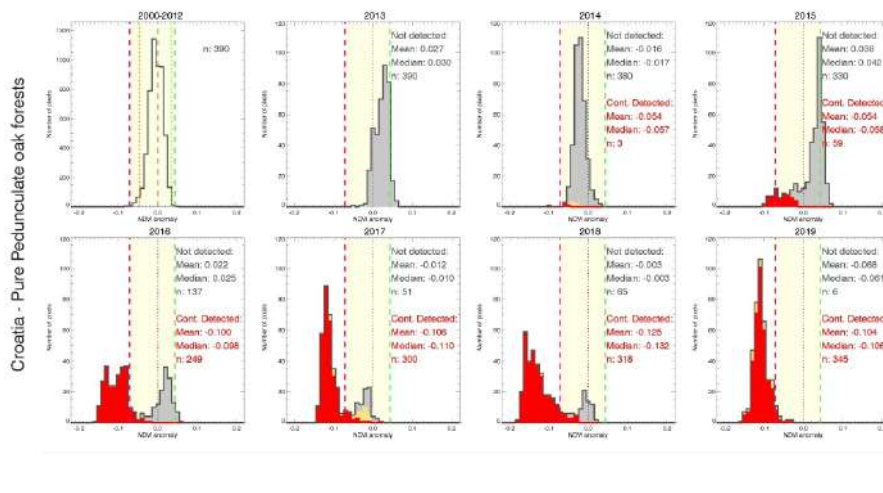
Detektálása, hatásának leírása



A tölgy csipkésposloska

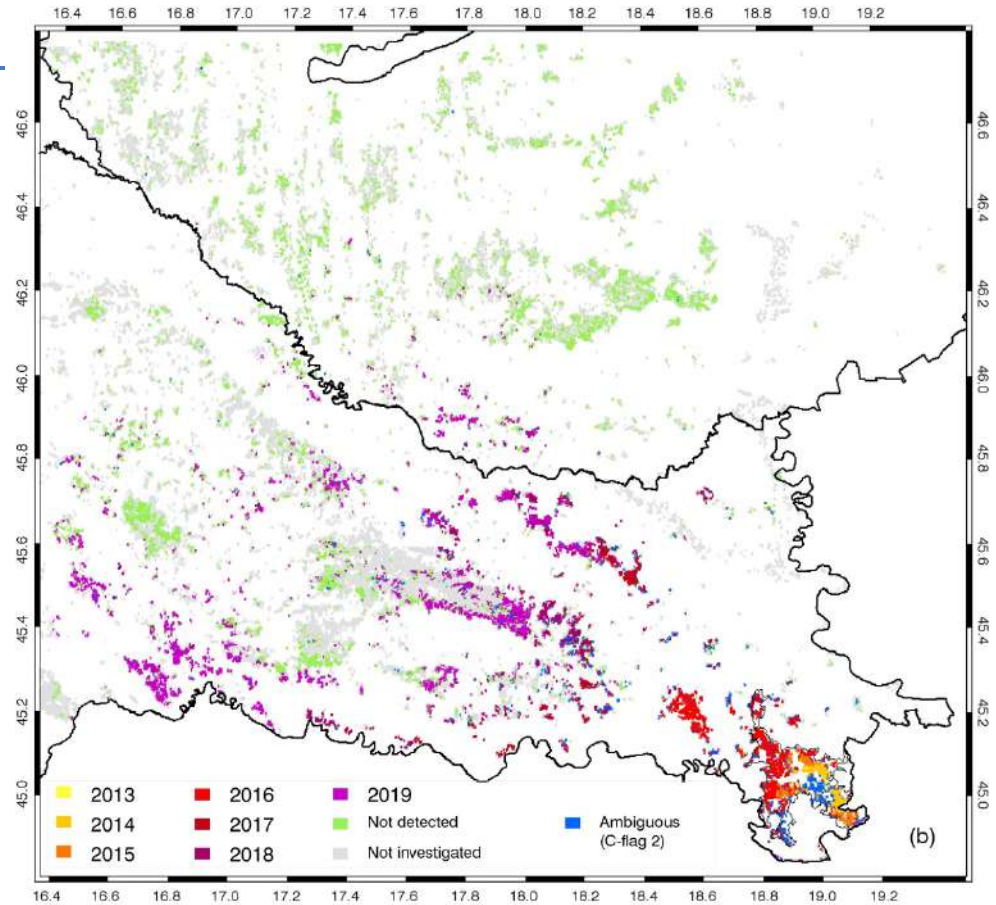
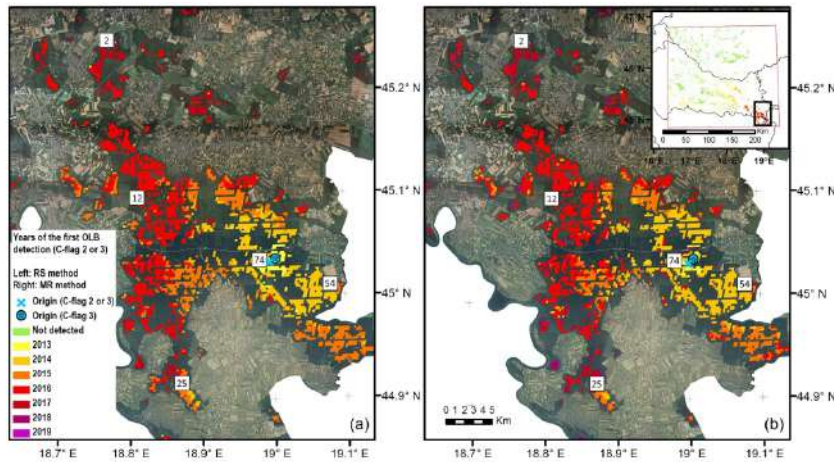
Detektálására kettő módszer:

- Csak távérzékelte adatokra alapozva
- Statisztikus modellezéssel (NDVI-model reziduáljának *Z-score* értéke alapján)



A tölgy csipkésposloska

Az első detektált jelenlét éve alapján terjedés térkép





Viharkár-detektálás 30 méteren

Esettanulmány:
a 2023 július 19-ei vihar Horvátországban

Google Earth

© 2024 Airbus

100 m



Viharkár-detektálás

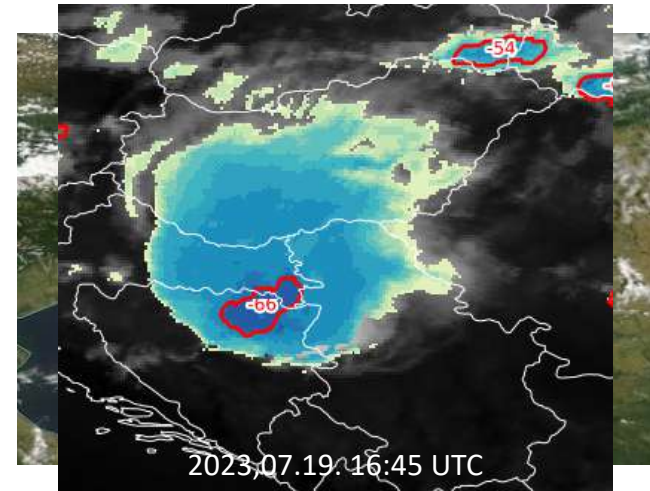
Az éghajlatváltozással egyre gyakoribbá váló **extrém viharok által okozott károk felmérésére detektálás** kidolgozása:

- szél: erdőkben
- jégeső: mezőgazdasági területeken

Tesztlehetőség:

2023 július 19-én extrém (rekord) erős vihar:

- > 400 km hosszan okozott szélkárt Horvátországban
- 118 km/h max szélesség



Euronews: „[A powerful storm sweeps Balkans region after days of heat, killing at least 5 people](#)”

Lépések:

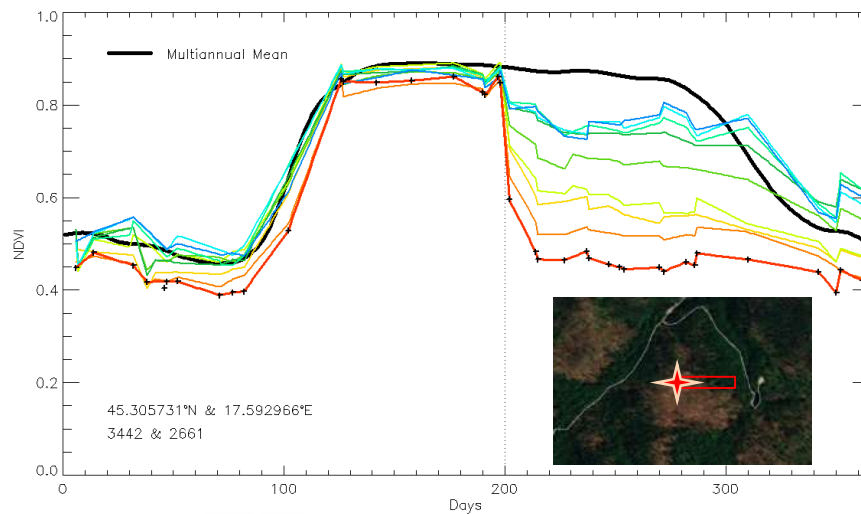
1. Azonosítás (mi alapján lehet felismerni?)
2. Feltérképezés (hol?)
3. Számszerűsítés, kárfelmérés (mennyit, milyen?)
4. Validálás (*in situ* adattal?)

Erdei szélkárok detektálása

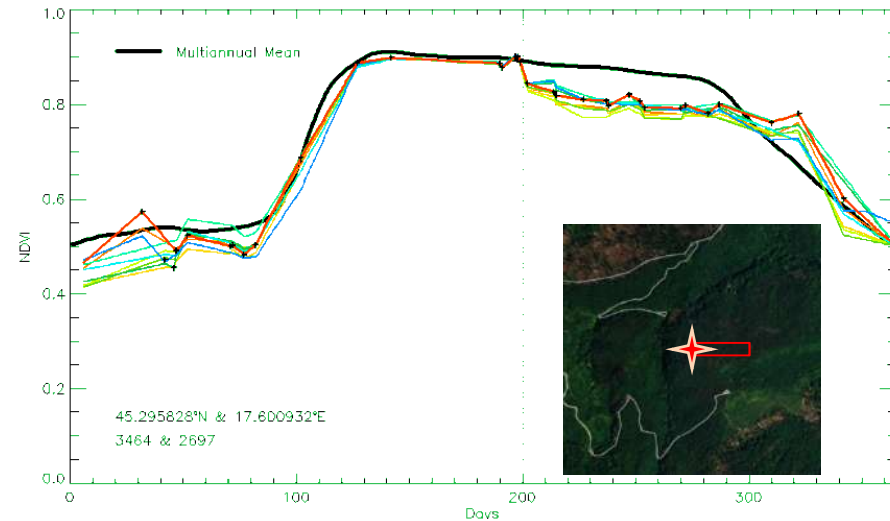
A detektálás alapja: az NDVI vegetációs index időbeli menetének törése.

Adat: HLS, 2017–2023

De: A módszernek nagy területen mindenhol jónak kell lennie!



Egyértelmű és nagy károsodás



Nem egyértelmű és kicsi károsodás

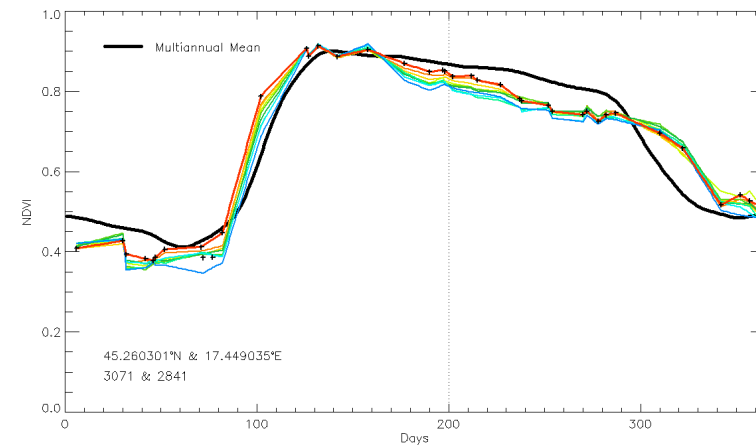
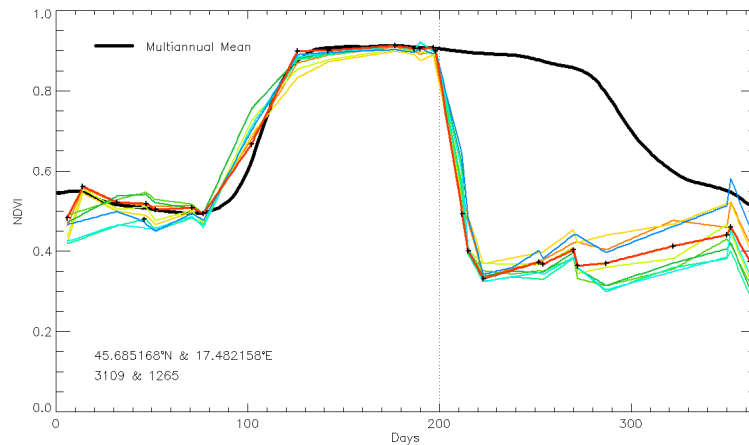
Erdei szélkárok detektálása – Nehézségek

Az NDVI éves menetét befolyásolja még:

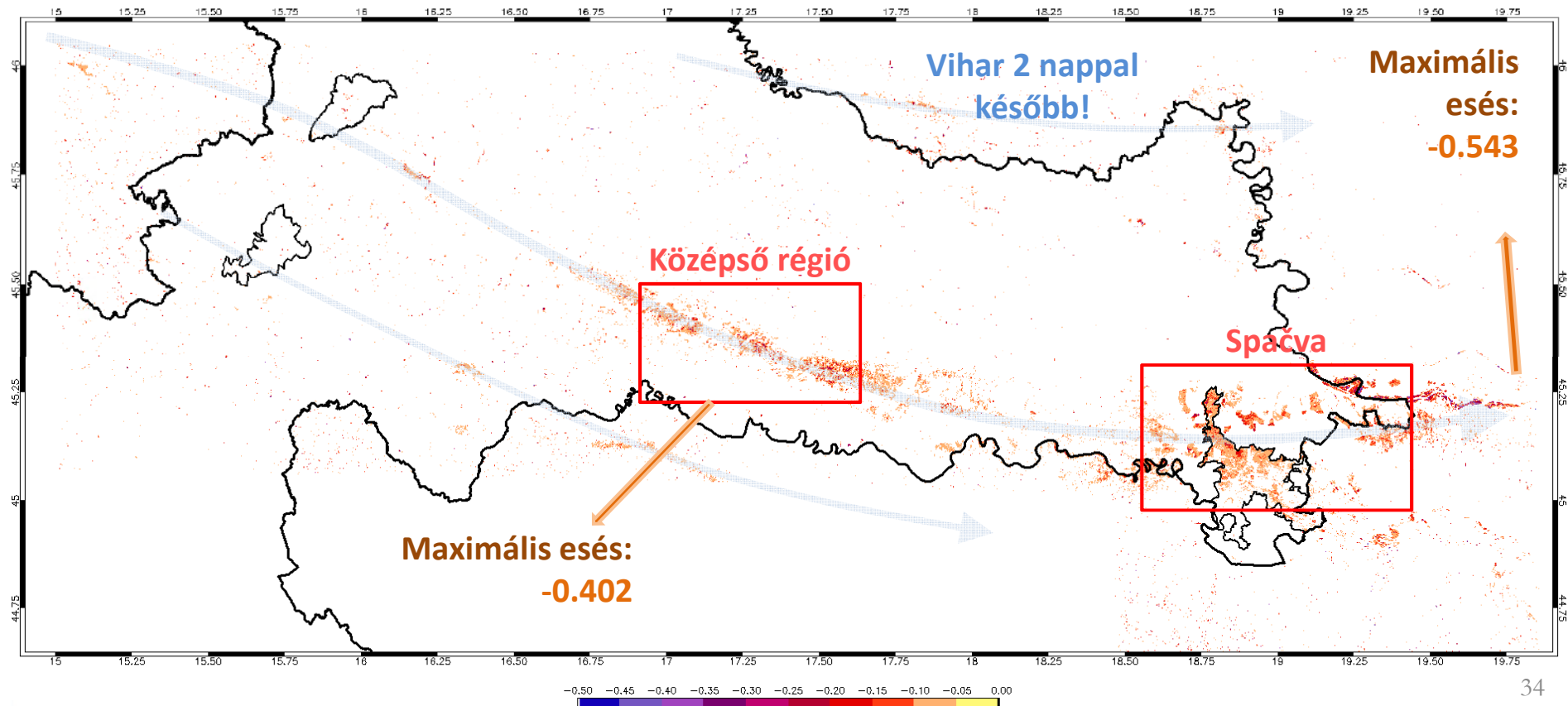
- Hosszabb távú időjárás,
- Zaj (légköri hatások, eltérő megfigyelési geometria, újra-mintavételezés),
- Erdőmenedzsment (fakivágás, ritkítás),
- Kártevők és betegségek (elsősorban tölgy csipkésposloska).



Hasonló jel, minden nagyságrendben!



Erdei szélkárok detektálása – Eredmények







Erdei szélkárrok felmérése

A kár felmérése műholdas adatok alapján:

- Mennyi fát érintett?
- Milyen fajt érintett? Miért azokat?
- Milyen magas fákat érintett?
- Milyen volt ezen területeknek a menedzsmentje előtte?



danas.hr, © RTL Hrvatska d.o.o

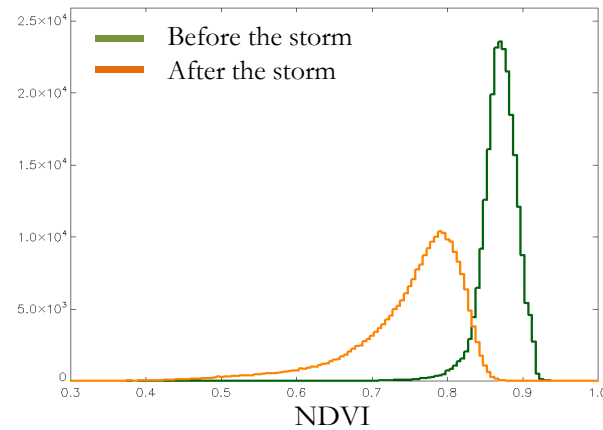


- Érintett (< -0.05 NDVI esés): $\approx 21\,700$ ha
- Sérült ($\text{NDVI} < 0.7$): ≈ 4500 ha, $\approx 740\,000$ m³ fa
- Erősen sérült ($\text{NDVI drop} < -0.2$): ≈ 2300 ha

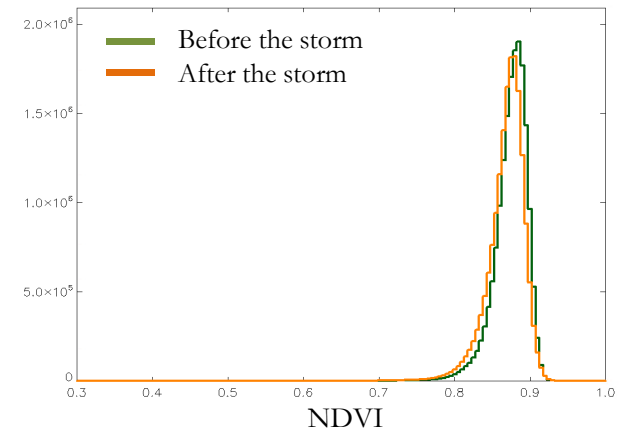
Category (NDVI ranges)	Number of detected pixels	Area (km ²)	Area (ha)
-0.10 – -0.05	126015	113.414	11341.35
-0.15 – -0.10	63335	57.002	5700.15
-0.20 – -0.15	26208	23.587	2358.72
-0.25 – -0.20	11727	10.554	1055.43
-0.30 – -0.25	6287	5.658	565.83
-0.35 – -0.30	3860	3.474	347.40
-0.40 – -0.35	2414	2.173	217.26
-0.45 – -0.40	1222	1.100	109.98
-0.50 – -0.45	352	0.317	31.68
-0.55 – -0.50	54	0.049	4.86
-0.60 – -0.55	10	0.009	0.90

Erdei szélkárok felmérése

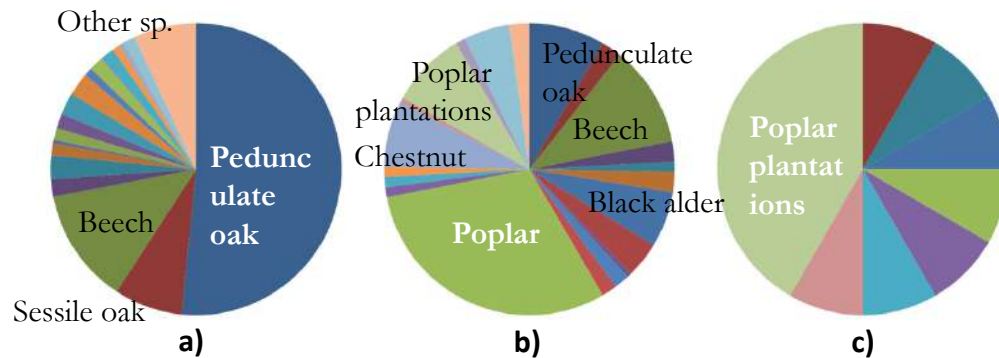
NDVI eloszlás a vihar előtt és után



Detektált sérült erdők



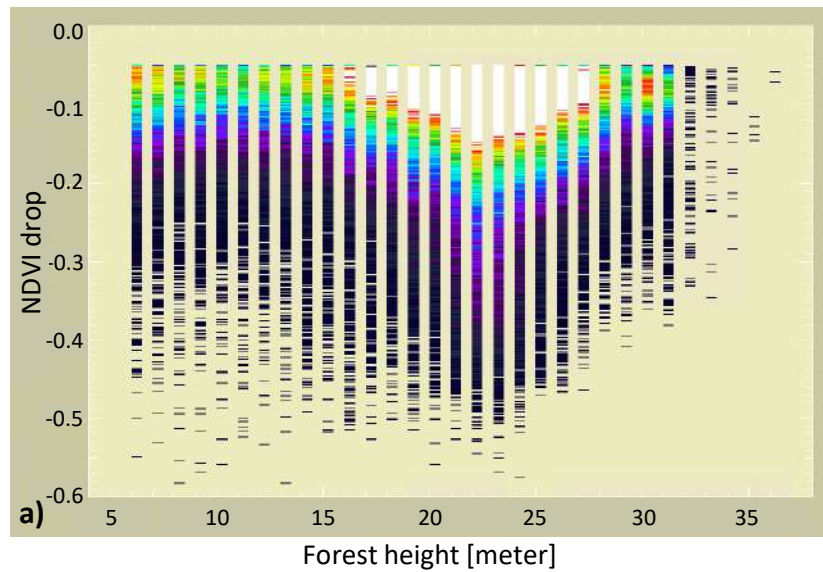
Nem detektált erdők



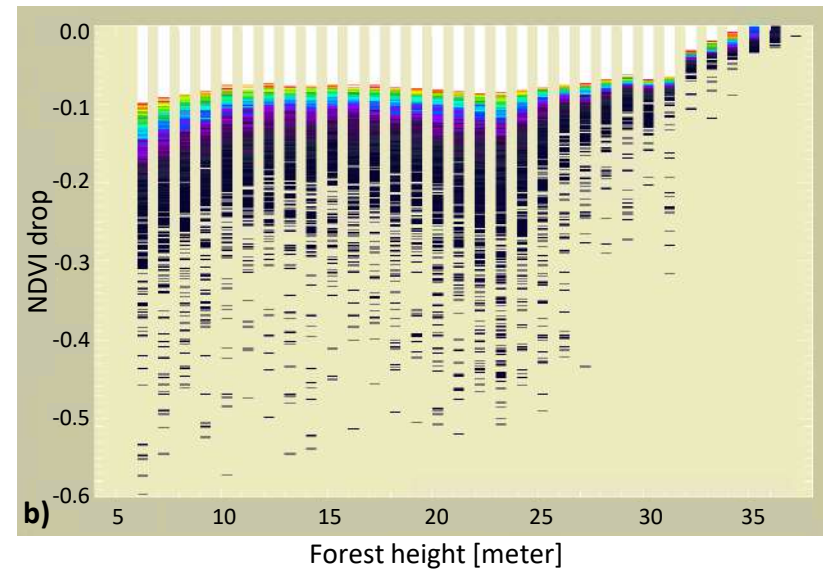
Fafaj eloszlás az NDVI esés szerint:

- a) Minden méretű NDVI esés esetén
- b) csak -0.4 NDVI esés alatt
- c) csak -0.5 NDVI esés alatt

Erdei szélkárok felmérése



Az NDVI és fmagasság szerinti alakulása detektált sérült erdőben



Az NDVI és fmagasság szerinti alakulása **nem detektált erdőben**

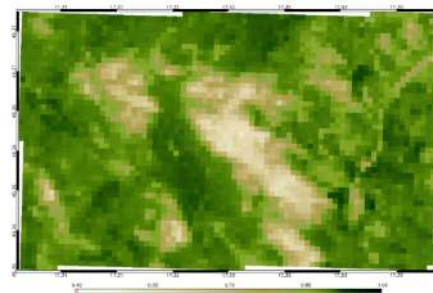
Validáció?

With Google Earth image

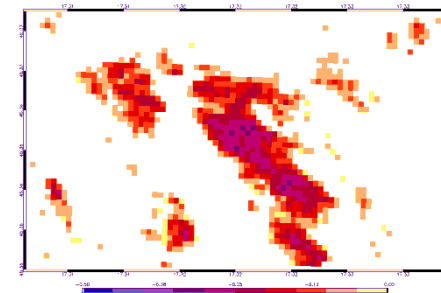


Planet adatokkal

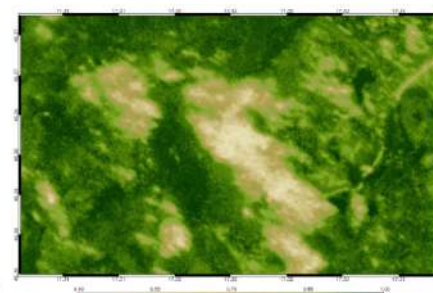
HLS NDVI



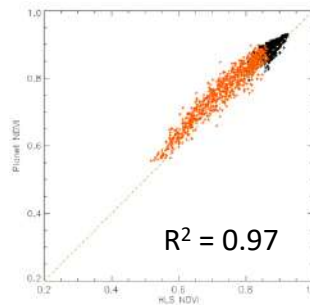
HLS – detektált



Planet NDVI



Planet RGB



Mi történik a vihar után?

<https://www.planet.com/stories/spacva-forest-RliyX71SR>



- 2023 Július
- 2023 Augusztus
- 2023 Szeptember
- 2023 Október
- 2023 November
- 2023 December
- 2024 Január
- 2024 Február

Új fenológiai rekordok



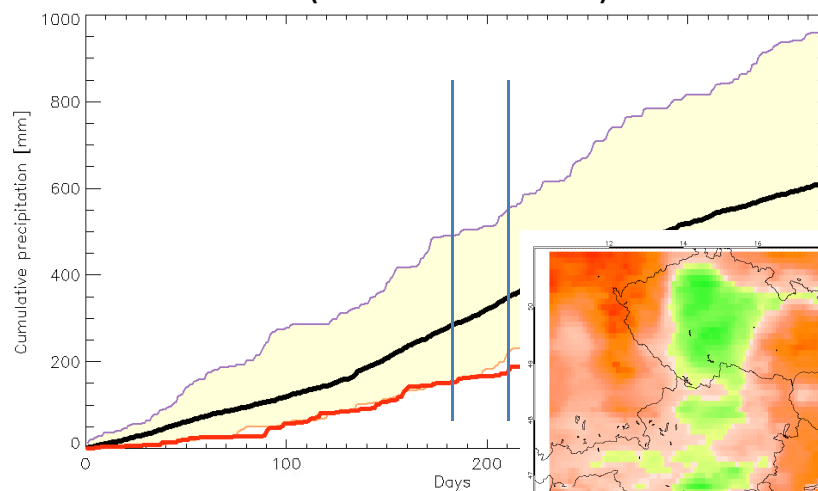
2023 november közepe



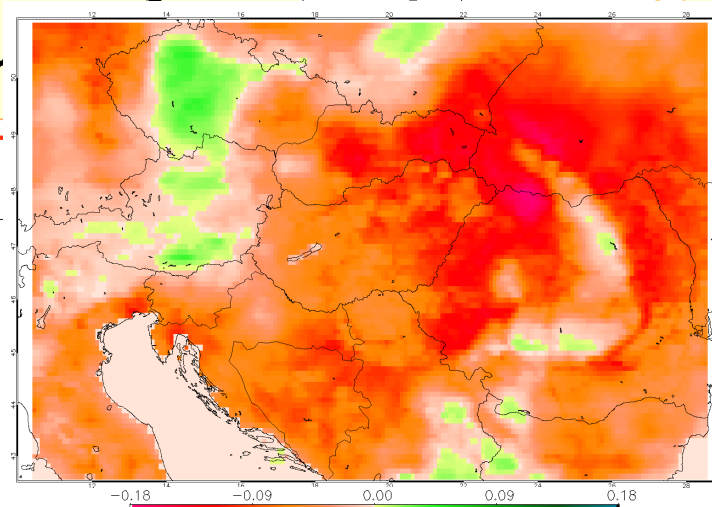
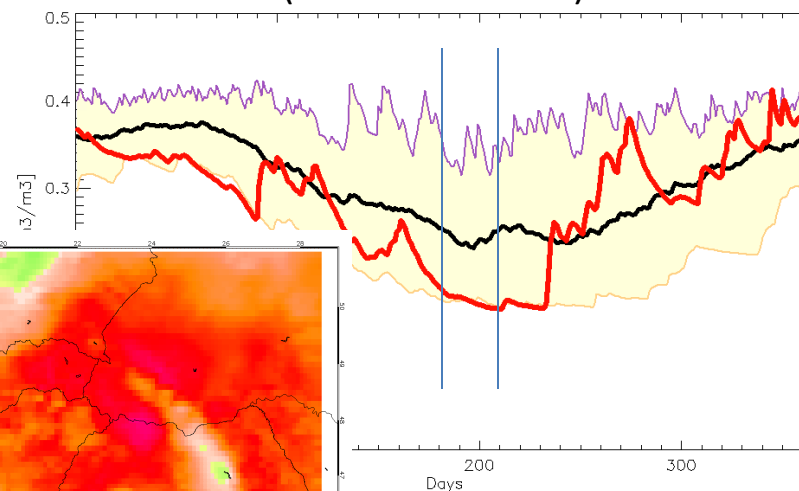
2024 március eleje

2022 – nyári aszály

Kumulatív csapadék [mm]
(Ref.: 2000–2021)



Talajnedvesség (SWC, 7–28 cm, m³/m³)
(Ref.: 2000–2021)



Júliusi SWC anomália

Birinyi Edina,
PhD hallgató

[https://met.hu/ismeret-tar/
erdekessegek tanulmanyok/](https://met.hu/ismeret-tar/erdekessegek-tanulmanyok/)

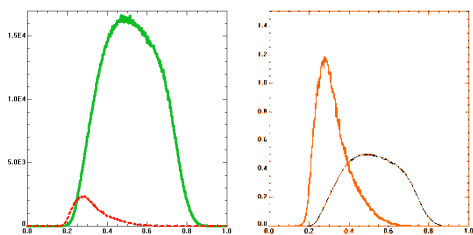
2022 – Mezőgazdasági területek

Augusztus 13–20

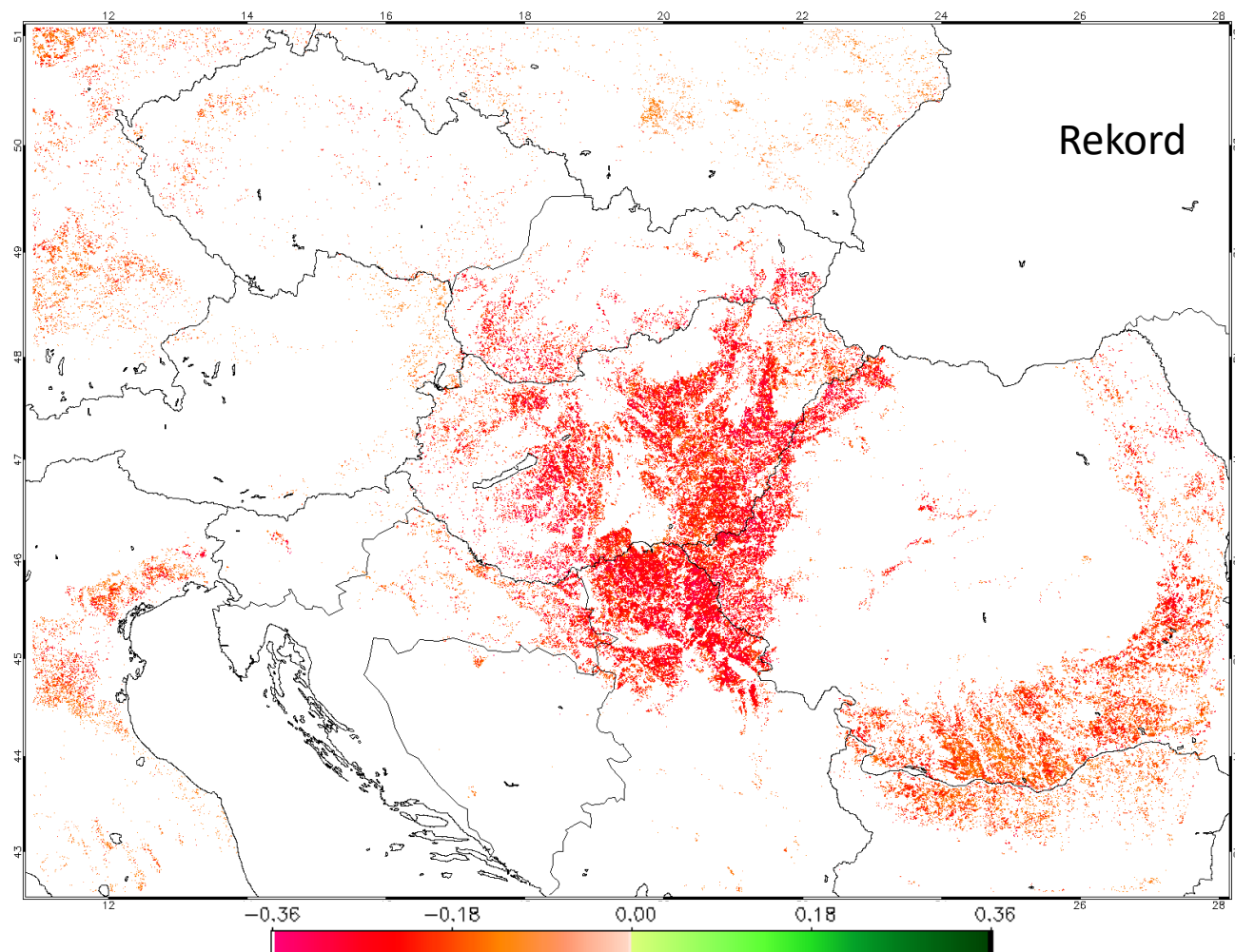
DOY 225–232

Az összes szántó
≈ 26,4%-ára rekord
(HUN: 49,3%)

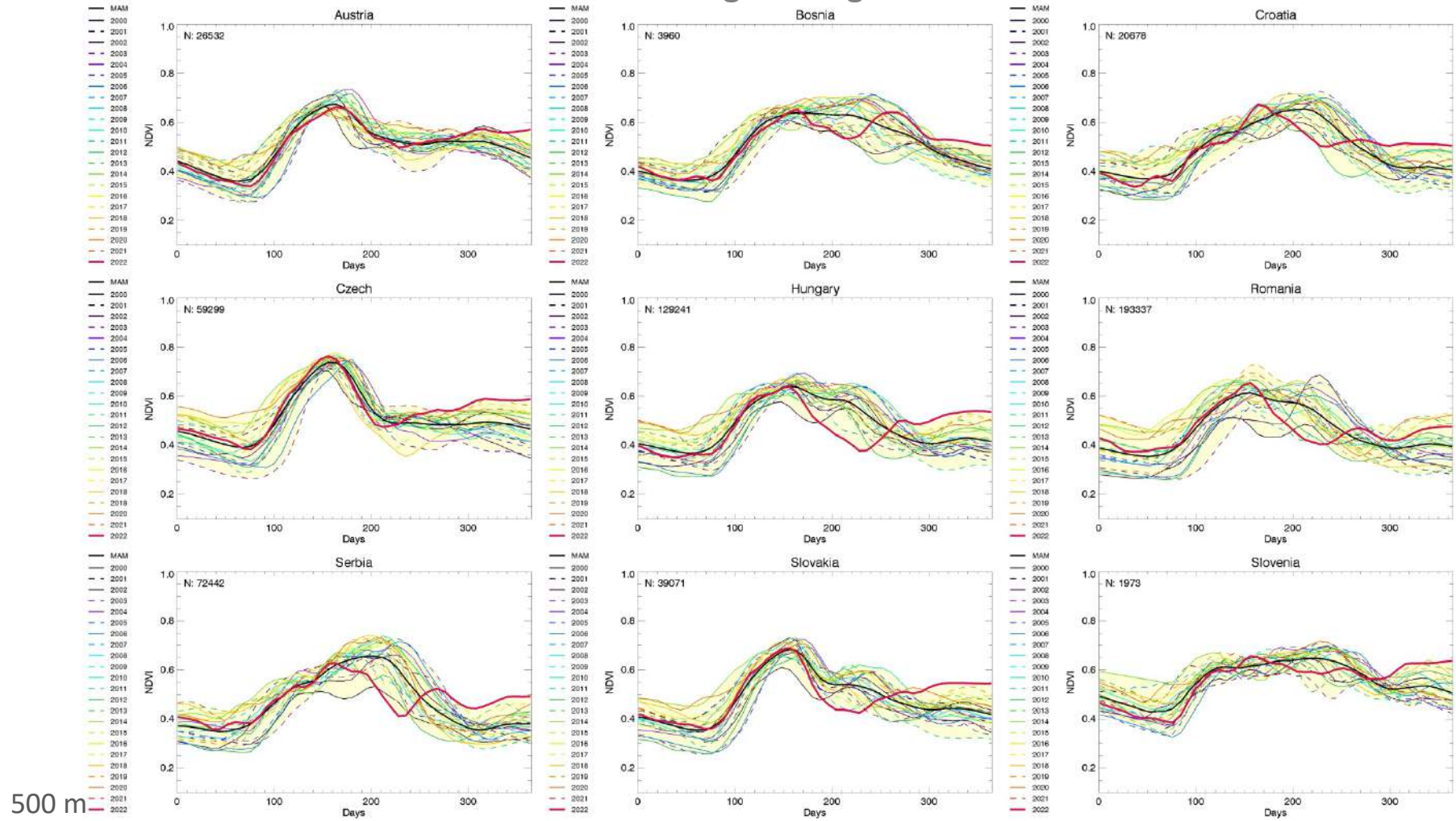
Ezekre átlagosan
-0,048 NDVI értékkel



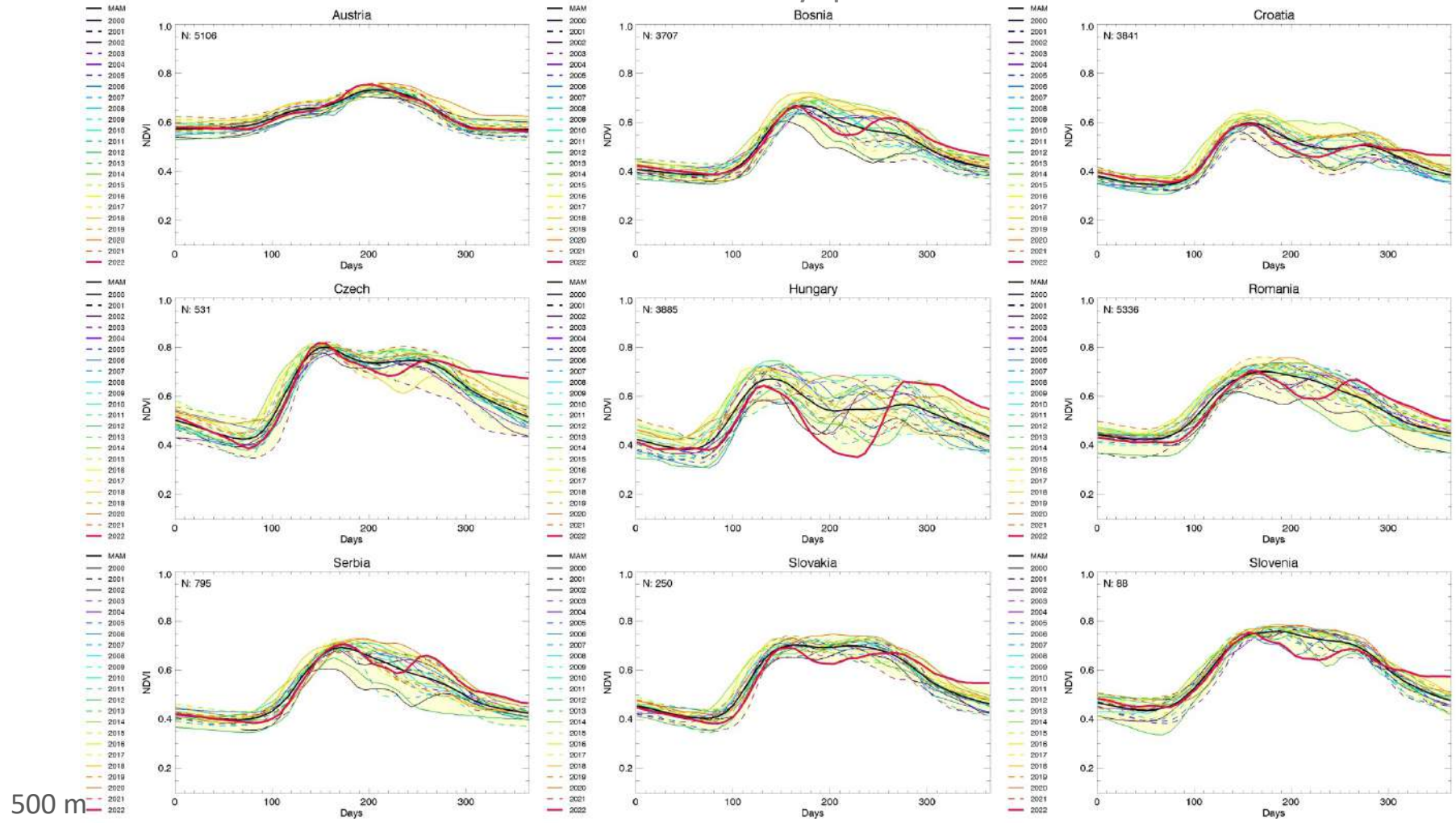
500 m



2022 – Mezőgazdasági területek



2022 – Gyepék



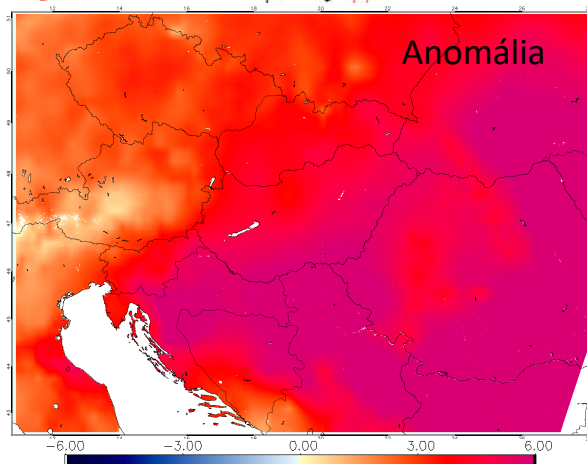
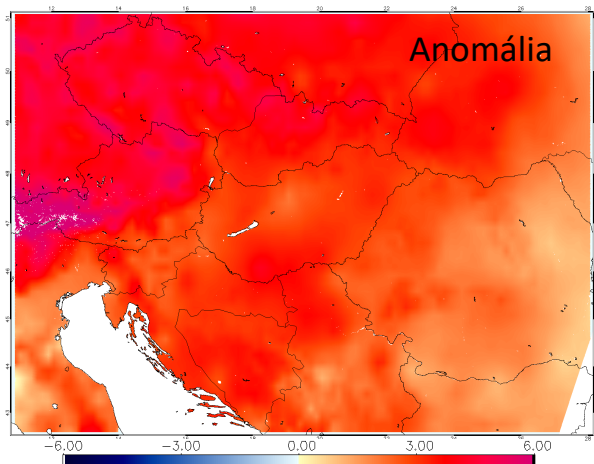
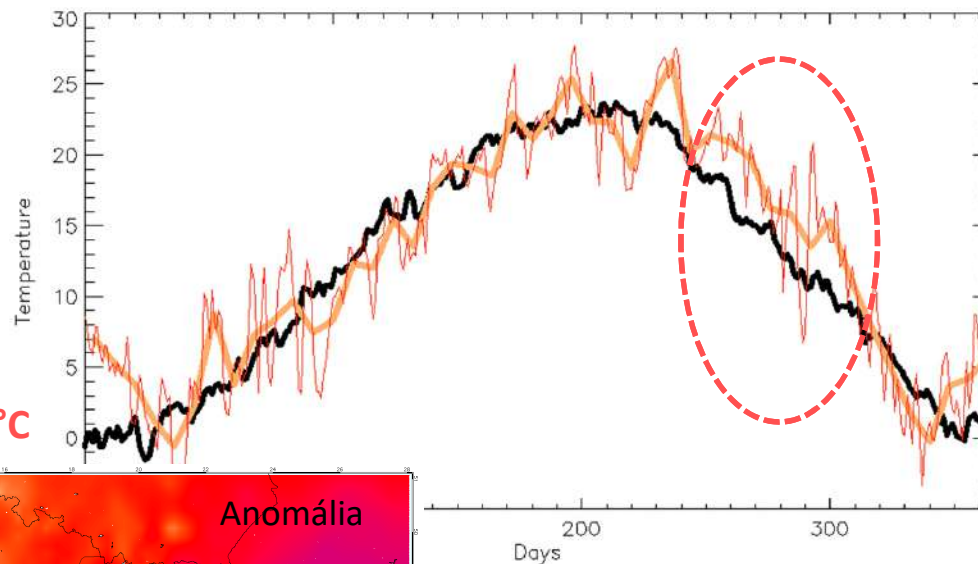
2023 – késői lombhullatás

Országos átlaghőmérséklet
szeptember 2 – november 11 között
(DOY 244–314, 70 nap!) átlagosan: **+3°C**
(2000–2022)

Hun:

Szeptember 6–13 (DOY 249–256): **+3°C**

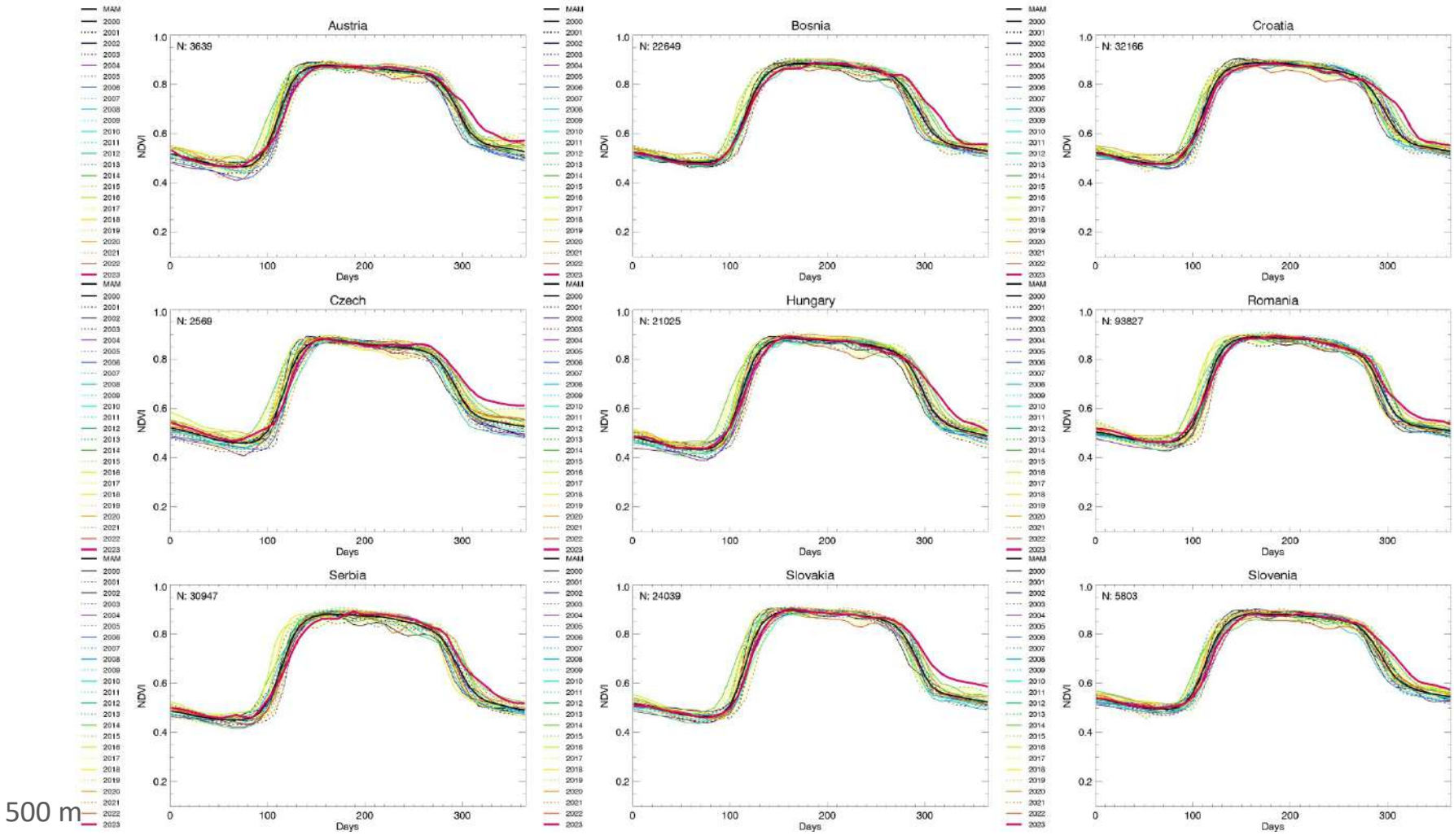
↓ Október 24–31 (DOY 297–301): **+5°C**



<https://www.met.hu/rolunk/hirek/>

A szeptemberi és októberi
 T_{mean} is globálisan rekord

2023 – Lombhullató erdők



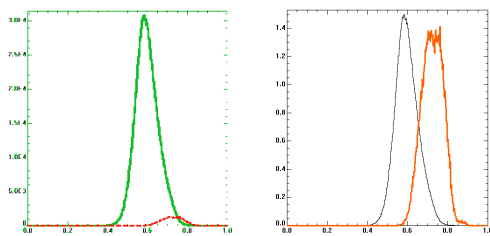
2023 – Lombhullató erdők

November 1 – 8

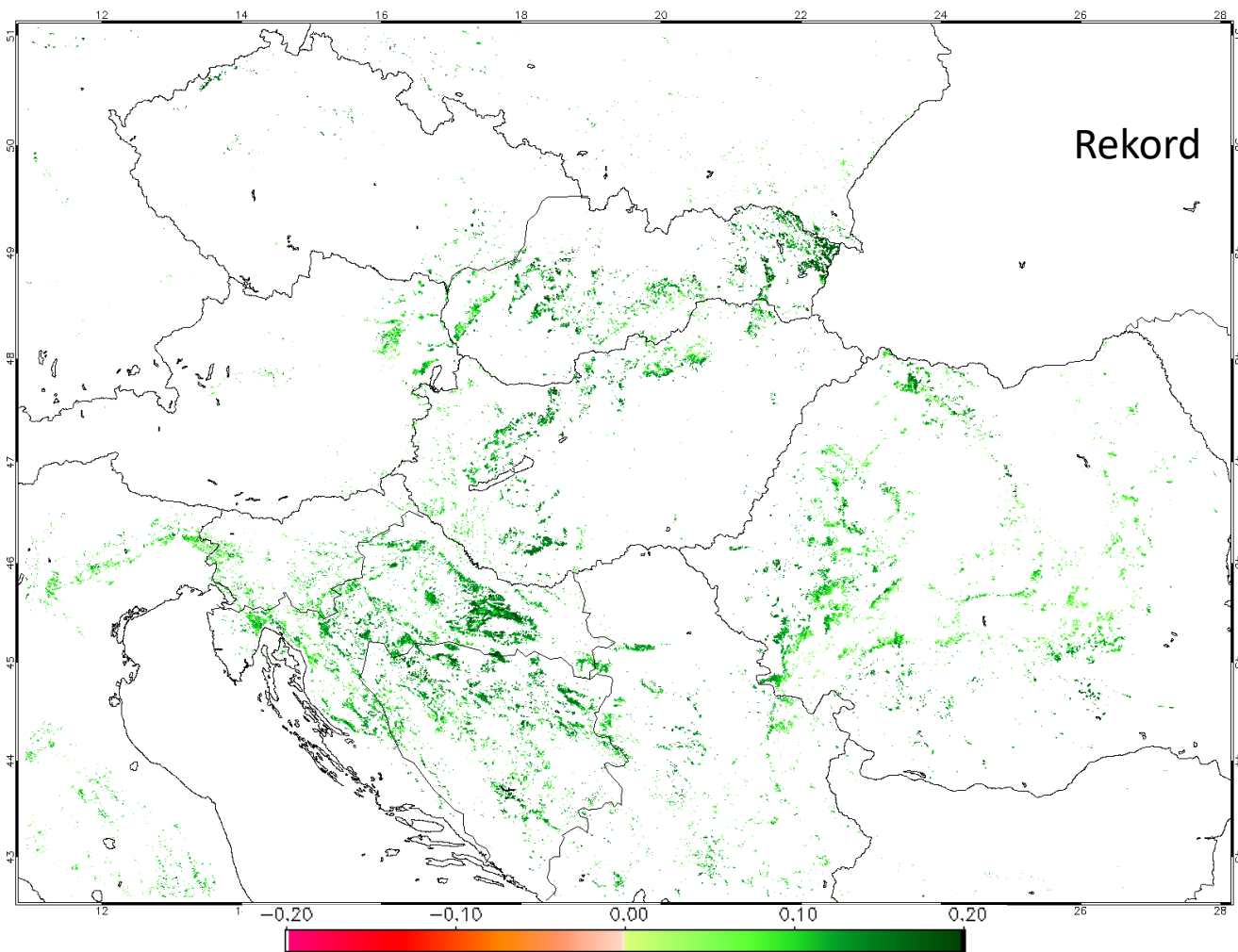
DOY 305–312

Az összes erdő
≈ 32%-ára rekord
(HUN: 42,2%)

Ezekre átlagosan 0,037
NDVI értékkel
magasabb



500 m



2024 – korai fenológia kezdet

Hun:

Március:

9,5 °C

+3,7 °C

Április:

13,3 °C

+1,9 °C

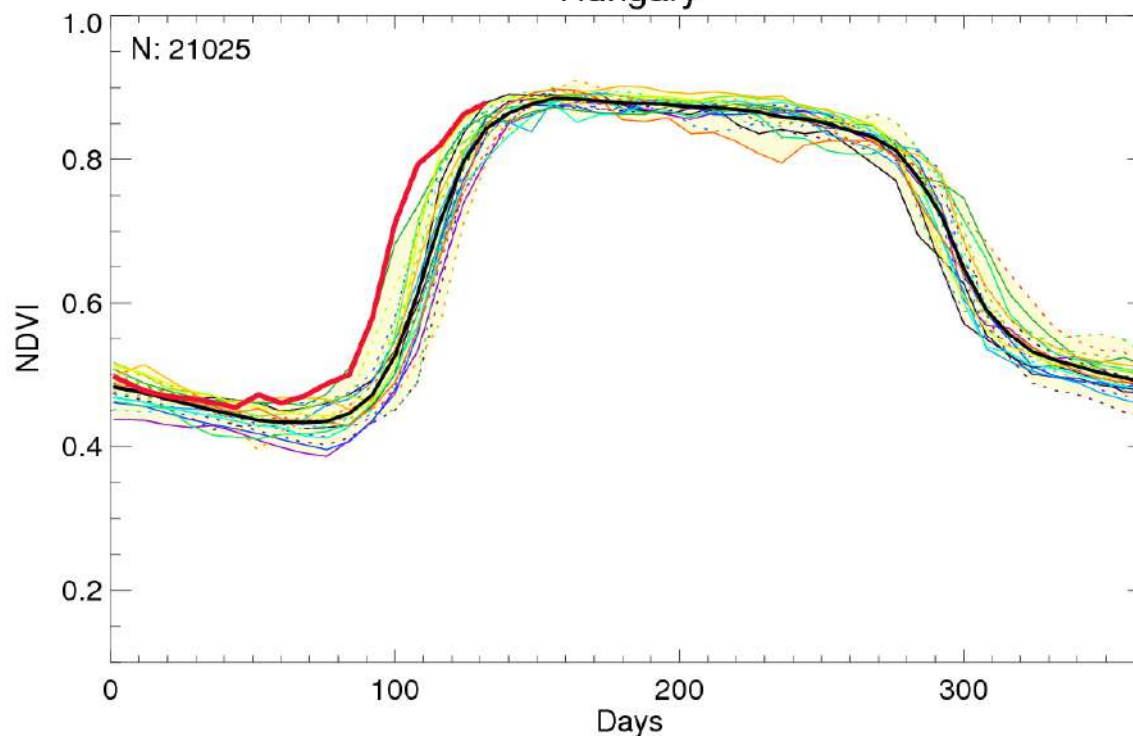
(1991–2020)

[https://
www.met.hu/
rolunk/hirek/](https://www.met.hu/rolunk/hirek/)

- MAM
- 2000
- 2001
- 2002
- 2003
- 2004
- 2005
- 2006
- 2007
- 2008
- 2009
- 2010
- 2011
- 2012
- 2013
- 2014
- 2015
- 2016
- 2017
- 2018
- 2019
- 2020
- 2021
- 2022
- 2023
- 2024

Lombhullató erdők

Hungary



2024 – Lombhullató erdők

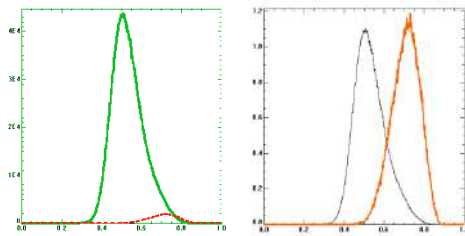
Április 7 – 14

DOY 097 – 104

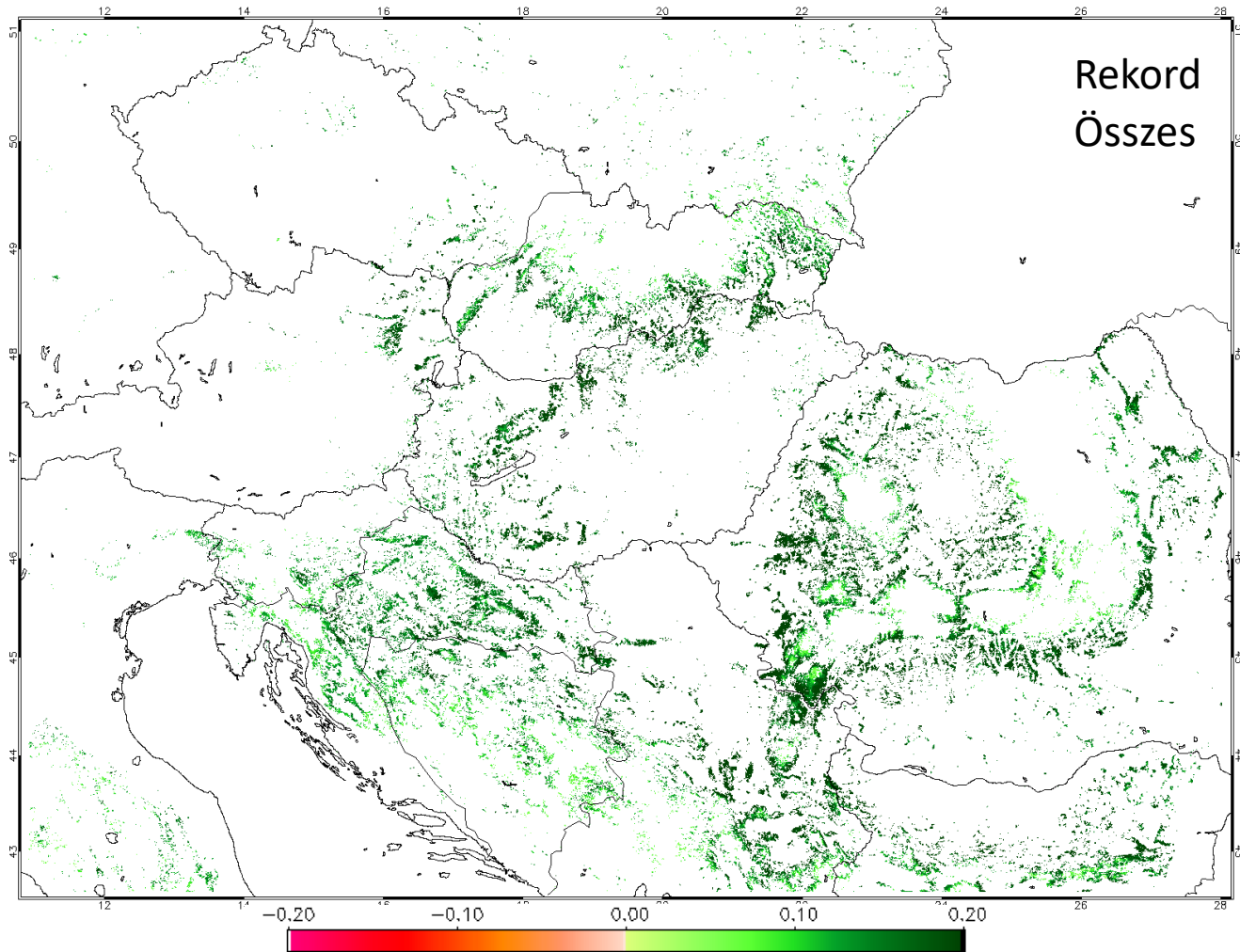
Az összes erdő
≈ 60%-ára rekord
(HUN: 70,9%)

Ezekre, átlagosan
0,043 NDVI értékkel
magasabb

Rekord
Összes



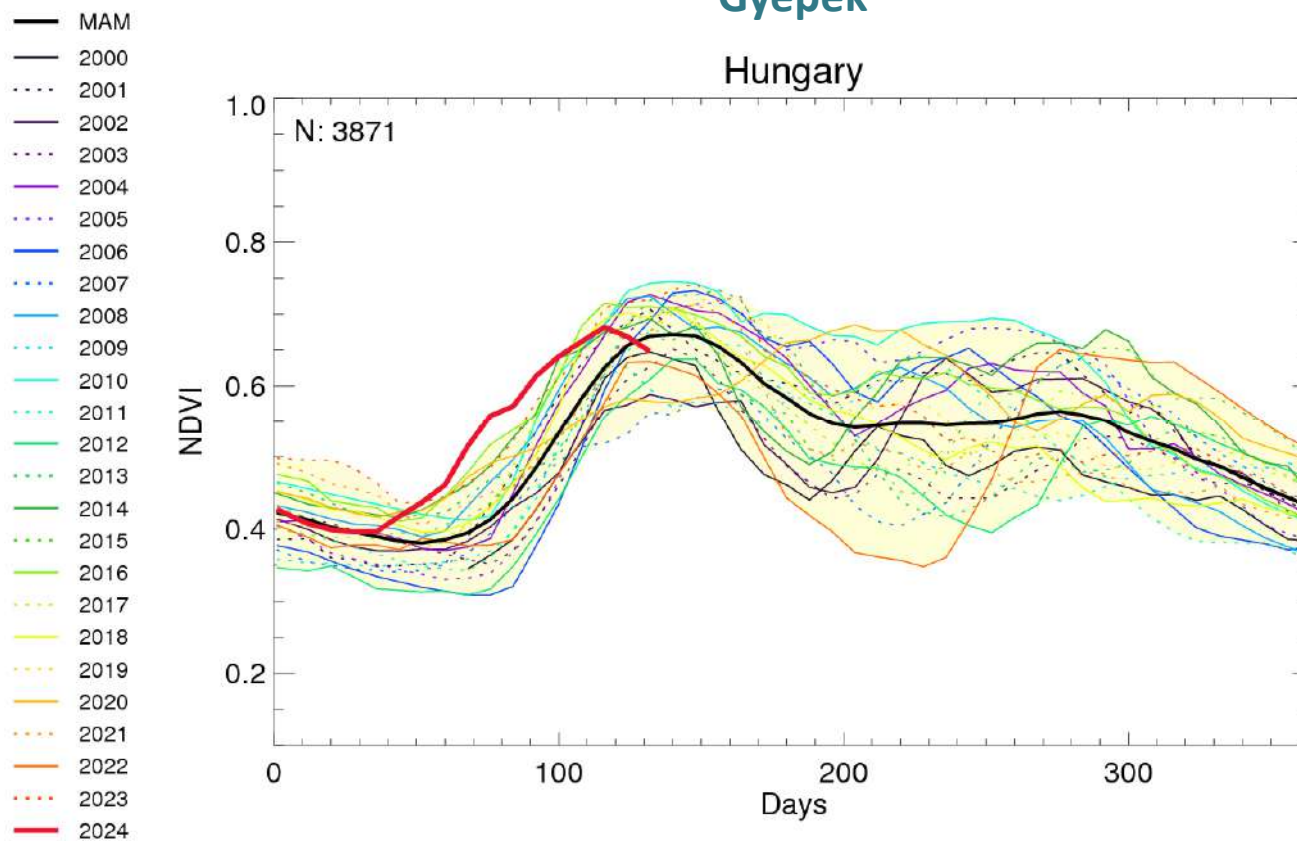
500 m



2024 – korai fenológia kezdet

Gyeppek

Hungary

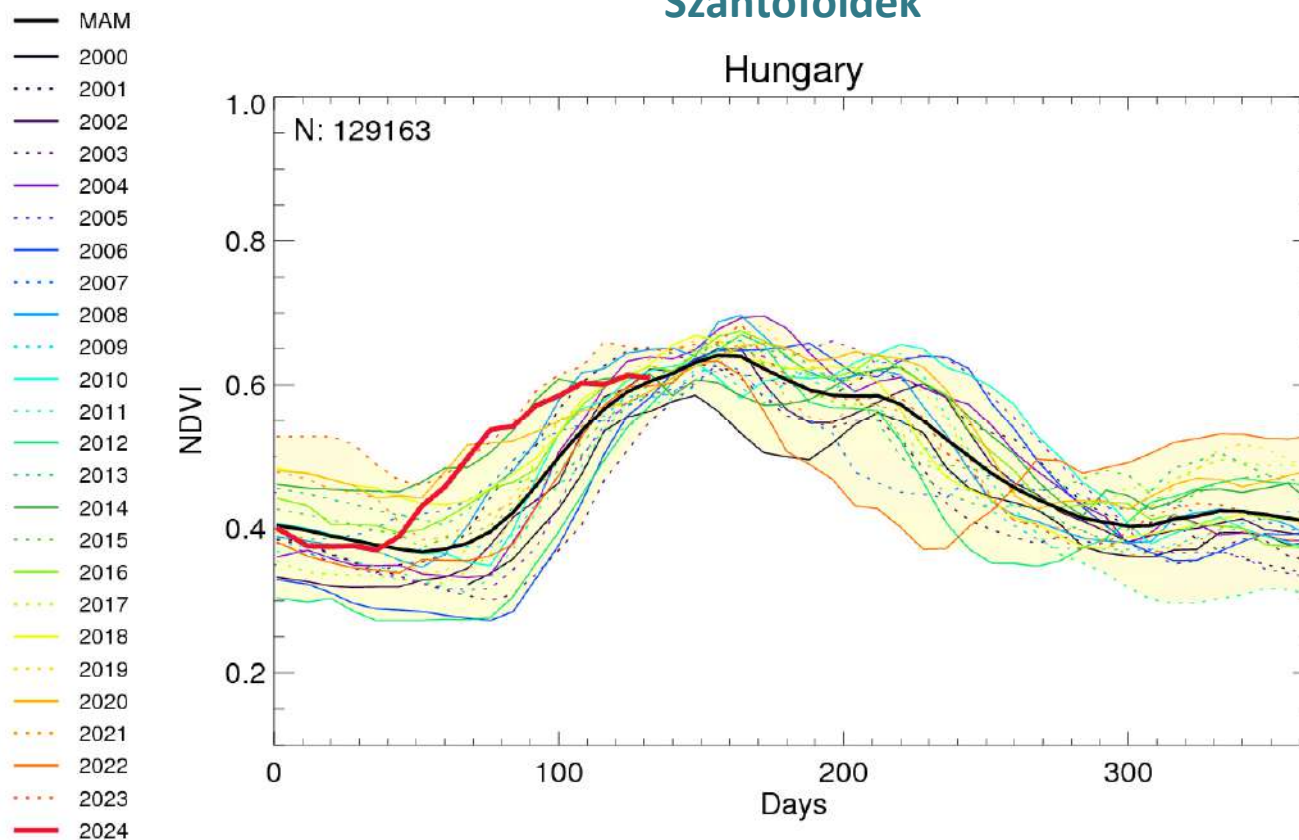


500 m

2024 – korai fenológia kezdet

Szántóföldek

Hungary



500 m

Köszönöm szépen a figyelmet!

Köszönetnyilvánítás:

- NKFIH, OTKA PD-111920, FK-128709, FK-146600
- NKFIH, TKP2021-NVA-29
- Éghajlatváltozás Multidiszciplináris Nemzeti Laboratórium (RRF-2.3.1-21-2022-00014)
- NASA, LAADSWEB
- **Közreműködő kollégák:**
Barcza Zoltán, Hrvoje Marjanović, Hollós Roland,
Birinyi Edina, Csóka György, Móricz Norbert,
Kristóf Dániel, Fodor Nándor

