

Uporabnost daljinskega zaznavanja z brezpilotnimi letalniki in sateliti za napovedovanje, odkrivanje in spremljanje žarišč podlubnikov

Delovni sklop 2 (Daljinsko zaznavanje)

Andrej Kobler, Nikica Ogris, Andreja Kavčič, Matjaž Čater, Špela Planinšek, Jure Žlogar - [Gozdarski inštitut Slovenije](#)

Tatjana Veljanovski, Peter Pehani, Žiga Kokalj - [Znanstveno raziskovalni center SAZU](#)

Marija Kolšek, Katja Kunc, Peter Čadež, Matej Kozamernik, Majda Petretič, Gregor Senegačnik, Barbara Slabanja, Klemen Zalokar - [Zavod za gozdove Slovenije](#)

Milan Kobal - [Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo](#)

Jernej Moderc - [C-astral](#)

Janez Langus - [ElevonX](#)

Rok Valič - [Geavis](#)

Paulus Gernot - [Fachhochschule Kärnten](#)

Namen delovnega sklopa 2 (Daljinsko zaznavanje)

- razviti, testirati in implementirati sistem spremljanja žarišč smrekovih in jelovih podlubnikov z daljinskim zaznavanjem na treh prostorskih ravneh
 - Slovenija
 - GGE
 - sestoj

Uporabljeni senzorji in platforme

- Satelitski sistem MODIS
 - prostorska ločljivost 250 m, 500 m, 1000 m
 - časovna ločljivost 1-2 dni
 - 36 multispektralnih kanalov, številni vegetacijski produkti
- Satelitski sistem Sentinel 2
 - prostorska ločljivost 10 m, 20 m, 60 m
 - časovna ločljivost 5 dni
 - 12 multispektralnih kanalov

Uporabljeni senzorji in platforme (2)

- Gozdarski inštitut: ortokopter MD4-1000
Microdrones GmbH + MS kamera
MicaSense
- Podjetje C-astral: brezpilotno letalo lastne konstrukcije Bramor + MS kamera
MicaSense
- Podjetje ElevonX: brezpilotno letalo lastne konstrukcije SkyEye + MS kamera
Parrot Sequoia

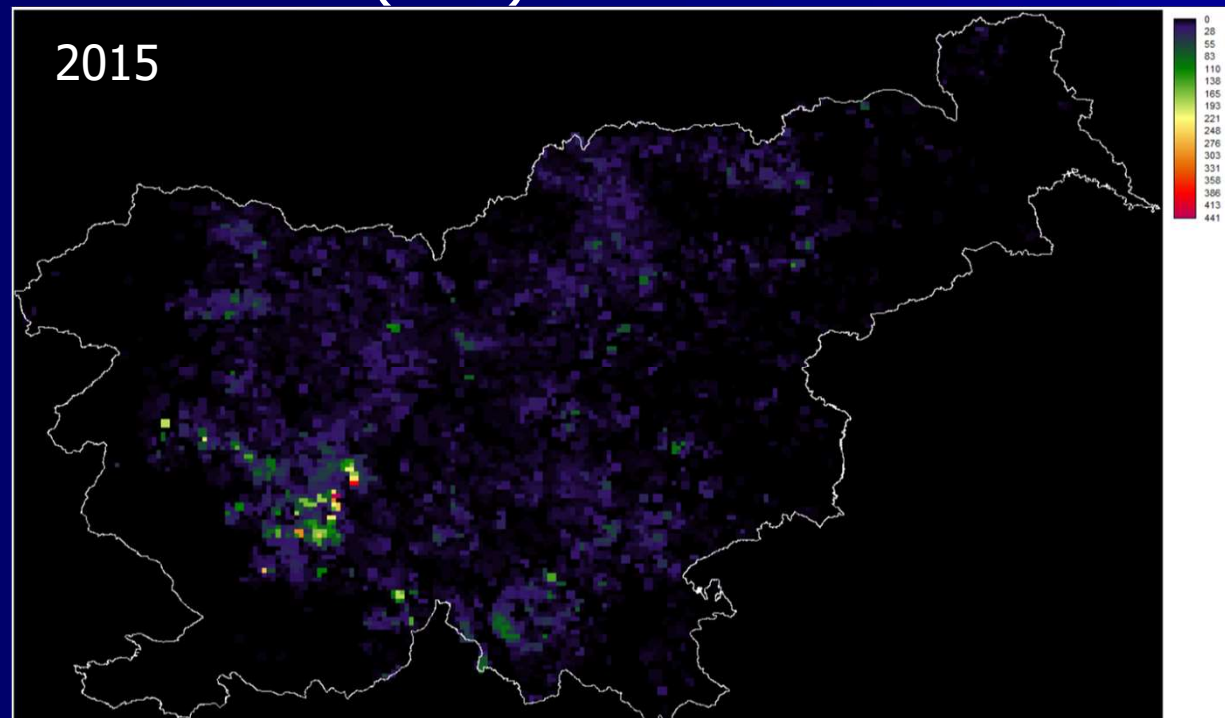
Podatki satelita MODIS

Podatki satelita MODIS

- Podatki so brezplačni
- Sprotna dobava podatkov: procesna veriga STORM (ZRC SAZU)
- Uporabljeni podatki: časovna serija 16-dnevni kompozitov vegetacijskih indeksov NDVI in EVI
- Uporabljena časovna serija: 2002 - 2018

Napovedovalni model

- Ciljna spremenljivka: letna količina sanitarnega poseka smreke zaradi podlubnikov
- Referenčni podatki povzeti na ravni 1 km² iz zbirke podatkov xTi (ZGS)

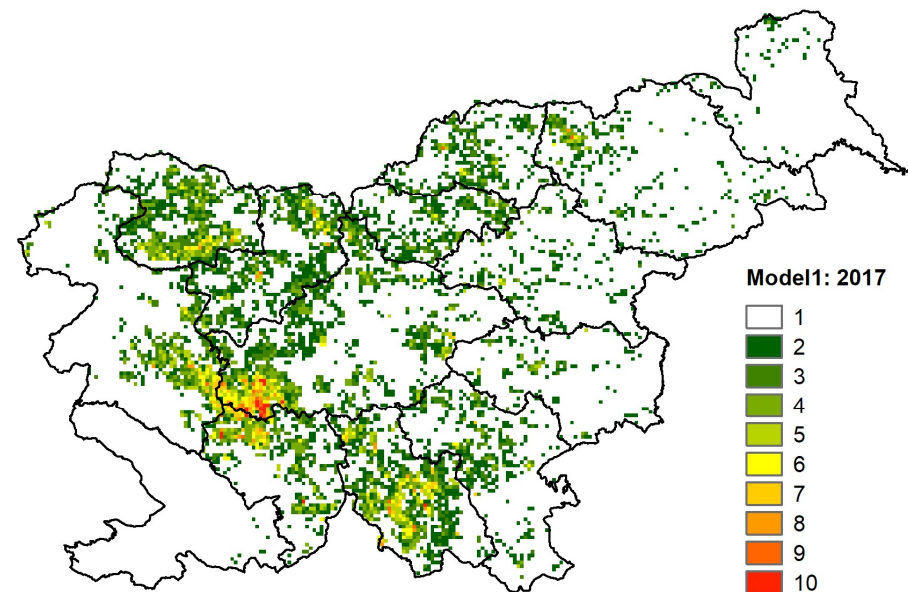
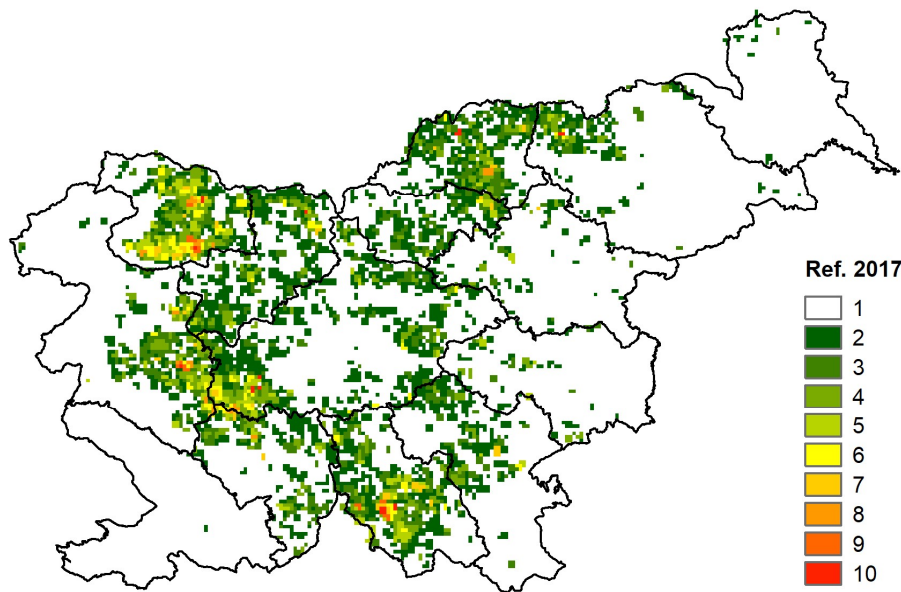


Napovedovalni model (2)

- Pojasnjevalne spremenljivke:
 - 23 NDVI in 23 EVI kompozitov prejšnjega leta z ločljivostjo 250 m
 - Povprečne mesečne temperature prejšnjega leta z ločljivostjo 1 km
 - Mesečni padavinski indeks SPI z ločljivostjo 1 km
 - Nadmorska višina
 - Sanitarni posek prejšnjega leta

Napovedovalni model (3)

- Oblika modela: ansambel regresijskih dreves
- Ločljivost modela 1 km
- Korelacija modelnih napovedi s podatki ZGS 0.6075



MODIS - ocena uporabnosti

- Vhodni podatki so brezplačni, model je enostavno posodabljeni in implementirati
- Napoved celoletnega sanitarnega poseka je na voljo že na začetku leta
- Zmerna točnost modela, ločljivost 1 km in 1 leto → modelne karte uporabne le za državno/politično raven

Satelitski podatki Sentinel-2

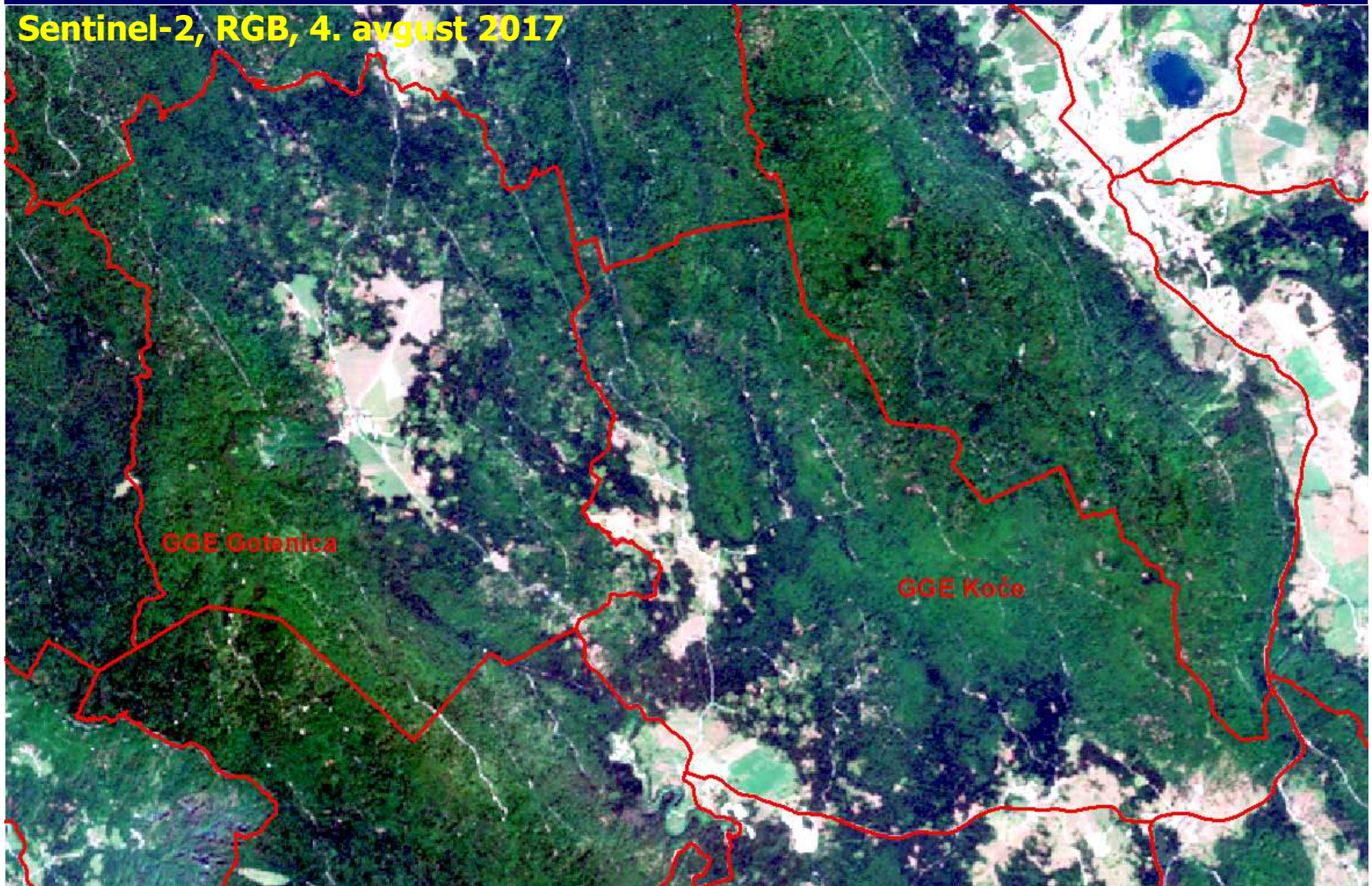
- 2 modela:
 - Trenutna stopnja napadenosti
 - Spremljanje sanacije

Satelitski podatki Sentinel-2

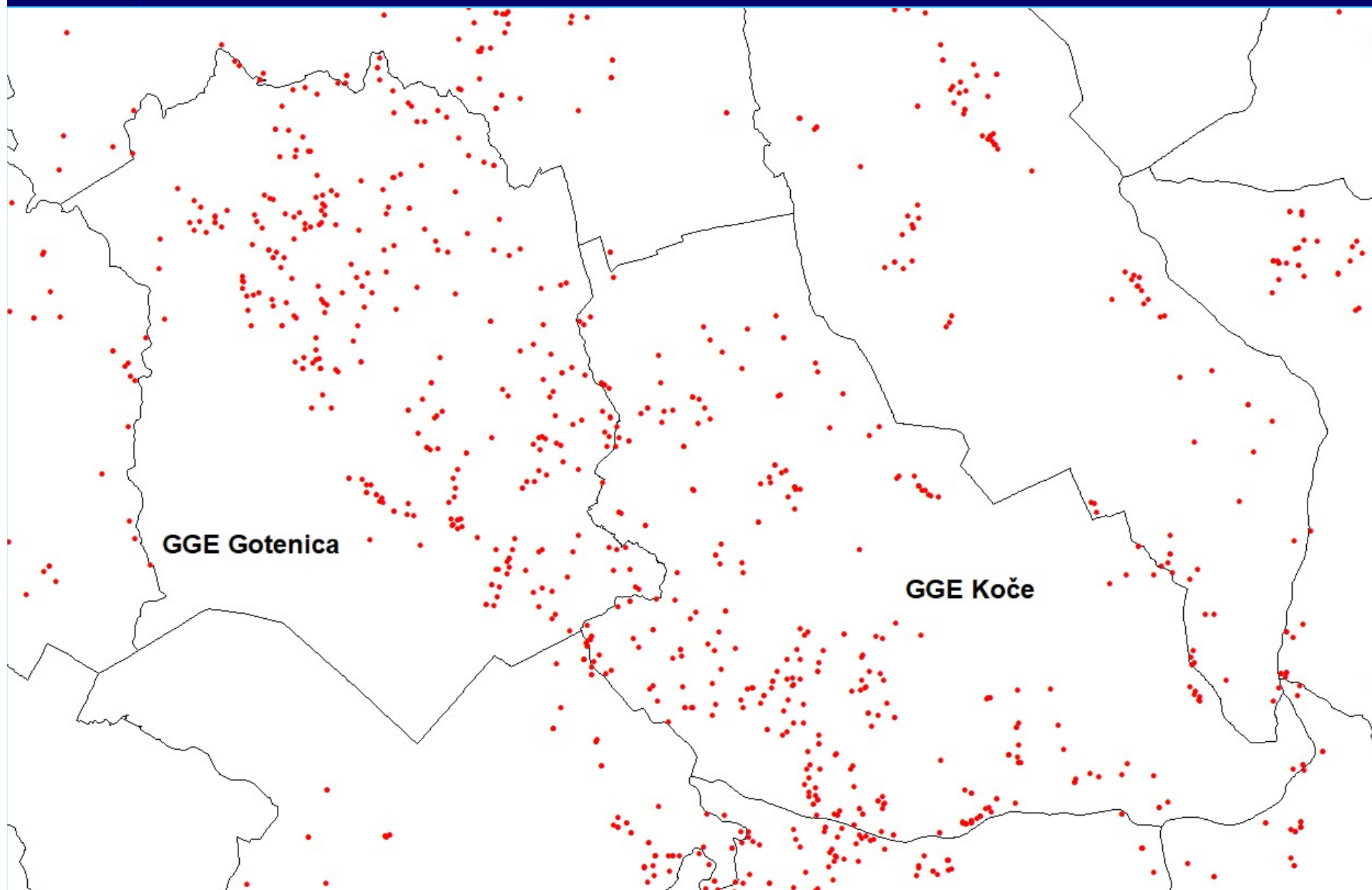
- Podatki so brezplačni
- Atmosferska in topografska korekcija: procesna veriga STORM (ZRC SAZU)
- Uporabljeni podatki: časovna serija multispektralnih podatkov (10 kanalov + NDVI, EVI) ločljivosti 20 m
- Uporabljena časovna serija: 2015 – 2018

Študijsko območje 16429 ha na Kočevskem

Sentinel-2, RGB, 4. avgust 2017



Ciljna spremenljivka: stopnja napadenosti (\sim količina sanitarno odkazanega lesa iz zbirke podatkov xTi, ZGS)



Napovedovalni model trenutne napadenosti

- Pojasnjevalne spremenljivke:
 - 10 spektralnih kanalov: modri, zeleni, rdeči, NIR1, NIR2, red_edge1, red_edge2, red_edge3, SWIR1, SWIR2
 - NDVI, EVI
 - Zaporedni dan odkazila v letu (→ sezonska interakcija)
 - Dnevi od datuma satelitske slike do datuma odkazila (→ vpliv dinamike napada pred datumom odkazila)

Različice modelov napadenosti

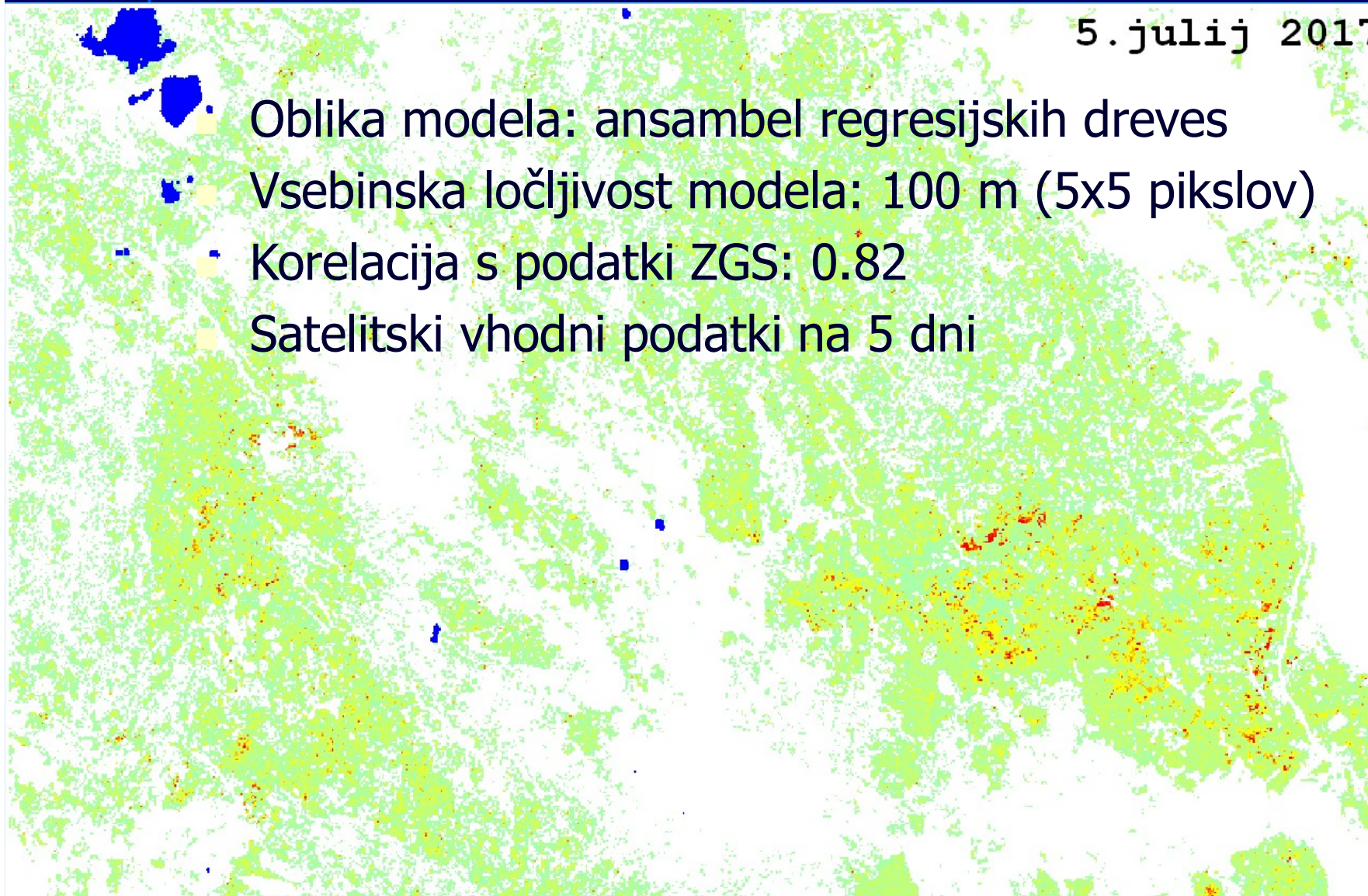
Časovni horizont (dni)	0 do 5			0 do 10			10 do 20			20 do 30			30 do 40		
	Število dreves	Količina lesa (m3)	Velikost vzorca	Število dreves	Količina lesa (m3)	Velikost vzorca	Število dreves	Količina lesa (m3)	Velikost vzorca	Število dreves	Količina lesa (m3)	Velikost vzorca	Število dreves	Količina lesa (m3)	Velikost vzorca
Piksel na lokaciji odkazila	0.43	0.50	435	0.50	0.57	804	0.40	0.46	731	0.45	0.56	788	0.27	0.26	593
Okolica 3x3 pikslov	0.68	0.72	3900	0.74	0.78	7246	0.68	0.71	6563	0.67	0.72	7084	0.71	0.72	5324
Okolica 5x5 pikslov	0.71	0.76	10703	0.78	0.82	20039	0.72	0.75	18267	0.72	0.78	19653	0.73	0.76	14774

Korelacija med modelno napovedjo in podatki xTI (ZGS)

Modelna napoved napadenosti

5. julij 2017

- Oblika modela: ansambel regresijskih dreves
- Vsebinska ločljivost modela: 100 m (5x5 pikslov)
- Korelacija s podatki ZGS: 0.82
- Satelitski vhodni podatki na 5 dni



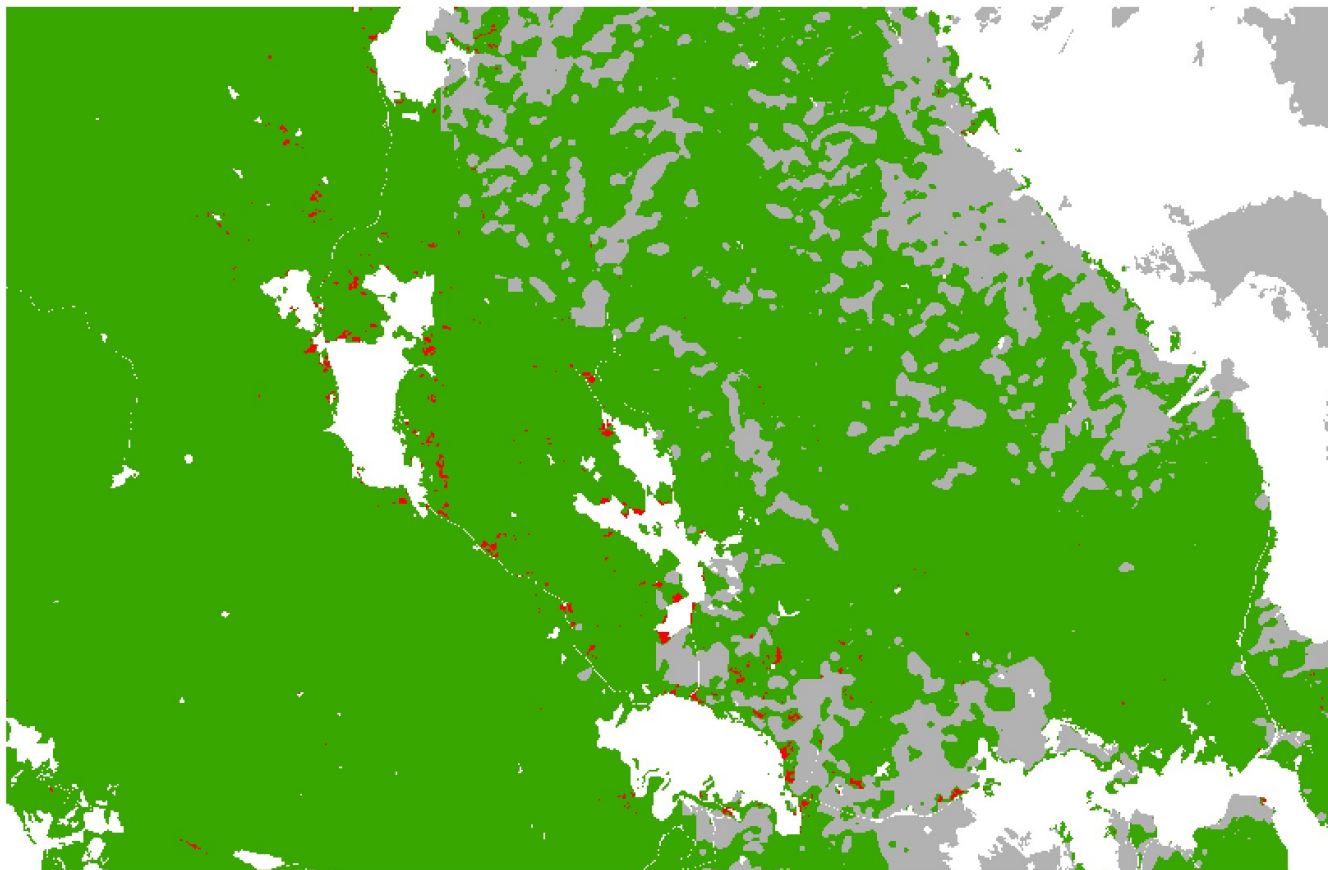
Sentinel-2: ocena uporabnosti

- Vhodni podatki Sentinel-2 so brezplačni (ESA), a potrebna je še atmosferska in topografska korekcija (STORM, ZRC SAZU)
- Zadovoljiva točnost modela, ločljivost 100 m in 5 dni → modelne karte uporabne za območno / državno raven
- Naš odzivni čas: napoved 3 dni po objavi satelitskega posnetka na ESA
- Občasni problem: oblačnost
- Potrebna geografska razširitev modela na OE in državo





Model za spremljanje sanitarnega poseka (Sentinel-2)

- Ciljna spremenljivka: posek v danem časovnem interval (da/ne)
- Kalibracija modela s podatki xTi:
 - Datum odkazila
 - Datum prevzema
 - Lokacija odkazila / prevzema
- Vhodni Sentinel-2 podatki za kalibracijo modela:
 - Zadnji posnetek pred odkazilom
 - Prvi posnetek po prevzemu
- Točnost modela:
 - 79 % pri ločljivosti 20 m
 - 90 % pri ločljivosti 60 m

Modelna karta zaznavanja poseka



20.07.-18.10.2017

-  Oblak ali sneg
-  Ni gozd
-  Ni posekano
-  Posekano

Sentinel-2: ocena uporabnosti (2)

- Vhodni podatki Sentinel-2 brezplačni, potrebna še atmosferska in topografska korekcija
- Točnost modela 79% pri ločljivosti 20 m (90% pri 60 m) → modelne karte uporabne za območno / državno raven
- Naš odzivni čas: 3 dni po objavi na ESA
- Občasni problem: oblačnost (začetne in končne slike)
- Potrebna geografska razširitev modela na OE in državo

Brezpilotni letalniki z MS kamero

Gozdarski inštitut Slovenije

- Ortokopter Microdrones MD4-1000 + kamera MicaSense
 - prostorska ločljivost 5-10 cm
 - 3 vidni kanali, 2 IR kanala



Podjetje C-astral

- Krilati letalnik C-astral Bramor + kamera MicaSense
 - prostorska ločljivost 5-10 cm
 - 3 vidni kanali, 2 IR kanala



Podjetje ElevonX

- Krilati letalnik ElevonX SkyEye + kamera Parrot sequoia (kamera je last Biotehniške fakultete)
 - prostorska ločljivost 5-10 cm
 - 2 vidna kanala, 2 IR kanala





A detailed topographic map of the Ljubljana region in Slovenia. The map shows various towns, roads, and geographical features. Several red dots are placed on the map to indicate specific study sites. The dots are located in the northern part of the map (near Bled and Kranj), in the central part (near Kranj and Domžale), and in the southern part (near Logatec and Borovnica).

3 ločeni modeli

GIS: Notranjska + Alpe (9 snemanj)

C-astral. Alpe (5 snemanj)

ElevonX: Pijava gorica (4 snemanja)

Terensko popisanih 631 dreves

Modela s podatki GIS in C-astral

- Osutost krošnje
 - 0 - ni sprememb v barvi iglic
 - 1 - šibka obarvanost na rumeno ali na sivo
 - 2 - močna obarvanost na rdečkasto ali rjavo
 - 3 - odmrlo drevo (popolnoma osuta krošnja)
- Barva krošnje
 - 0 - ni (0–10 %)
 - 1 - šibka (10–25 %)
 - 2 - srednja (25–60 %)
 - 3 - močna (več kot 60 %)
 - 4 - odmrlo drevo
- Terensko popisanih & precizno lociranih referenčnih 513 dreves

Model s podatki ElevonX

- Napadenost drevesa

- 1 - zdravo drevo

- 2 - napadeno napadeno brez vidnega obarvanja krošnje

- 3 - napadeno drevo z obarvanjem krošnje

- 4 - odmrlo drevo

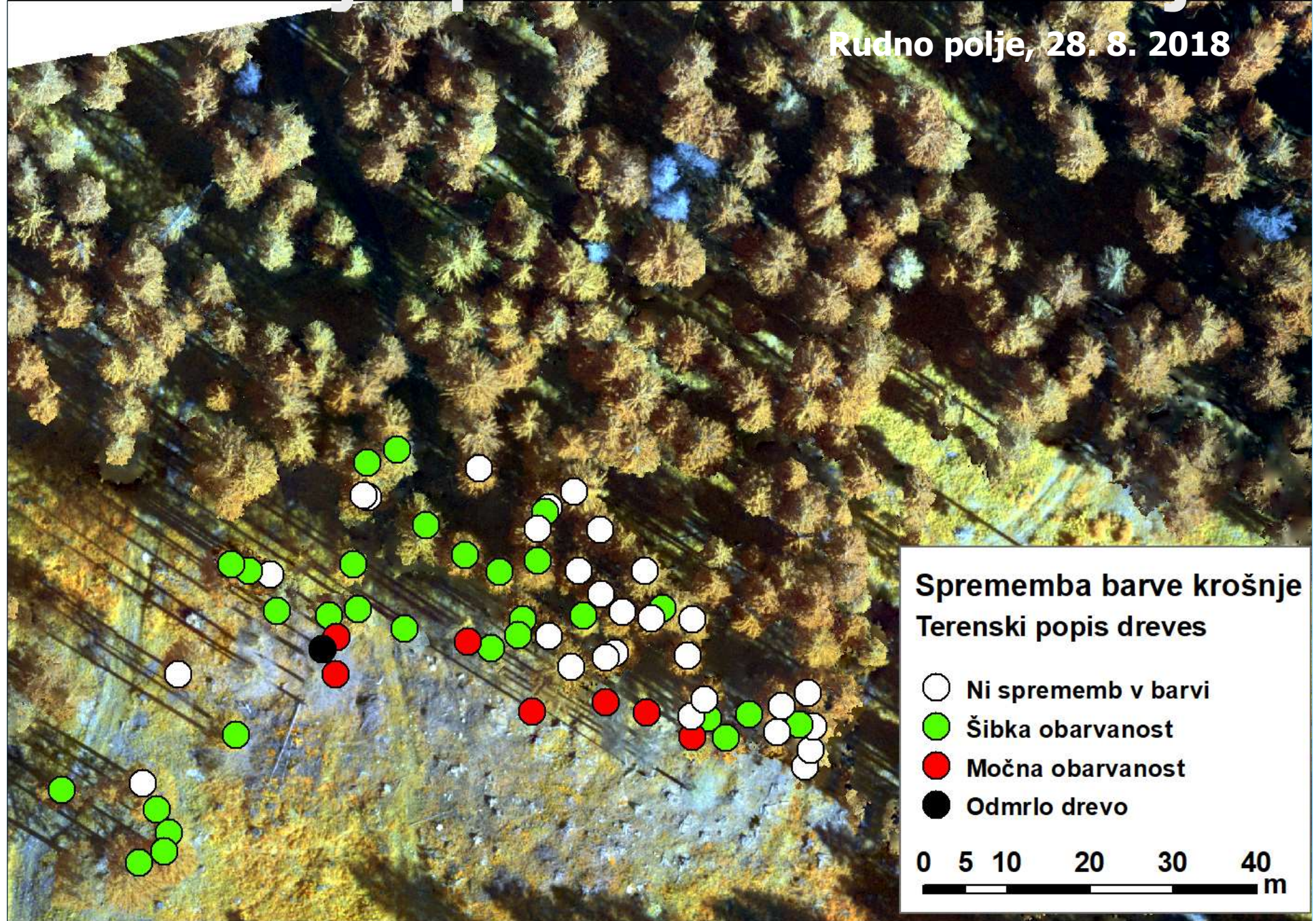
- Terensko popisanih 118 referenčnih dreves (poenostavljena metoda)

Pojasnjevalni podatki

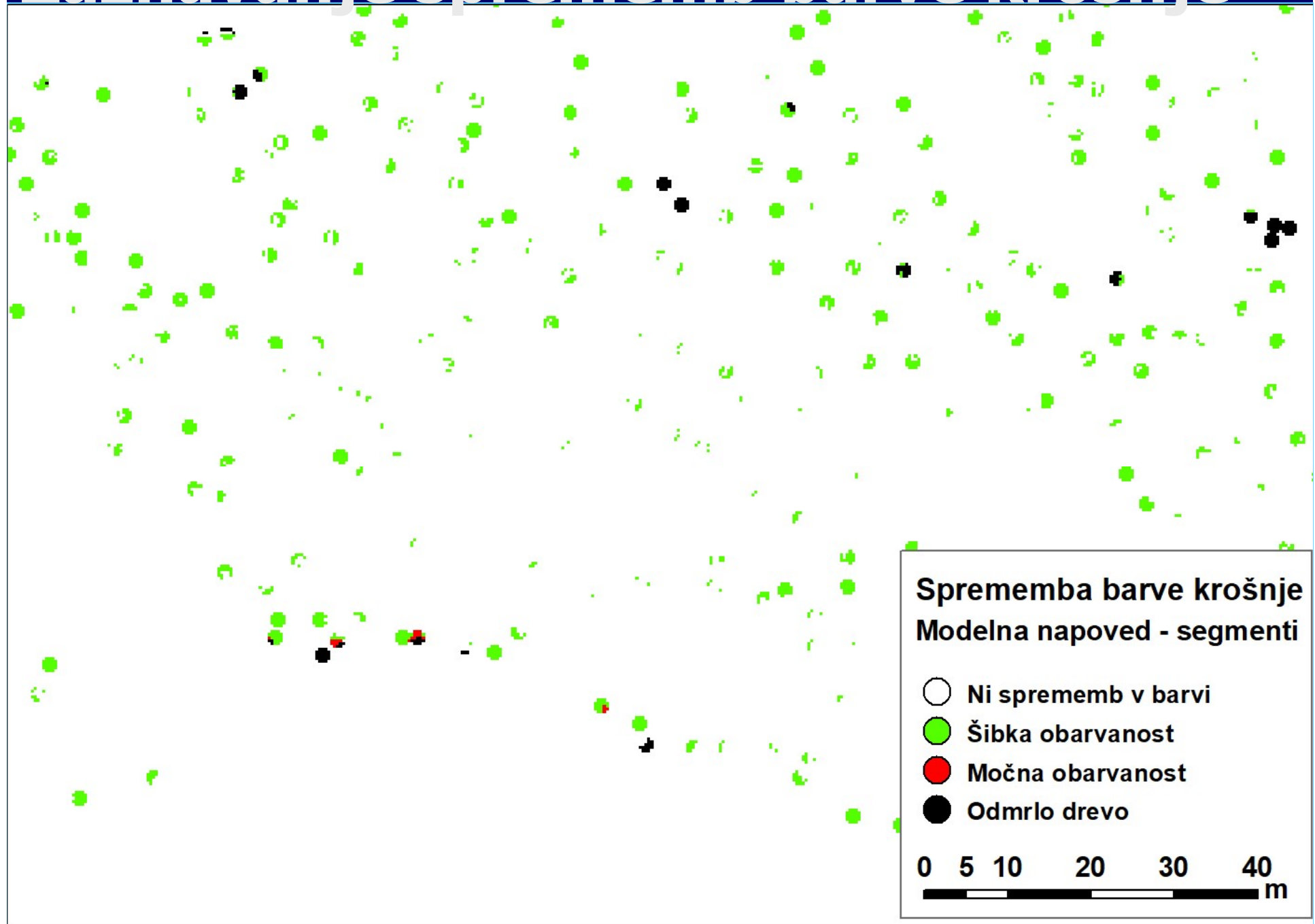
- MS slikovni kanali
- NDVI, EVI
- Statistike kanalov v polmeru 1 m, 2 m, 4 m, 8 m okoli drevesa
- Dan v letu

Zaznavanje sprememb barve krošnje

Rudno polje, 28. 8. 2018

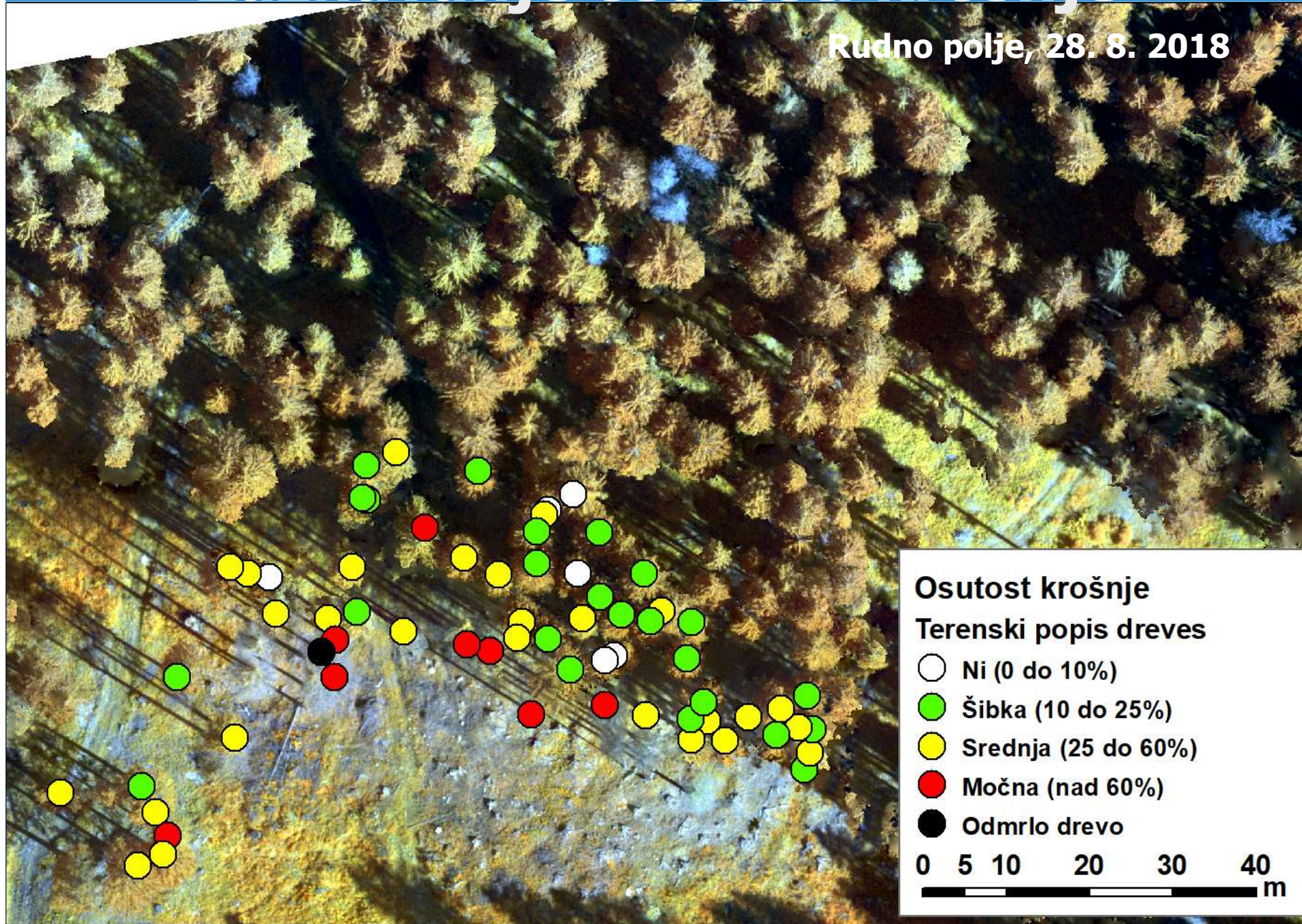


Zaznavanje sprememb barve krošnje

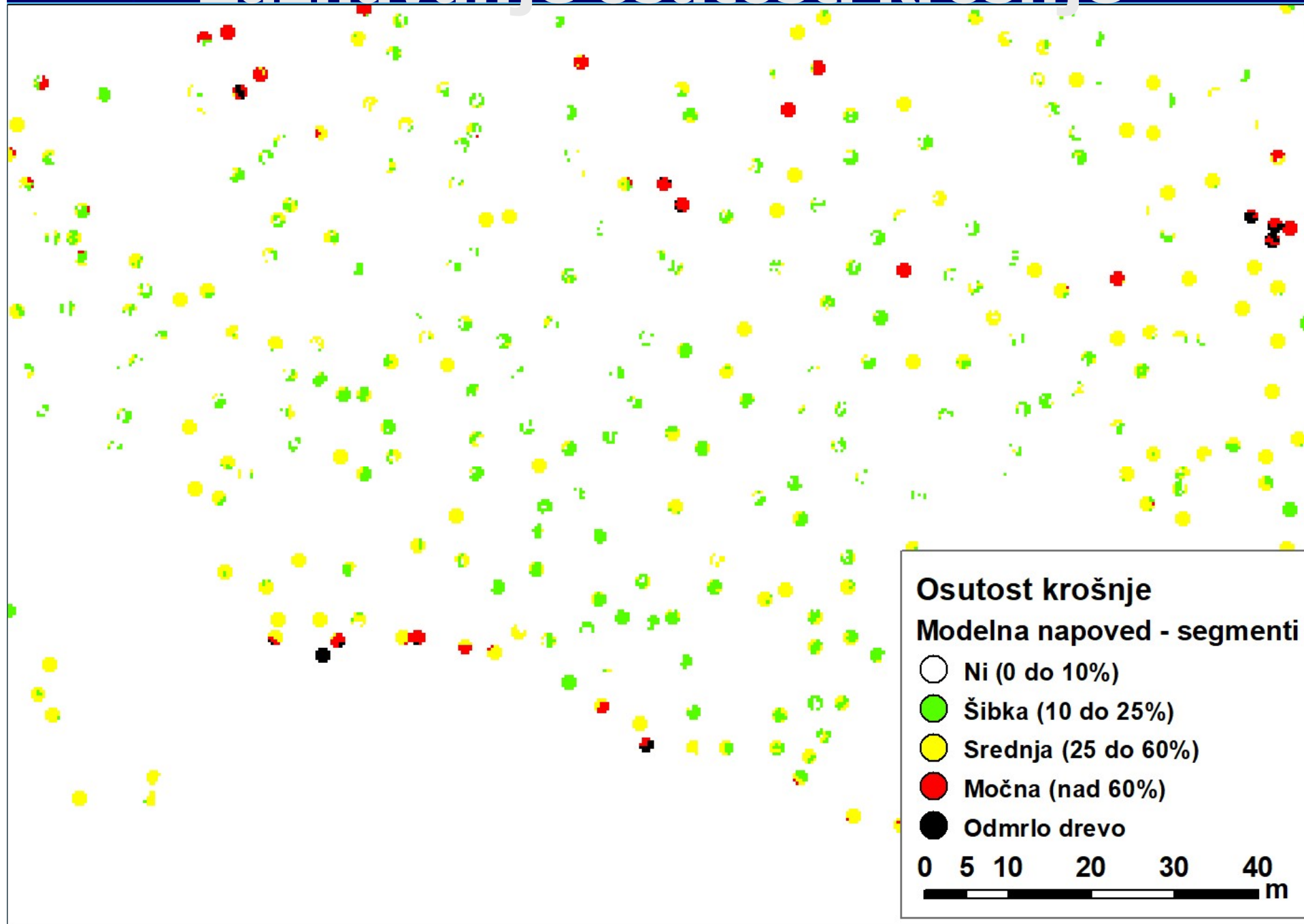


Zaznavanje osutosti krošnje

Rudno polje, 28. 8. 2018



Zaznavanje osutosti krošnje



Točnost modelov GIS in C-astral na testnih podatkih

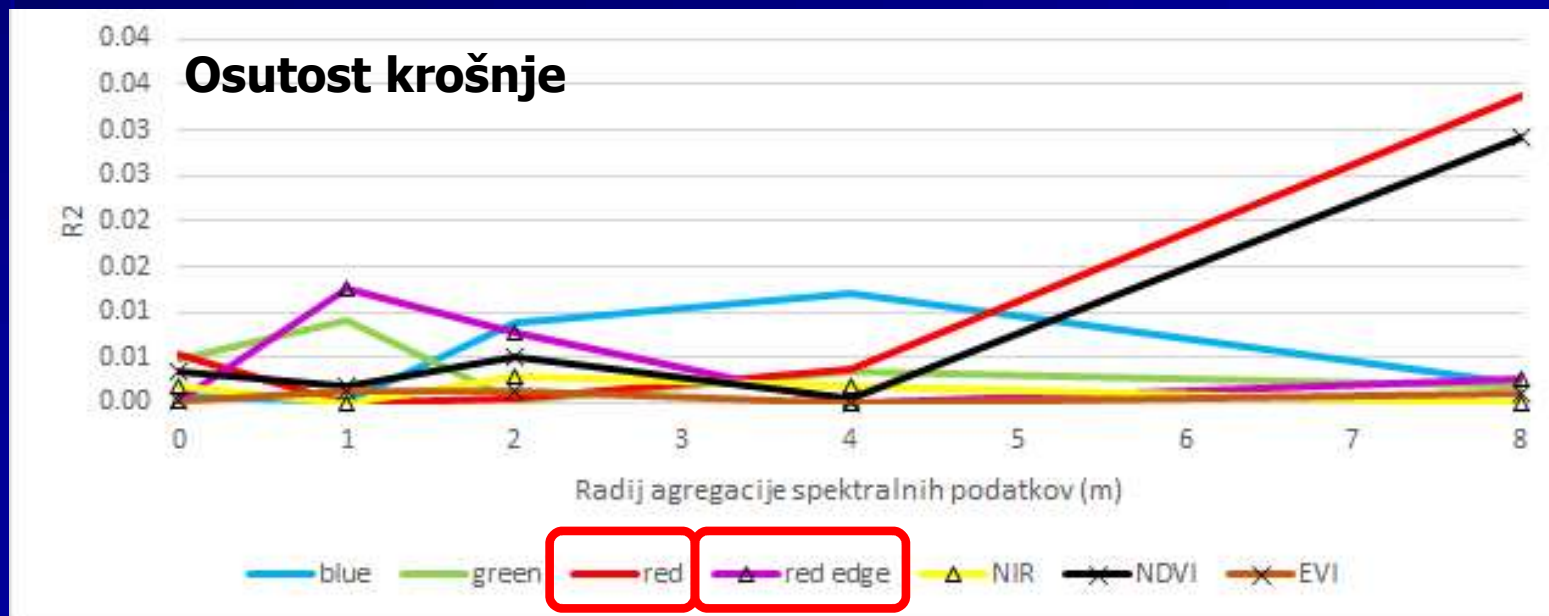
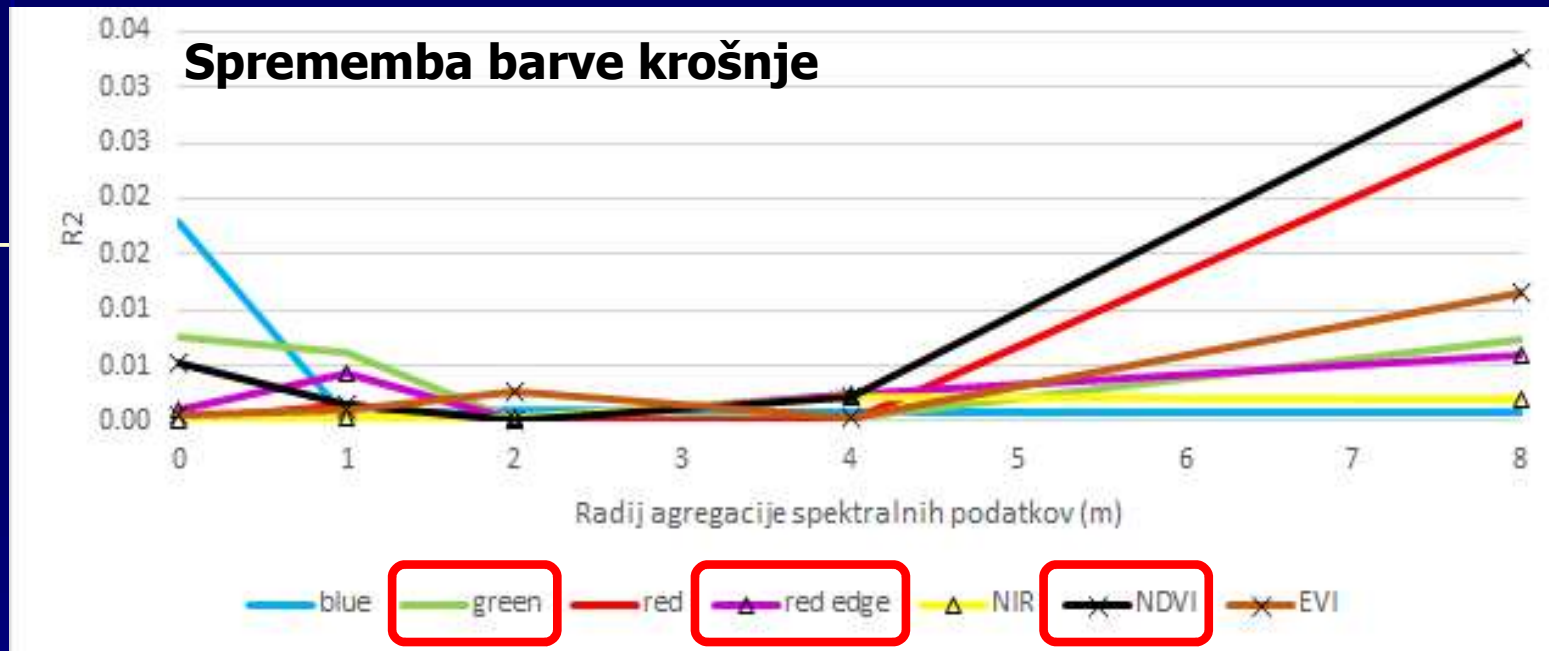
GIS		
Osutost	Točnost	N
0 - ni (0–10 %)	65%	65
1 - šibka (10–25 %)	37%	59
2 - srednja (25–60 %)	26%	50
3 - močna (več kot 60 %)	57%	30
4 - odmrlo drevo	78%	49
SKUPAJ	52%	253

C-astral		
Osutost	Točnost	N
0 - ni (0–10 %)	56%	81
1 - šibka (10–25 %)	33%	87
2 - srednja (25–60 %)	44%	85
3 - močna (več kot 60 %)	0%	6
4 - odmrlo drevo	0%	1
SKUPAJ	43%	260

GIS		
Barva	Točnost	N
0 - ni sprememb v barvi iglic	93%	138
1 - šibka obarvanost na rumeno ali na sivo	13%	45
2 - močna obarvanost na rdečkasto ali rjavo	29%	13
3 - odmrlo drevo (popolnoma osuta krošnja)	86%	57
SKUPAJ	75%	253

C-astral		
Barva	Točnost	N
0 - ni sprememb v barvi iglic	86%	169
1 - šibka obarvanost na rumeno ali na sivo	31%	86
2 - močna obarvanost na rdečkasto ali rjavo	0%	4
3 - odmrlo drevo (popolnoma osuta krošnja)	0%	1
SKUPAJ	66%	260

Prispevek pojasnjevalnih spremenljivk k modelom



Letalniki - ocena uporabnosti

- Maksimalna fleksibilnost, minimalni odzivni čas.
- Cena DOF & DMP letalnikov je 5 - 10 EUR/ha.
- Ovira velikopovršinski gozdarski rabi letalnikov so restriktivni predpisi: letenje v vidnem polju in le do 500 m.
- IR DOF brez dodatnih obdelav zadošča za vizualno določanje dreves v kasnejših fazah napada in tudi za monitoring sečišč (če so snemanja ažurna!)
- Za zaznavanje zgodnjih faz napada je potreben model.
- Izdelava modela je zaradi zamudnih terenskih popisov draga. A možne so racionalizacije (ponavljajoče snemanje velikih površin → detekcija zgodnjih faz za nazaj)
- Po nekaterih informacijah se odkrije ~20% žarišč v dovolj zgodnji fazi. Z modelom je točnost zaznavanja zgodnjih faz 33-37% za osutost in 13-31% za spremembo barve → učinkovitejše preprečevanje širjenja podlubnikov → zmanjšanje škod.

Primerjava letalnikov in Sentinel-2 v kontekstu podlubnikov

	Letalniki	Sentinel-2	Optimum
Prostorska resolucija	0.05 m	20 m (10 m)	0.5 m - 5 m
Prostorski doseg	Lokalno-regija (restriktivni predpisi)	Regija-država	Regija-država
Časovna resolucija	Poljubno	5 dni ali slabše (oblaki)	1 teden
Radiometrična resolucija	5 kanalov, 500-800 nm (HS kamera: 35 kEUR)	10 kanalov, 500-2200 nm	HS
Cena DOF	5-10 EUR/ha (GCP)	Brezplačno	Brezplačno
Možnosti interpretacije	1. Vizualna za pozne faze napada in za sečnje 2. Modeli za zgodnje faze	Modeli	Vizualna
Kompleksnost interpretacije	1. Enostavna za vizualno i. 2. Kompleksna za modelno interpretacijo	Manj kompleksno modeliranje	Black box
Dostopnost referenčnih podatkov za kalibracijo modelov	1. Zamudno terensko delo, najhujše ozko grlo 2. Ter.d.nadomestljivo z velikopovršinskim pogostim letenjem	Podatki že obstajajo (xTi, ZGS)	Obstoječi podatki

Sklep

■ Letalniki

- Primerni za lokalni monitoring napadov & poseka
- Omejitev: cena snemanj in interpretacije

■ Sentinel-2

- Primeren za regionalni/državni monitoring napadov & poseka
- Omejitev: efektivna ločljivost 20 - 100 m

Hvala za pozornost