

Procjena zaliha ugljika u mrtvoj organskoj tvari i procjena prosječne drvne zalihe u biomasi makija, šikara i sastojina I. dobnog razreda u šumama Republike Hrvatske

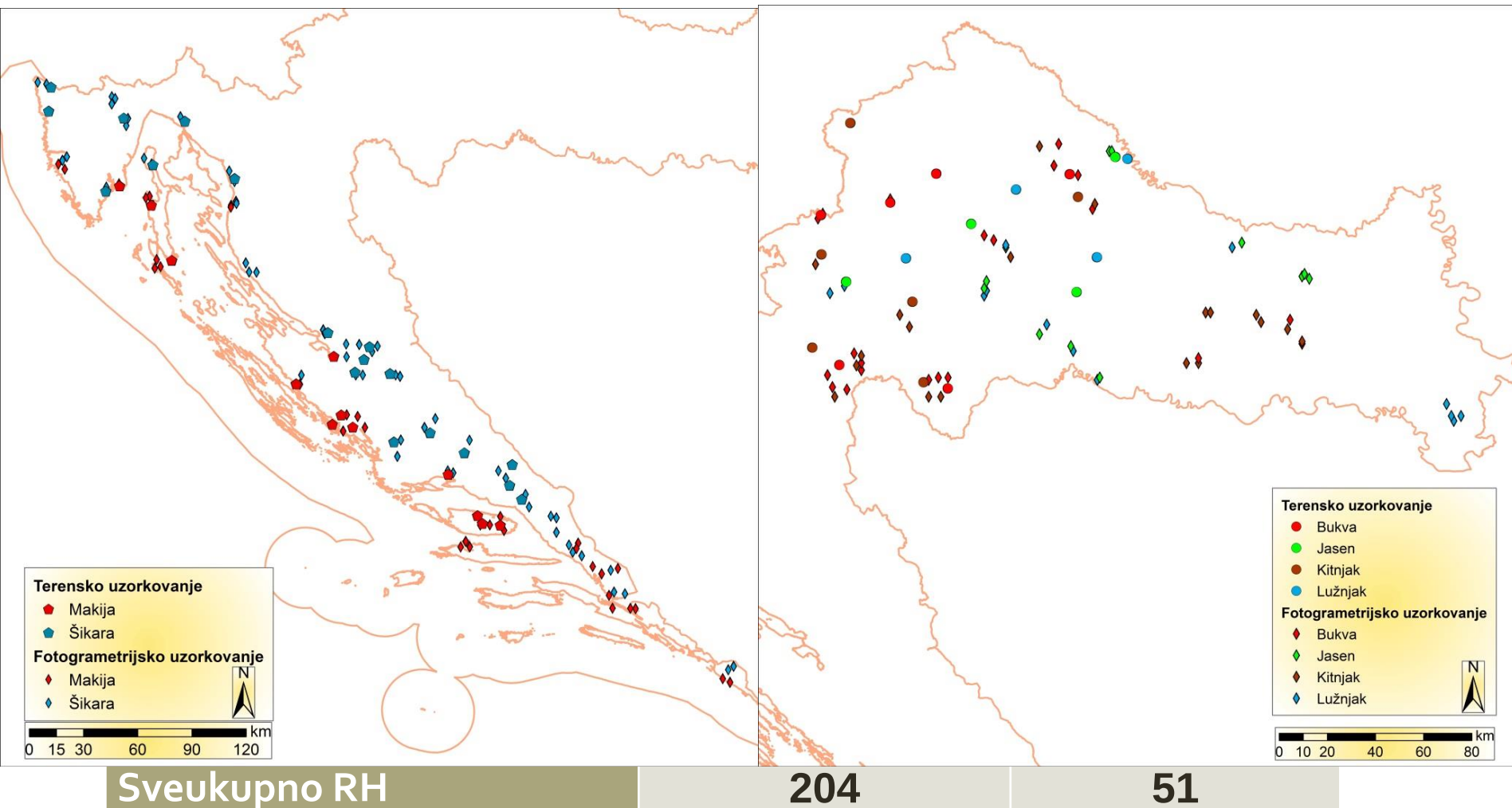
Daljinska istraživanja



Uvod

- Projekt se sastoji od više faza:
 - I faza - Pripremni radovi (Protokol projekta)
 - II, III i IV faza - Terenska faza, **Završni elaborat modeliranja procijene drvene zalihe pomoću fotogrametrijskih metoda**
 - V faza - Završni radovi, Završno izvješće
 - **Završni elaborat modeliranja procijene drvene zalihe pomoću satelitskih podloga**
- U sklopu terenskih faza, na odabranih 51 lokacija/traktova (204 plohe) je mjereno preko 130 različitih varijabli te uzimano do 30 uzoraka za laboratorijska istraživanja
- **Pomoću kreiranih regresijskih modela procjene biomase (fotogrametrijskim i satelitskim metodama) potrebno je procijeniti drvenu masu na dodatnih 150 traktova/600 ploha na području RH**

Lokacije uzorkovanja



Uređajni razred	Broj ploha projektiranih za mjerenje	Broj projektiranih ploha za satelitsko i fotogrametrijsko uzorkovanje
Obična bukva iz sjemena	24	110
Hrast kitnjak iz sjemena	24	95
Hrast lužnjak iz sjemena	20	80
Poljski jasen iz sjemena	16	48
Ukupno kontinent	84	333
Šikare	76	304
Makije	44	168
Ukupno Mediteran	120	472
Sveukupno RH	204	805

Modeli procjene drvene zalihe fotogrametrijskom metodom

- Određeno Projektnim zadatkom, ali...
- Infracrvene-kolor (ICK) snimke za područje RH postoje samo iz 2011 (2009) godine, nema drugog snimanja
- Nemoguća usporedba drvene mase u dva razdoblja (prema PZ) stoga su uvedene nove podloge (satelitske- Sentinel 2A) sa kojima će usporedba biti moguća u dva razdoblja
- Izrada prirasnih krivulja radi određivanja promjera prije 5 godina na osnovu kojih su izračunate visine (kreiranim visinskim krivuljama) i obračun volumena tada

Modeli procjene drvene zalihe fotogrametrijskom metodom

- Problematika

- Aproksimacija prirasta i visina > akumulacija pogreški modela
- 4 mjerena trakta/16 ploha 2011 (2009) nisu bili prvi dobni
- Krivi podaci o starostima, uočeni na osnovu očitanih visina sa ICK snimki- početak ophodnje zaveden prilikom početka naplodnog sijeka?
- Točnost samih ICK snimki (maksimalno odstupanje nadmorskih visina) ± 1 m, a prosječna visina u Šikarama je 3,39 m, a u Makijama 2,15 m što može značiti $\pm 30-50\%$ visine
- Uslijed malog broja ploha, mjestimično su moguće ekstrapolacije rezultata koje mogu biti vrlo nepredvidljive

Modeli procjene drvene zalihe fotogrametrijskom metodom

grupa	ovisna varijabla	koeficijent b0	koeficijent b1	v1	koeficijent b2	v2	koeficijent b3	v3
Bukva	ln_vol	11.3084	8.3484	ln_dom_h	-4.1309	ln_pokr	-5.9642	ln_pros_h
Kitnjak	sqrt_vol	0.3933	0.2803	sqrt_pros_h	0.0407	starost		
Jasen i Lužnjak	ln_vol	-1.1679	1.0808	ln_dom_h				
Makija	sqrt_vol	-1.0195	0.8549	sqrt_dom_h				
Šikara	sqrt_vol	-1.1953	1.1471	sqrt_pros_h				

$$Y = b_0 + b_1 \cdot v_1 + b_2 \cdot v_2 + \dots$$

grupa	N	R	R ²	R ² ajusted	F	p
Bukva	9	0.77	0.59	0.34	2.38605	0.1853354
Kitnjak	17	0.79	0.63	0.58	11.906372	0.0009537
Jasen i Lužnjak	32	0.77	0.59	0.58	43.98690	0.0000002
Makija	40	0.76	0.57	0.56	50.87334	0.0000000
Šikara	76	0.80	0.64	0.63	128.90669	0.0000000

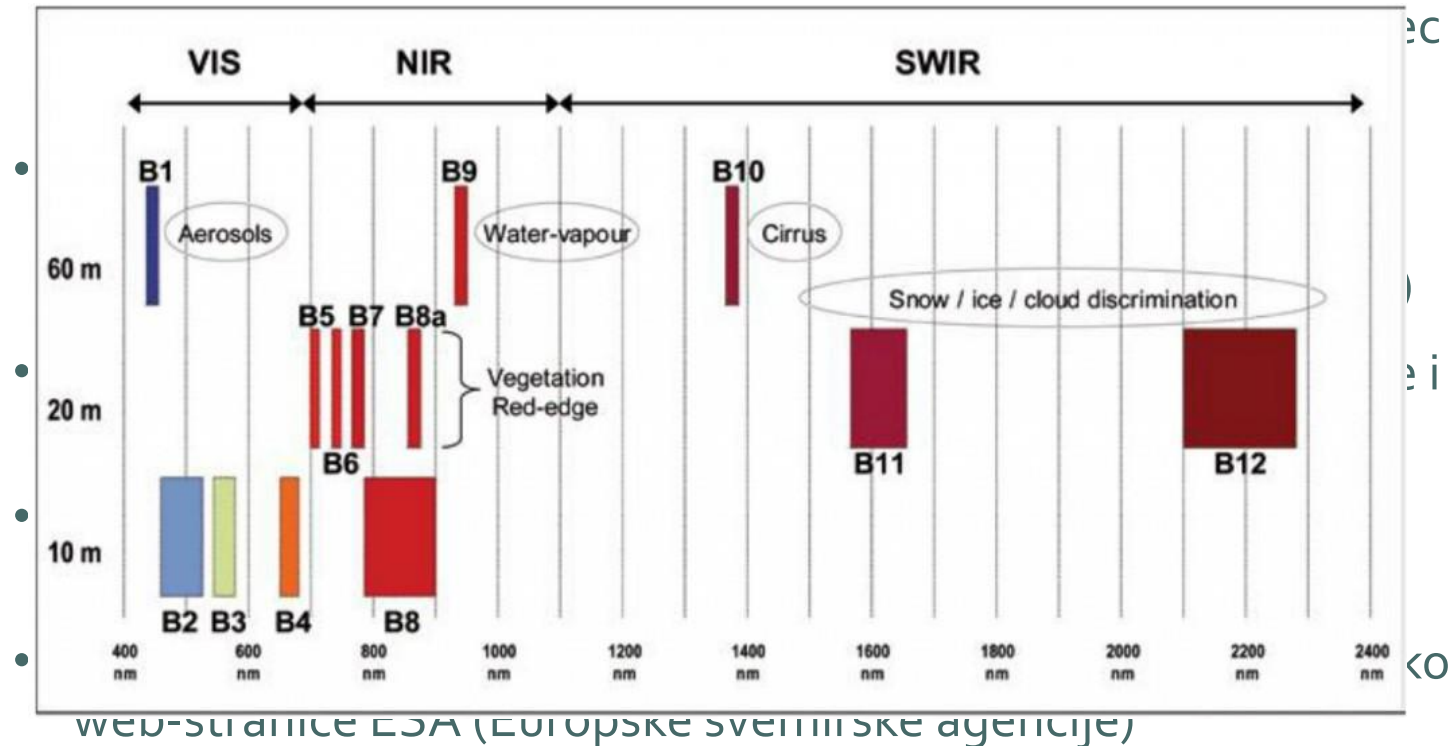
Modeli procjene drvene zalihe multispektralnim satelitskim snimkama

- Tražena analiza promjena u dva vremenska razdoblja za najmanje trećinu od ovih 805 ploha radi uočavanja promjena izvršit će se na osnovu snimaka iz sezone 2017. godine.
- Analizirat će se stanje u 2016. godini kada je bila izvršena terenska izmjera i na osnovu koje su izrađeni modeli sa stanjem u ljeto 2017. godine (veći vremenski raspon nije moguć radi duljine trajanja ovog projekta i dostupnosti Sentinel 2 podloga).

Modeli procjene drvene zalihe multispektralnim satelitskim snimkama

Sentinel 2

- dio porodice satelita Sentinel u sklopu Copernicus programa



- Do sada jedine besplatne snimke su bile MODIS satelita rezolucije 250 m X 250 m

Modeli procjene drvene zalihe multispektralnim satelitskim snimkama

- Ova kombinacija spektralnih podataka visoke rezolucije zajedno s širinom snimanja od 290 km i čestim ponovnim prolascima (od ove jeseni svakih 5 dana) čine neusporediv pogled na Zemljinu površinu, usto i besplatan.
- Ove satelitske snimke se koriste za određivanje raznih vegetacijskih indeksa koji prikazuju biljni prirast, zdravlje te stupanj stresa kod biljaka.
- Sentinel 2 se može koristiti za kartiranje promjena u korištenju zemljišta, pokrovu zemljišta te šumama, čime pruža nezamjenjiv alat pri izvješćivanju u sklopu LULUCF sektora.
- Prikupljeni podaci također mogu imati veliku primjenu u praćenju prirodnih katastrofa kao npr. erupcija vulkana, poplava, klizišta, sušenja šuma te požara.

Modeli procjene drvene zalihe multispektralnim satelitskim snimkama

- Skinute su 2016 i 2017. godina Sentinel 2 snimki koje prekrivaju RH
- Snimke su 100x100 km, približno 1.150 snimki> cca 5 TB
- Atmosferskom korekcijom kreirano još 3 TB snimki (od 2017 su dostupne snimke s već izvršenom atmosferskom korekcijom).
- Izdvojena područja od interesa> 5-8 (20x20m) piksela po plohi> cca 1.004.554 piksela
- U daljnju analizu> bez piksela koji su klasificirani kao oblaci, sjene, no data i sl.> cca **110.000 piksela**

Modeli procjene drvene zalihe multispektralnim satelitskim snimkama

- Za svaki piksel postoji podatak o 9 kanala + cca 120 raznih vegetacijskih indeksa (NDVI, LAI, SAVI, itd)
- Prosjeci na razini svakog mjeseca, godišnjih doba te cijele godine > preko 1500 varijabli
- Uz mashine learning/data mining te regresijskim analizama u više koraka utvrdili smo koji vegetacijski indeks, kojeg mjeseca, godišnjeg doba (ili cijele godine) ima najbolji koeficijent korelacije (determinacije)

Modeli procjene drvene zalihe multispektralnim satelitskim snimkama

Mjeseca	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	broj terenskih ploha
Uređajni razred									
Bukva	13	20	23	24	24	24	24	15	24
Jasen	8	9	12	15	16	16	16	4	16
Kitnjak	19	16	20	24	24	24	24	18	24
Lužnjak	12	12	16	15	20	20	20	4	20
Makija	28	20	37	44	36	40	42	40	44
Šikara	57	28	68	70	60	73	73	60	76
Ukupno	137	105	176	192	180	197	199	141	204

Modeli procjene drvene zalihe multispektralnim satelitskim snimkama

- Tako je vidljivo da u III. i IV. mjesecu 2016. godine gotovo 45 % ploha nema nijednu uporabljivu snimku. Slična situacija je i u X. mjesecu gdje gotovo 30 % ploha nije pokriveno ni jednom snimkom
- Očekivano u ljetnim mjesecima je mnogo više ploha snimljeno satelitom.
- Međutim, iako ocjenjen kao sušni za većinu mediteranskog dijela RH, VII. Mjesec 2016. godine ima prilično veliki broj ploha za koje nema podataka (odnosno u trenutcima snimanja je bila određena oblačnost)

Modeli procjene drvene zalihe multispektralnim satelitskim snimkama

- Iako je veliki broj varijabli, u određenim uređajnim razredima jednostavno nije postojalo dovoljno ploha dovoljnih za statističku analizu koja bi bila izrađena na čvrstim temeljima.
- Stoga su uređajni razredi Lužnjak i Jasen promatrani skupa, kao i uređajne razrede Bukva i Kitnjak.
- Uređajne razrede Šikara i Makija radi nižih koeficijenata determinacije i ostalih slabijih statističkih osobina smo promatrali gdje je to moguće na razini geografske cjeline (Dalmacija ili Istra i Kvarner).

Modeli procjene drvene zalihe multispektralnim satelitskim snimkama

Ur	b_0	b_1	v_1	$v_{1\text{month}}$	b_2	v_2	$v_{2\text{month}}$	b_3	v_3	$v_{3\text{month}}$	b_4	v_4	$v_{4\text{month}}$
Šikare Istra	-11.910	16.709	Normalized Difference (Bo7-Bo4)/(Bo7+Bo4)	September	4796.052	ARI1 (1 / Bo3) - (1 / Bo5)	May						
Lužnjak i Jasen	33.308	29.747	NDVI705 (Bo6 - Bo5) / (Bo6 + Bo5)	May	-34.344	Simple Ratio Bo8/Bo12	March						
Bukva i Kitnjak	-15.995	3.348	MTCI (Bo6 - Bo5) / (Bo5 - Bo4)	July	7.428	Simple Ratio Bo8/Bo11	March	-0.0030	Single Band Bo3	October			
Šikare Dalmacija	-8.248	7.048	EVI $\frac{2.5 \cdot (Bo8 - Bo4) + 6 \cdot (Bo8 - Bo4) + 7.5 \cdot (Bo2 - Bo1)}{1}$	August	-8.226	VARI Green (Bo3-Bo4)/(Bo3+Bo4-Bo2)	August	3353.498	ARI1 (1 / Bo3) - (1 / Bo5)	April	8.940	Soil Composition Index (Bo11-Bo8)/(Bo11+Bo8)	August
Makije	-13.844	31.424	CHL-RED-EDGE (Bo5 / Bo8)	October	32.041	Simple Ratio Bo3/Bo8	April	1798.398	CRI1 (1 / Bo2) - (1 / Bo3)	September	-11.767	Simple Ratio Bo2/Bo4	August

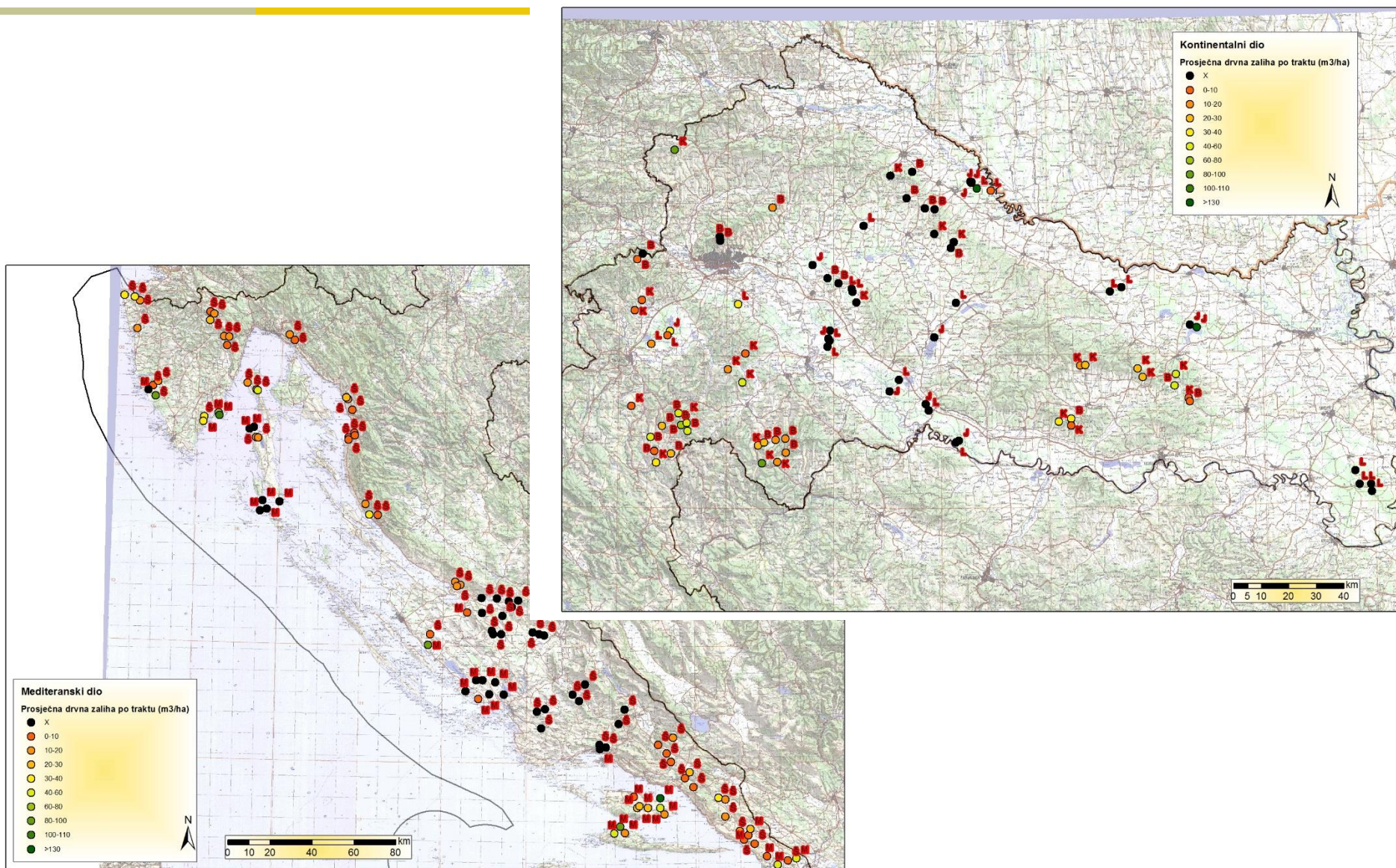
Modeli procjene drvene zalihe multispektralnim satelitskim snimkama

Ur	N	R	R ²	R ² adj.	F	p	St. error of e.
Bukva i Kitnjak	48	0.82360	0.67832	0.65639	30.92773	0.00000	2.00548
Lužnjak i Jasen	36	0.90291	0.81524	0.80404	72.80537	0.00000	1.78291
Šikare Istra	32	0.81664	0.66690	0.64393	29.03029	0.00000	1.53138
Šikare Dalmacija	28	0.78808	0.62107	0.55517	9.42448	0.00012	0.80545
Makija	32	0.75543	0.57068	0.53043	14.17890	0.00000	2.74561

Modeli procjene drvene zalihe multispektralnim satelitskim snimkama

VR	DI plohe	Terenske plohe	DI prosjek drvene zalihe (m ³ /ha)	DI st. dev. drvene zalihe (m ³ /ha)	Terenski prosjek drvene zalihe (m ³ /ha)	Terenska st. dev. drvene zalihe (m ³ /ha)
Nastale razlike vjerojatno leže u tome što je prilikom modeliranja drvene mase bilo obuhvaćeno gotovo 2,5 puta više ploha nego terenskim uzorkovanjem.						
Bukva	65	24	26.10	20.53	32.10	28.85
Jasen	6	16	86.22	80.92	37.00	53.88
Kitnjak	77	24	28.44	26.74	36.80	44.00
Lužnjak	20	20	48.43	73.36	60.52	39.70
Makija	114	44	38.44	47.66	34.81	46.67
Šikara	198	76	14.53	15.26	15.23	21.09
Total	480	204	26.32	35.24	30.12	38.60

Modeli procjene drvene zalihe multispektralnim satelitskim snimkama



Modeli procjene drvene zalihe multispektralnim satelitskim snimkama -Usporedba

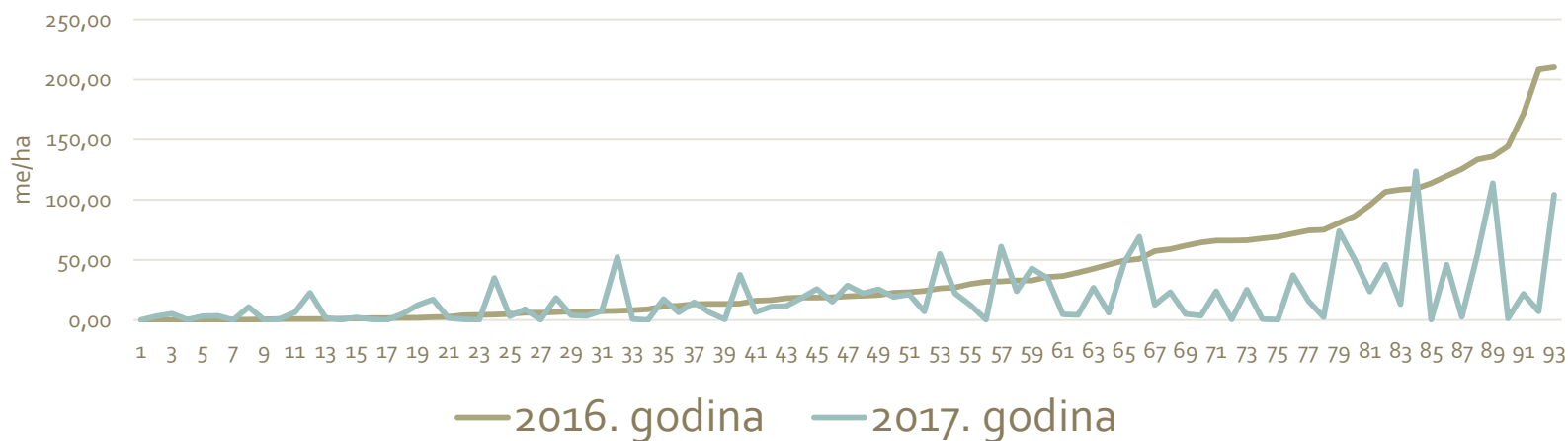
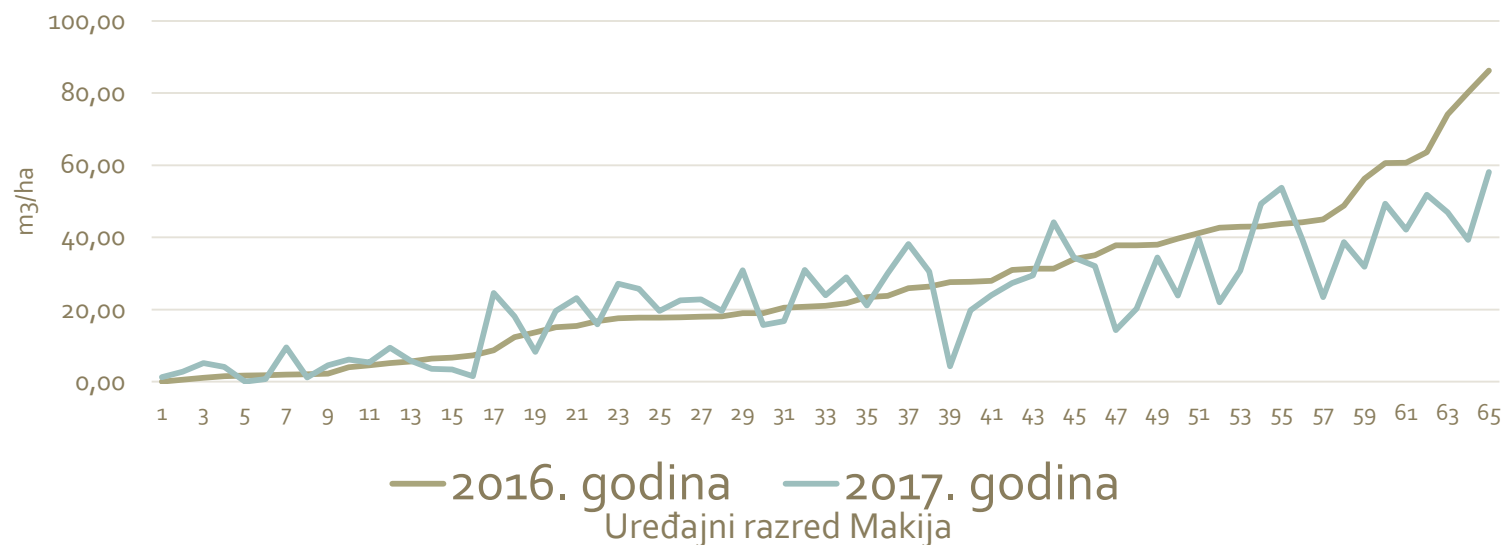
- 390 ploha koje imaju podatke i u 2016. i u 2017. godini (promatrajući izabrane mjesece u modelima) čime je zadovoljen postavljeni uvjet, uspoređujući 48 % ploha.
- Promatrajući prosječne vrijednosti svih uređajnih razreda, uočavamo da su svi podaci u pravilu niži za 10 % za uređajne razrede Bukve, Kitnjaka i Lužnjaka, dok je to kod uređajnog razreda Makije čak i puno više.

Modeli procjene drvene zalihe multispektralnim satelitskim snimkama -Usporedba

- Objašnjenje ovog „trenda“ leži u tome da je 2017. godina bila iznimno atipična godina s gledišta klimatskih uvjeta te početka i kraja vegetacijske sezone.
- Gotovo svi mjeseci su bili sušni i topliji od prosjeka uzrokujući dosta raniji početak vegetacijske sezone u sušnim uvjetima (ometanje razvoja lisne mase).
- Dalje, vruće i mjestimično i vrelo ljeto je uzrokovalo smanjenje transpiracije biljaka zatvaranjem puči, a posljedično i smanjenje fotosintetskih procesa. Ovime su uzrokovana manja očitavanja relevantnih kanala u mjesecima koji služe za predmetne modele (najbitniji-prvi u modelu- za Jasen i Lužnjak su indeksi za peti mjesec, a za Bukvu i Kitnjak 7 mjesec).

Modeli procjene drvene zalihe multispektralnim satelitskim snimkama -Usporedba

Uređajni razred Bukva



Ograničenja

- Da bi se izbjegla ekstrapolacija mora postojati dovoljno ploha za statističku ispravnost kao i da plohe moraju pokriti cijeli raspon varijabilnosti mjenenog interesa. U ovom istraživanju, s obzirom na Projektni zadatak i kompleksnost biljnih zajednica u RH, ovo nije bilo uvijek moguće postići. zauzimaju gotovo 82 posto površine jednodobnih šuma u RH.
- Međutim i ovo predstavlja mali broj terenskih ploha, osobito kada zbog oblačnosti je taj izbor još više sužen. Iz ovog razloga se pristupilo grupiranju vrsta/uređajnih razreda koji su slični po svojim ekološko-stanišnim uvjetima (Lužnjak i Jasen te Bukva i Kitnjak).

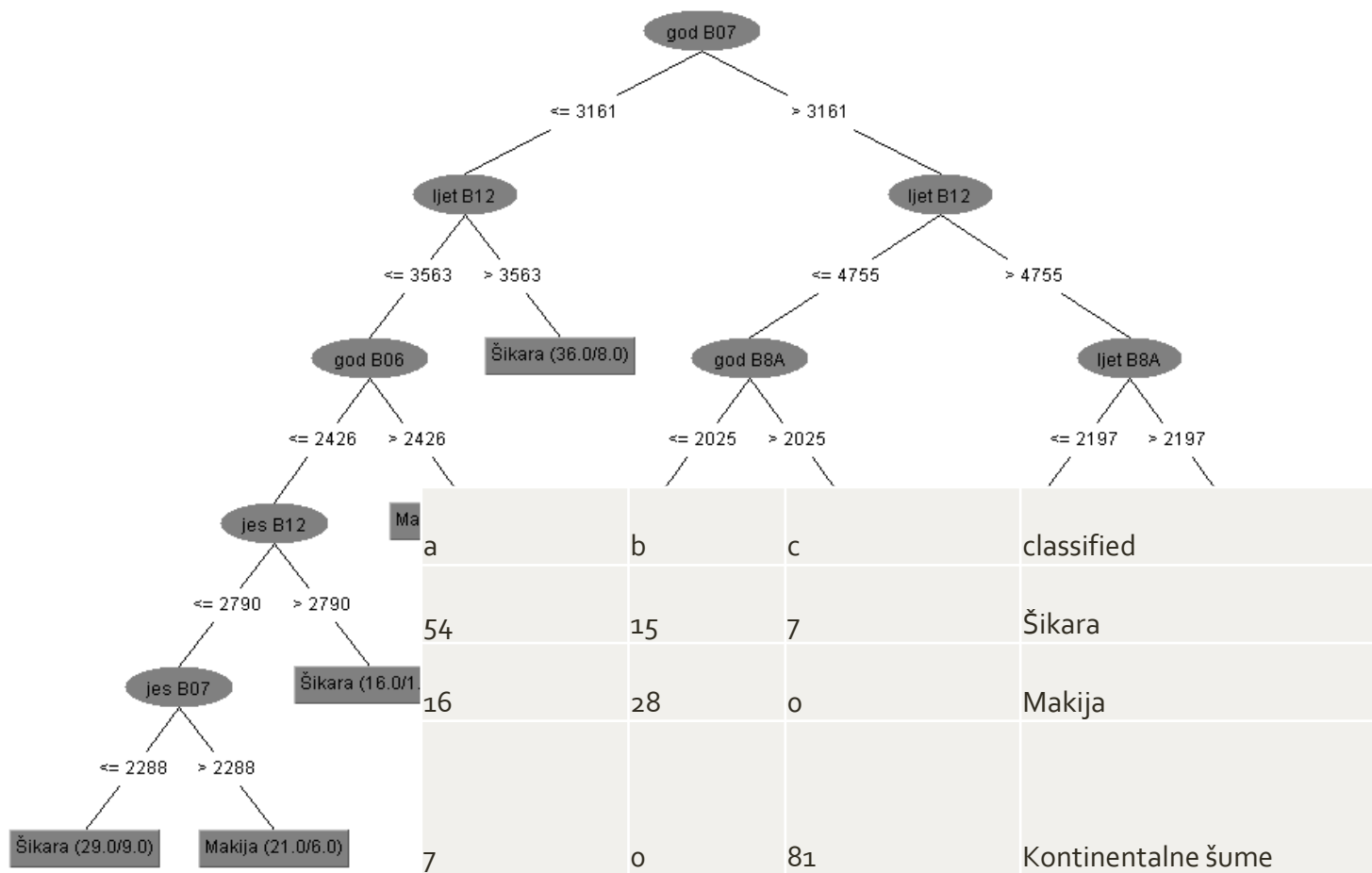
Ograničenja

- Iduće ograničenje ovog istraživanja je da se promatra promjena između dvije sukcesivne godine (više nije bilo moguće zbog dostupnosti Sentinel 2 podloga i trajanja projekta).
- Stoga bi bilo preporučljivo, u skladu s uputama iz dostupne literature, ovakav monitoring provoditi nakon određenog vremenskog razdoblja (primjerice od 5 godina) čime bi promjene bile uočljivije u sastojinama slabog prirasta.
- Jedno od glavnih ograničenja i nesigurnosti usporedbe podataka iz dvije godine predstavlja i iznimno atipična 2017.

Prednosti

- Prednost ove tehnologije i kreiranih modela je da se mogu koristiti na cijeloj željenoj površini, uvažavajući cijelu raznolikost površine, a ne samo pojedinačnih ploha odnosno piksela u ovom kontekstu. Ovime se dobije srednja vrijednost promatrane vrijednosti određene površine, pri čemu određene maksimalne vrijednosti uzrokovane ekstrapolacijom ne utječu snažno na prosjek.
- Također, moguće je poluautomatskim metodama prvo odrediti koje površine odnosno pikseli predstavljaju određene uređajne razrede na osnovu podataka sa iste snimke, a nakon toga se mogu primijeniti kreirani modeli.
- Ovime se značajno ubrzava rad prilikom izrade Izvješća o inventaru stakleničkih plinova (National Inventory Report, **NIR**) prilikom određivanja drvene zalihe u ovim sastojinama gdje ne postoji obveza mjerenja iste.

Prednosti



Prednosti

- Prednost ovih modela je što se može vrlo lako odrediti opožarena drvena zaliha.
- Detekcija i mapiranje opožarenih područja je moguća na osnovu automatskih i poluautomatskih procesa na osnovu određenih vegetacijskih indeksa koji kombiniraju kanale koji izraženije prikazuju opožarena područja.
- Nakon toga je potrebno sa snimki iz prethodne godine izdvojiti opožareno područje odnosno opožarene piksele i odrediti drvenu zalihu za opožareno područje.

Unaprjeđenje modela

- Bilo bi potrebno nastaviti ova istraživanja na većem uzorku kako bi se obuhvatila sva varijabilnost i izradili pouzdaniji modeli za procjenu
- Isto tako treba pokrenuti istraživanja i u drugim dobnim razredima ovih uređajnih razreda kao i u prebornim šumama prema istoj metodologiji
- Poboljšanje modela je moguće ukoliko se koriste i multispektralni podaci iz više godina. Ovom multitemporalnom metodom bi se smanjio utjecaj same klime i specifičnih klimatskih uvjeta u godini.
- Drugi način unaprjeđenja je korištenje dodatnih podloga i informacija (LIDAR, SENTINEL1- RADAR)

Zaključak

- Primjena Sentinel 2 multispektralnih satelitskih podloga je prihvatljiva za korištenje u svrhu procjene drvene zalihe, osobito na velikim površinama, a preciznosti i pouzdanosti modela su u skladu sa dostupnim istraživanjima u literaturi
- Uzimajući u obzir sva navedena ograničenja i nesigurnosti, izrađeni modeli za procjenu drvene zalihe ovom metodom daljinskih istraživanja su statistički značajni i reprezentativni pokazujući osrednju determinacijsku moć
- Prednost ove tehnologije i kreiranih modela je da se mogu koristiti na cijeloj željenoj površini, uvažavajući cijelu raznolikost površine, a ne samo pojedinačnih ploha odnosno piksela u ovom kontekstu.

HVALA NA POZORNOSTI!

Oikon d.o.o. – Institut za primijenjenu ekologiju

Trg senjskih uskoka 1-2

HR – 10020 Zagreb

T +385 1 5507 100

F +385 1 5507 101

E oikon@oikon.hr

W www.oikon.hr



Kontakt osoba:

dr.sc. **Alen Berta, mag.ing.silv.**

Voditelj Zavoda za upravljanje prirodnim resursima i

Voditelja Laboratorija za daljinska istraživanja i GIS

T +385 1 5507-100

M +385 91 2363-282

E aberta@oikon.hr