



Razvoj metod zaznavanja poškodb iglavcev zaradi smrekovih in jelovih podlubnikov ter izdelava modelov za napovedovanje namnožitve smrekovih in jelovih podlubnikov v slovenskih razmerah (V4-1623)

Končno poročilo

Vodja projekta:
dr. Nikica Ogris

Avtorji poročila:
Nikica Ogris, Andrej Kobler, Tatjana Veljanovski, Peter Pehani, Maarten de Groot

Financerja:
Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano,
Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije

Projekt V4-1623, izbran na podlagi Javnega razpisa za izbiro raziskovalnih projektov Ciljnega raziskovalnega programa »Zagotovimo.si hrano za jutri« v letu 2016 z obvestilom direktorja agencije o rezultatih izbora prijav na Javni razpis št. 6316-12/2016-103, z dne 16. 9. 2016, za obdobje 36 mesecev od 1. 10. 2016 do 30. 9. 2019.

Sodelujoče raziskovalne organizacije:
Gozdarski inštitut Slovenije, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Razvojni center koroškega gospodarstva, Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti

Ljubljana, 2019

Kazalo vsebine

Povzetek	5
Projektna skupina in zahvala	6
Zunanji sodelavci	6
Poročilo o realizaciji programa dela na raziskovalnem projektu	7
DS1 Koordinacija.....	7
DS2 Daljinsko zaznavanje	9
1.1 Aktivnost 2.1: Spremljanje žarišč smrekovih in jelovih podlubnikov s pomočjo satelitskih posnetkov	9
1.1.1 Dva modela za zaznavanje letne količine sanitarnega poseka smreke zaradi podlubnikov in spremljanje dinamike razvoja (MODIS)	10
1.1.2 Model trenutne stopnje napadenosti (Sentinel-2)	13
1.1.3 Model za zaznavanje sanacije žarišč podlubnikov (Sentinel-2).....	18
1.1.4 Podatki in vegetacijski produkti satelita MODIS za 2002–2018 in za območje Slovenije (sprotna obdelava in dostava za spletno aplikacijo) in satelita Sentinel-2 za 2015–2018 za območje GGE Koče in Gotenica	20
1.2 Aktivnost 2.2: Spremljanje žarišč podlubnikov z brezpilotnim letalom ali ortokopterjem ...	28
1.3 Aktivnost 2.3: Referenčni podatki iz terena	31
1.3.1 Zbirka referenčnih podatkov za Sentinel-2	31
1.3.2 Zbirka referenčnih podatkov za MODIS	32
1.3.3 Zbirka referenčnih podatkov za brezpilotni letalnik.....	33
1.4 Aktivnost 2.4: Spletna aplikacija.....	36
1.4.1 Spremljanje žarišč smrekovih podlubnikov s pomočjo satelitskih posnetkov MODIS ..	36
1.4.2 Spremljanje žarišč smrekovih podlubnikov s pomočjo satelitskih posnetkov Sentinel-2	37
1.4.3 Spremljanje sanacije žarišč smrekovih podlubnikov s pomočjo satelitskih posnetkov Sentinel-2	37
1.4.4 Spletna interaktivna aplikacija za pregled podatkov in vegetacijskih produktov satelita MODIS	38
1.4.5 Spletna interaktivna aplikacija za pregled podatkov in vegetacijskih produktov satelita Sentinel-2	39
1.4.6 Spletna interaktivna aplikacija za vizualizacijo multispektralnih posnetkov drona	40
1.4.7 Modelne karte osutosti in obarvanosti krošenj za izbrane štiri vzorčne ploskve posnete z dronom	40
DS3 Stopnja ogroženosti iglavcev.....	42
Aktivnost 3.1: Podatkovna zbirka ekoloških faktorjev	42

Aktivnost 3.2: Razvoj modelov ogroženosti posameznih vrst iglavcev zaradi lubadarjev	43
Aktivnost 3.3: Implementacija modelov v elektronski sistem za varstvo gozdov v Sloveniji	45
DS4 Model razvoja smrekovih podlubnikov in sistem obveščanja.....	49
Aktivnost 4.1: Plan postavitve in spremljanja kontrolnih pasti in kontrolno-lovnih debel	49
Aktivnost 4.2: Spremljanje ulova smrekovih podlubnikov v kontrolnih pasteh.....	50
Aktivnost 4.3: Spremljanje kontrolno-lovnih debel	51
Aktivnost 4.4: Spremljanje temperature zraka in temperature skorje	52
Aktivnost 4.5: Razvoj, validacija in kalibracija fenološkega modela smrekovih podlubnikov.....	53
Aktivnost 4.6: Vzpostavitev sistema samodejnega obveščanja krajevnih in območnih enot ZGS	55
Seznam rezultatov	63
Ocena stopnje realizacije programa dela na raziskovalnem projektu in zastavljenih raziskovalnih ciljev	65
Najpomembnejši raziskovalno-razvojni rezultati projektne skupine	66
Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine.....	67
Naslov spletne strani	69
Finance projekta	70

Povzetek

V okviru projekta smo uresničili naslednje cilje:

1. Preverili smo uporabnost multispektralnih posnetkov gozdov za odkrivanje, spremljanje in prikazovanje žarišč podlubnikov na podlagi analize multispektralnih posnetkov.
2. Razvili smo model za spremljanje/zaznavanje sanacije žarišč podlubnikov s pomočjo multispektralnih posnetkov.
3. Izdelali smo študijo uporabe multispektralnih kamer pri ugotavljanju zdravstvenega stanja dreves ter njihova primernost za samostojno uporabo v javni gozdarski službi, vključno s predvidenimi stroški.
4. Razvili smo algoritme za določanje stopnje ogroženosti smreke in jelke zaradi podlubnikov v različnih ekoloških razmerah.
5. Razvili in validirali smo dva modela razvoja smrekovih podlubnikov v Sloveniji ter razvili smo sistem za samodejni izračun predvidenega začetka rojenja spomladi in datuma konca razvoja prve generacije, do katerega se spremlja ulov za osmerozobega in šesterozobega smrekovega lubadarja.
6. Vzpostaviti smo sistem obveščanja krajevnih in območnih enot Zavoda za gozdove Slovenije o pričetku rojenja in konca prve generacije osmerozobega in šesterozobega smrekovega lubadarja.

Delo je bilo organizirano v štiri delovne sklope: (1) Koordinacija; (2) Daljinsko zaznavanje; (3) Stopnja ogroženosti iglavcev; (4) Model razvoja smrekovih podlubnikov in sistem obveščanja. V DS2 smo uresničili cilje 1–3, v DS3 smo uresničili cilj 3, v DS4 smo uresničili cilja 4 in 5.

Projektna skupina in zahvala

V projektu so sodelovali in njegovo izvedbo omogočili naslednje sodelavke in sodelavci (po organizacijah):

- **Gozdarski inštitut Slovenije:**
dr. Nikica Ogris, dr. Andrej Kobler, dr. Maarten de Groot, dr. Mitja Ferlan, Boštjan Zupanc, dr. Andreja Kavčič, Jure Žlogar, mag. Špela Planinšek, Robert Krajnc, doc. dr. Matjaž Čater, Špela Jagodic
- **Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo:**
prof. dr. Maja Jurc, Roman Pavlin, doc. dr. Tine Hauptman, Danijel Borkovič
- **Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti:**
dr. Tatjana Veljanovski, Peter Pehani, dr. Žiga Kokalj
- **Zavod za gozdove Slovenije:**
Marija Kolšek, dr. Tomaž Šturm, Barbara Slabanja, Miha Zabret, Jože Kozjek, Anže Mihelič, Milan Podlogar, Matej Zamernik, mag. Mirko Perušek, Jože Oberstar, Tomaž Černe, Branko Krulič, Pavle Košir, Matjaž Pajnič, Lucija Odar, Vida Papler-Lampe, Peter Čadež, Katja Kunc, Klemen Zalokar, Robert Klančar, Matej Kozamernik, Gregor Senegačnik idr.

Zunanji sodelavci

- **Agencija RS za okolje:**
Neva Pristov, mag. Mojca Dolinar

Snemanje z brezpilotnimi letalniki in multispektralnimi kamerami so brezplačno omogočili:

- **C-Astral d.o.o.:** Jernej Moderc
- **ElevoX d.o.o.:** Janez Langus
- **Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire:** doc. dr. Milan Kobal
- **Geavis d.o.o.:** Rok Valič
- **Fachhochschule Kärnten:** Paulus Gernot

Poročilo o realizaciji programa dela na raziskovalnem projektu

DS1 Koordinacija

Odgovorna oseba DS1 je bila Nikica Ogris (GIS).

DS1 je skrbel za potek dela in zagotovitev predvidenih projektnih izsledkov / rezultatov v skladu z vsebinskim načrtom dela, časovnim načrtom ter v zadanih finančnih okvirih. To smo dosegli z naslednjimi aktivnostmi:

- redno poročanje financerjem / naročnikom projekta v skladu z veljavnimi predpisi in pogodbo;
- letni sestanki s predstavniki financerjev in uporabnikov projekta;
- redni sestanki raziskovalnega tima znotraj posamezne partnerske inštitucije in med partnerskimi inštitucijami.

Prvi sestanek projektne skupine smo izvedli 11. 10. 2016 na Gozdarskem inštitutu Slovenije. Na prvem sestanku je bilo 10 udeležencev. Vodja projekta dr. Nikica Ogris je predstavil program dela, časovni in finančni plan. Projekt smo predstavili tudi na 5. sestanku Skupine za obvladovanje biotskega ravnovesja in škodljivih organizmov v gozdovih, na povabilo Ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, dne 20. 10. 2016. Projekt s poudarkom na delovnem sklopu 2 (daljinsko zaznavanje) smo predstavili tudi na Regionalnem srečanju strokovnjakov na temo uporabe daljinskega zaznavanja v gozdarstvu, ponovno na povabilo MKGP, 2. 11. 2016. Ponovni sestanek celotnega raziskovalnega tima smo imeli 26. septembra 2017. Na sestanku je bilo 10 udeležencev iz GIS, BF, ZRC SAZU.

Rezultat aktivnosti DS1 so: (1) letna in vmesna poročila, (2) koordinacija / usklajevanje dela znotraj in med DS, (3) sestanki raziskovalnega tima, (4) vzpostavitev in posodabljanje spletne strani projekta, ki se nahaja na naslovu: <http://www.zdravgozd.si/projekti/podlubniki>. Vsebina spletne strani so: vsebinski opis projekta, financerji, sestava projektne skupine, financerji, opis delovnih sklopov in aktivnosti, rezultati projekta.

Rezultat DS1 je tudi organizacija in izvedba zaključna konferenca, kjer smo javno predstavili rezultate projekta. Zaključna konferenca se je odvila na Gozdarskem inštitutu Slovenije, 9. 10. 2019. Imela je 98 udeležencev. Od 9. do 15. ure smo izvedli 7 predavanj. Predavanja s konference smo objavili na spletni strani <https://www.zdravgozd.si/dogodki.aspx?iddogodek=19>. V sklepnem delu konference smo povzeli glavne rezultate projekta in podali predloge/smernice za nadaljnje raziskave in izboljšave:

- DS2: Daljinsko zaznavanje:
 - Kot najbolj obetavna smer nadaljnja smer razvoja se je izkazala uporaba posnetkov satelita Sentinel-2. Predlagali smo nadaljevanje projekta/nov projekt, v katerem bi razvili model zgodnjega zaznavanja žarišč podlubnikov in spremljanja sanacije žarišč na podlagi satelitskih posnetkov Sentinel-2 za raven cele Slovenije. Za to bi bilo potrebno sodelovanje več projektnih partnerjev: ZRC-SAZU (dobava in preobdelava posnetkov), GIS (razvoj modela), ZGS (zagotavljanje koordinat referenčnih lokacij žarišč).
 - Prikazane metode daljinskega zaznavanja so potencialno zelo uporabne tudi za zgodnje zaznavanje poškodb rastlin zaradi karantenskih škodljivih organizmov. Ugotovili smo, da posnetki Sentinel-2 s svojo ločljivostjo 20 m verjetno ne bodo dovolj in bi za ta namen bili bolj primerni letalski posnetki. Poleg tega je predlagana kombinacija z drugimi metodami zgodnjega zaznavanja, kot so feromonske vabe, zdravstveni pregledi ipd.

- Preskusiti različne vrste načina modeliranja in vključitev različnih spektralnih pasov ter njihovih kombinacij. Iskanje najustrežnejše kombinacije vrste modela in vhodnih parametrov.
- DS3: modela za oceno ogroženosti jelke/smreke zaradi podlubnikov bi bilo potrebno izboljševati, npr. dopolniti z dodatnimi spremenljivkami (npr. z redno sečnjo).
- DS4: fenološka modela RITY in CHAPY:
 - Razviti dodatno spletno aplikacijo kot pomoč za določitev roka za sanitarno sečnjo. Vhodni podatek v aplikacijo (model) bi bila: lokacija (XY), razvojna faza podlubnika. Aplikacija bi na podlagi vhodnih podatkov in modela RITY/CHAPY izračunala rok za sanitarno sečnjo smreke zaradi napada podlubnikov IT/PC.
 - Spletni aplikaciji za točkovno poizvedbo fenoloških modelov RITY in CHAPY bi lahko dopolnili z dodatnim vhodnim parametrom: čas dejanskega prvega rojenja in čas dejanskega prvega napada. Na podlagi tega podatka bi bil izračun modelov RITY in CHAPY še bolj točen, natančen in posledično zanesljivejši.

DS2 Daljinsko zaznavanje

Odgovorna oseba: Andrej Kobler

Udeležene inštitucije: GIS, ZRC-SAZU, ZGS.

Namen delovnega sklopa 2 (Daljinsko zaznavanje) je bil testirati in implementirati sistem spremljanja žarišč smrekovih in jelovih podlubnikov z daljinskim zaznavanjem na treh prostorskih ravneh od celotne Slovenije do gozdnega sestoja. Spremljanje žarišč podlubnikov z daljinskim zaznavanjem zajema odkrivanje žarišč, spremljanje njihovega širjenja in prikazovanje sanacije žarišč.

S spremljanjem žarišč v prostoru in času hkrati predstavlja dopolnitev obstoječih metod nadzora, nudi podporo odločanju o možnih ukrepih za zajezitev prenamnožitve podlubnikov in dopolnjuje nadzor nad učinkovitostjo sanacije žarišč.

Delovni sklop 2 je prispeval k uresničitvi naslednjih ciljev:

- preveriti uporabnost multispektralnih posnetkov gozdov za odkrivanje, spremljanje in prikazovanje žarišč podlubnikov ter prognoziranje razvoja žarišč podlubnikov in podajanje možnih ukrepov zoper prenamnožitve podlubnikov na podlagi analize multispektralnih posnetkov;
- vzpostavitev sistema nadzora nad učinkovitostjo sanacije žarišč pri širjenju podlubnikov s pomočjo multispektralnih posnetkov;
- študij uporabe multispektralnih kamer pri ugotavljanju zdravstvenega stanja dreves ter njihova primernost za samostojno uporabo v javni gozdarski službi, vključno s predvidenimi stroški.

V povezavi s temi cilji je bil delovni sklop 2 razdeljen na štiri aktivnosti:

- Aktivnost 2.1: Spremljanje žarišč smrekovih in jelovih podlubnikov s pomočjo satelitskih posnetkov
- Aktivnost 2.2: Spremljanje žarišč podlubnikov z brezpilotnim letalom ali ortokopterjem
- Aktivnost 2.3: Referenčni podatki iz terena
- Aktivnost 2.4: Spletna aplikacija

1.1 Aktivnost 2.1: Spremljanje žarišč smrekovih in jelovih podlubnikov s pomočjo satelitskih posnetkov

Odgovorna oseba: Andrej Kobler

Udeležene inštitucije: GIS, ZRC-SAZU

Izdelali smo modela za zaznavanje žarišč podlubnikov in njihove sanacije na državni oziroma in regionalni ravni iz velikopovršinskih večspektralnih in hiperspektralnih satelitskih podatkov srednje in nizke prostorske ločljivosti (regionalna raven: Sentinel 2 z ločljivostjo 20 m; državna raven: MODIS z ločljivostjo 250–1000 m). Modela sta bila v nadaljevanju osnova za izračun in prikaz časovne vrste kart intenzivnosti napada podlubnika v spletni aplikaciji na spletnem portalu za varstvu gozdov www.zdravgozd.si (Aktivnost 2.4). Časovni vrsti modelno izračunanih kart napadov podlubnikov sta bili od leta 2003 do 2018 za MODIS, za Sentinel-2 pa od začetka delovanja sistema leta 2015 do 2018.

Poleg zgoraj omenjenih modelov smo na podlagi podatkov Sentinel-2 izdelali tudi model za zaznavanje sanacije žarišč (poseka) in v spletni aplikaciji prikazali na osnovi modela izračunane karte sanacije žarišč smreke.

Vir podatkov za razvoj modelov so bili posnetki satelitov MODIS in Sentinel-2. Ta satelita trenutno predstavljata najboljšo kombinacijo spektralne, časovne in prostorske ločljivosti, brezplačnih surovih podatkov, v primeru MODIS pa tudi že obstoječe dolžine časovne serije. Zaradi prisotnosti oblakov je dejansko dosežena časovna ločljivost in s tem ažurnost zaznavanja žarišč slabša od teoretično možne časovne ločljivosti, ki znaša 1–2 dni pri MODIS in 5 dni pri Sentinel-2. Po podatkih ARSO za 1991–2006 delež oblačnih dni (nad 8/10) na primer v Kočevju med marcem in oktobrom znaša 16–44 % (povprečje 28 %). Zaradi učinka oblačnosti na ažurnost monitoringa (posebej pri Sentinel-2) in zaradi učinka relativno grobe prostorske ločljivosti (posebej pri MODIS) je satelitski monitoring predvsem namenjen proučitvi zmožnosti zaznavanja velikih žarišč in njihove sanacije (poseka) na državni in regionalni ravni.

Priprava satelitskih podatkov (geometrična, atmosferska in topografska korekcija, izdelava brezoblačnih kompozitov, mozaičenje) je bila izvedena s procesno verigo STORM (VESOLJE-SI in ZRC-SAZU).

Iz podatkov na ravni ploskev smo za Sentinel-2 izdelali model za zaznavanje žarišč in zaznavanje sanitarnega poseka s povezavo s sočasnimi referenčnimi podatki iz terena. V primeru MODIS smo na ravni kvadratnih kilometrov povzeli podatke javne gozdarske službe o preteklih sanitarnih sečnjah na ravni oddelkov/odsekov za vso Slovenijo (rezultat aktivnosti 2.3). V primeru Sentinel-2 so referenčne podatke predstavljali podatki iz sečno-spravnih manualov o označbi dreves za posek zaradi napada podlubnikov iz podatkovne zbirke xTi - evidenca poseka ZGS (rezultat aktivnosti 2.3). Vzorec za Sentinel-2 je bil zaradi relativno skromnih finančnih in logističnih zmogljivosti projekta omejen na dve GGE (Koče in Gotenica, OE Kočevje).

Rezultati aktivnosti:

- dva modela za zaznavanje letne količine sanitarnega poseka smreke zaradi podlubnikov in spremljanje dinamike razvoja (MODIS)
- model trenutne stopnje napadenosti (Sentinel-2)
- model za zaznavanje sanacije žarišč podlubnikov (Sentinel-2)
- podatki in vegetacijski produkti satelita MODIS za 2002–2018 in za območje Slovenije (sprotna obdelava in dostava za spletno aplikacijo) in satelita Sentinel-2 za 2015–2018 za območje GGE Koče in Gotenica

1.1.1 Dva modela za zaznavanje letne količine sanitarnega poseka smreke zaradi podlubnikov in spremljanje dinamike razvoja (MODIS)

Območje veljavnosti modela je celotno območje Slovenije. Ansambelski model v obliki random forest, sestavljen iz 100 regresijskih dreves, smo izdelali z odprtokodnim orodjem za strojno učenje CLUS 2.7 (<https://dtai.cs.kuleuven.be/clus/index.html>). Ciljna spremenljivka je bila letna količina sanitarnega poseka smreke zaradi podlubnikov, ki je bila za vsako leto med 2003 in 2017 povzeta na ravni kvadratnih kilometrov iz podatkov javne gozdarske službe o preteklih sanitarnih sečnjah na ravni oddelkov/odsekov za vso Slovenijo (rezultat aktivnosti 2.3). Pojasnjevalne spremenljivke so bile vrednosti časovne serije 23. (16-dnevni) kompozitov vegetacijskega indeksov NDVI in EVI ločljivosti 250 m, srednje mesečne vrednosti temperatur za vsak kvadratni kilometer, mesečne vrednosti padavinskega indeksa SPI za vsak kvadratni kilometer ter nadmorsko višino.

Vzorec za učenje modelov so sestavljali vsi piksli vseh letnih referenčnih kart sanitarnega poseka smreke, katerih vrednosti so bile večje od 0. Vsak vzorčni piksel je bil glede na leto svoje veljavnosti opremljen s časovno ustrezno vrsto satelitskih in meteoroloških podatkov. Vzorec je vseboval 34.066

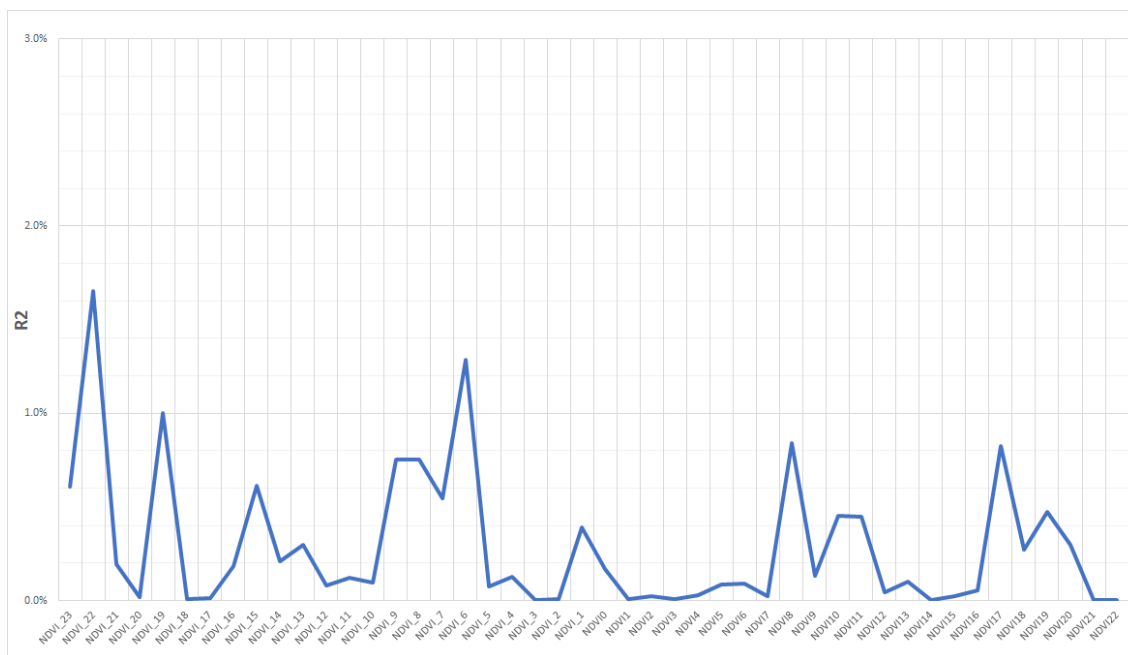
primerov s po 72 atributi. Točnost modelov na testnih podatkih smo ocenili z deset-kratnim navzkrižnim vzorčenjem iz trenažnih podatkov.

Izdelali smo dva modela. Oba imata prostorsko ločljivost en kvadratni kilometer in časovno ločljivost eno leto. Prostorska ločljivost je pogojena z najslabšo ločljivostjo vhodnih podatkov. Model 1 napoveduje stanje letošnje intenzivnosti napadov smrekovega podlubnika na podlagi lanskich satelitskih in meteoroloških podatkov ter lanske intenzivnosti napada. Vhodni podatki za model 1 so na voljo ob koncu lanskega leta, kar omogoča modelno napoved celoletne intenzivnosti napadov na samem začetku tekočega leta. S tem model 1 odločevalcem zmanjšuje negotovost pri odločanju na državni ravni. Pearsonov R modela 1 na testnih podatkih je 0,6075. Model 1 je na voljo na spletnem naslovu https://www.zdravgozd.si/projekti/podlubniki/slike/modis/modis_model1.zip.

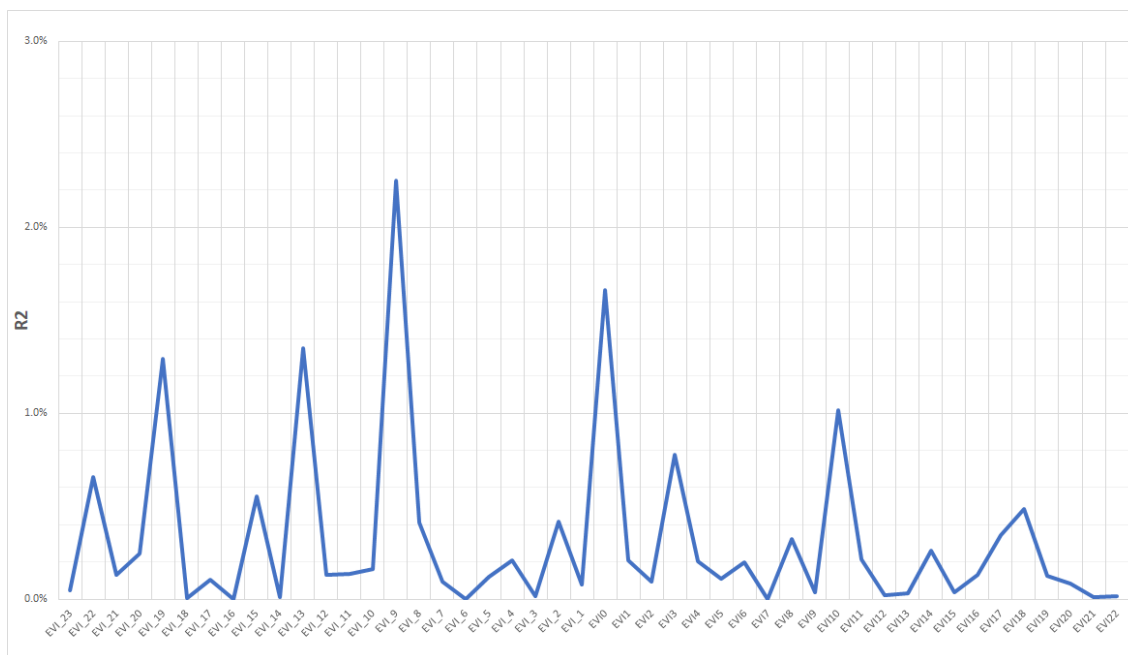
Model 2 napoveduje stanje lanske intenzivnosti napadov smrekovega podlubnika na podlagi lanskich satelitskih in meteoroloških podatkov. Od modela 1 torej razlikuje po tem, da beleži količino sanitarnega poseka smreke za preteklo in ne tekoče leto. Namenjen je za spremljanje dinamike sanitarnega poseka smreke kot (domnevno manj točna a cenejša) alternativa evidencam ZGS. Pearsonov R modela 2 na testnih podatkih je 0,6077. Model 2 je na voljo na spletnem naslovu https://www.zdravgozd.si/projekti/podlubniki/slike/modis/modis_model2.zip.

Implementacija obeh modelov, ki služi za izračun vsakoletnih modelnih kart, je bila napisana v jeziku Python v izvirnem orodju Modis_arff. V to orodje smo vključili tudi funkcije, ki omogočajo hitro izdelavo novih trenažnih vzorcev v primeru rekaliibracije modelov z dodatnimi novimi podatki ter funkcijo za reklasifikacijo modelnih kart. Slednja funkcija je namenjena percentilni reklasifikaciji modelnih kart. Ta vse piksele na karti razvrsti po vrednosti napovedanega sanitarnega poseka in jih nato prerazporedi v percentilne razrede 0–50 %, 50–75 %, 75–87,5 % in tako naprej. S tem naredi modelne karte vizualno lažje primerljive med različnimi leti. Percentilno reklasificirane modelne karte sanitarnega poseka smreke so dosegljive na spletnem naslovu <https://www.zdravgozd.si/projekti/podlubniki/modis.aspx>.

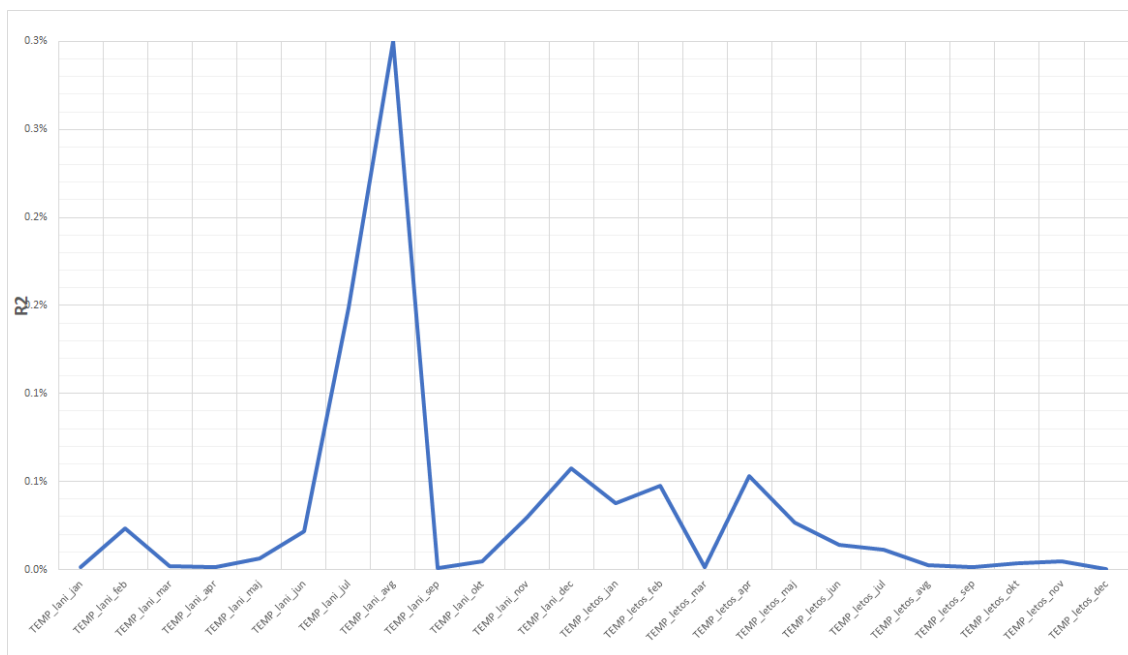
Analizirali smo prispevek posameznih vhodnih podatkov k modeloma. Za model 1 podatki MODIS razložijo večji del variabilnosti skupnega letnega sanitarnega poseka smreke na ravni kvadratnega kilometra kot vremenski podatki, EVI pa več od NDVI in povprečna mesečna temperatura več od padavinskega indeksa SPI. Od vegetacijskih indeksov je s sanitarnim posekom najbolj povezan EVI iz avgusta prejšnjega leta (glede na leto napovedi sanitarnega poseka), od meteoroloških podatkov pa povprečna mesečna temperatura lanskega avgusta. Tudi za model 2 velja, da podatki MODIS razložijo večji del variabilnosti kot vremenski podatki, EVI pa več od NDVI. Najbolj poveden vegetacijski indeks je EVI iz začetka januarja tekočega leta, najbolj poveden meteorološki podatek pa julijski SPI tekočega leta (Slika 1, Slika 2, Slika 3, Slika 4).



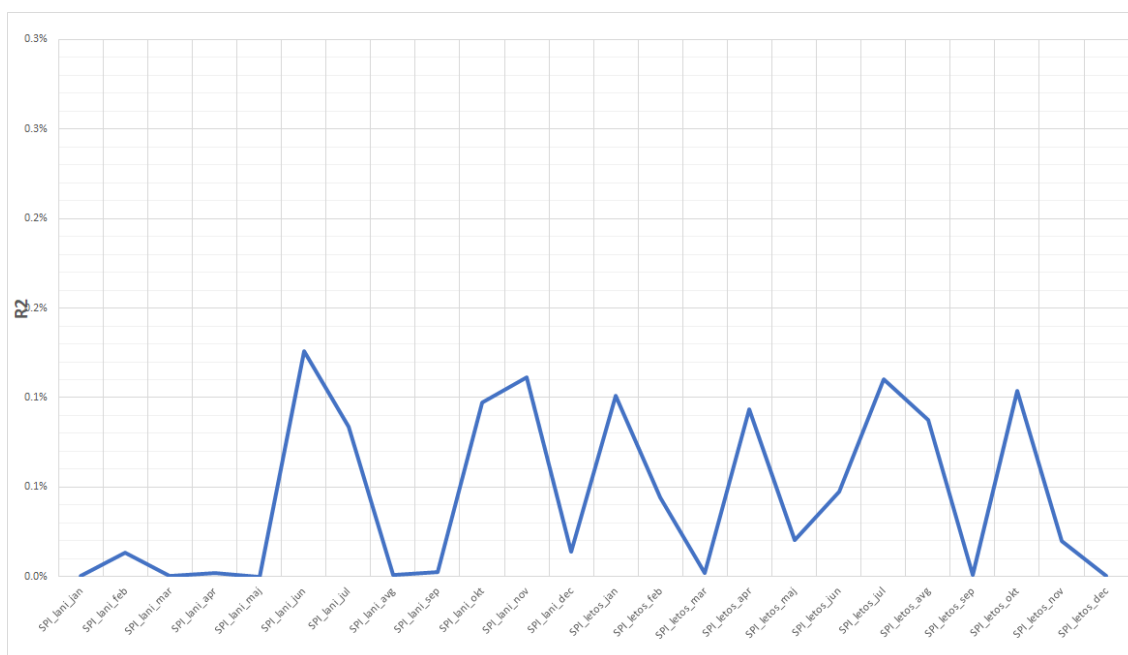
Slika 1: Delež pojasnjene variance skupnega letnega sanitarnega poseka smreke zaradi podlubnikov za vegetacijske indekse NDVI v časovni vrsti od začetka prejšnjega leta (glede na leto napovedi) do konca tekočega leta. Obrazila v imenih vegetacijskih indeksov gredo od -23 (za 1. januar preteklega leta) s 16-dnevnimi intervali do -1 (za 19. december preteklega leta) in od 0 (za 1. januar tekočega leta) s 16-dnevnimi intervali do 22 (za 19. december tekočega leta).



Slika 2: Delež pojasnjene variance skupnega letnega sanitarnega poseka smreke zaradi podlubnikov za vegetacijske indekse EVI v časovni vrsti od začetka prejšnjega leta (glede na leto napovedi) do konca tekočega leta. Obrazila v imenih vegetacijskih indeksov gredo od -23 (za 1. januar preteklega leta) s 16-dnevnimi intervali do -1 (za 19. december preteklega leta) in od 0 (za 1. januar tekočega leta) s 16-dnevnimi intervali do 22 (za 19. december tekočega leta).



Slika 3: Delež pojasnjene variance skupnega letnega sanitarnega poseka smreke zaradi podlubnikov za povprečne mesečne temperature v časovni vrsti od začetka prejšnjega leta (glede na leto napovedi) do konca tekočega leta.

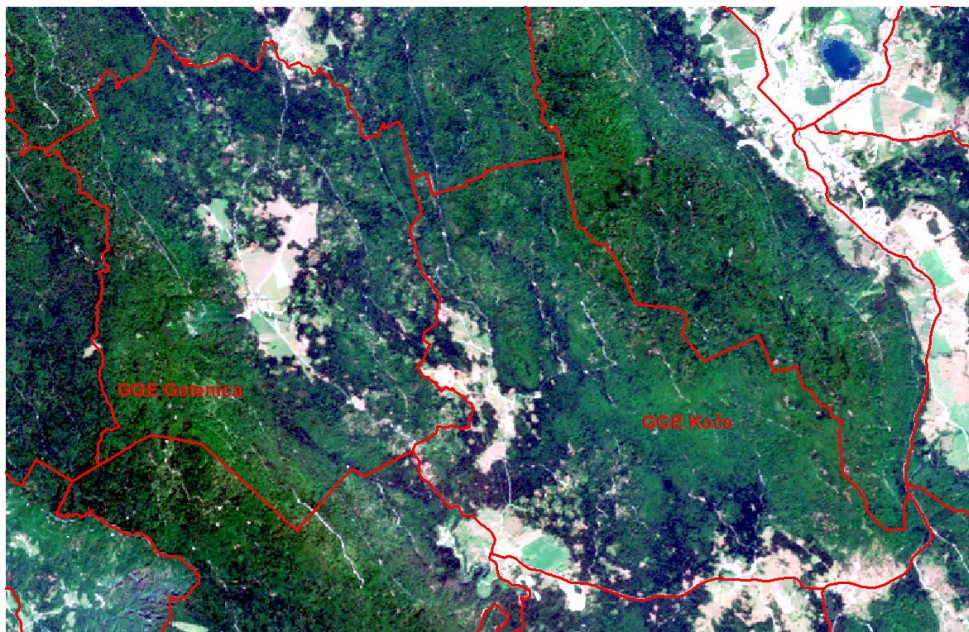


Slika 4: Delež pojasnjene variance skupnega letnega sanitarnega poseka smreke zaradi podlubnikov za povprečne mesečne vrednosti padavinskega indeksa SPI v časovni vrsti od začetka prejšnjega leta (glede na leto napovedi) do konca tekočega leta.

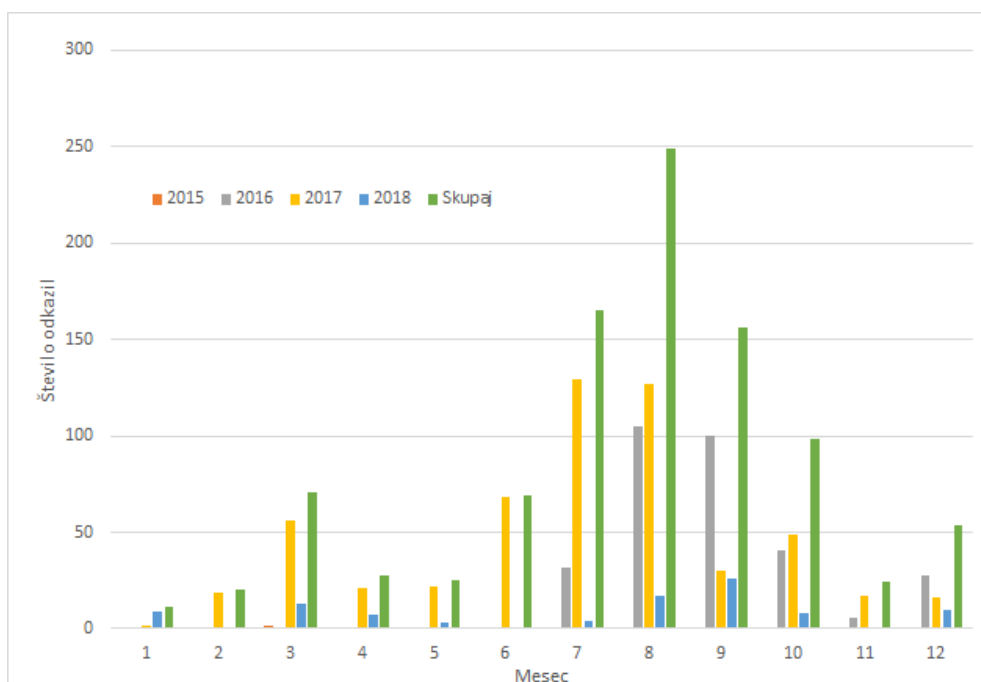
1.1.2 Model trenutne stopnje napadenosti (Sentinel-2)

Zaradi omejenih finančnih in logističnih zmogljivosti pri zbiranju referenčnih podatkov za trenajo modela, smo se omejili na očitran pravokotnik dveh GGE (Koče in Gotenica, OE Kočevje - Slika 5). Ansambelski model v obliki random forest, sestavljen iz 100 regresijskih dreves, smo izdelali z odprtokodnim orodjem za strojno učenje CLUS 2.7 (<https://dtai.cs.kuleuven.be/clus/index.html>). Ciljna spremenljivka je bila količina odkazanega sanitarnega poseka smreke zaradi podlubnikov,

izražena v kubikih in v številu dreves. Ta podatek je bil povzet iz podatkovne zbirke xTi (evidenca poseka ZGS). Upoštevali smo le tiste zapise v podatkovni zbirki, ki imajo zabeležene koordinate lokacije žarišča. Takih je bilo za analizirano obdobje med leti 2015 do 2018 v študijskem območju 977 oziroma 33 % vseh (Slika 6). Za primerjavo - na ravni Slovenije ta podatek znaša 10 %.



Slika 5: Študijsko območje za testiranje modelov na podlagi podatkov Sentinel_2, GGE Koče in Gotenica, OE Kočevje. Kompozitna RGB slika Sentinel-2, posneta 4. avgusta 2017.



Slika 6: Časovna porazdelitev označb smreke za sanitarni posek zaradi podlubnikov na študijskem območju v letih 2015 do 2018. Upoštevana so le odkazila s koordinatami lokacije.

Satelitski sistem Sentinel-s sestavljata dva satelita, Sentinel-2A in Sentinel-2B, vsak s povratnim časom 10 dni, skupni povratni čas pa je 5 dni. Pojasnjevalne spremenljivke so bile vrednosti sočasne multispektralne slike satelita Sentinel-2. Ta satelitski sistem ponuja slike ločljivosti 10 m v štirih delih spektra - modri, zeleni, rdeči in bližnji infrardeči - NIR. Pri ločljivosti 20 m pa ponuja podatke še v dodatnih šestih delih spektra - NIR2, red_edge1, red_edge2, red_edge3, SWIR1, SWIR2 (Preglednica 1). Zaradi boljše spektralne ločljivosti in širšega spektralnega obsega smo izbrali 20-metrsko prostorsko ločljivost. Dodatno smo za vsako sliko izračunali še vegetacijska indeksa NDVI in EVI, med pojasnjevalne spremenljivke pa smo vključili še zaporedni dan odkazila v letu (s čimer smo aproksimirali sezonski vpliv) in starost satelitske slike glede na datum odkazila (s čimer smo aproksimirali vpliv dinamike napada pred dnevom odkazila).

Preglednica 1: Primerjava slikovnih kanalov sistema Sentinel-2

Slikovni kanali	Sentinel-2A		Sentinel-2B		Prostorska ločljivost (m)
	Srednja valovna dolžina (nm)	Širina pasu (nm)	Srednja valovna dolžina (nm)	Širina pasu (nm)	
Band 1 - Obalni aerosol	442,7	21	442,2	21	60
Band 2 - Modri	492,4	66	492,1	66	10
Band 3 - Zeleni	559,8	36	559	36	10
Band 4 - Rdeči	664,6	31	664,9	31	10
Band 5 - Vegetation red edge	704,1	15	703,8	16	20
Band 6 - Vegetation red edge	740,5	15	739,1	15	20
Band 7 - Vegetation red edge	782,8	20	779,7	20	20
Band 8 - NIR	832,8	106	832,9	106	10
Band 8A - Ozki NIR	864,7	21	864	22	20
Band 9 - Vodna para	945,1	20	943,2	21	60
Band 10 - SWIR - Cirrus	1373,5	31	1376,9	30	60
Band 11 - SWIR	1613,7	91	1610,4	94	20
Band 12 - SWIR	2202,4	175	2185,7	185	20

Primerjalno smo izdelali vrsto različnih vzorcev za učenje modela in z vsakim izdelali poseben model. Za končni model smo izbrali tisti vzorec podatkov, ki je dal napovedi, ki so najbolj korelirale s testnimi podatki. Vzorce smo sestavili glede na dva parametra:

- časovni horizont pojasnjevalnih satelitskih podatkov glede na datum odkazila: za vsako odkazilo smo poiskali časovno najbližji satelitski podatek v petih časovnih horizontih - od 0 do 5 dni pred odkazilom, od 0 do 10 dni, od 10 do 20 dni, od 20 do 30 dni in od 30 do 40 dni pred odkazilom;
- polmer zajema satelitskih podatkov okoli lokacije odkazila: za vsako odkazilo smo upoštevali slikovne piksele v treh polmerih - piksel na lokaciji odkazila, okolica lokacije 3 x 3 piksele in okolica 5 x 5 pikselov. Z upoštevanjem tudi pikselov v okolici lokacije namesto piksla na sami lokaciji odkazila smo skušali upoštevati vpliv netočnih GPS lokacij in neničelne velikosti žarišča.

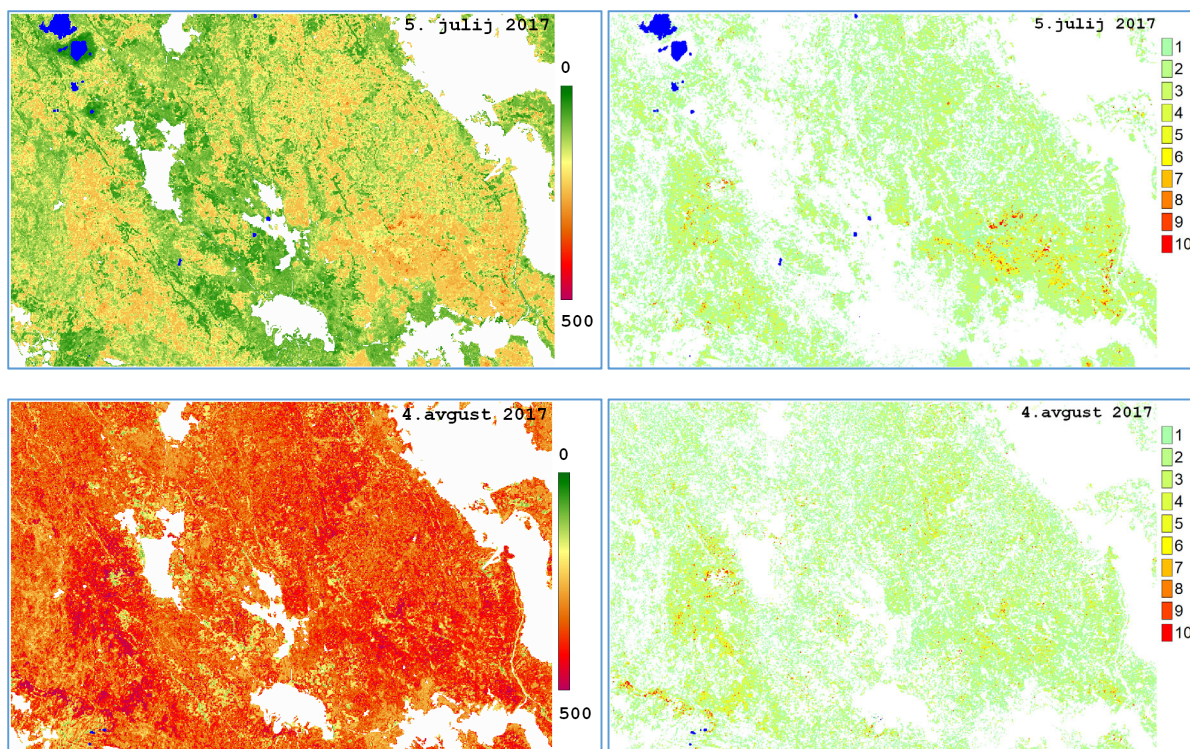
Preden je bil posamezen piksel izbran v vzorec, smo preverili ali je na območju pod oblaki (Sentinel-2 kot poseben slikovni kanal ponuja tudi masko oblakov, snega in drugih neveljavnih delov slike) in ali je znotraj gozda. Kot masko gozda smo upoštevali razred s kodo 2000 zbirke podatkov kmetijske rabe tal (MKGP). Število pikselov v posameznem vzorcu je segalo od 435 (pri vzorcu pikselov na lokaciji odkazila in časovnem horizontu 0 do 5 dni) do 20039 (pri okolici 5 x 5 pikselov in časovnem vzorcu 0 do 10 dni). Število pojasnjevalnih atributov v vsakem vzorcu je bilo 14. Točnost modelov na testnih

podatkih smo ocenili z deset-kratnim navzkrižnim vzorčenjem iz trenažnih podatkov. Primerjava različnih načinov vzorčenja je pokazala, da najboljši model dobimo s trenažo na vzorcu s časovnim horizontom 0 do 10 dni in zajemom 5 x 5 pikslov v okolici lokacije odkazila (Preglednica 2). Model napoveduje število prizadetih dreves s Pearsonovo korelacijo 0,78, količino prizadetega lesa pa z 0,82, oboje ocenjeno na neodvisnih testnih podatkih. Model je dosegljiv na spletnem naslovu <https://www.zdravgozd.si/projekti/podlubniki/slike/sentinel/model.zip>.

Preglednica 2: Pearsonov koeficient korelacije modelnih rezultatov s testnimi podatki za število odkazanih dreves in količino odkazanega lesa glede na časovni horizont zajema satelitskih podatkov (od datuma odkazila) in glede na širino upoštevanega slikovnega območja okoli lokacije odkazila. Izbran trenažni vzorec ima poudarjene vrednosti korelacij. Podane so tudi velikosti trenažnih vzorcev.

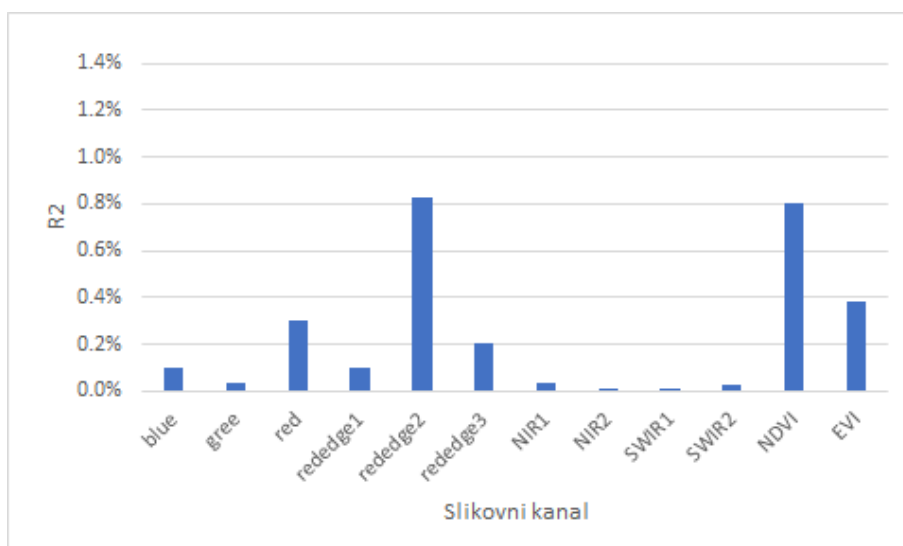
Časovni horizont (dni)	0 do 5			0 do 10			10 do 20			20 do 30			30 do 40		
	Št. drev.	Vol. lesa (m ³)	Vel. vzorca	Št. drev.	Vol. lesa (m ³)	Vel. vzorca	Št. drev.	Vol. lesa (m ³)	Vel. vzorca	Št. drev.	Vol. lesa (m ³)	Vel. vzorca	Št. drev.	Vol. lesa (m ³)	Vel. vzorca
Piksel na lokaciji odkazila	0,43	0,50	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

Model ima prostorsko ločljivost enako vhodnim podatkom, to je 20 m. Ker je bil kalibriran na satelitskih podatkih, kvečjemu 10 dni starejših od datuma posameznega odkazila, omogoča časovno zelo ažuren nadzor napadov podlubnikov, še posebej če upoštevamo časovno ločljivost sistema Sentinel-2, ki je 5 dni. Omejitev pri tem pa je lahko oblačnost na satelitski sliki. Slabost modela je, da daje pesimistične napovedi, kar je posledica dejstva, da so v učnem vzorcu le podatki, kjer je stopnja napadenosti (za katero predpostavljamo, da je enaka velikost odkazila) večja od 0. To slabost smo v določeni meri odpravili v naslednjem koraku, to je percentilni reklasifikaciji modelnih kart. Ta je del implementacije modelov v izvirnem orodju Sentinel_odkazilo_arff. V to orodje smo vključili tudi funkcije, ki omogočajo hitro izdelavo novih trenažnih vzorcev v primeru rekaliibracije modelov z dodatnimi novimi podatki ter funkcijo za reklasifikacijo modelnih kart. Slednja funkcija je namenjena percentilni reklasifikaciji modelnih kart. Ta vse piksele na karti razvrsti po vrednosti napovedanega sanitarnega poseka in jih nato prerazporedi v percentilne razrede 0–50 %, 50–75 %, 75–87,5 % in tako naprej. S tem naredi modelne karte vizualno lažje primerljive med različnimi datumi, poleg tega pa vizualno odpravijo pesimistični bias modelnih kart (Slika 7). Percentilno reklasificirane modelne karte odkazila smreke za leta 2016 do 2018 so dosegljive na spletnem naslovu <https://www.zdravgozd.si/projekti/podlubniki/sentinel2.aspx>.

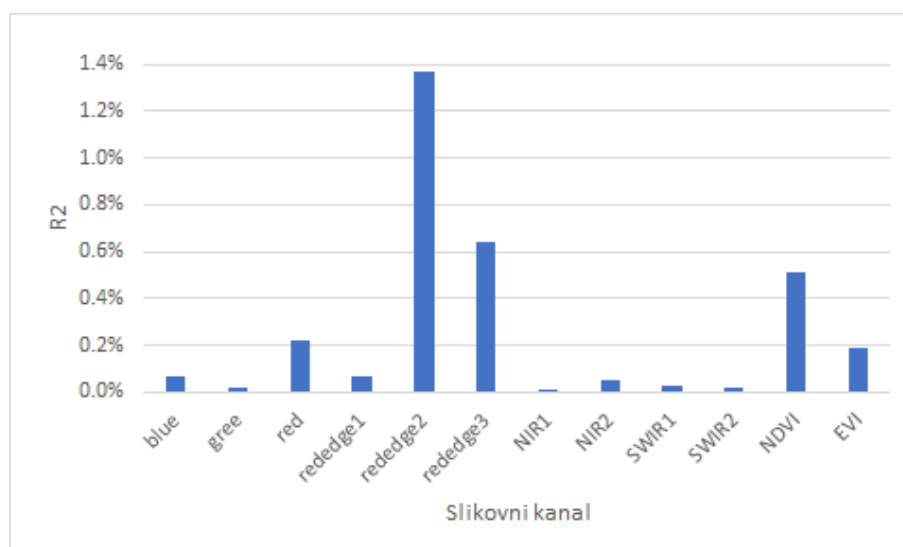


Slika 7: Učinek percentilne reklasifikacije modelnih kart volumna odkazanega lesa. V levem stolpcu sta modelni karti volumna odkazanega lesa v kubičnih metrih za dva različna datuma. V desnem stolpcu sta vizualno lažje berljivi in bolj primerljivi percentilno reklasificirani karti z legendo, ki prikazuje percentilne razrede levih dveh kart. Razred 1 prikazuje 50% najmanj ogroženih površin, razred 2 prikazuje naslednjih 25% površin, rangiranih po ogroženosti, razred 3 naslednjih 12.5% in tako naprej. Na vseh štirih kartah modra barva prikazuje označuje oblake, bela pa negozd.

Analizirali smo prispevek posameznih vhodnih podatkov k modelu. Tako za število odkazanih dreves (Slika 8) kot tudi za odkazan volumen lesa (Slika 9) sta najbolj povedna slikovni kanal red_edge2 in vegetacijski indeks NDVI.



Slika 8: Delež pojasnjene variance sanitarno odkazanega števila dreves za posamezne slikovne kanale Sentinel-2.



Slika 9: Delež pojasnjene variance sanitarno odkazanega volumna lesa za posamezne slikovne kanale Sentinel-2.

1.1.3 Model za zaznavanje sanacije žarišč podlubnikov (Sentinel-2)

Za kalibracijo modela zaznavanja sanacije žarišč smo uporabili isto študijsko območje in iste referenčne podatke o odkazilih kot za model trenutne stopnje napadenosti (Poglavje Model trenutne stopnje napadenosti (Sentinel-2)), le dodatno smo uporabili podatek o datumu poseka.

Ansambelski model v obliki random forest, sestavljen iz 100 regresijskih dreves, smo izdelali z odprtokodnim orodjem za strojno učenje CLUS 2.7 (<https://dtai.cs.kuleuven.be/clus/index.html>). Ciljna spremenljivka je bila binarna - prisotnost poseka (da/ne).

Pojasnjevalne spremenljivke so bile spektralne vrednosti zadnjega satelitskega posnetka Sentinel-2 pred odkazilom (čas T0) in prvega satelitskega posnetka Sentinel-2 po poseku (čas T1). Za vsako sliko smo izračunali še vegetacijska indeksa NDVI in EVI, tako da je imel vsak zapis v trenažnem vzorcu 12 pojasnjevalnih podatkov za T0 in 12 za T1. Zbirka podatkov xTi vsebuje lokacije posekov, torej pozitivnih primerov v vzorcu za učenje modela prisotnosti poseka (da/ne). Slikovne piksele ta čas T0 in za T1 smo vzorčili na enak način, kot pri vzorčenju za trenažo modela trenutne stopnje napadenosti: v treh različnih polmerih okoli lokacije odkazil / prevzema, upoštevajoč le piksele, ki so znotraj gozda in niso pod oblaki. Pri maskiranju oblakov smo upoštevali obe maski hkrati - za T0 in za T1.

Negativne primere za trenažni vzorec smo ustvarili po naslednjem algoritmu:

1. Okoli lokacije vsakega pozitivnega primera smo ustvarili izključitveno območje s polmerom 100 m. Potencialne lokacije za negativne primere smo slučajnostno izbirali znotraj preostalega gozda (koda 2000 znotraj zbirke podatkov kmetijske rabe MKGP).
2. Slučajnostno smo izbrali eno od let med 2016 in 2018 in znotraj izbranega leta kot hipotetični datum sanitarnega odkazila slučajnostno izbrali datum med začetkom marca in koncem oktobra. Ta sezonski interval smo prevzeli glede na zabeleženo časovno porazdelitev sanitarnih odkazil v študijskem območju (Slika 6). Hipotetični datum poseka smo določili 45 dni po hipotetičnem odkazilu. 45 dni je povprečni časovni interval med odkazilom in posekom v uporabljenih podatkih sanitarnih odkazil v študijskem območju.
3. Za vsak negativni primer smo izbrali zadnjo satelitsko sliko pred hipotetičnim datumom odkazila in prvo po hipotetičnem datumu poseka. Na lokaciji odkazila / poseka smo nato iz teh dveh slik vzorčili slikovne piksele za T0 in za T1 na enak način kot za pozitivne primere.

4. Korake (1) do (3) smo ponavljali, dokler ni bilo število negativnih primerov v vzorcu enako številu pozitivnih primerov.

Preglednica 3: Matrike napak modela posekov (sanacije žarišč) glede na način vzorčenja ter iz njih izračunani točnosti modelov. Matrike napak so določene glede na testni vzorec.

Na lokaciji	Napovedano stanje		Vsota
Dejansko stanje	208	54	262
	56	213	269
Vsota	264	267	531

Točnost napovedi = 79,3%

Okolica 3x3	Napovedano stanje		Vsota
Dejansko stanje	2171	192	2363
	277	2119	2396
Vsota	2448	2311	4759

Točnost napovedi = 90,1%

Okolica 5x5	Napovedano stanje		Vsota
Dejansko stanje	6201	476	6677
	656	5957	6613
Vsota	6857	6433	13290

Točnost napovedi = 91,5%

Glede na polmer zajema satelitskih podatkov (piksel na lokaciji odkazila, okolica lokacije 3 x 3 piksele in okolica 5 x 5 pikselov) smo primerjalno izdelali tri različne vzorce za učenje modela in z vsakim izdelali poseben model. Število pikselov v posameznem vzorcu je segalo od 531 do 13290. Za končni model smo izbrali model na podlagi vzorčenja slike v okolici 3 x 3 piksele in točnostjo klasifikacij 90,1%, kot optimalen kompromis med prostorsko podrobnostjo in točnostjo napovedi (Preglednica 3).

Model je dosegljiv na spletnem naslovu

https://www.zdravgozd.si/projekti/podlubniki/slike/sentinel_posek/model.zip.

Z modelom smo izračunali vrsto kart poseka na študijskem območju za trimesečne intervale med junijem 2016 in oktobrom 2018. Model ima prostorsko ločljivost enako vhodnim podatkom, to je 20 m. V primeru rekaliibracije s podatki za širše območje in daljše obdobje bi omogočal ažurno in neodvisno spremljanje sanitarnih posekov v poljubnem območju in obdobju. Omejitev pri tem pa je lahko oblačnost na uporabljenih parih satelitskih slik.

Implementacija modela, ki služi za izračun modelnih kart, je bila napisana v jeziku Python v izvirnem orodju Sentinel_posek_arff. V to orodje smo vključili tudi funkcije, ki omogočajo hitro izdelavo novih trenajnih vzorcev v primeru rekaliibracije modelov z dodatnimi novimi podatki ter funkcijo za reklasifikacijo modelnih kart. Slednja funkcija je namenjena percentilni reklasifikaciji modelnih kart. Ta vse piksele na karti razvrsti po vrednosti napovedanega sanitarnega poseka in jih nato prerazporedi v percentilne razrede 0–50 %, 50–75 %, 75–87,5 % in tako naprej. S tem naredi modelne karte vizualno lažje primerljive med različnimi datumi. Percentilno reklasificirane modelne karte odkazila smreke so dosegljive na spletnem naslovu

https://www.zdravgozd.si/projekti/podlubniki/sentinel2_posek.aspx.

1.1.4 Podatki in vegetacijski produkti satelita MODIS za 2002–2018 in za območje Slovenije (sprotna obdelava in dostava za spletno aplikacijo) in satelita Sentinel-2 za 2015–2018 za območje GGE Koče in Gotenica

Projektni partner ZRC SAZU je sproti pripravljala in dostavljala satelitske podatke za proučevanje žarišč napada podlubnikov. Za leta 2016–2019 je iz javnih repozitorijev satelitskih podatkov prevzel in obdelal podatke satelita MODIS (s satelitom upravlja NASA) za celotno območje Slovenije in podatke satelita Sentinel-2 (s satelitom upravlja ESA), za območje dveh gozdno gospodarskih enot na Kočevskem (GGE Gotenica in GGE Koče). Satelitske podatke so obdelali do te mere, da so lahko neposredno uporabljeni in združljivi z drugimi podatki v državnem koordinatnem sistemu.

Osnovni vir informacij so satelitski podatki satelitov Sentinel-2, ki so bili nedavno izstreljeni v okviru programa Kopernik. Velika količina prosto in hitro dostopnih podatkov, ki jih ti sateliti zagotavljajo, daje nepredstavljivo bogastvo informacij. Pomembno je tudi dejstvo, da je že odobreno financiranje naslednje generacije satelitov, kar zagotavlja dostop do informacij na dolgi rok. V projektu smo uporabili podatke satelitov Sentinel-2 (od 2015, optični, časovno in prostorsko visokoločljivi), predvsem za podrobnejše študije zmožnosti uporabe teh podatkov za odkrivanje prizadetosti oziroma napadenosti gozdov s podlubniki. Za zagotovitev dolge časovne vrste pa smo uporabili tudi podatke senzorja MODIS Nasinih satelitov Terra in Aqua (dostopni od leta 2000, optični, časovno zelo visoko ločljivi, prostorsko nizko ločljivi). Prostorska ločljivost naštetih satelitov je torej med 10 m in 1000 m, čas ponovnega obiska pa je med enim in tremi dnevi za par satelitov.

Za območje celotne Slovenije smo uporabili obstoječe prosto dostopne in brezplačne podatkovne vire optičnega satelita MODIS. Preznamemo jih preko enega izmed repozitorijev ameriške agencije United States Geological Survey (USGS), običajno preko sestavljanja večjih (t.i. bulk) naročil v formatih CSV ali XML. Produkta MODIS prenesemo v lokalno zbirko podatkov, ta obsega več kot 5000 različnih produktov za obdobje 2000–2018, nato pa z algoritmom za obdelavo MODIS produktov opravimo projekcijo v državni koordinatni sistem (GK projekcija), izvedemo združitev oz. mozaičenje dveh sosednjih granul skupaj z izrezom na območje Slovenije ter vegetacijske produkte opremimo še z masko oblakov in drugih, z vidika vegetacije neveljavnih vrednosti. Naše glavno orodje za razvoj MODIS produktov je EXELIS ENVI + IDL, zato je bila večina obdelave napisana v programu IDL.

Vhodni podatek je MODIS-ov produkt MCD15A3H. Gre za globalni 4-dnevni kompozitni produkt za fAPAR in LAI. Produkt je kombiniran iz obeh MODIS-ovih satelitov Terra in Aqua, v ločljivosti 500 m ter sinusoidalni projekciji.

Za Slovenijo je bilo od julija 2002 do konca leta 2018 na voljo 3030 produktov MCD15A3H, verzija obdelave 006 (to je trenutno aktualna verzija procesne verige pri USGS oz. NASA).

Koraki obdelave so bili naslednji:

1. reprojekcija: sinusoidalna => WGS84 => državni koordinatni sistem D48GK
2. prevzorčenje: 500 m => 250 m (z Nearest Neighbour)
3. mozaičenje: obe granul iz MODIS-ove mreže (h18v04 in h19v04) v skupno datoteko
4. prostorski izrez: Slovenija z baferjem
5. spektralni izrez: 6 kanalov => 4 kanali => 2 kanala (fAPAR, LAI)
6. format in enote: Byte => Float (vrednosti so dejanske fizikalne vrednosti)
7. maskiranje neveljavnih vrednosti: vsem neveljavnim pikslom (oblaki, ne-vegetacija, morje, sneg, urbano, slaba kakovost) je dodeljena vrednost -2,0.

Izhodni podatek je 1515 datotek MCD15A3_YYYYMMDD_4DAYS_FAPAR_LAI.TIF za obdobje od julija 2002 do konca leta 2018, ločljivosti 250 m, v državnem koordinatnem sistemu D48GK. Datum

veljavnosti je naveden v imenu datoteke (MCD15A3_YYYYMMDD_...) in pomeni, da je bil podatek zajet na navedeni dan oziroma 1, 2 ali 3 dni kasneje.

Vrednosti pikslov po obeh izhodnih kanalih so naslednje:

- kanal 1: fAPAR, fizikalne vrednosti 0,0 do 1,0, no-data vrednost –2,0;
- kanal 2: LAI, fizikalne vrednosti 0,0 do 10,0, no-data vrednost –2,0.

Možne nadgradnje v postopku obdelave:

- Dodati sloj, ki za vsak piksel javlja kakovost (pet-stopenjska lestvica *SCF_QC*; to so biti 5–7 v sloju *FparLAI_QC*).
- Upoštevanje drugih parametrov kakovosti za vsak piksel (opomba: se pa izdatno pokrivajo z že uporabljenimi parametri).

Vhodni podatek sta MODIS-ova produkta MOD13Q1 in MYD13Q1. Gre za globalna 16-dnevna produkta za indeksa NDVI in EVI. Produkta se proizvajata ločeno za vsakega od obeh MODIS satelitov (zajemi od satelita Terra so podani v MOD13Q1, zajemi od satelita Aqua pa v MYD13Q1), v ločljivosti 250 m ter sinusoidalni projekciji.

Kompoziti MYD13Q1 se izdelujejo z osem-dnevnim zamikom glede na MOD13Q1 (MOD13Q1: 1., 17., ...; MYD13Q1 pa 9., 25., ...). Glej še zadnjo alinejo točke Možne nadgradnje.

Za Slovenijo je bilo do konca leta 2018 na voljo 868 produktov MOD13Q1 (začeni s februarjem 2000) ter 760 produktov MYD13Q1 (začeni s julijem 2002), oboje verzija obdelave 006 (to je trenutno aktualna verzija procesne verige pri USGS oz. NASA).

Koraki obdelave so bili naslednji:

1. reprojekcija: sinusoidalna => WGS84 => državni koordinatni sistem D48GK
2. prevzorčenje: 500 m => 250 m (z Nearest Neighbour)
3. mozaičenje: obe granuli iz MODIS-ove mreže (h18v04 in h19v04) v skupno datoteko
4. prostorski izrez: Slovenija z baferjem
5. spektralni izrez: 12 kanalov => 4 kanali => 2 kanala (NDVI, EVI)
6. format in enote: 16-bit Integer => Float (vrednosti so dejanske fizikalne vrednosti)
7. maskiranje neveljavnih vrednosti: vsem neveljavnim pikslom (oblaki, morje, sneg, slaba kakovost) je dodeljena vrednost –2,0.

Izhodni podatek je 434 datotek MYD13Q1_YYYYMMDD_16DAYS_NDVI_EVI.TIF za obdobje od februarja 2000 do konca leta 2018, ter 380 datotek MYD13Q1_YYYYMMDD_*.TIF za obdobje od julija 2002 do konca leta 2018, ločljivosti 250 m, v državnem koordinatnem sistemu D48GK. Datum veljavnosti, naveden v imenu datoteke, pomeni, da je bil podatek zajet na navedeni dan oziroma 1, 2, 3 ... 14 ali 15 dni kasneje (torej v intervalu od DD do DD+15, če zapišemo poenostavljeno; v resnici je treba upoštevati še preskok meseca).

Vrednosti pikslov po obeh izhodnih kanalih so naslednje:

- kanal 1: NDVI, fizikalne vrednosti –0,2 do 1,0, no-data vrednost –2,0;
- kanal 2: EVI, fizikalne vrednosti –0,2 do 1,0, no-data vrednost –2,0.

Možne nadgradnje:

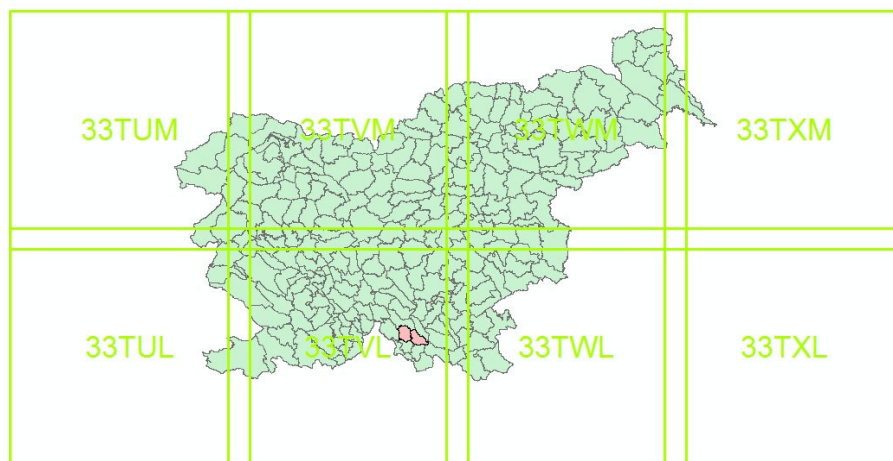
- Dodati sloj, ki za vsak piksel javlja kakovost (enajst-stopenjska lestvica VI Usefulness; to so biti 2–5 v sloju VI Quality).

- Upoštevanje drugih parametrov kakovosti za vsak piksel (opomba: se pa izdatno pokrivajo z že uporabljenimi parametri).
- Dodati sloj, ki za vsak piksel kaže, kateri dan je bil piksel zajet. To je važno zaradi dolgega intervala kompozita. Ker je interval 16-dnevni, se namreč lahko zgodi, da je med sosednjima podatkom 2 dni (preblizu) ali pa 30 dni (predaleč narazen).

Za obe dogovorjeni območji GGE Gotenica in GGE Koče smo uporabili obstoječe prosto dostopne in brezplačne podatkovne vire optičnega satelita Sentinel-2 (S-2). Delo s časovnim nizom S-2 podatkov vključuje obdelavo velikih količin podatkov. Prevezamo jih preko skupnega repozitorija Evropskega programa Kopernik in Evropske vesoljske agencije, Copernicus Open Acces hub (<https://scihub.copernicus.eu/>). Uporabljamo način dostopa API hub, za redni masovni prevzem podatkov satelita Sentinel-2. Produkta Sentinel-2 prenesemo v lokalno zbirko podatkov, ta obsega več kot 2800 granul za obdobje 2015–2018, nato pa z avtomatsko procesno verigo STORM (ZRC SAZU) opravimo projekcijo v državni koordinatni sistem (GK projekcija) ter izračunamo radiometrične popravke.

Posnetki S-2, ki jih prenesemo iz repozitorija, so predobdelani do stopnje 1LC (Level-1C), to pomeni, da so posnetki že ortorektificirani ter preprojicirani v projekcijo UTM. Deklarirana položajna natančnost S-2 posnetkov je povprečno pol piksla (okoli 10 m). Vključujejo tudi radiometrične popravke senzorja, ne pa atmosferskih in topografskih popravkov (tj. stopnja 2LA oz. Level-2A).

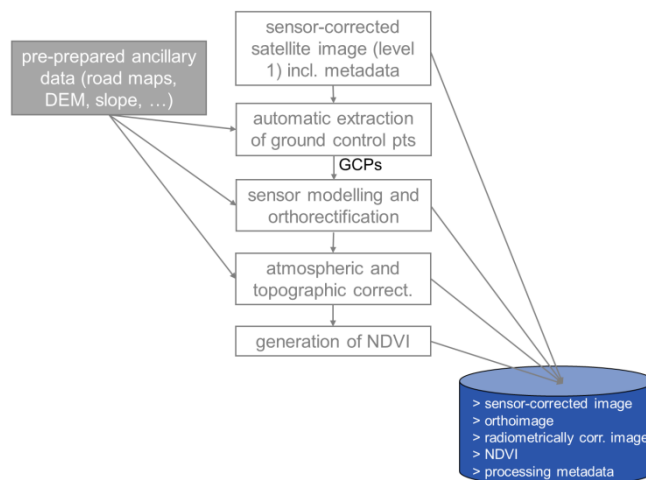
Prvi korak torej vključuje prenos vseh satelitskih produktov (t.i. granul), ki so dostopni za izbrani območji GGE (Slika 10). Velikost granule je približno 100 x 100 km² območje, volumen ene granule zavzame približno 600 MB. Granule so fiksni razrezi na območja znotraj ene orbite, ki vsebujejo podatke vseh spektralnih kanalov senzorja. Granule so lahko v celoti ali delno prekrите s slikovnimi podatki. Delno pokrite ustrezajo tistim, ki so na robu orbite. V podatkovnem paketu granule so pomembni metapodaki, po katerih naredimo ožji ali ciljni izbor (npr. izrazito oblačnih posnetkov ne prevzamemo).



Slika 10: Dogovorjeno območje za proučevanje napadenosti s podlubniki GGE Gotenica in GGE Koče ter shema pokritosti Slovenije s Sentinel-2 granulami.

Vsi preneseni podatki so shranjeni lokalno in nato obdelani s procesno verigo STORM (ZRC SAZU). Za potrebe projekta ne izvedemo geometričnih popravkov, saj te naredijo že v Copernicusovi procesni verigi. Poleg izreza in reprojekcije v državno projekcijo izvedemo torej zgolj radiometrične popravke. Radiometrični popravki se nanašajo na odpravo vpliva atmosfere, skozi katere potuje zajeta svetloba

– atmosferske popravke, in popravke zaradi različne osvetlitve površja zaradi nagnjenosti pobočij in smeri Sončevega obseva – topografsko normalizacijo.



Slika 11: Shema procesne verige STORM. STORM je namenjen procesiranju satelitskih posnetkov različnih senzorjev, zato je v svoji sestavi in procesni logiki modularen. Pri obdelavi posnetkov Sentinel-2 se npr. izvede le spodnji del obdelav, saj je posnetek, dobljen v Copernicusovem repozitoriju, že ortorektificiran.

Rezultat je večnivojski izdelek, izrezan za območje GGE Gotenica in GGE Koče, ki vsebuje atmosfersko popravljene podatke spektralnih kanalov v izvorni 10 m prostorski ločljivosti, atmosfersko popravljene podatke spektralnih kanalov v izvorni 20 m ločljivosti ter atmosfersko in topografsko popravljene podatke Sentinel-2 v 10 in 20 m izvorni prostorski ločljivosti, skupaj z metapodatkovnim izpiskom procesiranja in statistiko kakovosti podatkov (delež oblačnosti, senc, neuporabnih podatkov). Rezultat obdelave posnetkov s procesno verigo STORM so posnetki enakovredni stopnji 2A: so ortorektificirani atmosfersko popravljene posnetki, ki imajo dodano masko oblakov. Dodatna stopnja, ki je javni repozitoriji ne ponujajo, pa so topografsko popravljene podatki (Slika 3).

Maska oblakov, ki je produkt modula za atmosferske popravke procesne verige STORM, je pomemben vhodni podatek za analize. Z masko lahko odstranimo območja, ki jih prekrivajo oblaki, sence oblakov, cirusi ali sneg in so lahko za analize moteči. Pomembno je, da je maska oblakov visoke kakovosti, gre pa za enega najbolj kompleksnih postopkov v obdelavi podatkov satelitskih posnetkov.

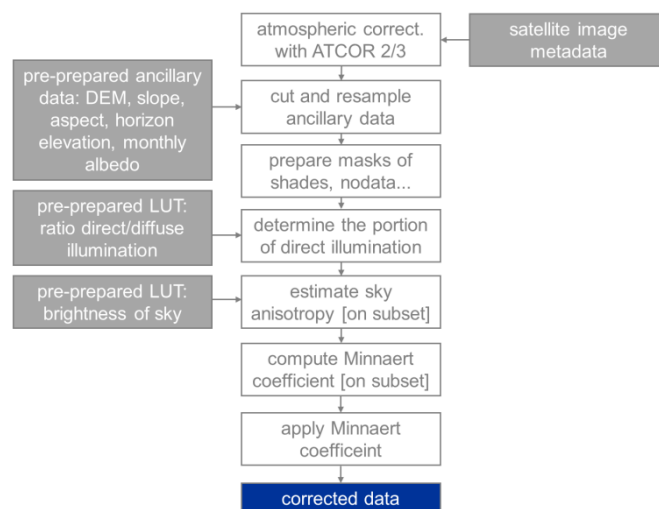
Produkte Sentinel-2, ki so obremenjeni manj kot 75 % (sicer bi bilo posnetkov premalo za zvezno časovno vrsto), smo v približno letnih presledkih dostavili na Gozdarski inštitut Slovenije v pregled in nadaljno obravnavo. Predane so vse 4 različice:

- `_atm_10m` (atmosfersko popravljene podatki, za spektralne kanale v 10 m ločljivosti),
- `_atm_20m` (atmosfersko popravljene podatki, za spektralne kanale v 20 m ločljivosti),
- `_atm_topo_10m` (atmosfersko in topografsko popravljene podatki, za spektralne kanale v 10 m ločljivosti) ter
- `_atm_topo_20m` (atmosfersko in topografsko popravljene podatki, za spektralne kanale v 20 m ločljivosti).

Ugotavljamo, da je za obravnavano območje GGE Gotenica in GGE Koče oblačnost nekoliko nadpovprečna, iz serije Sentinel-2 podatkov na 10 dni (kasneje na 5 dni), je namreč za časovno obdobje 2015–2018 uporabljen le 40–50 datumov.

Za pripravo podatkov smo torej uporabili vse posnetke S-2A in S-2B, ki so pokriti z oblaki manj kot 75 % in dostopni od leta 2015 do konca leta 2019 (zadnje leto je še v teku). Za leto 2015 je na voljo le

manjše število posnetkov, saj je takrat postal satelit S-2A operativen, po marcu 2017 je razpoložljivih posnetkov več, saj se je senzorju S-2A pridružil tudi S-2B. Oba satelita na krovu nosita enak senzor, s čimer je zagotovljena zelo visoka primerljivost in radiometrična podobnost podatkov obeh senzorjev.



Slika 12: *Topografski popravki* so tisti popravki, kjer skušamo odpraviti vpliv terena na vrednosti satelitskih meritev. Pri metodi, ki je plod znanja strokovnjakov ZRC SAZU, ne upoštevamo zgolj klasičnih popravkov osvetljenih delov, ampak tudi osenčene dele, svetlost (oz. stopnjo svetlobne anizotropnosti) neba ter razmerje med direktno ter difuzno svetlobo. Model je zelo kompleksen, in temelji na iskanju najbolj ustrezne statistike.

Možne nadgradnje, izboljšave za podatke S-2:

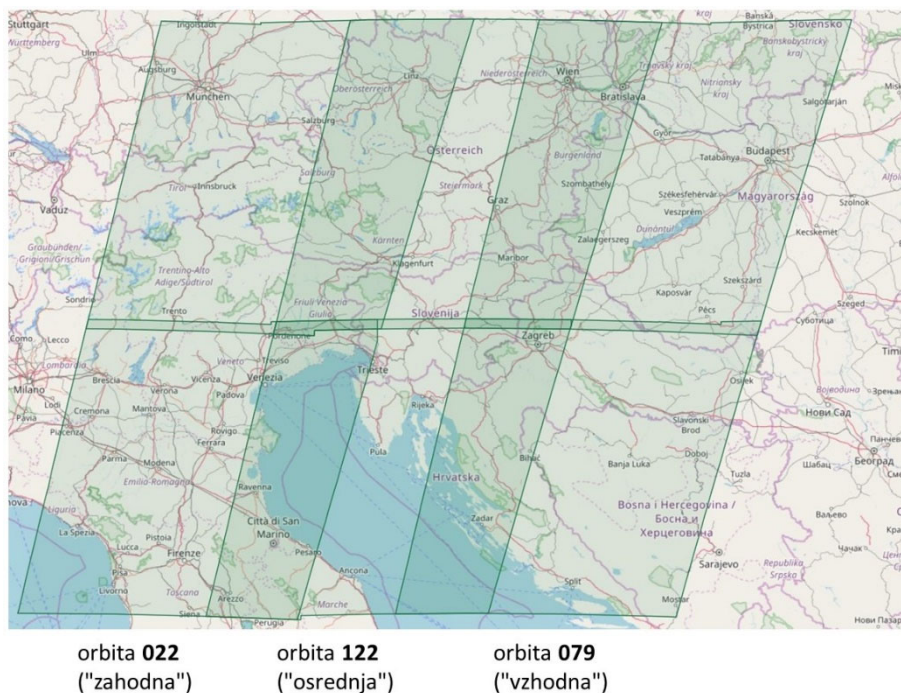
- Pridobivanje ne-ortorektificiranih podatkov (stopnja obdelave nižja od L1C) ali dodatno fino prostorsko umeščanje posnetkov Sentinel-2 (medsebojna registracija).

Možne nadgradnje, izboljšave, splošno za pripravo in dostavo satelitskih podatkov zainteresiranim uporabnikom (Gozdarski inštitut Slovenije):

- Mehanizem za popolnoma samodejno in ažurno vzdrževanje arhiva vseh podatkov Sentinel-2 ter podatkov MODIS za Slovenijo in okolico.
- Avtomatizacija mehanizma za ažurno posredovanje satelitskih produktov h končnim uporabnikom.

Statistični pregled podatkovne zbirke Sentinel-2 podaja nekaj splošnih ugotovitev. Le približno ena tretjina vseh posnetkov ima stopnjo oblačnosti manjšo od 30 %. Določena območja Slovenije so zaradi prekrivanja orbit bolje (dvakratno) prekrite, tam lahko pričakujemo primernejše in gostejše časovne vrste podatkov. Oba indikatorja velja upoštevati pri načrtovanju uporabe podatkov Sentinel-2 za dolgočasovne analize vegetacije. Nekaj statističnih značilnosti podatkovnih zbirk Sentinel-2 in MODIS podajamo v nadaljevanju.

Satelita Sentinel-2 zajemata Slovenijo iz treh orbit (Slika 13). Iz orbite 022 zajemata zgolj zahodni del Slovenije, iz orbite 122 celotno Slovenijo, iz orbite 079 pa vzhodni del. Iz vsake orbite zajameta približno enako število posnetkov. Na sliki je dobro vidno prekrivanje orbit na skrajnem zahodu ter na vzhodu. Prekrivanje orbit ima za posledico to, da je število posnetkov na območju prekrivanja dvojno v primerjavi z območji brez prekrivanja. Osrednja Slovenija je torej posneta precej manjkrat.

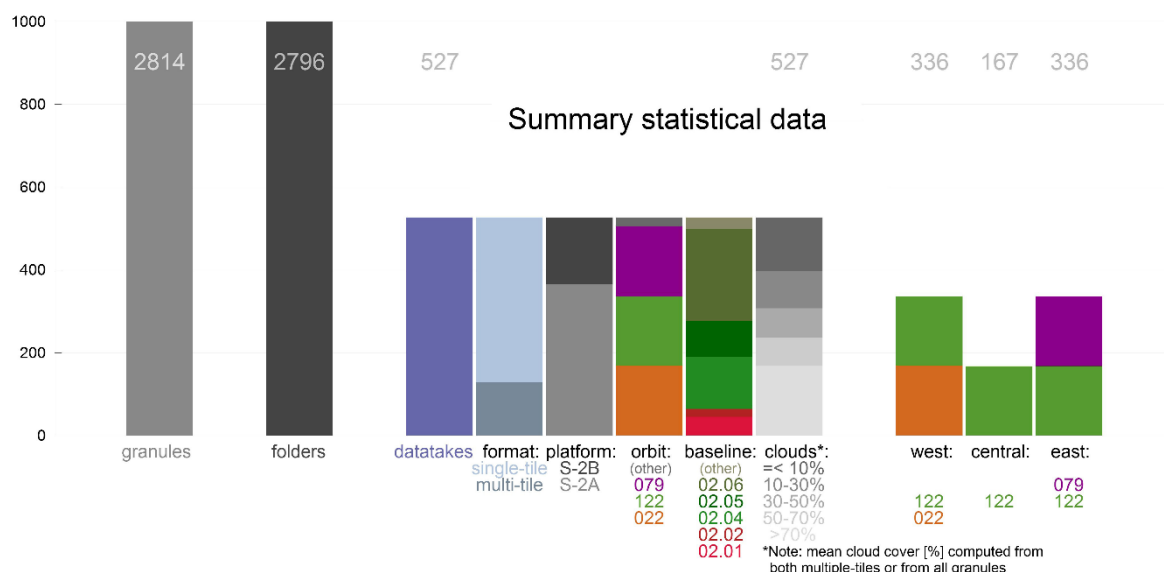


Slika 13: Tri orbite snemanj ter njihovih prekrivanj, iz katerih satelita Sentinel-2A in 2B zajemata Slovenijo.

Skupni statistični podatki zajemov podajajo povzetek celotnega arhiva podatkov Sentinel-2. Na sliki (Slika 14) je na levi vidno skupno število granul na območju Slovenije ter število obdelanih map; obe številki sta za obdobje 4 let skoraj 3000. Vse to iz dobrih 500 zajemov satelitov S2A in S2B.

V osrednjem delu je vseh dobrih 500 zajemov analizirano po različnih parametrih. Predvsem je zanimiv parameter oblačnosti (za komentar glej zgoraj). Zanimiv pa ni niti parameter "baseline", ki pove, s katero procesno verigo so pri Copernicusu te posnetke obdelali. Prva procesna veriga, ki naj bi dajala dovolj stabilne rezultate, je verzije 02.04. Vsi posnetki, obdelani s starejšimi verzijami procesne verige - običajno gre za posnetke iz 2015 - niso najbolj natančni, zato pri Copernicusu načrtujejo njihovo ponovno obdelavo z novejšo verzijo verige.

Desni del stolpcev predstavlja sliko, koliko zajemov pride na zahodni, osrednji in vzhodni del Slovenije (za komentar glej zgoraj, Slika 13).



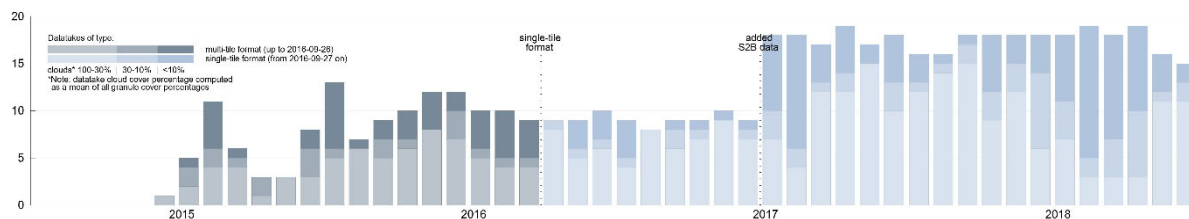
Slika 14: Skupni statistični podatki zajemov.

Prvi satelit Sentinel-2 (S2A) je začel zajemati na polovici leta 2015. Prve pol leta je bil sistem v fazah testiranja, prilagajanj in iskanja optimalnih rešitev, kar se vidi tudi iz zelo nihajočega števila posnetkov na mesec (Slika 15). Tako lahko šele z letom 2016 govorimo o neki relativni stalnosti zajemov, nekako 8–10 na mesec za nek del Slovenije. V začetnih 16 mesecih je bil format dostave posnetkov precej neroden: v posameznem posnetku je bilo ogromno granul (angl. tile) - običajno velik del izven območja Slovenije -, kar je pomenilo, da so bili posnetki ogromni (velikosti tudi čez 7 GB); posledično je bilo prenašanje in procesiranje zelo zahtevno. V zadnji četrtini leta 2016 se je format dostave posnetkov zamenjal, Copernicus je prešel na format ena granula na posnetek, kar je zelo olajšalo rokovanje s posnetki in njihovo obdelavo.

Podatki od drugega satelita Sentinel-2 (S2B) so postali dostopni z drugo polovico leta 2017. S tem je število posnetkov vsaj dela ozemlja Slovenije naraslo na zavidljivih 16–19 na mesec.

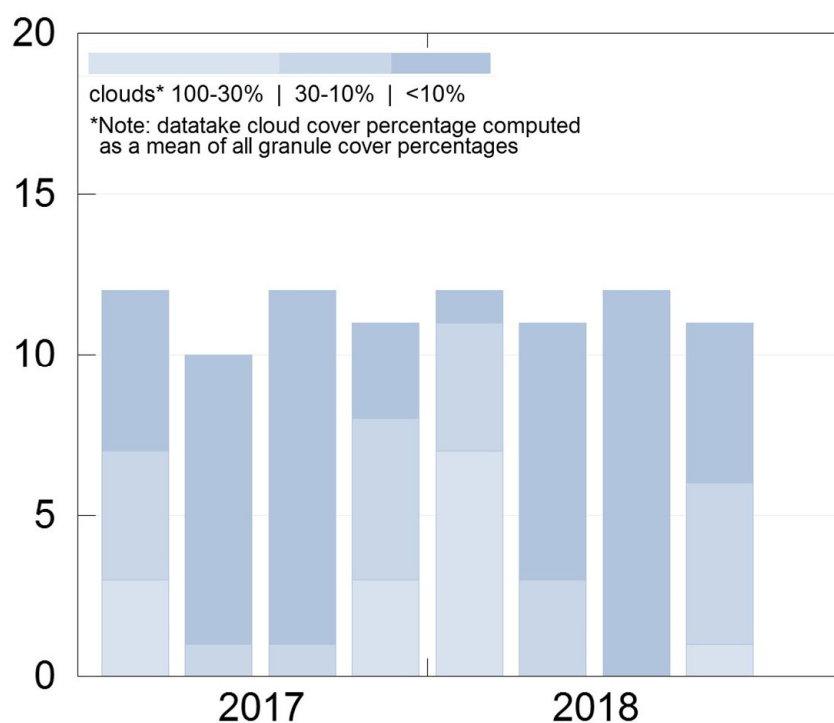
Pri tem pa je treba omeniti vsaj dvoje. Prvič, območje Slovenije oba satelita Sentinel snemata iz treh različnih orbit. Tako iz orbite 022 zajemata zgolj zahodni del Slovenije, iz orbite 122 celotno Slovenijo, iz orbite 079 pa vzhodni del (glej še sliko orbit). Število posnetkov na mesec torej ne pomeni, da je bila tolikokrat zajeta vsaka točka v Sloveniji. Za osrednji del Slovenije, kjer ni prekrivanja orbit, je številka nekako tretjino, torej 5–7 na mesec; za zahodni in vzhodni del, kjer se orbite prekrivajo, pa nekako dve tretjini, torej 10–14 na mesec (Slika 15).

Drugič, uporabnost optičnih posnetkov je odvisna od količine oblakov (Slika 14). Najbolj temni deli stolpcev na sliki pomenijo oblačnost od 0 do 10 %, zelo uporaben posnetek. Takih posnetkov je v vremensko neugodnih mesecih zgolj 1 do 3 za nek del Slovenije. Tudi če dodamo še posnetke z oblačnostjo 10 do 30 % (srednje temni deli stolpcev), je skupno število uporabnih posnetkov lahko kritično majhno, če želimo slediti specifičnemu pojavu (npr. stanju gozdov, zdravemu razvoju vegetacije) na točno določenem območju.



Slika 15: Število zajemov posnetkov Sentinel-2 na mesec za območje Slovenije za obdobje 2015–2018.

Povzetek obremenjenosti podatkov MODIS z oblaki (Slika 16). Najbolj temni deli stolpcev na sliki pomenijo oblačnost od 0 do 10 %, zelo uporaben posnetek. Vidimo lahko tudi, da je razpoložljivost uporabnih informacij lahko različna med leti. Največ uporabnih podatkov (z vidika neobremenjenosti z oblaki) lahko pričakujemo v drugem, še bolj pa v tretjem kvartalu, to je v mesecih julij, avgust, september.



Slika 16: Število zajemov posnetkov MODIS na kvartal leta za območje Slovenije za obdobje 2017 in 2018.

1.2 Aktivnost 2.2: Spremljanje žarišč podlubnikov z brezpilotnim letalom ali ortokopterjem

Odgovorna oseba: Andrej Kobler

Udeležena institucija: GIS in podizvajalci za snemanje z brezpilotnimi letalniki

Na študiji primerov smo ugotovili uporabnost brezpilotnega letala ali ortokopterja (v nadaljevanju letalnika), opremljenega z multispektralno kamero za vidni del in bližnji IR del svetlobnega spektra (MicaSense in Parrot Sequoia), za lokalno periodično zaznavanje/spremljanje različnih faz napada podlubnikov na ravni drevesa ali gozdnega sestoja. V času vegetacijske dobe med leti 2017 in 2019 smo na vzorčnih ploskvah z različnimi brezpilotnimi letalniki v vidnem in IR spektru fotografirali smrekove sestoje v različnih fazah napadenosti in fotografije z fotogrametričnim orodjem pretvorili v digitalne orto-fotografije (DOF) in v digitalne modele površin (DSM). S sočasnim terenskim beleženjem stanja vsakega drevesa na vzorčnih ploskvah (glej poglavje Zbirka referenčnih podatkov za brezpilotni letalnik) smo analizirali prepoznavnost različnih faz napada podlubnikov iz zraka na ravni posameznega drevesa in sestoja. Izdelali smo modele, ki povezujejo multispektralne digitalne ortofotografije (DOF) brezpilotnih letalnikov s stopnjo osutosti in obarvanosti krošnje zaradi napada podlubnikov. Analizirali smo vplive prostorske ločljivosti DOF in uporabljenih pojasnjevalnih podatkov na zaznavanje stopnje napada ter na stroške spremljanja z letalnikom. Izdelali smo ocene stroškov spremljanja žarišč smrekovih in jelovih podlubnikov z multikopterjem pri različnih scenarijih (nakup drona in lastno snemanje in obdelava podatkov, najem storitve snemanja in lastna obdelava podatkov). Rezultat aktivnosti je tudi elaborat z naslovom Uporabnost brezpilotnih letalnikov za spremljanje žarišč smrekovih in jelovih podlubnikov.

Uporabili smo tri različne kombinacije letalnika, fotografske kamere in fotogrametričnih orodij:

1. Gozdarski inštitut je posnel del žarišč z ortokopterjem MD4-1000 proizvajalca Microdrones GmbH (Slika 17) v kombinaciji s multispektralno kamero MicaSense (Slika 20), ki snema v petih delih spektra: modri, zeleni, rdeči, NIR in red edge in prostorsko ločljivostjo reda velikosti nekaj centimetrov (odvisno od višine leta). Za pretvorbo letalskih slik v DOF in 3D digitalni model površin (DMP) je bilo uporabljeno orodje Agisoft Professional.
2. Podizvajalec snemanja podjetje C-astral je uporabljal brezpilotno letalo lastne konstrukcije Bramor (Slika 18) v kombinaciji s multispektralno kamero MicaSense. C-astral je sam poskrbel tudi za izdelavo DOF in DSM z orodjem PIX4Dmapper.
3. Podizvajalec ElevonX je uporabljal brezpilotno letalo lastne konstrukcije SkyEye (Slika 19) v kombinaciji s multispektralno kamero Parrot Sequoia (Slika 20), ki je podobnih lastnosti kot MicaSense, le da ne ponuja modrega slikovnega kanala.

Lokacije in datume žarišč, kjer je bila uporabljena posamezna kombinacija, prikazuje Preglednica 4. Iz preglednice je razvidno, da je od treh gornjih kombinacij (ortokopter GIS + MicaSense) prva pokrivala najbolj heterogene smrekove sestoje (Kalce, Logatec in Črni vrh na Notranjskem in Pokljuka v Alpah), druga (krilati letalnik C-astral + MicaSense) le alpski gozd (Pokljuka in Jelovica), tretja kombinacija (krilati letalnik ElevonX + Parrot Sequoia) pa le eno ploskev ob robu Ljubljanskega Barja, vendar v štirih zaporednih snemanjih. Vzroki za razlike v geografskim pokrivanju niso bili vsebinski ampak logistični in finančni. Na terenskih popisih za 4-kratno snemanje Pijave gorice (tretja kombinacija zgoraj) smo beležili le stanje napadenosti krošnje, kjer smo beležili 4 stopnje: 0 - zdravo drevo, 1 - drevo napadeno brez vidnega obarvanja krošnje (»zelena faza«), 2 - drevo napadeno z obarvanjem krošnje (»rdeča faza«), 3 - odmrlo drevo (»siva faza«).

Uporabljeni letalniki pripadajo dvema različnima kategorijama, ki se razlikujeta po svojih temeljnih značilnostih. Letalnik Microdrones MD4-1000 spada v kategorijo ortokopterjev, letalnik C-astral Bramor in ElewvonX SkyEye pa v kategorijo krilatih letalnikov (letal). Ključne razlike med kategorijama so:

1. Krilati letalniki so aerodinamično bolj učinkoviti, zato imajo daljšo avtonomijo in večji doseg, letijo hitreje, v enem poletu lahko posnamejo veliko večjo površino. Načeloma stanejo več od ortokopterjev, a je cena podatkov merjena na hektar nižja. Primerni so za regionalna velikopovršinska snemanja.
2. Ortokopterji ne zahtevajo katapulta in ne potrebujejo veliko prostora za vzlet, so enostavnejši za uporabo, večji modeli kot je na primer Microdrones MD4-1000 imajo podobno nosilnost kot krilati letalniki. Načeloma so cenejši od krilatih letalnikov, a je zaradi manjše avtonomije cena podatkov na hektar višja. Primerni so za lokalna malopovršinska snemanja.

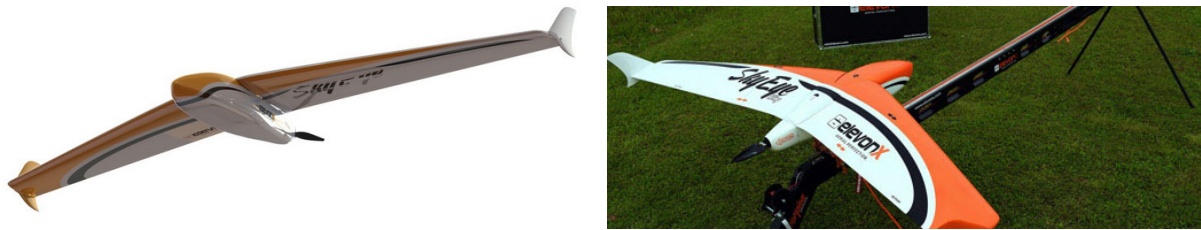
Ne glede na opisane lastnosti obeh kategorij pa je trenutno glavna omejitev uporabe letalnikov Uredba o sistemih brezpilotnih zrakoplovov, Uradni list RS, št. 52/2016, ki dopušča le letenje v vidnem polju in še to le do 500 m daleč. S tem je predvsem prizadeta uporabnost krilatih letalnikov, ki po svojih tehničnih lastnostih omogočajo regionalni doseg in bi bili ob manj restriktivnih predpisih cenovno ugodnejša konkurenca snemanjem z ultralahkimi letali.



Slika 17: Ortokopter MD4-1000 proizvajalca Microdrones GmbH (foto Microdrones).



Slika 18: Brezpilotni krilati letalnik C-astral Bramor in pripadajoči katapult za izstrelitev (foto C-astral).



Slika 19: Brezpilotni krilati letalnik ElevonX SkyEye in pripadajoči katapult za izstrelitev (foto ElevonX).



Slika 20: Uporabljeni multispektralni kameri MicaSense (levo) in Parrot Sequoia (desno). MicaSense snema v petih delih spektra: modri, zeleni, rdeči, NIR in red edge in s prostorsko ločljivostjo reda velikosti nekaj centimetrov (odvisno od višine leta). Parrot Sequoia je podobnih lastnosti kot MicaSense, le da ne ponuja modrega slikovnega kanala. Obe kameri omogočata kalibracijo slik glede na svetlobne razmere ter beleženje lokacije posnetka z vgrajenim GPS (foto MicaSense, Parrot).

Ansambelski model v obliki random forest, sestavljen iz 100 regresijskih dreves, smo izdelali z odprtokodnim orodjem za strojno učenje CLUS 2.7 (<https://dtai.cs.kuleuven.be/clus/index.html>). Ciljni spremenljivki sta bili barva oziroma razbarvanost krošnje ter osutost krošnje, iz zraka vidna kazalnika napadenosti drevesa s podlubnikom.

Poleg petih spektralnih kanalov (štirih za Parrot Sequoia) smo izračunali še vegetacijske indekse NDVI in EVI (za Parrot Sequoia le NDVI, ker EVI za izračun potrebuje tudi modri kanal). Pojasnjevalne spremenljivke so bile za vsak multispektralni kanal in vegetacijski indeks izračunane kot statistični povzetki (aritmetična sredina in standardni odklon) pikslov znotraj različnih polmerov okoli lokacije drevesa. Uporabili smo naslednje vrednosti polmerov: 1 m, 2 m, 4 m, 8 m.

Kombinacije treh letalnikov in dveh kamer zaradi režimov načinov leta in različnih kamer niso bile primerljive in jih ni bilo mogoče uporabiti za trenajžo skupnega modela. Zato smo iz zbranih terenskih in letalskih podatkov ustvarili tri trenajžne množice in iz njih tri različne modele:

- za devet žarišč na Notranjskem in v Alpah. Model je temeljil na 253 terensko popisanih drevesih. Točnost modela, ocenjena na testnih podatkih, je znašala 74,7 % za kategorijo obarvanosti krošnje in 51,1 % za kategorijo osutosti krošnje.
- za pet žarišč v Alpah. Model je temeljil na 260 terensko popisanih drevesih. Točnost modela, ocenjena na testnih podatkih, je znašala 66,2 % za kategorijo obarvanosti krošnje in 44,6 % za kategorijo osutosti krošnje.
- za eno žarišče ob Ljubljanskem barju. Model je temeljil na 118 terensko popisanih drevesih. Točnost modela, ocenjena na testnih podatkih, je znašala 67,8 % za kategorijo napadenosti krošnje.

Implementacija obeh modelov, ki služi za modelnih kart, je bila napisana v jeziku Python v izvirnem orodju Dron_model. Modelne karte za nekatera od popisanih žarišč so dosegljive na spletnem naslovu https://www.zdravgozd.si/projekti/podlubniki/dron_model.aspx.

Spremljanje žarišč z brezpilotnimi letalniki je bolj podrobno obdelano v elaboratu »Uporabnost brezpilotnih letalnikov za spremljanje žarišč smrekovih in jelovih podlubnikov«.

Rezultat aktivnosti:

- Uporabnost brezpilotnih letalnikov za spremljanje žarišč smrekovih in jelovih podlubnikov (elaborat). Elaborat je na voljo na spletnem naslovu <https://www.zdravgozd.si/projekti/podlubniki/rezultati.aspx>

1.3 Aktivnost 2.3: Referenčni podatki iz terena

Odgovorna oseba: Andrej Kobler

Udeležene inštitucije: GIS, ZGS

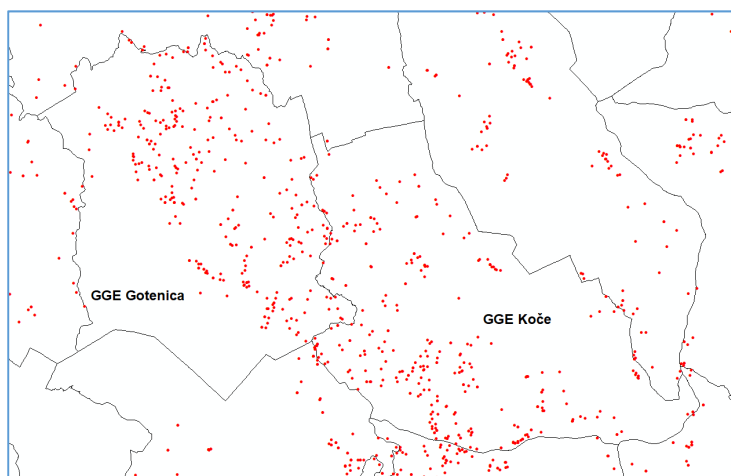
Zbrali smo referenčne podatke za kalibracijo modelov za ocenjevanje napadenosti s podlubniki na ravni države in regije iz satelitskih podatkov MODIS in Sentinel-2 ter za analizo prepoznavnosti in modeliranje stopnje napadenosti dreves / sestoji iz podatkov brezpilotnega letalnika.

Rezultat aktivnosti:

- Zbirka referenčnih podatkov za Sentinel-2
- Zbirka referenčnih podatkov za MODIS
- Zbirka referenčnih podatkov za brezpilotni letalnik

1.3.1 Zbirka referenčnih podatkov za Sentinel-2

Kot referenčni terenski podatek za izdelavo modela sanitarnih odkazil na podlagi satelitskih podatkov Sentinel-2 smo privzeli zapise sanitarnih odkazil smreke zaradi podlubnikov znotraj študijskega območja na Kočevskem (glej poglavje Model trenutne stopnje napadenosti (Sentinel-2)). Upoštevali smo tiste zapise v zbirki xTi (ZGS), ki so vsebovali veljaven podatek o koordinatah lokacije odkazila. Takih je bilo 977 oziroma 33 % vseh (Slika 21). Za primerjavo - na ravni Slovenije ta podatek znaša 10% (Slika 22).



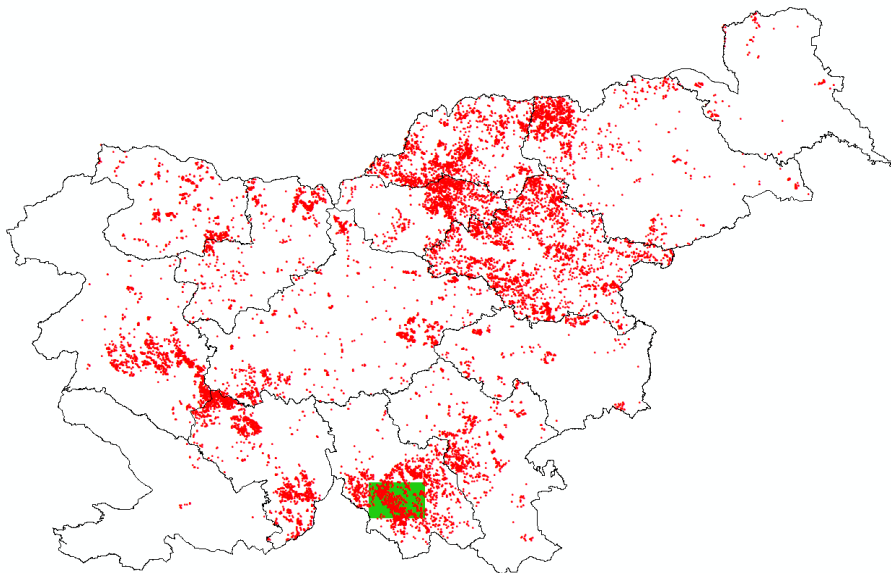
Slika 21: Prostorska porazdelitev referenčnih podatkov sanitarnega odkazila smreke med leti 2015 in 2018 v očrtanem pravokotniku okoli GGE Koče in Gotenica. Prikazanih je 977 odkazil z znanimi koordinatami, kakršnih je na tem področju približno 33%.

Za model sanitarnega poseka na podlagi satelitskih podatkov Sentinel-2 taista zbirka podatkov nudi tudi datum poseka. Negativne primere za trenajni vzorec sanitarnega poseka smo pridobili po naslednjem algoritmu:

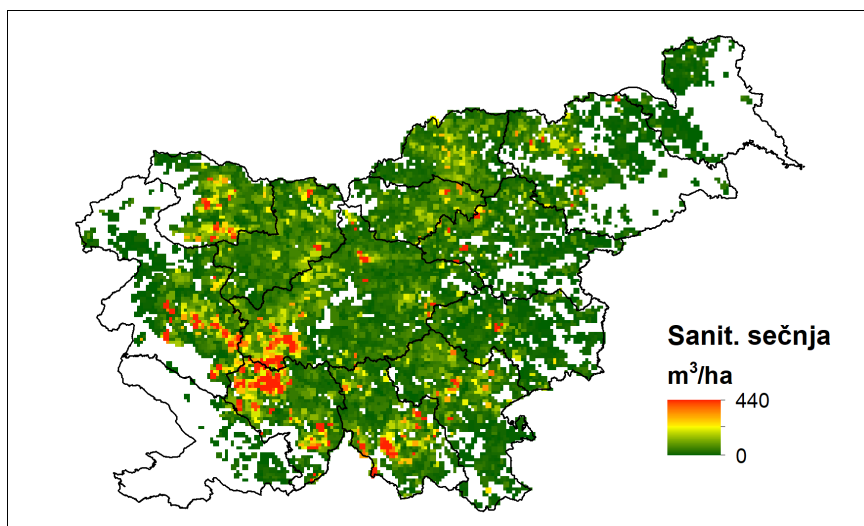
1. Okoli lokacije vsakega pozitivnega primera smo ustvarili izključitveno območje s polmerom 100 m. Potencialne lokacije za negativne primere smo slučajnostno izbirali znotraj preostalega gozda (koda 2000 znotraj zbirke podatkov kmetijske rabe MKGP).
2. Slučajnostno smo izbrali eno od let med 2016 in 2018 in znotraj izbranega leta kot hipotetični datum sanitarnega odkazila slučajnostno izbrali datum med začetkom marca in koncem oktobra. Ta sezonski interval smo prevzeli glede na zabeleženo časovno porazdelitev sanitarnih odkazil v študijskem območju (Slika 6). Hipotetični datum prevzema smo določili 45 dni po hipotetičnem odkazilu. 45 dni je povprečni časovni interval med odkazilom in posekom v uporabljenih podatkih sanitarnih odkazil v študijskem območju.
3. Za vsak negativni primer smo izbrali zadnjo satelitsko sliko pred hipotetičnim datumom odkazila in prvo po hipotetičnem datumu poseka. Na lokaciji odkazila / poseka smo nato iz teh dveh slik vzorčili slikovne piksle za T0 in za T1 na enak način kot za pozitivne primere.
4. Korake (1) do (3) smo ponavljali, dokler ni bilo število negativnih primerov v vzorcu enako številu pozitivnih primerov.

1.3.2 Zbirka referenčnih podatkov za MODIS

Referenčne podatke za učenje modela skupne letne količine sanitarnih odkazil smreke na podlagi podatkov satelita MODIS smo pridobili iz evidence sanitarnih posekov xTi (Slika 22), kjer pa zaradi majhnega merila analize odsotnost koordinat lokacije odkazila pri devetih desetinah zapisov v xTi ni bila ovira. Zapise smo locirali na podlagi šifer in centroidov pripadajočih odsekov in jih povzeli na ravni kvadratnega kilometra. Rastrski povzetek sanitarnega poseka na letni ravni je bil narejen za leta od 2002 do 2017 (Slika 23).



Slika 22: Prostorska porazdelitev referenčnih podatkov sanitarnega odkazila smreke med leti 2010 in 2018. Prikazane so le lokacije z znanimi koordinatami, kakršnih je približno 10% celotne zbirke podatkov. Prikazane so meje OE, zeleno pa je obarvano študijsko območje veljavnosti modelov na podlagi podatkov satelita Sentinel-2.



Slika 23: Primer referenčne rastrske karte skupnega sanitarnega poseka smreke [m^3/ha] v letu 2015, izdelana z agregacijo podatkov iz zbirke podatkov xTi (ZGS). Prostorska ločljivost karte je 1 km.

1.3.3 Zbirka referenčnih podatkov za brezpilotni letalnik

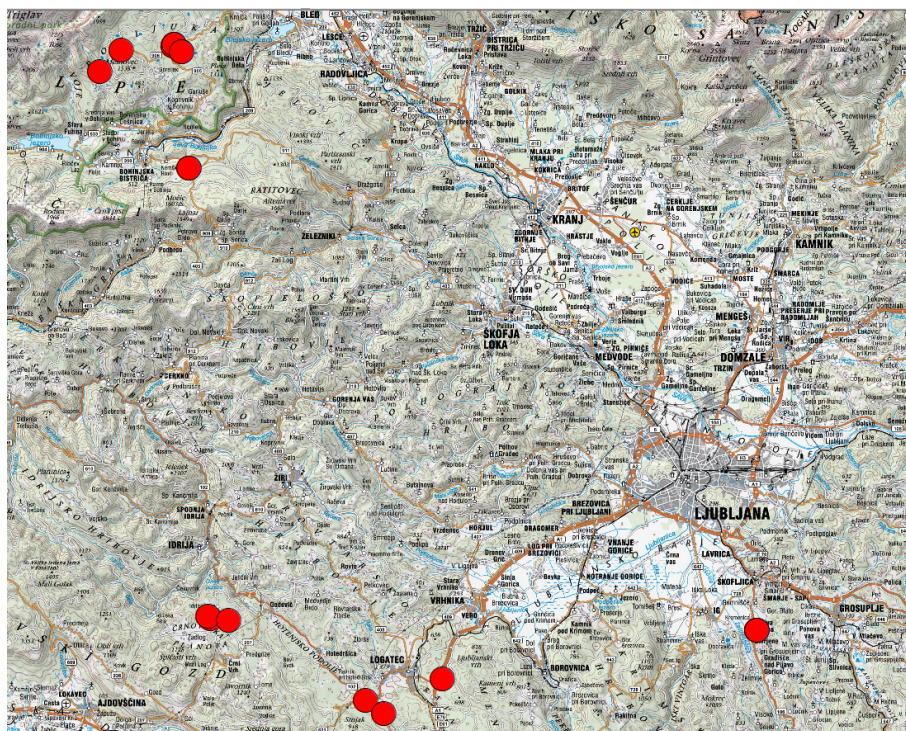
Referenčne podatke za učenje modelov iz podatkov zbranih z brezpilotnimi letalniki smo zbrali na ravni posameznih dreves na 15 žariščih podlubnika, na nekaterih večkrat zaporedoma, tako da je bilo vseh popisov žarišč 24. Zračnih posnetkov nekaterih žarišč žal nismo mogli uporabiti, ker so bile talne oslonilne točke, potrebne za fotogrametrično obdelavo premaknjene ali nevidne zaradi vetra, vandalov ali zasenčenja. Geografsko porazdelitev uporabljenih žarišč prikazuje slika 24. Na ploskvi smo popisali lokacije in stanje vseh lubadar (večinoma smreke, nekaj jelk) in približno enako število zdravih dreves. Žarišča smo izbirali po naslednjih kriterijih:

- Sestoj je v razvojni fazi starejši drogovnjak do debeljak.
- Zaznane so bile lubadarke v zgodnjih fazah napada, o čemer so nas obveščali sodelavci ZGS.
- V času, ko so lubadarke še v zgodnji fazi, je moralo biti vreme primerno za letenje.
- Območje letenja z brezpilotnim letalnikom je moralo biti izven letaliških kontrolnih con.
- V bližini žarišča je moralo biti dovolj prostora za vzlet.
- Letalnik mora biti med poletom pilotu viden (oziroma iz vzletišča). Uredba o sistemih brezpilotnih zrakoplovov, Uradni list RS, št. 52/2016, dopušča le letenje v vidnem polju in do 500 m daleč.

Preglednica 4: Žarišča podlubnikov, na ravni drevesa popisana na terenu in posneta z letalnikom iz zraka

Lokacija	Datum	Snemalec	Podatki letalnika uporabni?
Uskovnica	19.jun.17	C-astral, Geavis, Gernot	Da
Mrzli studenec - sever	19.jun.17	C-astral	Da
Kalce	8.nov.17	Gozdarski inštitut	Da
Logatec	10.nov.17	Gozdarski inštitut	Da
Svibno 1	20.nov.17	Gozdarski inštitut	Ne
Svibno 4	20.nov.17	Gozdarski inštitut	Ne
Planina	22.nov.17	Gozdarski inštitut	Da
Črni vrh 1	24.nov.17	Gozdarski inštitut	Da
Črni vrh 2	24.nov.17	Gozdarski inštitut	Da
Črni vrh 3	24.nov.17	Gozdarski inštitut	Da

Lokacija	Datum	Snemalec	Podatki letalnika uporabni?
Mrzli studenec - Skladišče lese	22.avg.18	C-astral	Da
Mrzli studenec - Jug	28.avg.18	C-astral	Da
Mrzli studenec - Sever	28.avg.18	C-astral	Da
Rudno polje	28.avg.18	Gozdarski inštitut	Da
Jelovica	29.avg.18	C-astral	Da
Rudno polje	21.sep.18	Gozdarski inštitut	Ne
Mrzli studenec - Jug	25.sep.18	C-astral	Da
Mrzli studenec - Sever	25.sep.18	C-astral	Da
Mrzli studenec - Skladišče lese	25.sep.18	C-astral	Da
Jelovica	26.sep.18	C-astral	Da
Pijava gorica	7.jun.19	ElevonX	Da
Pijava gorica	13.jun.19	ElevonX	Da
Pijava gorica	20.jun.19	ElevonX	Da
Pijava gorica	11.jul.19	ElevonX	Da



Slika 24: Lokacije žarišč, uporabljenih v analizi.

Popisovali smo le drevesa dominantnega sloja. Drevesa so bila dendrometrično popisana in locirana s tahimetrom in natančnim GPS. Stopnjo napadenosti in stanje dreves je bilo večinoma popisano na isti dan kot je bil opravljeno snemanje iz zraka z brezpilotnim letalnikom. Popisani so bili naslednji znaki napadenosti: osutost, porumenelost, prisotnost vhodnih odprtín, prisotnost izhodnih odprtín, prisotnost črvine, odstopanje skorje in smoljenje. Šifrant teh znakov opisuje Preglednica 5.

Preglednica 5: Šifrant za popis znakov napadenosti dreves

Osutost	Razred	Opis
Osutost je okularno ocenjen delež (%) manjkajočih asimilacijskih organov (listov, iglic) v primerjavi z namišljenim normalnim drevesom istega socialnega položaja, iste drevesne vrste in z enakega rastišča.	0	ni (0–10 %)
	1	šibka (10–25 %)
	2	srednja (25–60 %)
	3	močna (več kot 60 %)
	4	odmrlo drevo
Sprememba barve krošnje	Razred	Opis
	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)
Prisotnost vhodnih odprtín na višini do 2 m	Razred	Opis
Pomembno za oceno, kadar je dež spral vso črvino.	0	Ne
	1	Da, manj kot 1 odprtina na 1 dm ²
	2	Da, več kot 1 odprtina na 1 dm ²
Prisotnost izhodnih odprtín na višini do 2 m	Razred	Opis
	0	Ne
	1	Da
Prisotnost črvine	Razred	Opis
	0	Ne
	1	Da, malo, črvina je težko opazna
	2	Da, veliko
Odstopanje skorje	Razred	Opis
	0	Ne
	1	Da, tik pod bazo krošnje
	2	Da, pod bazo krošnje in niže po deblu
Smoljenje pod bazo krošnje	Razred	Opis
	0	Ne
	1	Da
Osutost zaradi drugega dejavnika (ne podlubnika)	Razred	Opis
Osutost je okularno ocenjen delež (%) manjkajočih asimilacijskih organov (listov, iglic) v primerjavi z namišljenim normalnim drevesom istega socialnega položaja, iste drevesne vrste in z enakega rastišča.	0	ni (0–10 %)
	1	šibka (10–25 %)
	2	srednja (25–60 %)
	3	močna (več kot 60 %)
	4	odmrlo drevo
Dodaten vzrok osutosti krošnje		
Navedemo glavni dejavnik osutosti krošnje zaradi drugega dejavnika (točka 8). Navedemo lahko več vzrokov, po vrstnem redu glede na pomembnost.		

Štirje zaporedni terenski popisi dreves žarišča Pjava gorica so se razlikovali od vseh drugih. Drevesa nismo locirali s tahimetrom, ampak s kombinacijo terenske meritve z GPS in kasnejšo identifikacijo drevesa na DOF (zaradi več metrov napake GPS pod krošnjami). Od znakov drevesa smo beležili le napadenost in sicer s štirimi stopnjami: 0 - zdravo drevo, 1 - drevo napadeno z vidno črvino in brez vidnega obarvanja krošnje (»zelena faza«), 2 - drevo napadeno z vidno črvino in z obarvanjem krošnje (»rdeča faza«), 3 - odmrlo drevo (»siva faza«).

1.4 Aktivnost 2.4: Spletna aplikacija

Odgovorna oseba: Nikica Ogris

Udeležena inštitucija: GIS

V okviru aktivnosti 2.4 smo pripravili več spletnih aplikacij, s katerimi smo objavili rezultate DS2. Spletne interaktivne aplikacije smo objavili v okviru spletnega portala za varstvo gozdov (www.zdravgozd.si). Rezultat aktivnosti 2.4 je 7 spletnih aplikacij, ki jih predstavljamo v nadaljevanju.

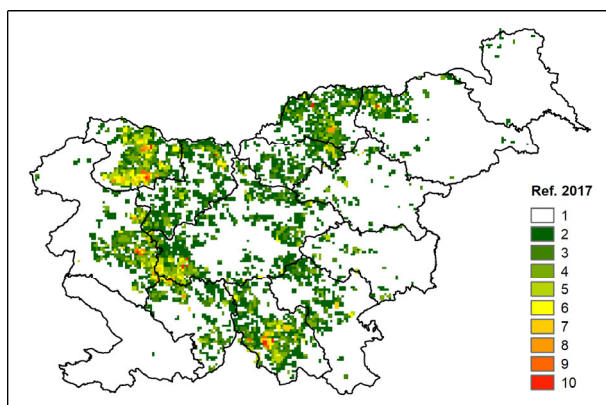
1.4.1 Spremljanje žarišč smrekovih podlubnikov s pomočjo satelitskih posnetkov MODIS

Naslov: <https://www.zdravgozd.si/projekti/podlubniki/modis.aspx>

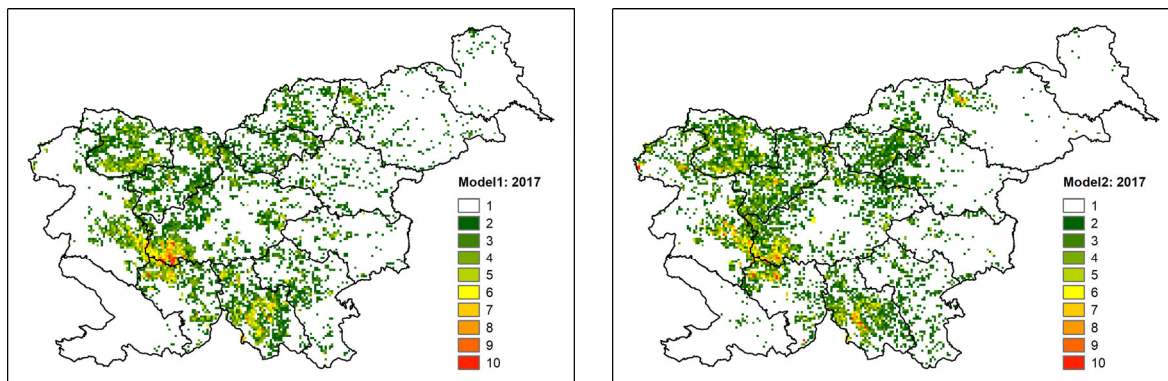
Na tej strani predstavljamo rezultate dveh modelov za spremljanje žarišč smrekovih podlubnikov s pomočjo satelitskih posnetkov MODIS. Modela sta kalibrirana na podatkih za obdobje 2002 do 2018. Oba imata za ciljno spremenljivko količino sanitarnega poseka smreke, razlikujeta pa se po pojasnjevalnih spremenljivkah:

- Model 1 napoveduje količino sanitarnega poseka smreke v letu L na podlagi MODIS podatkov leta L-1. Kot vhod uporablja enoletno serijo MODIS 16-dnevni kompozitov NDVI in EVI, to je 23 datumov oziroma 46 rastrov. Poleg tega so vhodni podatki še povprečne mesečne temperature, SPI (standardizirani padavinski indeks) in sanitarne sečnje iz prejšnjega leta. Pearsonov R modela 1 na testnih podatkih je 0.6075.
- Model 2 se od modela 1 razlikuje po tem, da napoveduje količino sanitarnega poseka smreke v letu L na podlagi MODIS podatkov istega leta, torej leta L. Dodatne spremenljivke so tudi sanitarni posek smreke v prejšnjem letu, povprečne mesečne temperature in SPI v tekočem letu. Namenjen je za spremljanje dinamike sanitarnega poseka smreke kot (domnevno manj točna a cenejša) alternativa evidencam ZGS. Pearsonov R modela 2 na testnih podatkih je 0.6077.

Modela veljata le za Slovenijo in le za površine, ki vsebujejo smreko.



Slika 25: Referenčna karta za količino sanitarnega poseka smreke v 2017



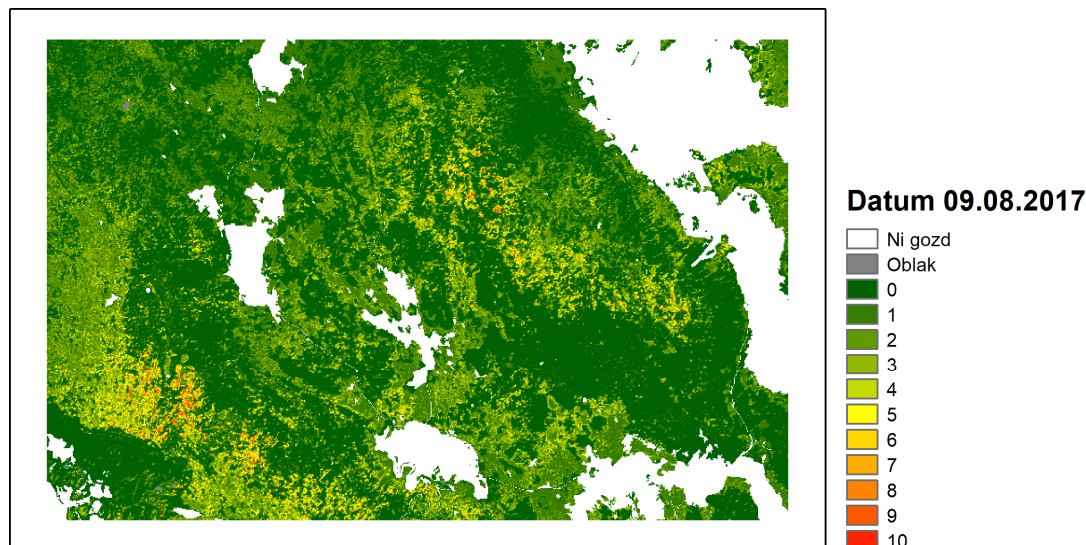
Slika 26: Primer modelnega izračuna sanitarnega poseka smreke v 2017 glede na model 1 in model 2 z uporabo satelitskih posnetkov MODIS

1.4.2 Spremljanje žarišč smrekovih podlubnikov s pomočjo satelitskih posnetkov Sentinel-2

Naslov: <https://www.zdravgozd.si/projekti/podlubniki/sentinel2.aspx>

Na tej strani predstavljamo rezultate modela za spremljanje žarišč smrekovih podlubnikov s pomočjo satelitskih posnetkov Sentinel-2. Model je kalibriran na podatkih za obdobje 2015 do 2018 izbranih GGE v GGO Kočevje. Ciljna spremenljivka je količina označene smreke za posek. Vhodni podatki v model so posamezni kanali Sentinel-2 posnetkov (R, G, B, RE1, RE2, RE3, NIR1, NIR2, SWIR1, SWIR2), vegetacijska indeksa NDVI in EVI, dan v letu.

Model velja le za izbrane GGE v GGO Kočevje in le za površine, ki vsebujejo smreko. Korelacija s testnimi podatki je 0,82. Opomba: vrednosti na kartah so normalizirane v 10 razredov.



Slika 27: Primer modelne karte za spremljanje žarišč smrekovih podlubnikov s pomočjo satelitskih posnetkov Sentinel-2 za datum 9. 8. 2017 v izbranih GGE v GGO Kočevje

1.4.3 Spremljanje sanacije žarišč smrekovih podlubnikov s pomočjo satelitskih posnetkov Sentinel-2

Naslov: https://www.zdravgozd.si/projekti/podlubniki/sentinel2_posek.aspx

Na tej strani predstavljamo rezultate modela za spremljanje sanacije žarišč smrekovih podlubnikov s pomočjo satelitskih posnetkov Sentinel-2. Model je kalibriran na podatkih za obdobje 2016 do 2018

izbranih GGE v GGO Kočevje. Model ugotavlja prisotnost sanitarnega poseka iz dveh satelitskih slik, posnetih na začetku in koncu danega časovnega intervala, ter iz njunih razlik.

Model velja le za izbrane GGE v GGO Kočevje in le za površine, ki vsebujejo smreko. Klasifikacijska točnost modela na testnih podatkih je 90 %.



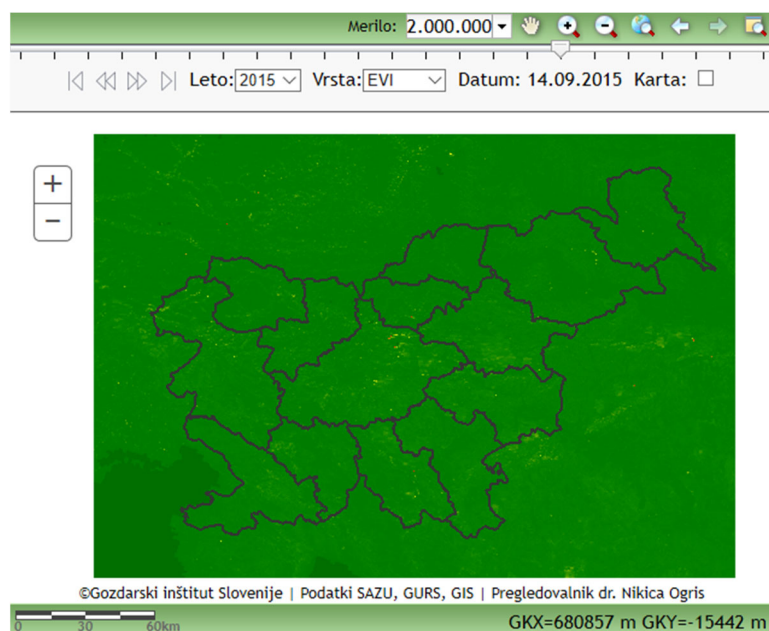
Slika 28: Primer karte za zaznavanje sanacije žarišč smrekovih podlubnikov s pomočjo satelitskih posnetkov Sentinel-2 za obdobje od 20. 6. do 28. 8. 2017 za izbrane GGE v GGO Kočevje

1.4.4 Spletna interaktivna aplikacija za pregled podatkov in vegetacijskih produktov satelita MODIS

Naslov: https://www.zdravgozd.si/projekti/podlubniki/karta_modis.aspx

Satelitske posnetke MODIS smo shranili v prostorski podatkovni zbirki v formatu Microsoft SQL Server 2016 (raster katalog). Za prikazovanje kart smo uporabili ESRI ArcGIS Server 10.6.1. Spletno aplikacijo smo razvili v programskem orodju Microsoft Visual Studio 2017 s pomočjo ESRI ArcGIS API for JavaScript 3.16 in Microsoft .NET Framework 4.7.2. Spletna aplikacija je kompatibilna z vsemi najpogostejšimi spletnimi brskalniki kot so Internet Explorer, Chrome, Firefox in Safari.

V spletni aplikaciji lahko pregledujemo časovno serijo posnetkov od 2000 do 2016 za naslednje vegetacijske produkte: NDVI, EVI, LAI in FAPAR.



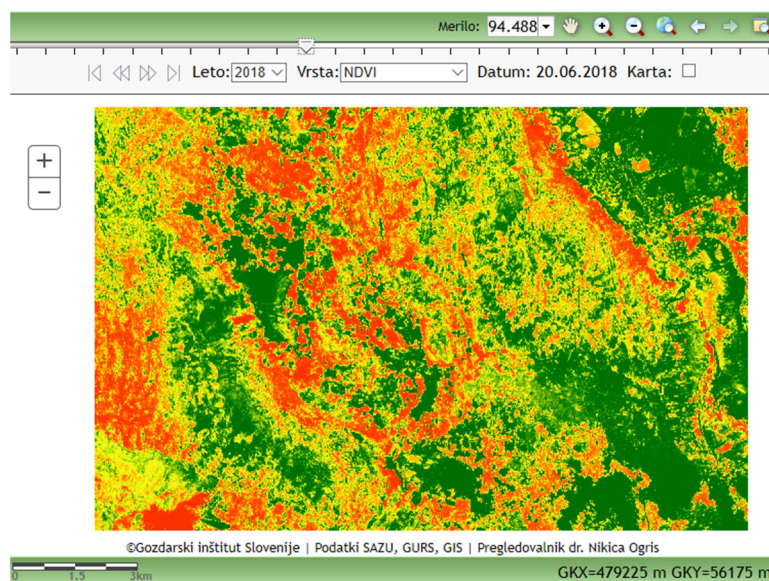
Slika 29: Spletna interaktivna karta – pregledovalnik posnetkov satelita MODIS. Na sliki primer EVI vegetacijskega indeksa za dan 14. 9. 2015.

1.4.5 Spletna interaktivna aplikacija za pregled podatkov in vegetacijskih produktov satelita Sentinel-2

Naslov: https://www.zdravgozd.si/projekti/podlubniki/karta_sentinel.aspx

Satelitske posnetke Sentinel-2 smo shranili v prostorski podatkovni zbirki v formatu Microsoft SQL Server 2016 (raster katalog). Za prikazovanje kart smo uporabili ESRI ArcGIS Server 10.6.1. Spletno aplikacijo smo razvili v programskem orodju Microsoft Visual Studio 2017 s pomočjo ESRI ArcGIS API for JavaScript 3.16 in Microsoft .NET Framework 4.7.2. Spletna

V spletni aplikaciji lahko pregledujemo časovno serijo posnetkov od 2015 do 2019 NDVI in EVI vegetacijskega indeksa ter združen RGB posnetek. Posnetki so izrezani za vzorčno območje v GGO Kočevje.

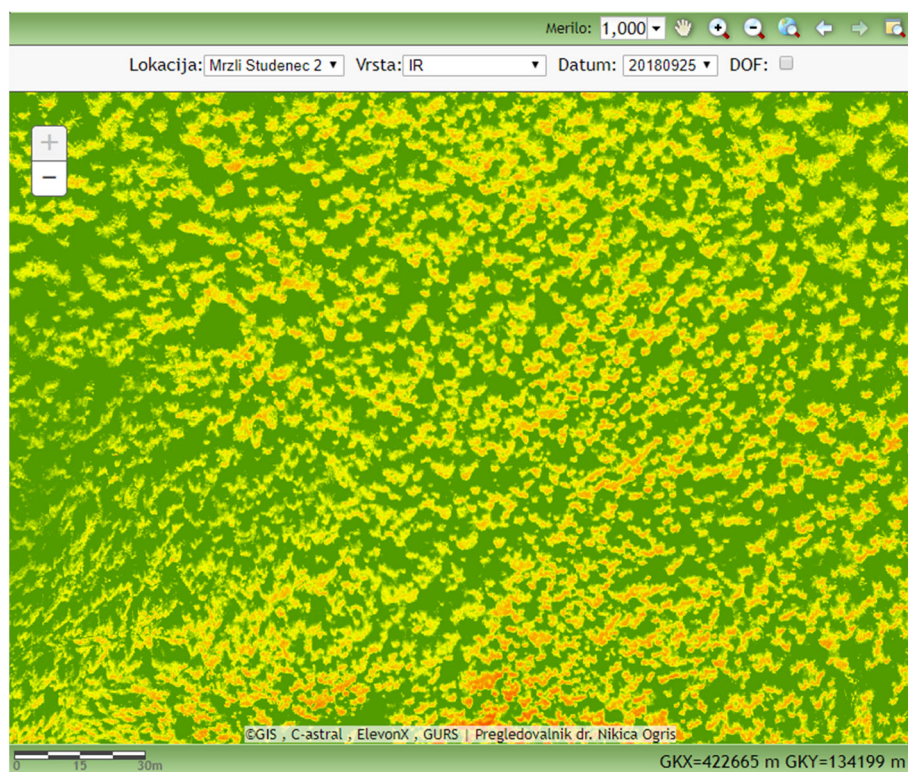


Slika 30: Spletna interaktivna karta – pregledovalnik posnetkov satelita Sentinel-2 za izbrane GGE v GGO Kočevje. Na sliki primer NDVI vegetacijskega indeksa za dan 20. 6. 2018.

1.4.6 Spletna interaktivna aplikacija za vizualizacijo multispektralnih posnetkov drona

Naslov: https://www.zdravgozd.si/projekti/podlubniki/karta_dron.aspx

Za namene pregleda in vizualizacije posnetkov drona smo pripravili posebno spletno interaktivno aplikacijo. Posnetke drona lahko pregledujemo v obliki časovnega zaporedja. Na voljo so naslednje vrste posnetkov drona: barvni DOF (RGB), infrardeči DOF, izračunana vegetacijska indeksa NDVI in EVI. Za izdelavo spletne aplikacije smo uporabili enako tehnologijo kot za spletno interaktivno aplikacijo za pregled satelitskih multispektralnih posnetkov MODIS in Sentinel-2. V pregledovalniku lahko vizualiziramo naslednje lokacije posnete z dronom (12 lokacij): Kalce 1, Kalce 2, Logatec, Mrzli Studenec 1, Mrzli Studenec 2, Odarjev rovt 1, Odarjev rovt 2, Pijava Gorica, Rudno polje, Svibno 1, Svibno 4, Uskovnica.



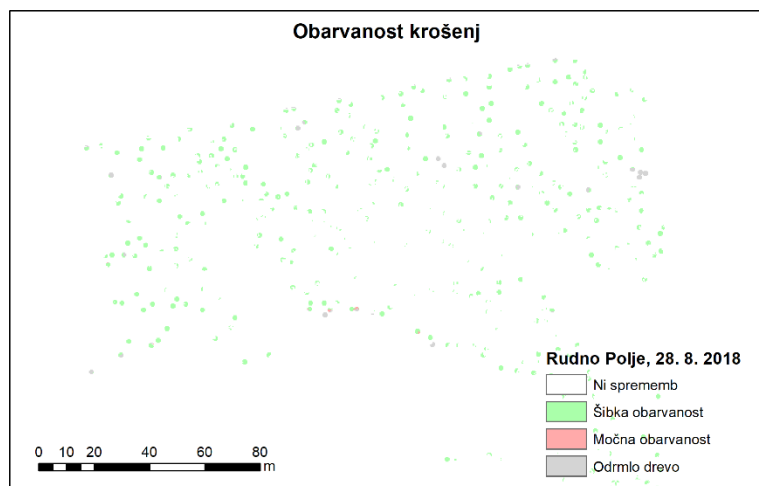
Slika 31: Interaktivna karta, pregledovalnik posnetkov drona. Primer za IR posnetek za lokacijo Mrzli Studenec na dan 25. 9. 2019.

1.4.7 Modelne karte osutosti in obarvanosti krošenj za izbrane štiri vzorčne ploskve posnete z dronom

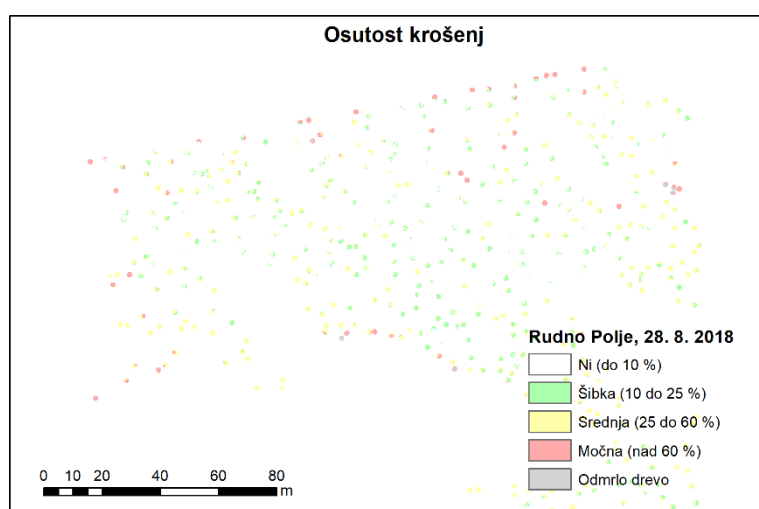
Naslov: https://www.zdravgozd.si/projekti/podlubniki/dron_model.aspx

Na podlagi posnetkov drona in terestričnih referenčnih podatkov smo razvili modela za oceno obarvanosti krošenj in osutosti krošenj. Na spletni strani prikazujemo rezultate teh dveh modelov za izbrane štiri vzorčne ploskve: Kalce, Rudno Polje in dve lokaciji na Mrzlem Studencu.

Rastrske karte prikazujejo modelne rezultate za vsa drevesa, ki so visoka vsaj 10 m in sicer le za piksele v krogu z radijem 1 m okoli vrha krošnje.



Slika 32: Modelna obarvanost krošenj za lokacijo Rudno polje, 28. 8. 2018



Slika 33: Modelna osutost krošenj za lokacijo Rudno polje, 28. 8. 2018

DS3 Stopnja ogroženosti iglavcev

Odgovorna oseba za DS3: Maarten de Groot.

Vsebina DS3 ustreza naslednjemu projektnemu cilju:

- Razviti algoritme za določanje stopnje ogroženosti smreke in jelke zaradi podlubnikov v različnih ekoloških razmerah.

Aktivnost 3.1: Podatkovna zbirka ekoloških faktorjev

Odgovorna oseba: Maarten de Groot

Izvajalec aktivnosti 3.1 je bil GIS.

Za razvoj modelov so bili uporabljeni naslednje spremenljivke: sanitarna sečnja smreke in jelke zaradi podlubnikov (m^3/ha), količina jelke in smreke (delež v celotni lesni zalogi), nadmorska višina (m), ekspozicija oz. usmerjenost ($^\circ$), naklon ($^\circ$), prevladujoči geološki tip podlage, izmenljivi fosfor ($\text{mg}/100\text{g}$), globina tal (cm), kationska izmenjevalna kapaciteta ($\text{mmolc}/100\text{g}$), nasičenost z bazami (%), standardizirani padavinski indeks (SPI - kazalnik za sušo) v trenutni rastni sezoni (minimalni SPI pomeni sušo, maksimalni SPI pa veliko padavin), povprečna letna temperatura zraka ($^\circ\text{C}$), kumulativna količina padavin v tekočem letu (mm), količina sanitarne sečnje zaradi podlubnikov v tekočem letu (m^3/ha), količina oslabljenih dreves zaradi podlubnikov v tekočem letu (m^3/ha), količina sanitarne sečnje zaradi abiotičnih dejavnikov v tekočem letu (m^3/ha) in lokacija (X in Y) v celici na mreži modela.

SPI je bil izračunan z uporabo SPEI knjižnice v programu R. Uporabljena je bila časovna serija padavin od leta 1971 do 2017. Uporabili smo mesečne kumulativne padavine. Karto padavinskega rastra je pripravila Agencija RS za okolje v prostorski ločljivosti $1 \times 1 \text{ km}$ (558 rastrskih datotek). Za izračun SPI smo uporabili časovni razpon 6 mesecev, kar pomeni, da so bili za izračun vrednosti SPI za določen mesec uporabljeni podatki iz tekočega meseca in preteklih petih mesecev. Za verjetnostno porazdelitev smo uporabili gama porazdelitev. Knjižnica SPEI je odvisna od knjižnice Imomco. Za nalaganje padavinskih podatkov v rastrski obliki je bil uporabljen rastrski paket. Za model je bil uporabljen povprečni SPI za rastno obdobje, kaj pomeni povprečni SPI med aprilom in oktobrom za vsako leto časovnega razpona.

Vsi podatki so bili pripravljeni za mrežo 1 km na 1 km . Podatke o sanitarni sečnji za obdobje 1997–2016 je zagotovil Zavod za gozdove Slovenije. Podatke o nadmorski višini je posredovala Geodetska uprava RS. Podatke o količini smreke in jelke je posredoval ZGS v podatkovni zbirki Gozdni Fondi. Ekspozicija in naklon terena sta bila izračunana s programom ESRI ArcGIS Desktop 10.4.1 na podlagi digitalnega višinskega modela s prostorsko ločljivostjo $12,5 \text{ m}$. Temperature zraka in padavine so bile pridobljene pri ARSO. Podatke o tleh o izmenljivem fosforju ($\text{mg}/100 \text{ g}$), globini zemlje (cm), kationski izmenjevalni kapaciteti ($\text{mmolc}/100\text{g}$) in nasičenosti z bazami (%) je na podlagi karte tal (Pedološko rekartiranje in digitalizacija pedoloških kart Republike Slovenije v merilu 1:25.000 kot osnove za določitev talnega potenciala, 1999) pripravil Nikica Ogris.

Rezultat aktivnosti:

- Podatkovna zbirka ekoloških faktorjev za razvoj modelov ogroženosti posameznih vrst iglavcev zaradi podlubnikov

Aktivnost 3.2: Razvoj modelov ogroženosti posameznih vrst iglavcev zaradi lubadarjev

Odgovorna oseba: Maarten de Groot

Izvajalec aktivnosti 3.2 je bil GIS.

Razvili in validirali smo dva logistična regresijska modela za napoved ogroženosti smreke in jelke zaradi podlubnikov. Na podlagi dejavnikov, izmerjenih v prejšnjem letu, z modelom napovemo verjetnost sanitarne sečnje smreke in jelke zaradi podlubnikov v tem letu.

Model kaže pozitivno korelacijo med sanitarno sečnjo zaradi jelovih podlubnikov v naslednjem letu in količino jelke v lesni zalogi, stopnjo nasičenosti z bazami v tleh, sanitarno sečnjo zaradi podlubnikov v prejšnjem letu, sanitarno sečnjo zaradi abiotičnih dejavnikov ter številom posekanih dreves oslavljenih zaradi abiotičnih dejavnikov. Nadmorska višina, naklon, fosfor v tleh, globina tal, temperatura, suša med rastno sezono in izmenjalna kapaciteta tal kažejo negativno povezavo s sanitarno sečnjo zaradi jelovih podlubnikov v naslednjem letu (Preglednica 6).

Preglednica 6: Statistični model biotskih in abiotičnih spremenljivk, ki vplivajo na verjetnost sanitarne sečnje bele jelke zaradi podlubnikov.

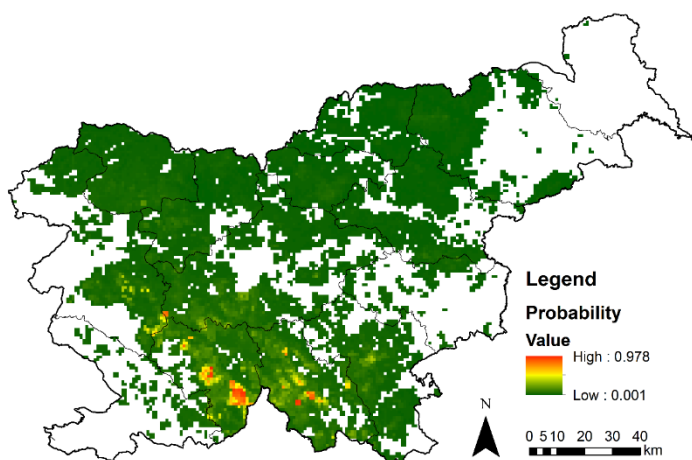
Spremenljivke	Ocena	Stand. napaka	z vrednost	Pr(> z)	Stat. značilnost
(Prestrežanje)	5,63E+00	3,64E-01	15.478	< 2e-16	***
Lesna zaloga jelke	2,56E-02	4,71E-04	54.377	< 2e-16	***
cbind(x, y)x	-7,23E-06	4,45E-07	-16.267	< 2e-16	***
cbind(x, y)y	-1,27E-05	4,85E-07	-26.249	< 2e-16	***
Nadmorska višina	-1,67E-03	1,04E-04	-16.007	< 2e-16	***
Naklon	-1,05E-02	1,50E-03	-6.994	2.68e-12	***
Fosfor	-3,98E-02	7,51E-03	-5.295	1.19e-07	***
Globina tal	-6,40E-03	4,54E-04	-14.101	< 2e-16	***
Kationska izmenjevalna kapaciteta tal	-2,98E-02	2,41E-03	-12.372	< 2e-16	***
Delež nasičenosti tal z bazami	1,85E-02	1,20E-03	15.478	< 2e-16	***
SPI	-3,22E-01	3,31E-02	-9.742	< 2e-16	***
Temperatura zraka	-3,60E-01	1,93E-02	-18.672	< 2e-16	***
log(1 + sanitarni posek jelke zaradi žuželk v tekočem letu)	1,33E+00	2,94E-02	45.238	< 2e-16	***
log(1 + posek oslabele jelke zaradi abiotičnih poškodb v tekočem letu)	1,14E-01	3,37E-02	3.374	0.000742	***
log(1 + sanitarni posek jelke zaradi abiotičnih poškodb v tekočem letu)	3,15E-01	2,14E-02	14.766	< 2e-16	***

V primeru smrekovih podlubnikov je bila sanitarna sečnja v naslednjem letu pozitivno povezana z lesno zalogo smreke, stopnjo nasičenosti z bazami v tleh, sušo (SPI), temperaturo, sanitarno sečnjo zaradi smrekovih podlubnikov v prejšnjem letu, sanitarno sečnjo zaradi abiotičnih dejavnikov in številom oslavljenih dreves zaradi abiotičnih dejavnikov. Dejavniki kot so nagib, količina fosforja v tleh, izmenjalna kapaciteta tal in količina padavin so v naslednjem letu negativno vplivali na verjetnost sanitarne sečnje zaradi smrekovih podlubnikov (Preglednica 7). Oba modela sta narejena na podatkih iz obdobja 1996-2016.

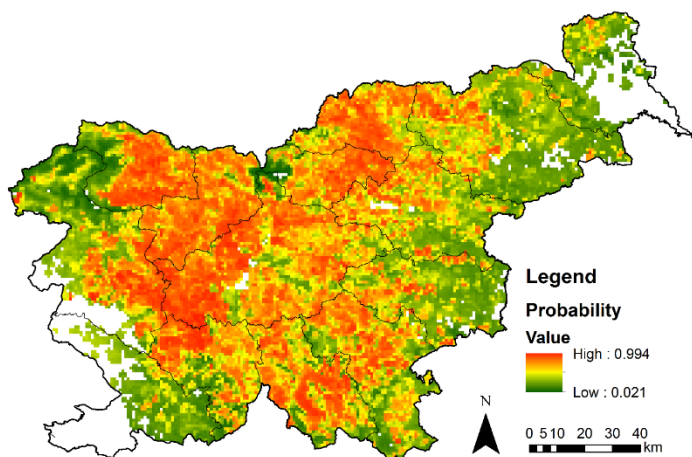
Preglednica 7: Statistični model biotskih in abiotskih spremenljivk, ki vplivajo na verjetnost sanitarne sečnje navadne smreke zaradi podlubnikov.

Spremenljivke	Ocena	Stand. napaka	z vrednost	Pr(> z)	Stat. značilnost
(Prestrežanje)	-2,41E+00	9,84E-02	-24.499	< 2e-16	***
Lesna zaloga smreke	2,37E-02	1,77E-04	134.256	< 2e-16	***
cbind(x, y)x	-4,43E-06	1,16E-07	-38.169	< 2e-16	***
cbind(x, y)y	4,00E-06	1,54E-07	25.918	< 2e-16	***
Naklon	-8,21E-03	5,00E-04	-16.421	< 2e-16	***
Fosfor	-5,39E-02	1,99E-03	-27.112	< 2e-16	***
Kationska izmenjevalna kapaciteta tal	-1,77E-02	8,04E-04	-22.056	< 2e-16	***
Delež nasičenosti tal z bazami	1,14E-02	3,61E-04	31.657	< 2e-16	***
SPI	-3,88E-02	1,08E-02	-3.580	0.000344	***
Temperatura zraka	2,66E-01	3,55E-03	74.851	< 2e-16	***
log(1 + sanitarni posek smreke zaradi žuželk v tekočem letu)	1,38E+00	9,30E-03	147.871	< 2e-16	***
log(1 + posek oslabiljene smreke zaradi abiotskih poškodb v tekočem letu)	5,04E-02	1,35E-02	3.732	0.000190	***
log(1 + sanitarni posek smreke zaradi abiotskih poškodb v tekočem letu)	5,50E-01	8,93E-03	61.542	< 2e-16	***

Validacijo modelov smo naredili na podlagi podatkov iz leta 2017. Pripravili smo napoved za leto 2017 in jo validirali s podatki iz leta 2017. Ugotovili smo, da je model za napoved ogroženost smreke zaradi podlubnikov napovedal dobro (AUC = 0.89). Tudi model za napoved ogroženost jelke zaradi podlubnikov je napovedal dobro (AUC = 0.84).



Slika 34: Napoved verjetnosti za sanitarno sečnjo bele jelke zaradi podlubnikov v letu 2017 v Sloveniji (AUC = 0.84).



Slika 35: Napoved verjetnosti za sanitarno sečnjo navadne smreke zaradi podlubnikov v letu 2017 v Sloveniji (AUC = 0.89).

Rezultat aktivnosti:

- Optimiziran in validiran prostorski model ogroženosti smreke zaradi podlubnikov v ločljivosti 1 km, časovna ločljivost 1 leto
- Optimiziran in validiran prostorski model ogroženosti jelke zaradi podlubnikov v ločljivosti 1 km, časovna ločljivost 1 leto
- Elaborat o razvoju modelov ogroženosti iglavcev zaradi podlubnikov. Izsledke smo objavili v reviji Forest Ecology and Management (<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117495>).

Aktivnost 3.3: Implementacija modelov v elektronski sistem za varstvo gozdov v Sloveniji

Odgovorna oseba: Nikica Ogris

Izvajalec aktivnosti 3.3 je bil GIS.

Iz modelov, ki smo jih pripravili v aktivnosti 3.2, smo izdelali karte ogroženosti zaradi napada podlubnikov na smreki in jelki za naslednje leto. Karti ogroženosti smreke in jelke smo prikazali kot interaktivni karte na spletnem portalu za varstvo gozdov www.zdravgozd.si (Slika 36 in Slika 37).

Modela iz aktivnosti 3.2 smo implementirali tako, da bomo lahko vsako leto na podlagi posodobljenih vhodnih podatkov samodejno izdelali napoved ogroženosti smreke in jelke zaradi podlubnikov v naslednjem letu. Za ta namen smo izdelali dve namizni aplikaciji (Slika 38 in Slika 39):

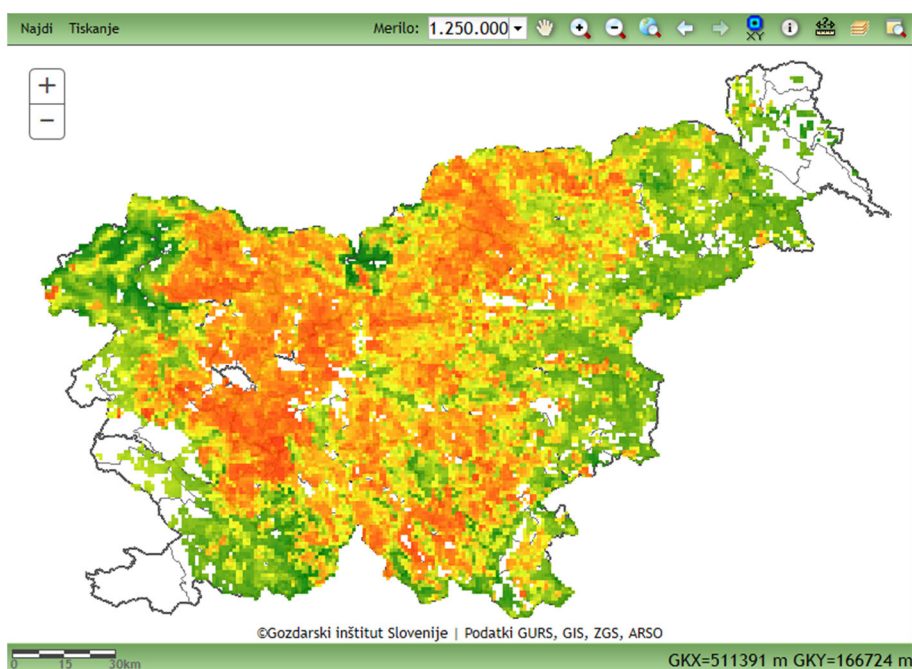
- Obrazec za izračun modela za ogroženost jelke ima 6 parametrov, tj. spremenljivk, ki se vsako leto posodobijo (lesna zaloga jelke, 6 mesečni sezonski SPI, temperatura zraka, sanitarni posek jelke zaradi žuželk, posek oslabele jelke zaradi abiotskih poškodb, sanitarni posek jelke zaradi abiotskih poškodb).
- Obrazec za izračun modela za ogroženost smreke zaradi podlubnikov ima 7 spremenljivih parametrov (lesna zaloga smreke, 6 mesečni SPI za vegetacijsko sezono, povprečna letna temperatura zraka, skupna količina padavin v prejšnjem letu, sanitarni posek smreke zaradi žuželk, posek oslabele smreke zaradi abiotskih poškodb, sanitarni posek smreke zaradi abiotskih poškodb).

Poleg spremenljivk, ki se spreminjajo letno, so del modelov tudi spremenljivke, ki se med leti ne spreminjajo: nadmorska višina (DMR), ekspozicija terena, naklon terena, geološka podlaga, količina izmenljivega fosforja v tleh, globina tal, izmenjalna kapaciteta tal (T), stopnja nasičenosti z bazami (V).

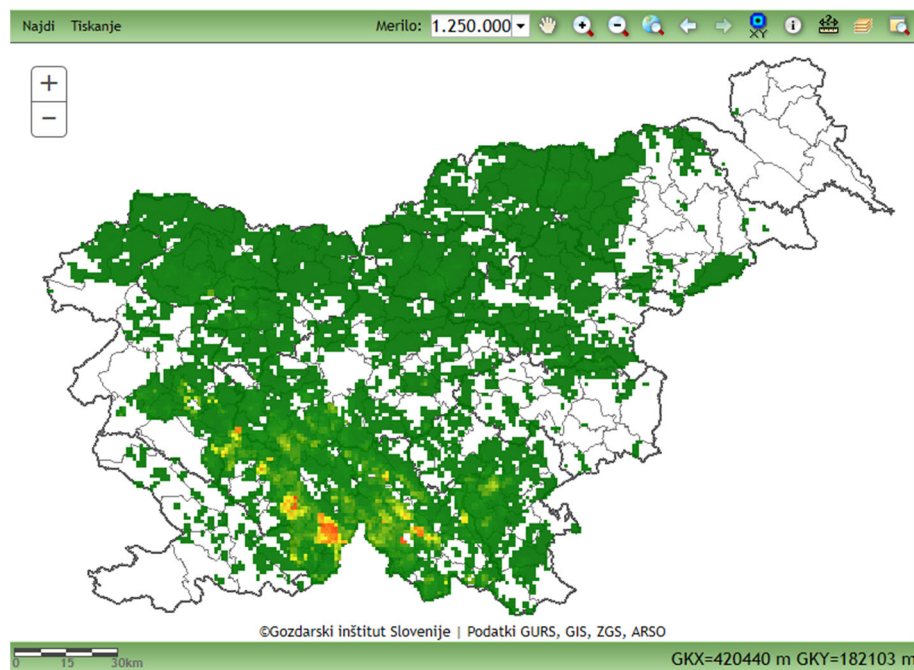
V obrazcu namizne aplikacije interaktivno določimo parametre in nato aplikacija sama izračuna model s pomočjo statističnega programa R in knjižnice Raster. Aplikaciji smo razvili v programu Microsoft Visual Studio 2017, s knjižnico Microsoft .NET Framework 4.6.

Rezultat aktivnosti 3.3:

- interaktivna spletna aplikacija za pregled karte ogroženosti smreke zaradi podlubnikov za naslednje leto (Slika 36). Naslov: <https://www.zdravgozd.si/karta.aspx?idpor=a146b52d-05d5-4c09-a7fe-a2478875b9fe>
- interaktivna spletna aplikacija za pregled karte ogroženosti jelke zaradi podlubnikov za naslednje leto (Slika 37). Naslov: <https://www.zdravgozd.si/karta.aspx?idpor=4d5a630b-65d5-4258-b0b0-2ef17c7f7652>
- implementacija modela za oceno ogroženosti smreke in jelke zaradi podlubnikov v sistem samodejnega izračuna glede na nove vhodne podatke (Slika 38 in Slika 39)

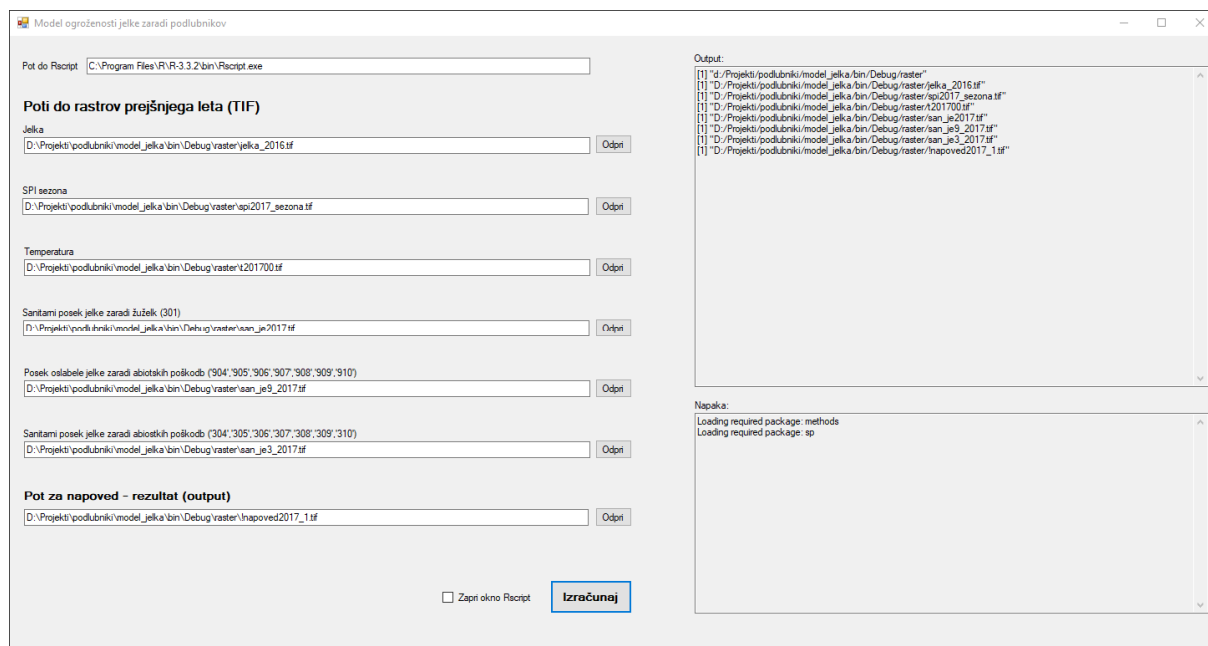


Slika 36: Interaktivna spletna karta za pregled napovedi ogroženosti smreke zaradi podlubnikov. Primer za leto 2018. Naslov: <https://www.zdravgozd.si/karta.aspx?idpor=a146b52d-05d5-4c09-a7fe-a2478875b9fe>



Slika 37: Interaktivna spletna karta za pregled napovedi ogroženosti jelke zaradi podlubnikov. Primer za leto 2018. Naslov: <https://www.zdravgozd.si/karta.aspx?idpor=4d5a630b-65d5-4258-b0b0-2ef17c7f7652>

Slika 38: Namizna aplikacija za izračun modela ogroženosti smreke zaradi podlubnikov



Slika 39: Namizna aplikacija za izračun modela ogroženosti jelke zaradi podlubnikov

DS4 Model razvoja smrekovih podlubnikov in sistem obveščanja

Odgovorna oseba za DS4: Nikica Ogris.

Sodelujoče organizacije: BF, ZGS

V DS4 smo uresničili naslednja dva projektna cilja:

- razviti in validirati model razvoja smrekovih podlubnikov v Sloveniji ter razvoj sistema za samodejni izračun predvidenega začetka rojenja spomladi in datuma konca razvoja prve generacije, do katerega se spremlja ulov za osmerozobega (*Ips typographus* L.) in šesterezobega (*Pityogenes chalcographus* L.) smrekovega lubadarja;
- vzpostaviti sistem obveščanja krajevnih in območnih enot Zavoda za gozdove Slovenije o pričetku rojenja in konca razvoja prve generacije osmerozobega in šesterezobega smrekovega lubadarja.

Aktivnost 4.1: Plan postavitve in spremljanja kontrolnih pasti in kontrolno-lovnih debel

Odgovorna oseba: Nikica Ogris

Izvajalci aktivnosti 4.1 so bili GIS, BF in ZGS.

Pravilna izbira lokacije in nameščanje kontrolnih pasti (KP) in kontrolno-lovnih debel (KLD) sta bili zelo pomembni, zato smo temu v prvi fazi projekta namenili posebno pozornost (v času prve in druge zime). Položili smo štiri kontrolno-lovna debela v prvem in drugem letu trajanja projekta (skupaj osem). Tretje leto projekta je bilo namenjeno kalibraciji, validaciji in implementaciji modela v obstoječi elektronski informacijski sistem za varstvo gozdov, ki ga razvija in vzdržuje GIS. Kontrolno-lovna debela smo položili na različnih nadmorskih višinah in različnih ekspozicijah (Preglednica 8). S takšno izbiro smo obsegli dovolj širok gradient osončenosti KLD in s tem temperaturnih razmer, ki bistveno vplivajo na razvoj podlubnikov, kar je omogočilo učinkovito kalibracijo modela za območje, kjer so bile nastave položene (ne za celo Slovenijo, saj je bil vzorec premajhen, kar smo MKGP opozorili z dopisom). Kontrolno-lovna debela so bila iz smrek prsnega premera 21–46 cm ter dolžine 12–35 m. Pri podiranju smo veje oklestili in jih zložili na kontrolno-lovni kup (KLK). Kontrolno-lovna debela smo položili v senco oz. polsenco, kar ustreza povprečnim razmeram v sestoju. Lokacija KLD je bila v bližini aktivnih žarišč smrekovih podlubnikov. Vse kontrolne nastave v 2017 sta naselila IT in PC. V letu 2018 je bila naselitev PC uspešna na vseh štirih KLD in IT samo na dveh kontrolnih nastavah.

Kontrolne pasti smo postavili v bližini kontrolno-lovnih debel, vendar dovolj daleč stran, da ni prišlo do medsebojnega vpliva (npr. vsaj 25 m stran), kar pomeni, da smo kontrolne pasti postavili prav tako na osmih lokacijah, na različnih nadmorskih višinah in legah. V letu 2018 se je prostovoljno javil še ZGS GGO Bled, ki je spremljal štiri KP za IT in eno za PC.

Zelo pomembno je bilo pravilno izbrati datum postavitve KP in KLD. Kontrolne pasti smo postavili dovolj zgodaj, da smo ulovili pričetek spomladanskega rojenja. Kontrolno-lovna debela smo položili nekoliko kasneje (Preglednica 8).

Preglednica 8: Lokacije kontrolnih pasti, kontrolnih nastav, njihova nadmorska višina, ekspozicija, naklon terena in datum položitve nastave

Lokacija	Nadmorska višina(m)	Geog. dolžina	Geog. širina	Ekspozicija	Naklon (°)	Datum položitve nastave	Leto spremljanja
Vodice	330	14,53352	46,18860	Ravnina	3	10.3.2017	2017
Kamnik	578	14,62817	46,21906	NNE	15	10.3.2017	2017
Brode	830	14,76272	46,24221	WNW	32	12.3.2017	2017
Prevala	1038	14,75218	46,24833	Ravnina	6	12.3.2017	2017
Medvedica	426	14,62660	45,90970	WNW	7	22.3.2018	2018
Turjak	510	14,61615	45,86659	SSW	7	22.3.2018	2018
Erjavčev laz	849	14,50619	45,88600	SW	23	19.4.2018	2018
Mokrc	1016	14,52877	45,89407	ESE	10	19.4.2018	2018
Vorenčkojca*	578	13,88658	46,29071	SE	7	-	2018
Blejski grad*	531	14,09714	46,36955	W	33	-	2018
Višče*	521	14,09153	46,37071	NE	21	-	2018
Dražnik*	721	14,06326	46,36259	SE	21	-	2018

* Na teh lokacijah smo spremljali samo kontrolne pasti.

Rezultati aktivnosti A4.1 so bili:

- plan postavitve kontrolnih pasti: natančne lokacije in čas postavitve (Preglednica 8)
- plan položitve kontrolno-lovnih debel: natančne lokacije in čas poleganja (Preglednica 8)

Aktivnost 4.2: Spremljanje ulova smrekovih podlubnikov v kontrolnih pasteh

Odgovorna oseba: Marija Kolšek

Izvajalci aktivnosti 4.2 so bili ZGS, BF in GIS.

Cilj spremljanja ulova smrekovih podlubnikov v kontrolnih pasteh je bil ujeti datum prvega rojenja.

V bližini vsake izbrane lokacije s položenimi kontrolno-lovnimi debli smo postavili dve kontrolni pasti tipa Theysohn (WitaTrap®). Ena kontrolna past je bila opremljena s feromonsko vabo za osmerozobega smrekovega lubadarja (Pheroprax®), druga pa s feromonsko vabo za šesterozobega smrekovega lubadarja (Chalcoprax®). Kontrolni pasti sta bili na lokaciji oddaljeni med seboj vsaj 50 m tako, da med njima ni prišlo do morebitnih medsebojnih vplivov. Ulov v pasteh smo spremljali na vsake 2–3 dni (ponedeljek, sredo in petek), saj smo želeli čim natančneje ujeti datum prvega rojenja. Kontrolne pasti smo postavili dovolj zgodaj, da nismo zamudili prvega rojenja smrekovih lubadarjev. Ulov v kontrolne pasti se je v tekočem letu spremljal samo do začetka prvega rojenja (prvi ulov nad 100 osebkov), saj so bile KP v namenjene samo natančni določitvi datumov prvega rojenja.

Preglednica 9: Zabeležen začetek rojenja in napada *Ips typographus* (IT) in *Pityogenes chalcographus* (PC)

Lokacija	Zabeležen začetek IT		Zabeležen začetek PC	
	rojenja	napad KLD	rojenja	napad KLD
Vodice	16.03.2017	27.03.2017	24.03.2017	03.04.2017
Kamnik	20.03.2017	27.03.2017	20.03.2017	03.04.2017
Brade	20.03.2017	03.04.2017	20.03.2017	03.04.2017
Prevala	31.03.2017	22.05.2017	12.04.2017	22.05.2017
Medvedica ^a	02.04.2018		02.04.2018	25.04.2018
Turjak ^a	09.04.2018		13.04.2018	25.04.2018
Erjavčev laz	08.04.2018	25.04.2018	08.04.2018	25.04.2018
Mokrc	19.04.2018	02.05.2018	19.04.2018	25.04.2018
Vorenčkajca ^b	09.04.2018		17.04.2018	
Blejski grad ^b	13.04.2018			
Višče ^b	13.04.2018			
Dražnik ^b	13.04.2018			

^a Na lokaciji Medvedica in Turjak, napad IT ni bil zabeležen; ^b Na teh lokacijah smo spremljali samo kontrolne pasti

Rezultat aktivnosti:

- datum prvega rojenja osmerozobega in šestrozobega smrekovega lubadarja na štirih lokacijah v letih 2017 in 2018 (Preglednica 9);
- časovna vrsta količin ujetih osebkov osmerozobega in šestrozobega smrekovega lubadarja na štirih lokacijah s frekvenco 3 krat na teden do prvega rojenja v letih 2017 in 2018. Podatki so na voljo pri vodji projekta.

Aktivnost 4.3: Spremljanje kontrolno-lovnih debel

Odgovorna oseba: Maja Jurc

Izvajalca aktivnosti 4.3 sta bila BF in GIS.

Cilj spremljanja kontrolno-lovnih debel je bil spremljati razvoj osmerozobega in šestrozobega smrekovega lubadarja: pridobili smo datum prvega napada podlubnikov in temperaturno vsoto učinkovitih temperatur potrebnih za razvoj od jajčeca do odrasle žuželke (IT in PC).

Kontrolna-lovna debela (KLD) smo spremljali v prvih dveh letih trajanja projekta. KLD smo spremljali vsakih 7 dni. Nove vhodne odprtine smo označili z risalnimi žeblički in zaporedno številko. Ko smo na KLD opazili prve vhodne odprtine, smo to zabeležili kot datum prvega napada. Na tedenski ravni smo na označenih mestih spremljali razvoj podlubnikov z odstranjevanjem dela skorje. Vsakič smo zabeležili najbolj razvito fazo in pristnost/odsočnost odraslih hroščev. Takoj ko so se osebkovi razvili do razvojne faze bube, smo odvzeli kos debela v dolžini 50–70 cm in ga postavili v rastno komoro, kjer smo spremljali razvoj podlubnikov vsak dan. Odvzeli smo skupaj 13 kosov debel za dnevno spremljanje razvoja IT in 18 kosov debel za dnevno spremljanje razvoja PC v rastni komori. Razvoj IT in PC smo spremljali v dveh rastnih komorah. V prvi rastni komori (BF) smo nastavili konstantno temperaturo 23 °C, relativno zračno vlažnost 70 %, čas dneva je bil dolg 16 ur in noč 8 ur. V drugi rastni komori (GIS) so bile nastavitve identične razen temperatura, ki smo jo nastavili na 28 °C. Dejansko temperaturo in vlažnost zraka smo merili z dodatnima senzorjema vsakih 30 minut. S spremljanjem pojava prve generacije v rastni komori smo pridobili natančnejše podatke o potrebni vsoti učinkovitih temperatur za celoten razvojni cikel.

Preglednica 10: Izmerjena temperaturna vsota efektivnih temperatur za pričetek rojenja in napada

Lokacija	Temperaturna vsota IT (°dni)		Temperaturna vsota PC (°dni)	
	Rojenje	Napad	Rojenje	Napad
Vodice	37,4	120,5	77,4	177,1
Kamnik	58,2	106,2	42,2	169,4
Brode	29,6	114,8	24,8	113,9
Prevala	52,5	239,5	120,4	255,2
Medvedica ^a	50,8		40,6	270,4
Turjak ^a	64,5		81,4	213,8
Erjavčev laz	27,0	169,0	29,6	176,7
Mokrc	60,9	183,6	66,3	131,8
Vorenčkojca ^b	34,2		76,6	
Blejski grad ^b	81,7			
Višče ^b	81,0			
Drajžnik ^b	57,6			
Povprečno	53,0	155,6	62,1	188,5
Interval zaupanja (95 %)	11,6	54,2	23,6	46,0

Rezultat aktivnosti:

- datum prvega napada osmerozobega in šestrozobega smrekovega lubadarja na štirih lokacijah v letih 2017 in 2018 (Preglednica 9)
- temperaturna vsota efektivnih temperatur potrebnih za pričetek rojenja, za pričetek napada in za razvoj od jajčeca do odrasle žuželke (IT in PC) (Preglednica 10 in članek o modelu RITY-2)

Aktivnost 4.4: Spremljanje temperature zraka in temperature skorje

Odgovorna oseba: Mitja Ferlan

Izvajalec aktivnosti 4.4 je bil GIS.

Cilj spremljanja temperature zraka in skorje je bil najti korelacijo med temperaturo zraka in temperaturo skorje. Ker smo razvili modela, ki kot vhodni podatek imata tako temperaturo zraka kot temperaturo skorje, kasneje pa bo na voljo samo temperatura zraka (podatki ARSO iz sistema INCA), smo s pomočjo regresijskega modela izračunali temperaturo skorje na podlagi temperature zraka.

V neposredni bližini kontrolno-lovnih debel in kontrolnih pasti smo merili temperaturo zraka na višini 2,0 m od tal vsakih 30 minut. Prav tako smo na vsakem kontrolno-lovnem deblu merili temperaturo skorje vsake pol ure na štirih mestih: zgoraj, spodaj, levo in desno. Termometre za merjenje temperature skorje smo namestili na dnu krošnje na štirih mestih okoli debla. Temperatura zraka in temperatura skorje se je avtomatsko odčitala vsako uro in shranila v napravi oz. avtomatsko poslala posnete podatke s pomočjo GPRS signala na FTP strežnik in bila realno časovno dostopna v spletni aplikaciji eMIS-GIS.

Rezultat aktivnosti:

- temperatura zraka in temperatura skorje KLD izmerjena vsake pol ure na štirih lokacijah v letih 2017 in 2018 (podatki so dostopni pri vodji projekta in v spletni aplikaciji eMIS-GIS)

Aktivnost 4.5: Razvoj, validacija in kalibracija fenološkega modela smrekovih podlubnikov

Odgovorna oseba: Nikica Ogris

Izvajalec aktivnosti 4.5 je bil GIS.

Cilj aktivnosti 4.5 je bil razviti informacijski sistem za samodejni izračun predvidenega začetka rojenja spomladi in datuma konca razvoja prve generacije, do katerega se spremlja ulov v kontrolnih pasteh za osmerozobega in šesterozobega smrekovega lubadarja. Cilj je bil razviti, validirati in kalibrirati fenološki model za IT in fenološki model za PC. Fenološki model za IT smo poimenovali RITY, fenološki model za PC smo poimenovali CHAPY.

Rezultat aktivnosti:

- kalibriran in validiran fenološki model za IT - RITY
- kalibriran in validiran fenološki model za PC - CHAPY
- informacijski sistem za samodejni izračun predvidenega začetka rojenja spomladi in datuma konca razvoja prve generacije, do katerega se spremlja ulov v kontrolnih pasteh za osmerozobega in šesterozobega smrekovega lubadarja

Fenološki model RITY

Razvoj modela, njegova validacija in kalibracija je v celoti opisana v članku: Ogris N, Ferlan M, Hauptman T, Pavlin R, Kavčič A, Jurc M, De Groot M, 2019. RITY – A phenology model of *Ips typographus* as a tool for optimization of its monitoring. Ecological Modelling 410, 108775, <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.108775>. V nadaljevanju je samo povzetek fenološkega modela RITY-2.

Razvili smo fenološki model RITY-2 (Razvoj Ips Typographus) za prostorsko in časovno simulacijo sezonskega razvoja IT. Model temelji na fenološkem modelu PHENIPS in podatkih o temperaturi zraka iz sistema INCA (sistem za zelo kratkoročno avtomatizirano napoved), ki jih dobavlja ARSO. Veliko delov modela PHENIPS je bilo izboljšanih in razvili smo nov model, ki je prilagojen za območje Slovenije oz. območje osmih lokacij, kjer smo spremljali razvoj IT v naravi. Model pričetek spomladanskega rojenja napove s pomočjo spodnjega temperaturnega praga za letenje, tj. 14,5 °C in temperaturno vsoto $53,0 \pm 11,6$ °dni od 7. marca naprej. Prvi napad model izračuna s pomočjo spodnjega temperaturnega praga za letenje, tj. 14,5 °C in temperaturno vsoto $155,6 \pm 54,2$ °dni od 7. marca naprej. Temperaturna vsota za rojenje in prvi napad se izračuna po naslednji formuli: $\sum (I_{\max} - 8,3)$, ko je $I_{\max} > 14,5$ °C, kjer je $I_{\max}$ maksimalna dnevna temperatura zraka iz sistema INCA.

Model izračuna pričetek rojenja s srednjo absolutno napako 2,4 dni in prvi napad kontrolnih nastav s srednjo absolutno napako 4,7 dni. S vsakodnevnim spremljanjem razvoja IT v rastni komori smo potrdili, da za popolni razvoj ene generacije od napada do odrasle žuželke potrebuje temperaturno vsoto 557 °dni. Ta vrednost je le za 0,5 °dni povprečno odstopala od referenčne vrednosti. Temperaturna vsota se od napada naprej v modelu izračunava drugače kot za rojenje in napad. Temperaturna vsota za razvoj IT se izračuna na podlagi efektivnih temperatur skorje B_{Teff}. Na intervalu med spodnjim pragom za razvoj (8,3 °C) in optimalno temperaturo (30,4 °C) uporabljamo linearno formulo: $B_{Teff} = BT - 8,3$ °C. Na intervalu nad optimalno temperaturo in zgornjim pragom pa uporabljamo nelinearno formulo $B_{Teff} = (TO - DTL) \times (\exp(\alpha \times T) - \exp(\alpha \times T_{\max} - (T_{\max} - T)/\beta)) - \gamma$, kjer $\alpha = 0,02876507$; $\beta = 3,5922336$; $\gamma = 1,24657367$; $T_{\max} = 40,9958913$. B_{Teff} je pod spodnjim pragom in nad zgornjim pragom enaka nič. Temperatura skorje (BT) se izračuna na podlagi linearnih formul iz temperature zraka v gozdu (AT). Obe seriji formul za tri scenarije (AVG, MIN, MAX) smo izračunali s pomočjo linearne regresije.

Primerjali smo rezultate, če vzamemo kot vhodne podatke urne temperature ali dnevne temperature. Boljše rezultate so dali dnevni podatki. Zato smo se odločili za uporabo dnevnih vrednosti. Model izračunava razvoj IT na podlagi treh scenarijev, tj. treh temperatur: AVG (povprečna dnevna temperatura, ustreza senčnim-polsenčnim pogojem v gozdnem sestoju), MIN (minimalna dnevna temperatura, najpočasnejši možni potencialni razvoj), MAX (maksimalna dnevna temperatura, najhitrejši potencialni razvoj). Z raziskavo smo potrdili, da pri približno 50 % temperaturne vsote potrebne za cel razvoj ene generacij samica zapusti rov in zaleže sestrsko generacijo. Prav tako smo potrdili, da je razvoj različnih faz potrebna podobna temperaturna vsota učinkovitih temperatur, kot to navajajo v referenčni literaturi: jajčece ok. 10%, ličinka ok. 40 %, buba ok. 10 % in mladi hrošč ok. 40 %.

Model RITY-2 se samodejno izračuna vsak dan med 7. marcem in 31. oktobrom. Izračuna stanje na trenutni dan in napove potencialni razvoj za naslednjih 7 dni v naprej. Ločljivost modela je 1×1 km, kar je pogojeno s prostorsko ločljivostjo sistema INCA, od koder črpa podatke o temperaturi zraka. Pri točkovni poizvedbi smo dodali možnost interpolacije temperature glede na dejansko izbrano nadmorsko višino.

Model RITY-2 simulira tudi število generacij (čistih in sestrskih), kar lahko uporabimo za oceno tveganja zaradi IT na regionalnem nivoju.

Datum konca razvoja prve generacije osmerozobega smrekovega lubadarja določimo na podlagi vsote učinkovitih temperatur skorje. Ko vsota učinkovitih temperatur skorje doseže 557 °dni, je to dan, ko se predvidoma zaključi razvoj prve generacije osmerozobega smrekovega lubadarja in izleti iz debla. V modelu smo upoštevali, da se osmerozobi smrekov lubadar ne zaleže nove generacije, če je dolžina dneva krajša kot 14,5 ur.

Z iterativno metodo smo določili datum, od katerega naprej je najbolje pričeti z izračunom modela RITY-2. Odločili smo se za najkasnejši datum, ki je dal najmanjšo srednjo absolutno napako pri napovedi pričetka rojenja in prvega napada. To je bil 7. marec.

Fenološki model CHAPY

Fenološki model CHAPY (CHAlcographus PitYogenes) za prostorsko in časovno simulacijo sezonskega razvoja šestrozobega smrekovega lubadarja (*Pityogenes chalcographus*, PC) smo razvili na podlagi fenološkega modela RITY-2, kateremu smo spremenili, validirali in kalibrirali parametre, tako da ustrezajo biologiji in ekologiji PC. Model CHAPY prav tako temelji na vhodnih podatkih sistema INCA, ki jih dobavlja ARSO.

Iz terenskih opazovanj na osmih lokacijah smo ugotovili, da PC prične rojiti, ko maksimalna dnevna temperatura preseže 15,6 °C in ko je temperaturna vsota učinkovitih temperatur večja ali enaka 62,1 °dni od 14. marca naprej. Prvi napad KDL se je zgodil, ko je maksimalna dnevna temperatura presegla 15,6 °C in ko je bila temperaturna vsota učinkovitih temperatur večja ali enaka 188,5 °dni od 14. marca naprej. Z iterativno metodo smo izračunali, kdaj je najmanjša napaka modela za napoved pričetka rojenja in prvega napada – izbrali smo najkasnejši datum, tj. 14. marec, od katerega naprej se model izračuna vsak dan. Za razliko od RITY-2 pri CHAPY-1 vzamemo pri napovedi pričetka rojenja in prvega napada za izračun učinkovitih temperatur zraka ATmax (maksimalna temperatura zraka v gozdu) in ne Imax (maksimalna temperatura zraka iz sistema INCA).

Pričetek rojenja je bil napovedan s srednjo absolutno napako 5,3 dni. Prvi napad KLD je bil napovedan s srednjo absolutno napako 6,1 dni.

Spodnji in zgornji temperaturni prag ter optimalna temperatura je določena glede na podatke iz literature. Spodnji prag: 8,0 °C, optimalna temperatura (ocenjena, 36,0 °C), zgornji prag (ocenjen, 39,4 °C). Glede na slednje pragove smo izračunali efektivno temperaturo skorje, ki je pomembna za razvoj PC v skorji. Na intervalu med spodnjim pragom za razvoj (8,0 °C) in optimalno temperaturo (36,0 °C) uporabljamo linearno formulo: $B_{Teff} = BT - 8,0$ °C. Na intervalu nad optimalno temperaturo in zgornjim pragom pa uporabljamo nelinearno formulo $B_{Teff} = (T_o - DT_L) \times (\exp(\alpha \times BT) - \exp(\alpha \times T_{max} - (T_{max} - BT)/\beta) - \gamma)$, kjer $\alpha = 0.023$; $\beta = 1.5$; $\gamma = 1.22$; $T_{max} = 40.996$. B_{Teff} je pod spodnjim pragom in nad zgornjim pragom enaka nič. Temperatura skorje (BT) se izračuna na podlagi linearnih formul iz temperature zraka v gozdu (AT). Obe seriji formul za tri scenarije (AVG, MIN, MAX) smo izračunali s pomočjo linearne regresije.

Izračunali smo, da je za cel razvoj PC od napada do odraslega hrošča potrebnih povprečno 591,1 °dni.

Razvoj PC smo spremljali vsak dan v dveh rastnih komorah na dveh različnih temperaturah. Zabeležili smo, da so samice zapustile materinski hodnik, ko je temperaturna vsota dosegla minimalno 52,7 % temperaturne vsote potrebne za cel razvoj PC ($K = 591$ °dni).

Model CHAPY-1 se samodejno izračuna vsak dan med 14. marcem in 31. oktobrom. Izračuna stanje na trenutni dan in napove potencialni razvoj za naslednjih 7 dni v naprej. Ločljivost modela je 1×1 km, kar je pogojeno s prostorsko ločljivostjo sistema INCA, od koder črpa podatke o temperaturi zraka.

Model CHAPY-1 simulira tudi število generacij (čistih in sestrskih), kar lahko uporabimo za oceno tveganja zaradi IT na regionalnem nivoju.

Datum konca razvoja prve generacije PC določimo na podlagi vsote efektivnih temperatur skorje. Ko vsota efektivnih temperatur skorje doseže 591 °dni, je to dan, ko se predvidoma zaključi razvoj prve generacije PC in izleti iz debla. V modelu smo domnevali, da se PC ne zaleže nove generacije, če je dolžina dneva krajša kot 14,5 ur.

Pri razvoju modela CHAPY-1 smo ugotovili nekaj teoretičnih lukenj v znanju, ki ostajajo priložnosti za nadaljnje raziskave: (1) optimalna temperatura je bila določena na 36,0 °C kot domneva; (2) zgornji temperaturni prag je bil določen kot predpostavka (39,4 °C); (3) spodnji temperaturni prag za vsako razvojno fazo PC manjka; (4) mejna dolžina dneva, ko PC lahko zastavi novo generacijo, je bila domnevno nastavljena na 14,5 h; (5) model konča z izračunom 31. oktobra, kljub temu da se razvoj lahko nadaljuje v novembru in decembru, če so temperature nad spodnjim temperaturnim pragom; (6) referenčne temperaturne vsote za vsako razvojno fazo manjkajo.

Aktivnost 4.6: Vzpostavitev sistema samodejnega obveščanja krajevnih in območnih enot ZGS
Odgovorna oseba: Nikica Ogris

Izvajalec aktivnosti 4.6 sta bila GIS in ZGS.

Cilj aktivnosti 4.6 je bil vzpostaviti sistem samodejnega obveščanja krajevnih in območnih enot Zavoda za gozdove Slovenije o pričetku rojenja in koncu prve generacije osmerozobega in šestrozobega smrekovega lubadarja.

Aktivnost 4.6 smo pričeli izvajati, ko je bila končana aktivnost 4.5, tj. ko sta bila modela RITY-2 in CHAPY-2 validirana in kalibrirana. Modela smo implementirali neposredno v obstoječ elektronski informacijski sistem za varstvo gozdov, ki ga Zavod za gozdove Slovenije uporablja od 2013 naprej, razvija in vzdržuje pa GIS. Vhodna podatka v model sta povprečna dnevna in maksimalna dnevna temperatura zraka. Na podlagi temperature zraka se po modelu (aktivnost 4.5) izračuna temperatura

skorje. Vir podatkov za temperaturo zraka je sistem za zelo kratkoročno avtomatizirano napoved (INCA, Agencija RS za okolje). Prostorska ločljivost podatkov iz sistema INCA je 1 km². Temu primerna je tudi prostorska ločljivost modela za napoved pričetka rojenja in konca izletavanja prve generacije smrekovih podlubnikov. Sistem INCA napoveduje temperaturo zraka do 12 ur vnaprej. Ker želimo napovedati pričetek rojenja več dni vnaprej, smo uporabili tudi podatke meteorološkega modela ALADIN, ki napoveduje temperaturo zraka za tri dni vnaprej ter upoštevali trend temperature na nivoju vsake rasterske celice in ta trend ekstrapolirali za sedem dni naprej. S pripravljenim modelom iz aktivnosti 4.5 se samodejno izračuna vsota efektivnih temperatur. Ko bodo le te dosegle mejo 53 °dni pri IT in 62 °dni pri PC, bo to znak za začetek spomladanskega rojenja, pri temperaturni vsoti 557 °dni za IT in 591 °dni za PC, pa bo to znak za zaključek razvoja prve generacije.

Samodejno obveščanje krajevnih in območnih enot ZGS poteka po dogovoru, tj. dva krat na teden (v nedeljo in torek). Samodejno sporočilo se samodejno pošlje na vse KE in vse OE in vključuje podatke o predvidenem datumu prvega rojenja smrekovih lubadarjev in predvidenem datumu zaključku prve generacije. Na podlagi podatka o predvidenem pričetku rojenja lahko ZGS pravočasno postavi kontrolne pasti za spremljanje ulova smrekovih podlubnikov. S podatkom o predvidenem zaključku prve generacije pa dobimo informacijo, do katerega spremljamo ulov v kontrolne pasti. S tem smo racionalizirali porabo časa za spremljanje ulova smrekovih lubadarjev v kontrolnih pasteh. Samo obvestilo je strukturirano po revirjih ter predvidenih datumih prvega rojenja in zaključka rojenja prve generacije vključno s podatkom, kolikšen delež površine revirja je že zajelo rojenje in kolikšen delež površine revirja je že zaključil razvoj prve generacij ločeno za IT in PC (Preglednica 11). Poleg preglednic je vsako sporočilo opremljeno tudi s štirimi slikami-kartami o pričetku rojenja in zaključku prve generacije za IT in PC (Slika 40, Slika 41).

Sporočilo spremlja tudi naslednje navodilo:

»Kontrolne pasti postavimo in opremimo s feromonskimi vabami pred pričetkom rojenja in jih redno spremljamo do zaključka razvoja prve generacije.

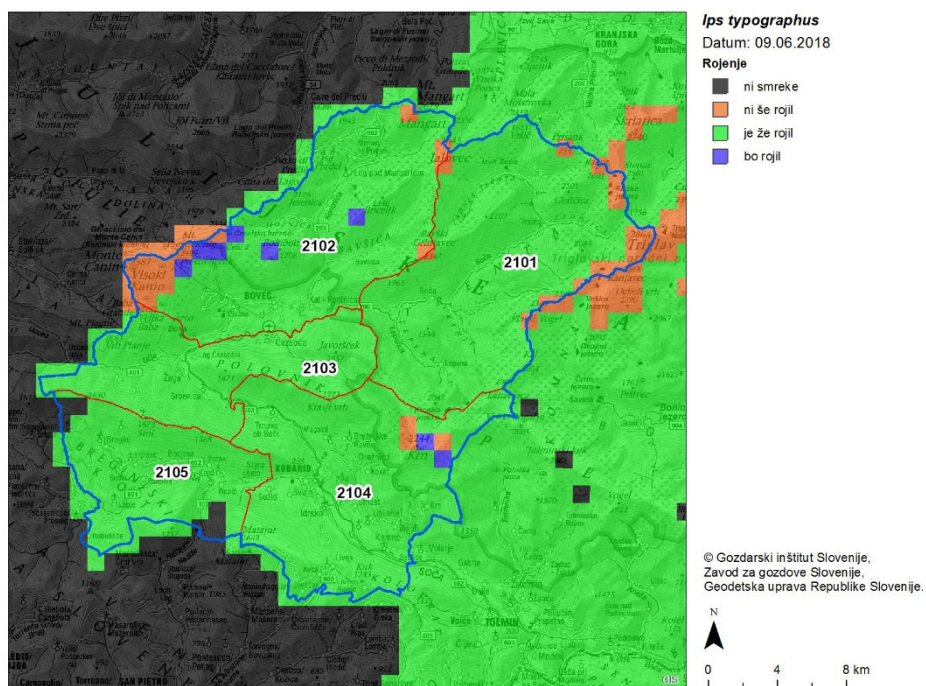
V priponkah so štiri karte: napoved pričetka rojenja in zaključek prve generacije za IT in PC.

Navodilo za postavitev pasti: pasti postavimo na območjih, kjer še ni prišlo do rojenja (oranžna) ali bo rojil v kratkem (modra). Če je že prišlo do rojenja (zelena), je postavitev pasti na tem območju zamujena.

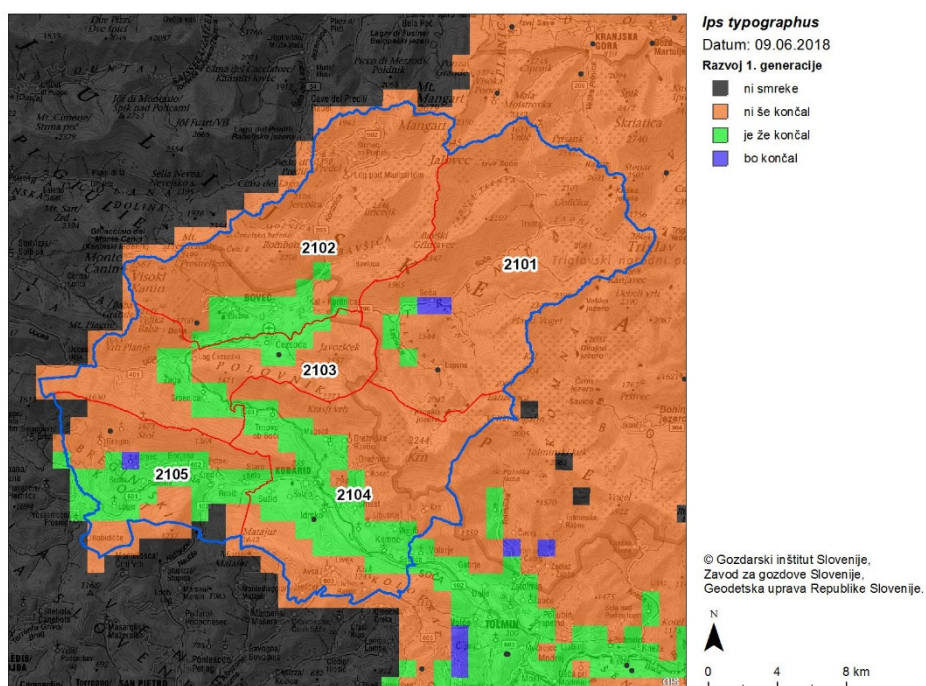
Navodilo za zaključek spremljanja pasti: pasti pospravimo na območjih, kjer se je razvoj prve generacije že končal (zelena) ali se bo končal v kratkem (modra). Če se razvoj prve generacij še ni končal (oranžna), moramo s spremljanjem ulova v pasti še nadaljevati.«

Preglednica 11: Primer preglednice iz samodejnega obveščanja o napovedi pričetka rojenja in zaključka prve generacije za *Ips typographus* za KE Bovec za datum 09.06.2018

IDREVIR	Revir	Rojenje (MIN)	Prva generacija (MIN)	Rojil (%)	Zaključil prvo generacijo (%)
012101	SOČA-TRENTA	01.06.2018	05.06.2018	93.6	3.8
012102	BOVEC	01.06.2018	04.06.2018	91.4	12.1
012103	ČEZSOČA	01.06.2018	05.06.2018	100	22.5
012104	KOBARID	29.05.2018	05.06.2018	97.7	35.7
012105	BREGINJSKI KOT	23.04.2018	04.06.2018	100	46.8

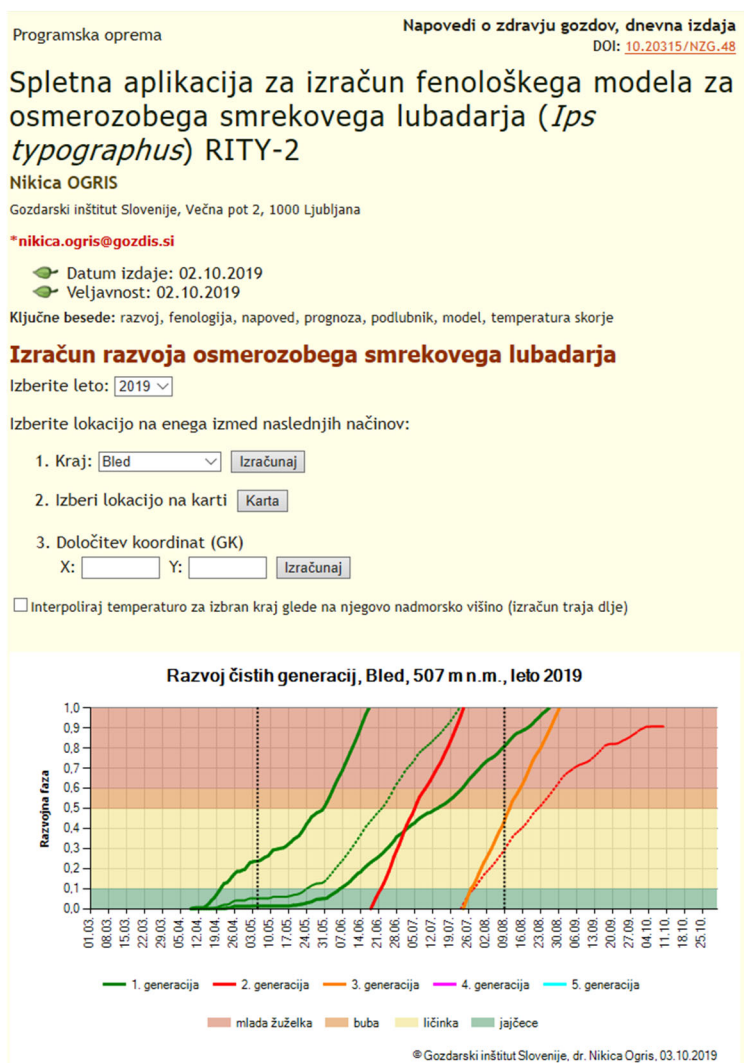


Slika 40: Primer karte iz samodejnega obveščanja o pričetku rojenja za KE Bovec za *Ips typographus* na dan 9.6.2018



Slika 41: Primer karte iz samodejnega obveščanja o zaključku prve generacije za KE Bovec za *Ips typographus* na dan 9.6.2018

Ulov smrekovih lubadarjev v kontrolne pasti lahko izvajajo tudi lastniki gozdov sami. Zato smo na spletnem portalu za varstvo gozdov (www.zdravgozd.si) pripravili 6 spletnih aplikacij, ki omogočajo poizvedbo za poljubno lokacijo, prostorski pregled za celo Slovenijo in interaktivni karti z rezultati modelov RITY-2 in CHAPY-1 (Slika 42, Slika 43, Slika 44, Slika 45, Slika 46, Slika 47).



Slika 42: Spletna aplikacija za točkovno poizvedbo v fenološkem modelu RITY-2. Primer poizvedbe za Bled na dan 2.10.2019.
Povezava: https://www.zdravgozd.si/prognoze_zapis.aspx?idpor=48

Spletna aplikacija za prostorski prikaz razvoja osmerozobega smrekovega lubadarja (*Ips typographus*), model RITY-2

Nikica OGRIS

Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, 1000 Ljubljana

*nikica.ogris@gozdis.si

- Datum izdaje: 02.10.2019
- Veljavnost: 02.10.2019

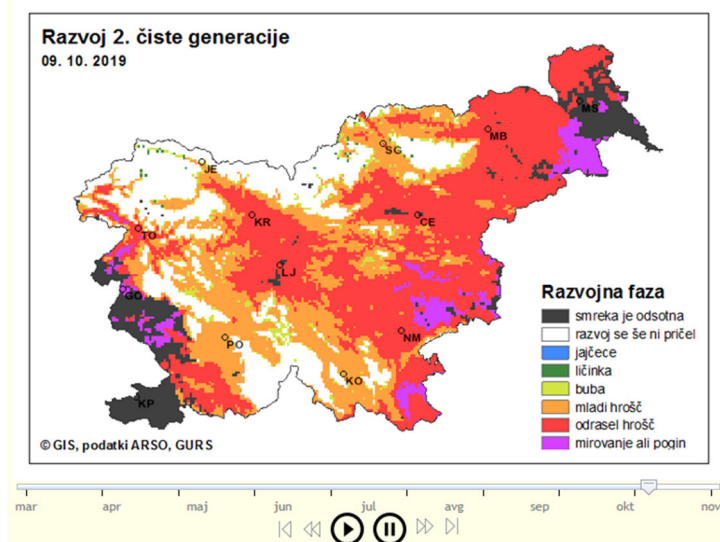
Ključne besede: razvoj, fenologija, napoved, prognoza, podlubnik, model, temperatura

Karta razvoja osmerozobega smrekovega lubadarja

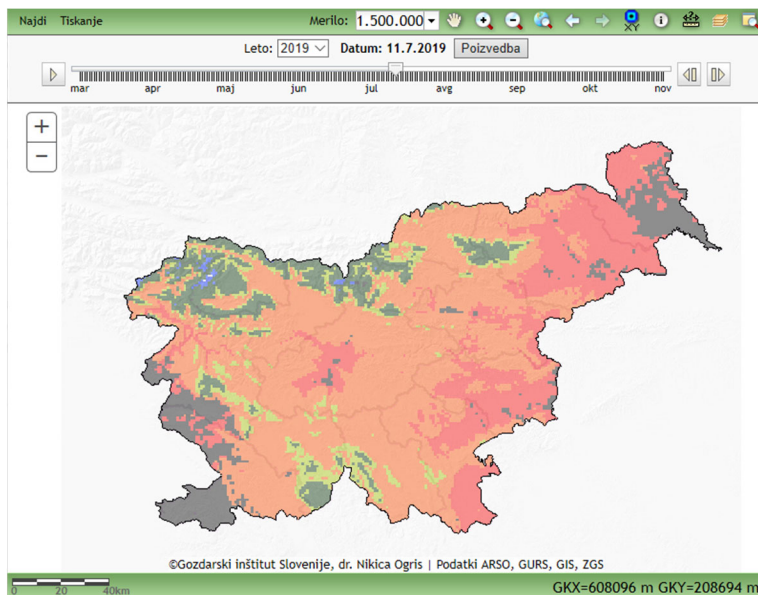
Leto:

2019

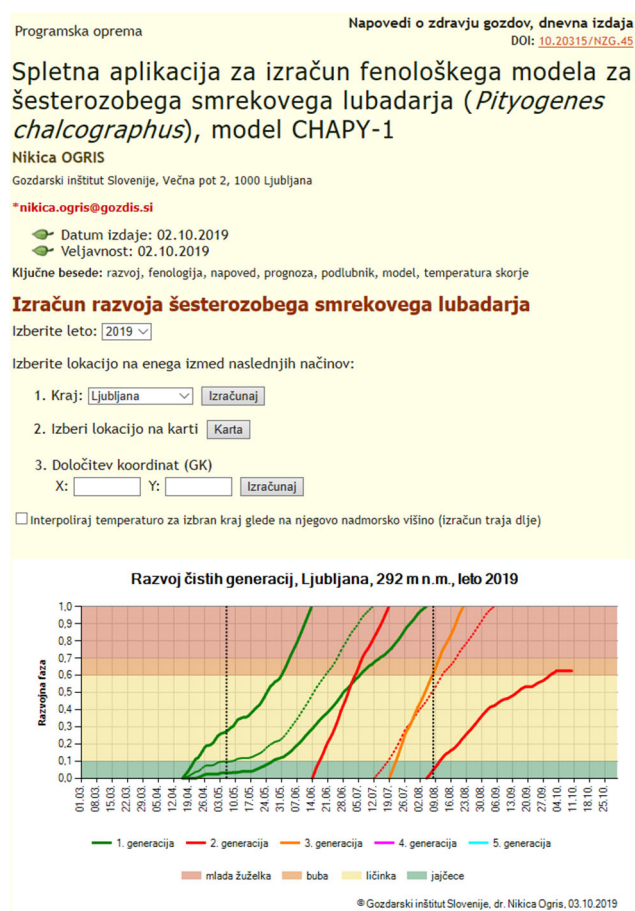
Vrsta karte: Razvoj 2. čiste generacije (AVG)



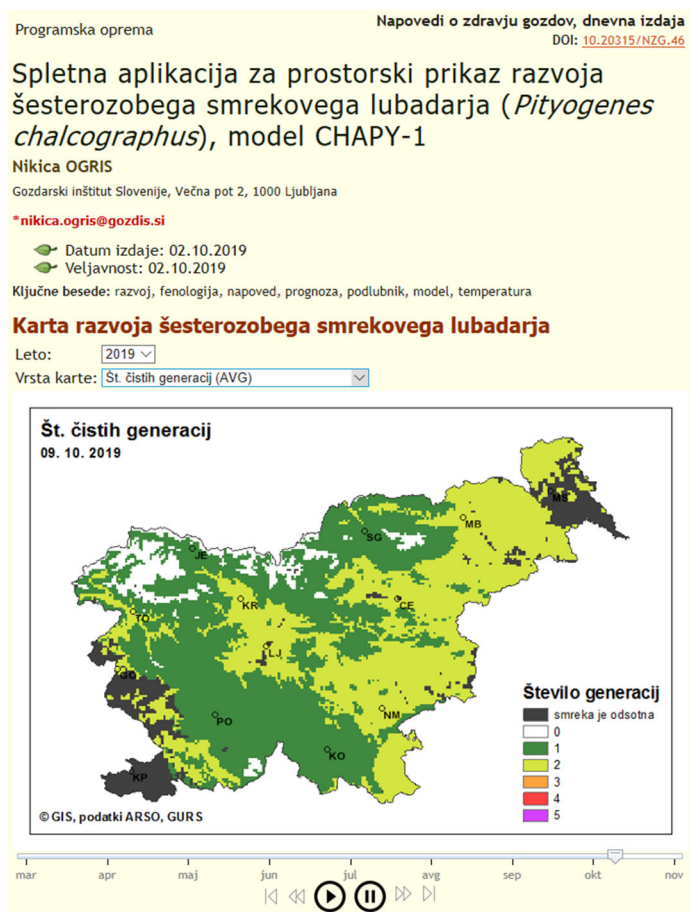
Slika 43: Spletna aplikacija za prostorski prikaz razvoja osmerozobega smrekovega lubadarja (*Ips typographus*), model RITY-2. Primer prikaza razvoja 2. čiste generacije na dan 9.10.2019. Povezava: https://www.zdravgozd.si/prognoze_zapis.aspx?idpor=49



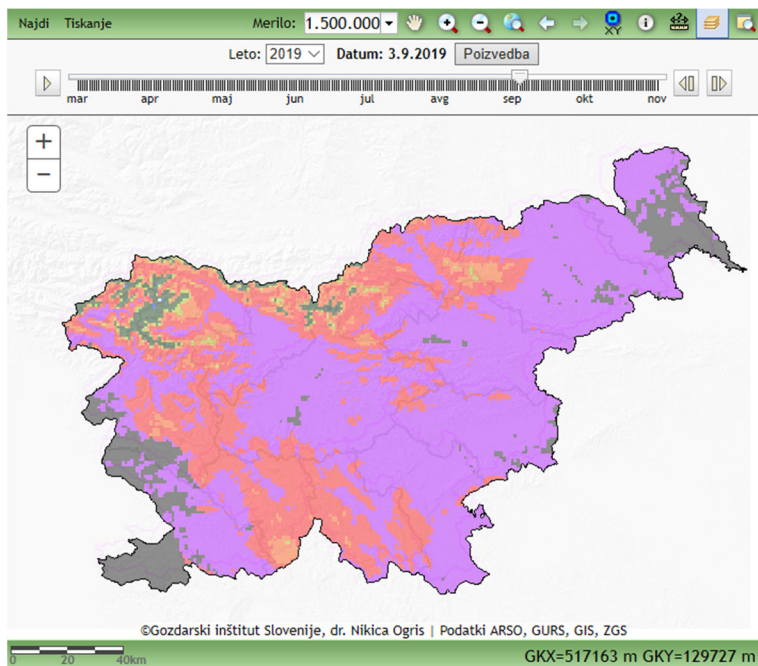
Slika 44: Spletna interaktivna karta (pregledovalnik) z rezultati modela RITY-2. Primer prikaza razvoja 1. čiste generacije na dan 11. 7. 2019. Povezava: <https://www.zdravgozd.si/projekti/podlubniki/karta.aspx?idpor=871bab49-d6f4-4cf4-b68e-9ab59413b14a>



Slika 45: Spletna aplikacija za točkovno poizvedbo v fenološkem modelu CHAPY-1. Primer poizvedbe za Ljubljano na dan 2.10.2019. Povezava: https://www.zdravgozd.si/prognoze_zapis.aspx?idpor=45



Slika 46: Spletna aplikacija za prostorski prikaz razvoja šesterozobega smrekovega lubadarja (*Pityogenes chalcographus*), model CHAPY-1. Primer prikaza št. potencialnih čistih generacij na dan 9.10.2019. Povezava: https://www.zdravgozd.si/prognoze_zapis.aspx?idpor=46



Slika 47: Spletna interaktivna karta (pregledovalnik) z rezultati modela CHAPY-1. Primer prikaza razvoja 1. čiste generacije na dan 3.9.2019. Povezava: https://www.zdravgozd.si/projekti/podlubniki/karta_chapy.aspx?idpor=5667a441-dbf2-44e2-b555-1d59271f77e2

Rezultat aktivnosti:

- sistem samodejnega obveščanja krajevnih in območnih enot Zavoda za gozdove Slovenije o pričetku rojenja in konca prve generacije osmerozobega in šestrozobega smrekovega lubadarja, implementacija v elektronski informacijski sistem za varstvo gozdov;
- spletne aplikacije za načrtovanje postavitve kontrolnih pasti za spremljanje ulova podlubnikov in načrtovanja trajanja spremljanja ulova na podlagi modelnega izračuna za nastop prvega rojenja in modelnega izračuna za konec razvoja prve generacije po modelu RITY-2 in CHAPY-1
 - RITY-2: točkovna poizvedba. Naslov:
https://www.zdravgozd.si/proгноze_zapis.aspx?idpor=48
 - RITY-2: prostorski pregled. Naslov:
https://www.zdravgozd.si/proгноze_zapis.aspx?idpor=49
 - RITY-2: interaktivna spletna karta, pregledovalnik. Naslov:
<https://www.zdravgozd.si/projekti/podlubniki/karta.aspx?idpor=871bab49-d6f4-4cf4-b68e-9ab59413b14a>
 - CHAPY-1: točkovna poizvedba. Naslov:
https://www.zdravgozd.si/proгноze_zapis.aspx?idpor=45
 - CHAPY-1: prostorski pregled. Naslov:
https://www.zdravgozd.si/proгноze_zapis.aspx?idpor=46
 - CHAPY-1: interaktivna spletna karta, pregledovalnik. Naslov:
https://www.zdravgozd.si/projekti/podlubniki/karta_chapy.aspx?idpor=5667a441-dbf2-44e2-b555-1d59271f77e2

Seznam rezultatov

Št.	Naslov	Cilj(i)	DS	Nosilec
1	Model za zaznavanje prisotnosti žarišč in spremljanje dinamike razvoja oziroma stopnje napadenosti na podlagi posnetkov MODIS	1, 2	2	Andrej Kobler, GIS
2	Model za zaznavanje prisotnosti žarišč in spremljanje dinamike razvoja oziroma stopnje napadenosti na podlagi posnetkov Sentinel-2	1, 2	2	Andrej Kobler, GIS
3	Model za zaznavanje sanacije žarišč podlubnikov	2	2	Andrej Kobler, GIS
4	Podatki in vegetacijski produkti satelita MODIS za 1999–2019 in satelita Sentinel-2 za 2016–2019, za območje Slovenije	1, 2	2	Tatjana Veljanovski, ZRC-SAZU
5	Elaborat o uporabnosti multikopterja za spremljanje žarišč smrekovih in jelovih podlubnikov	3	2	Andrej Kobler, GIS
6	Zbirka referenčnih terenskih podatkov za posnetke Sentinel-2	1, 3	2	Andrej Kobler, GIS
7	Zbirka referenčnih terenskih podatkov za posnetke s multikopterjem	1, 3	2	Andrej Kobler, GIS
8	Spletna interaktivna aplikacija za zaznavanje žarišč in zaznavanje sanacije žarišč podlubnikov na podlagi multispektralnih satelitskih posnetkov	1, 2	2	Nikica Ogris, GIS
9	Spletna interaktivna aplikacija za vizualizacijo multispektralnih posnetkov drona	1, 2	2	Nikica Ogris, GIS
10	Podatkovna zbirka ekoloških faktorjev za razvoj modelov ogroženosti posameznih vrst iglavcev zaradi lubadarjev	4	3	Maarten de Groot, GIS
11	Prostorski model ogroženosti smreke zaradi podlubnikov v ločljivosti 1 km, časovna ločljivost 1 leto	4	3	Maarten de Groot, GIS
12	Prostorski model ogroženosti jelke zaradi podlubnikov v ločljivosti 1 km, časovna ločljivost 1 leto	4	3	Maarten de Groot, GIS
13	Elaborat o razvoju modelov ogroženosti iglavcev zaradi podlubnikov	4	3	Maarten de Groot, GIS
14	Implementacija modela za oceno ogroženosti smreke in jelke zaradi podlubnikov v sistem samodejnega izračuna glede na nove vhodne podatke	4	3	Nikica Ogris, GIS
15	Interaktivna spletna aplikacija za pregled karte ogroženosti smreke in karte ogroženosti jelke zaradi podlubnikov za naslednje leto	4	3	Nikica Ogris, GIS
16	Plan postavitve kontrolnih pasti: natančne lokacije in čas postavitve	5	4	Nikica Ogris, GIS
17	Plan položitve kontrolno-lovnih debel: natančne lokacije in čas poleganja	5	4	Nikica Ogris, GIS

Št.	Naslov	Cilj(i)	DS	Nosilec
18	Datum prvega rojenja osmerozobega in šesterozobega smrekovega lubadarja na štirih lokacijah v letih 2017 in 2018	5	4	Marija Kolšek, ZGS
19	Časovna vrsta količin ujetih osebkov osmerozobega in šesterozobega smrekovega lubadarja na štirih lokacijah s frekvenco 3 krat na teden do prvega rojenja v letih 2017 in 2018	5	4	Marija Kolšek, ZGS
20	Datum prvega napada osmerozobega in šesterozobega smrekovega lubadarja na štirih lokacijah v letih 2017 in 2018	5	4	Maja Jurc, BF
21	Datum pojava imagov prve generacije osmerozobega in šesterozobega smrekovega lubadarja na štirih lokacijah v letih 2017 in 2018	5	4	Maja Jurc, BF
22	Temperatura zraka in temperatura skorje kontrolno-lovnih debel izmerjena vsako uro na štirih lokacijah v letih 2017 in 2018	5	4	Mitja Ferlan, GIS
23	Informacijski sistem za samodejni izračun predvidenega začetka rojenja spomladi in datuma konca razvoja prve generacije, do katerega se spremlja ulov v kontrolnih pasteh za osmerozobega in šesterozobega smrekovega lubadarja	5	4	Nikica Ogris, GIS
24	Sistem samodejnega obveščanja krajevnih in območnih enot Zavoda za gozdove Slovenije o pričetku rojenja in konca prve generacije osmerozobega in šesterozobega smrekovega lubadarja, implementacija v elektronski informacijski sistem za varstvo gozdov	6	4	Nikica Ogris, GIS
25	Interaktivna spletna karta za načrtovanje postavitve kontrolnih pasti za spremljanje ulova podlubnikov in načrtovanja trajanja spremljanja ulova na podlagi modelnega izračuna za nastop prvega rojenja in modelnega izračuna za konec razvoja prve generacije	6	4	Nikica Ogris, GIS
26	Javna predstavitev rezultatov projekta		1	Nikica Ogris, GIS
27	Organizacija letnih srečanj z naročniki in končnimi uporabniki		1	Nikica Ogris, GIS
28	Spletna stran projekta		1	Nikica Ogris, GIS
29	Objava izvirnih znanstvenih in strokovnih člankov (vsaj tri)		1	Nikica Ogris, GIS Andrej Kobler, GIS Maarten de Groot, GIS

Ocena stopnje realizacije programa dela na raziskovalnem projektu in zastavljenih raziskovalnih ciljev

Vsi predvideni cilji in rezultati so doseženi in nekateri celo preseženi.

Najpomembnejši raziskovalno-razvojni rezultati projektne skupine

OGRIS, Nikica, FERLAN, Mitja, HAUPTMAN, Tine, PAVLIN, Roman, KAVČIČ, Andreja, JURC, Maja, DE GROOT, Maarten. RITY - a phenology model of *Ips typographus* as a tool for optimization of its monitoring. Ecological modelling, ISSN 0304-3800. [Print ed.], vol. 410, article 108775, <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.108775>. [COBISS.SI-ID 5450150]

DE GROOT, Maarten, OGRIS, Nikica. Short-term forecasting of bark beetle outbreaks on two economically important conifer tree species. Forest Ecology and Management, ISSN 0378-1127. [Print ed.], 2019, vol. 450, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117495>. [COBISS.SI-ID 5449382]

OGRIS, Nikica. Fenološki model za osmerozobega smrekovega lubadarja (*Ips typographus*) RITY-1 na območju Slovenije. Napovedi o zdravju gozdov, ISSN 2350-6466, 2017. http://www.zdravgozd.si/prognoze_zapis.aspx?idpor=33, <https://doi.org/10.20315/NZG.33>. [COBISS.SI-ID 4694182]

OGRIS, Nikica. Prostorski prikaz razvoja osmerozobega smrekovega lubadarja (*Ips typographus*) na območju Slovenije. Novice iz varstva gozdov, ISSN 1855-8348, 2017, št. 10, str. 3-7, ilustr. <http://www.zdravgozd.si/nvg/prispevek.aspx?idzapis=10-2>, <http://dx.doi.org/10.20315/NVG.10.2>. [COBISS.SI-ID 4714662]

Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine

OGRIS, Nikica. Spletna aplikacija za izračun fenološkega modela za osmerozobega smrekovega lubadarja (*Ips typographus*) RITY-2, (Napovedi o zdravju gozdov, Dnevna izdaja). Ljubljana: Gozdarski inštitut Slovenije, 2019. https://www.zdravgozd.si/proгноze_zapis.aspx?idpor=48, <https://doi.org/10.20315/NZG.48>, doi: 10.20315/NZG.48. [COBISS.SI-ID 5311910]

OGRIS, Nikica. Spletna aplikacija za izračun fenološkega modela za šestrozobega smrekovega lubadarja (*Pityogenes chalcographus*), model CHAPY-1, (Napovedi o zdravju gozdov, Dnevna izdaja). Ljubljana: Gozdarski inštitut Slovenije, 2019. http://www.zdravgozd.si/proгноze_zapis.aspx?idpor=45, <https://doi.org/10.20315/NZG.45>. [COBISS.SI-ID 5311142]

OGRIS, Nikica. Spletna aplikacija za prostorski prikaz razvoja osmerozobega smrekovega lubadarja (*Ips typographus*), model RITY-2, (Napovedi o zdravju gozdov, Dnevna izdaja). Ljubljana: Gozdarski inštitut Slovenije, 2019. https://www.zdravgozd.si/proгноze_zapis.aspx?idpor=49, <https://doi.org/10.20315/NZG.49>. [COBISS.SI-ID 5312166]

OGRIS, Nikica. Spletna aplikacija za prostorski prikaz razvoja šestrozobega smrekovega lubadarja (*Pityogenes chalcographus*), model CHAPY-1, (Napovedi o zdravju gozdov, Dnevna izdaja). Ljubljana: Gozdarski inštitut Slovenije, 2019. http://www.zdravgozd.si/proгноze_zapis.aspx?idpor=46, <https://doi.org/10.20315/NZG.46>. [COBISS.SI-ID 5310886]

OGRIS, Nikica. Spletna interaktivna karta za pregled rezultatov fenološkega modela za osmerozobega smrekovega lubadarja (*Ips typographus*) RITY-2. <https://www.zdravgozd.si/projekti/podlubniki/karta.aspx?idpor=871bab49-d6f4-4cf4-b68e-9ab59413b14a>

OGRIS, Nikica. Spletna interaktivna karta za pregled rezultatov fenološkega modela za šestrozobega smrekovega lubadarja (*Pityogenes chalcographus*) CHAPY-1. https://www.zdravgozd.si/projekti/podlubniki/karta_chapy.aspx?idpor=5667a441-dbf2-44e2-b555-1d59271f77e2

OGRIS, Nikica. Interaktivna spletna aplikacija za pregled karte ogroženosti smreke in karte ogroženosti jelke zaradi podlubnikov za naslednje leto.
Ogroženost smreke: <https://www.zdravgozd.si/karta.aspx?idpor=a146b52d-05d5-4c09-a7fe-a2478875b9fe>,
ogroženost jelke: <https://www.zdravgozd.si/karta.aspx?idpor=4d5a630b-65d5-4258-b0b0-2ef17c7f7652>

OGRIS, Nikica, KOBLER, Andrej. Spremljanje žarišč smrekovih podlubnikov s pomočjo satelitskih posnetkov MODIS. <https://www.zdravgozd.si/projekti/podlubniki/modis.aspx>

OGRIS, Nikica, KOBLER, Andrej. Spremljanje žarišč smrekovih podlubnikov s pomočjo satelitskih posnetkov Sentinel-2. <https://www.zdravgozd.si/projekti/podlubniki/sentinel2.aspx>

OGRIS, Nikica, KOBLER, Andrej. Spremljanje sanacije žarišč smrekovih podlubnikov s pomočjo satelitskih posnetkov Sentinel-2. https://www.zdravgozd.si/projekti/podlubniki/sentinel2_posek.aspx

OGRIS, Nikica, KOBLER, Andrej. Spletna interaktivna aplikacija za vizualizacijo multispektralnih posnetkov drona. https://www.zdravgozd.si/projekti/podlubniki/karta_dron.aspx

Spletna interaktivna aplikacija za zaznavanje žarišč in zaznavanje sanacije žarišč podlubnikov na podlagi multispektralnih satelitskih posnetkov,

MODIS: https://www.zdravgozd.si/projekti/podlubniki/karta_modis.aspx,

Sentinel-2: https://www.zdravgozd.si/projekti/podlubniki/karta_sentinel.aspx

Naslov spletne strani

<http://www.zdravgozd.si/projekti/podlubniki/>

Finance projekta

Osnovne informacije:

- Projekt cenovne kategorije B;
- Rok trajanja projekta od 1. 10. 2016 do 30. 9. 2019;
- Vrednost financiranja za celotno obdobje trajanja projekta 120.000,00 EUR.

Delitev sredstev med financirjema:

- MKGP: 84.480,00 € (71,2 %)
- ARRS: 34.520,00 (28,8 %)

Preglednica 12: Delitev sredstev po delovnih sklopih

	EUR	Delež (%)
DS1-Koordinacija	8.000	6,7
DS2-Daljinsko zaznavanje	55.500	46,3
DS3-Modela ogroženosti	20.900	17,4
DS4-Fenološka modela	35.600	29,7
Skupaj	120.000	100,0

Preglednica 13: Delitev sredstev po projektih partnerjih

Partner	EUR	Delež (%)
GIS	88.340	73,6
UL BF	13.777	11,5
ZRC SAZU	7.685	6,4
RACE KOGO	5.022	4,2
ZGS	5.176	4,3
Skupaj	120.000	100

Zaključno poročilo projekta so pripravili:

dr. Nikica Ogris (DS1 in DS4), dr. Andrej Kobler, Tatjana Veljanovski, Peter Pehani (DS2), dr. Maarten de Groot (DS3)

V Ljubljani, 11. 10. 2019

dr. Nikica Ogris
vodja projekta

doc. dr. Primož Simončič
direktor