Interreg
Sofinancira EVROPSKA UNIJA
Sufinancira EUROPSKA UNIJA
Slovenija – Hrvatska
transPlant

Navodila za delo s prostorskimi podatki na področju varstva geodiverzitete in biodiverzitete

~ različica 1.0 ~

/

Upute za rad s prostornim podacima u području zaštite georaznolikosti i bioraznolikosti

~ verzija 1.0 ~

Ljubljana, 31. marec 2025/
Ljubljana, 31. ožujka 2025

PRIRODOSLOVNI MUZEJ RIJEKA
NATURAL HISTORY MUSEUM RIJEKA
ZRC SAZU
ISTARSKA
ISTRIANA
RISNJAK
Park Škocjanske jame Slovenija
ZAVOD REPUBLIKE SLOVENIJE ZA VARSTVO NARAVE

NASLOV DOKUMENTA/NAZIV DOKUMENTA:
Navodila za delo s prostorskimi podatki na področju varstva geodiverzitete in biodiverzitete (različica 1.0)/
Upute za rad s prostornim podacima u području zaštite georaznolikosti i bioraznolikosti (verzija 1.0)

DOKUMENT PRIPRAVIL/DOKUMENT PRIPREMIO:
Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti, Geografski inštitut Antona Melika/
Znanstvenoistraživački centar Slovenske akademije znanosti i umjetnosti, Geografski institut Antona Melika
Novi trg 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

UREDNIKI/UREDNICI:
Mateja Breg Valjavec, Rok Ciglič, Matjaž Geršič

AVTORJI/AUTORI:
Mateja Breg Valjavec, Rok Ciglič, Andraž Čarni, Špela Čonč, Matjaž Geršič, Aljaž Jakob, Miha Pavšek, Lenart Štaut

PREVOD/PRIJEVOD:
Nadia Dunato Pejnović, Dora Lolić

VSEBINA

NAVODILA ZA DELO S PROSTORSKIMI PODATKI NA PODROČJU VARSTVA GEODIVERZITETE IN BIODIVERZITETE 6
1 UVOD V GIS 7
1.1 KAJ JE GIS? 7
1.2 STROJNA OPREMA 7
1.3 PISARNIŠKA OPREMA 14
1.4 PROGRAMSKA OPREMA 15
1.5 VRSTE PROSTORSKIH PODATKOV 15
1.6 GLAVNI KORAKI PRI ANALIZI PROSTORA 16
1.7 VIRI IN LITERATURA 17
2 PRIDOBIVANJE PODATKOV 19
2.1 PRIDOBIVANJE PODATKOV OBSTOJEČIH BAZ IN DRUGIH VIROV 19
2.1.1 Podatki s področja geologije 19
2.1.2 Podatki s področja geomorfologije 21
2.1.3 Podatki s področja klimatologije 23
2.1.4 Podatki s področja hidrologije 24
2.1.5 Podatki s področja pedologije 25
2.1.6 Podatki s področja biogeografije 29
2.1.7 Podatki s področja ved o rabi zemljišč 34
2.1.8 Podatki s področja ved o antropogenih elementih 37
2.1.9 Podatki s področja splošne kartografije 40
2.1.10 Podatki s področja satelitskega daljinskega zaznavanja 42
2.1.11 Podatki s področja letalskega daljinskega zaznavanja 43
2.2 PRIDOBIVANJE LASTNIH PODATKOV NA TERENU 45
2.2.1 Pridobivanje lastnih podatkov z opazovanjem na terenu s stacionarnim monitoringom 45
2.2.2 Pridobivanje lastnih podatkov na terenu z daljinskim zaznavanjem 51
2.2.3 Viri in literatura 58
3 UPORABA PODATKOV: PRIMERI UPORABE GIS ZA PROSTORSKE ANALIZE IN PRIKAZE 59
3.1 PRIMER 1: PRIMER UPORABE LETALSKIH PODATKOV LASERSKEGA SKENIRANJA (LIDAR) ZA ANALIZO ABIOTSKIH ZNAČILNOSTI RASTIŠČ SCOPOLIJEVEGA REPNJAKA (*ARABIS SCOPOLIANA*) NA OBMOČJU NARAVNEGA REZERVATA SNEŽNIK-ŽDROCLE 59
3.2 PRIMER 2: PRIMER UPORABE PODATKOV ROČNEGA LASERSKEGA SKENIRANJA ZA ANALIZO RELIEFA IN VEGETACIJE 66
3.3 PRIMER UPORABE SATELITSKIH/LETALSKIH SLIK ZA SPREMLJANJE GOZDNIH POVRŠIN NA OBMOČJU MED ILIRSKO BISTRICO, SNEŽNIKOM IN REKO (HRVAŠKA) 74
3.4 PRIMER UPORABE ARHIVSKIH VIROV PRI ANALIZI IN DOLOČANJU DREVESNE IN GOZDNE MEJE V PRETEKLOSTI 82
3.5 PROUČEVANJE PROSTORSKIH IN ČASOVNIH RAZLIK RASTIŠČNIH POGOJEV Z MERILCI NA RELIEFNEM PROFILU SKOZI VRTAČO/MRAZIŠČE NA SNEŽNIKU 86

3.6 PRIMER UPORABE OPTIČNIH POSNETKOV Z LETALNIKOM ZA KARTIRANJE IZBRANIH VRST V NA KRAŠKEM TRAVNIKU 91

UPUTE ZA RAD S PROSTORNIM PODACIMA U PODRUČJU ZAŠTITE GEORAZNOLIKOSTI I BIORAZNOLIKOSTI 101

1 UVOD U GIS 102

1.1 ŠTO JE GIS? 102

1.2 SKLOPOVLJE 102

1.3 UREDSKA OPREMA 109

1.4 PROGRAMSKA PODRŠKA 110

1.5 VRSTE PROSTORNIH PODATAKA 110

1.6 GLAVNI KORACI PRI ANALIZI PROSTORA 111

1.7 IZVORI I LITERATURA 112

2 PRIBAVLJANJE PODATAKA 113

2.1 PRIBAVLJANJE PODATAKA POSTOJEĆIH BAZA I DRUGIH IZVORA 113

2.1.1 Podaci s područja geologije 113

2.1.2 Podaci s područja geomorfologije 115

2.1.3 Podaci s područja klimatologije 117

2.1.4 Podaci s područja hidrologije 119

2.1.5 Podaci s područja pedologije 119

2.1.6 Podaci s područja biogeografije 124

2.1.7 Podaci iz područja znanosti o korištenju zemljišta 129

2.1.8 Podaci s područja znanosti o antropogenim elementima 132

2.1.9 Podaci s područja opće kartografije 135

2.1.10 Podaci s područja satelitskog daljinskog promatranja 137

2.1.11 Podaci s područja zračnog daljinskog promatranja 138

2.2 PRIKUPLJANJE VLASTITIH PODATAKA NA TERENU 139

2.2.1 Prikupljanje vlastitih podataka promatranjem na terenu sa stacionarnim monitoringom 139

2.2.2 Pribavljanje vlastitih podataka na terenu putem daljinskog senzora 145

2.2.3 Izvori i literatura 152

3 KORIŠTENJE PODATAKA: PRIMJERI KORIŠTENJA GIS-a ZA PROSTORNE ANALIZE I PRIKAZE 154

3.1 PRIMJER 1: PRIMJER KORIŠTENJA PODATAKA LASERSKOG SKENIRANJA (LIDAR) IZ ZRAKOPLOVA ZA ANALIZU ABIOTSKIH KARAKTERISTIKA SCOPOLIJEVE GUŠARKE (ARABIS SCOPOLIANA) NA PODRUČJU REZERVATA PRIRODE SNEŽNIK-ŽDROCLE 154

3.2 PRIMJER 2: PRIMJENA PODATAKA RUČNOG LASERSKOG SKENIRANJA ZA ANALIZU RELJEFA I VEGETACIJE 161

3.3 PRIMJER UPOTREBE SATELITSKIH/ZRAČNIH SNIMKI ZA PRAĆENJE ŠUMSKIH POVRŠINA NA PODRUČJU IZMEĐU ILIRSKE BISTRICE, SNEŽNIKA I RIJEKE (HRVATSKA) 169

3.4 PRIMJER PRIMJENE ARHIVSKIH IZVORA U ANALIZI I ODREĐIVANJU ŠUMSKE I DRVNE GRANICE U PROŠLOSTI 177

3.5 ISTRAŽIVANJE PROSTORNIH I VREMENSKIH RAZLIKA STANIŠNIH UVJETA POMOĆU MJERILA DUŽ RELJEFNOG PROFILA KROZ PONIKVU/HLADNU DOLINU NA SNEŽNIKU 180

3.6 PRIMJER UPORABE OPTIČKIH SNIMAKA S BEZPILOTNOM LETJELICOM ZA KARTIRANJE IZABRANIH VRSTA NA KRŠKOM TRAVNJAKU 185

NAVODILA ZA DELO S PROSTORSKIMI PODATKI NA PODROČJU VARSTVA GEODIVERZITETE IN BIODIVERZITETE

1 UVOD V GIS

1.1 KAJ JE GIS?

GIS je kratica za geografski informacijski sistem oziroma geografske informacijske sisteme. V literaturi se pojavlja več definicij, ki pa so si med seboj zelo podobne. Tako Burrough, McDonnell in Lloyd (2015) izpostavljajo, da so GIS-i sestavljeni iz treh glavnih komponent, in sicer strojne opreme (angleško *hardware*), programske opreme (angleško *software*) in uporabnikov. Poleg tega izpostavljajo še podatkovne baze in mrežno infrastrukturo. Drugi viri označujejo GIS-e kot nabor orodij za zbiranje, shranjevanje, poizvedovanje, spreminjanje in prikazovanje prostorskih podatkov (Burrough 1986; Burrough, McDonnell in Lloyd 2015). Ameriški geološki zavod (United States Geological Survey – USGS) (Burrough, McDonnell in Lloyd 2015) GIS-e opisuje kot računalniški sistem za zbiranje, shranjevanje, upravljanje (manipulacijo) in prikaz georeferenciranih informacij. Tudi Okabe (2006) je podal podobno definicijo, kjer izpostavlja, da gre za računalniške metode za obdelavo geografskih podatkov in obsegajo zajemanje, upravljanje, analizo in prikaz (Okabe 2006).
Na podlagi teh definicij, lahko izpostavimo sledeče osnovne gradnike GIS-ov:

- strojno opremo (*hardware*),
- programsko opremo (*software*) in
- ljudi (upravljalci, analitiki, uporabniki),

s katerimi lahko izvedemo sledeče skupine opravil:

- pridobivanje podatkov (zbiranje),
- urejanje podatkov (priprava, shranjevanje),
- analizo podatkov,
- prikaz rezultatov/informacij (vizualizacija).

V priročniku skušamo tej strukturi tudi slediti.

1.2 STROJNA OPREMA

1.2.1 Sprejemniki GNSS

Sprejemniki GNSS (*Global Navigation Satellite System*; globalni navigacijski satelitski sistem) so naprave, ki določijo natančno lokacijo uporabnika na Zemlji in v ta namen komunicirajo z več navigacijskimi sateliti v realnem času. Med temi sprejemniki so najbolj poznani tisti, ki sprejemajo signal ameriškega satelitskega sistema GPS (*Global Positioning System*; globalni sistem pozicioniranja). Poleg GPS so v uporabi tudi drugi, na primer ruski GLONASS (*Globalnaja Navigacionnaja Sputnikovaja Sistema*), kitajski BeiDou, evropski Galileo in drugi (Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger in Wasle 2008). Sprejemniki GNSS (slika 1) se uporabljajo v geodeziji, kmetijstvu, gradbeništvu in nasploh pri raznih aktivnostih, kjer je potreba po zelo natančnem beleženju lokacij na terenu. Natančnost naprav GNSS se razlikuje glede na sistem: če imajo standardne naprave GPS (na primer ročni sprejemnik za pohodništvo) natančnost približno 5–10 metrov, se natančnost GNSS izjemno izboljša z večjim številom vključenih satelitskih sistemov GNSS. Kot dodatno pa lahko dosežemo zelo visoko natančnost (centimetrsko) z vključitvijo sistema za popravke GNSS. Zelo razširjen način vključitve popravkov je sistem RTK (*Real-time kinematic*). GNSS RTK uporablja fiksno bazno postajo in premikajoči se sprejemnik za popravljanje napak v položaju, kar zagotavlja zelo natančno zbiranje geoprostorskih podatkov. Te naprave so ključnega pomena pri geodetskih meritvah ter natančnem zbiranju podatkov, še posebej v primeru ko želimo primerjati stanja iz različnih obdobij. Storitve sistema RTK so na voljo za vsako državo posebej in jih v Sloveniji in na Hrvaškem zagotavljajo pristojne institucije ali podjetja.



Slika 1: Sprejemnik GNSS. Fotografija: MATEJA BREG VALJAVEC

1.2.2 Tahimeter

Tahimeter je naprava, s katero določimo položaj točk in njihove nadmorske višine ter združuje dva merska instrumenta: teodolit (meri kote) in razdaljemer (meri razdalje). Sodobni tahimetri vključujejo tudi sistem za sprejemanje signalov GNSS (Polanec 2014). Tahimeter se uporablja na primer pri zelo natančnem določanju parcelnih meja, poteku prometnic, lokacij merilnih mest, nadmorskih višin površja in drugega.



Slika 2: Tahimeter. Fotografija: ADOBE STOCK, ZORANLINO

1.2.3 Mobilne naprave (tablični računalniki in pametni telefoni)

Tablični računalniki in pametni telefoni so lahko opremljeni s programsko opremo GIS ter omogočajo zajem in analiziranje podatkov že na terenu. Te naprave so navadno opremljene s sprejemnikom GNSS, vmesniki z zaslonom na dotik in so odporne na bolj zahtevne okoljske razmere, kot so dež, prah in ekstremne temperature. Mobilne geoinformacijske aplikacije omogočajo kartiranje v realnem času, geografsko označevanje in sinhronizacijo podatkov s strežniki v oblaku. V okoljskih študijah jih raziskovalci uporabljajo za beleženje opazovanj, kot so na primer značilnosti habitatov. Zaradi prenosljivosti in integracije s programsko opremo GIS so izjemno priročni pri zbiranju podatkov na oddaljenih lokacijah.

1.2.4 Običajne optične kamere in multispektralne kamere (senzorji)

Običajne optične kamere, ki zajemajo sliko v človeku vidnem spektru, so eden najbolj razširjenih instrumentov za zajem podatkov. V povezavi z GIS-i so pogosto v uporabi pri zajemanju zračnih ali satelitskih posnetkov, ki so nato uporabljeni kot osnovno gradivo za izdelavo vrste prostorskih produktov. V tovrstni kombinaciji so izjemnega pomena tudi multispektralne kamere oziroma senzorji. Ti so sposobni hkrati zajeti posnetke površja (oziroma opazovanega objekta) ne le v človeku vidnem spektru, temveč v več posameznih spektrih (valovnih dolžinah), na primer v modrem, zelenem, rdečem in infrardečem. Satelitski sistemi so pogosto opremljeni s tovrstnimi senzorji (na primer Sentinel-2, GeoEye1 in Landsat). Posnetki v različnih spektrih nam omogočajo pridobitev zelo uporabnih informacij, na primer o količini klorofila v vegetaciji in posredno o stanju vegetacije ter tudi o temperaturi površja, ko uporabljamo termalne kamere.

1.2.5 Laserski skener – LiDAR (Light Detection and Ranging)

Izraz LiDAR pomeni v angleščini *Light Detection And Ranging* (svetlobno zaznavanje in merjenje razdalj) ali *Laser Imaging Detection And Ranging* (lasersko snemanje, zaznavanje in merjenje razdalj). Tehnologija se uporablja za določanje razdalje do predmetov oziroma površja s pomočjo laserskih žarkov (Oštir 2006; Gregersen 2025).

Senzorji LiDAR s svojimi meritvami ustvarjajo oblake točk v prostoru, kar nam omogoča ustvarjanje podrobnih 3D modelov pokrajin s podrobnostmi vegetacije in infrastrukture. Senzorji so lahko fiksni ali mobilni – nameščeni na letalih, brezpilotnih letalnikih ali vozilih na tleh. LiDAR se pogosto uporablja v gozdarstvu za analizo krošenj dreves, v arheologiji za odkrivanje starih struktur, skritih pod vegetacijo. Prednost zajema, ki vključuje LiDAR, pred tradicionalnimi geodetskimi metodami je njegova sposobnost ustvarjanja zelo natančnih podatkov o nadmorski višini v različnih pogojih. Pogosto se podatke LiDAR uporablja tudi za izdelavo digitalnih modelov reliefa in površja. LiDAR tehnologija je še posebej uporabna za raziskovanje površja, ki ga pokriva gozd saj laserski skener za razliko od multispektralnih senzorjev prodre skozi krošnje in doseže gozdno podrast in sama tla oziroma relief.



Slika 3: Ročni laserski skener. Fotografija: ROK CIGLIČ

1.2.6 Zračna polovila (letalniki, letala, helikopterji)

Zračna plovila se v splošnem večinoma delijo na letalnike s fiksnimi krili in rotorske zrakoplove. Vsa ta plovila so lahko opremljena z optičnimi kamerami različnih ločljivosti, laserskimi skenerji (LiDAR) in večspektralnimi senzorji. Ti lahko zajemajo zračne posnetke, ki so osnova za izdelavo ortofotov visoke ločljivosti in 3D-modelov. Glavna prednost zračnih plovil je njihova sposobnost dostopa do težko dostopnih območij, kot so gorska območja, gosti gozdovi ali območja, ki so jih prizadele naravne ali druge nesreče. Z zračnimi plovili (najpogosteje letali) se fotografirajo obsežne površine in tako zajemajo ogromne količine podatkov. Letalniki se pogosto uporabljajo v kmetijstvu za spremljanje stanja pridelkov, v okoljskih študijah, intervencijah ob naravnih nesrečah ter pri pregledovanju infrastrukture, kot so ceste, mostovi in električni vodi. Z LiDAR-jem opremljeni letalniki lahko zaznajo površje skozi gozdne krošnje in ustvarijo natančne digitalne modele višin (DMV). Pri uporabi letalnikov, ki so čedalje pogosteje v uporabi, moramo paziti, da upoštevamo veljavne predpise, saj zračni prostor delimo z drugimi udeleženci, poleg tega pa letalnik ob padcu predstavlja nevarnost za prisotne v območju njegovega snemanja.



Slika 4: Letalnik s fiksnimi krili. Fotografija: ADOBE STOCK, CARLOS DOMINIQUE

1.2.7 Sateliti

Nepogrešljiv del opreme so tudi vsa vesoljska plovila, predvsem sateliti. Ti na krovu nosijo različne senzorje, kot so na primer optične kamere, multispektralne kamere, laserski skener ali radar. S senzorji na satelitih zajamemo posnetke zelo velikih območij – regij, držav ali celin v različni prostorski ločljivosti (od nekaj metrov do kilometrov). Danes je v orbitah okrog Zemlje v uporabi več tisoč satelitov, ki skrbijo za komunikacijo, določanje položajev (navigacijski sateliti) in zajem podatkov (na primer meteorološki sateliti, sateliti za snemanje oceanov, sateliti za snemanje kopnega).

1.2.8 Georadar

Georadar je neinvazivno geofizikalno orodje, ki se uporablja za kartiranje pod površjem. V zemljo oddaja elektromagnetne valove, odbiti signali pa zagotavljajo informacije o podzemnih strukturah, kot so komunalni vodi, arheološki artefakti in geološke oblike. Georadarji so lahko pritrjeni na različna vozila ali ročne vozičke, lahko pa jih tudi prenašamo ročno. Pogosti primeri uporabe georadarja so v gradbeništvu (na primer pri iskanju infrastrukturnih objektov in vodov pod zemljo), arheologiji (na primer pri iskanju arheoloških najdišč), geomorfologiji in geologiji (na primer pri iskanju stikov med različnimi podzemnimi plastmi kamnin, iskanju jam, ledu in drugega) (Buynevich in Fitzgerald 2019).



Slika 5: Georadar. Fotografija: ADOBE STOCK, ALISA

1.2.9 Merilec električne upornosti tal

Merjenje električne upornosti tal (*electrical resistivity imaging – ERI oziroma electrical resistivity tomography – ERT*) je geofizikalna metoda, ki se uporablja za raziskovanje struktur pod površjem z merjenjem električne upornosti tal, kamnin oziroma materialov. Ta tehnika se, podobno kot georadar, pogosto uporablja pri geomorfoloških in geoloških raziskavah, okoljskih študijah ali arheologiji za odkrivanje razlik v sestavi kamnin oziroma material pod površjem. Metoda je v urbanih okoljih, kjer je veliko pozidanih in asfaltiranih površin, večinoma neprimerna, saj je za razliko od georadarja potrebno v tla vstaviti elektrode. ERT namreč deluje tako, da v zemljo spusti nadzorovan električni tok preko vrste elektrod, nameščenih v linearnem ali mrežastem vzorcu. Razlike napetosti med elektrodami se nato izmerijo, da se določi upornost različnih kamnin oziroma materialov pod površjem. Zbrani podatki se obdelajo s specializirano geofizikalno programsko opremo, ki prikaže 2D ali 3D model upornosti tal oziroma podlage. Tovrstni modeli omogočajo analizo podzemnih značilnosti in sprejemanje odločitev glede gradnje, rudarjenja, sanacije okolja in arheoloških izkopavanj (Banton, Cimon in Seguin 1997; Breg Valjavec 2014).



Slika 6: Merjenje električne upornosti tal. Fotografija: MATEJA BREG VALJAVEC

1.2.10 Meteorološke in druge merilne postaje

Meteorološke postaje so namenjene spremljanju vremena, zato imajo številne senzorje za zajem podatkov o temperaturi, padavinah, zračni vlagi, zračnem tlaku, vetru in drugih značilnosti ozračja. Podobne merilne postaje lahko namestimo tudi za spremljanje stanja voda (na primer temperature vode in pretoka vodotoka), stanja prsti (na primer vlage v prsti) in drugih sestavin pokrajine. Pogosto so take postaje preko mobilnih omrežij povezane s strežniki, kamor pošiljajo podatke, ti pa so na voljo uporabnikom praktično takoj. Tovrstne merilne postaje so pogosto uporabljene za splošno spremljanje okolja, v kmetijstvu, pa tudi pri sistemih opozarjanja o naravnih nevarnostih. V povezavi z daljinskim zaznavanjem omogočajo kalibracijo za snemanje z brezpilotnimi letalniki in sateliti.



Slika 7: Dežemer spremlja količino padavin. Fotografija: MATEJA FERK

1.2.11 Sonar

Sonar izhaja iz angleške opisa za navigacijo in merjenje razdalj s pomočjo zvoka (angleško *Sound Navigation And Ranging*). Gre za tehniko, ki uporablja zvočne valove za lociranje predmetov in površja. Deluje tako, da pošilja akustične signale, na primer pod vodo, in meri čas njihovega potovanja od vira do morskega dna oziroma predmetov in nazaj (Kleeman in Kuc 2008).

1.3 PISARNIŠKA OPREMA

1.3.1 Računalniki (tudi delovne postaje in strežniki)

Računalniška oprema, ki jo uporabljamo v okviru GIS-ov, mora zagotavljati zadostno računalniško moč za obdelavo obsežnih zbirk prostorskih podatkov, izvajanje geoprostorskih analiz in izris 3D vizualizacij. Zahtevnost po računalniški moči je odvisna od zadane naloge in količine podatkov. Za nekatere analize so dovolj že povsem povprečni računalniki, za nekoliko zahtevnejša opravila pa potrebujemo visokozmogljive računalnike. Ti so opremljeni z večjedrnimi procesorji, velikimi kapacitetami delovnega pomnilnika (RAM) in zmogljivimi grafičnimi procesorji. Pogosto se storitve GIS izvajajo tudi v oblakih, kar pomeni, da morajo tovrstne strežniške infrastrukture prav tako zagotavljati visoko procesorsko moč ter ponujati veliko prostora za shranjevanje podatkov.

1.3.2 Tiskalniki in ploterji velikih formatov

Kartografi morajo pogosto tiskati zemljevide visoke ločljivosti, načrte in tehnične risbe. V te namene uporabljajo tiskalnike in risalnike (ploterje) velikega formata. Ti uporabljajo specializirano brizgalno ali lasersko tehnologijo za izdelavo podrobnih kartografskih izpisov. Te naprave so ključne na primer pri urbanističnem načrtovanju, inženirstvu in upravljanju nesreč, kjer so za delo potrebni fizični zemljevidi, saj sta ločljivost in merilo natisnjenih zemljevidov odvisni od zmogljivosti teh naprav.

1.3.3 Optični čitalci

Optični čitalci (skenerji) pretvarjajo papirnate zemljevide, načrte in geodetske dokumente v digitalne oblike, združljive z GIS. Strokovnjaki GIS uporabljajo skenerje za digitalizacijo arhivskih zemljevidov, na primer za prostorsko analizo sprememb rabe zemljišč. Na ta način skenirane zemljevide nato georeferencirajo s programsko opremo GIS, da jih lahko postavijo v sodobni koordinatnimi sistem in primerjajo z aktualnim stanjem. Ta postopek je bistvenega pomena za vključevanje starejših podatkov v aplikacije GIS. Podoben postopek lahko uporabimo tudi pri kartiranju raznih pojavov na terenu (na primer habitatnih tipov), ko uporabljamo natisnjene podlage (običajno ortofoto), ki jih na koncu potem skeniramo, georeferenciramo in vektoriziramo, da dobimo podatkovno bazo in digitalni grafični prikaz.

1.3.4 Naprave za shranjevanje podatkov

Prostorski podatki, zlasti nabori posnetkov visoke ločljivosti in podatkov LiDAR, zahtevajo velike zmogljivosti za shranjevanje. Zunanji trdi diski, omrežni sistemi za shranjevanje podatkov (angleško *Network-attached storage* – NAS) in strežniki v oblaku (ki imajo tudi svoje fizične strežnike!) ponujajo rešitve za upravljanje podatkov. Nekatere platforme GIS v oblaku omogočajo poleg hranjenja podatkov tudi izdelavo spletnih aplikacij in oddaljen dostop do geoprostorskih podatkov, kar omogoča sodelovanje med strokovnjaki za GIS po vsem svetu.

1.4 PROGRAMSKA OPREMA

Programska oprema je ključnega pomena pri delu z geografskimi informacijskimi sistemi in je nujen element v vseh fazah dela. Skrbi za interakcijo med strojno opremo in uporabnikom pri zajemanju podatkov, njihovi obdelavi, analizi in nenazadnje pri prikazu rezultatov. Poznamo različne vrste programske opreme, ki je pogosto tudi namenjena za točno določene aktivnosti – poznamo programe, ki so nujni za nastavitev senzorjev, načrtovanje zajema fotografij z letalnikom, programe, ki so namenjeni vektorski in rastrski analizi podatkov, in programe, ki so namenjeni za izdelavo zemljevidov (kartografski programi) ter 3D prikazov in animacij. Velikokrat obsežen program GIS omogoča izvedbo tudi več različnih sklopov opravil. Uporabniki lahko izbirajo med plačljivimi in prosto dostopnimi programi.

1.5 VRSTE PROSTORSKIH PODATKOV

V splošnem se poslužujemo dveh vrst podatkov:

- vektorskih podatkov,
- rastrskih podatkov.

1.5.1 Vektorski podatki

Vektorski podatki geografske značilnosti predstavljajo s točkami, linijami ali poligoni (Burrough, McDonnell in Lloyd 2015). Ti elementi hranijo tako prostorske (grafične/geometrijske) kot atributne informacije. Glede na tip geometrije, se vektorski podatki delijo na:

- **Točke** predstavljajo diskretne lokacije v prostoru, kot so vodnjaki, drevesa ali centroid mesta. Vsaka točka ima točno definirano lokacijo v izbranem koordinatnem sistemu (na primer z zemljepisno širino in dolžino). Podatki o točkah se pogosto uporabljajo za kartiranje točnih lokacij, na primer vzorčnih mest, v malem merilu pa lahko prikazujejo tudi posplošene lokacije naselij in drugih pokrajinskih elementov.
- **Linije** so sestavljene iz več povezanih točk in se uporabljajo za predstavitev linijskih značilnosti, kot so na primer ceste, reke, železnice in cevovodi. Linijski podatki so ključni za analizo omrežij.
- **Poligoni** so oblike, ki so sestavljene iz sklenjenih linij, in se uporabljajo za predstavitev območij, kot so upravne meje (države, občine), jezera, območja rabe zemljišč in površine stavb.

Vektorski podatki so zelo jasno opredeljeni, saj lahko shranjujejo natančne koordinate, in se pogosto uporabljajo v kartografiji, prostorski analizi in navigaciji (omrežja prometnic!).

Vektorskim podatkom lahko navadno prek skupnih identifikatorjev pripnemo razne tabelarične podatke. Ti so lahko številski ali opisni. Shranjeni so v preglednicah in so prek skupnih identifikatorjev povezani z vektorskimi prostorskimi podatki. Opisni atributi vključujejo na primer zemljepisna imena

in vrste rabe zemljišč, številski atributi pa na primer površino območja in število obiskovalcev. Podatki o atributih močno obogatijo prostorske podatke in povečujejo analitično moč GIS. Samostojni tabelarični podatki lahko vsebujejo tudi informacije (na primer koordinate), ki jih lahko pretvorimo v prostorske.

1.5.2 Rastrski podatki

Rastrski podatki so vrsta prostorskih podatkov, ki predstavljajo geografske značilnosti z mrežo celic (Burrough, McDonnell in Lloyd 2015). Rastrski podatki so koristni za neprekinjeno (zvezno) predstavitev prostorskih podatkov, kot sta razporeditev temperature ali nadmorske višine.
Najpogostejši primer rastrskih podatkov so fotografije, ki jih posnamemo s fotoaparatom ali pametnim telefonom. Vsaka celica (piksel) ima vrednost, ki ustreza določenemu atributu, kot so barvna vrednost, nadmorska višina (v primeru digitalnega modela višin), temperatura ali kategorija rabe zemljišč. V GIS-ih se z rastrskim načinom zapisa podatkov srečujemo najpogosteje pri letalskih ortofotih in satelitskih posnetkih ter digitalnih modelih višin. Prav tako so v rastrskem zapisu pogosto na voljo že pripravljeni zemljevidi interpoliranih meritev, kot so na primer zemljevidi temperatur in padavin.

1.6 GLAVNI KORAKI PRI ANALIZI PROSTORA

1.6.1 Pridobivanje podatkov

Večina projektov oziroma nalog pri geoinformacijskih aktivnostih se začne s postopkom zbiranja prostorskih podatkov iz različnih virov. Natančno zbiranje podatkov je bistvenega pomena za zagotavljanje zanesljivih prostorskih analiz, ki sledijo v nadaljevanju.
V fazi pridobivanja podatkov so pogoste naslednje dejavnosti:

- zbiranje podatkov na terenu – (na primer zajem lokacij z uporabo sprejemnikov GNSS, meritve s teodolitom, meritve električne upornosti tal, snemanje površja z ročnim laserskim skenerjem, kartiranje habitatnih tipov),
- daljinsko zaznavanje iz zraka (na primer pridobivanje satelitskih posnetkov, letalskih fotografij, lasersko ali optično snemanje z brezpilotnim letalnikom),
- digitalizacija (na primer optično skeniranje papirnatih zemljevidov v digitalne oblike),
- zbiranje podatkov s pomočjo občanske znanosti (na primer zbiranje podatkov s platformami, kot je OpenStreetMap (OSM) ali anketnih vprašalnikov).
- beleženje meritev z raznimi senzorji (na primer beleženje meritev vremenskih postaj, štetja prometa).

1.6.2 Urejanje, priprava podatkov za analize

Zbrane podatke vnesemo v GIS in shranimo v ustrezni obliki za nadaljnjo analizo. Neobdelani (surovi) prostorski podatki pogosto vsebujejo napake ali nedoslednosti. Obdelava zagotavlja kakovost podatkov in jih pripravi za analizo.
V fazi predobdelave in čiščenja podatkov so pogoste naslednje dejavnosti:

- odkrivanje in popravljanje napak (na primer ugotavljanje in popravljanje manjkajočih, podvojenih ali nepravilnih prostorskih atributov, izločitev napačnih meritev zaradi napak senzorja),
- preverjanje topologije/prostorskih razmerij (na primer dodajanje manjkajočih cestnih odsekov, ki morajo biti zvezno povezani, odstranitev prekrivajočih se poligonov pri digitalizaciji rabe zemljišč),
- umestitev v želeni koordinatni sistem (na primer pretvorba prostorskih podatkov iz koordinatnega sistema WGS84 (ta je pogost na primer pri ročnih GNSS sprejemnikih za pohodništvo) v slovenski koordinatni sistem D96),
- obdelava neobdelanih letalskih posnetkov (fotogrametrična obdelava optičnih letalskih fotografij in izdelava oblaka točk nadmorskih višin površja),
- pretvorba podatkov med različnimi zapisi (na primer vektorizacija cest iz letalskih ortofotov, rasterizacija oblaka točk za izdelavo rastrskega digitalnega modela višin).

1.6.3 Prostorska analiza

Urejene podatke lahko analiziramo na številne načine in pridobimo raznovrstne informacije. V fazi analize podatkov so pogoste naslednje dejavnosti:

- analiza prekrivanja podatkovnih slojev (na primer prekrivanje sloja lokacij stavb in poplavnih območij za analizo ogroženosti poselitve),
- analiza bližine oziroma razdalj med elementi ter analiza omrežij (na primer iskanje najbližje bolnišnice glede na določeno lokacijo),
- interpolacija oziroma ocenjevanje vrednosti na podlagi bližnjih meritev (na primer napovedovanje padavin na lokacijah brez meteoroloških meritev),
- morfometrična analiza površja (na primer preučevanje spreminjanja nadmorske višine, naklona in ekspozicije),
- modeliranje pojavov in proces (na primer modeliranje nevarnosti nastanka zemeljskih plazov, snežnih plazov, modeliranje temperatur, razširjenosti vrst in habitatov).

1.6.4 Prikaz oziroma vizualizacija rezultatov

Na koncu celotnega procesa dela z GIS-i rezultate predstavimo. Predstavitev je najpogosteje podana v obliki tematskih zemljevidov – tiskanih ali spletnih, polega tega pa jih lahko spremljajo tudi številne preglednice in grafični prikazi za boljšo ponazoritev. Zelo privlačni so tudi prikazi vsebin v 3D okoljih. Strokovnjaki za GIS ustvarjajo raznovrstne načine prostorskih prikazov, da bi prostorski podatki postali dostopni javnosti in nosilcem odločanja ter tako pripomogli k boljši komunikaciji in sprejemanju razvojnih politik. V fazi prikaza rezultatov prostorskih analiz so pogoste naslednje dejavnosti:

- izdelava zemljevidov za zaslonski prikaz ali tisk (na primer priprava preglednega zemljevida narodnega parka),
- izdelava 3D vizualizacije (na primer upodobitev 3D prikaza ledenika z možnostjo različnih časovnih obdobij),
- izdelava spletne aplikacije za diseminacijo informacij (na primer priprava interaktivnega spletnega zemljevida z dodatnimi multimedijskimi vsebinami posameznih turističnih točk),
- izdelava spletnega 3D prikaza površja (na primer prelet skozi načrtovano urbanistično zasnovo mesta),
- izdelava aplikacij za mobilne naprave (na primer aplikacija za pomoč pri pohodništvu).

1.7 VIRI IN LITERATURA

- Banton, O., Cimon, M., Seguin, M. 1997: Mapping field-scale physical properties of soil with electrical resistivity. Soil Science Society of America Journal 61. DOI: https://doi.org/10.2136/SSSAJ1997.03615995006100040003X
- Breg Valjavec, M. 2014: Study of filled dolines by using 3D stereo image processing and electrical resistivity imaging. International Journal of Speleology 43-1. DOI: https://doi.org/10.5038/1827-806X.43.1.6
- Burrough, P. A., McDonnell, R. A., Lloyd, C. D. 2015: Principles of geographical information systems. Oxford.
- Buynevich, I.V., FitzGerald, D.M. 2019: Ground-penetrating radar. Encyclopedia of Coastal Science. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-93806-6_162
- Gregersen, E. 2025: Lidar. Encyclopedia Britannica. Medmrežje: https://www.britannica.com/technology/lidar. (18. 3. 2025).
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., Wasle, E. 2008: GNSS – Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more. Dunaj. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-211-73017-1
- Kleeman, L., Kuc, R. 2008: Sonar sensing. Springer Handbook of Robotics. Berlin, Heidelberg. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-540-30301-5_22

- Okabe, A. 2006: Introduction. GIS-Based Studies in the Humanities and Social Sciences. Boca Raton.
- Polanec, D. 2014: Razvoj geodetskih instrumentov. Diplomsko delo, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Ljubljana.

2 PRIDOBIVANJE PODATKOV

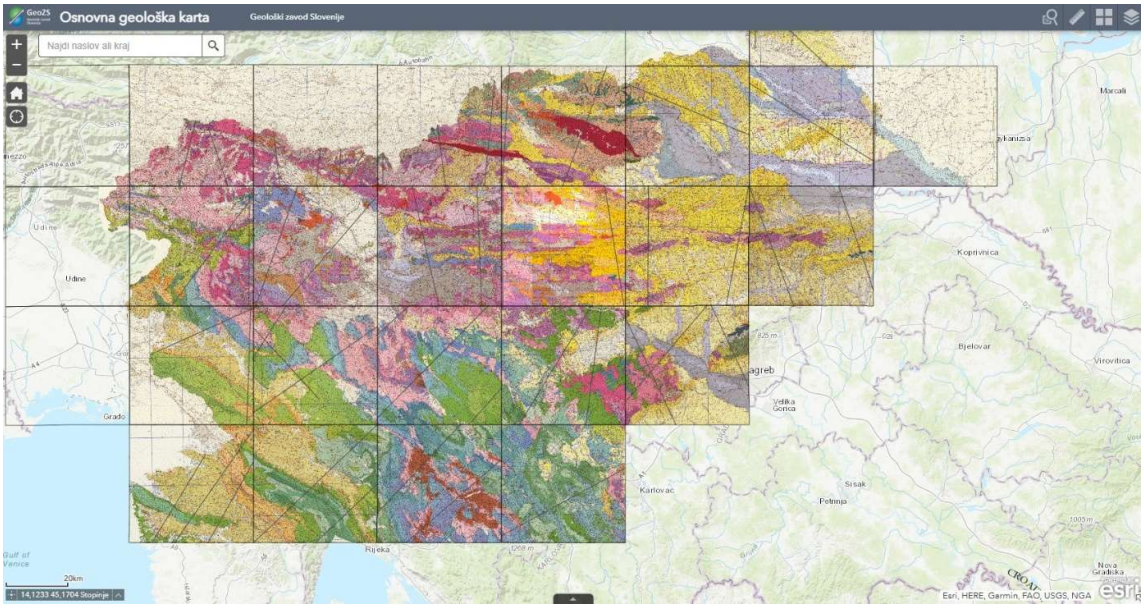
2.1 PRIDOBIVANJE PODATKOV OBSTOJEČIH BAZ IN DRUGIH VIROV

2.1.1 Podatki s področja geologije

A) Geološka karta Slovenije

Na spletnih straneh Geološkega zavoda Slovenije je na voljo Osnovna geološka karta Slovenije v merilu 1 : 100.000, ki vsebuje podatke o litološko-stratigrafskih značilnostih kamnin, ki gradijo slovensko ozemlje, njihovih medsebojnih odnosov, starosti in drugih pomembnih lastnosti. Podatki za celotno območje Slovenije so na voljo v obliki spletnega pregledovalnika na naslovu https://ogk100.geo-zs.si, prenos podatkov v vektorskem in rastrskem formatu pa je mogoč za posamezna območja oziroma liste (Slovenijo prekriva 23 listov) na spletnem naslovu https://egeologija.si/geonetwork/srv/slv/catalog.search#/home. Pri prenesenih vektorskih podatkih so geološke meje in tektonski elementi zajeti kot linije, geološke enote predstavljajo zaključene poligone, točkovni strukturni elementi in druge lokacije geoloških pojavov (na primer fosili, mineralne surovine, hidrogeološki pojavi) pa so zajeti kot točke. Prostorske podatke kamnin v pripadajočih preglednicah spremljajo tudi drugi podatki, kot sta na primer starost in uvrstite kamnin v enote (slika 8).

Vir podatkovnega sloja: Geološki zavod Slovenije
Dostop do podatkovnega sloja: https://www.geo-zs.si/
Zapis podatkovnega sloja: vektorski, rastrski
Ločljivost podatkovnega sloja: /



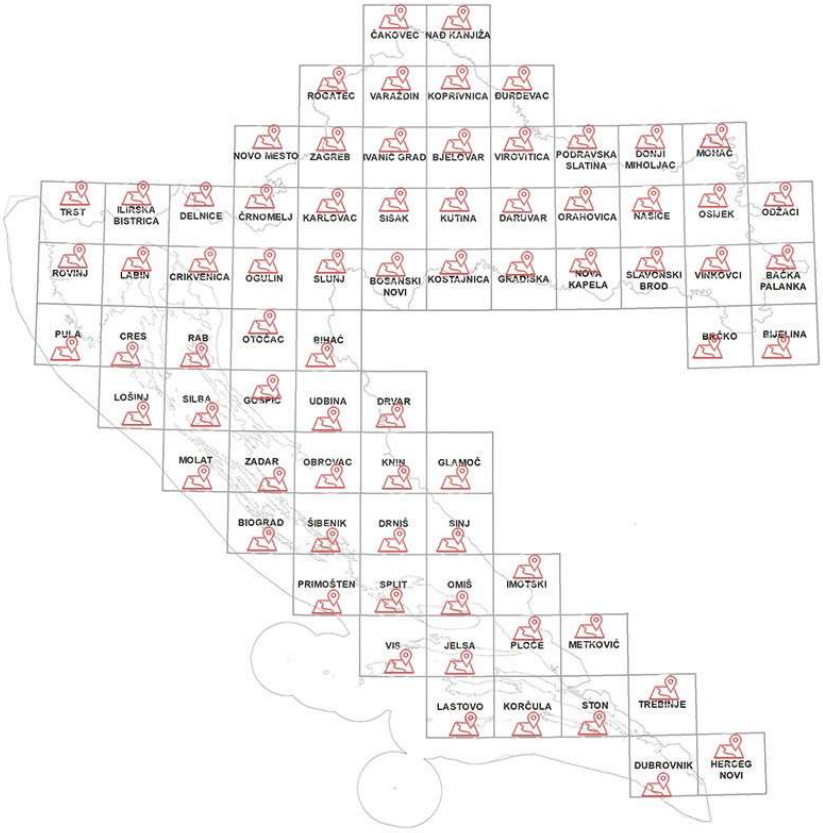
Slika 8: Zaslonski prikaz pregledovalnika Osnovne geološke karte Slovenije.

B) Geološka karta Hrvaške

Osnovna geološka karta Hrvaške (Osnovna geološka karta Republike Hrvatske 1 : 100 000) prav tako kot Osnovna geološka karta Slovenije vsebuje podatke o litološko-stratigrafskih značilnosti kamnin, njihovih medsebojnih odnosih, starosti in drugih pomembnih lastnosti. Podatki za celotno območje Hrvaške v merilu 1 : 300.000 so na voljo v obliki spletnega pregledovalnika na naslovu http://webgis.hgi-cgs.hr/gk300/default.aspx, pridobitev podatkov v digitalnem zapisu v merilu 1 : 100.000 pa je mogoč za posamezna območja oziroma liste (Hrvaško prekriva 74 listov) ob poslani

zahtevi za pridobivanje podatkov na Hrvaški geološki inštitut, ki podrobne informacije ponuja na https://www.hgi-cgs.hr/geoloske-karte (slika 9). Ob poslanem povpraševanju je možno pridobiti naenkrat tudi podatke za celotno območje Hrvaške, vendar podatki niso georeferencirani.

Vir podatkovnega sloja: Hrvatski geološki institut, Zavod za geologiju
Dostop do podatkovnega sloja: https://www.hgi-cgs.hr/
Zapis podatkovnega sloja: rastrski
Ločljivost podatkovnega sloja: /



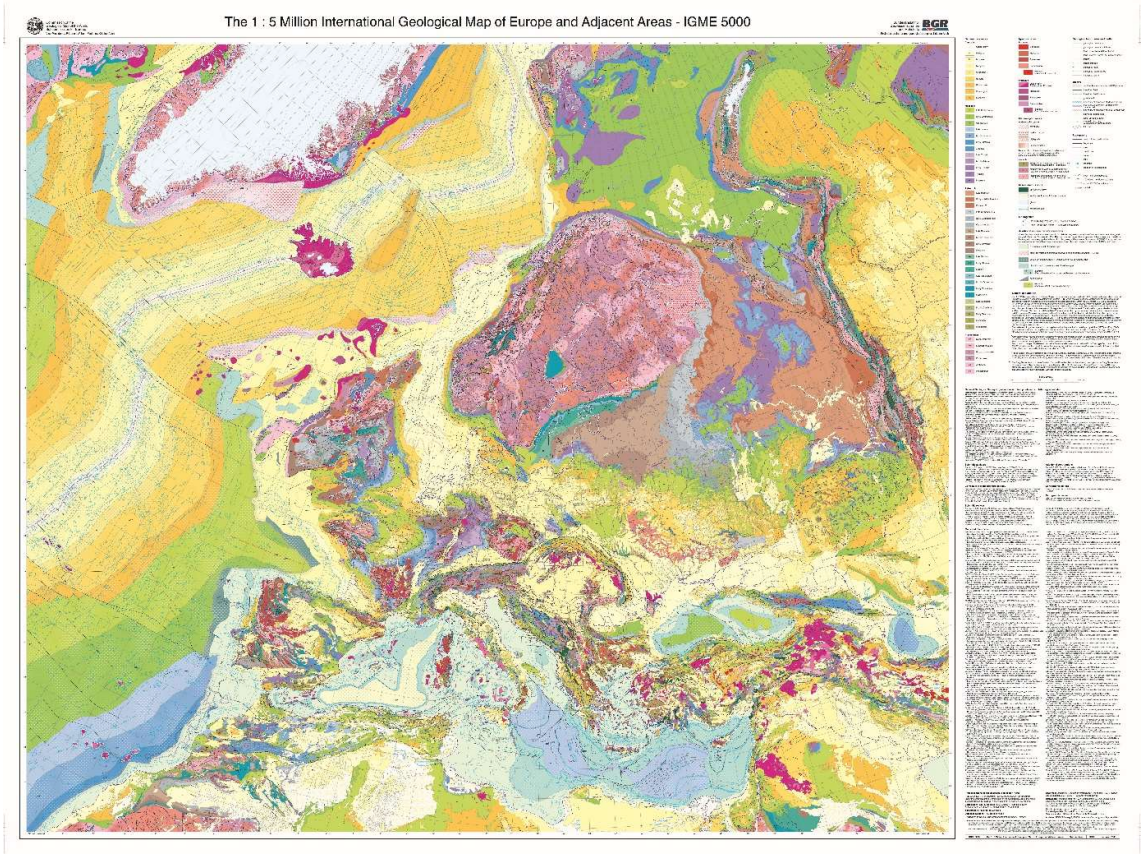
Slika 9: Pregled listov Osnovne geološke karte Hrvaške v merilu 1 : 100.000.

C) Mednarodni geološki zemljevid Evrope in sosednjih območij

Mednarodni geološki zemljevid Evrope in sosednjih območij v merilu 1 : 5.000.000 prikazuje posplošene geološke značilnosti Evrope pred kvartarjem na kopnem in na morju (slika 10). Poleg informacij o starosti, petrografiji in genezi, so prikazane tudi magnetne anomalije, tektonske strukture, metamorfizem in podatki o celinski oziroma oceanski skorji ter kontinentalnem robu. Zemljevid je razvil Zvezni inštitut za geoznanosti in naravne vire (nemško *Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe*) pod okriljem Komisije za geološki zemljevid sveta (angleško *Commission of the Geological Map of the World*, CGMW) v sodelovanju z 48 državnimi geološkimi organizacijami ter več kot 20 raziskovalnimi inštituti. Podatke v vektorski in rastrski obliki je mogoče prenesti z uradnega portala Evropske unije (https://data.europa.eu/data/datasets/9fd6624c-0aa7-46d4-9da3-955e558cd5f1-1?locale=en).

Vir podatkovnega sloja: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Evropska Unija

Dostop do podatkovnega sloja: https://data.europa.eu/en
Zapis podatkovnega sloja: rastrski, vektorski
Ločljivost podatkovnega sloja: /



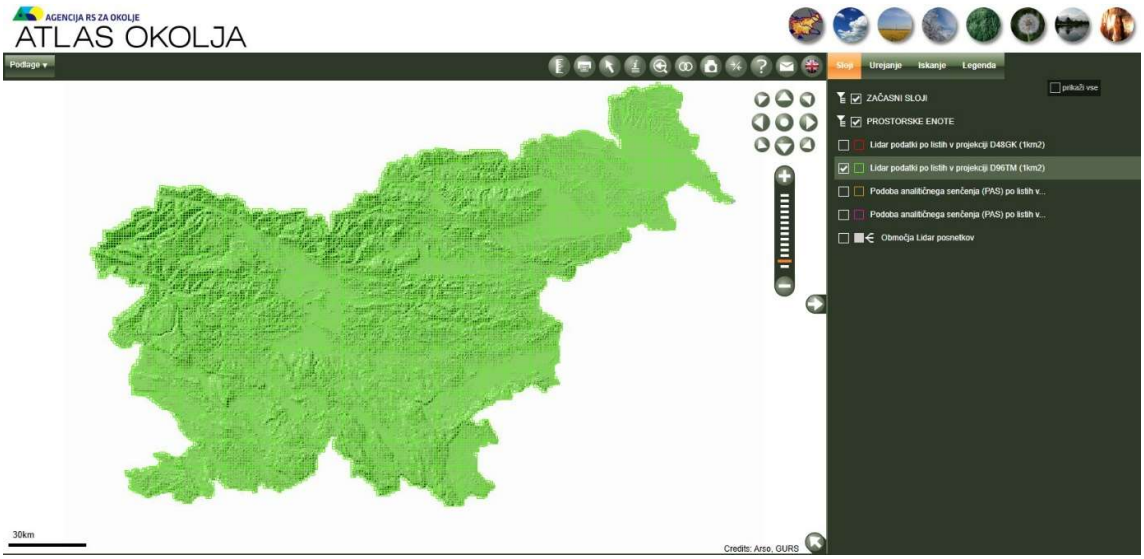
Slika 10: Mednarodni geološki zemljevid Evrope.

2.1.2 Podatki s področja geomorfologije

A) Podatki laserskega skeniranja (LIDAR) za območje Slovenije

Podatki letalskega laserskega skeniranja površja (LIDAR) so na voljo za celotno območje Slovenije. Spletni pregledovalnik eVode (https://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas_voda_Lidar@Arso; slika 11) omogoča pregled in prenos podatkov laserskega skeniranja za območje Slovenije po listih v velikosti 1 km², za katere je že izdelan georeferenciran in klasificiran oblak točk. Možno je pridobiti naslednje vrste podatkov: 1) oblak točk reliefa v obliki zLAS (OTR), 2) oblak točk v obliki zLAS klasificiran na tla, stavbe in tri različne tipe vegetacije – nizka, srednja in visoka (GKOT), 3) digitalni model reliefa na osnovi točk OTR z ločljivostjo 1 m × 1 m v obliki ASCII (DMR). Za pretvorbo podatkov iz oblike zLAS v LAS je možen tudi brezplačen prenos orodja LAS Optimizer. Natančna navodila za prenos podatkov so dostopna na spletni strani http://www.evode.gov.si/index.php?id=87. Podatke za večja območja je možno pridobiti na Agenciji Republike Slovenije za okolje.

Vir podatkovnega sloja: Agencija Republike Slovenije za okolje
Dostop do podatkovnega sloja: https://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas_voda_Lidar@Arso in http://www.evode.gov.si/index.php
Zapis podatkovnega sloja: rastrski, vektorski (oblak točk)
Ločljivost podatkovnega sloja: 1 m × 1 m



Slika 11: Zaslonski prikaz spletnega pregledovalnika podatkov laserskega skeniranja Slovenije.

B) Podatki laserskega skeniranja (LIDAR) za območje Hrvaške

Podatki letalskega laserskega skeniranja površja so na voljo za celotno območje Hrvaške. Podatke je možno pridobiti le preko podane prošnje. Navodila za naročilo podatkov so na voljo na spletni strani DGU (https://dgu.gov.hr/proizvodi-i-usluge/podnesite-zahtjev-91/91). Podatki so razdeljeni na mrežo listov v merilu 1 : 2.000, za katere je že izdelan georeferenciran oblak točk. Možno je pridobiti naslednje vrste podatkov: 1) klasificiran izvirni oblak točk po posameznih listih v zapisu LAS ali LAZ, 2) digitalni model površja (DMP) z ločljivostjo 1 m × 1 m po posameznih listih v zapisu tiff, 3) digitalni model reliefa (DMR) z ločljivostjo 1 m × 1 m po posameznih listih v obliki tiff.

Vir podatkovnega sloja: Državna geodetska uprava
Dostop do podatkovnega sloja: https://dgu.gov.hr/
Zapis podatkovnega sloja: rastrski
Ločljivost podatkovnega sloja: 1 m × 1 m

C) Digitalni model višin za območje Slovenije

Digitalni model višin Slovenije je opis reliefa v obliki modela, kjer so podane višine reliefa za vsako vozlišče kvadratne mreže. Model je na voljo v različnih ločljivostih: 100 m × 100 m (oznaka DMV 100), 25 m × 25 m (DMV 25), 12,5 m × 12,5 m (DMV 12,5) in 5 m × 5 m (DMV 5). Pri slednjem je osnovna enota izdajanja posamezen list mreže temeljnega topografske načrta 1 : 5000 (TTN 5). Prenos podatkov je možen preko zbirke javnih geodetskih podatkov na Portalu Prostor Geodetske uprave Republike Slovenije na spletni strani https://ipi.eprostor.gov.si/jgp/data (področje Državni topografski sistem, Digitalni model višin).

Vir podatkovnega sloja: Geodetska uprava Republike Slovenije
Dostop do podatkovnega sloja: https://www.e-prostor.gov.si/
Zapis podatkovnega sloja: rastrski
Ločljivost podatkovnega sloja: 5 m × 5 m, 12,5 m × 12,5 m, 25 m × 25 m, 100 m × 100 m

D) Digitalni model višin za območje Hrvaške

Digitalni model višin Hrvaške z ločljivostjo 25 m × 25 m je opis reliefa v obliki modela, kjer so podane višine reliefa za vsako vozlišče kvadratne mreže in je na voljo za celotno območje Hrvaške. Ogled podatkov je možen preko spletnega pregledovalnika Geoportala hrvaške državne geodetske uprave na naslovu https://geoportal.dgu.hr, podatke pa je možno pridobiti le preko podane prošnje za dostop do

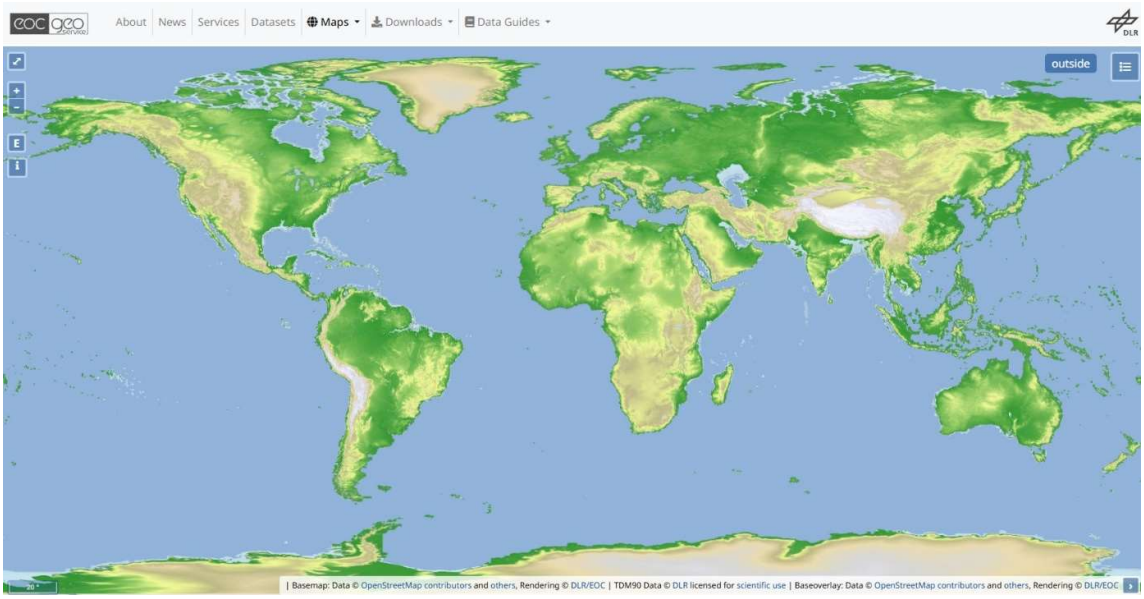
podatkov, ki je na voljo na spletni strani DGU https://dgu.gov.hr/proizvodi-i-usluge/podnesite-zahtjev-91/91. Podatki so v obliki ASCII.

Vir podatkovnega sloja: Državna geodetska uprava
Dostop do podatkovnega sloja: https://dgu.gov.hr/
Zapis podatkovnega sloja: rastrski
Ločljivost podatkovnega sloja: 25 m × 25 m

E) Globalni digitalni model višin TanDEM-X

TanDEM-X je različica izdelka globalnega digitalnega modela višin (DMV), pridobljenega v okviru nemške vesoljske misije TanDEM-X. Na voljo so trije digitalni modeli višin v zapisu geoitff v različnih ločljivosti: 12 m × 12 m, 30 m × 30 m in 90 m × 90 m. TanDEM-90 se lahko prenese s spletne strani Geoservice (https://geoservice.dlr.de/web/dataguide/tdm90/), kjer so na voljo tudi vsa navodila in pogoji uporabe. Podatki TanDEM-12 in TanDEM-30 so na voljo le na zahtevo. Vse informacije so na voljo na spletni strani https://tandemx-science.dlr.de/ (slika 12).

Vir podatkovnega sloja: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Dostop do podatkovnega sloja: https://tandemx-science.dlr.de/
Zapis podatkovnega sloja: rastrski
Ločljivost podatkovnega sloja: 12 m × 12 m, 30 m × 30 m, 90 m × 90 m



Slika 12: Zaslonski prikaz pregledovalnika globalnega digitalnega modela višin TanDEM-X.

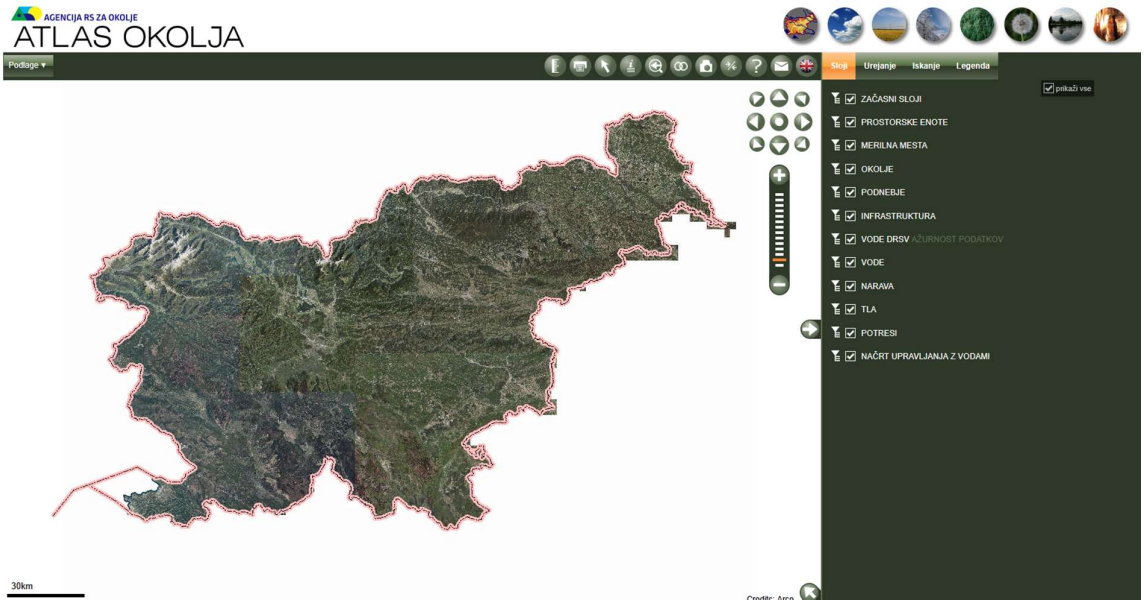
2.1.3 Podatki s področja klimatologije

A) Klimatski podatki Slovenije

Agencija Republike Slovenije za okolje ponuja številne klimatske podatke, na primer podatke o temperaturah, padavinah, snežni odeji in drugem (slika 13). Podatke zajema z obsežno mrežo klimatoloških postaj po celi Sloveniji, za katere so na voljo tabelarični podatki. Za številne pojave so na voljo tudi rastrski ali vektorski zemljevidi z interpoliranimi vrednostmi.

Vir podatkovnega sloja: Agencija Republike Slovenije za okolje
Dostop do podatkovnega sloja: https://gis.arso.gov.si/geoportal/ in http://www.arso.si
Zapis podatkovnega sloja: vektorski in rastrski

Ločljivost podatkovnega sloja: različne ločljivosti



Slika 13: Zaslonski prikaz pregledovalnika Atlasa okolja Agencije Republike Slovenije za okolje.

B) Klimatski podatki Hrvaške

Državni hidrometeorološki zavod ponuja številne klimatske podatke, na primer podatke o temperaturah, padavinah, snežni odeji in drugem. Podatke zajema z obsežno mrežo klimatoloških postaj po celi Sloveniji, za katere so na voljo tabelarični podatki. Za številne pojave so na voljo tudi rastrski ali vektorski zemljevidi z interpoliranimi vrednostmi.

Vir podatkovnega sloja: Državni hidrometeorološki zavod
Dostop do podatkovnega sloja: https://meteo.hr/
Zapis podatkovnega sloja: rastrski
Ločljivost podatkovnega sloja: različne ločljivosti

C) Klimatski podatki spletne strani WorldClim

Na spletni strani WorldClim so na voljo osnovni klimatski pojavi, kot so na primer temperature, padavine in veter. Podatki so na voljo v različnih ločljivostih (od 10 minut do 30 sekund). Med podatki najdemo tudi napovedane vrednosti za prihodnja obdobja.

Vir podatkovnega sloja: WorldClim
Dostop do podatkovnega sloja: https://worldclim.org/
Zapis podatkovnega sloja: rastrski
Ločljivost podatkovnega sloja: različne ločljivosti

2.1.4 Podatki s področja hidrologije

A) Hidrološki podatki Slovenije

Agencija Republike Slovenije za okolje ponuja številne hidrološke podatke, ki jih zajema z obsežno mrežo hidroloških postaj po celi Sloveniji. Zanje so na voljo meritve tabelarični podatki. Za številne pojave so na voljo tudi vektorski zemljevidi.

Vir podatkovnega sloja: Agencija Republike Slovenije za okolje
Dostop do podatkovnega sloja: https://gis.arso.gov.si/geoportal/ in http://www.arso.si

Zapis podatkovnega sloja: vektorski
Ločljivost podatkovnega sloja: /

B) Hidrološki podatki Hrvaške
Spletna stran ustanove Hrvatske vode ponuja informacije s področja voda, kjer je na voljo pregledovalnik prostorskih podatkov s tega področja.

Vir podatkovnega sloja: Državni hidrometeorološki zavod
Dostop do podatkovnega sloja: https://www.voda.hr/hr/geoportal
Zapis podatkovnega sloja: rastrski
Ločljivost podatkovnega sloja: /

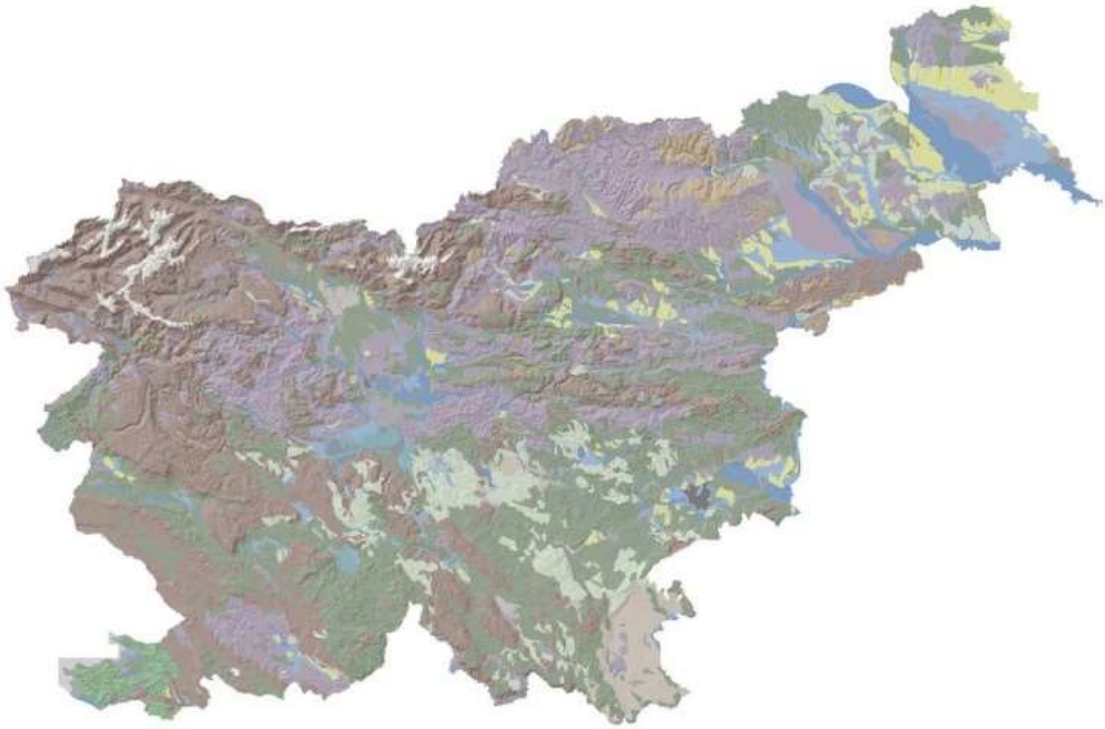
2.1.5 Podatki s področja pedologije

A) Pregledna pedološka karta Slovenije v merilu 1 : 1.000.000

Pregledna pedološka karta v merilu 1 : 1.000.000 (slika 14) predstavlja generalno podatkovno zbirko o tem naravnem viru Slovenije. Sloj je namenjen predstavitvi osnovnih pedoloških lastnosti na ravni države, zato je pedološka karta najbolj uporabna v kmetijstvu, gozdarstvu in pri varstvu narave. Pregledna pedološka karta je sestavljena iz poligonov prevladujočega talnega tipa po slovenski klasifikaciji tal (prsti) kot tudi po klasifikaciji Organizacije Združenih Narodov za prehrano in kmetijstvo (angleško *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, FAO).

Vir podatkovnega sloja: Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, Kmetijski inštitut Slovenije
Dostop do podatkovnega sloja: https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/soil-atlas-europe
Zapis podatkovnega sloja: vektorski

Več informacij:
- Vrščaj B., Prus T. 2005: Soil atlas of Europe. Ispra.

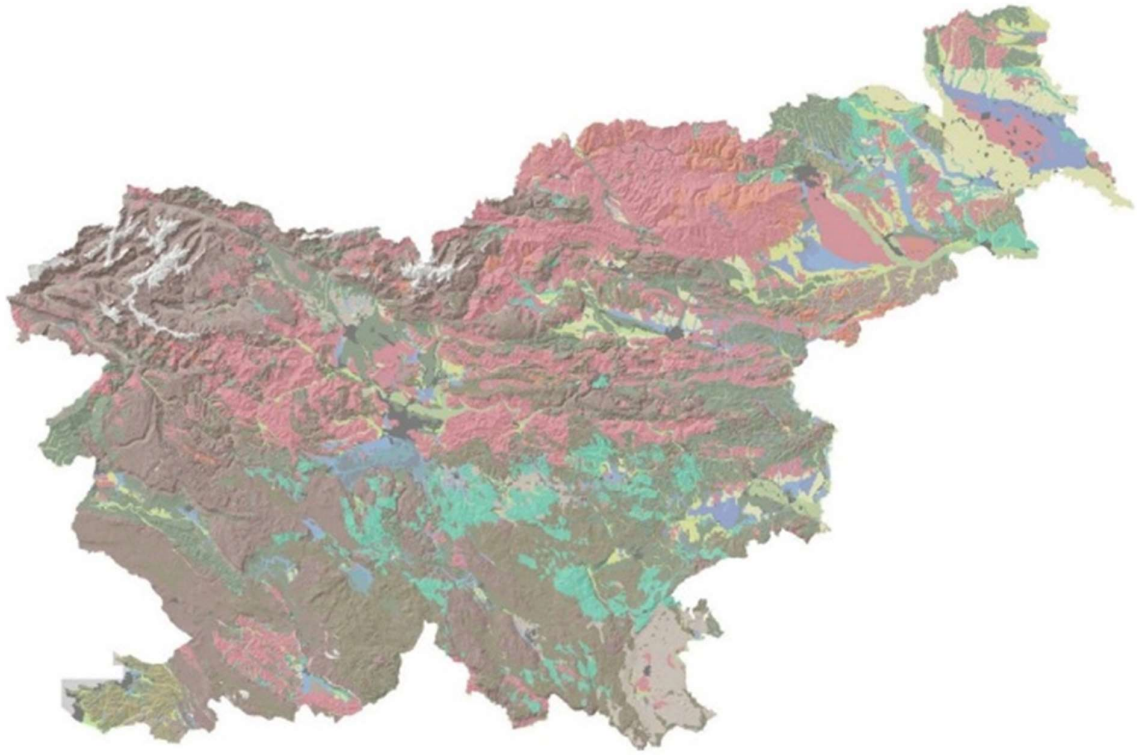


Slika 14: Zaslonski prikaz pregledovalnika pregledne pedološke karta Slovenije v merilu 1 : 1.000.000.

B) Pedološka karta Slovenije v merilu 1 : 25.000

Sloj je temeljna evidenca prsti (tal) v Sloveniji. Pedološko karto sestavljajo kartografske enote talnih tipov (TKE). Vsaki TKE je pripisan prevladujoč talni tip po slovenski klasifikaciji tal kot tudi po klasifikaciji Organizacije Združenih Narodov za prehrano in kmetijstvo (FAO). Znotraj TKE se lahko nahaja več talnih sistematskih enot (TSE) oziroma talnih tipov, razvrščenih po deležih površja posamezne enote. V eni enoti se lahko nahajajo največ trije različni talni tipi. Sloj je izdelal Center za pedologijo in varstvo okolja (CPVO) Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Podatki so prosto dostopni na spletnem pregledovalniku Ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (slika 15) (https://rkg.gov.si/GERK/WebViewer) in ob registraciji tudi na spletni strani eTLA (https://gis.etla.si/KIS-WebGIS/#config=JAVNI.xml). Grafični in atributni podatki so na voljo na spletni strani Odprti podatki Slovenije (OPSI), kjer najdemo tudi metapodatkovni zapis v o vseh podatkih.

Vir podatkovnega sloja: Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano
Dostop do podatkovnega sloja: https://podatki.gov.si/dataset/pedoloska-karta-slovenije in https://rkg.gov.si/razno/portal_analysis/PedoloskaKarta.zip
Zapis podatkovnega sloja: vektorski (poligon)



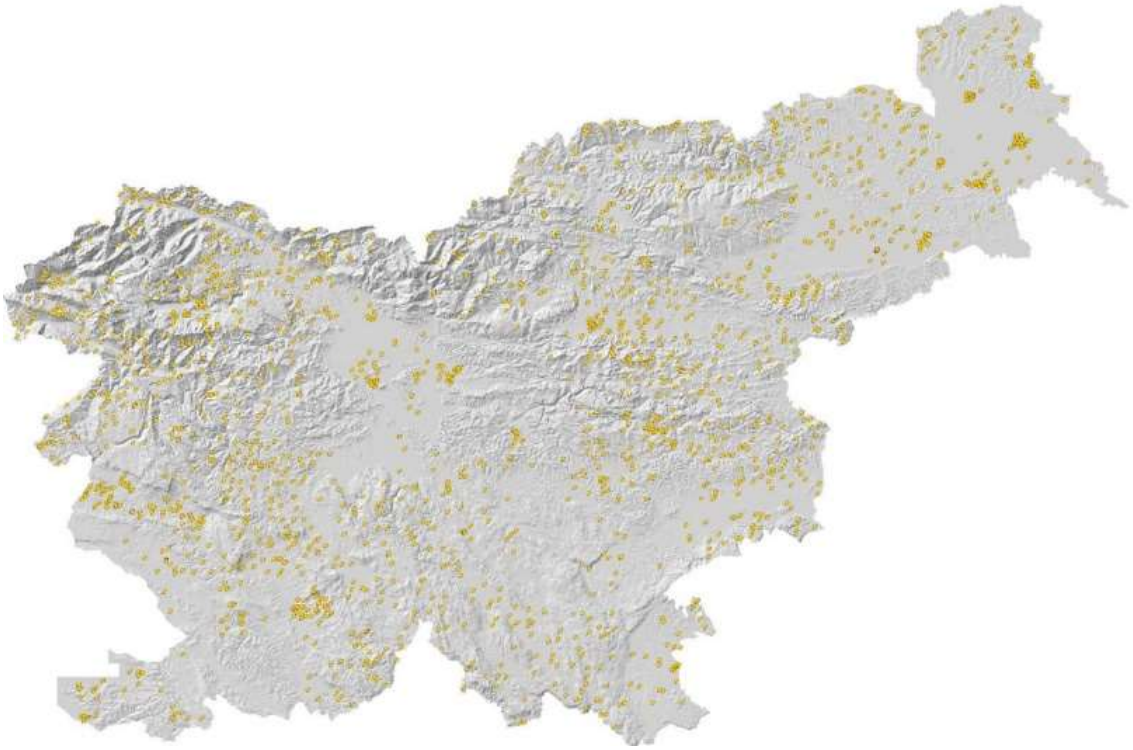
Slika 15: Zaslonski prikaz pregledovalnika pregledne pedološke karta Slovenije v merilu 1 : 25.000.

C) Pedološki profili Slovenije

Sloj prikazuje lokacije pedoloških profilov na ravni cele države ter vsebuje 1879 pedoloških profilov. Vsaka točka vsebuje podatek o lokaciji izkopa, talnem tipu, zaporedju horizontov ter dodatne informacije o matični podlagi, rabi zemljišč in vegetaciji. Lastnik podatkov je Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, avtor pa Center za pedologijo in varstvo okolja Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Karta je bila izdelana leta 2019, podatki pa so prosto dostopni na spletnem pregledovalniku Ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (https://rkg.gov.si/GERK/WebViewer; slika 16) in ob registraciji tudi na spletni strani eTLA (https://gis.etla.si/KIS-WebGIS/#config=JAVNI.xml). Grafični in

atributni podatki so na voljo na spletni strani Odprti podatki Slovenije (OPSI), kjer najdemo tudi metapodatkovni zapis v o vseh podatkih.

Vir podatkovnega sloja: Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano
Dostop do podatkovnega sloja: https://podatki.gov.si/dataset/pedoloska-karta-slovenije in https://rkg.gov.si/razno/portal_analysis/PedoloskaKarta.zip
Zapis podatkovnega sloja: vektorski (točke)

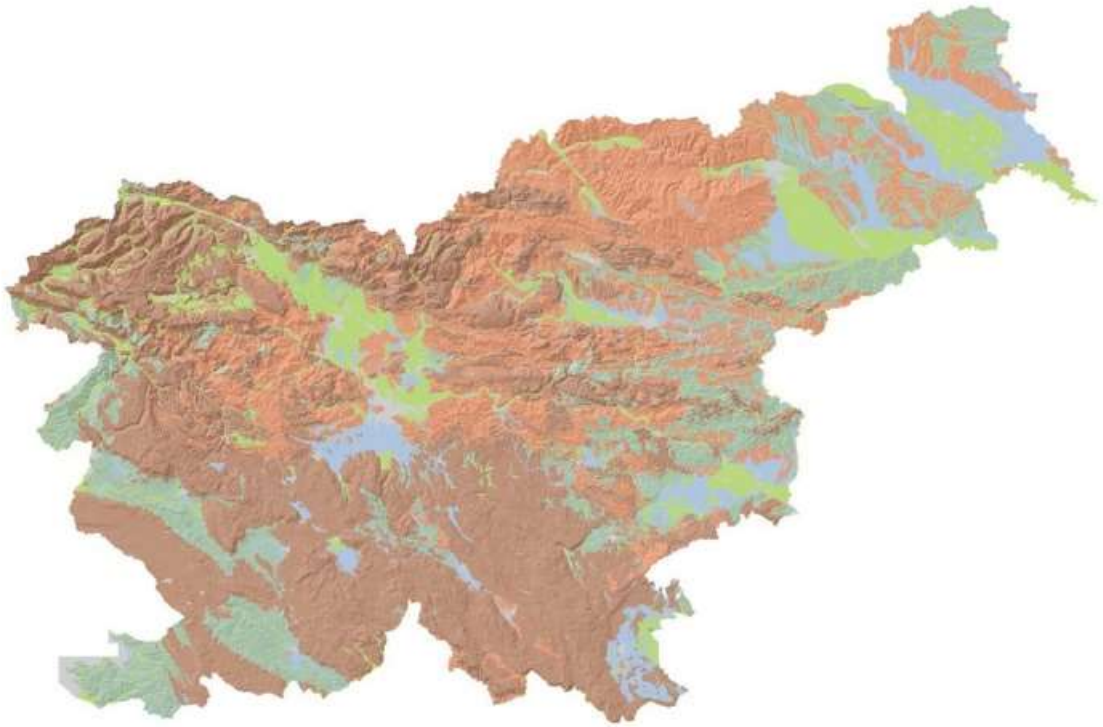


Slika 16: Zaslonski prikaz pregledovalnika pedoloških profilov Slovenije.

D) Pedosekvence Slovenije

Podatkovni sloj prikazuje pedosekvence na ozemlju Slovenije. Pedosekvenca je atributna pedološka enota, v kateri se združujejo talni tipi s podobnimi lastnostmi. Glavni kriterij za določitev pedosekvenc je predvsem matična podlaga, ki je eden najmočnejših naravnih pedogenetskih dejavnikov. V Sloveniji se pojavlja pet pedosekvenc: pedosekvenca na produ in pesku (PP), pedosekvenca na glinah in ilovicah (GI), pedosekvenca na mehkih karbonatnih kamninah (MK), pedosekvenca na trdih karbonatnih kamninah (TK) ter pedosekvenca na nekarbonatnih kamninah (NK). Podatkovni sloj je leta 2015 pripravil Borut Vrščaj, lastnik podatkov pa je Kmetijski inštitut Slovenije. Zemljevid je uporaben do merila 1 : 25.000, v večjih merilih pa ni zanesljiva.
Podatki so dostopni na vpogled v spletnem pregledovalniku Ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (https://rkg.gov.si/GERK/WebViewer; slika 17) in ob registraciji tudi na portalu eTLA (https://gis.etla.si/KIS-WebGIS/#config=JAVNI.xml). Grafični in atributni podatki so na voljo na spletni strani Odprti podatki Slovenije (OPSI).

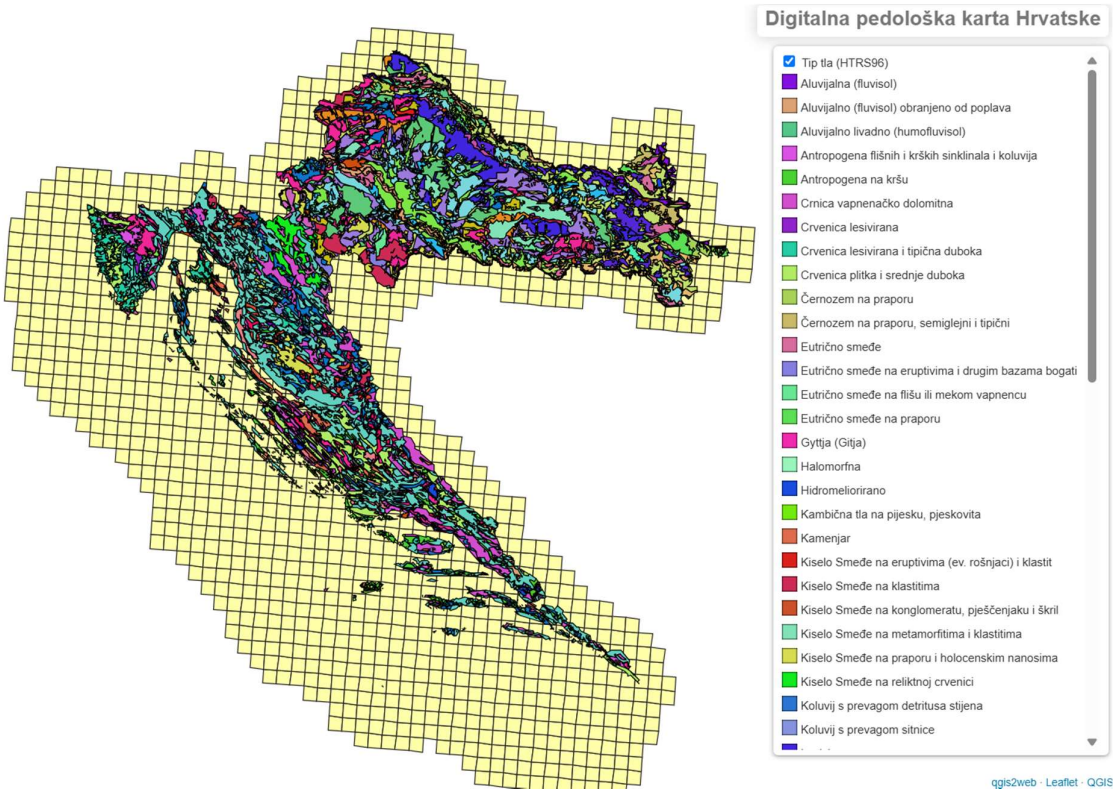
Vir podatkovnega sloja: Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano
Dostop do podatkovnega sloja: https://rkg.gov.si/razno/portal_analysis/PedoloskaKarta.zip in https://podatki.gov.si/dataset/pedoloska-karta-slovenije
Zapis podatkovnega sloja: vektorski (poligon)



Slika 17: Zaslonski prikaz pregledovalnika pedosekvenc Slovenije.

E) Digitalna pedološka karta Hrvaške
Digitalna pedološka karta Hrvaške je osnovni prostorski sloj, ki je na voljo za območje celotne Hrvaške (slika 18).

Vir podatkovnega sloja: Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek
Dostop do podatkovnega sloja: https://pedologija.com.hr/iBaza/DPK-Hr_2021/index.html#2/44.5/16.3
Zapis podatkovnega sloja: vektorski



Slika 18: Zaslonski prikaz pregledovalnika hrvaške pedološke karte.

F) Evropska pedološka baza (European Soil Database)

Ta zbirka podatkov (2004) je edina usklajena zbirka podatkov o prsteh za Evropo, ki se razteza tudi na Evrazijo. Vsebuje geografsko podatkovno zbirko o prsteh Evrazije v merilu 1 : 1.000.000 (SGDBE), na katero so vezani številni bistveni atributi prsti, in pridruženo podatkovno zbirko pravil o pedotransferju (PTRDB). Del podatkovne zbirke je tudi analitična podatkovna zbirka profilov prsti v Evropi (SPADBE), ki vsebuje izmerjene in ocenjene profile prsti za Evropo. Podatkovne nize zaokrožuje zbirka podatkov o hidravličnih lastnostih evropskih prsti (HYPRES).

Vir podatkovnega sloja: Joint Research Centre, European Soil Data Centre
Dostop do podatkovnega sloja: Podatek je dostopen z izpolnitvijo in oddajo spletne vloge prek spletne strani: https://esdac.jrc.ec.europa.eu/resource-type/european-soil-database-soil-properties
Zapis podatkovnega sloja: vektor (poligon)
Ločljivost podatkovnega sloja: /

Več informacij:

- Vrščaj B., Prus T. 2005: Soil atlas of Europe. Ispra.
- Vrščaj, B. 2015: Pedosekvence Slovenije 1:25.000 [The Soil scapes 1:25,000]. Ljubljana.
- Vukadinović, V., Vukadinović, V. 2018. Zemljišni resursi. Vrednovanje poljoprivrednih zemljišnih resursa (e-knjiga). Osijek.

2.1.6 Podatki s področja biogeografije

A) Habitatni tipi Slovenije

Kartiranje habitatnih tipov je hitra in natančna metoda, ki v razmeroma kratkem času omogoča pridobiti kar največ informacij o stanju in strukturi habitatnih tipov v nekem prostoru. Osnova za terensko delo je digitalni ortofoto posnetek (DOF), na katerega vrisujemo območja posameznih

habitatnih tipov. Končni izdelek je karta habitatnih tipov (slika 19), ki so predstavljeni s strnjenimi poligoni, pri čemer mora imeti vsak od njih določeno vsaj eno vrsto habitatnega tipa. Rezultati kartiranja z naravovarstvenim ovrednotenjem habitatnih tipov so uporabni pri načrtovanju njihovega varstva ter strategiji razvoja nekega območja (na primer za načrtovanje infrastrukture). Habitatni tipi Slovenije so pripravljeni v merilu 1 : 10.000.

Vir podatkovnega sloja: Zavod Republike Slovenije za varstvo narave
Dostop do podatkovnega sloja: https://www.naravovarstveni-atlas.si/web/profile.aspx?id=N2K@ZRSVNJ
Zapis podatkovnega sloja: vektorski (poligon)

Več informacij:

- Kačičnik Jančar, M. 2011: Navodila za kartiranje negozdnih habitatnih tipov. Ljubljana.
- Žvikart, M. 2013: Habitatni tipi Slovenije 2013, tehnična posodobitev. Ljubljana.



Slika 19: Zaslonski prikaz pregledovalnika habitatnih tipov Slovenije.

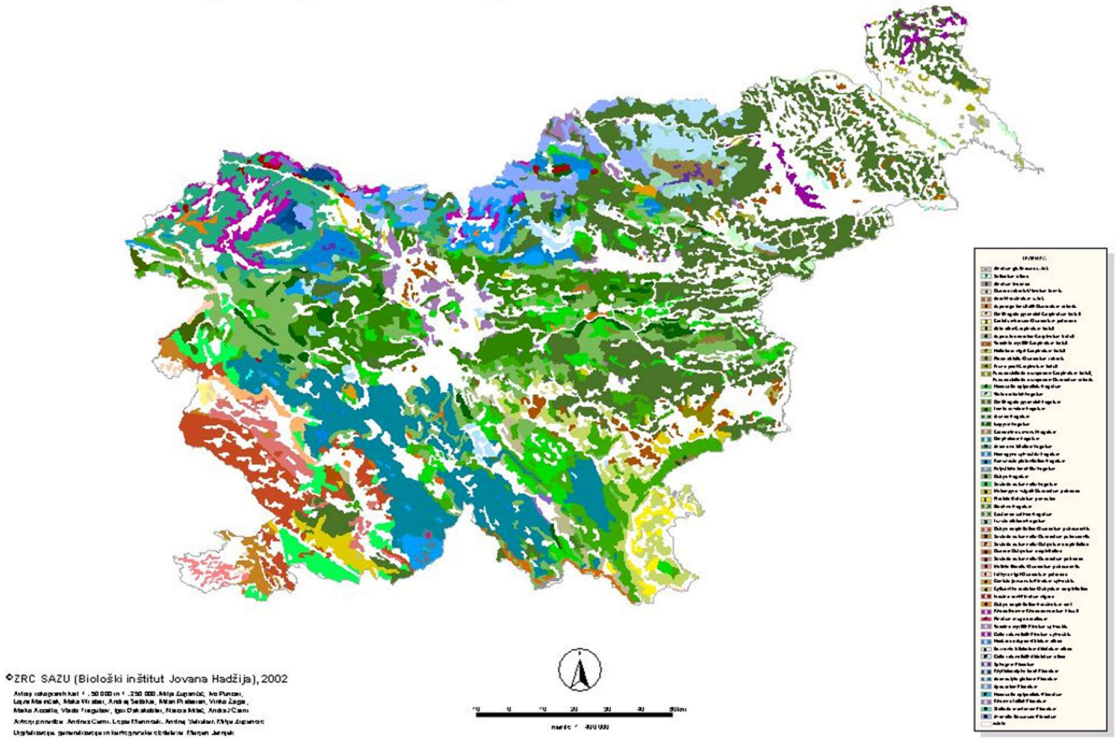
B) Gozdna vegetacija Slovenije

V preteklem obdobju je v Sloveniji potekalo kartiranje gozdnih združb. Osnovna kartiranja so bila izvedena v merilu 1 : 50.000 oziroma 1 : 100.000. Karte temeljijo na raziskavah gozdov po standardni srednjeevropski metodi Braun-Blanqueta in predstavljajo osnovo za poznavanje gozdov v Sloveniji. Kartiranje je potekalo od 60 let prejšnjega stoletja, vendar pa je bilo gradivo poenoteno in digitalizirano (slika 20).

Vir podatkovnega sloja: Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti ter Gozdarski inštitut Slovenije
Dostop do podatkovnega sloja: podatki se nahajajo na zgoščenkah
Zapis podatkovnega sloja: vektorski (poligon)

Več informacij:

- Košir, Ž., Zorn-Pogorelc, M., Kalan, J., Marinček, L., Smole, I., Čampa, L., Šolar, M., Anko, B., Accetto, M., Robič, D., Toman, V., Žgajnar, L., Torelli, N., Tavčar, I., Kutnar, L., Kralj, A. 2007: Gozdnovegetacijska karta Slovenije. Ljubljana.
- Čarni, A., Marinček, L., Seliškar, A., Zupančič, M. 2002: Vegetacijska karta gozdnih združb Slovenije v merilu 1:400.000. Ljubljana.

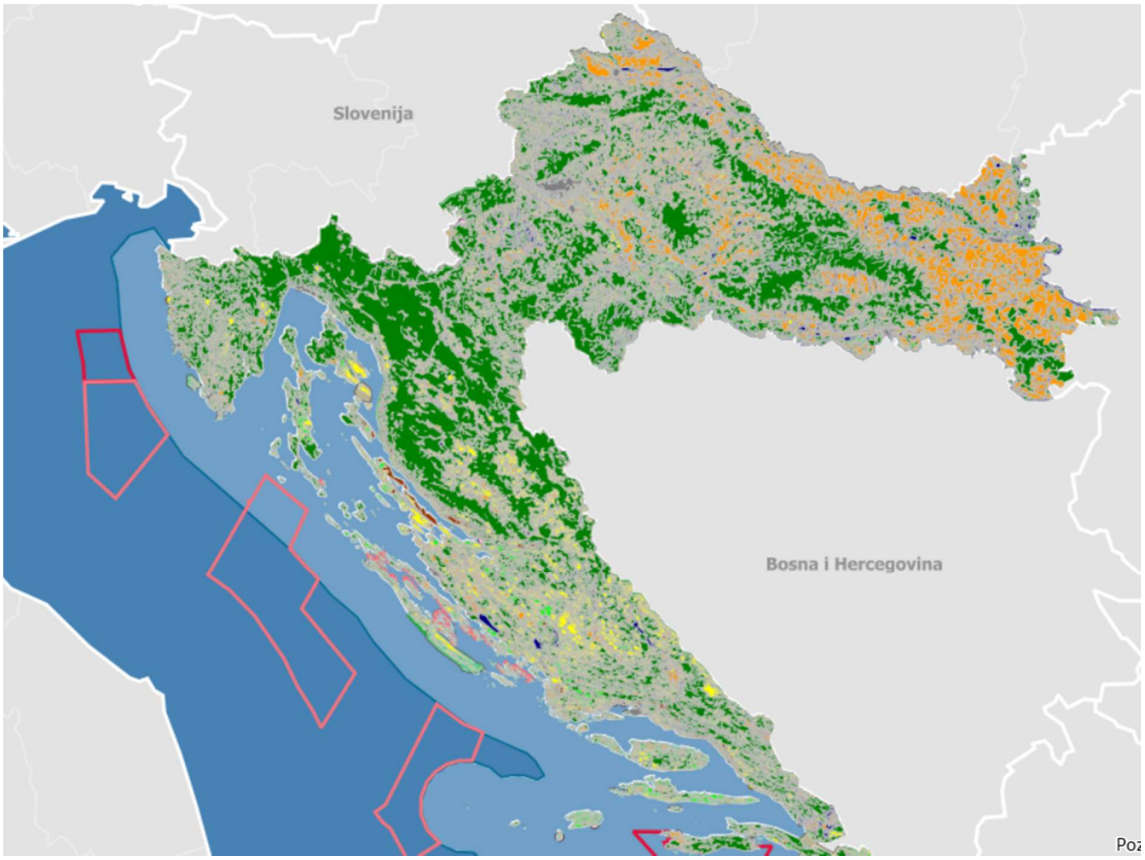


Slika 20: Vegetacijska karta gozdnih združb Slovenije.

C) Habitatni tipi Republike Hrvaške (1 : 25.000)

Karta kopenskih negozdnih habitatov Republike Hrvaške iz leta 2016 je prostorski prikaz habitatov, ki so kartirani v skladu z Nacionalno klasifikacijo habitatov (NKS). Vključuje 155 habitatnih tipov naslednjih kategorij: površinske celinske vode in močvirni habitati (A), gola in redko obrasla zemljišča (B), travišča, barja in visoke trave (C), grmičevje (D), obmorska vegetacija (F), obdelovalne negozdne površine in habitati s plevelno in ruderalno vegetacijo (I) ter habitatni kompleksi (K). Karta je bila izdelana v merilu 1 : 25.000 z najmanjšo enoto kartiranja 1,56 ha in je sestavljena iz 322.758 poligonov in 972 točkovnih prikazov habitatnih tipov. Med nastajanjem je bilo terensko preverjenih preko 22 % poligonov (slika 21).

Vir podatkovnega sloja: Ministarstvo zaštite okoliša i zelene tranzicije
Dostop do podatkovnega sloja: https://bioportal.hr/gis/
Zapis podatkovnega sloja: vektorski (poligon)

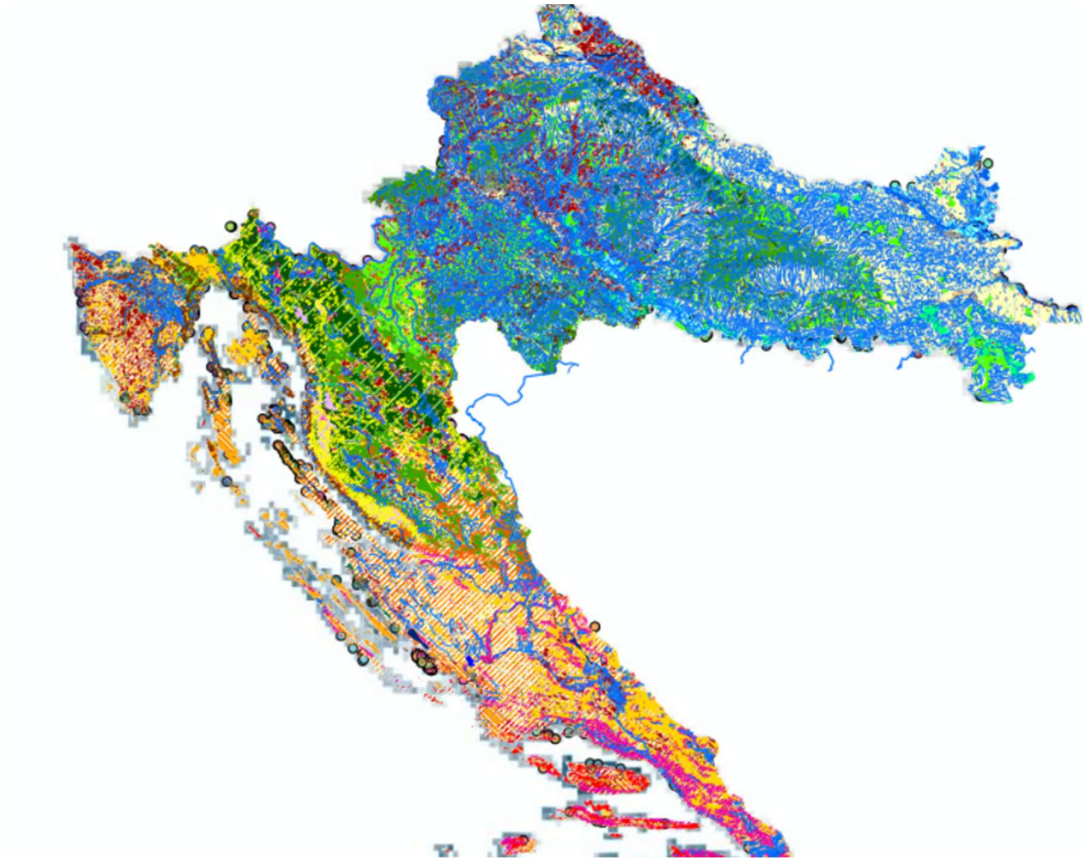


Slika 21: Zaslonski prikaz pregledovalnika habitatnih tipov Hrvaške v merilu 1 : 25.000.

D) Karta habitatov Republike Hrvaške (1 : 100.000)

Karta habitatov Republike Hrvaške iz leta 2004 v merilu 1 : 100.000 vsebuje podatke o razširjenosti habitatnih tipov na območju Hrvaške po Nacionalni klasifikaciji habitatov (NKS) (slika 22). Na zemljevidu so prikazani habitatni tipi naslednjih razredov: površinske celinske vode in močvirni habitati (A), gola in redko poraščena zemljišča (B), travniki, barja in visoka trava (C), grmičevje (D), gozdovi (E), morske obale (F), morje (G), podzemlje (H), obdelana negozdna območja in habitati s plevelno in ruderalno vegetacijo (I) ter grajeni in industrijski habitati (J). Tipi so opisani na tretji stopnji NKS. Najmanjša enota kartiranja ima velikost 9 ha. Poleg poligonov, ki prikazujejo posamezna homogena območja, ki jih pokriva enak habitatni tip, so v bazi tudi linearni habitati (najmanjša dolžina 300 metrov) in točkasti habitati, v primerih, ko je določen pomemben habitatni tip zastopan na zelo majhnem območju. Habitati so kartirani na celotnem ozemlju Republike Hrvaške, vključno z morjem.

Vir podatkovnega sloja: Ministarstvo zaštite okoliša i zelene tranzicije
Dostop do podatkovnega sloja: https://bioportal.hr/gis/
Zapis podatkovnega sloja: vektorski (poligon)



Slika 22: Zaslonski prikaz pregledovalnika habitatnih tipov Hrvaške v merilu 1 : 100.000.

E) Evropski vegetacijski arhiv

Evropski vegetacijski arhiv (angleško *European Vegetation Archive*, EVA) je zbirka podatkov o vegetacijskih popisih iz Evrope in sosednjih regij. Vsak popis vsebuje seznam rastlinskih vrst na določenem majhnem območju (popisni ploskvi), običajno dopolnjen z oceno pokrovnosti vsake vrste. EVA je sestavljena iz posameznih baz podatkov v lasti avtorjev podatkov. Vsaka uporaba podatkov iz posameznih zbirk podatkov je predmet soglasja lastnika podatkov, prek spletne strani Eva-map pa so prosto dostopne informacije o lokaciji in uvrstitvi v habitatne tipe posameznih popisov.

Vir podatkovne baze: European Vegetation Archive, International Association for Vegetation Science
Dostop do podatkovnega sloja: https://euroveg.org/eva-database/databases in https://www.evamap.eu
Zapis podatkovnega sloja: vektorski (točkovni podatki)

F) Podatki o vegetaciji iz drugih virov

Podatke o vegetaciji lahko pridobimo tudi z obdelavo nekaterih drugih podatkovnih slojev. Tako lahko na podlagi podatkov laserskega skeniranja površja pridobimo podatke o višini vegetacije in posredno izpeljemo podatke o pokrovnosti zemljišč. Kot primer lahko navedemo oblak točk laserskega skeniranja Slovenije. Podatki v obliki oblaka točk, ki jih ponuja Agencija Republike Slovenije za okolje (glej poglavje 2.12 o podatkih o geomorfologiji), so že klasificirani v različne kategorije, kot so na primer relief, rastje, zgradbe in drugo. Oblak točk vegetacije je klasificiran v tri razrede vegetacije: nizka (do 0,5 m; na primer trava), srednja (0,5–3 m; na primer grmovje) in visoka vegetacija (nad 3 m; drevesa).

2.1.7 Podatki s področja ved o rabi zemljišč

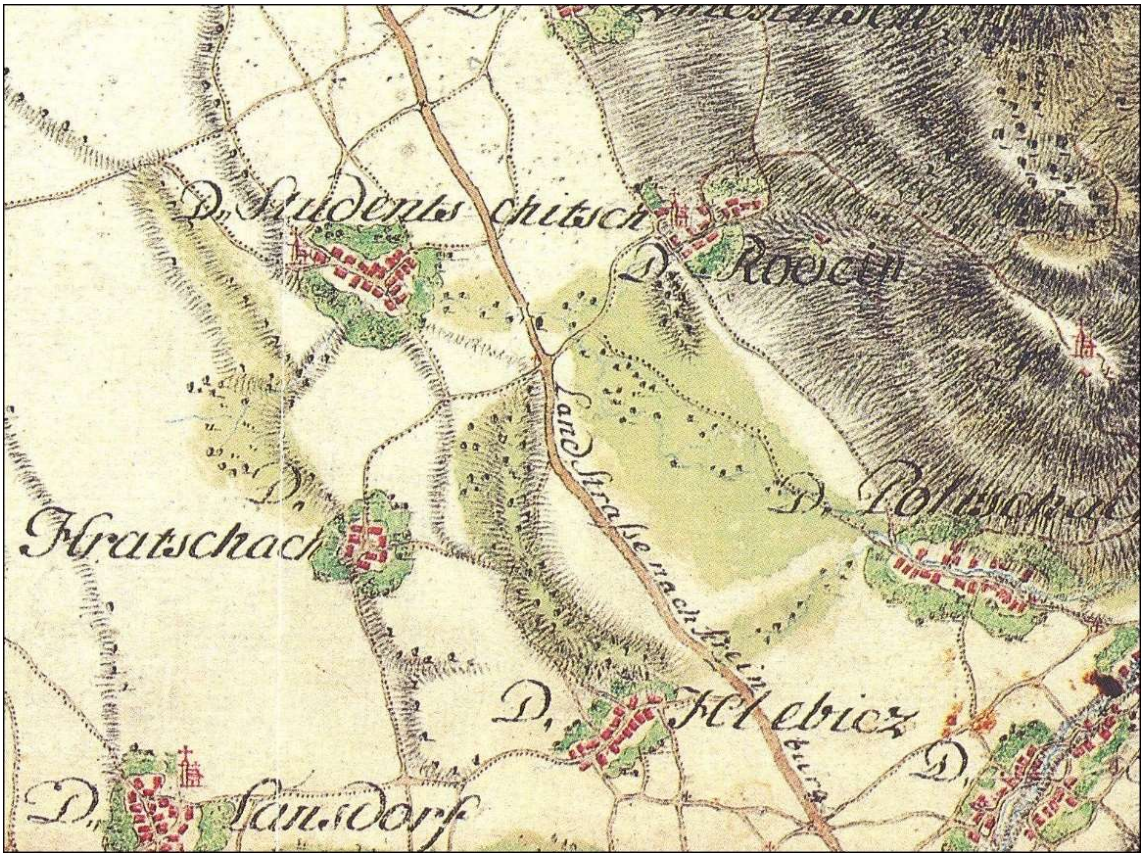
A) Jožefinski vojaški zemljevid

Jožefinski vojaški zemljevid (slika 23) so izdelali v avstrijskem vojaškem štabu po ukazu cesarja Jožefa II. Poznamo ga tudi pod imenom Prva vojaška izmera. Že iz imena lahko sklepamo, da je bil izdelan za vojaške namene. Zemljevidi so bili izdelani med letoma 1763 in 1787. Avstrijsko cesarstvo je bilo razdeljeno na 400 sekcij, merilo zemljevida pa je bilo 1 : 28.800. Zemljevid dokaj natančno prikazuje različne geografske prvine pokrajine, ki so pomembne za raziskave o dinamiki sprememb v naravnem okolju in kulturni pokrajini: površje, rastje, rečno mrežo, naselja, prometnice, meje in zemljepisna imena. Kartografskemu gradivu so dodani opisi, ki vsebujejo podatke o konfiguraciji površja, prehodnosti gozdov, pretočnemu režimu rek, prehodnosti prometnic, pomembnejših stavbah in podobno (Golec 2004; Zorn 2007).

Vir podatkovnega sloja: Arcanum Maps
Dostop do podatkovnega sloja: https://maps.arcanum.com/en/browse/country/firstsurvey/
Zapis podatkovnega sloja: rastrski
Ločljivost podatkovnega sloja: /

Več informacij:

- Golec, B. 2004: Arhivistika 3, Arhivska veda, arhivi in arhivsko gradivo. Ljubljana.
- Zorn, M. 2007: Jožefinski vojaški zemljevid kot geografski vir. Geografski vestnik 79-2.



Slika 23: Izsek iz Jožefinskega vojaškega zemljevida.

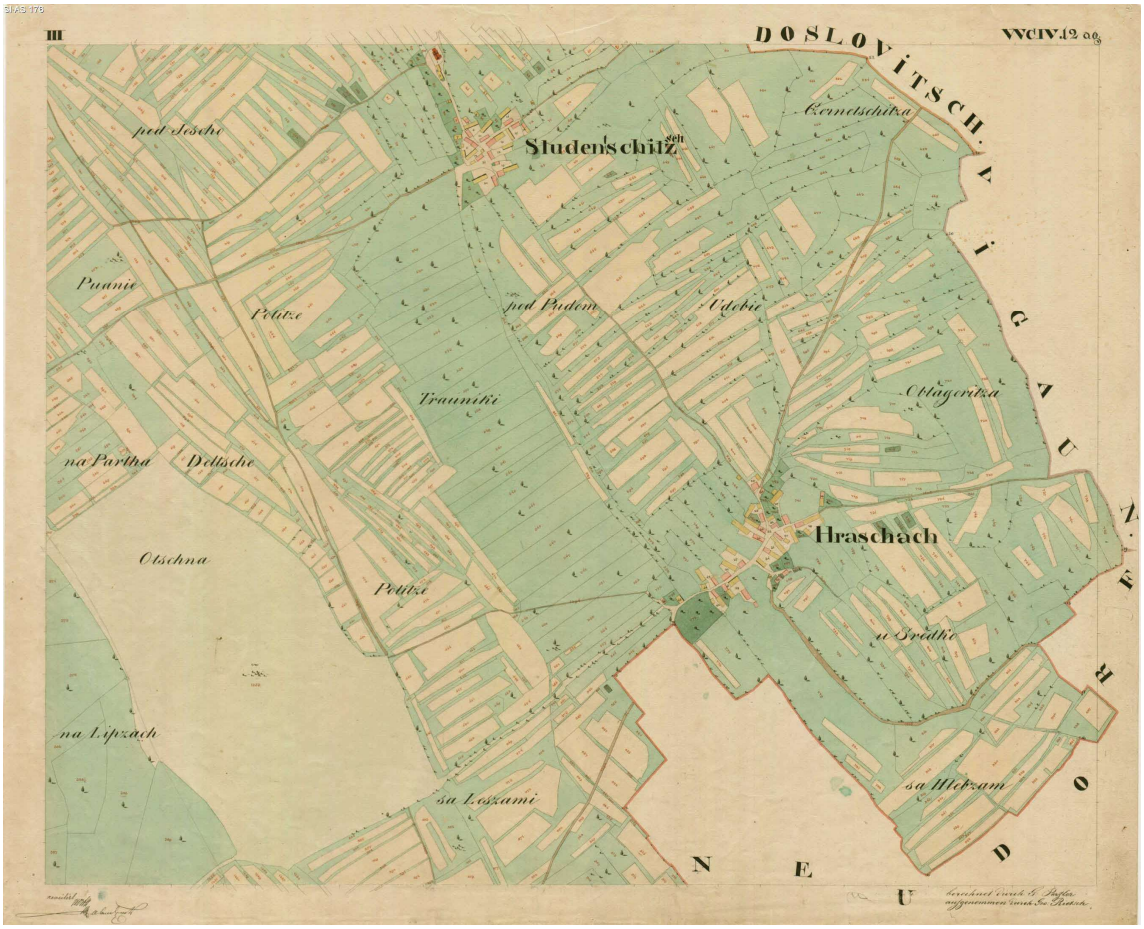
B) Franciscejski kataster

Franciscejski kataster (slika 24) je bil izdelan zaradi davčne odmere. Podlaga za njegovo izdelavo je bil cesarski patent Franca I. iz leta 1818. Kataster je izdelala vojska (geodeti in častniki). Šlo je za prvi kataster, izdelan s pomočjo merilnih instrumentov, in zadnji, ki je bil v celoti narisan na terenu. Osnovna enota katastra je katastrska občina, merilo zemljevida pa je z redkimi izjemami 1 : 2880. Raba zemljišč je na zemljevidu označena z različnimi barvami in simboli. Njive so označene z rjavo barvo, vrtovi s temno zeleno, gozdovi s sivo, pašniki s svetlo zeleno in podobno. Mestoma je označeno tudi lastništvo, če gre za skupna zemljišča. Poleg zemljevidov kataster vsebuje tudi spisovno gradivo – cenilne operate. Ti so sestavljeni iz cenilnih elaboratov in prilog, ki vključujejo seznam kakovostnega razreda vsakega zemljišča, vprašalnik o kmetijstvu v posamezni katastrski občini in drugo gradivo (Golec 2003; Geršič, Gabrovec in Zwitter 2018).

Vir podatkovnega sloja: Arhiv Republike Slovenije
Dostop do podatkovnega sloja: https://geohub.gov.si/ghapp/giskd/ in https://maps.arcanum.com/en/map/cadastral/?layers=3%2C4&bbox=935862.9127199091%2C5585425.568501538%2C2179034.7407500157%2C6036098.287270937
Zapis podatkovnega sloja: rastrski
Ločljivost podatkovnega sloja: /

Več informacij:

- Geršič, M., Gabrovec, M., Zwitter, Ž. 2018: Primerjava kulturne pokrajine Hraških listnekov in tamkajšnjega kmetovanja v prvi polovici 19. stoletja in danes. Geografski vestnik 90-1. DOI: 10.3986/GV90104
- Golec, B. 2004: Arhivistika 3, Arhivska veda, arhivi in arhivsko gradivo. Ljubljana.



Slika 24: Izsek iz Franciscejskega katastra.

C) Evidenca dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč Slovenije

Evidenca dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč je enotna državna evidenca o dejanski rabi kmetijskih in gozdnih zemljišč. Gre za vektorski sloj, ki vsebuje poligone tipov dejanske rabe. Raba zemljišč je razdeljena v 25 tipov. Primarno je namenjena ugotavljanju dejanskega stanja rabe zemljišč kot pogoja za izvajanje ukrepov skupne kmetijske politike Evropske unije. Posredno in neposredno se podatki Evidence dejanske rabe uporabljajo tudi pri določanju dejanske rabe na parcelo v zemljiškem katastru, višine katastrskega dohodka, odškodnine za spremembo namembnosti kmetijskih zemljišč, spremembi bonitete zemljišč, ugotavljanju upravičenosti do socialnih podpor, za statistične analize, raziskave in podobno. Podatki o gozdu v Evidenci dejanske rabe se usklajujejo s podatki iz evidenc Zavoda za gozdove Slovenije (ZGS) (Evidenca … 2025).

Vir podatkovnega sloja: Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano
Dostop do podatkovnega sloja: https://podatki.gov.si/dataset/evidenca-dejanske-rabe-kmetijskih-in-gozdnih-zemljisc1
Zapis podatkovnega sloja: vektorski
Ločljivost podatkovnega sloja: /

Več informacij:

- Evidenca dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč, 2025. Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. Ljubljana.

D) CORINE Land Cover

V začetku osemdesetih let prejšnjega stoletja je Evropska komisija prepoznala potrebo po celovitem, podrobnem in usklajenem naboru podatkov o pokrovnosti in rabi zemljišč v Evropi. Takrat so bili zemljevidi pokrovnosti na ravni posameznih držav pogosto nedosledni in med seboj neprimerljivi, zaradi česar je bilo spremljanje stanja okolja v Evropi zelo oteženo. Evropska komisija je zato začela izvajati program CORINE (angleško *Coordination of Information on the Environment*), da bi razvila standardizirano metodologijo za izdelavo zemljevidov pokrovnosti zemljišč, biotopov in kakovosti zraka na ravni celine. Leta 1990 je bil izdelan prvi podatkovni niz CORINE Land Cover. Od takrat je postal vodilni sestavni del storitve Evropske agencije za okolje za spremljanje zemljišč Copernicus, kjer že več kot tri desetletja zagotavlja informacije o pokrovnosti oziroma rabi zemljišč v Evropi.
Podatkovna baza CORINE Land Cover (CLC) ponuja vseevropski popis pokrovnosti in rabe zemljišč s 44 tematskimi razredi, od obsežnih gozdnih območij do posameznih vinogradov. Izdelek se vsakih šest let posodobi z novimi sloji stanja in sprememb – zadnja posodobitev je bila opravljena leta 2018. CLC služi številnim uporabnikom in ima številne možnosti uporabe, vključno s spremljanjem okolja, načrtovanjem rabe zemljišč, ocenami podnebnih sprememb in upravljanjem izrednih razmer (CORINE Land Cover 2025).

Vir podatkovnega sloja: European Environment Agency
Dostop do podatkovnega sloja: https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover/clc-2006#general_info
Zapis podatkovnega sloja: vektorski in rastrski
Ločljivost podatkovnega sloja: 100 m × 100 m

Več informacij:

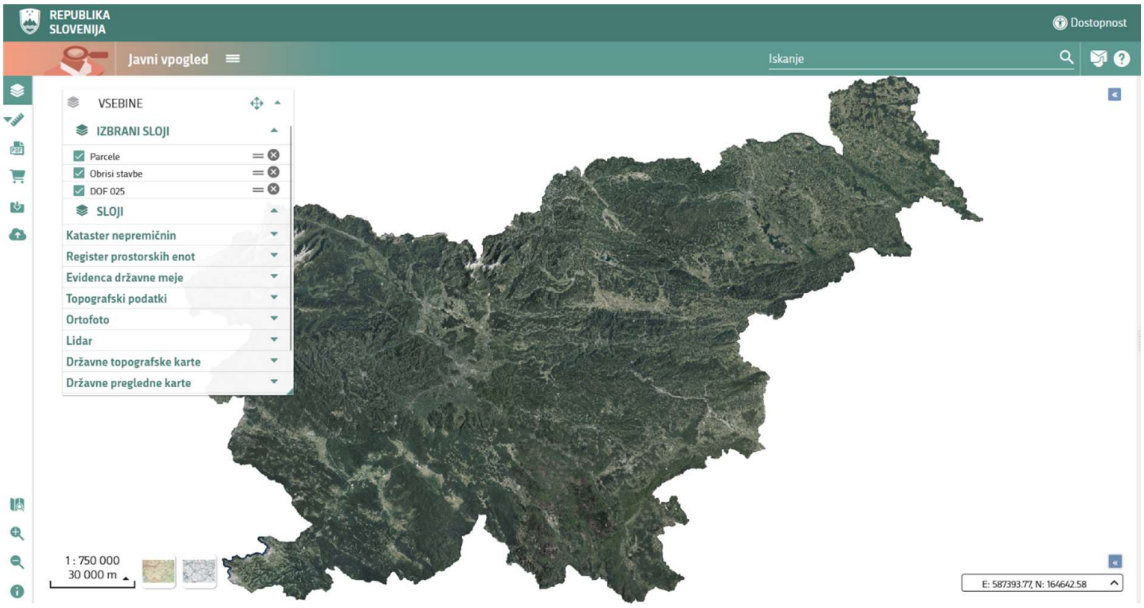
- CORINE Land Cover, 2025. Medmrežje: https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover (27. 3. 2025).

2.1.8 Podatki s področja ved o antropogenih elementih

A) Stavbe, parcele in podatki katastra nepremičnin v Sloveniji

Na spletnih straneh Geodetske uprave Republike Slovenije (slika 25) je na voljo širok nabor podatkov iz državnih evidenc, med drugim so dostopni poligoni stavb, centroidi hišnih številk, poligoni parcel (prostorsko odmerjenih zemljišč), poligoni katastrskih občin, bonitet zemljišč, skupne dejanske rabe in namenske rabe. Ti podatki omogočajo uporabnikom nazoren prikaz razširjenosti poselitve, poleg tega pa lahko s povezovanjem raznih evidenc opravimo številne prostorske analize. Na sloj stavb in hišnih naslovov je tako mogoče pripeti podatke o vrsti stavb in podobnim. Na spletni strani je na voljo tudi baza s podatki o trgu in vrednosti nepremičnin.

Vir podatkovnega sloja: Geodetska uprava Republike Slovenije
Dostop do podatkovnega sloja: https://www.e-prostor.gov.si/
Zapis podatkovnega sloja: vektorski
Ločljivost podatkovnega sloja: /



Slika 25: Zaslonski prikaz pregledovalnika podatkov Geodetske uprave Republike Slovenije.

B) Gospodarska javna infrastruktura v Sloveniji

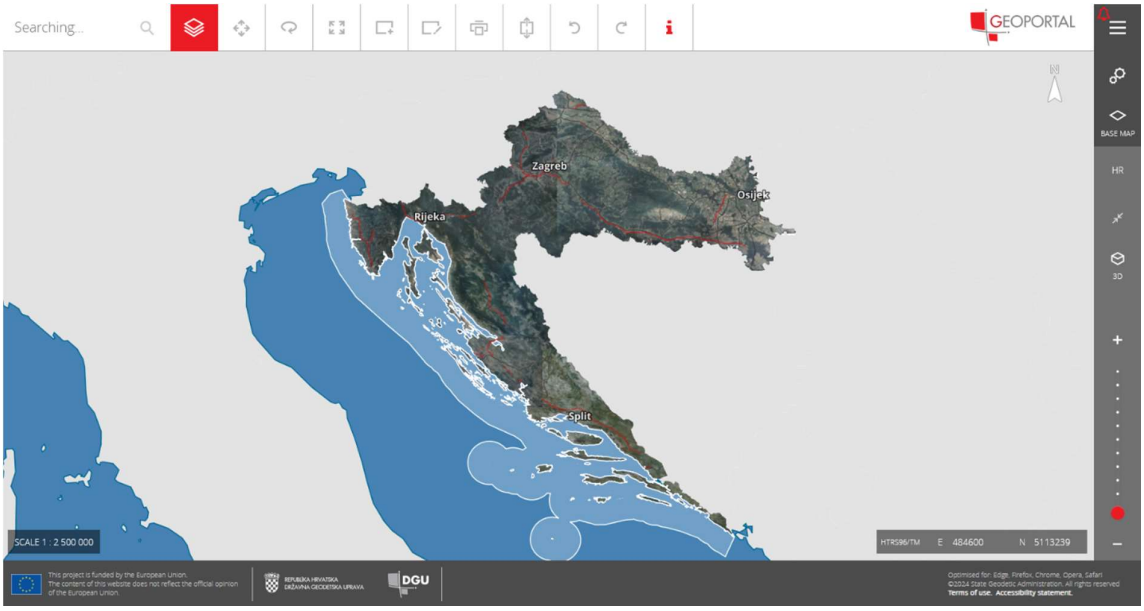
Geodetske uprave Republike Slovenije ponuja veliko količino podatkov o obstoječi državni infrastrukturi. Na spletnih straneh je moč najti natančne podatke o poteku in opremi cest, železnic, žičnic, vodovoda, kanalizacije, elektroenergetski infrastrukturi, infrastrukturi zemeljskega plina, toplotne energije, oskrbe z nafto in derivati ter o lokacijah letališč, pristanišč in drugega. Podatki uporabnikom omogočajo natančen prikaz infrastrukture, na primer prikaz osi izbranih kategorij cest, ter omogočajo nadaljnje analize, kot je na primer analiza oddaljenosti od določenega antropogenega elementa.

Vir podatkovnega sloja: Geodetska uprava Republike Slovenije
Dostop do podatkovnega sloja: https://www.e-prostor.gov.si/
Zapis podatkovnega sloja: vektorski
Ločljivost podatkovnega sloja: /

C) Stavbe, parcele, javna infrastruktura na Hrvaškem

Na spletnih straneh hrvaške Državne geodetske uprave (slika 26) je več delitev na različne administrativne enote države. Slednje obsegajo razdelitev na: županije, mesta in občine, naselja, mestne samouprave, ulice in hišne številke. Podatki omogočajo uporabnikom prikazati uradne meje v prostoru na različnih ravneh. Na voljo so tudi podatki o parcelah, zgradbah, imenih in nekaterih infrastrukturnih elementih, kot so ceste in železniške proge, javne storitve. Podatki so na voljo v pregledovalnikih https://www.geohrvatska.hr/ in https://geoportal.dgu.hr/. Prenos podatkov pa je mogoč s spletišča https://dgu.gov.hr/. Za nekatere podatke je potrebno oddati vlogo.

Vir podatkovnega sloja: Državna geodetska uprava
Dostop do podatkovnega sloja: https://geoportal.dgu.hr/; https://dgu.gov.hr/
Zapis podatkovnega sloja: vektorski
Ločljivost podatkovnega sloja: /



Slika 26: Zaslonski prikaz pregledovalnika hrvaške Državne geodetske uprave.

D) Prostorske enote Slovenije

Na spletnih straneh Geodetske uprave Republike Slovenije so na voljo različne administrativne razdelitve države. Te obsegajo razdelitev na kohezijske regije, statistične regije, upravne enote, občine in naselja ter krajevne skupnosti, četrtne skupnosti, vaške skupnosti, volišča, (lokalne) volilne enote, volilne okrajine, šolske okoliše in postne okoliše. Podatki omogočajo uporabnikom prikazati uradne meje v prostoru na različnih ravneh.

Vir podatkovnega sloja: Geodetska uprava Republike Slovenije
Dostop do podatkovnega sloja: https://www.e-prostor.gov.si/
Zapis podatkovnega sloja: vektorski
Ločljivost podatkovnega sloja: /

E) Prostorske enote Hrvaške

Na spletnih straneh hrvaške Državne geodetske uprave je več delitev na različne administrativne enote države. Slednje obsegajo razdelitev na: županije, mesta in občine, naselja, mestne samouprave, ulice in hišne številke. Podatki omogočajo uporabnikom prikazati uradne meje v prostoru na različnih ravneh. Prenos podatkov pa je mogoč s spletišča https://dgu.gov.hr/.

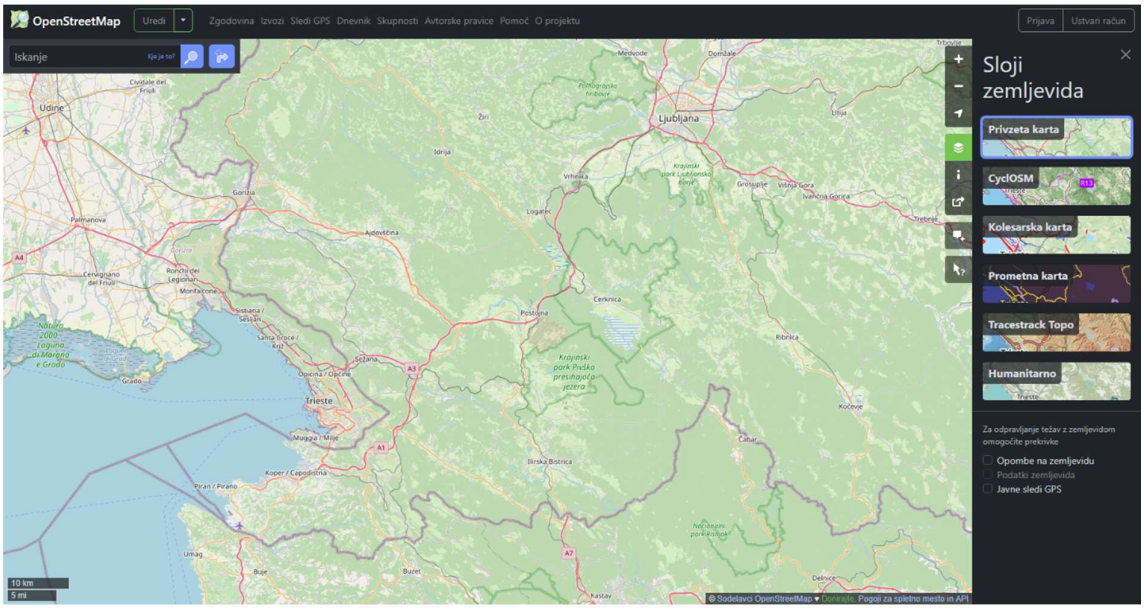
Vir podatkovnega sloja: Državna geodetska uprava
Dostop do podatkovnega sloja: https://geoportal.dgu.hr/
Zapis podatkovnega sloja: vektorski
Ločljivost podatkovnega sloja: /

F) Podatkovna baza Openstreetmap

OpenStreetMap je spletni pregledovalnik (slika 27), kjer zbrani številni podatki o naravnih (reke, jezera, vrhovi, morja …) in antropogenih pojavih (naselja, stavbe, prometnice …) s celega sveta. Najpogosteje se uporablja kot spletni pregledovalnik ali podlaga za spletne pregledovalnike, ki jih izdelamo sami. Poleg tega pa je mogoče podatke te zbirke prenesti tudi na računalnik in jih uporabiti za izdelavo preglednih zemljevidov ali pa jih uporabimo v namene določene prostorske analize. Pri tem moramo biti pozorni, saj ne gre za uradne podatke. Zbirka podatkov je zelo obsežna, zato je na voljo možnost prenosa po posameznih državah ali manjših območjih. Trenutno so podatki dostopni prek različnih

spletnih portalov, kot so https://data.nextgis.com, https://download.geofabrik.de/ in za manjša območja tudi https://www.openstreetmap.org/export.

Vir podatkovnega sloja: Fundacija OpenStreetMap
Dostop do podatkovnega sloja: https://www.openstreetmap.org/ (pregledovalnik), https://download.geofabrik.de/ in https://www.openstreetmap.org/export (prenos podatkov)
Zapis podatkovnega sloja: vektorski
Ločljivost podatkovnega sloja: /



Slika 27: Zaslonski prikaz pregledovalnika OpenStreetMap.

G) Podatki o antropogenih elementih drugih virov
Podatke o antropogenih elementih lahko pridobimo z obdelavo nekaterih drugih podatkovnih slojev. Tako lahko na podlagi podatkov laserskega skeniranja površja pridobimo podatke o lokacijah objektov. Kot primer lahko navedemo oblak točk laserskega skeniranja Slovenije. Podatki v obliki oblaka točk, ki jih ponuja Agencija Republike Slovenije za okolje (glej poglavje 2.1.2 o podatkih s področja geomorfologije), so že klasificirani v različne kategorije, kot so na primer relief, rastje, zgradbe in drugo. V primeru, da izberemo le oblak točk zgradb, lahko pridobimo nekatere njihove značilnosti, kot so na primer tloris ali višina.

2.1.9 Podatki s področja splošne kartografije
A) Državne topografske karte, pregledne karte in zemljepisna imena v Sloveniji
Na spletnih straneh Geodetske uprave Republike Slovenije (GURS) so na voljo državne topografske karte v merilu 1 : 50.000 ter pregledne karte v merilih med 1 : 250.000 in 1 : 2.500.000. Obe vrsti podatkov sta dostopni v vektorski in rastrski obliki, zato so zelo uporabni pri izdelavi preglednih zemljevidov, katere lahko dopolnimo z raznimi dodatnimi podatki drugih virov. Poleg pripravljenih kart lahko na spletnih straneh GURS pridobimo tudi podatek o uradnih zemljepisnih imenih in njihovih lokacijah v prostoru.

Vir podatkovnega sloja: Geodetska uprava Republike Slovenije
Dostop do podatkovnega sloja: https://www.e-prostor.gov.si/
Zapis podatkovnega sloja: vektorski, rastrski (več ločljivosti)
Ločljivost podatkovnega sloja: /

B) Državne topografske karte, pregledne karte in zemljepisna imena na Hrvaškem

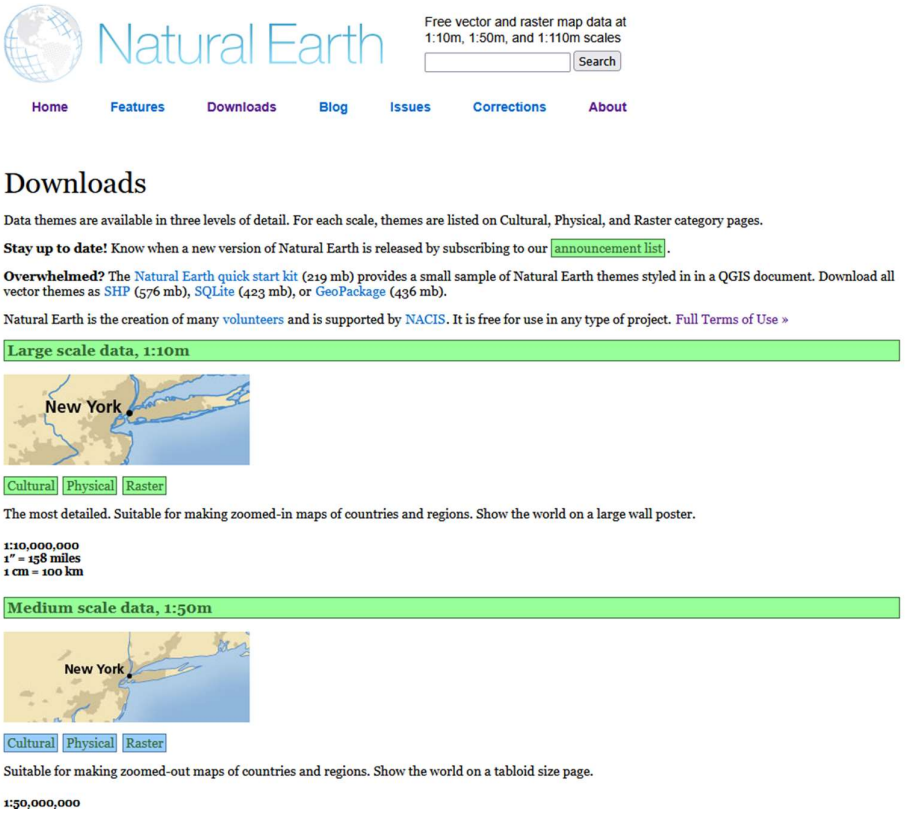
Hrvaška Državna geodetska uprava ponuja topografske karte v merilih 1 : 25.000, 1 : 100.000 in 1 : 200.000. Podatki so na voljo v pregledovalnikih https://www.geohrvatska.hr/ in https://geoportal.dgu.hr/, za prenos in uporabo podatkovnih slojev pa je potrebno stopiti v stik z upravo.

Vir podatkovnega sloja: Državna geodetska uprava
Dostop do podatkovnega sloja: https://geoportal.dgu.hr/
Zapis podatkovnega sloja: rastrski
Ločljivost podatkovnega sloja: več različnih ločljivosti

C) Podatkovna baza Natural Earth

Natural Earth ponuja izjemno pester nabor različnih podatkov, s katerimi lahko pripravimo pregledne zemljevide v manjšem merilu za katerokoli območje na zemlji (slika 28). Organizacija ponuja podatke, ki so primerni za izdelavo zemljevidov v merilih 1 : 10.000.000, 1 : 50.000.000 in 1 : 110.000.000. V vektorski podatkovni bazi lahko najdete antropogene elemente, kot so državne meje, večja naselja, ceste, železnice, letališča, pristanišča in urbane površine. Izmed naravnih elementov lahko izbirate med obalami (oziroma kopnim) celin, koralnimi grebeni, otočji, morji (z globinami), rekami, jezeri, poledenelimi površinami in drugim. Ponujajo tudi zemljepisna imena v več jezikih. Med rastrskimi podatkovnimi sloji lahko najdete različno pripravljene senčene reliefe, ki vam lahko služijo kot osnovna podlaga preglednim zemljevidom.

Vir podatkovnega sloja: Natural Earth
Dostop do podatkovnega sloja: https://www.naturalearthdata.com/
Zapis podatkovnega sloja: vektorski, rastrski
Ločljivost podatkovnega sloja: več različnih ločljivosti



Slika 28: Zaslonski zajem spletne strani Natural Earth.

2.1.10 Podatki s področja satelitskega daljinskega zaznavanja

A) Multispektralni satelitski posnetki programa Sentinel-2
Sentinel 2 je konstelacija treh enakih satelitov Evropske vesoljske agencije, programa Copernicus, v istih orbitah. Omogočajo zajem visokoresolucijskih multispektralnih slik v vidnem in bližnje infrardečem spektru v 13 kanalih s prostorsko ločljivostjo 10, 20 in 60 m, časovno ločljivostjo 5–10 dni in širino posnetka 290 km. Štirje 10 m kanali so na rdečem, zelenem, modrem in bližnje infrardečem spektru, šest 20 m kanalov je na bližnje infrardečem in kratkovalovnem infrardečem spektru, trije 60 m kanali se uporabljajo za spremljanje oblakov in atmosferske popravke posnetkov. Posnetki so uporabni za spremljanje kmetijskih površin, gozdov, sprememb rabe zemljišč, spremljanje vsebnosti klorofila in vode v listih, kartiranje naravnih nesreč, spremljanje obalnih območij in drugega. V vesolju delujejo od leta 2015 zaradi česar so že uporabni za spremljanje pojavov v daljšem časovnem obdobju (Medmrežje 1).

Vir podatkovnega sloja: Evropska vesoljska agencija, Copernicus Data Space Environment
Dostop do podatkovnega sloja: https://dataspace.copernicus.eu/browser/
Zapis podatkovnega sloja: rastrski
Ločljivost podatkovnega sloja: več različnih ločljivosti

Več informacij:
- Medmrežje 1: https://sentiwiki.copernicus.eu/web/s2-mission (17. 3. 2025).

B) Multispektralni satelitski posnetki programa Landsat
Multispektralni satelitski posnetki programa Landsat so najdlje trajajoč niz satelitskih posnetkov, saj so z zbiranjem podatkov pričeli leta 1972. Sateliti zajemajo posnetke v vidnem spektru (RGB), bližnje infrardečem (NIR), kratkovalovnem (SWIR) in termalnem spektru. Vsi kanali, razen termalnega so posneti z ločljivostjo 30 m, termalni pa je posnet s slabšo ločljivostjo, a je prilagojen na 30 m. Časovna ločljivost satelitov je vsaj 16 dni, širina posnetka pa je 164 km. Zaradi dolgega neprekinjenega niza podatkov z enako prostorsko ločljivostjo so posnetki Landsat primerni za spremljanje različnih pojavov po celem svetu. Uporabljajo se za spremljanje stanja kmetijskih površin, spremljanje krčenja ali širjenja gozdov, spremljanje ledenikov, urbanizacije, morskih habitatov, z uporabo termalnih kanalov pa tudi za spreminjanje temperatur v mestih in iskanje požarov. Starejši sateliti Landsat so zajemali podatke na nekoliko manj spektralnih kanalih kot novejši, a so kljub temu uporabni za večino analiz.

Vir podatkovnega sloja: United States Geological Survey
Dostop do podatkovnega sloja: https://earthexplorer.usgs.gov/
Zapis podatkovnega sloja: rastrski
Ločljivost podatkovnega sloja: več različnih ločljivosti

C) Radarski satelitski posnetki programa Sentinel-1
Sentinel-1 je konstelacija dveh satelitov, ki omogočata spremljanje Zemljinega površja v vsakem vremenu, tako podnevi kot tudi ponoči. Skupaj omogočata časovno ločljivost snemanja na vsakih 6 dni, za Evropo, Kanado in višje geografske širine pa je čas ponovnega snemanja lahko tudi 3 dni. Satelita imata aktivni radarski senzor, ki snema v C pasu v štirih različnih načinih in različnih prostorskih ločljivostih. Interferometričen širokopasovni način ima ločljivost 5 m × 20 m, valovni in pasovni način imata ločljivost 5 m x 5 m, širokopasovni pa ima ločljivost 20 m × 40 m. Radarski posnetki so uporabni za zaznavanje vode na površju, v prsti in v rastlinah ter pri analizi stanja vodnih teles. Uporabljajo se lahko tudi za spremljanje morskega ledu, sprememb na kopnem (na primer zaradi erozije, potresov, poplav) in kartiranje pokrovnosti in rabe zemljišč (Medmrežje 2).

Vir podatkovnega sloja: Evropska vesoljska agencija, Copernicus Data Space Environment

Dostop do podatkovnega sloja: https://dataspace.copernicus.eu/browser/
Zapis podatkovnega sloja: rastrski
Ločljivost podatkovnega sloja: več različnih ločljivosti

Več informacij:
- Medmrežje 2: https://sentiwiki.copernicus.eu/web/s1-mission (17. 3. 2025)

2.1.11 Podatki s področja letalskega daljinskega zaznavanja

A) Digitalni ortofoto za območje Slovenije
Digitalni ortofoto je aerofotografija, ki upošteva podatke o reliefu in orientacijo aerofotografij. Slikanje se izvaja iz zraka (letalo, helikopter …) z namenom zajema topografskih podatkov, evidentiranja stanja v prostoru, uporablja pa se tudi kot vhodni podatek za izdelavo digitalnega modela reliefa. V metričnem smislu je izdelek enak linijskemu načrtu ali karti. V Sloveniji so na voljo ortofoti z ločljivostjo 0,5 × 0,5 m v vidnem in infrardečem spektru, izdelani pa so tudi ortofoti z ločljivostjo 0,25 × 0,25 m v vidnem spektru. Podatki so dostopni v formatu TIFF in so geolocirani in razrezani na velikost enega lista temeljnega topografskega načrta 1 : 5000 (Medmrežje 3).

Vir podatkovnega sloja: Geodetska uprava Republike Slovenije
Dostop do podatkovnega sloja: https://ipi.eprostor.gov.si/jv/?map=jgp
Zapis podatkovnega sloja: več različnih ločljivosti

Več informacij:
- Medmrežje 3: https://eprostor.gov.si/imps/srv/slv/catalog.search#/metadata/1e0f54cf-9303-4140-8c20-352d5468c0b3 (24. 3. 2025)

B) Digitalni ortofoto za območje Hrvaške
Za območje Hrvaške je na voljo ortofoto z ločljivostjo 0,5 m × 0,5 m in 0,2 m × 0,2 m. Dostopni so v formatu TIFF, TFW ali DWG. Velikost posameznega lista je list karte 1 : 5000 ali 1 : 2000 (Medmrežje 4).

Vir podatkovnega sloja: Državna geodetska uprava Republike Hrvatske
Dostop do podatkovnega sloja: https://dgu.gov.hr/proizvodi-i-usluge/sluzbene-drzavne-karte-i-ostale-karte/digitalna-ortofotokarta/174 in https://geoportal.dgu.hr/ (pregledovalnik)
Zapis podatkovnega sloja: 0,5 m × 0,5 m in 0,25 m × 0,25 m

Več informacij:
- Medmrežje 4: https://dgu.gov.hr/proizvodi-i-usluge/sluzbene-drzavne-karte-i-ostale-karte/digitalna-ortofotokarta/174 (24. 3. 2025).

C) Historični aeroposnetki za območje Slovenije
Na območju Slovenije se je začelo aerosnemanje leta 1970, za manjša območja pa so posnetki na voljo tudi za nekaj let prej. Od leta 1985 se je izvajalo redno snemanje v triletnih ciklih. Do leta 2003 so posnetki na voljo le v črno-beli tehniki, ko so del ozemlja prvič posneli v barvni tehniki. Od leta 2006 so na voljo barvni posnetki za celotno ozemlje države, hkrati pa so istega leta izvedli snemanje tudi v infrardečem spektru. V pregledovalniku https://ipi.eprostor.gov.si/jv/ so na voljo zgodovinski digitalni ortofoti od leta 1990 naprej. Starejši posnetki so na voljo po naročilu na Geodetskem inštitutu Slovenije v formatu TIFF (Medmrežje 5).

Vir podatkovnega sloja: Geodetski inštitut Slovenije
Dostop do podatkovnega sloja: https://gis.si/historicni-aeroposnetki/ in https://ipi.eprostor.gov.si/jv/ (pregledovalnik)

Zapis podatkovnega sloja: več različnih ločljivosti

Več informacij:

- Medmrežje 5: https://gis.si/historicni-aeroposnetki (24. 3. 2025).

D) Historični aeroposnetki za območje Hrvaške

Za območje Hrvaške so dostopni podatki aerofotogrametrijskega snemanja med letoma 1950 in 1968. Snemanje je prekrilo 98,4 % ozemlja Republike Hrvaške in je razdeljeno na liste velikosti zemljevida 1 : 5000. Podatki tega snemanja, kot tudi novejših, nastalih v 21. stoletju so dostopni na spletnem pregledovalniku državne geodetske uprave https://geoportal.dgu.hr/ (Medmrežje 6).

Vir podatkovnega sloja: Državna geodetska uprava
Dostop do podatkovnega sloja: https://geoportal.dgu.hr/
Zapis podatkovnega sloja: rastrski

Več informacij:

- Medmrežje 6: https://registri.nipp.hr/izvori/view.php?id=453 (24. 3. 2025).

E) Arhiv letalskih posnetkov iz časa 2. svetovne vojne

Na škotski spletni strani državne zbirke letalskih fotografij (angleško *National Collection of Aerial Photography*) so na voljo posnetki aerosnemanj, ki so za nekatera območja po Evropi na voljo že od leta 1920. Večina fotografij pa je iz izvidniških preletov v času 2. svetovne vojne. Fotografije so na voljo v različnih ločljivostih in jih je možno najti s pomočjo načrtov letenja izvidniških letal znotraj posamezne misije. Za dostop do slik se moramo registrirati na spletni strani https://ncap.org.uk/. V arhiv moramo sporočiti točno zaporedno številko filma. Slike prejmemo v TIFF formatu.

Vir podatkovnega sloja: National Collection of Aerial Photogprahy
Dostop do podatkovnega sloja: https://ncap.org.uk/
Zapis podatkovnega sloja: rastrski

2.2 PRIDOBIVANJE LASTNIH PODATKOV NA TERENU

2.2.1 Pridobivanje lastnih podatkov z opazovanjem na terenu s stacionarnim monitoringom

2.2.1.1 Uvod v stacionarni monitoring abiotskih dejavnikov

Stacionarni monitoring je stalno ali ponavljajoče se merjenje izbranih okoljskih parametrov na določenem mestu skozi daljše časovno obdobje. Gre za metodo terenskega opazovanja, pri kateri na rastišču namestimo merilnik s senzorji, ki neprekinjeno ali v rednih intervalih zbira podatke o abiotskih dejavnikih okolja. To je še posebej pomembno pri preučevanju rastiščnih pogojev rastlinskih vrst, saj omogoča vpogled v dejanske razmere, v katerih rastline živijo, skozi daljše časovno obdobje (več let). S stacionarnim monitoringom pridobimo časovne serije podatkov (angleško *time-series*), ki razkrijejo naravno spremenljivost okolja – dnevne in sezonske vzorce ter dolgoročne trende, ki bi jih s posamičnimi obiski težko zaznali. Kratkoročne in redke meritve lahko zgrešijo pomembne trende v okolju, medtem ko so dolgoročni in visoko-ločljivi (prostorsko in časovno) podatki ključni za celovito razumevanje ekosistemskih procesov.

Stacionarni monitoring se izkaže za nepogrešljiv pristop, kadar želimo razumeti mikroklimatske razmere na nekem rastišču (na primer na travniku, v vrtači). Rastline so pogosto zelo odvisne od nihanj abiotskih dejavnikov – na primer nekatere redke rastlinske vrste uspevajo le v ozkih razponih temperature ali v zelo specifičnih svetlobnih pogojih. Z dolgoročnim opazovanjem teh dejavnikov lahko ugotovimo, kakšen je dejanski razpon nihanj v naravi in kdaj (v katerem delu dneva ali leta) nastopijo skrajne vrednosti. Takšno znanje nam pomaga pri interpretaciji ekologije vrst (na primer zakaj se rastlina pojavlja samo na določenih mestih) in pri naravovarstvenih odločitvah (na primer kako podnebne spremembe vplivajo na habitat vrste).

Poleg stacionarnega monitoringa se uporabljata tudi **enkratni popis** (to je enkratno beleženje stanja na terenu) ter **eksperimentalni monitoring** (spremljanje z nadzorovanimi poskusi). Vsak pristop ima svoje prednosti in omejitve (Artiola, Pepper in Brusseau 2004).

Pri enkratnih popisih gre za enkratno zbiranje podatkov, na primer terenski ogled rastišča, kjer zabeležimo trenutne vrednosti abiotskih dejavnikov ali prisotnost vrst. Prednost enkratnih popisov je, da lahko hitro pokrijejo več lokacij in dajejo pregleden posnetek stanja v določenem trenutku. To je koristno za inventarizacijo ali začetno oceno razmer. Omejitev pa je, da enkraten obisk ne pokaže dinamike – ne vemo, kako spremenljiv je parameter čez čas. Občasne meritve, ki jih opravimo le nekajkrat na leto, lahko prav tako povsem zgrešijo dolgoročne trende – pokažejo le trenutni posnetek in ne omogočajo zanesljivih zaključkov o smeri sprememb. Poleg tega občasni monitoring težko zazna kratkotrajne pojave; če se na primer ekstremno segrevanje tal zgodi med dvema popisoma, ga bomo spregledali. Stacionarni sistem, ki meri neprestano ali zelo pogosto, pa bo tak dogodek zabeležil. Tako je verjetnost, da spregledamo pomembne spremembe, bistveno manjša.

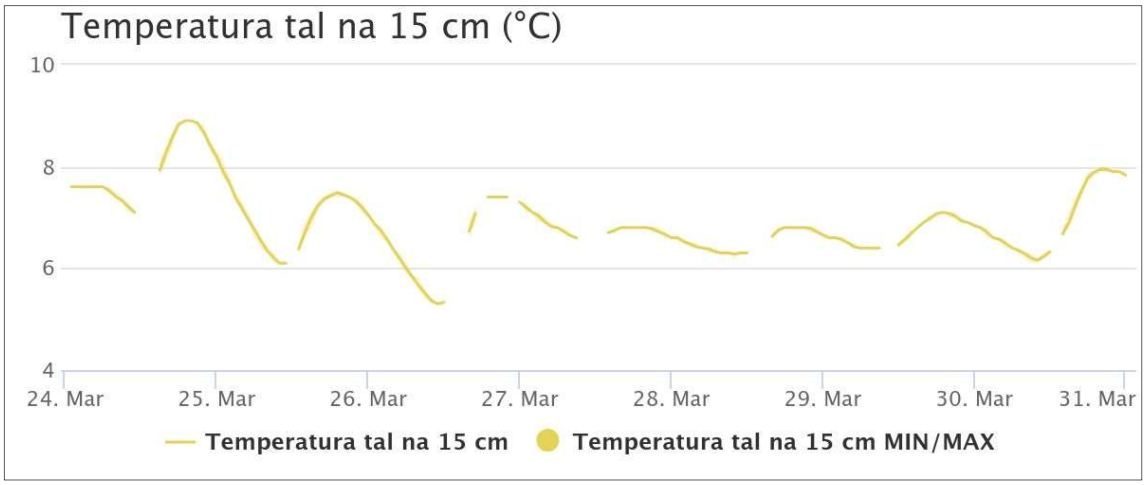
Pri stacionarnem monitoringu je potrebna začetna investicija v opremo (senzorji, merilci, napajanje), kar je strošek in zahteva načrtovanje. Oprema mora biti na terenu odporna na vremenske vplive in vandalizem, zato je treba poskrbeti za ustrezno namestitev in vzdrževanje. Prav tako stacionarni monitoring običajno pokriva eno lokacijo ali majhno območje – podatki so zelo lokalni. Za širšo sliko jih moramo povezovati z drugimi metodami (več stacionarnih točk, obsežnejši enkratni popisi, kalibracija z meritvami daljinskega zaznavanja z letalniki ali s sateliti).

2.2.1.2 Vrste abiotskih podatkov pri stacionarnem monitoringu

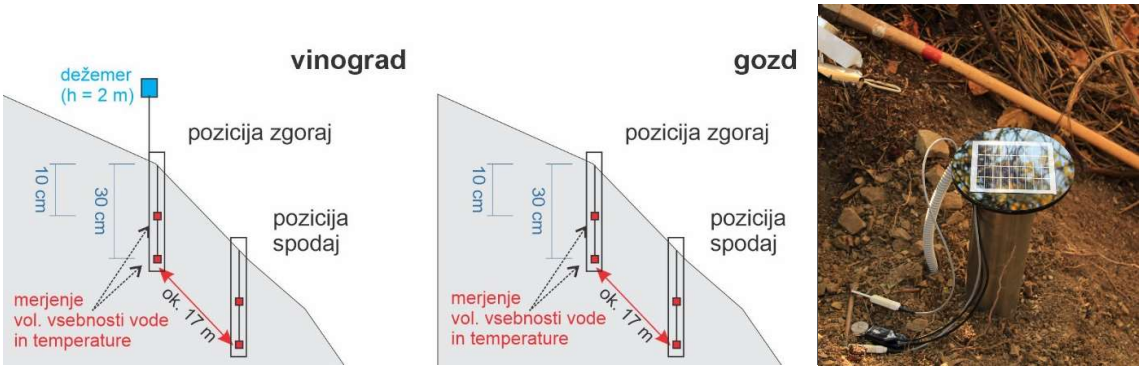
Pri stacionarnem monitoringu rastiščnih razmer izbiramo senzorje glede na tiste **abiotske dejavnike**, ki so pomembni za proučevane rastlinske vrste. Najpogosteje vključujemo naslednje vrste spremenljivk:

- **Temperatura zraka in prsti**: Temperatura močno vpliva na presnovo rastlin in na razpoložljivost vode ter hranil v prsti. Senzorji lahko merijo **zračno temperaturo** (na primer na višini rastišča rastline), **temperaturo rosišča** in **temperaturo prsti** (pri koreninah, v zemlji). Meritve potekajo pogosto (večkrat na uro ali neprekinjeno) (slika 29) saj želimo beleženje dnevnih nihanj in ekstremov (najvišje in najnižje temperature).

- **Zračna vlažnost in vlaga prsti**: **Relativna vlažnost zraka** vpliva na transpiracijo rastlin (oddajanje vode skozi listne reže) in s tem na vodni status rastline. **Vlažnost prsti** (vsebnost vode v prsti) pa neposredno določa, koliko vode imajo rastline na voljo. S stacionarnimi merilniki lahko spremljamo obe vrsti vlage. **Senzorji vlažnosti zraka** redno merijo delež vodne pare v zraku, **senzorji vlage v prsti** (na primer tenziometri ali volumetrični merilniki) pa zaznavajo vsebnost vode v zemlji (slika 30). Tako pridobimo vpogled v režim vlaženja prsti (kako hitro se prst izsuši po dežju, kdaj pride do sušnih stresov in podobno).
- **Količina padavin**: **Padavine** (dež, sneg) so glavni vir vode v ekosistemu. S stacionarnim **dežemerom** beležimo **višino padavin** skozi čas (na primer dnevno ali ob vsakem padavinskem dogodku) (slika 31). Ti podatki so pomembni za razumevanje **vodnega režima rastišča** – koliko vode prejmejo tla, kako pogosti so nalivi ali sušna obdobja. V kombinaciji s senzorji vlage v prsti nam podatki o padavinah povedo, kako hitro padavine poniknejo v tla in kako dolgo ostanejo ta namočena.
- **Osvetljenost (svetlobni pogoji)**: Svetloba je vir energije za fotosintezo, zato je intenziteta svetlobe na rastišču ključnega pomena za rastline. Merimo jo lahko s svetlobnimi senzorji (fotometri), pogosto ločeno za fotosintetsko aktivno sevanje, ki je uporabno za rastline. Dolgoročne meritve osvetljenosti pokažejo, koliko svetlobe prejmejo rastline v različnih letnih časih, kakšen je delež neposredne sončne svetlobe in sence, ter kako nanje vplivajo na primer oblačnost in krošnje dreves (če gre za podrast).
- **Zračni tlak in vetrne razmere**: **Zračni tlak** neposredno morda ne vpliva močno na rastline, je pa dober kazalnik vremenskih sprememb (na primer padci tlaka pred nevihtami). Nekatere napredne postaje vključujejo tudi **merilnik zračnega tlaka**. **Veter** lahko vpliva na izsuševanje rastlin, mikroklimo (prezračevanje, hlajenje) in opraševanje; na odprtih rastiščih se zato meri tudi **hitrost in smer vetra** z anemometri in vetrokazi. Za gozdne ali podrastne rastline veter običajno ni primarni dejavnik znotraj sestoja, zato v tem kontekstu ni vedno merjen, lahko pa je pomemben v bolj odprtih habitatih (na primer na golih vrhovih kot je Veliki Snežnik).
- **Kemične lastnosti prsti (pH, prevodnost)**: **pH prsti** vpliva na dostopnost hranil rastlinam in na sestavo mikroflore v prsti. Nekatere rastline uspevajo le na kislih ali bazičnih prsteh. **Prevodnost prsti** ali raztopine prsti je merilo vsebnosti raztopljenih ionov (soli) in posredno nakazuje hranilni status ali slanost prsti. S stacionarnimi sondami lahko periodično merimo pH in prevodnost v prsti ali v izcedni vodi. Ti podatki razkrivajo, ali prihaja do sprememb v kemijski sestavi prsti skozi leto (na primer izpiranje hranil med deževjem, kopičenje soli v sušnih obdobjih).



Slika 29: Meritev temperature prsti na globini 15 cm je na primer pomembna za travniške rastline, katerih globina korenin seže v to globino.



Slika 30: Primer stacionarnega monitoringa prsti: Shema monitoring ploskev (levo) in fotografija monitoring opreme ob namestitvi na terenu (desno; fotografija MATEJA FERK). Meritve se zbirajo in pošiljajo na strežnik vsako uro prek mobilnega omrežja.

Navedeni nabor podatkov pokriva meteorološke (na primer temperatura, svetloba), kemijske (pH, hranilnost) in hidrološke (vlažnost, padavine) vidike rastiščnih razmer. Pomembno je, da izberemo tiste parametre, ki so najbolj relevantni za naše raziskovalno vprašanje ali za cilj varstva določene rastlinske vrste (na primer *Cerastium Dinaricum*). Senzorji v sodobnih sistemih lahko pokrivajo širok nabor parametrov – že osnovne vremenske postaje za okoljski monitoring so zmožne spremljati temperaturo, vlago, padavine in svetlobne pogoje hkrati in nam služijo za referenco za regionalne podnebne značilnosti. S kombinacijo več vrst podatkov lahko pozneje analiziramo medsebojne vplive (na primer kako padavine vplivajo na temperaturo prsti ali kako sočasno nihanje temperature in vlage vpliva na rastno sezono rastline).

2.2.1.3 Merilne postaje in podatkovni merilci

Danes so na voljo cenovno dostopni senzorji ter podatkovni merilci, ki omogočajo samodejno beleženje številnih okoljskih parametrov v realnem času. Tovrstna oprema raziskovalcem prihrani veliko terenskega dela – ni se treba vsak dan vračati na lokacijo in ročno zapisovati meritev. Podatkovni merilci namreč hranijo podatke v svojem spominu in pogosto omogočajo tudi daljinski prenos podatkov. S tem se prihranita čas in stroški terenskih meritev, obenem pa dobimo gostejši niz podatkov visoke kakovosti, kot bi ga lahko zbrali z ročnimi meritvami.

Merilna postaja za stacionarni monitoring je običajno sestavljena iz več komponent, ki skupaj omogočajo avtomatsko zbiranje podatkov (slika 31). Osrčje postaje je podatkovni merilec – elektronska naprava, ki je zadolžena za beleženje (logiranje) meritev iz priključenih senzorjev. Merilec je praviloma majhen računalnik ali mikrokrmilnik z notranjim pomnilnikom in uro, ki v nastavljenem časovnem intervalu (na primer vsako minuto, vsako uro) odčita vrednosti senzorjev in jih shrani skupaj s časovnim žigom. Večina merilcev deluje na baterijsko napajanje (ali solarno celico z baterijo) in je sprogramirana, da varčno uporablja energijo, saj mora nemoteno delovati morda mesece ali leta na terenu brez človeškega posredovanja.



Slika 31: Stacionarna merilna postaja za samodejni zajem in avtomatski prenos podatkov iz dežemera v kombinaciji s podzemnimi senzorji temperature in vlage v prsti. Fotografija: MATEJA BREG VALJAVEC

Osnovna tehnična oprema merilne postaje tako vključuje:

- **Ohišje in nosilna konstrukcija**: Da zaščitimo elektronske naprave pred vremenskimi vplivi (dež, sneg, temperaturna nihanja) in pred živalmi ali drugimi zunanjimi vplivi, namestimo merilec in občutljive dele v vremensko odporno ohišje. To je lahko plastična ali kovinska omarica, ki je zračna, a hkrati omogoča zaščito pred vodo. Ohišje se skupaj s senzorji pritrdi na nosilec (na primer kol, drog, stativ ali drevo), da je oprema stabilna in na želeni višini.
- **Podatkovni merilec** beleži podatke. Naprednejši merilci imajo več kanalov za priklop več tipal hkrati (nekateri omogočajo priklop po več deset tipal). Enostavnejši so enokanalni (na primer samo za temperaturo). Merilci imajo lahko tudi zaslon za lokalni odčitek in spominsko kartico ali notranji spomin za hrambo podatkov. Pomembna lastnost je interval zajema (kako pogosto meri) in kapaciteta pomnilnika (koliko meritev lahko shrani). Nekateri merilci ob zapolnitvi pomnilnika stare podatke prepišejo (tako imenovano krožno shranjevanje), drugi pa shranjevanje ustavijo. V slednjem primeru je treba pravočasno pobrati podatke.
- **Napajanje**: Dolgoročno napajanje je lahko baterijsko (velike alkalne baterije ali akumulatorji) ali sončno (solarni panel z akumulatorjem). Solarno napajanje je priljubljeno pri vremenskih postajah na prostem, saj sončna celica čez dan polni baterijo, ki poganja sistem ponoči in ob oblačnih dneh. Pri baterijskem napajanju (brez solarnega panela) je pomembno izračunati, koliko energije bo merilec porabil, in na koliko časa bo treba zamenjati baterije.

- **Senzorji**: Merilna postaja vključuje več senzorjev (o njih več v naslednjem razdelku), ki so z vodniki (ali v novejših izvedbah tudi brezžično) povezani z merilcem. Senzorji so lahko nameščeni na različnih mestih: na primer senzor temperature in vlage zraka v zavetju (radiacijskem ščitu) na drogu, senzor svetlobe na vrhu droga, senzor za vlago zakopan v zemljo, dežemer nekoliko stran na odprtem in tako dalje. Merilec jih vse povezuje v celoto in časovno usklajuje meritve.

Tipična terenska merilna postaja za mikroklimatski monitoring rastlin je torej nekakšna pomanjšana vremenska postaja. Pogosto se uporabljajo kar standardne meteorološke postaje ali njihove sestavne dele, prilagojene posebnim potrebam raziskave. Na primer, za rastišče v gozdu bomo uporabili nižji lesen drog (ker merimo razmere blizu tal), medtem ko so meteorološke postaje za vreme običajno na odprtem 2 m nad tlemi. A načelo delovanja je enako: robustna oprema, ki samodejno meri in shranjuje podatke, katere nato raziskovalci občasno prenesejo na računalnik za analizo. Danes to prenašanje poteka lahko ročno (z odvzemom spominske kartice ali s prenosnikom na terenu) ali daljinsko – preko GSM/GPRS modema, radijske povezave ali satelitsko, če je postaja zelo oddaljena. Slednje omogoča sprotno spremljanje na daljavo, kar je idealno, a dviguje kompleksnost in ceno sistema.

2.2.1.4 Vrste senzorjev in njihova vloga

Vsak abiotski parameter, ki nas zanima, zahteva primeren **senzor** (tipalo). Senzor je naprava, ki zazna fizično količino in jo pretvori v merljiv signal (običajno električni – na primer napetost, tok ali digitalni signal), ki ga lahko beleži merilec. V nadaljevanju so predstavljene glavne vrste senzorjev v takšnih monitoring sistemih in njihova vloga:

- **Termometri in termični senzorji**: Za merjenje temperature se uporabljajo termometrične sonde (kovinske sonde s termočleni ali termistorji) ali digitalni temperaturni senzorji. Termočlen generira napetost glede na temperaturo, medtem ko termistor spreminja upornost. V obeh primerih merilec pretvori signal v temperaturno vrednost. Senzorje temperature namestimo v zračno zaklonišče (majhna bela prezračevana hišica ali ohišje, ki ščiti pred direktnim soncem in dežjem) za merjenje zraka, ali pa jih vstavimo v tla za merjenje temperature prsti na določeni globini (na primer 5 cm, 10 cm globoko). Njihova vloga je spremljanje toplotnega režima okolja – s tem zaznamo zmrzali, vročinske valove, dolžino vegetacijske dobe in drugo.
- **Higrometri in senzorji vlage**: Relativno vlažnost zraka merimo s higrosenzorji, ki reagirajo na količino vodne pare v zraku. Pogosto so kombinirani s temperaturnim senzorjem v eni napravi (za pravilno izračunavanje relativne vlažnosti je namreč treba poznati še temperaturo). Nameščeni so podobno kot termometri v vremenskem zaklonišču. Vlažnost prsti se lahko meri z različnimi tipi senzorjev: klasični tenziometer meri napetost vode v prsti (sesalna sila, ki jo morajo rastline premagati, da dobijo vodo), novejši kapacitivni senzorji vlage v prsti pa merijo dielektrično konstanto okolice, ki je sorazmerna vsebnosti vode. Senzor vlage v prsti je običajno paličast ali cevast in se zakoplje v tla na globino koreninskega sistema rastlin. Vloga teh tipal je zaznati, kdaj postanejo pogoji za rastline sušni ali prevlažni, ter spremljati hitrost sušenja prsti po dežju.
- **Senzorji osvetljenosti (svetlobni senzorji)**: Za merjenje svetlobe uporabljamo fotodiode ali fotovoltačne celice, ki proizvajajo električni tok sorazmeren svetlobni jakosti. Za ekološke namene pogosto uporabljamo senzorje, umerjene za fotosintetsko aktivno sevanje v enotah µmol fotonov/m²/s. Ti senzorji so majhni kupolasti detektorji, ki jih namestimo na odprto mesto, kjer nanje ne meče sence kakšna ovira (razen če nas zanima prav delež sence, tedaj jih lahko postavimo tudi pod rastline). Njihova vloga je spremljati, koliko svetlobne energije je na voljo rastlinam. To je pomembno za razumevanje fotosintezne produkcije, tekmovanja za svetlobo v sestoju in ugotavljanje, ali je svetlobe morda premalo (na primer zaraščanje habitata vpliva na upad svetlobe).
- **Dežemer (pluviometer)**: Dežemer je senzor za padavine. Klasični avtomatski dežemer deluje na principu nagibne posodice (angleško *tipping bucket*): lijak zbira dež v dvojno posodico, ki se pri določeni količini nagne in izprazni, pri tem pa stikalo zabeleži vsak tak premik posodice.

Merilec šteje te premike, kjer vsak pomeni določen milimeter padavin. Dežemer je nameščen na odprtem, vodoravno, običajno kakih 50–200 cm nad tlemi. Meritev padavin nam pokaže količino in intenzivnost dežja skozi čas. To je ključno za razumevanje napajanja prsti z vodo (na primer zalitje rastlin).

- **Senzorji tlaka zraka**: Mali barometrični senzorji so pogosto vgrajeni kar v merilec ali nameščeni v ohišju, kjer so zaščiteni. Merijo zračni tlak, kar nam posredno lahko služi za identifikacijo vremenskih front in višin (če imamo mobilne merilce). Pri stacionarni postaji na stalni lokaciji tlak ni najbolj ključen parameter za rastline, lahko pa je uporaben v kombinaciji z drugimi (na primer visok tlak nakazuje stabilno vreme, nizek pa možnost nastanka padavin).
- **Vetromer (anemometer) in smernik vetra**: Ti senzorji so sestavni deli vremenskih postaj na odprtem. Anemometer (lahko klasični vrteči se s tremi skodelicami, ali ultrazvočni) meri hitrost vetra, smernik (v obliki zastavice) pa smer vetra. Signali vetra so pogosto digitalni impulzi (vsak obrat skodelice pomeni eno enoto) ali analogni (napetost sorazmerna hitrosti). Na rastiščih rastlin v zavetju (na primer v gozdu) se veter močno zmanjša; tam anemometer ni nujen, razen če proučujemo na primer prepih ali temperaturne inverzije. Na odprtih travnikih pa veter vpliva na izhlapevanje vode in raznašanje semen, zato ga je smiselno meriti.
- **Kemični senzorji (pH meter, konduktometer)**: Za merjenje vrednosti pH v prsti obstajajo pH elektrode, ki se lahko namestijo v prsteh ali v zbiralniku izcedne vode; te periodično kalibriramo, ker s časom polzijo. Podobno senzorji električne prevodnosti (konduktometri) merijo prevodnost raztopine v prsti (običajno kot dve elektrodi v stiku z vlago v prsti). Ti senzorji potrebujejo dober stik z vodo v prsti, zato v sušnih periodah včasih ne zmorejo izvajati meritev (če je prst suha, ni raztopine za meritev). Namen teh senzorjev je spremljati kemično okolje rastlin: pH vpliva na dostopnost hranil (na primer železo je v kislih prsteh bolj topno), prevodnost pa nakazuje skupno količino raztopljenih snovi (na primer gnojila, soli).

Vsak senzor ima torej svojo specifično vlogo in metodološke posebnosti, a v kontekstu stacionarnega monitoringa delujejo skupaj. Povezani so v sistem, ki omogoča istočasno zajemanje več parametrov – s tem dobimo celostno sliko abiotskih razmer na rastišču. Pomembno je poudariti, da je treba senzorje pravilno umeriti in vzdrževati. Občasno jih je treba preveriti (denimo očistiti dežemer, zamenjati baterije, preveriti kalibracijo pH sonde) – stacionarni monitoring sicer teče samodejno, a ne povsem brez nadzora. Kljub temu pa večino časa sistem deluje samodejno in beleži podatke tudi v odsotnosti raziskovalca, kar je njegova velika prednost.

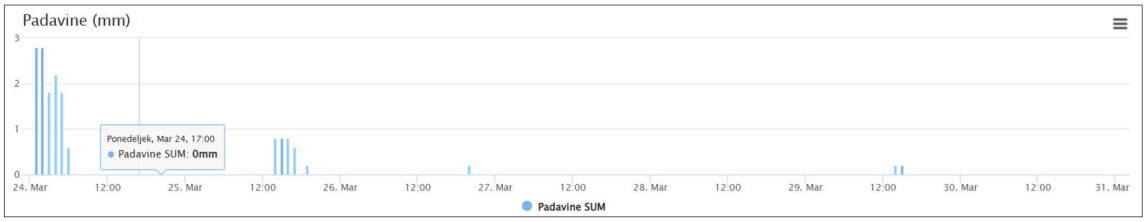
2.2.1.5 Dolgoročno zbiranje podatkov in analiza časovnih serij

Ključna značilnost stacionarnega monitoringa je dolgoročnost. Podatki, zbrani skozi več let, tvorijo **časovne serije**, ki so zaporedja meritev skozi čas. Z analizo takih serij lahko odgovorimo na vprašanja, ki z enkratnimi opazovanji niso dosegljiva. Na primer: *Ali povprečna temperatura prsti na rastišču z leti narašča? Kako pogosto se pojavljajo ekstremno sušni dnevi in ali so vse pogostejši? Kakšen je tipičen letni režim vlažnosti prsti in kdaj v letu imajo rastline na voljo najmanj vode?*

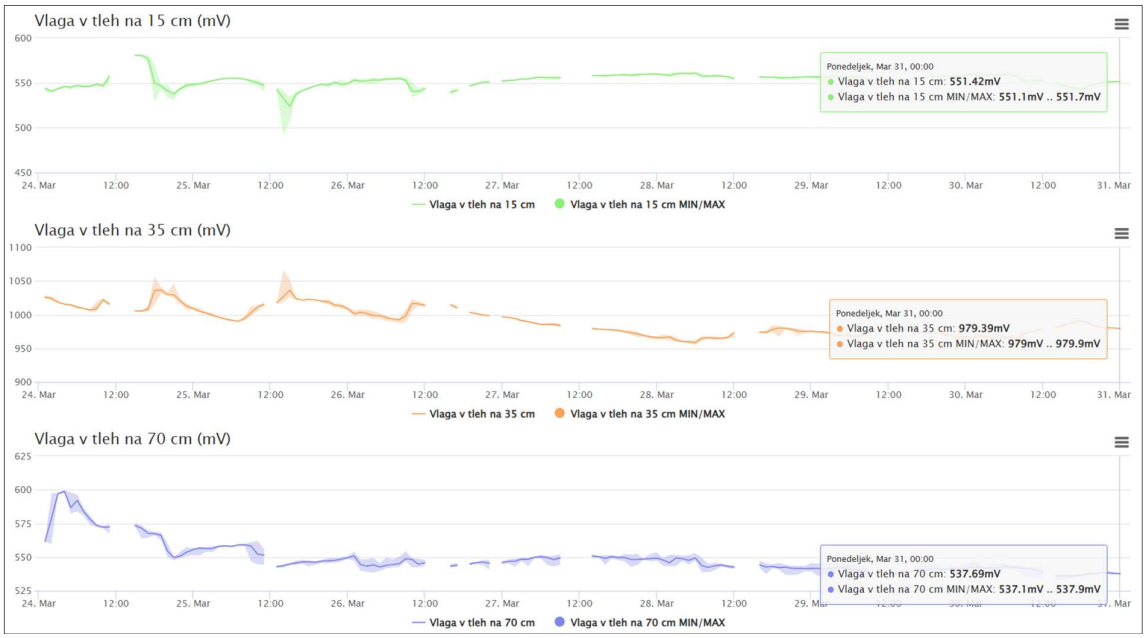
Dolgotrajno zbiranje podatkov omogoča odkrivanje trendov, kot so na primer postopno segrevanje mikroklime (ki je lahko povezano s podnebnimi spremembami), ali spremembe v padavinskem režimu (na primer večja pogostost obdobij brez padavin). Prav tako lahko zaznamo periodičnost – denimo večletne cikle, ki so lahko povezani z globalnimi pojavi ali lokalnimi rastlinskimi cikli. Za varstvo rastlinskih vrst so takšni podatki neprecenljivi: če opazimo, da se pogoji na rastišču dolgoročno poslabšujejo (na primer zbijanje prsti vodi v manjšo zračnost in nižji pH), lahko ukrepamo preden pride do upada populacije vrst.

Časovne serije so običajno prikazane v obliki grafov (slika 32). Z vizualizacijo lahko hitro prepoznamo **sezonske vzorce** (na primer temperatura je pozimi nižja kot poleti) in **anomalije** (odstopanja, kot je nenavadno topel januar). Statistična obdelava časovnih serij vključuje izračun trendov (linearnih ali nelinearnih), povprečij in variabilnosti za posamezna obdobja, ter korelacije med različnimi parametri. Na primer, z dolgoročnim monitoringom lahko ugotovimo, ali obstaja korelacija med povprečno poletno temperaturo in številčnostjo neke rastlinske vrste v naslednjem letu, kar bi lahko nakazovalo vpliv vročinskih stresov na razmnoževanje.

Pri obdelavi daljših časovnih vrst se pogosto soočamo z velikim obsegom podatkov, zato si pomagamo z računalniško analizo in statističnimi paketi. Pomembno je zagotoviti tudi kontinuiteto meritev. V primeru izpada (na primer okvara senzorja – slika 33) zato poskušamo manjkajoče podatke nadomestiti ali vsaj zaznamo in zabeležimo, kdaj in zakaj so manjkali. Dobro vodenje metapodatkov (z zapisi o servisih in motnjah) je sestavni del dolgoročnega monitoringa.



Slika 32: Primer daljšega merilnega niza stacionarnega monitoringa padavin.



Slika 33: Primer daljšega merilnega niza stacionarnega monitoringa vlage v prsti in manjkajoči podatki zaradi motenj v delovanju senzorja.

Večletno zbiranje podatkov o abiotskih razmerah ustvari dragoceno bazo znanja o habitatih. Taka baza presega trenutne "posnetke stanja" in nam da prej "film dogajanja skozi čas". V poglavju o praktičnih primerih bomo videli, kako so si pomagamo s stacionarnim monitoringom pri rastlinskih vrstah in kakšne izzive to prinaša. Teoretično pa velja: čim daljša in podrobnejša je meritev, tem trdnejše lahko sklepamo o tem, v kakšnem okolju živijo in uspevajo naše proučevane rastline, ter kako nanje vplivajo spremembe v okolju. S tem znanjem smo bolje opremljeni za varovanje vrst in upravljanje njihovih habitatov v prihodnosti.

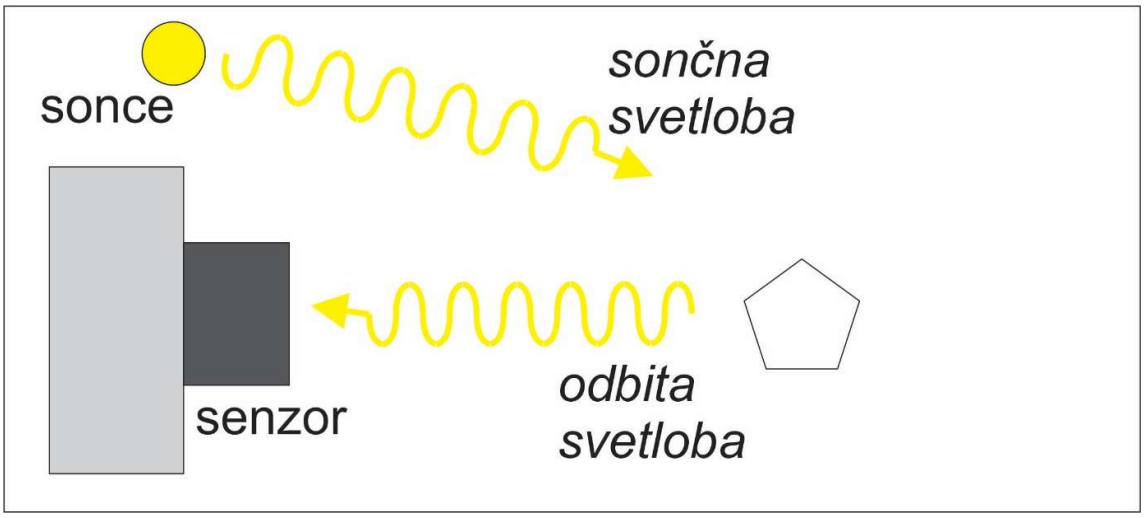
2.2.2 Pridobivanje lastnih podatkov na terenu z daljinskim zaznavanjem

Najbolj razširjen in preprost primer daljinskega zaznavanja je **fotografiranje** z mobilnim telefonom ali navadnim fotoaparatom. Obe napravi imata senzor za zaznavanje svetlobe oziroma elektromagnetnega valovanja, navadno v nam vidnem delu spektra elektromagnetnega valovanja, s katero posnameta fotografijo. Za zaznavanje tovrstni senzor potrebuje zunanji vir takšnega valovanja, na primer Sonce ali svetilo (žarnico, sijalko). Valovanje potuje od vira do površja oziroma opazovanega objekta ter se od tam odbije in prispe do senzorja, ki je v fotoaparatu ali telefonu (sliki 34 in 35).

Podobno se dogaja v primeru zaznavanja s človeškim vidom. V popolni temi oziroma odsotnosti vira nam vidne svetlobe naše oči niso sposobne zaznati ničesar. Ko vzide Sonce oziroma prižgemo luč v sobi, se svetloba odbije od površja, sten, predmetov in to odbito svetlobo zaznamo ter zato lahko vidimo.

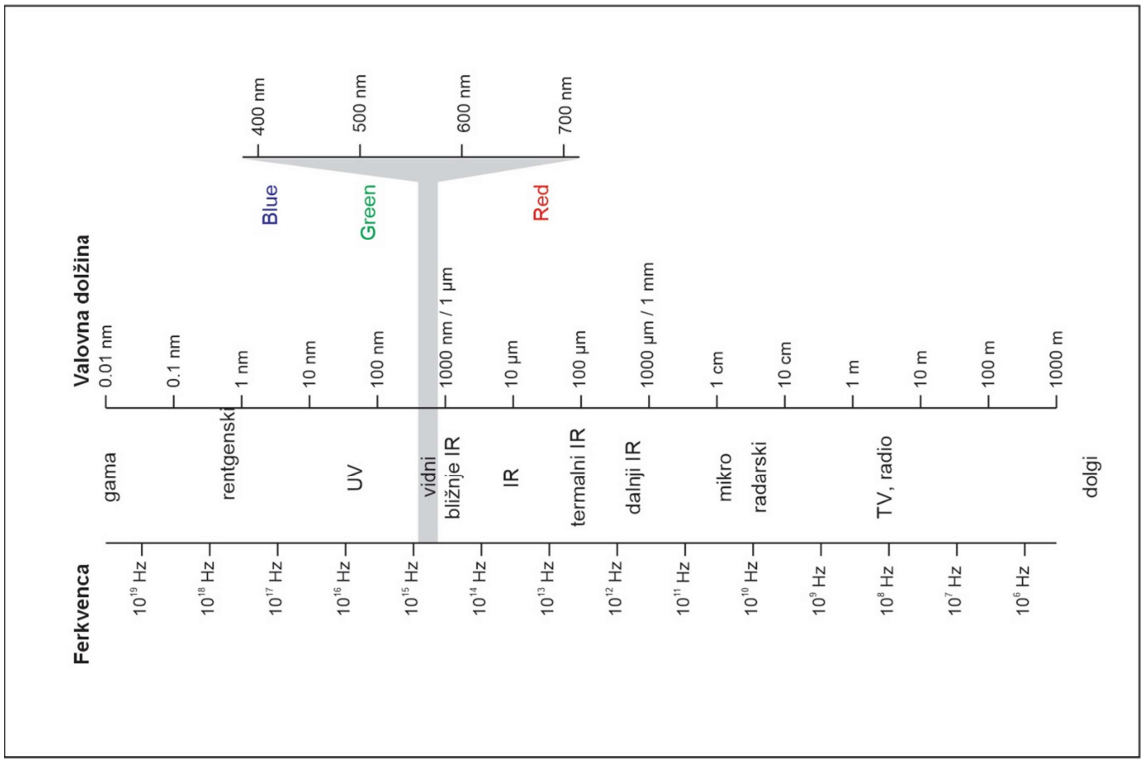


Slika 34: Fotografiranje s telefonom. Fotografija: ADOBE STOCK, ALISA



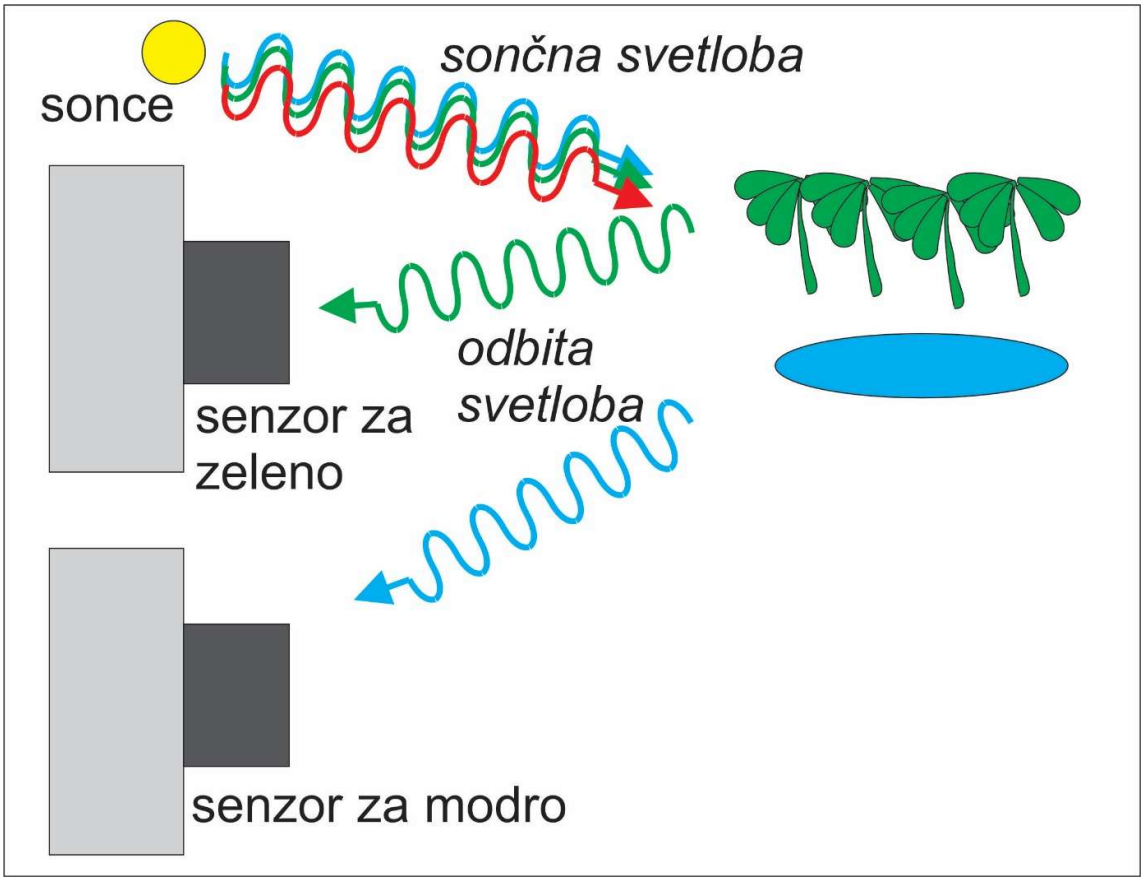
Slika 35: Pasivni senzor.

Senzorji pa lahko zaznajo odbito elektromagnetno valovanje tudi v drugih spektralnih pasovih (slika 36), na primer infrardečem ali termalnem. Elektromagnetno valovanje je sestavljeno iz električnega polja in magnetnega polja, ki potujeta s svetlobno hitrostjo in sta v medsebojnem razmerju: $c=\lambda v$, pri čemer je λ – valovna dolžina (m); v – frekvenca (Hz); c – svetlobna hitrost (3×10^8 m/s).

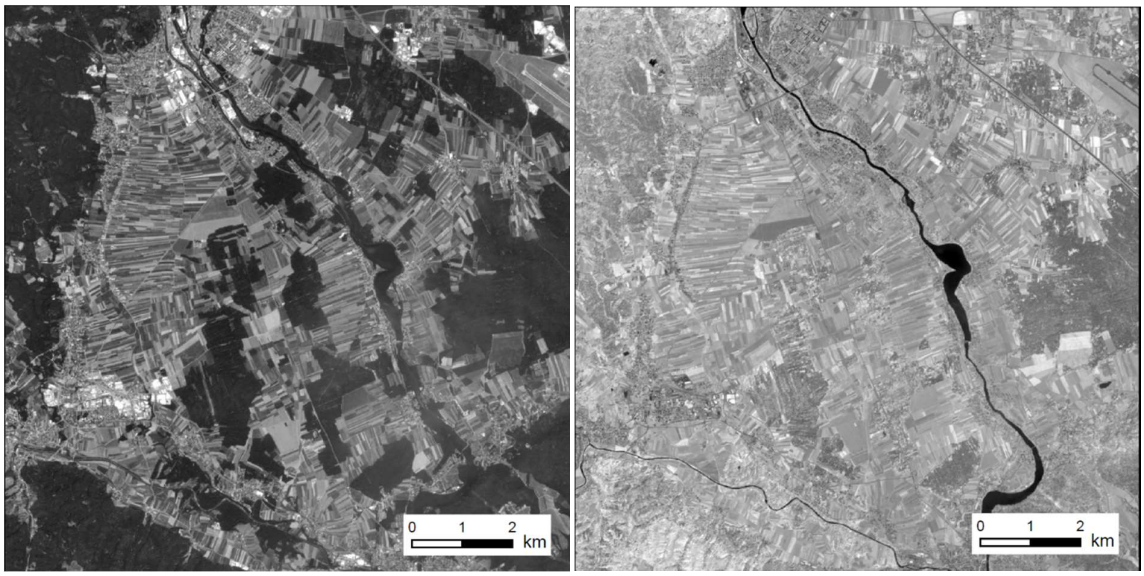


Slika 36: Elektromagnetno valovanje glede na valovne dolžine in frekvence (Penubag, Wikipedia 2008).

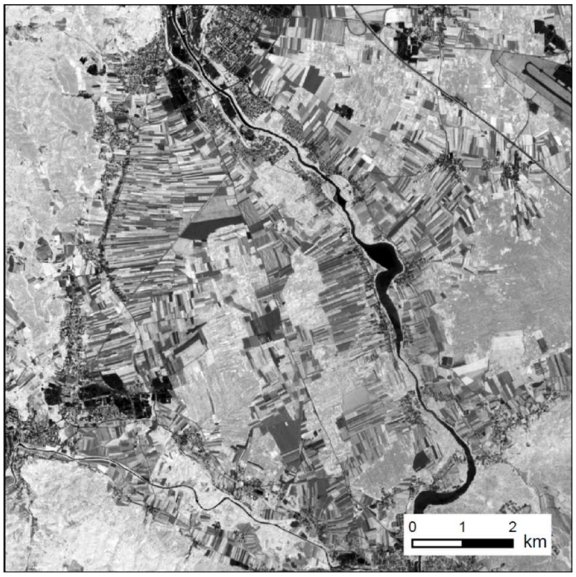
Zelo pogosta je uporaba **multispektralnih kamer**, ki imajo več senzorjev za zaznavanje izbranih spektralnih pasov. Različni objekti in snovi posamezne spektre elektromagnetnega valovanja različno absorbirajo in odbijajo. Denimo, rastline (klorofil) navadno absorbirajo vijoličen, moder in rdeč del spektra vidne svetlobe, odbijajo pa zelenega. Globoka morska voda absorbira zeleno in rdečo ter odbija modro (slika 37). Pogosta je uporaba kamer za zaznavanje rdečega in infrardečega spektra (na primer pri senzorjih na satelitih; slika 38), saj lahko z izračunom razmerij teh dveh vrednosti dobimo informacijo o količini klorofila v vegetaciji (slika 39).



Slika 37: Multispektralna kamera ima več senzorjev. Vsak senzor zaznava izbran del elektromagnetnega spektra.



Slika 38: Posnetek Sorškega polja v rdečem (levo) in infrardečem (desno) spektralnem pasu. Posnetek je prikazan v sivinah, višji odboj je prikazan s svetlejšim odtenkom.



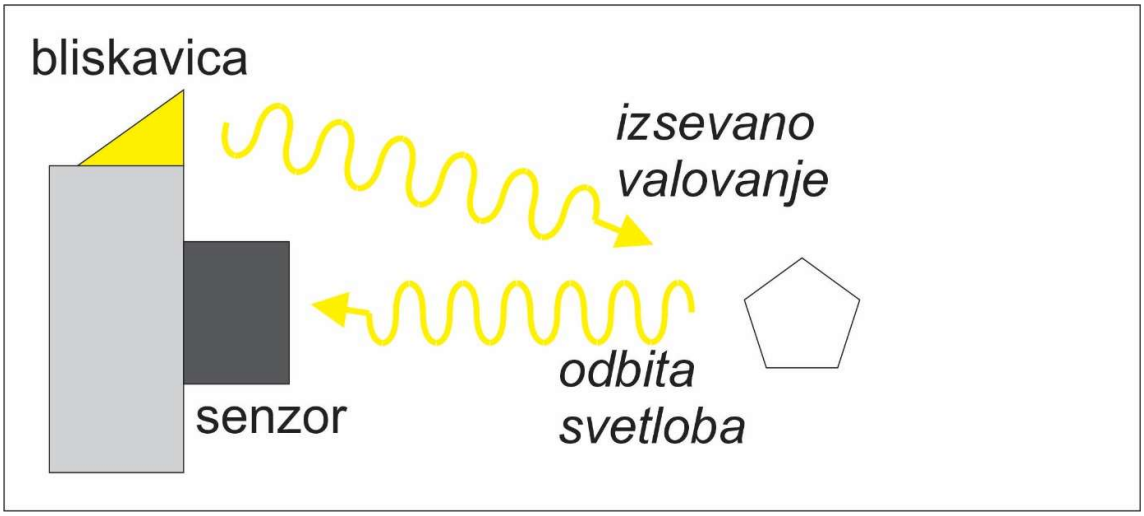
Slika 39: Prikaz normiranega diferencialnega vegetacijskega indeksa, ki se izračuna iz razmerja med vrednostjo rdečega in infrardečega odboja. Reke, pozidane površine in požete njive imajo nižje vrednosti in so prikazane v temnejših odtenkih. Gozdovi, travniki in njive s pridelkom imajo visoke vrednosti in so prikazane v svetlejših odtenkih.

Pasivne optične senzorje lahko namestimo na letalnike (slika 40), letala, satelite in praktično vsa druga plovila in terestrična vozila. Sateliti nosijo večinoma multispektralne senzorje ali celo **hiperspektralne**, pri katerih so posamezni senzorji pripravljeni za zajem odbitega valovanja v izjemno ozkih pasovih.



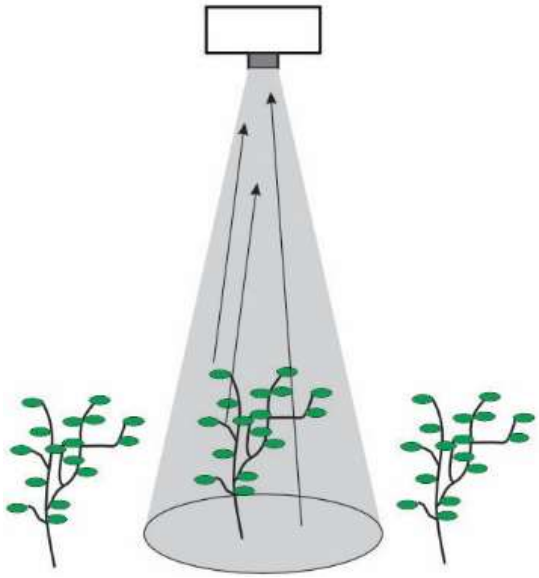
Slika 40: Letalnik DJI Mavic 3M ima pet kamer oziroma senzorjev: senzor za snemanje v vidni svetlobi (RGB) ter štiri dodatne senzorje za zajem posnetkov v zelenem pasu, rdečem pasu, prehodnem pasu med rdečim in infrardečim ter bližnje infrardečem pasu. Fotografija: ROK CIGLIČ

Če naravnega vira ali zunanjega umetnega vira svetlobe oziroma ustreznega elektromagnetnega valovanja ni, potem lahko senzor opremimo s takšnim virom. Tovrstni senzorji se imenujejo **aktivni senzorji**. Ti senzorji sami oddajajo elektromagnetno valovanje v določenem spektralnem pasu. Kot primer takega valovanja lahko služi fotoaparat z bliskavico (slika 41) ali satelit z radarjem.



Slika 41: Aktivni senzor.

Optične posnetke (letalske, satelitske …) lahko ob ustreznih popravkih in postopkih obdelave, ki ji pravimo **fotogrametrija**, uporabimo za izdelavo ortofotov in 3D modelov. Ortofoti so obdelani posnetki, ki nimajo popačenja zaradi reliefa (Campbell 1996). Take podatke lahko uporabimo v geografskih informacijskih sistemih, saj imajo ustrezno merilo na celotnem območju.
Izjemno uporaben je laserski skener **LiDAR**, ki pomeni svetlobno zaznavanje in merjenje razdalj (v angleščini *Light Detection And Ranging*) ali lasersko snemanje, zaznavanje in merjenje razdalj (*Laser Imaging Detection And Ranging*). Tehnologija se uporablja za določanje razdalje do predmetov oziroma površja s pomočjo laserskih žarkov (Oštir 2006). LIDAR uporablja eno valovno dolžino. Oddani laserski žarek se odbije od predmeta. Senzor meri čas od prenosa žarka do sprejema (Triglav Čekada 2015). En sam žarek lahko povzroči več odbojev (slika 42).
S svojimi meritvami ustvarjajo oblake točk v prostoru, kar nam omogoča ustvarjanje podrobnih 3D modelov pokrajin s podrobnostmi vegetacije in infrastrukture. Tudi ti senzorji so lahko nameščeni na letalih, brezpilotnih letalnikih ali vozilih na tleh. Prav tako so lahko ročni (slika 43) ali pritrjeni na stojala. Ločimo dve vrsti laserskih skenerjev: diskretni in zvezni skener (Triglav Čekada 2015).



Slika 42: Delovanje laserskega skeniranja.



Slika 43: Uporaba ročnega laserskega skenerja. Fotografija: ROK CIGLIČ

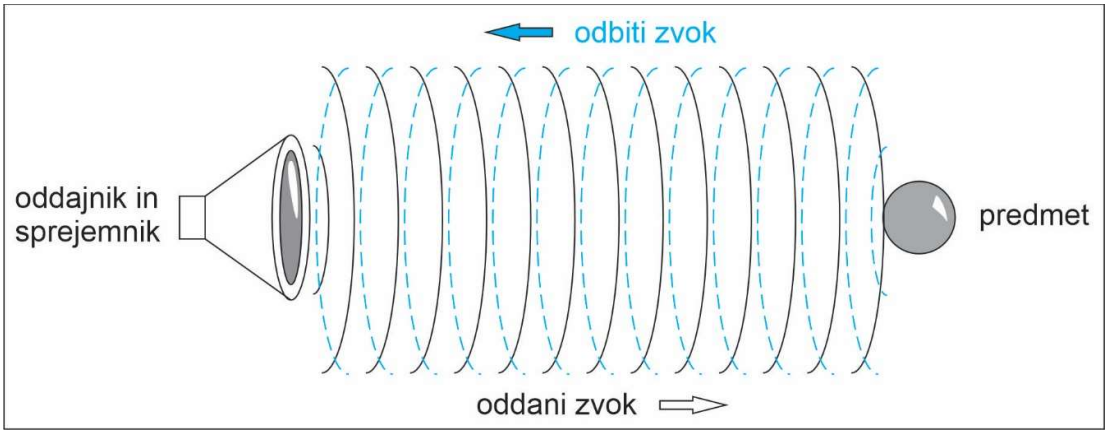
Poleg lidarja je treba izpostaviti tudi **radar**. Pogosto gre za aktivni senzor, ki oddaja radarske valove in zaznava njihov odboj. Pogosto so z njimi opremljeni sateliti, uporabljajo pa jih tudi pri analizi površja. Slednjega pogosto označujemo s terminom georadar (slika 44). Tudi radar je lahko pasiven in le zaznava radarske valove (ne oddaja pa svojega signala).



Slika 44: Georadar med uporabo pri merjenju debeline ledu. Fotografija: MIHA PAVŠEK

Sonar uporablja zvočne valove za lociranje predmetov in površja pod vodo. Deluje tako, da pošilja akustične signale v vodo in meri čas do prispetja od površja (na primer morskega dna) oziroma

predmetov odbitih signalov nazaj. Obstajata dva glavna tipa sonarjev: aktivni oddaja zvočne signale (slika 45) in posluša odmeve za določanje razdalj, pasivni pa ne oddaja signalov, temveč le posluša naravne podvodne zvoke, kot so naravni zvoki ali zvoki plovil. Sonar se zelo pogosto uporablja pri podvodnem kartiranju in navigaciji.



Slika 45: Delovanje aktivnega sonarja, ki oddaja zvočne signale ter zabeleži odbiti zvok.

2.2.3 Viri in literatura

- Artiola, J. F., Pepper, I. L., Brusseau, M. L. (ur.) 2004: Environmental monitoring and characterization. London.
- Campbell, J. B. 1996: Introduction to remote sensing. London.
- Oštir, K. 2006: Daljinsko zaznavanje. Ljubljana.
- Triglav Čekada, M. 2015: Osnove o laserskem skeniranju in kako naročimo podatke. Izzivi in priložnosti uporabe laserskih podatkov. Ljubljana.

3 UPORABA PODATKOV: PRIMERI UPORABE GIS ZA PROSTORSKE ANALIZE IN PRIKAZE

3.1 PRIMER 1: PRIMER UPORABE LETALSKIH PODATKOV LASERSKEGA SKENIRANJA (LIDAR) ZA ANALIZO ABIOTSKIH ZNAČILNOSTI RASTIŠČ SCOPOLIJEVEGA REPNJAKA (*ARABIS SCOPOLIANA*) NA OBMOČJU NARAVNEGA REZERVATA SNEŽNIK-ŽDROCLE

3.1.1 Opis aktivnosti

Scopolijev repnjak (*Arabis scopoliana*) je ena najznačilnejših predstavnic dinarske gorske flore in je varovana v okviru Habitatne direktive. Ker sta Slovenija in Hrvaška zavezani k spremljanju njenega stanja, morajo pristojne institucije (na primer Zavod Republike Slovenije za varovanje narave, ZRSVN) pripraviti morebitne predloge in strateške smernice za vključitev v različne planske dokumente ter programe za spremljanje stanja na različnih ravneh upravljanja. Na območju Slovenije je zabeleženih le sedem rastišč Scopolijevega repnjaka, od tega se tri lokacije nahajajo na Snežniku. V bližini, na območju Gorskega kotarja oziroma narodnega parka Risnjak, pa se nahaja še 20 lokacij.
Omenjena rastišča so na težko dostopnem, z gozdom (in ruševjem) poraslim skalovitem kraškem območju. ZRSVN si želi izdelati analizo abiotskih značilnosti rastišč. Zaradi vse večjih antropogenih pritiskov na območju naravnega rezervata Snežnik-Ždrocle pa si poleg tega želi določiti tudi potencialno primerna rastišča (območja z enakimi oziroma podobnimi abiotskimi omejitvami) z namenom, da bi v smernice varovanja lahko vključili tudi ta območja.

3.1.2 Izhodišča primera

Naloge izvajalca s področja geografskih informacijskih sistemov je na podlagi želje naročnika mogoče razvrstiti v naslednje okvirne sklope:

- pridobitev točk evidentiranih rastišč Scopolijevega repnjaka na območju Snežnika in Gorskega kotarja oziroma narodnega parka Risnjak,
- priprava LiDAR podatkov (podatkov laserskega skeniranja) za proučevano območje,
- priprava slojev za analizo abitoskih značilnosti rastišč, ki temeljijo na podlagi LiDAR podatkov,
- priprava zemljevida potencialnih rastišč na podlagi analiziranih abiotskih značilnostih.

3.1.2.1 Uporabljeni podatkovni viri

V pričujočem primeru bomo vse potrebne podatke pridobili od pristojnih institucij. Od naročnika (ZRSVN) pridobimo lokacije rastišč Scopolijevega repnjaka v Sloveniji in na Hrvaškem. S spletnega pregledovalnika Atlas okolja Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO) prenesemo sloj zavarovanih območij narave, ki vsebuje tudi obseg naravnega rezervata Snežnik-Ždrocle. S spletnega pregledovalnika eVode (ARSO) prenesemo mrežo listov in LiDAR podatke po listih za območje naravnega rezervata Snežnik-Ždrocle v projekciji D96TM. Preko formularja, dostopnega na spletni strani hrvaške Državne geodetske uprave (DGU), zaprosimo za mrežo listov in LiDAR podatke za tiste liste na območju Gorskega kotarja oziroma narodnega parka Risnjak, kjer so evidentirana rastišča Scopolijevega repnjaka.

Preglednica 1: Seznam podatkovnih virov.

ime podatka	zapis	vir podatka	ločljivost
lokacije rastišč Scopolijevega repnjaka	vektorski	ZRSVN	/
zavarovana območja narave (naravni rezervat Snežnik-Ždrocle)	vektorski	ARSO	/
mreža listov LiDAR podatkov (Slovenija)	vektorski	ARSO	/
LiDAR podatki za območje naravnega rezervata Snežnik-Ždrocle	rastrski	ARSO	1 m × 1 m
mreža listov podatkov lidar (Hrvaška)	vektorski	DGU	/
LiDAR podatki za območje Gorskega kotarja oziroma nacionalnega parka Risnjak	rastrski	DGU	1 m × 1 m

3.1.2.2 Uporabljena orodja

Za doseg rezultatov smo uporabili:

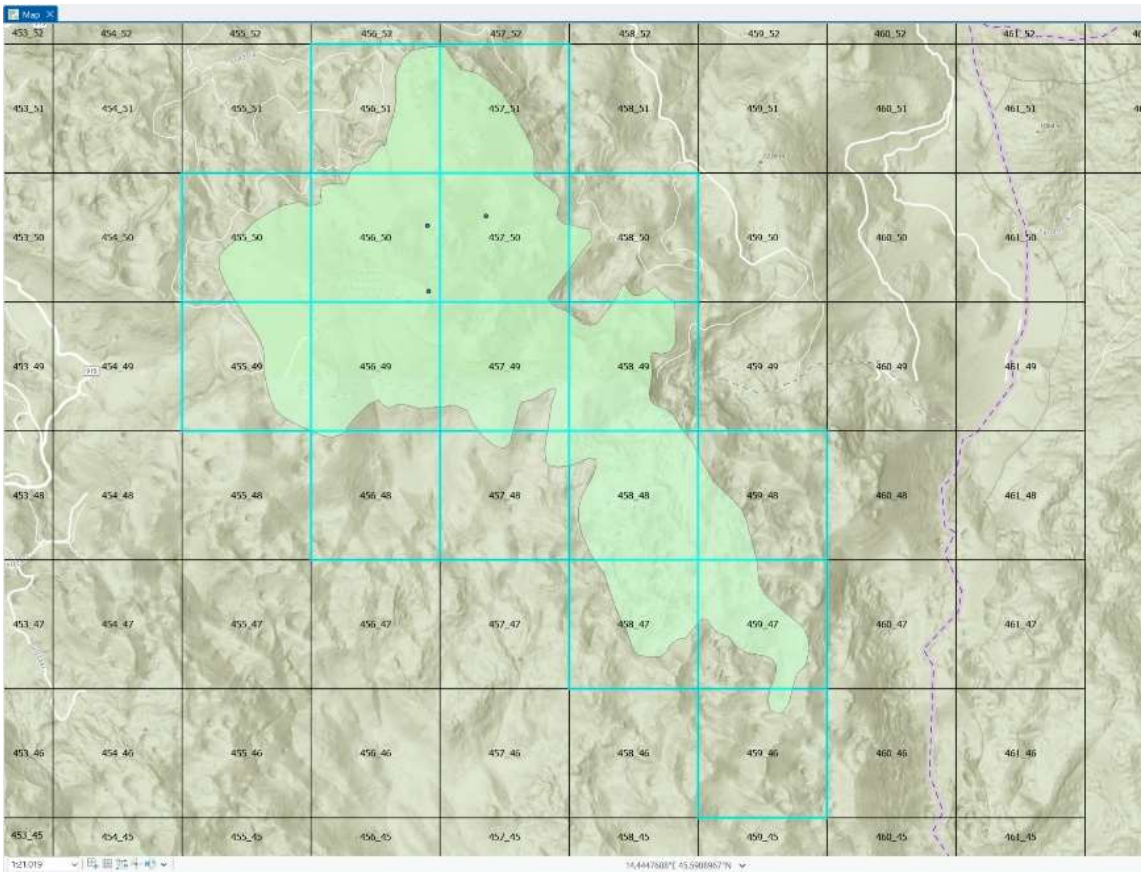
- program ESRI ArcGIS Pro 3.4.

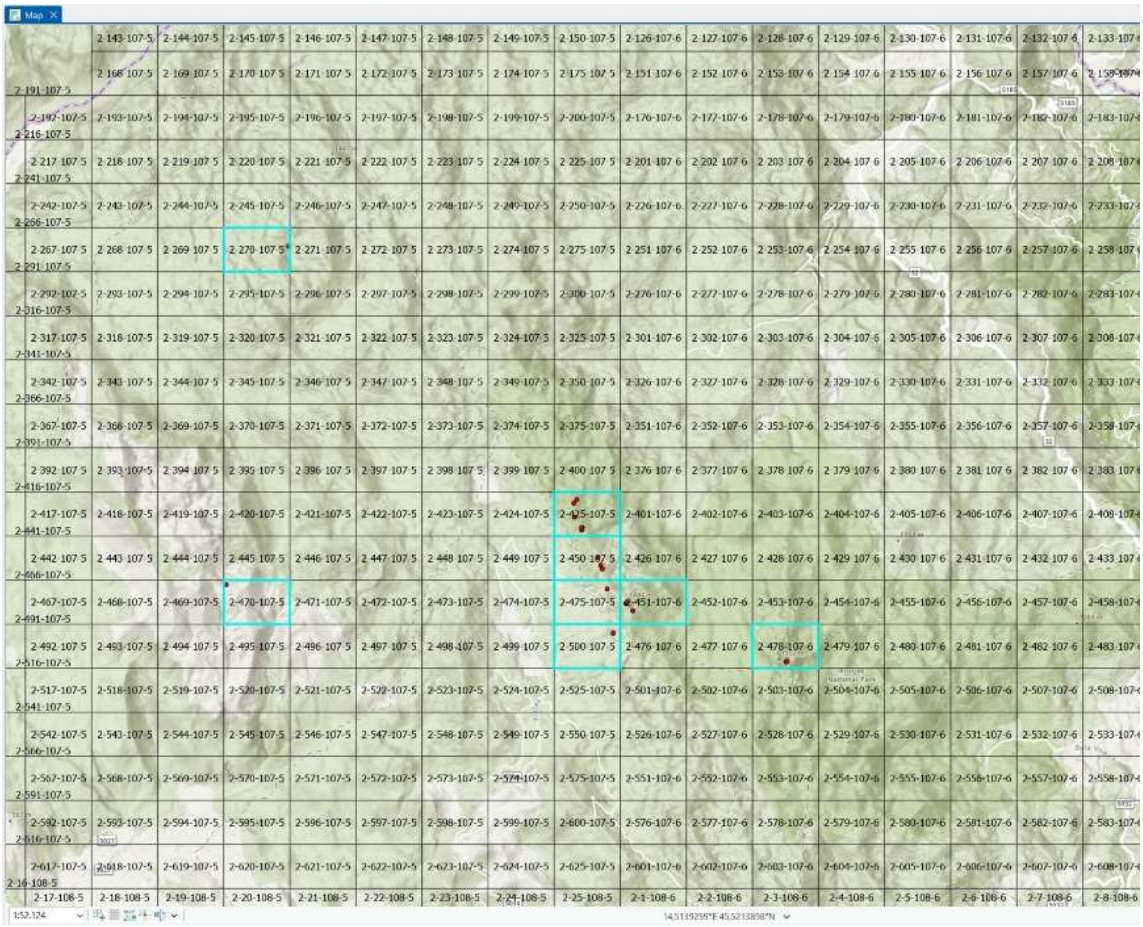
3.1.3 Opis uporabe GIS-ov pri reševanju primera

S spletnega pregledovalnika Atlas okolja (ARSO) prenesemo sloj zavarovanih območij narave (poligon naravnega rezervata Snežnik-Ždrocle). Pri ZRSVN pridobimo lokacije rastišč na območju Snežnika in Gorskega kotarja oziroma narodnega parka Risnjak. Preko formularja, dostopnega na spletni strani DGU, zaprosimo za mrežo listov LiDAR podatkov za Hrvaško. Ker na podlagi poligona naravnega rezervata, mreže listov LiDAR podatkov za Hrvaško in lokacij rastišč sedaj poznamo obseg proučevanega območja, lahko pričnemo s pridobivanjem, pripravo in analizo LiDAR podatkov.

3.1.3.1 Korak 1: Prenos in priprava LiDAR podatkov

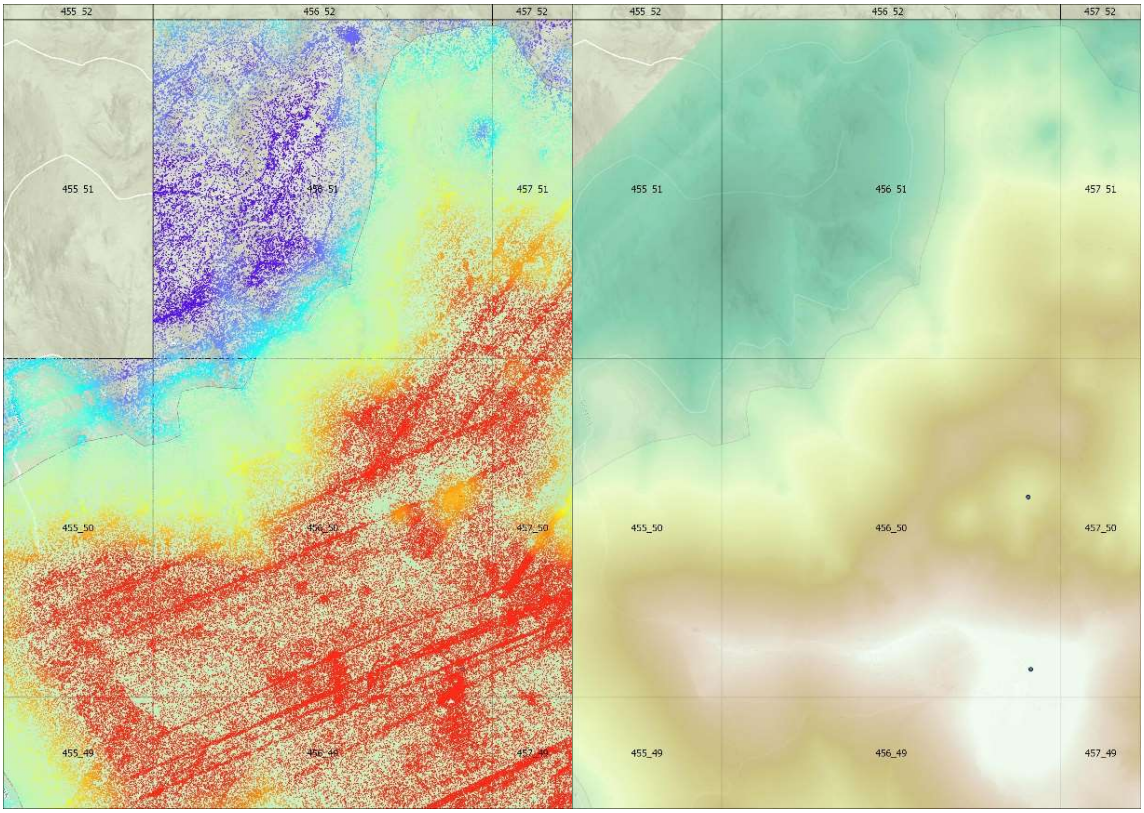
V prvem koraku pripravimo LiDAR podatke za območje naravnega rezervata Snežnik-Ždrocle. S spletnega pregledovalnika eVode (ARSO) prenesemo mrežo listov. To storimo tako, da v pregledovalniku vklopimo sloj *Lidar podatki po listih v projekciji D96TM (1km^2)* in kliknemo na poljubni list, nato pa v izbirnem oknu izberemo možnost *Mreža listov za celo Slovenijo (D96TM)*. V programu ArcGIS Pro nato mrežo listov primerjamo s poligonom naravnega rezervata Snežnik-Ždrocle. Na podlagi preseka vidimo, da je poligon naravnega rezervata Snežnik-Ždrocle na območju 17 različnih listov (slika 46).





Slika 46: Presek mreže listov za LiDAR podatke in poligona naravnega rezervata Snežnik-Ždrocle (zgoraj) ter lokacij rastišč Scopolijevega repnjaka na območju Gorskega kotarja oziroma narodnega parka Risnjak (spodaj).

V naslednjem koraku preko istega pregledovalnika za vseh 17 izbranih listov prenesemo LiDAR podatke v obliki oblaka točk reliefa (*Prenos podatkov OTR (D96TM) ZLAS format*). Preneseni podatki so shranjeni v obliki zapisa zLAS, ki je stisnjena oblika originalnega načina zapisa (LAS).
Podatke v obliki zLAS moramo torej pretvoriti v obliko LAS (slika 40), kar lahko storimo v programu ArcGIS Pro z orodjem *Convert LAS* (z izbrano možnostjo *Batch*, ki omogoča, da sočasno pretvorimo več datotek). V orodje vnesemo vhodne datoteke zLAS, izberemo izhodno mapo, določimo imena izhodnih datotek in koordinatni sistem (D96). Ostale nastavitve ohranimo kot privzete.
Nato z orodjem *Create LAS Dataset* ustvarimo zbirko podatkov LAS, kar pomeni, da LAS datoteke posameznih listov združimo v skupno datoteko. V orodje vnesemo vhodne LAS podatke, izberemo izhodno mapo, določimo ime izhodne datoteke (*LAS Dataset*) in koordinatni sistem (D96).
V zadnjem koraku z orodjem *LAS Dataset to Raster* ustvarimo raster (slika 47) na podlagi vrednosti na katere se sklicuje podatkovni niz LAS. V orodje vnesemo vhodno zbirko podatkov LAS, izberemo izhodno mapo, določimo ime izhodne datoteke in določimo vrednost vzorčenja 1 (angleško *Sampling value*), kar pomeni, da bo imel izhodni raster (v našem primeru digitalni model reliefa, DMR) velikost celice 1 m × 1 m. Ostale nastavitve ohranimo kot privzete.



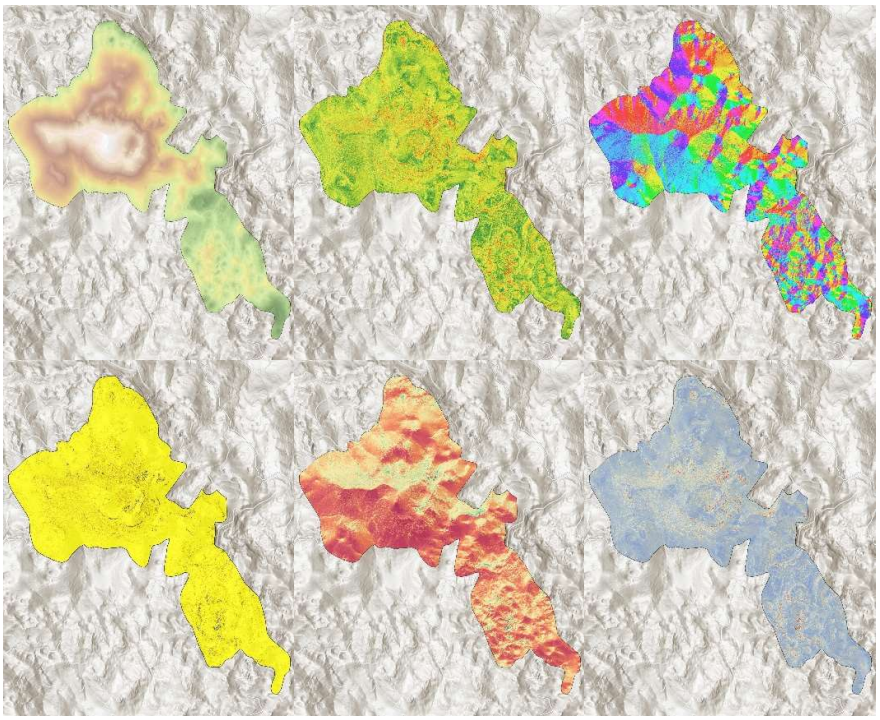
Slika 47: LiDAR podatki v obliki oblaka točk reliefa (LAS) (levo) in digitalnega modela reliefa v zapisu tif (desno).

LiDAR podatke za Hrvaško naročimo preko formularja, dostopnega na spletni strani DGU. Kot omenjeno, najprej zaprosimo za mrežo listov. Na podlagi preseka lokacij rastišč Scopolijevega repnjaka in mreže listov identificiramo, katere liste potrebujemo (slika 47). Nato ponovno izpolnimo formular in za identificirane liste naročimo LiDAR podatke v obliki DMR (z ločljivostjo 1 m × 1 m v zapisu tif po posameznih listih). Ker so prejeti podatki že v obliki DMR (tif), jih ne potrebujemo nadalje pretvarjati. Ker pa so podatki ločeni po posameznih listih, jih združimo v enoten raster z orodjem *Mosaic To New Raster*.
V zadnjem koraku, z namenom hitrejše obdelave, združimo v enoten raster (orodje *Mosaic To New Raster*) še DMR za območje Slovenije in Hrvaške. Pred združevanjem pa moramo biti pozorni na koordinatne sisteme oziroma projekcije. DMR za Slovenijo je v koordinatnem sistemu D96TM, za Hrvaško pa v HTRS96. Zato pred združevanjem DMR-jev v enoten raster uporabimo orodje *Project Raster*, ki omogoča transformacijo v enoten koordinatni sistem.

3.1.3.2 Korak 2: analiza abiotskih značilnosti rastišč Scopolijevega repnjaka

Sedaj, ko so LiDAR podatki pripravljeni, se lahko lotimo analize abiotskih značilnosti rastišč Scopolijevega repnjaka. Na podlagi DMR izračunamo naklon, usmerjenost, topografski pozicijski indeks, osončenost in indeks razgibanosti površja (slika 48) ter vsaki lokaciji rastišča pripišemo vrednosti vseh izračunanih slojev.
Podatek o **nadmorski višini** pridobimo neposredno iz DMR-ja, saj DMR temelji na podatkih o nadmorskih višinah. S pomočjo orodja *Slope* izračunamo **naklon površja** v stopinjah. Z orodjem *Aspect* izračunamo **usmerjenost površja**. Usmerjenost je izražena v pozitivnih stopinjah od 0 do 360 in je merjena v smeri urinega kazalca od severa proti severu, torej v polnem krogu. Celicam, ki so v vhodnem rastru ravne (naklon = 0^o), je pripisana vrednost -1. Sloj usmerjenosti z orodjem *Reclassify* kategoriziramo v sledeče razrede: ravnina (-1), sever (0–22,5^o in 337,5–360^o) je 1, severovzhod (22,5–67,5^o) je 2, vzhod (67,5–112,5^o) je 3, jugovzhod (112,5–157,5^o) je 4, jug (157,5–202,5^o) je 5, jugozahod

(202,5–247,5°) je 6, zahod (247,5–292,5°) je 7, severozahod (292,5–337,5°) je 8. Za izračun **topografskega pozicijskega indeksa** (angleško *Topographic Position Index*, TPI) uporabimo istoimensko orodje. Sloj TPI kategoriziramo v sledeče razrede: dolina/depresija (≤ -1), ravnina/spodnje pobočje (-1–-0,5), srednje pobočje (-0,5–0,5), zgornje pobočje (0,5–1), greben (≥ 1) (Weiss 2001). Za analizo izberemo računanje v obliki krožnega premikajočega se okna (angleško *Circle*) ter 10 metrski radij analize sosedstva. Manjši kot je radij iskanja, bolj so izstopajoče mikroreliefne oblike, večji kot je radij iskanja, bolj so rezultati posplošeni in izstopajoče makroreliefne oblike (Weiss 2001). Z orodjem *Raster Solar Radiation* izračunamo **vhodno sončevo obsevanje oziroma osončenost**. Osončenost se izračuna kot količina prejete energije sončevega sevanja na enoto površine v določenem časovnem obdobju (v našem primeru za celo leto) in se meri v enotah kilovatnih ur na kvadratni meter (kWh/m^2). Izračunamo še **indeks razgibanosti površja** (angleško *Terrain Ruggedness Index*, TRI) na podlagi istoimenskega orodja. Indeks izračuna spremembo višine med celico in osmimi sosednjimi celicami ter vsaki celici dodeli novo vrednost. Indeks razgibanosti površja predstavlja objektiven prikaz in nam pove, kakšno je relativno razporejanje nadmorskih višin oziroma topografska heterogenost (Riley s sodelavci 1999).



Slika 48: Primeri slojev a) nadmorske višine, b) naklona, c) usmerjenosti, d) topografskega pozicijskega indeksa, e) osončenosti in f) indeksa razgibanosti površja na območju naravnega rezervata Snežnik-Ždrocle.

V naslednjem koraku lokacijam rastišč pripišemo vrednosti posameznih izračunanih slojev. To naredimo z orodjem *Extract Multivalues to Points*. Kot vhodni točkovni sloj vstavimo lokacije rastišč Scopolijevega repnjaka, kot vhodne rastrske sloje pa vstavimo vse izračunane rastrske sloje in določimo ime izhodnega polja (angleško *Output field name*).
Vrednosti slojev so sedaj pripisane vsaki lokaciji in jih lahko pregledamo v atributivni tabeli točkovnega sloja rastišč Scopolijevega repnjaka. Iz podatkov v atributivni tabeli ugotovimo kakšne so abiotske značilnosti rastišč (preglednica 2).

Preglednica 2: Razpon vrednosti oziroma kategorije nadmorske višine, naklona, usmerjenosti, topografskega pozicijskega indeksa, osončenosti in indeksa razgibanosti površja za vsa rastišča Scopolijevega repnjaka.

sloj	**razpon vrednosti oziroma kategorije**
nadmorska višina	1020,56–1771,45 m
naklon	4,33–39,34°
usmerjenost	S (1), SV (2), V (3), JV (4), J (5), JZ (6), Z (7), SZ (8)
topografski pozicijski indeks (TPI)	srednje pobočje (3), zgornje pobočje (4)
osončenost	573,91–1240,24 kWh/m^2
razgibanost	0,37–2,12

3.1.3.3 Korak 3: priprava zemljevida potencialno primernih rastišč na podlagi analiziranih abiotskih značilnostih

Na podlagi abiotskih značilnosti rastišč Scopolijevega repnjaka, ki smo jih pridobili v preteklem koraku, pripravimo še zemljevid območij potencialno primernih rastišč. Z orodjem *Raster Calculator* določimo območja z enakimi oziroma podobnimi abiotskimi značilnostmi kot jih imajo obstoječa rastišča. V orodje vnesemo spodnjo enačbo oziroma izraz z uporabo funkcije *Con*, ki preverja, ali posamezne celice v vhodnih rastrih izpolnjujejo določene pogoje. Če celica ustreza vsem kriterijem, dobi vrednost 1, sicer pa ji je pripisana vrednost *NoData*. Pogoji vključujejo nadmorsko višino (oznaka: nmv) med 1020,56 in 1771,45 m, naklon med 4,33° in 39,34°, usmerjenost z vrednostmi 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 in 8 topografski pozicijski indeks (TPI) z vrednostjo 3 ali 4, osončenost med 573,91 in 1240,24 kWh/m^2, ter razgibanost (TRI) med 0,37 in 2,12.
Končni rezultat je rastrski sloj, kjer so celice, ki ustrezajo vsem kriterijem, označene z 1, ostale pa imajo vrednost *NoData* (slika 49).

Con(("nmv" >= 1020.56) & ("nmv" <= 1771.45) & ("naklon" >= 4.33) & ("naklon" <= 39.34) & (("usmerjenost" == 1) | ("usmerjenost" == 2) | ("usmerjenost" == 3) | ("usmerjenost" == 4) | ("usmerjenost" == 5) | ("usmerjenost" == 6) | ("usmerjenost" == 7) | ("usmerjenost" == 8)) & (("TPI" == 3) | ("TPI" == 4)) & ("osoncenost" >= 573.91) & ("osoncenost" <= 1240.24) & ("TRI" >= 0.37) & ("TRI" <= 2.12), 1)



Slika 49: Zemljevid potencialno primernih rastišč na podlagi analiziranih abiotskih značilnostih.

3.1.3.4 Zaključek oziroma nadaljevanje opravila

V postopek določanja značilnosti rastišč in potencialnih primernih rastišč lahko vključimo še več različnih značilnosti, ki potencialno vplivajo na uspevanje Scopolijevega repnjaka. To so na primer podatki o podnebnih (temperatura, padavine), pedoloških (tip prsti, topografski indeks vlažnosti), geoloških (tip kamnin) ali vegetacijskih značilnosti (raba zemljišč oziroma vegetacijski tipi). Prav tako, pa bi bilo smiselno, da za bolj natančne in kompleksne analize določanja potencialnih rastišč uporabimo primerne napredne metode s področja modeliranja razširjenosti vrst (angleško *Species distribution modelling*, SDM), kot je na primer metoda Maxent (Phillips s sodelavci 2006). Na podlagi

uporabe metod SDM lahko pridobimo tudi informacije o tem, katere značilnosti najbolj vplivajo na razširjenost vrste in to tudi upoštevamo pri pripravi smernic za varovanje in upravljanje vrste.
Vsekakor pa nam splošna logična analiza pogojev, kot smo jo prikazali v našem primeru, lahko služi kot orientacijska podlaga za popis preučevane rastlinske vrste ter za splošno identifikacijo rastiščnih pogojev.

3.1.4 Možnost uporabe programov

Za doseg rezultatov se lahko uporabijo programi:

- ArcGIS Pro (ESRI),
- QGIS (QGIS Project),
- SAGA GIS,
- RStudio, R,
- Maxent.

3.1.5 Viri in literatura

- Phillips, S. J., Anderson, R. P., Schapire, R. E. 2006: Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecological Modelling 190-3,4. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026
- Riley, S. J., DeGloria, S. D., Elliot, R., 1999: A terrain ruggedness index that quantifies topographic heterogeneity. Intermountain journal of sciences 5-1,4.
- Weiss, A. D. 2001: Topographic position and landforms analysis. Poster, Esri User Conference. San Diego.

3.2 PRIMER 2: PRIMER UPORABE PODATKOV ROČNEGA LASERSKEGA SKENIRANJA ZA ANALIZO RELIEFA IN VEGETACIJE

3.2.1 Opis aktivnosti

V gozdnem rezervatu se je pojavila potreba po evidenci in dolgoročnem spremljanju drevesih vrst v kraških vrtačah. V ta namen želimo pridobiti podatke o številu in natančni lokaciji obstoječih drevesnih vrst znotraj te kraške reliefne oblike. Za pilotni primer izberemo vrtačo v kateri uspevajo listavci in iglavci. Rastišče v kotanji pokriva območje v velikosti približno 1000 m² in se nahaja na težko dostopnem delno skalovitem kraškem območju, kjer se med drevesi prepletajo škraplje in skale.
Za potrebe upravljanja in varstva gozdnega habitata ter drevesnih vrst je treba izdelati zemljevid razporeditve drevesnih vrst, katerih prsni premer na višini 1,3 m od tal je vsaj 10 cm.

3.2.2 Izhodišča primera

Za izdelavo zemljevida lahko uporabimo tridimenzionalno (v nadaljevanju 3D) lasersko skeniranje, bodisi zračno, terestrično ali ročno. Ker gre za manjše lokalno območje in ker metodologija temelji na določanju prsnega obsega dreves, uporabimo 3D lasersko skeniranje z ročnim laserskim skenerjem. Za natančno kartiranje gozdnih sestojev je zelo uporabna tehnika terestričnega laserskega skeniranja (TLS), še posebej 3D terestričnega laserskega skeniranja, kjer je rezultat oblak točk, ki predstavlja vse objekte v vidnem polju skenerja. Gre za tehnologijo, ki se zelo hitro razvija in omogoča vedno nove in natančnejše prostorske analize. Mobilni 3D laserski skenerji vključujejo samodejno združevanje točk med premikanjem po prostoru. En sam laserski posnetek med premikanjem operaterja zabeleži na milijone meritev v vseh treh dimenzijah, ki jih sodobni mobilni skener sam združi v 3D oblak točk, izdela trajektorije (pot snemanja) in ustvari notranji koordinatni sistem. S pridobitvijo oblaka točk ustvarimo 3D model, ki ga lahko po naknadni obdelavi uporabimo za podrobno preslikavo v realnih, visoko natančnih koordinatah in za različne raziskave.
V nadaljevanju predstavljamo primer uporabe, ki vključuje:

- zajem podatkov na terenu, kjer je potrebno območje prehoditi ter pripraviti oslonilne točke,
- obdelavo 3D oblaka točk, ki vključuje georeferenciranje, določitev drevesnih debel na prsni višini v različnih programih,

- izdelavo zemljevida razporeditve drevesnih vrst s pomočjo obarvanega 3D oblaka točk in panoramskih fotografij.

3.2.2.1 Uporabljeni podatkovni viri

V pričujočem primeru pridobimo vse potrebne podatke na terenu s pomočjo lastnega ročnega 3D laserskega skenerja in sprejemnika GNSS, zato že pripravljenih podatkov raznih podatkovnih virov ne potrebujemo. Urediti moramo naročnino na signal RTK, ki nam omogoča natančno lociranje in ročno beleženje oslonilnih točk z sprejemnikom GNSS. Signal RTK na območju Slovenije poleg komercialnih ponudnikov zagotavlja Geodetska uprava Republike Slovenije, na Hrvaškem pa Državna geodetska uprava.

3.2.2.2 Uporabljena orodja

Za doseg rezultatov uporabimo:

- ročni 3D laserski skener Leica BLK2GO,
- sprejemnik GNSS Leica FLX100 plus s togim grezilom ter računalniško tablico s programom Leica Zeno Mobile One,
- licenčni program Leica Cyclone Register 360,
- licenčni program Leica Cyclone 3DR,
- licenčni program Global Maper.

3.2.3 Opis uporabe GIS-ov pri reševanju primera

3.2.3.1 Korak 1: Zajem podatkov na terenu

Pred terenskim skeniranjem poskrbimo, da je roči skener ustrezno pripravljen (na primer odpravimo morebitne mehanske okvare in posodobimo programsko opremo). Preverimo vremensko napoved saj skeniranje ni možno v dežju in pri temperaturah nižjih od 4°C. Pomembno je, da se s pomočjo obstoječih prostorskih podatkov seznanimo z območjem skeniranja in ga po potrebi obiščemo že pred samim delom. Kadar to ni možno, se pripravimo s pomočjo kabinetnega pregleda obstoječih podatkov, kot so digitalni modeli reliefa ali ortofoti. Pred izvedbo skeniranja pripravimo načrt prehoda, ki ga bo operater prehodil na terenu.

Na terenu razpostavimo oslonilne točke, ki so lahko v obliki tarč ali navadnih lesenih količkov, ki jim obarvamo zgodnji del, da so lažje razpoznavni pri zaslonskem georeferenciranju, ki pozneje sledi terenskemu delu pri obdelavi podatkov. Tarčam s pomočjo sprejemnika GNSS (globalni navigacijski satelitski sistem) določimo koordinate z natančnostjo nekaj centimetrov. V našem primeru uporabimo sprejemnik Leica Zeno (slika 50) in program Zeno Mobile. Oslonilne točke so nujne pri umeščanju 3D oblakov točk v ustrezen koordinatni sistem in za primerjavo z ostalimi prostorskimi podatki obravnavanega območja. Tem točkam odmerimo točen položaj v želenem koordinatnem sistemu (v Sloveniji je v uporabi državni koordinatni sistem D96/TM, na Hrvaškem HTRS96/TM). V istem koordinatnem sistemu pozneje tudi pripravimo 3D model reliefa z razporeditvijo drevesnih vrst oziroma natančno karto drevesnih vrst.

Sledi **lasersko skeniranje**. V našem primeru (preglednica 3) uporabimo ročni 3D laserski skener Leica BLK2GO (slika 51). Gre za majhen dvoosni lidar (angleško *dual axis lidar dome*) z natančnostjo 20 mm, zaprt v popolnoma zaščiteni kupoli. Hitrost laserskega skeniranja znaša 420.000 točk na sekundo. Doseg laserskega žarka znaša 0,5 do 25 m in deluje z valovno dolžino 830 nm. Kot vertikalnega in horizontalnega vidnega polja sistema zajema laserskega skeniranja je 360° oziroma 270°. BLK2GO vključuje sistem vizualizacije z več kamerami (angleško *multicamera vision system*), ki ga sestavljajo vgrajena kamera z 12 M slikovnih pik za visoko-kontrastne posnetke in tri dodatne panoramske kamere za vizualizacijo in navigacijo SLAM (angleško *simultaneous localization and mapping*), za barvanje oblakov točk in zajem panoramskih posnetkov. Z uporabo treh kalibriranih panoramskih kamer algoritem za slikovno podporo samodejno sproti ustvarja panoramsko fotografijo (300° × 135°). Ta sistem kamer se uporablja tudi v sklopu sistema VIS (angleško *visual inertial system*) in za obarvanje

oblaka točk. GRAND-SLAM je kombinacija visoko-hitrostnega dvoosnega lidarja, večkamernega vidnega sistema in inercialne merilne enote, ki omogoča BLK2GO samodejno orientacijo brez zunanjega sistema za pozicioniranje. Natančna kamera omogoča zajem detajlne fotografije ločljivosti 12 M slikovnih pik v vidnem polju 90° x 120°. Fotografija je zajeta medtem, ko GRAND-SLAM nemoteno deluje (BLK2GO nemoteno skenira okolico in uporablja VIS sistem). BLK2GO ima lasten notranji pomnilnik, ki omogoča 6 ur skeniranja pri čemer 1 baterija podpira približno 45 minut skeniranja.



Slika 50: Meritev oslonilnih točk s sprejemnikom GNSS. Fotografija: MATEJA BREG VALJAVEC



Slika 51: Ročni 3D laserski skener Leica BLK2GO. Fotografija: MATEJA BREG VALJAVEC

Ker gre za reliefno zelo razgibane kotanje, ki so pogosto na posameznih odsekih težko prehodne, vnaprejšnja natančna določitev poti skeniranja ni vedno možna in zato operater prilagaja trajektorijo skeniranja tako prehodnosti terena kakor gostoti gozda med samim zajemom. Celotno območje vrtače sistematično zajamemo v tridimenzionalni oblak točk. Med skeniranjem zajemamo obliko in barvo objektov, podatki pa se beležijo v posamezni točki v oblaku točk. Z vidika zagotavljanja uspešnosti skeniranja in čim večje pokritosti prostora, se skeniranje začne v dnu vrtače, blizu centra in nadaljuje spiralno po pobočjih do samega roba kotanje, nato pa se operater vrne po več ali manj isti poti spiralno nazaj do izhodiščne točke. S tem zagotovi dvakratno pokritost območja in 3D zajem objektov iz različnih smeri. Slednje je še posebej pomembno pri zajemu drevesnih debel, da zagotovimo popolno obliko debla za nadaljnje avtomatsko določanje debel.



Slika 52: Operater med laserskim skeniranjem. Fotografija: ŠPELA ČONČ

Med skeniranjem se je treba izogibati drevesnim vejam, saj je priporočena razdalja od skenerja do okoliških objektov vsaj 0,5 m za zagotavljanje uspešnosti. Laserski žarek lahko zmoti tudi premočna neposredna sončna svetloba, zato skener ni najbolj ustrezen za zajem travniških habitatov. Pomembno je, da so v okolici v dometu 25 m višji objekti, ki jih uporablja algoritem GRAND-SLAM za orientacijo in izgradnjo samodejne trajektorije. Skener ni primeren za vodne površine, saj slednje povzročajo premočan odboj in šum.

Preglednica 3: Podatki zajema 3D oblaka točk z ročnim 3D laserskim skenerjem.

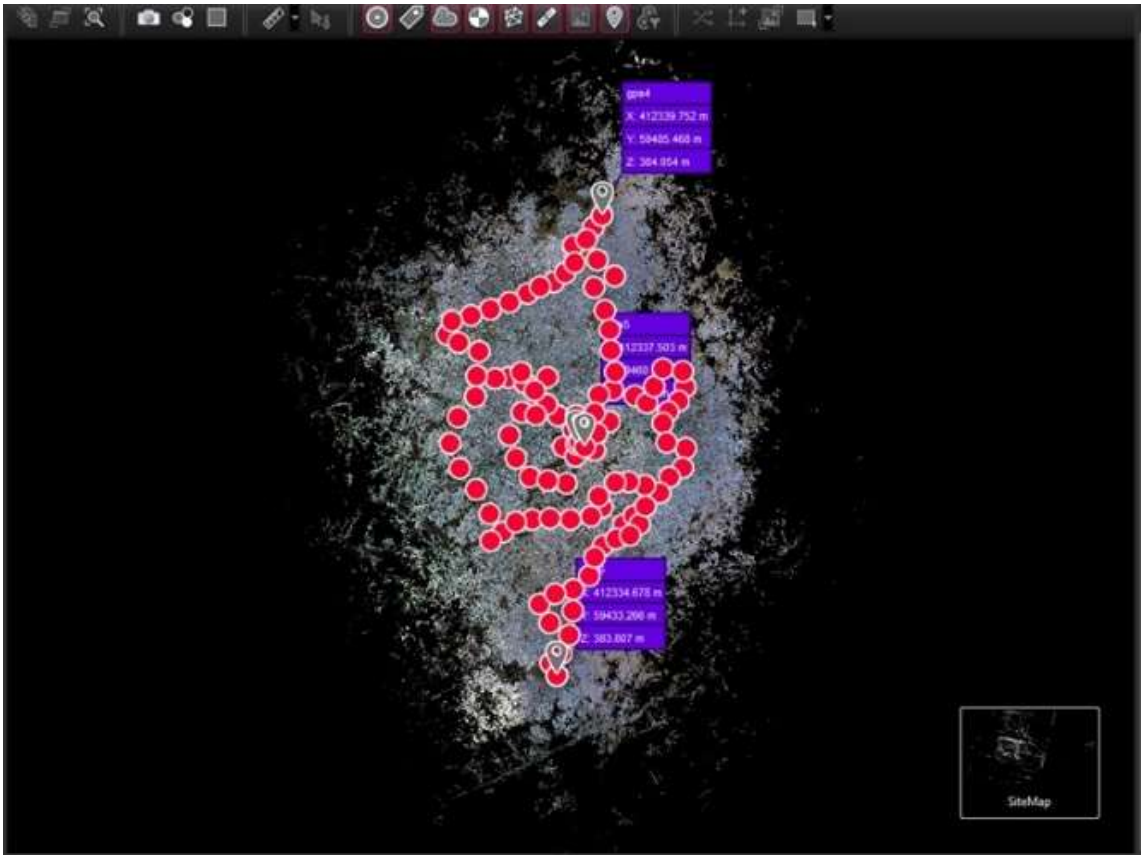
tip skenerja	Leica BLK2GO
število skenogramov (oblakov točk)	1
trajanje skeniranja	15 min
ločljivost	22 mm
število oslonilnih točk	3

3.2.3.2 Korak 2: Prenos podatkov in obdelava 3D oblakov točk

Uvoz in obdelava surovih oblakov točk sta v našem primeru potekala v programu za obdelavo 3D oblakov točk Leica Cyclone Register 360. Georeferenciranje oblaka točk izvedemo na podlagi koordinat iz GNSS in označenih oslonilnih točk v obliki količkov (sliki 53 in 54).

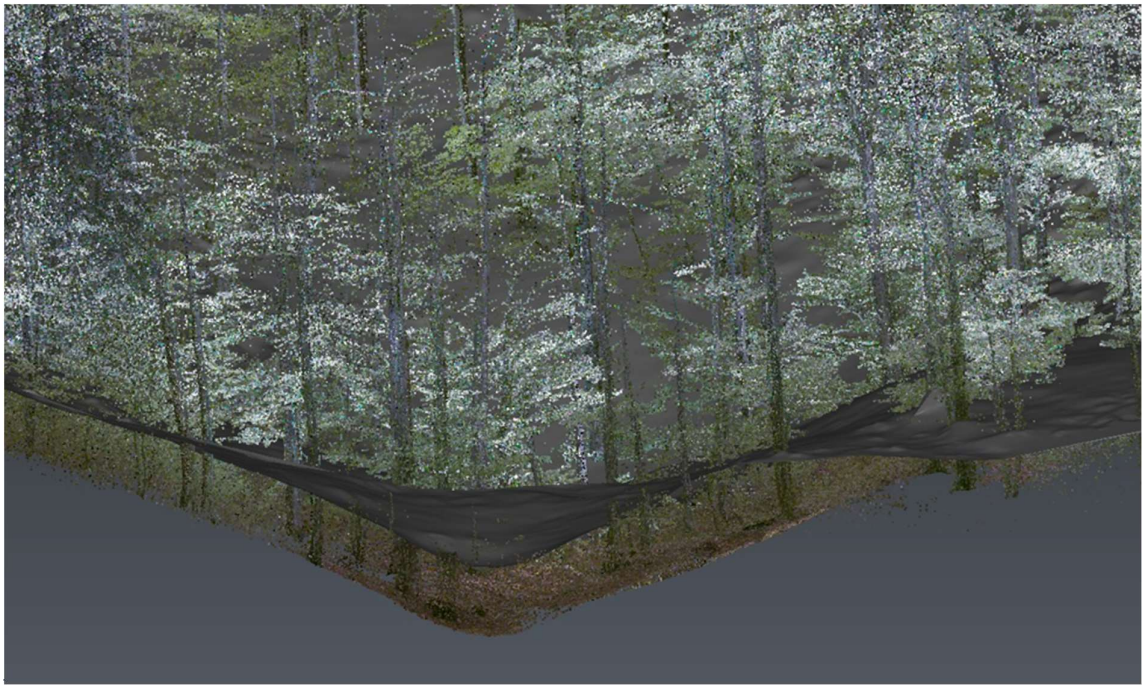


Slika 53: Surov oblak točk vrtače prikazan od strani, kjer razpoznamo reliefno kotanjo s skalami in drevesno vegetacijo. Označene so lokacije oslonilnih točk v dnu in na robu vrtače.

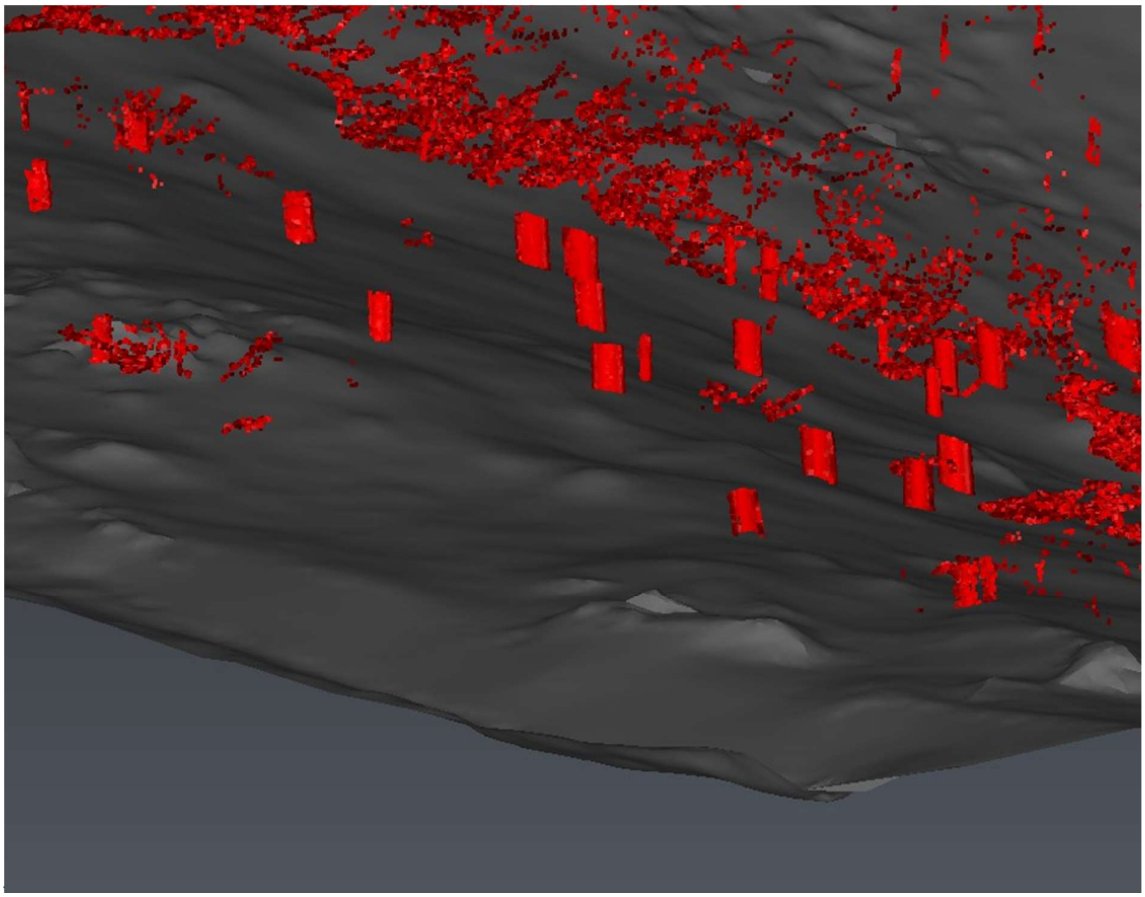


Slika 54: Pot (trajektorija), ki jo je prehodil operater med 3D laserskim skeniranjem, je označena z rdečimi točkami, ki so položene nad 3D oblak točk. V vijoličastih okvirih so prikazane koordinate treh oslonilnih točk za georeferenciranje. Prikaz je posnetek zaslona v programu Leica Cyclone Register 360.

Po georeferenciranju sledi izvoz podatkov v enem od standardnih formatov (na primer zapis LAS ali E57). Tako zapisan podatek odpremo v enem od programov za obdelavo 3D oblakov točk, v našem primeru v programu Global Mapper. Oblak točk ločimo na talne točke (angleško *ground points*) in na točke vegetacije ter tako pridobimo klasificiran oblak točk. Iz talnih točk izdelamo digitalni model reliefa (DMR), ki ga pozneje uporabimo kot podlago za zemljevid razporeditve dreves.
Oblak točk vegetacije je potrebno odrezati na prsni višini (1,3 m) (slika 55), kar naredimo v programu Cyclone 3DR tako, da iz oblaka točk vegetacije izberemo le 20 cm pas točk na prsni višini (+-10 cm oziroma oblak točk na višino 120–140 cm nad tlemi). Na podlagi tega sloja (slika 56) nato izberemo drevesa, ki imajo prsni premer nad 10 cm.



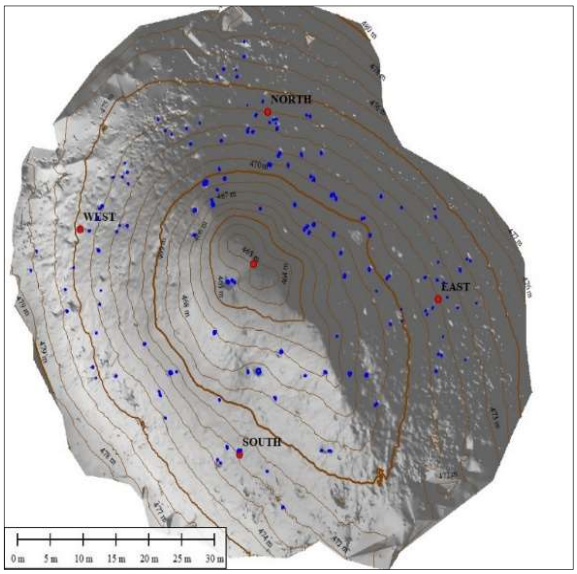
Slika 55: Umeten dvig reliefa na prsno višino 1,3 m.



Slika 56: Izbor 20 cm pasu vegetacije na višini 1,3 m od tal, ki nam služi za izbor debel s premerom nad 10 cm.

3.2.3.3 Korak 3: Izdelava zemljevida razporeditve dreves

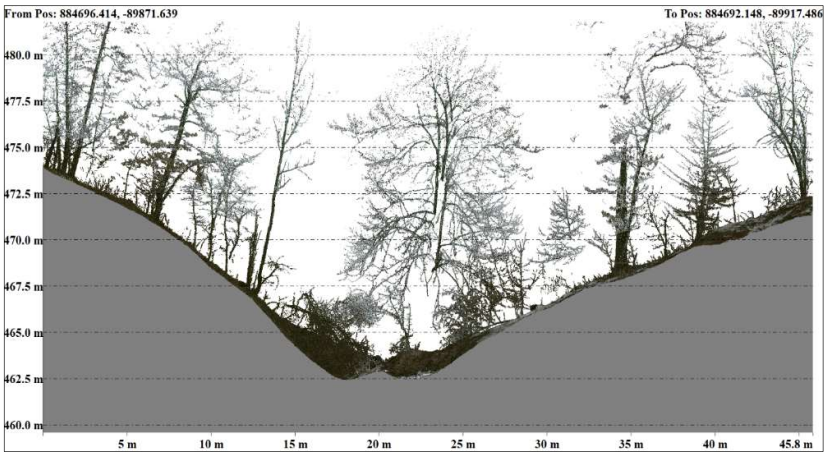
Na koncu pripravimo zemljevid razporeditve dreves, ki jo izdelamo v programu Global Mapper, lahko pa tudi v programu ESRI ArcGIS Pro ali odprtokodnem programu QGIS. Za podlago uporabimo senčen digitalni model reliefa preko katerega položimo vektorski sloj plastnic, da dobimo vpogled v nadmorsko višino in točke debel (slika 57), kjer predhodno odstranimo veje in debla s premerom pod 10 cm ali pa iz neprečiščenega sloja avtomatsko izločimo le debla (valje) in jih izvozimo kot samostojno datoteko.



Slika 57: Zemljevid razporeditve dreves, kjer je kot podlaga uporabljen digitalni model reliefa, z modro pa so označene lokacije dreves.

3.2.3.4 Zaključek oziroma nadaljevanje opravila

V nadaljevanju lahko zemljevid uporabimo bodisi za terensko kartiranje in natančno določanje drevesnih vrst na terenu, drevesne vrste pa lahko določimo tudi iz samega oblaka točk, ki ga vizualiziramo in analiziramo na različne načine. Najlažje to opravimo z vizualizacijo 3D oblaka točk v povezavi s panoramsko fotografijo območja že v programu Leica Cylone Register 360. Na sliki 58 je prikazan primer preseka skozi oblak točk in digitalni model reliefa, kjer določimo drevesne vrste po obliki krošnje in višini dreves.



Slika 58: Dodatni kriterij za določanje drevesne vrste je lahko tudi oblika krošnje, ki jo prikažemo na prečnem profilu.

3.2.4 Možnost uporabe programov

- Leica Cyclone Register 360,
- Leica Cyclone 3DR,
- Global Maper,
- Cloud Compare,
- QGIS.

3.3 PRIMER UPORABE SATELITSKIH/LETALSKIH SLIK ZA SPREMLJANJE GOZDNIH POVRŠIN NA OBMOČJU MED ILIRSKO BISTRICO, SNEŽNIKOM IN REKO (HRVAŠKA)

3.3.1 Opis aktivnosti

Projektno skupino obmejnih občin v Sloveniji in na Hrvaškem zanima spreminjanje rabe zemljišč, predvsem spremembe gozdnih površin, v okolici Snežnika in Ilirske Bistrice v Sloveniji ter zaledja Reke na Hrvaškem. Ker za obdobje pred letom 2002 ni uradnih podatkov o dejanski rabi zemljišč, so se odločili, da bodo uporabili satelitske posnetke, s katerimi lahko spremljajo dejansko rabo zemljišč od leta 1972. Želja je, da bi naredili analizo sprememb rabe zemljišč od leta 1975 do leta 2025 v približno 10-letnih presledkih. Ker je ročno kartiranje rabe zemljišč na letalskih posnetkih zelo zamudno, bi za analizo uporabili satelitske posnetke. Odločili so se za večspektralne satelitske posnetke Landsat in Sentinel 2, da bi na njih izvedli nadzorovano klasifikacijo rabe zemljišč.
Obravnavano območje je veliko nekaj 10 kvadratnih kilometrov in se je v zadnjih 50 letih močno spreminjalo. Občine s tega območja zanima, na katerih območjih, v katerem časovnem obdobju in v kateri kategoriji rabe zemljišč je prišlo do največjih sprememb. S primerjavo rezultatov klasifikacij med posameznimi obdobji bomo določili območja, kjer je prišlo do največjih sprememb.

3.3.2 Izhodišča primera

Na podlagi želje občin je možno naloge razvrstiti v naslednje korake:

- izbira satelitskega sistema in primernih večspektralnih posnetkov za preučevana obdobja,
- izdelava učnih vzorcev za izbrane kategorije rabe zemljišč za vsak časovni presek,
- izdelava spektralnih podpisov na več spektralnih kanalih,
- izbira primerne metode nadzorovane klasifikacije,
- primerjava sprememb daljinsko zaznane rabe zemljišč med posameznimi časovnimi preseki.

3.3.2.1 Uporabljeni podatkovni viri

V praktičnem primeru uporabe satelitskih posnetkov, bomo vse potrebne podatke za klasifikacijo pridobili s spletnih straneh *Earth Explorer* ameriškega geološkega zavoda (angleško *United States Geological Survey*), *Copernicus* in *Atlasa okolja* (preglednica 5). Nekatera računalniški programi omogočajo, da želene satelitske slike prenesemo tudi znotraj samega programa, kar nam lahko poenostavi postopek pridobivanja. Pri prenosu podatkov moramo paziti, da uporabljamo satelitske slike, ki so posnete v enakem obdobju leta in v jasnem (brezoblačnem) vremenu.

Preglednica 5: Seznam podatkovnih virov

ime podatka	zapis	vir podatka	Leto	ločljivost
Landsat 1 – 8	raster	United states Geological Survey	2025	60 - 30 m
Sentinel 2	raster	Evropska vesoljska agencija Copernicus Data Space Environment	2025	10/20 m
Digitalni ortofoto	raster	Ministrstvo za naravne vire in prostor, Geodetska uprava RS	2024	0,5 m

3.3.2.2 Uporabljena orodja

Za doseg rezultatov smo uporabili:

- ESRI ArcGIS Pro 3.3.2,

- TerrSet liberaGIS.

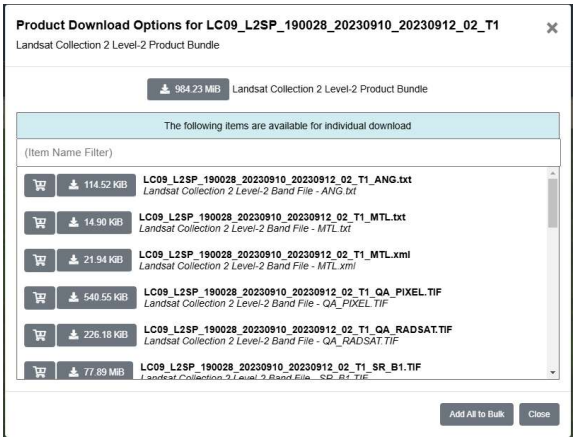
3.3.3 Opis uporabe GIS-ov pri spremljanju gozdnih površin v regijskem parku Snežnik

3.3.3.1 Pridobivanje satelitskih posnetkov s spleta

Za izdelavo analize rabe zemljišč za želena časovna obdobja najprej pridobimo primerne satelitske posnetke. Na voljo imamo srednje ločljivostne večspektralne posnetke, ki so na voljo brezplačno in visoko ločljivostne, ki jih je navadno treba plačati. Ker nas zanima daljše časovno obdobje, bomo za posnetke, ki so nastali pred letom 2015, uporabili podatke satelitskega sistema Landsat. Od vključno leta 2015 dalje pa bomo zaradi boljše prostorske ločljivosti uporabili podatke satelitov Sentinel-2. Za Landsat so podatki dostopni na spletni strani ameriškega geološkega zavoda *Earth explorer* ter spletni strani *Copernicus* za podatke Sentinel-2. V proučevanem obdobju je znotraj programa Landsat delovalo več satelitov (United States Geological … 2025). Uporabimo posnetke čim sodobnejšega sistema, ki je bil aktiven v posameznem časovnem preseku in ni imel napak pri zajemu podatkov. Novejši sateliti imajo enako prostorsko ločljivost, a so z vsako novejšo različico zajemali podatke na več spektralnih kanalih, kar nam izboljša rezultate klasifikacije. Satelitske posnetke moramo pred nadaljnjo uporabo obdelati, da odstranimo vplive ozračja na kakovost posnetka. Večinoma so na voljo že predpripravljeni posnetki, kjer so ti vplivi že odstranjeni. Za vsak časovni presek pridobimo satelitski posnetek, ki je bil posnet med majem in septembrom in na proučevanem območju ni prekrit z oblaki (slika 59). Prenesemo vse dostopne spektralne kanale (slika 60). Zimskih posnetkov ne moremo uporabiti zaradi neolistanega gozda in vpliva snega, ki prikrije različne rabe zemljišč.



Slika 59: Zaslonski prikaz primera izbire satelitskih posnetkov Landsat 9 na spletni strani Earth Explorer.



Slika 60: Primer prenosa dostopnih spektralnih kanalov satelitski posnetkov Landsat na spletni strani Earth Explorer.

3.3.3.2 Odločitev o kategorijah rabe zemljišč

Kategorije dejanske rabe zemljišč (ali tal) so se od leta 2002 ves čas dodajale in posodabljale, zato podatki med leti niso neposredno primerljivi (Klar 2016; Opis evidence rabe tal 2025. Prostorska ločljivost satelitskih posnetkov je z velikostjo celice 30 m × 30 m kot tudi 10 m × 10 m premajhna, da bi lahko zajeli vseh 25 kategorij dejanske rabe tal ali različne tipe zaraščanja. Uporabimo šest poenostavljenih kategorij, ki se pogosto uporabljajo v svetovni literaturi (Anderson s sodelavci 1976; Kamusoko in Aniya 2009; Büyüksalih 2016). To so:

- pozidane površine in gola zemljišča,
- kmetijske površine (njive),
- travniki,
- iglasti gozd,
- listnati gozd,
- voda.

Z uporabo teh kategorij rabe zemljišč lahko izdelamo dovolj učnih vzorcev za vsako kategorijo, da se bo model naučil razlikovati med njimi.

3.3.3.3 Izdelava učnih vzorcev in izdelava spektralnih podpisov

Satelitske slike lahko klasificiramo z uporabo različnih metod. V grobem lahko način klasifikacije razdelimo na dva dela: na nenadzorovane klasifikacije in nadzorovane klasifikacije. Pri nenadzorovani klasifikaciji program na podlagi podobnosti lastnosti satelitskih slik samodejno razdeli celice na posnetku v prednastavljeno število kategorij. Edini vpliv, ki ga imamo pri takšni vrsti klasifikacije, je, da določimo število kategorij. Druga vrsta klasifikacije pa je nadzorovana klasifikacija, kjer z izdelavo učnih vzorcev in spektralnih podpisov za vsako izmed izbranih kategorij rabe zemljišč program naučimo, kakšne lastnosti na posameznem spektralnem kanalu ima vsaka kategorija rabe zemljišč. Obstaja več vrst algoritmov nadzorovane klasifikacije, ki močno vplivajo na kakovost klasifikacije. V našem primeru uporabimo metodo *največje verjetnosti* (angleško *maximum likelihood*), ki je zelo pogosto v uporabi. Primer nadzorovane klasifikacije je tudi uporaba strojnega učenja, s katero ob uporabi kakovostnih učnih vzorcev dobimo zelo dobre rezultate, vendar je postopek dolgotrajen in zahteva veliko računske moči. Obstajajo tudi preprostejše metode, kot sta na primer paralelpipedna metoda in metoda najmanjše oddaljenosti, ki sta izračunani hitreje, a je njuna natančnost slabša.

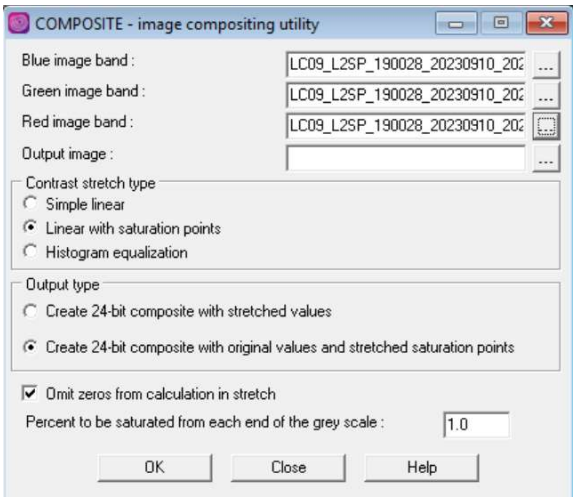
Celoten postopek klasifikacije slik izvedemo v programu TerrSet liberaGIS. Programsko okolje je zelo primerno za področje obdelave podatkov daljinskega zaznavanja in klasifikacijo satelitskih slik. V poglavju 3.1 smo izbrali satelitske slike, na katerih izvedemo klasifikacijo izbranih kategorij rabe zemljišč, ki smo jih določili v poglavju 3.2.

Za doseganje čim večje natančnosti v klasifikaciji in izboljšanja števila spektralnih kanalov na novejših satelitih moramo narediti učne vzorce za vsak časovni presek posebej. Najprej izdelamo kompozitno

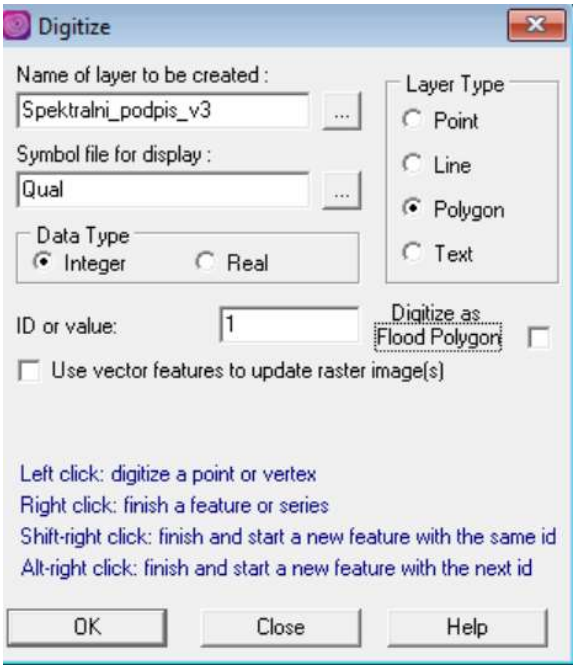
sliko v vidnem spektru, kar storimo s kombinacijo rdečega, zelenega in modrega spektralnega kanala z orodjem *Composite* (slika 61). Na tej sliki nato z orodjem *Digitize* označimo učne vzorce za posamezne kategorije rabe zemljišč (slika 62). Več kot označimo ustreznih učnih vzorcev, bolje se bo model naučil prepoznavati različne kategorije rabe zemljišč. Minimalno število celic, ki jih moramo zajeti za posamezno kategorijo, je 10-kratnik števila uporabljenih spektralnih kanalov. Učni vzorci morajo vsebovati zgolj kategorijo, ki jo označujemo (slika 63). Na označenih poligonih nato program z uporabo orodja *Makesig* (slika 64) izdela spektralne podpise za uporabljene spektralne kanale satelitskih posnetkov, kjer so vidne razlike v povprečnem odboju na posameznem kanalu (slika 65). Z uporabo orodja *Maximum likelihood classification* naredimo nadzorovano klasifikacijo izbranih spektralnih kanalov, ki je hitra, preprosta in po naših izkušnjah dovolj natančna. Od števila uporabljenih spektralnih kanalov in njihove valovne dolžine je odvisna uspešnost ločevanja med posameznimi rabami zemljišč. Pri vsakem časovnem preseku uporabimo vsaj štiri spektralne kanale, odvisno od starosti satelita (preglednica 6). Z zagonom tega orodja smo naredili klasifikacijo rabe zemljišč na izbranih spektralnih kanalih (slika 66).

Preglednica 6: Uporabljeni spektralni kanali za klasifikacijo glede na uporabljen satelitski sistem.

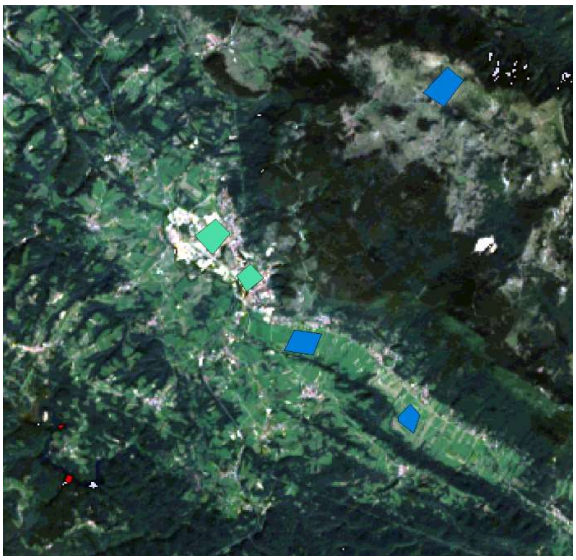
satelit	uporabljeni kanali	ločljivost	dostopna leta
Landsat 1–3	4, 5, 6, 7	60 m	1972–1983
Landsat 4–5	1, 2, 3, 4, 5, 7	30 m	1982–2013
Landsat 8–9	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9	30 m	2013–2025
Sentinel-2	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 8a, 11, 12	10–20 m	2015–2025



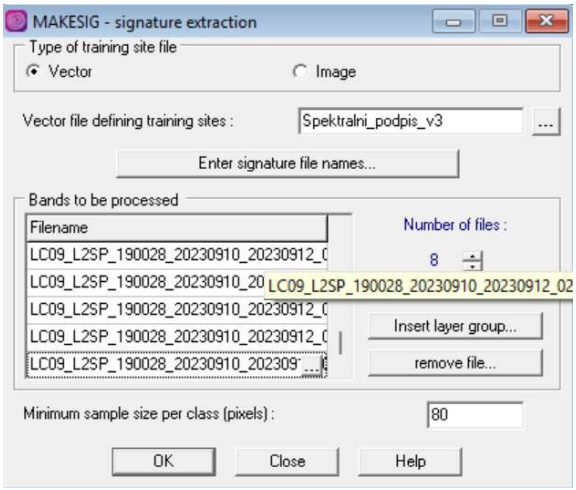
Slika 61: Izdelava kompozitne slike iz rdečega (angleško red – R), zelena (angleško green – G) in modrega (angleško blue – B) spektralnega kanala (RGB).



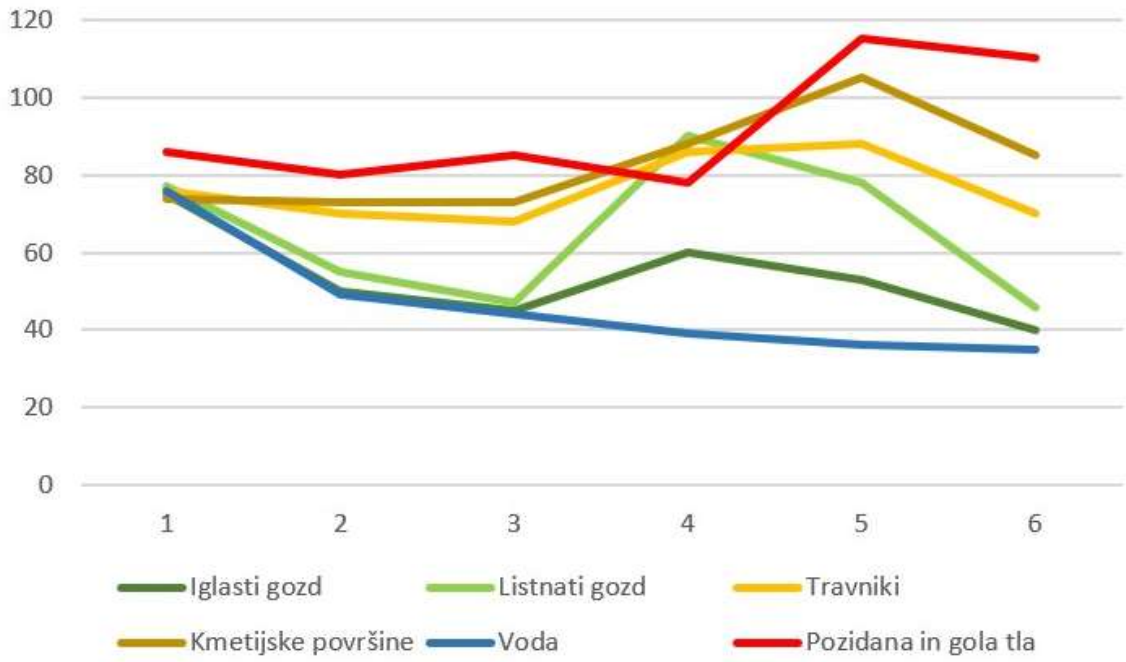
Slika 62: Nastavitve izdelave učnih vzorcev v programu TerrSet.



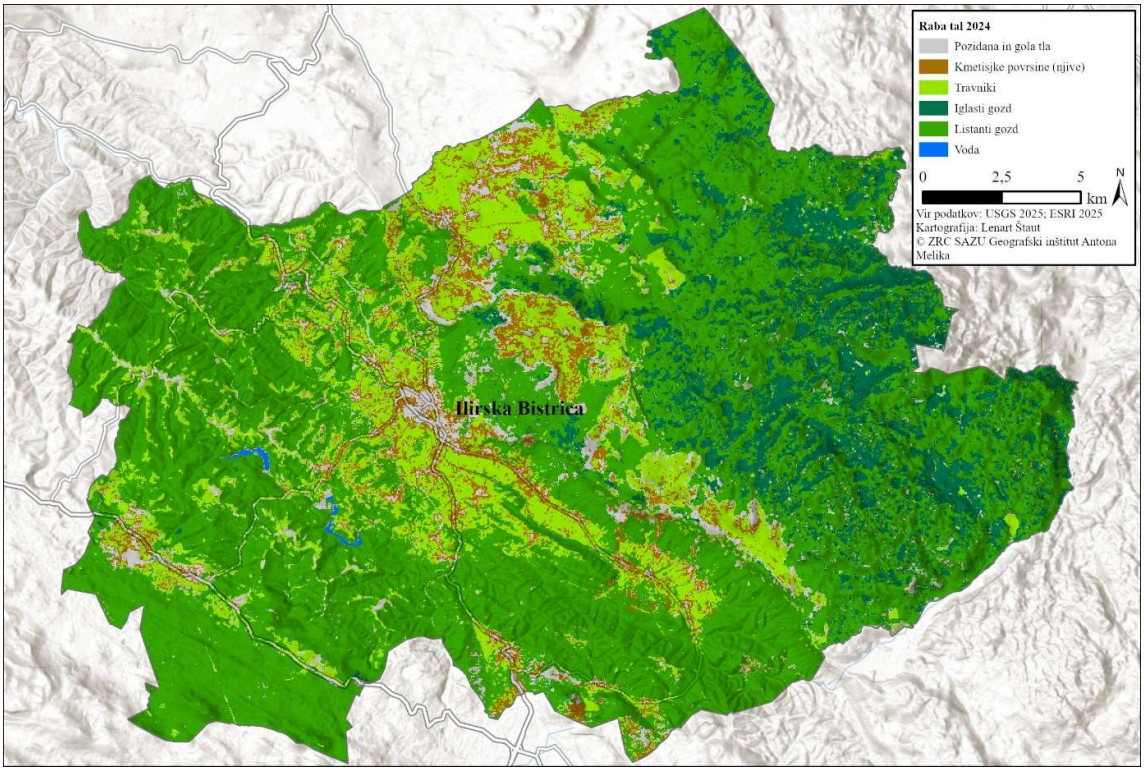
Slika 63: Primer označevanja učnih vzorcev (primero poznanih rab zemljišč).



Slika 64: Izdelava spektralnih podpisov v programu TerrSet.



Slika 65: Primer spektralnih podpisov učnih (testnih) vzorcev.

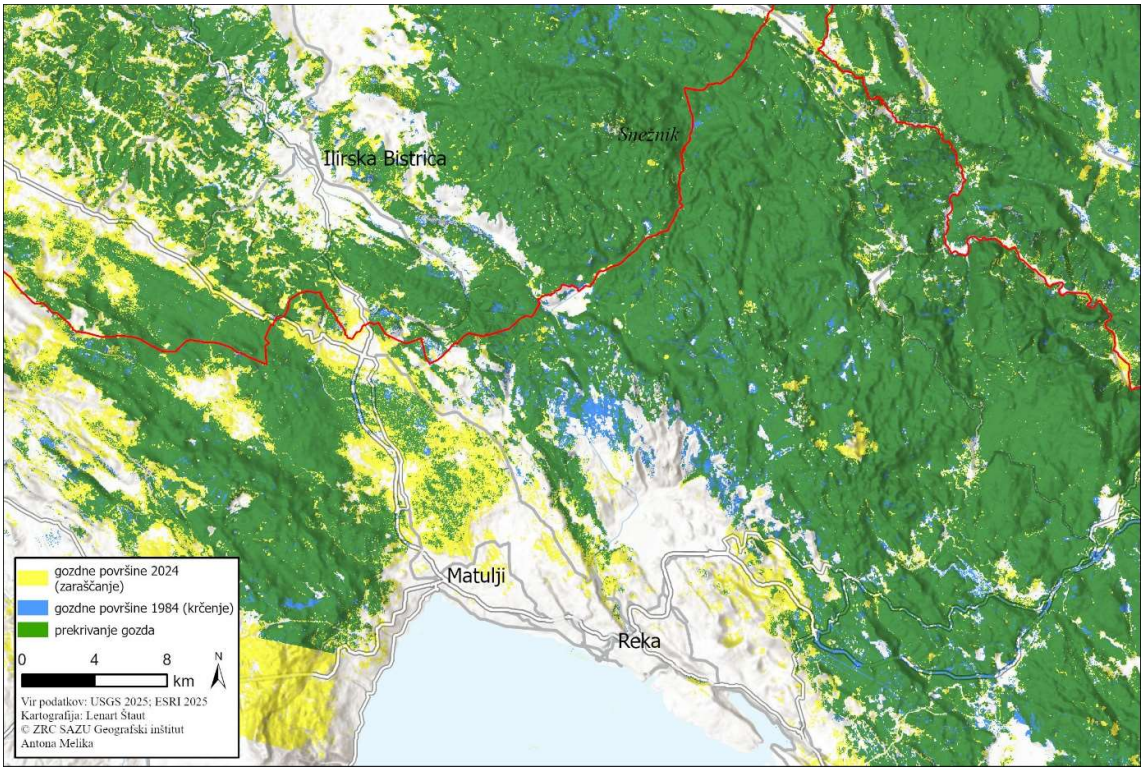


Slika 66: Rezultat klasifikacije Maximum Likelihood v programu TerrSet.

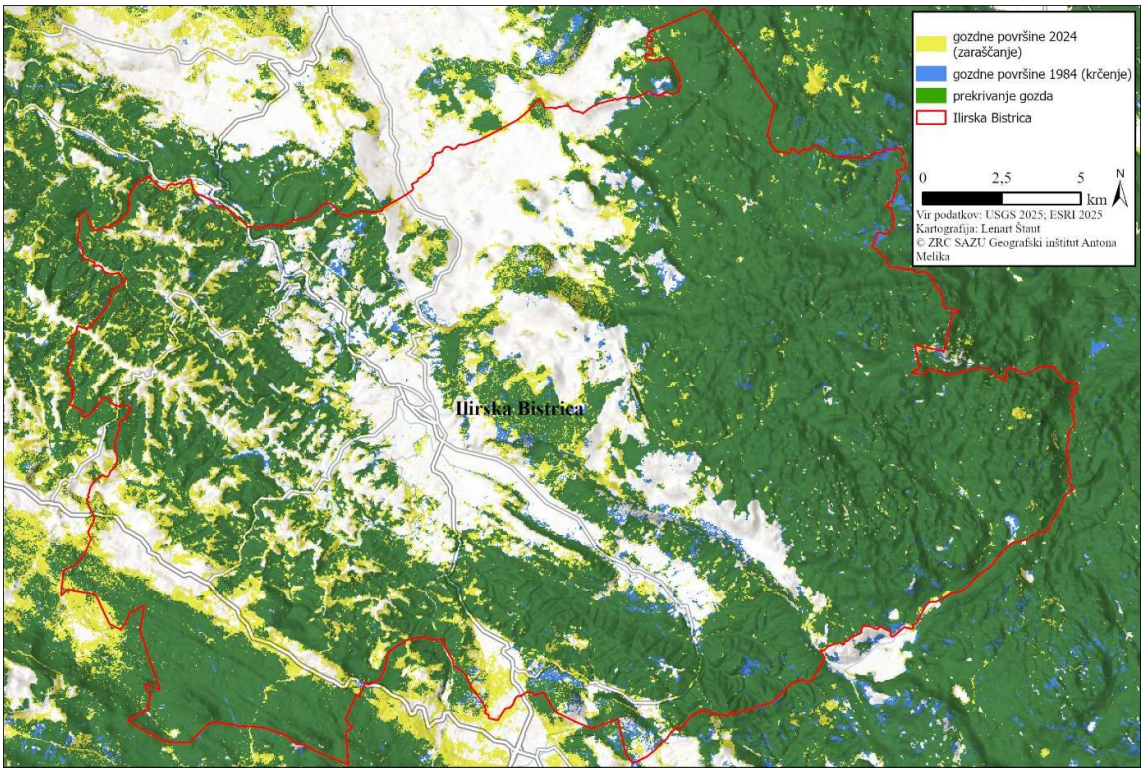
Postopek ponovimo za vsakega od izbranih časovnih presekov in uporabljenih satelitskih posnetkov, da dobimo šest časovnih presekov klasificirane rabe zemljišč. Učenje vzorcev in klasifikacijo vedno izvedemo na celotnem satelitskem posnetku, saj tako dobimo dovolj veliko število učnih vzorcev ter se izognemo vplivu roba slike na samo klasifikacijo. V našem primeru smo se omejili na območje okoli pogorja Snežnika.

3.3.3.5 Spremembe rabe zemljišč med leti in med prvim ter končnim datumom

Za izbranih šest časovnih presekov izdelamo klasifikacijo rabe zemljišč. Primerjavo daljinsko zaznanih oziroma klasificiranih rab zemljišč izvedemo v programu Arcgis PRO ali QGIS. Postopek je v obeh primerih zelo podoben. Klasificirane satelitske posnetke najprej obrežemo na proučevano območje, da skrajšamo čas izvajanja primerjalnih analiz. Podatke pretvorimo v vektorski zapis brez poenostavljanja poligonov, da čim bolj zmanjšamo možnost napake. Želeni primerjalni leti nato prekrijemo z orodjem *Intersect*. Najlažji postopek primerjanja je z uporabo atributivne preglednice. S primerjavo stolpcev rabe zemljišč začetnega in končnega primerjanega datuma vidimo, koliko ter kje so se spremenile rabe zemljišč. Pomagamo si lahko z izdelavo novega stolpca, kjer združimo imeni v prvem in končnem primerjalnem letu in vektorske podatke združimo na podlagi enakosti imen. Na ta način naredimo preglednico, kjer so prikazane skupne spremembe v vseh izbranih tipih rabe zemljišč. Kategorije lahko med seboj poljubno združujemo. Ločevanje iglastih od listnatih vrst je uporabno le pogojno, saj navadno dosežemo le okrog 50 % natančnost, medtem ko lahko pri ločevanju gozdnih od negozdnih površin pričakujemo veliko boljše rezultate z okrog 90 % natančnostjo (Štaut 2018), kar je dovolj dobro, da so ti rezultati uporabni za nadaljnjo uporabo (Anderson s sodelavci 1976). V prikazanem primeru smo združili listnati in iglasti gozd v kategorijo gozd, ostale kategorije pa smo odstranili. Na sliki 67 lahko vidimo, da so se gozdne površine v večini primerov povečale. Najbolj izrazito je to povečanje v okolici naselja Matulji in Matarskega podolja (jugozahodno od Ilirske Bistrice). Za razpredelničen prikaz smo uporabili primer občine Ilirska Bistrica (slika 68, preglednici 7 in 8). Vidimo lahko, da se je v 40 letih z gozdom zaraslo približno 40 km^2 površin.



Slika 67: Primerjava gozdnih površin med 1984 in 2024 za širše proučevano območje.



Slika 68: Primerjava gozdnih površin za območje občine Ilirska Bistrica.

Preglednica 7: Površine, prekrite z gozdom v letih 1984 in 2024 (km²) v občini Ilirska Bistrica.

stanje gozdnih zemljišč	površina (km²)
- 1984	314,3
- 2024	354,3
razlika	40,0

Preglednica 8: Dinamika spreminjanja poraščenosti z gozdom 1984–2024 (km²) v občini Ilirska Bistrica.

tip spremembe	površina (km²)
zaraščanje	52,8
krčenje	13,0
ni spremembe	301,4

3.3.4 MOŽNOST UPORABE PROGRAMOV

Za doseg rezultatov lahko uporabimo:

- geoinformacijska orodja za klasifikacijo ter obdelavo satelitskih posnetkov:
  - ESRI ArcGIS Pro 3.3.2,
  - TerrSet,
  - QGIS.
- spletna orodja za obdelavo satelitskih slik:
  - Google Earth engine.

3.3.5 Viri in literatura

- Anderson, J., R., Hardy, E., E., Roach, J., T., Witmer, R., E. 1976: A land use and land cover classification system for use with remote sensor data. Washington. Medmrežje: https://pubs.usgs.gov/pp/0964/report.pdf (17. 3. 2025)
- Büyüksalih, İ. 2016: Landsat Images Classification and Change Analysis of Land Cover/Use in Istanbul. International Journal of Environment and Geoinformatics 3-2. DOI: https://doi.org/10.30897/ijegeo.304484
- Kamusoko, C., Aniya, M. 2009: Hybrid classification of Landast data and GIS for land use/cover change analysis of the Bindura district, Zimbabwe. International Journal of Remote Sensing 30-1. DOI: http://dx.doi.org/10.1080/01431160802244268
- Klar, T. 2016: Preučevanje vpliva metodologije zajema dejanske rabe zemljišč na spreminjanje površin vrste rabe zemljišč med letoma 2002 in 2016 v Sloveniji. Diplomsko delo, Univerza v Ljubljani.
- Opis evidence rabe tal 2025. Medmrežje: https://rkg.gov.si/arhiv/RABA/RABA_Beri_me.pdf
- Štaut, L. 2018: Daljinsko zaznavanje izbranih drevesnih vrst z uporabo večspektralnih posnetkov Landsat in hiperspektralnih posnetkov Hyperion. Diplomsko delo, Univerza v Ljubljani.
- United states Geological Survey: Landsat missions 2025. Medmrežje: https://www.usgs.gov/landsat-missions

3.4 PRIMER UPORABE ARHIVSKIH VIROV PRI ANALIZI IN DOLOČANJU DREVESNE IN GOZDNE MEJE V PRETEKLOSTI

3.4.1 Opis aktivnosti

Za ugotavljanje trendov spreminjanja poraslosti zemljišč, dviganja ali spuščanja gozdne ter drevesne meje in rabe zemljišč na splošno, je poleg aktualnega stanja ključno poznavanje stanja v preteklosti. Med najpomembnejšimi viri za ugotavljanje stanja v preteklosti so stari zemljevidi. Ti praviloma niso bili izdelani namensko, izključno za obravnavano tematiko, zato moramo tovrstne vsebine iskati posredno. Najboljši vir so vojaški zemljevidi in zemljevidi namenjeni določanju višine katastrskega

dohodka. Najstarejši sistematični vir, iz katerega lahko izluščimo stanje naravne vegetacije, in je hkrati še zadostne natančnosti, je Prva vojaška izmera Habsburškega imperija, izdelana med letoma 1763 in 1768. Projektno območje je zajeto na zemljevidu *Inneröesterreich* (1784–1785). Sledi Druga vojaška izmera Habsburškega imperija, izdelana med letoma 1806 in 1869. Projektno območje pokrivajo zemljevidi *Küstenland* (1821–1824) (hrvaški del) ter *Illyrien* (1829–1835) (slovenski del). Slednja je za analize le deloma primerna. Natančnejši so zemljevidi, izdelani za davčne namene. Projektno območje v Sloveniji pokriva franciscejski kataster. Izdelan je bil med letoma 1818 in 1828 v merilu 1 : 2880. Katastrske občine na projektnem območju so bile izdelane v letih 1823 in 1826. Za projektno območje na Hrvaškem je bila katastrska izmera narejena pozneje, med letoma 1860 in 1862, in je z vidika naravne vegetacije manj natančna. Kartografski vir, ki nam lahko koristi pri analizi stanja sredi 20. stoletja, so letalski posnetki zavezniških sil, ki jih hrani arhiv na Škotskem. Posneti so bili leta 1944, vendar na obravnavanem področju pokrivajo le manjše območje. Prvi digitalni ortofoto posnetki bili posneti v 60-tih let 20. stoletja, vendar so zaradi slabe resolucije neuporabni. Nekoliko boljši so novejši posnetki.
Sodobna raba zemljišč je na evropski ravni dostopna v vektorski podatkovni bazi CORINE *Land Cover* (https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover). Na ravni posameznih držav so dostopne natančnejše baze. V Sloveniji se takšna baza imenuje Evidenca dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč. Vzdržuje jo Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano.

3.4.2 Izhodišča primera

Naloga izvajalca s področja geografije je na podlagi želje naročnika mogoče razvrstiti v naslednje okvirne sklope:

- digitalizacija kartografskega vira (skeniranje),
- georeferenciranje kartografskega vira,
- digitalizacija rabe zemljišč,
- priprava protokola za določitev trenda.

3.4.2.1 Uporabljeni podatkovni viri

V pričujočem primeru bomo vse potrebne podatke za stanje v preteklosti pridobili na podlagi arhivskih virov, za aktualno stanje pa bomo uporabili Evidenco dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč, ki je digitalna baza.

3.4.2.2 Uporabljena orodja

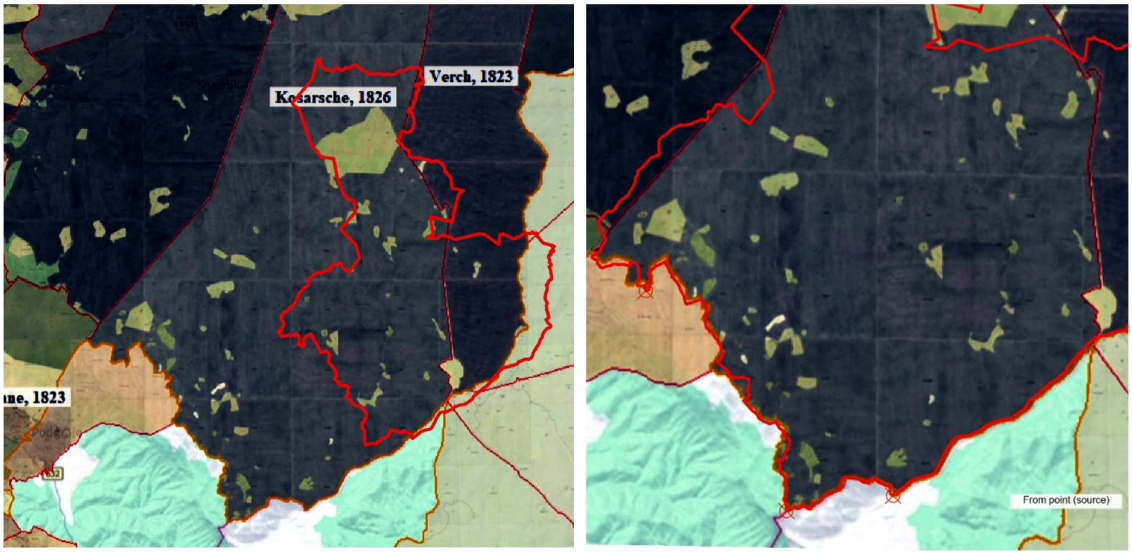
Za doseg rezultatov smo uporabili:

- program ESRI ArcGIS Pro 3.4.

3.4.3 Opis uporabe GIS-ov pri reševanju primera

3.4.3.1 Korak 1: digitalizacija zemljevida in georeferenciranje

Prvi korak je namenjen pripravi podatkov v digitalnem okolju, ki odslikavajo začetno stanje (bodisi vrste poraščenosti, bodisi drevesne ali katere druge vegetacijske meje). Najprej moramo digitalizirati (skenirati) ustrezen zemljevid. Sledi georeferenciranje tega zemljevida. Georeferenciranje je postopek, s katerim primarno analogen zemljevid umestimo v sodoben koordinatni sistem. Pri tem postopku zaradi različnih razlogov lahko pride do določenega popačenja primarno analognega zemljevida.
Nekateri stari zemljevidi so že digitalizirani in georeferencirani, zato lahko prvi korak preskočimo. Nekateri od teh zemljevidov, ki so na spletu prosto dostopni, pa ne omogočajo uvoza v lokalna geoinformacijska okolja. Takšne zemljevide moramo ponovno digitalizirati in georeferencirati. Namesto digitalizacije v tem koraku lahko zemljevid prenesemo s funkcijo *zajem zaslona* in ga potem georeferenciramo.
Kot referenčni objekt pri georeferenciranju se kot najboljše izkažejo meje katastrskih občin, posamezne ceste, cerkve, reke in podobno (slika 69).

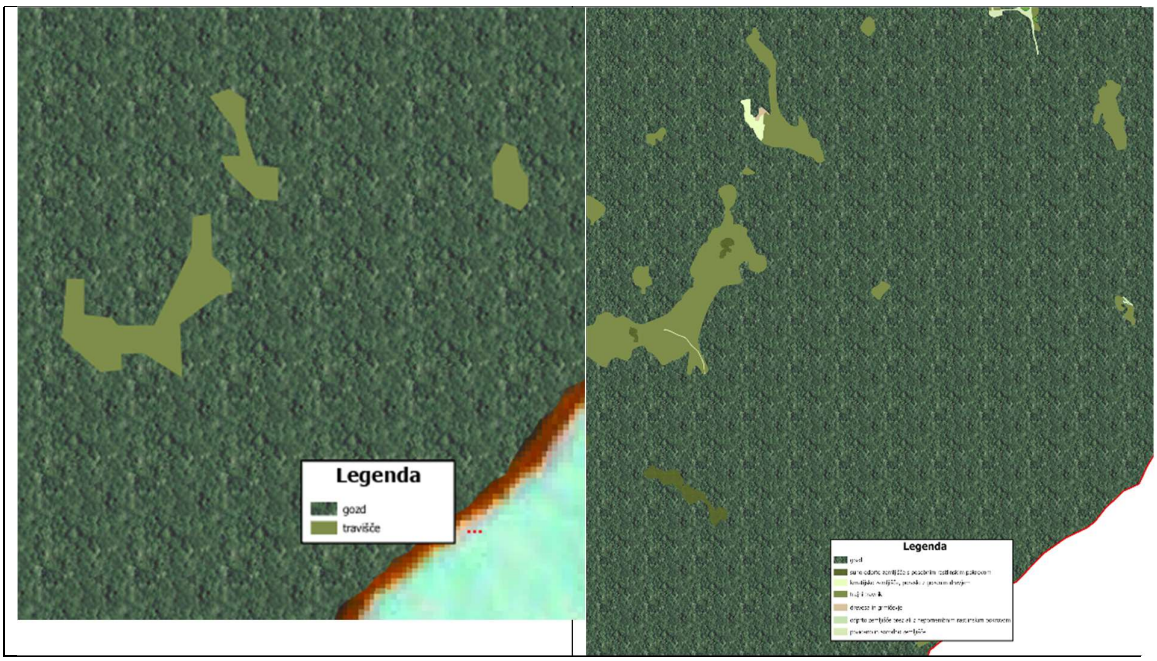


Slika 69: vektorski sloj meje katastrske občine (KO) in rastrski sloj rabe zemljišč v franciscejskem katastru pred georeferenciranjem (levo) in po georeferenciranju (desno).

3.4.3.2 Korak 2: digitalizacija rabe zemljišč

Po opravljeni digitalizaciji (skeniranju) in georeferenciranju lahko pričnemo z digitalizacijo rabe zemljišč. Ustvarimo nov vektorski sloj v katerem bomo ustvarili poligonalni tip objektov. Teoretično lahko digitalizacijo z ustreznimi geoinformacijskimi orodji opravimo samodejno, a je slednja uporabna le v primeru, če je izvirnik res kakovostno izdelan in je bilo skeniranje opravljeno v zelo visoki ločljivosti. V nasprotnem primeru je napak preveč.

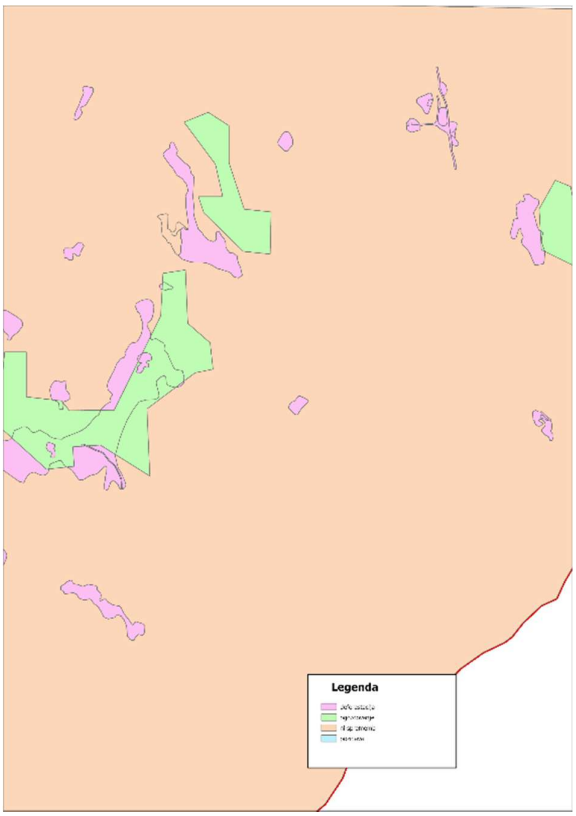
Vsakemu tipu rabe v atributni preglednici pripišemo številčno vrednost, ki je lahko poljubna. Določimo jo na podlagi preliminarne presoje izvornega vira (slika 70). Rezultat dela je vektorski sloj s tipi rabe zemljišč oziroma poraslosti tal v določenem obdobju. Ker bomo za primerjavo s sodobnim stanjem uporabili digitalno podatkovno bazo s tipizirano rabo zemljišč, ki je že georeferencirana, tega koraka ni treba izvesti.



Slika 70: Digitalizacija rabe zemljišč – levo stanje na franciscejskem katastru, desno je sodobna raba.

3.4.3.3. Korak 3: ugotavljanje trenda s pomočjo GIS

Ugotavljanje trenda sprememb bomo izvedli s pomočjo programske opreme ArcGIS Pro. Vektorska sloja s poligoni, ki jih primerjamo, prekrijemo s funkcijo *Intersect*. Rezultat je nov vektorski sloj s poligoni, ki imajo v atributni preglednici vrednosti obeh slojev, na podlagi katerih ugotovimo razmerje med primerjanima vektorskima slojema. S funkcijo *Dissolve* spojimo poligone z enakimi vrednostmi. Ker je sodobna raba umeščena v več tipov kot nekdanja raba, moramo novo nastalim poligonom določiti tip spremembe. Ta nam pove ali se je površina gozda povečala, zmanjšala ali ostala nespremenjena (slika 71).



Slika 71: Trend spremembe poraslosti zemljišč.

3.4.3.4 Zaključek oziroma nadaljevanje opravila

Za ugotovitev glede spreminjanja gozdne oziroma drevesne meje v vertikalni smeri moramo uporabiti še sloj s podatki o nadmorski višini. Na podlagi tega podatka lahko ugotovimo, ali se je drevesna oziroma gozdna meja znižala ali zvišala.

3.4.4 Možnost uporabe programov

Za doseg rezultatov lahko uporabimo na primer:

- programa za digitalizacijo in kartografijo:
  - ArcGIS Pro (ESRI),
  - QGIS (QGIS Project).

3.5 PROUČEVANJE PROSTORSKIH IN ČASOVNIH RAZLIK RASTIŠČNIH POGOJEV Z MERILCI NA RELIEFNEM PROFILU SKOZI VRTAČO/MRAZIŠČE NA SNEŽNIKU

3.5.1 Opis aktivnosti

V okviru projekta transPlant (Interreg Slovenija-Hrvaška) želimo izvesti namestitev merilcev (angleško *data logger*) za spremljanje abiotskih dejavnikov in rastiščnih pogojev izbrane rastlinske vrste v 100 m globoki ledeniško preoblikovani vrtači na Snežniku z namenom določitve primernih območij za preselitev ogrožene rastlinske vrste. Ključni parametri za spremljanje rastiščnih pogojev, ki jih zaznavajo nameščeni merilci, so temperatura zraka, vlažnost zraka in temperature rosišča. Meteorološke meritve želimo dopolniti tudi s podatki o lokalnih značilnostih reliefa in vegetacije. Lokacije merilnih mest morajo biti izbrane tako, da bodo kar najbolj odsevale lokalne razmere rastiščnih pogojev.

3.5.2 Izhodišča primera

Z vidika uporabnika GIS naloga vključuje več pomembnih korakov, ki meritvam dodajajo reliefne in vegetacijske podatke merilnih mestih iz različnih virov. Naša naloga je ovrednotiti lokacije merilnih mest na osnovi znanih podatkov (relief, vegetacija) z uporabo geoinformacijskih orodij. Za ustrezno postavitev merilcev moramo namreč najprej določiti, kje bodo nameščeni in upoštevati topografske lastnosti terena, kot so naklon pobočja in dostopnost kakor vse prisotne rastlinske združbe v vrtači.

3.5.2.1 Uporabljeni podatkovni viri

Pri tem uporabimo različne vrste prostorskih podatkov, kot so:

- topografski zemljevidi 1 : 25.000: za analizo reliefa terena,
- digitalni model reliefa lidar (1m × 1m) za bolj natančno analizo vrtač in okolice ga prikažemo kot senčen relief (angleško *hillshade*) ali s tehniko deleža vidnega neba (angleško *Sky View Factor*) (slika 72),
- satelitske slike in ortofoto posnetki za pregled terena in prepoznavanje specifičnih rastlinskih združb.

3.5.2.2 Uporabljena orodja

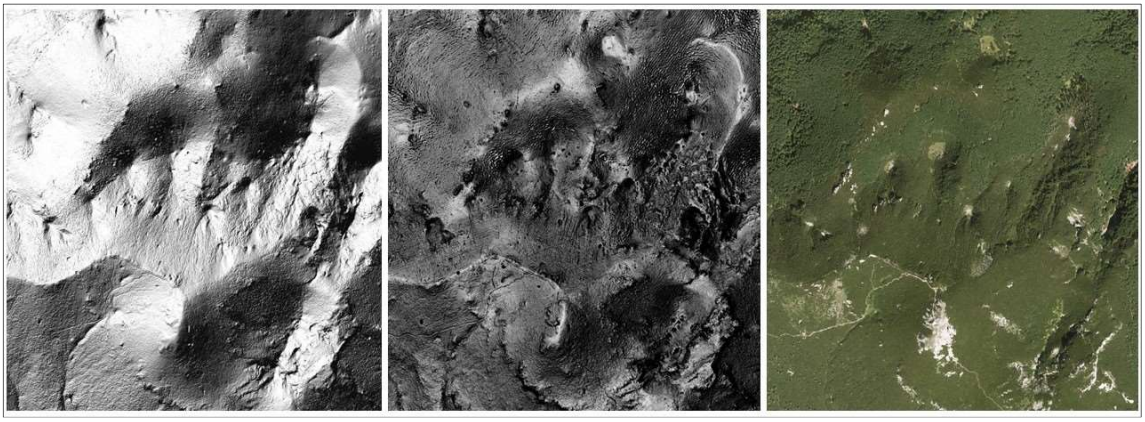
Pri izvajanju te naloge uporabimo različna geoinformacijska orodja, kot so:

- Google Earth za delitev podatkov (kmz, kml) med sodelujočimi,
- ESRI ArcGIS Pro 3.3 za vizualizacijo območja (relief in pokrovnost zemljišč) in analizo geografske porazdelitve merilcev,
- ArcGIS Online za sodelovanje in izmenjavo podatkov med različnimi sodelujočimi,
- MS Office Excel za obdelavo in analizo zbranih podatkov.

3.5.3 Opis uporabe GIS-ov pri reševanju primera

3.5.3.1 Korak 1: Predhodna analiza terena

Pred začetkom namestitve merilcev uvozimo v ArcGIS Pro ortofoto posnetke območja Snežnika skupaj z digitalnim modelom reliefa (DMR) v ločljivosti 1 m × 1 m (slika 72) in jih prekrijemo z rastlinskimi združbami, ki so že bile določene na podlagi predhodnih terenskih popisov. Želimo, da so merilci postavljeni v različnih rastlinskih združbah, kar omogoča boljšo analizo rastiščnih pogojev v tem specifičnem območju. Natančen digitalni model reliefa omogoča, da prepoznamo morebitne težko dostopne predele že pred terenskim delom.



Slika 72: Prikaz topografije istega območja vrtač na senčenem reliefu (levo) in s pomočjo tehnike deleža vidnega neba (sredina) ter pokrovnosti zemljišč na ortofoto posnetku.

3.5.3.2 Korak 2: Namestitev merilcev in določitev natančne lokacije

Znotraj predhodno določenih združb najdemo ustrezne lokacije in postavimo 10 merilcev, katerih naloga je dolgoročno spremljati rastiščne pogoje od dna vrtače do vrha pobočij. Merilci so nameščeni na različnih lokacijah, ki predstavljajo različne združbe rastlin, in sicer so razporejeni od vrha južnega pobočja proti dnu ter nato navzgor proti vrhu severnega pobočja. Lokacije so predstavljene v preglednici 9.

Preglednica 9: Primer osnovnih podatkov o lokacijah merilcev glede na rastlinske združbe. V preglednico v GIS-u dodamo reliefne spremenljivke (po stolpcih) ter tekom izvajanja monitoringa dodajamo meritve iz merilnih postaj (merilcev).

koda	številka merilca	združba
KD01	547	*Polysticho - Fagetum*
KD02	736	meja med *Polysticho - Fagetum in Lonicero - Piceetum*
KD03	551	*Lonicero - Piceetum*
KD04	752	*Deschampsietum*
KD05	734	*Drepanoclado uncinati-Heliospermetum pusillii*
KD06	550	*Derepanoclado -Pino - Sphagnetum*
KD07	751	*Lonicero caeruleae - Piceetum*
KD08	553	*Drepanoclado uncinati-Heliospermetum pusillii*
KD09	749	prehod med *Lonicero - Piceetum in Polysticho - Fagetum*
KD10	755	*Polysticho - Fagetum*

Merilce postavimo v lesena bela ohišja, po vzoru tradicionalnih meteoroloških hišk, in jih pritrdimo na lesene količke na višini 30 cm nad tlemi (slika 73). To višino smo izbrali, ker je najbolj relevantna za nizko vegetacijo (zeliščna plast), ki jo spremljamo. Merilci beležijo podatke vsakih 60 minut in bodo merili najmanj 2 leti, da zajamemo podatke za vsaj dve vegetacijski obdobji, saj se pogoji na vrhu Snežnika močno spreminjajo z letnimi časi. Prenos podatkov iz merilcev na telefon poteka preko povezave bluetooth.



Slika 73: Nameščanje merilnih postaj (meteorološke hišice) na količke v vrtači. Fotografija: MATEJA BREG VALJAVEC

Na terenu nato z uporabo naprave GNSS določimo natančne koordinate lokacije vsakega merilca. Koordinate beležimo in jih shranimo v podatkovno preglednico za nadaljnjo analizo in vizualizacijo rezultatov.

3.5.3.3 Korak 3: Podatkovna baza in prostorska analiza podatkov stacionarnega monitoringa

Podatke iz merilcev prenesemo na računalnik in jih lahko obdelamo z vrsto statističnih in geoinormacijskih programov (Excel, ArcGIS Pro, QGIS). V Excelu organiziramo časovne serije podatkov za vsako od merjenih spremenljivk (temperatura, vlažnost, temperatura rosišča) in izpeljanih spremenljivk iz DMR ter jih pripravimo za nadaljnje prostorske analize v GIS-u. Poleg terensko zajetih podatkov lahko v geoinformacijskih programih točkam pripišemo podatke iz obstoječih slojev, kot je recimo zemljevid habitatnih tipov (glej poglavje 2.1) in dodamo podatke kot atribut “tip habitata” (na primer s prostorsko operacijo *Intersect* ali *Spatial Join* med točkami in poligonskim slojem vegetacijskega zemljevida). Prav tako v GIS-u vsakemu merilcu pripišemo v preglednico različne podatke o legi in topografiji, ki jih izračunamo iz natančnega digitalnega modela reliefa, kot je DMR lidar 1 m × 1 m. Najpogosteje izračunamo spremenljivke, kot so: naklon, ekspozicija, osončenost, razgibanost in reliefna vlažnost.

Podatke lahko ponovno izvozimo iz geoinformacijskega programa v preglednico (uporabno v Excel, SPSS, R ali drug statistični program) ali pa kar znotraj okolja GIS uporabimo orodja za geostatistiko. Rezultat analize so lahko preglednice ali grafikoni, ki jasno pokažejo, ali določena združba ustvarja specifične mikroklimatske pogoje.

Ena od prvih GIS nalog, ki sledi pri prostorski analizi podatkov s Snežnika pa je izdelava prostorskih modelov (zemljevidov) temperature in vlažnosti na podlagi točkovnih meritev z merilnih postaj. Ker postaje zajemajo podatke le na omejenem številu lokacij, mi pa želimo rastrski sloj, ki prikazuje pojav na celotnem obravnavanem območju, uporabimo interpolacijo, da ocenimo vrednosti tudi na območjih brez neposrednih meritev. Na podlagi modeliranja poiščemo območja s podobnimi topografskimi in vegetacijskimi značilnostmi, kot so na lokacijah merilnih postaj in jim priredimo podobne temperature, za vmesna območja pa izvedemo prostorsko interpolacijo. Na ta način dobimo zvezno temperaturno karto in karto vlažnosti širšega območja Snežnika.

V praksi sta pogosti dve interpolacijski metodi: interpolacija z inverzno uteženimi razdaljami (angleško *Inverse Distance Weighting,* IDW) in kriging. Metoda *IDW* je deterministična metoda, ki predpostavlja, da sta si bližnji točki po vrednosti bolj podobni kot oddaljeni. Vrednost neznane lokacije oceni kot uteženo povprečje podatkov bližnjih merilnih postaj, pri čemer so uteži obratno sorazmerne z razdaljo – bližje točke imajo večji vpliv (Benmoshe 2025; Palomino in Martín 1995). *Kriging* pa je geostatistična interpolacijska metoda, ki poleg razdalje upošteva še prostorsko korelacijo med podatki. Na osnovi variogramov (funkcij, ki opisujejo kako podobnost meritev upada z razdaljo) izračuna uteži za posamezne meritve in tako oceni najbolj verjetno vrednost na neizmerjenih lokacijah (Samanta s sodelavci 2021; Wang s sodelavci 2017). V primeru prostorskega modeliranja temperature na Snežniku nam kriging poda bolj realističen prikaz mikroklimatskih razlik, še posebej če so merilne postaje gosto posejane ali če vključimo dodatne vplive (na primer nadmorsko višino). V primerih ko je merilnih postaj malo ali so neenakomerno razporejene, uporabimo metodo IDW kot enostavnejšo alternativo. *S pomočjo geoinformacijskih orodij* v ArcGIS Pro (na primer *Spatial Analyst* ali *Geostatistical Analyst*) izvedemo interpolacijo. Rezultat je rastrski sloj – zemljevid, ki prikazuje porazdelitev temperature in vlažnosti po območju. Za Snežnik lahko tako izdelamo zemljevid, ki na primer poudari hladnejša območja (kot so doline/vrtače ali senčna pobočja) in toplejša območja (prisojna pobočja, jase in podobno). S takšnim prostorskim modelom lahko lažje razumemo temperaturno heterogenost okolja, načrtujemo nadaljnje raziskave ali sprejemamo upravljavske odločitve (na primer pri varstvu habitatov in vrst).

3.5.3.4 Korak 4: Primerjava temperatur in vlažnosti med rastlinskimi združbami

Na Snežniku postavljene merilne postaje z merilci pokrivajo različne rastlinske združbe (preglednica 9). Zelo pomembno je ugotoviti, kako se mikroklimatske razmere razlikujejo med temi rastišči. Podatkovno bazo mikroklimatskih meritev povežemo s terenskimi podatki vegetacije iz fitopopisa, ki ga opravimo z enkratnim popisom v vegetacijski dobi na ploskvi okrog merilne postaje. V GIS-u vsaki merilni postaji pripišemo, na območju katere rastlinske združbe je locirana in katere rastlinske vrste so v njej prisotne. S tem podatke skupinsko analiziramo glede na tip združbe. Postopek vključuje statistično obdelavo podatkov za vsako združbo posebej; izračunamo povprečja, minimalne in maksimalne vrednosti, standardne odklone ali druge kazalce. Nato primerjamo povprečne temperature merilnih postaj v gozdu (bukovem, smrekovem) in na odprtih površinah (travišče, melišče).

3.5.3.5 Korak 5: Analiza časovnih serij in trendov

Poleg prostorske analize je pri stacionarnem monitoringu ključnega pomena tudi časovna analiza – kako se meritve spreminjajo skozi čas. Vsaka merilna postaja na Snežniku zabeleži niz vrednosti (na primer temperature) skozi daljše obdobje, kar tvori časovno serijo (angleško *time-series*). S statistično analizo časovnih serij ugotavljamo trende, periodičnost in morebitne izjemne dogodke.

Prvi korak je pogosto vizualizacija podatkov skozi čas, kot je na primer izdelava grafov poteka temperature in vlažnosti. Ti grafi časovnih serij nam omogočajo takojšen vpogled v sezonska nihanja (na primer višje temperature poleti, nižje pozimi) in izjemne pojave (na primer nenadni mrzli valovi ali vročinski valovi poleti). Za bolj poglobljeno analizo časovno vrsto razdelimo na sestavne dele: dolgoročni trend, sezonska komponenta in preostanek (naključna variabilnost). Tako lažje ločimo, kaj je dolgotrajna sprememba in kaj redna sezonska cikličnost.

Analiza trendov pomeni ugotoviti, ali določena spremenljivka s časom narašča, upada ali ostaja približno enaka. To storimo s preprosto linearno regresijo ali naprednejšimi metodami (na primer z Mann-Kendallovim testom za statistično značilnost trenda). V našem primeru nas zanima, ali se temperatura na Snežniku skozi leta dviguje ali ne, in kako je s trendom proti dnu vrtač.

Okolje GIS nam pri časovni analizi pomaga tako, da poveže časovne podatke z lokacijami. V ArcGIS Pro uporabimo orodje *Temporal* (časovni drsnik) ali *Temporal Profile Chart* za vizualizacijo sprememb skozi čas. To pomeni, da lahko za izbrano merilno mesto prikažemo grafikon, ki se posodablja glede na časovno izbrani interval, ali pa animiramo zemljevid, ki prikazuje na primer spremembo temperature na določenem mestu od leta do leta. V QGIS je na voljo vtičnik *TimeManager*, ki omogoča podobno

animacijo zemljevidov skozi čas, medtem ko lahko s pomočjo vtičnika *DataPlotly* ali funkcije grafa ustvarimo diagram poteka vrednosti. Ključno je, da s kombinacijo grafov in statističnih metod razberemo, ali podatki kažejo trend. Tovrstna analiza trendov pokaže, kako iz surovih številčnih nizov izluščiti pomembne informacije o spreminjanju okolja ter posredno rastiščnih pogojev in rastlinskih vrst.

3.5.3.6 Korak 6: Priprava tematskih zemljevidov

Potem ko prostorsko in časovno obdelamo podatke, sledi jasna predstavitev rezultatov. Vizualizacija s pomočjo zemljevidov in diagramov je zadnji, a zelo pomemben del prostorske analize. V geoinformacijskih programih (kot sta ArcGIS Pro in QGIS) izdelamo tematske zemljevide in diagrame, ki bodo vključeni v poročila.

Pripravimo tematski zemljevid interpolirane temperature na območju Snežnika, kjer barvna lestvica ponazarja temperaturne vrednosti (modre odtenke za hladnejša področja in rdeče za toplejša). Na zemljevid dodamo izohipse, saj želimo prikazati nadmorske višine, in lokacije merilnih postaj (označene s simboli). Z različnimi simboli ali barvami označimo rastlinske združbe na zemljevidu (območja gozda in travišč ter ob njih pripišemo izmerjene vrednosti). S tem združimo rezultate primerjave med združbami neposredno na karti (na primer z oznakami/napisi povprečne temperature za vsak tip habitata).

Za časovno analizo pripravimo diagrame, ki dopolnjujejo zemljevide. V ArcGIS Pro neposredno v postavitev načrtovanega zemljevida (angleško *Layout*) vključimo graf, ki prikazuje trend temperature skozi čas za izbrano postajo. QGIS omogoča ustvarjanje preprostih grafov ali pa izvoz podatkov v namenska orodja (na primer Excel ali R), kjer narišemo ustrezne diagrame, ki jih nato uvozimo kot slike. Tako ArcGIS Pro kot QGIS ponujata možnost kombiniranja zemljevidov in grafov v enotno grafično podobo. Na koncu ustvarimo zemljevid, kjer je zgoraj prikazan zemljevid Snežnika z razporeditvijo merilnih postaj in interpolirano temperaturo, spodaj levo graf sezonskega poteka temperature, spodaj desno pa legenda in preglednica ekstremnih vrednosti. V QGIS in ArcGIS Pro lahko pripravljene karte in diagrame izvozimo v visoki ločljivosti (recimo v zapisih jpg ali tif), pripravljene za vključitev v publikacijo ali samostojno objavo na spletu ali socialnih omrežjih.

S pomočjo vizualnih prikazov lažje razumemo, kako se temperatura prostorsko spreminja po snežniškem pogorju, kako se razlikuje med gozdom in travniki ter kako se spreminja skozi čas. S tem dosežemo cilj obdelave podatkov – iz meritev smo prešli do uporabnega znanja, predstavljenega v obliki, ki je informativna in dostopna. Uporaba GIS-ov pri obdelavi podatkov stacionarnega monitoringa na Snežniku omogoča celovit vpogled v zbrane podatke. S kombinacijo prostorske interpolacije, primerjalne analize med združbami, časovne analize trendov ter učinkovite vizualizacije izpostavimo glavne značilnosti podatkov in pripravimo rezultate, ki so primerni za nadaljnjo razpravo ali poučevanje. Ta pristop se lahko uporabi tudi širše pri okoljskem monitoringu na drugih območjih, kjer želimo razumeti povezavo med prostorom, časom in ekosistemom.

3.5.4 Možnost uporabe programov

Za izvedbo naloge se lahko uporabijo različna orodja, tako plačljiva kot odprtokodna:

- ESRI ArcGIS Pro 3.3 (plačljivo): robustno orodje za prostorsko analizo in vizualizacijo, ki omogoča delo s prostorskimi podatki, izdelavo tematskih kart in napredno analizo.
- QGIS (odprtokodno): GIS orodje, ki ponuja širok spekter funkcionalnosti za prostorsko analizo in vizualizacijo.
- MS Office Excel (plačljivo): za obdelavo in analizo podatkov v tabelarični obliki, ustvarjanje grafov in tabel za poročanje.
- Google Earth Pro (brezplačno): uporabno za preprost pregled terena in določanje koordinat na terenu.

3.5.5 Viri in literatura

- Artiola, J. 2004: Environmental monitoring and characterization. London.

- Benmoshe, N. 2025: A simple solution for the inverse distance weighting interpolation (IDW) clustering problem. Sci 7-1. DOI: https://doi.org/10.3390/sci7010030
- ESRI ArcGIS Pro tutorials v sklopu programskega paketa.
- QGIS tutorials: https://www.qgistutorials.com/en/
- Palomino, I., Martín, F. 1995: A simple method for spatial interpolation of the wind in complex terrain. Journal of Applied Meteorology and Climatology 34-7. DOI: https://doi.org/10.1175/1520-0450-34.7.1678
- Samanta, S., Pal, D. K., Lohar, D., Pal, B. 2021: Interpolation of climate variables and temperature modeling. Theoretical and Applied Climatology 107. DOI: https://doi.org/10.1007/s00704-011-0455-3
- Wang, M., He, G., Zhang, Z., Wang, G., Zhang, Z., Cao, X., Wu, Z., Liu, X. 2017: Comparison of spatial interpolation and regression analysis models for an estimation of monthly near surface air temperature in China. Remote Sensing 9-12. DOI: https://doi.org/10.3390/rs9121278

3.6 PRIMER UPORABE OPTIČNIH POSNETKOV Z LETALNIKOM ZA KARTIRANJE IZBRANIH VRST V NA KRAŠKEM TRAVNIKU

3.6.1 Opis aktivnosti

V upravi narodnega parka so se odločili, da bodo rastišče zaščitene endemične rastlinske vrste natančno spremljali, ter vsako leto v času cvetenja beležili posamezne primerke rastline s pomočjo daljinskega zaznavanja. Rastišče pokriva območje v velikosti nogometnega igrišča oziroma približno enega hektarja in je locirano na težje dostopnem delno skalovitem kraškem območju, kjer se med travnatimi zaplatami prepleta tudi skalovje. Želja uprave je, da se vsako leto pripravi digitalni zemljevid območja, na katerem bo iz zraka razvidno stanje, in na katerega bo možno vrisati prepoznane primerke opazovane rastlinske vrste.

3.6.2 Izhodišča primera

Naloga izvajalca s področja geografskih informacijskih sistemov na podlagi želje naročnika, v tem primeru narodnega parka, je mogoče razvrstiti v naslednje okvirne delovne sklope:

- zajem podatkov na terenu, ki obsega fotografiranje z letalnikom ter pripravo oslonilnih in kontrolnih točk,
- priprava ortofota s postopki fotogrametrije,
- priprava protokola za digitalizacijo primerkov rastlinske vrste s pomočjo izdelanega ortofota.

3.6.2.1 Uporabljeni podatkovni viri

V pričujočem primeru smo vse potrebne podatke pridobili na terenu s pomočjo brezpilotnega letalnika in sprejemnika GNSS, zato že pripravljenih podatkov raznih podatkovnih virov ne potrebujemo. Urediti pa moramo naročnino na signal RTK, ki nam omogoča natančno pozicioniranje letalnika ter natančno beleženje oslonilnih in kontrolnih točk s sprejemnikom GNSS. Sistem RTK izboljšuje natančnost delovanja sistem GNSS; na območju Slovenije sistem RTK poleg komercialnih ponudnikov zagotavlja Geodetska uprava Republike Slovenije, na Hrvaškem pa Državna geodetska uprava. Za koriščenje storitev sistema RTK je potrebno letalnik in sprejemnik GNSS povezati v mobilno podatkovno omrežje.

3.6.2.2 Uporabljena orodja

Za doseg rezultatov uporabimo:

- letalnik DJI Mavic 3M,
- sprejemnik GNSS Leica FLX100 plus s togim grezilom,
- tablico Leica CSX8 s programom Leica Zeno Mobile One,
- program Agisoft Metashape Professional 2.2,
- program ESRI ArcGIS Pro 3.4.

3.6.3 Opis uporabe GIS-ov pri reševanju primera

3.6.3.1 Korak 1: Zajem podatkov na terenu

Prvi korak obsega terensko delo, s katerim za celo območje sistematično zajamemo osnovne informacije – fotografije, s katerimi bomo pozneje izdelali ortofoto posnetek. Navadne (surove) fotografije iz zraka niso prikazane na projecirani ravnini, saj je ob (na primer) navpičnem fotografiranju razdalja med senzorjem fotoaparata in površjem neposredno pod senzorjem krajša, kot pa razdalja do točk na površju, ki so drugod in zato bolj odmaknjene. Zato iz pregledovanja fotogrametrično neobdelanih fotografij ne moremo sklepati na razdalje ali površine opazovanega območja.

Pred letom z brezpilotnim letalnikom moramo poskrbeti, da je letalnik ustrezno pripravljen (na primer odpravimo morebitne mehanske okvare, posodobimo programsko opremo letalnika), imamo urejeno ustrezno dokumentacijo (na primer registracijo letalnika, dovoljenje upravljalca parka za polet), usposobljenega pilota letalnika ter preverimo morebitne posebnosti zračnega prostora, v katerem bomo leteli, in aktualna sporočila NOTAM (angleško *notice to airmen*). Informacije glede zračnega prostora in aktualnih sporočil v Sloveniji dobimo pri Agenciji za civilno letalstvo, na Hrvaškem pa pri Hrvatski kontroli zračne plovidbe d.o.o.

Na terenu poskrbimo, da je območje ustrezno zavarovano in **razpostavimo oslonilne in kontrolne točke**. Te točke nam bodo pomagale pri umeščanju naših zračnih posnetkov in izdelanih prostorskih modelov v ustrezen koordinatni sistem. Točke morajo biti razpostavljene po celotnem opazovanem območju. Tem točkam odmerimo točen položaj v želenem koordinatnem sistemu (v Sloveniji je v uporabi državni koordinatni sistem D96/TM, na Hrvaškem pa HTRS96/TM). V pričujočem primeru bomo pripravili ortofoto v slovenskem koordinatnem sistemu. **Položaje odmerimo s sprejemnikom GNSS** (v našem primeru uporabimo sprejemnik GNSS Leica FLX100 plus s togim grezilom ter tablico Leica CSX8 s programom Leica Zeno Mobile One; slika 74) ter vzpostavljeno povezavo RTK (glej uvodno poglavje 1 za opis delovanja sprejemnikov GNSS). Ob ustrezni vidnosti neba oziroma sprejemu signala več satelitov ter podatkovno povezavo lahko položaj določimo na nekaj centimetrov natančno. V našem primeru uporabljamo letalnik DJI Mavic 3M s povezavo RTK (slika 75), ki ob vsakem posnetku zabeleži položaj letalnika z zelo visoko natančnostjo, kar olajša poravnavo fotografij za izdelavo fotogrametričnega modela (oblaka točk), ki je podlaga za izdelavo ortofota. Pri fotogrametrični obdelavi fotografij sicer za izdelavo ortofota uporabimo oslonilne točke (katerih lokacija se meri dalj časa in imajo boljšo natančnost od letalnik) zato, da naš izdelan fotogrametrični model (oblak točk) še bolj natančno umestimo v koordinatni sistem, kontrolne točke pa za preverjanje natančnosti. Priporočljivo je, da s trajnimi oznakami postavimo stabilne točke znotraj našega proučevanega območja, saj tako lahko najbolje primerjamo razlike med leti, meritev lokacije pa opravimo le enkrat (slika 76).



Slika 74: Meritev kontrolne točke. Fotografija: ROK CIGLIČ

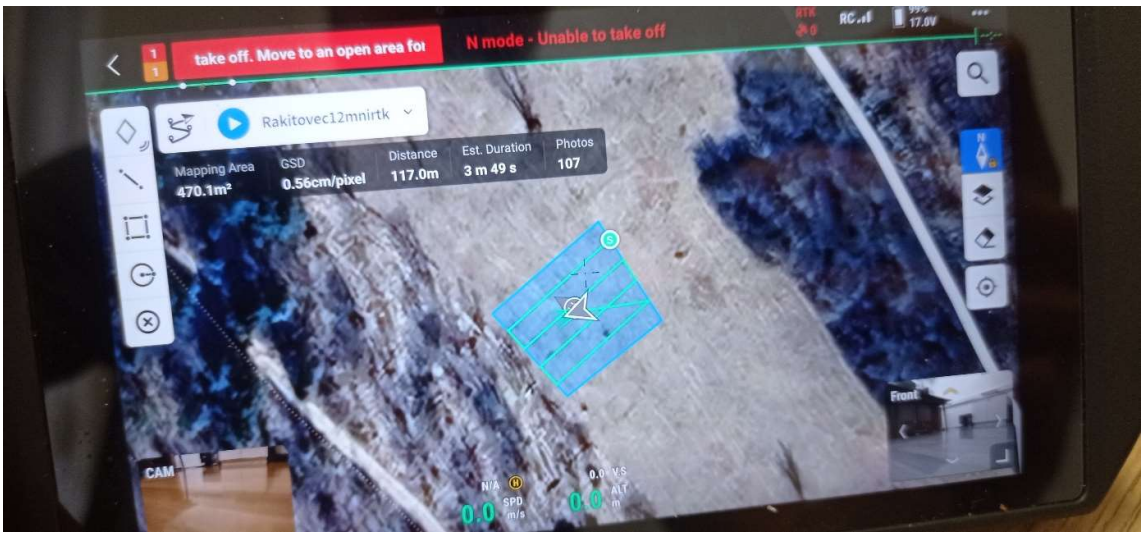


Slika 75: Letalnik s pritrjenim modulom za sistem RTK. Fotografija: ROK CIGLIČ



Slika 76: Primer fiksne točke (Triglav). Fotografija: JURE TIČAR

Nato **z brezpilotnim letalnikom sistematično poletimo** nad območjem, in sicer na način, da vsak delček območja zagotovo fotografiramo z več posnetki (slika 77). V pomoč nam je lahko prednastavljen let letalnika, s katerim določimo, da se morajo let odviti po točno določeni poti (najpogosteje po sosledju vzporednih letov), fotografiranje pa se izvede tako, da se posamezne fotografije med seboj prekrivajo. Višina leta ter zmogljivost senzorja (kamere) določata, kakšna bo ločljivost narejenih posnetkov. V našem primeru se odločimo za višino leta 10 m, kar nam omogoča izdelavo ortofota v ločljivosti 1 cm ali manj. S tovrstno ločljivostjo bomo lahko prepoznali izbrano rastlinsko vrsto.



Slika 77: Načrt letenja v aplikaciji za vodenje letalnika. Fotografija: ROK CIGLIČ

Pri fotografiranju z letalnikom je pomembno tudi **vreme**. Izogibati se moramo deževnemu in vetrovnemu vremenu, saj lahko voda poškoduje napravo, veter pa lahko ob močnejših sunkih tudi prepreči izvajanje želenega leta. Pri fotografiranju moramo biti pozorni, da upoštevamo položaj sonca in zasenčenost območja. V primeru, ko so zaradi okoliških reliefnih ovir ali visoke vegetacije posamezni deli območja v močni senci, hkrati pa so preostali deli močno osvetljeni, nastane pri ortofotu precej razlik v prikazu posameznih območij. V takem primeru se je bolje izogniti zelo sončnemu dnevu in poskusimo let opraviti v delu dneva ali ob vremenu (na primer visoka oblačnost brez nevarnosti dežja

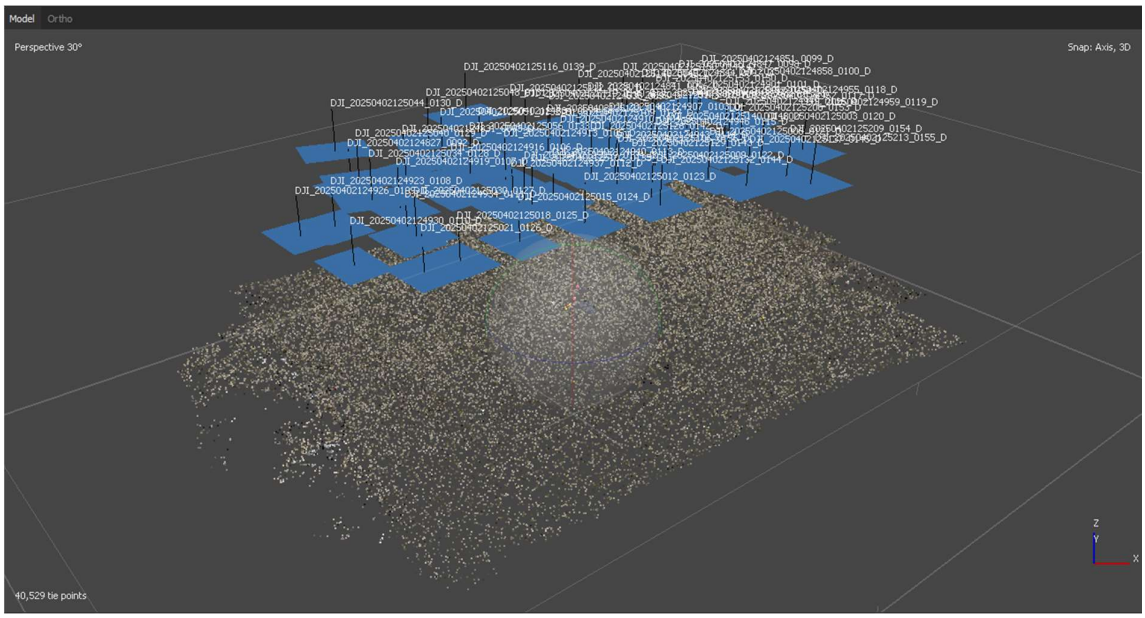
in neviht), kjer sence niso tako izrazite. Hkrati pa je seveda pomembno, da je svetlobe zadosti, saj so lahko v primerih slabe osončenosti posnetki površja slabše ostrine.
Posnetki so v našem primeru opravljeni s kamero, ki je del standardnega modela letalnika DJI Mavic 3M (20 MP, 4/3 CMOS, 24 mm), pod kotom 90° (preglednica 10). Giordan s sodelavci (2015) je predlagal, da se pri blagih naklonih pobočja (do 40°) uporablja navpične posnetke.

Preglednica 10: Podatki snemanj z brezpilotnim letalnikom.

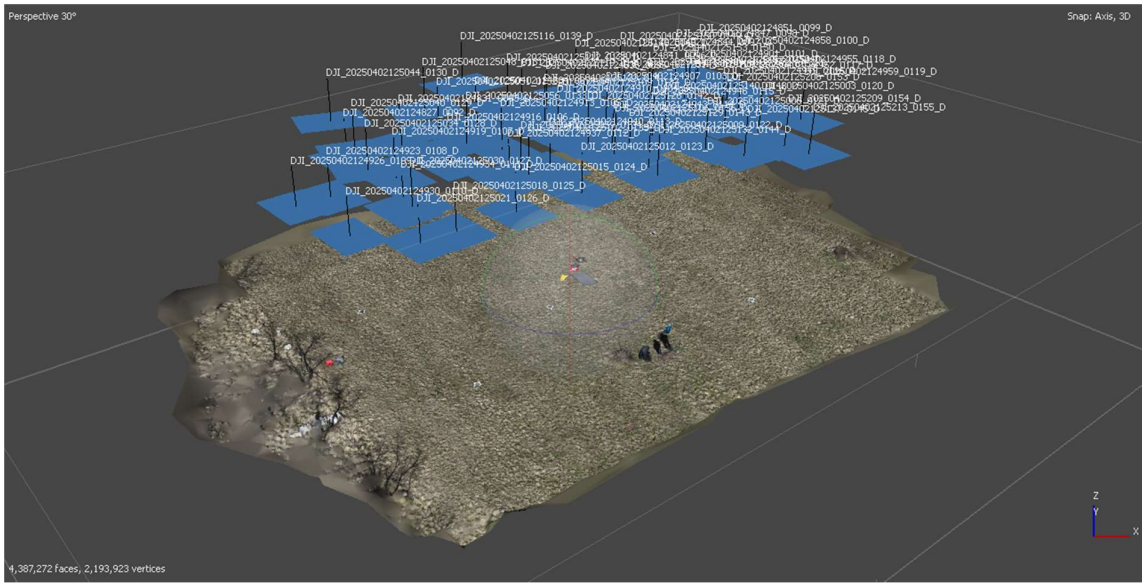
tip letalnika	DJI Mavic 3M
ocenjena višina leta	10 m
ločljivost ortofota	4 mm

3.6.3.2 Korak 2: priprava ortofota s postopki fotogrametrije

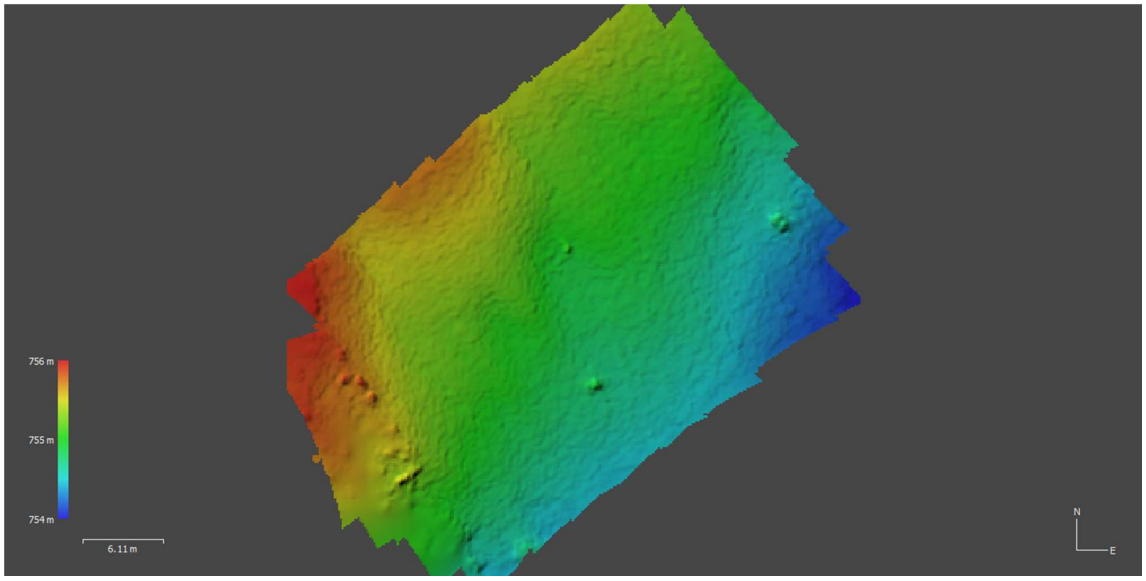
Po opravljenem terenskem delu se lahko lotimo obdelave fotografij z namenskim programom za fotogrametrijo. V našem primeru smo uporabili Agisoft Metashape Professional 2.2.0. Zbrane posnetke obdelamo po postopku, ki so ga opravili tudi v drugih raziskavah (na primer Bevan s sodelavci 2017; Ciglič s sodelavci 2020). Najprej posnetke neustrezne kakovosti izločimo. Sodobna programska oprema na podlagi velikega števila fotografij že samodejno opravi tudi kalibracijo posnetkov zaradi nepravilnosti leče fotoaparata. Če oprema tega ne omogoča, je za dosego največje natančnosti priporočljivo opraviti tudi kalibracijo kamere s pomočjo črno-bele šahovnice ter izmerjene vrednosti upoštevali pri obdelavi posnetkov. Posnetke postavimo v prostor ter določimo ključne točke oziroma izdelamo surov oblak točk (angleško *sparse cloud*; slika 78). Nato vnesemo koordinate (x, y, z) izmerjenih oslonilnih in kontrolnih točk ter nato vsako točko na vsakem posameznem posnetku, na kateri je vidna kontrolna točka, poravnamo na središče izmerjenih koordinat. Tako poravnani posnetki in surov oblak točk se uporabijo pri metodi stereo z več pogledi za pripravo gostega oblaka točk (angleško *dense cloud*; slika 79) in nadalje digitalnega modela površja (DMP; slika 80) in ortorektificiranega posnetka oziroma ortofota (slika 81) (Peternel s sodelavci 2017; Cignetti s sodelavci 2019). Izraz digitalni model površja uporabljamo, ker ne izločimo sloja trave in manjših zaplat grmovnic na območju, zato ne moremo sloja označiti kot digitalni model reliefa. Beleženje točk na terenu in končni ortofoto pripravimo v slovenskem koordinatnem sistemu D96. Končni sloj shranimo v zapisu tiff, ki je splošno berljiv z drugimi geoinformacijskimi programi.



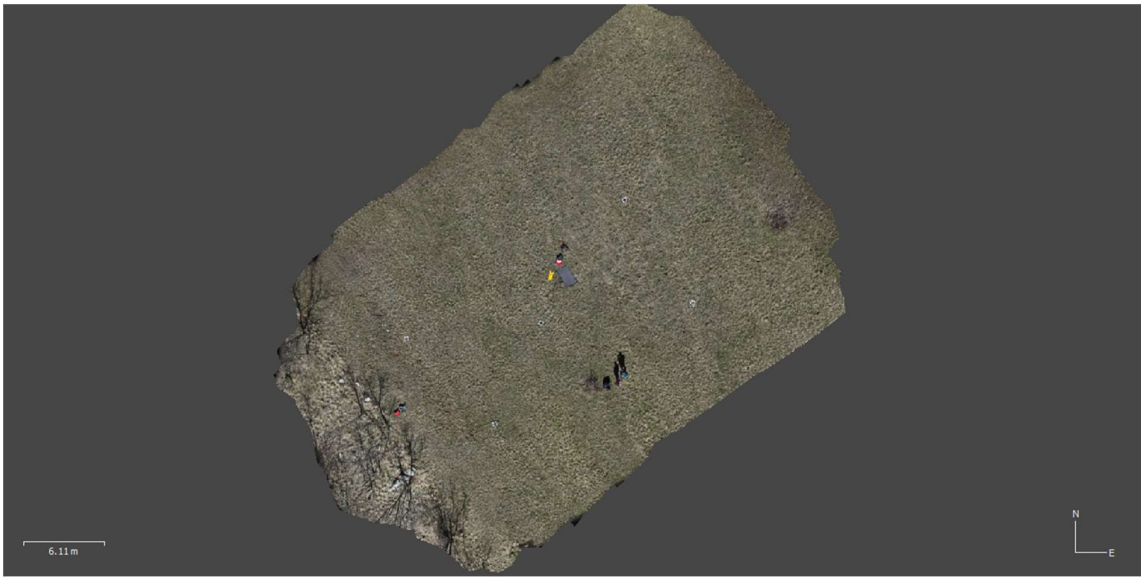
Slika 78: Surov oblak točk.



Slika 79: Gost oblak točk.



Slika 80: Digitalni model površja.



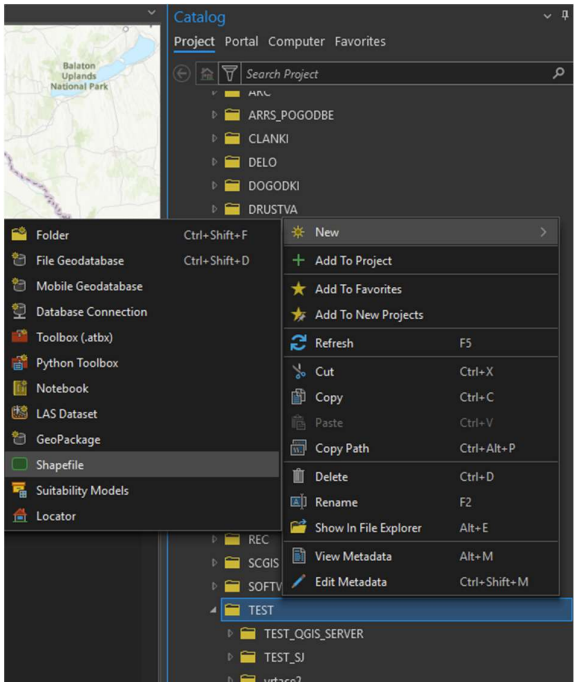
Slika 81: Ortofoto območja.

3.6.3.3 Korak 3: digitalizacija primerkov rastlinske vrste s pomočjo ortofota

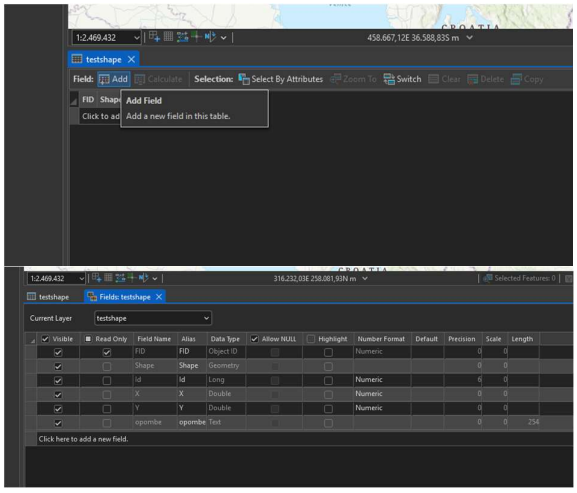
Pripravljen ortofoto opazovanega območja vnesemo v izbran geoinformacijski program (na primer QGIS ali ArcGIS Pro; v našem primeru smo uporabili slednjega). V programu pripravimo nov vektorski sloj, kamor bomo vnašali točke (centroide) zabeleženih primerkov rastlinske vrste. Pri tem lahko uporabimo zapis *Feature Class*, ki je shranjen v namenski podatkovni bazi *Geodatabase*. Gre za format zapisa, ki ga uporablja podjetje ESRI. Še bolj razširjen zapis je sicer *shapefile* (prav tako ga je razvilo podjetje ESRI), ki pa ima nekoliko manj zmožnosti hrambe podatkov, a je verjetno najbolj razširjen in splošno sprejet zapis. V našem primeru se odločimo za slednjega, saj potrebujemo v končni preglednici le koordinate posameznega primerka z morebitnimi opombami posameznega primerka.

Datoteko *shapefile* v programu ArcGIS Pro ustvarimo v zavihku Catalog (slika 82), kjer v izbrani mapi ustvarimo datoteko. Pri tem je pomembno, da izberemo točkovni tip zapisa. V preglednici dodamo nova številska atributa x in y (slika 83), kamor bomo po končani digitalizaciji samodejno določili koordinati za vsako posamezno točko. Dodamo tudi številski atribut ID in tekstovni atribut 'opombe', kamor bomo lahko ob digitalizaciji vnesli zaporedno številko primerka (ID) in morebitna opažanja. Slednja so omejena na dolžino 255 znakov. Če bi želeli omogočiti daljše opise, potem bi morali uporabiti podatkovno strukturo *Feature Class*.

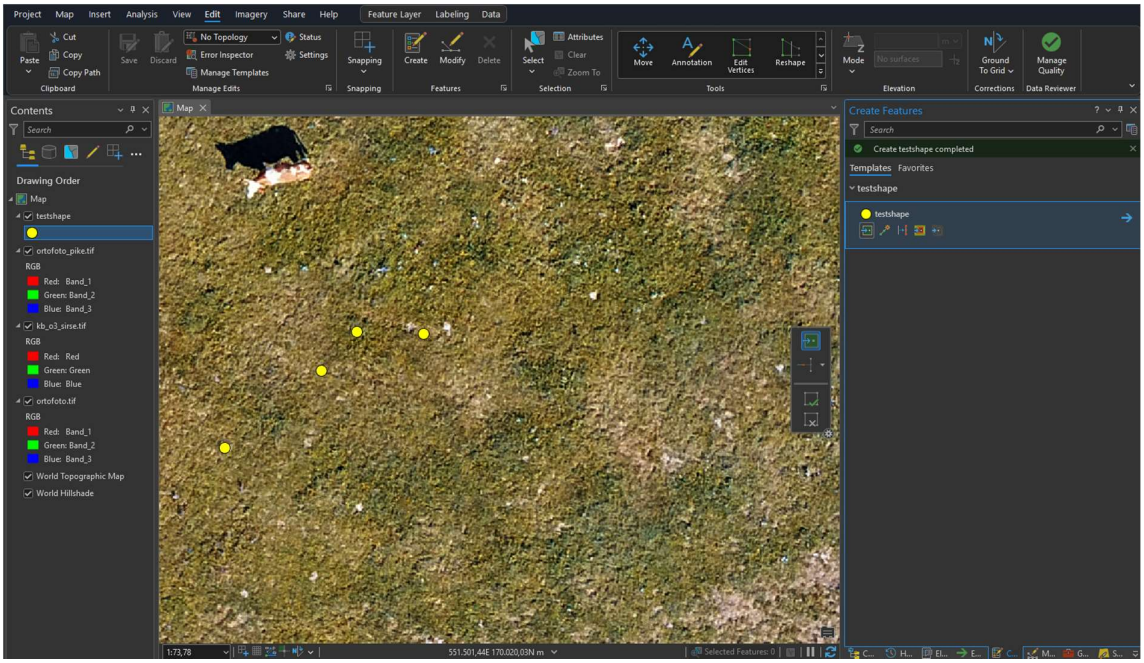
Digitalizacijo primerkov rastline opravimo po vnaprej dogovorjenem načinu. Tako zagotovimo, da bo beleženje kar najbolj konstantno, tudi če ga razdelimo med več sodelavcev. V našem primeru točkovno digitalizacijo izvedemo tako, da na vsako zaznano rastlino postavimo eno točko v njen osrednji del. Označimo vsako posamezno rastlino, tudi v primeru, ko več primerkov rase skupaj. Po koncu digitalizacije (slika 84) atributom X in Y z ustreznim ukazom *Calculate Geometry* dodamo informacijo o koordinatah. Tako pripravljen sloj posredujemo naročniku skupaj z ortofotom.



Slika 82: Ustvarjanje nove datoteke shapefile.



Slika 83: Dodajanje atributov v preglednico.



Slika 84: Digitaliziranje primerkov.

3.6.3.4 Zaključek oziroma nadaljevanje opravila

Postopek bomo ponovili vsako leto v času cvetenja. Tako bomo lahko nadzirali stanje in trende razporeditve te rastlinske vrste na opazovanem območju. Geografski informacijski sistemi nam tako pomagajo pri natančni evidenci stanja in njihovemu arhiviranju.

3.6.4 Možnost uporabe programov

Za doseg rezultatov lahko uporabimo na primer:

- letalnik:
  - DJI Mavic 3M RTK,
  - DJI Mini 4 Pro,
  - DJI Matrice 4,
- sprejemnik GNSS:
  - Leica FLX100 plus s togim grezilom,
  - Stonex S900+ s togim grezilom,
- fotogrametrični program:
  - Pix4DMapper (Pix4D),
  - ArcGIS Drone2Map (ESRI),
  - Meshroom (AliceVision; brezplačen),
  - 3D Survey (Modri planet),
- program za digitalizacijo in kartografijo:
  - ArcGIS Pro (ESRI),
  - QGIS (QGIS Project, brezplačen).

3.6.5 Viri in literatura

- Bevan, D. J., Brook, M. S., Tunnicliffe, J., Richards, N. P., Prebble, W. M. 2017: Use of UAV mounted /Structure-from-Motion (SfM) data capture for engineering geological landslide mapping. 20th NZGS Geotechnical Symposium. Wellington.
- Ciglič, R., Ferk, M., Nagy, G. 2020: Opazovanje pobočnih procesov z brezpilotnim letalnikom an primeru plazov v Slovenskih goricah. Modeliranje pokrajine, GIS v Sloveniji 15. Ljubljana.

- Cignetti, M., Godone, D., Wrzesniak, A., Giordan, D. 2019: Structure from motion multisource application for landslide characterization and monitoring: The Champlas du Col case study, Sestriere, North-Western Italy. Sensors 19-10. DOI: https://doi.org/10.3390/s19102364
- Giordan, D., Manconi, A., Tannant, D. D., Allasia, P. 2015: UAV: Low-cost remote sensing for high-resolution investigation of landslides. 2015 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). Milano.
- Peternel, T., Kumelj, Š., Oštir, K., Komac, M. 2017: Monitoring the Potoška planina landslide (NW Slovenia) using UAV photogrammetry and tachymetric measurements. Landslides 14-1. DOI: https://doi.org/10.1007/s10346-016-0759-6

UPUTE ZA RAD S PROSTORNIM PODACIMA U PODRUČJU ZAŠTITE GEORAZNOLIKOSTI I BIORAZNOLIKOSTI

1 UVOD U GIS

1.1 ŠTO JE GIS?

GIS je akronim za geografski informacijski sustav ili geografske informacijske sustave. U literaturi se pojavljuje više definicija, koje su međusobno vrlo slične. Tako Burrough, McDonnell i Lloyd (2015) ističu da su GIS-ovi sastavljeni od tri glavne komponente, a to su sklopovlje (engleski *hardware*), programska podrška (engleski *software*) i korisnici. Osim toga, ističu i podatkovne baze te mrežnu infrastrukturu. Drugi izvori nazivaju GIS-ove skupom alata za prikupljanje, pohranu, pretraživanje, promjenu i prikazivanje prostornih podataka (Burrough 1986; Burrough, McDonnell i Lloyd 2015). Američki geološki zavod (United States Geological Survey – USGS) (Burrough, McDonnell i Lloyd 2015) opisuje GIS-ove kao računalni sustav za prikupljanje, pohranu, upravljanje (manipulaciju) i prikaz georeferenciranih informacija. Također, Okabe (2006) je dao sličnu definiciju, gdje ističe da se radi o računalnim metodama za obradu geografskih podataka koje obuhvaćaju prikupljanje, upravljanje, analizu i prikaz (Okabe 2006).

Na temelju ovih definicija, možemo istaknuti sljedeće osnovne komponente GIS-ova:

- sklopovlje,
- programska podrška i
- ljude (upravljatelji, analitičari, korisnici),

s kojima možemo provesti sljedeće skupine zadataka:

- prikupljanje podataka,
- uređivanje podataka (priprema, pohrana),
- analiza podataka,
- prikaz rezultata/informacija (vizualizacija).

U priručniku nastojimo pratiti ovu strukturu.

1.2 SKLOPOVLJE

1.2.1 GNSS prijemnici

GNSS prijemnici (Global Navigation Satellite System; globalni navigacijski satelitski sustav) su uređaji koji određuju preciznu lokaciju korisnika na Zemlji i u tu svrhu komuniciraju s više navigacijskih satelita u stvarnom vremenu. Među tim prijemnicima, najpoznatiji su oni koji primaju signal američkog satelitskog sustava GPS (Global Positioning System; globalni sustav pozicioniranja). Osim GPS-a, koriste se i drugi, primjerice ruski GLONASS (Globalnaja Navigacionnaja Sputnikovaja Sistema), kineski BeiDou, europski Galileo i drugi (Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger i Wasle 2008).

GNSS prijemnici (slika 1) koriste se u geodeziji, poljoprivredi, građevinarstvu i općenito u raznim aktivnostima gdje postoji potreba za vrlo preciznim bilježenjem lokacija na terenu. Preciznost GNSS uređaja varira ovisno o sustavu: ako standardni GPS uređaji (na primjer, prijemnik za planinarenje) imaju preciznost od otprilike 5–10 metara, preciznost GNSS-a se iznimno poboljšava s većim brojem uključenih satelitskih sustava GNSS. Kao dodatno, može se postići vrlo visoka preciznost (centimetarska) uključivanjem sustava za korekciju GNSS. Veoma raširen način uključivanja korekcija je RTK sustav (Real-time kinematic). GNSS RTK koristi fiksnu baznu stanicu i pokretni prijemnik za ispravljanje grešaka u poziciji, što osigurava vrlo precizno prikupljanje geoprostornih podataka. Ovi uređaji su ključni za geodetska mjerenja i precizno prikupljanje podataka, posebno u slučajevima kada želimo usporediti stanja iz različitih razdoblja. Usluge RTK sustava dostupne su za svaku pojedinačnu državu, a u Sloveniji i Hrvatskoj ih osiguravaju nadležni institucije ili tvrtke.



Slika 1: GNSS prijemnik. Fotografije: MATEJA BREG VALJAVEC

1.2.2 Tahimeter

Tahimetar je uređaj za određivanje položaja točaka i njihovih nadmorskih visina, a objedinjuje dva mjerna instrumenta: teodolit (mjeri kutove) i daljinomjer (mjeri udaljenosti). Suvremene totalne stanice uključuju i sustav za prijem GNSS signala (Polanec 2014). Tahimetar se, primjerice, koristi za vrlo precizno određivanje granica parcela, toka prometnica, položaja mjernih točaka, kota površine i drugo.



Slika 2: Tahimeter. Fotografija: ADOBE STOCK, ZORANLINO

1.2.3 Mobilni uređaji (tableti i pametni telefoni)

Tableti i pametni telefoni mogu biti opremljeni GIS softverom i omogućuju prikupljanje i analizu podataka već na terenu. Ovi uređaji obično su opremljeni GNSS prijemnikom, sučeljima s ekranom osjetljivim na dodir i otporni su na zahtjevnije okolinske uvjete, kao što su kiša, prašina i ekstremne temperature. Mobilne geoinformacijske aplikacije omogućuju kartiranje u stvarnom vremenu, geografsko označavanje i sinkronizaciju podataka s poslužiteljima u oblaku. U okolišnim studijama istraživači ih koriste za bilježenje opservacija, poput značajki staništa. Zbog prenosivosti i integracije s GIS softverom, izuzetno su praktični za prikupljanje podataka na udaljenim lokacijama.

1.2.4 Obične optičke kamere i multispektralne kamere (senzori)

Obične optičke kamere, koje snimaju slike u spektru vidljivom ljudskom oku, jedan su od najrasprostranjenijih instrumenata za prikupljanje podataka. U vezi s GIS-om, često se koriste za snimanje zračnih ili satelitskih snimaka, koji se zatim koriste kao osnovni materijal za izradu raznih prostorskih proizvoda. U toj kombinaciji također su od iznimnog značaja multispektralne kamere ili senzori. Oni su sposobni istovremeno zabilježiti snimke površine (ili promatranog objekta) ne samo u spektru vidljivom ljudskom oku, već u više pojedinačnih spektra (valnih duljina), na primjer, u plavom, zelenom, crvenom i infracrvenom. Satelitski sustavi često su opremljeni takvim senzorima (na primjer, Sentinel-2, GeoEye1 i Landsat). Snimke u različitim spektarima omogućuju nam dobivanje veoma korisnih informacija, primjerice o količini klorofila u vegetaciji i posredno o stanju vegetacije, kao i o temperaturi površine kada koristimo termalne kamere.

1.2.5 Laserski skener – LiDAR (Light Detection and Ranging)

Izraz LiDAR znači u engleskom jeziku *Light Detection And Ranging* (svjetlosno otkrivanje i mjerenje udaljenosti) ili *Laser Imaging Detection And Ranging* (lasersko snimanje, otkrivanje i mjerenje udaljenosti). Tehnologija se koristi za određivanje udaljenosti do objekata ili površina uz pomoć laserskih zraka (Oštir 2006; Gregersen 2025).

LiDAR senzori svojim mjerenjima stvaraju oblake točaka u prostoru, što nam omogućava stvaranje detaljnih 3D modela krajolika s detaljima vegetacije i infrastrukture. Senzori mogu biti fiksni ili mobilni – postavljeni na zrakoplovima, bespilotnim letjelicama ili vozilima na tlu. LiDAR se često koristi u šumarstvu za analizu krošnji drveća, u arheologiji za otkrivanje starih struktura skrivenih pod vegetacijom. Prednost prikupljanja podataka koja uključuje LiDAR u odnosu na tradicionalne geodetske metode je njegova sposobnost stvaranja vrlo preciznih podataka o nadmorskoj visini u različitim uvjetima. Često se podaci LiDAR koriste i za izradu digitalnih modela reljefa i površina. LiDAR tehnologija je osobito korisna za istraživanje površina koje pokriva šuma, jer laserski skener, za razliku od multispektralnih senzora, prodire kroz krošnje i doseže prizemni sloj šume i samu zemlju odnosno reljef.



Slika 3: Ručni laserski skener. Fotografija: ROK CIGLIČ

1.2.6 Zračna plovila (dronovi, zrakoplovi, helikopteri)

Zračna plovila se općenito dijele na zrakoplove s fiksnim krilima i rotacijske zrakoplove. Sva ta plovila mogu biti opremljena optičkim kamerama različitih razlučivosti, laserskim skenerima (LiDAR) i multispektralnim senzorima. Oni mogu snimati zračne snimke, koje su osnova za izradu ortofoto snimaka visoke razlučivosti i 3D-modela. Glavna prednost zračnih plovila je njihova sposobnost pristupa teško dostupnim područjima, kao što su planinska područja, guste šume ili područja pogođena prirodnim ili drugim nesrećama. Zračna plovila (najčešće zrakoplovi) koriste se za fotografiranje opsežnih površina i tako prikupljaju ogromne količine podataka. Dronovi se često koriste u poljoprivredi za praćenje stanja usjeva, u ekološkim studijama, intervencijama prilikom prirodnih katastrofa te pri inspekciji infrastrukture, kao što su ceste, mostovi i električni vodi. Dronovi opremljeni LiDAR-om mogu otkriti površinu kroz krošnje drveća i stvoriti precizne digitalne modele visina (DMV). Prilikom korištenja dronova, koji se sve češće koriste, potrebno je paziti na važeće regulative, jer zračni prostor dijelimo s drugim sudionicima, a pad drona predstavlja opasnost za prisutne u području njegovog snimanja.



Slika 4: Zrakoplov s fiksnim krilima. Fotografija: ADOBE STOCK, CARLOS DOMINIQUE

1.2.7 Sateliti

Neizostavan dio opreme su također sva svemirska plovila, ponajprije sateliti. Oni na svome krovu nose različite senzore, kao što su optičke kamere, multispektralne kamere, laserski skener ili radar. Uz senzore na satelitima snimamo vrlo velika područja – regije, države ili kontinente u različitoj prostornoj razlučivosti (od nekoliko metara do kilometara). Danas je u orbitama oko Zemlje u upotrebi više tisuća satelita koji se brinu za komunikaciju, određivanje pozicija (navigacijski sateliti) i prikupljanje podataka (na primjer, meteorološki sateliti, sateliti za snimanje oceana, sateliti za snimanje kopna).

1.2.8 Georadar

Georadar je neinvazivni geofizički alat koji se koristi za mapiranje ispod površine. U zemlju emitira elektromagnetne valove, a reflektirani signali pružaju informacije o podzemnim strukturama, kao što su komunalni vodovi, arheološki artefakti i geološki oblici. Georadari mogu biti montirani na različita vozila ili ručne kolica, a također ih možemo nositi ručno. Česti primjeri upotrebe georadara su u građevinarstvu (na primjer, u potrazi za infrastrukturnim objektima i vodovima ispod zemlje), arheologiji (na primjer, u potrazi za arheološkim nalazištima), geomorfologiji i geologiji (na primjer, u potrazi za kontaktima između različitih podzemnih slojeva stijena, potragom za špiljama, ledom i drugim) (Buynevich i Fitzgerald 2019).



Slika 5: Georadar. Fotografija: ADOBE STOCK, ALISA

1.2.9 Mjerač električne otpornosti tla

Mjerenje električne otpornosti tla *(electrical resistivity imaging* – ERI ili *electrical resistivity tomography* – ERT) je geofizička metoda koja se koristi za istraživanje struktura ispod površine mjerenjem električne otpornosti tla, stijena ili materijala. Ova tehnika se, slično kao georadar, često koristi u geomorfološkim i geološkim istraživanjima, ekološkim studijama ili arheologiji za otkrivanje razlika u sastavu stijena ili materijala ispod površine. Metoda je u urbanim okruženjima, gdje ima mnogo zidanih i asfaltiranih površina, uglavnom neprimjerena, budući da je, za razliku od georadara, potrebno u zemlju postaviti elektrode. ERT, naime, djeluje tako da u zemlju propušta kontrolirani električni tok preko niza elektroda postavljenih u linearni ili mrežni uzorak. Razlike napona između elektroda se zatim mjere kako bi se odredila otpornost različitih stijena ili materijala ispod površine. Prikupljeni podaci se obrađuju specijaliziranim geofizičkim softverom, koji prikazuje 2D ili 3D model otpornosti tla ili podloge. Ovakvi modeli omogućuju analizu podzemnih karakteristika i donošenje odluka o gradnji, rudarstvu, sanaciji okoliša i arheološkim iskopavanjima (Banton, Cimon i Seguin 1997; Breg Valjavec 2014).



Slika 6: Mjerenje električne otpornosti tla. Fotografija: MATEJA BREG VALJAVEC

1.2.10 Meteorološke i druge mjerne postaje

Meteorološke postaje namijenjene su praćenju vremena, te imaju brojne senzore za prikupljanje podataka o temperaturi, padalinama, vlažnosti zraka, zračnom tlaku, vjetru i drugim karakteristikama ozračja. Slične mjerne postaje mogu se instalirati i za praćenje stanja voda (na primjer, temperature vode i protoka vodotoka), stanja tla (na primjer, vlažnosti tla) i drugih sastavnica krajolika. Često su takve postaje povezane putem mobilnih mreža s poslužiteljima, kamo šalju podatke, koji su korisnicima dostupni praktički odmah. Ove mjerne postaje često se koriste za opće praćenje okoliša, u poljoprivredi, kao i u sustavima upozoravanja na prirodne opasnosti. U vezi s daljinskim istraživanjem omogućuju kalibraciju za snimanje s bespilotnim letjelicama i satelitima.



Slika 7: Kišomjer prati količinu padalina. Fotografija: MATEJA FERK

1.2.11 Sonar

Sonar potječe od engleskog opisa za navigaciju i mjerenje udaljenosti pomoću zvuka (*engleski Sound Navigation And Ranging*). Radi se o tehnici koja koristi zvučne valove za lociranje objekata i površina. Djeluje tako da šalje akustične signale, na primjer pod vodu, i mjeri vrijeme njihovog putovanja od izvora do morskog dna ili objekata i nazad (Kleeman i Kuc 2008).

1.3 UREDSKA OPREMA

1.3.1 Računala (također radne stanice i poslužitelji)

Računalna oprema koja se koristi unutar GIS-a mora osigurati dovoljnu računalnu snagu za obradu opsežnih zbirki prostornih podataka, izvođenje geoprostornih analiza i izradu 3D vizualizacija. Potražnja za računalnom snagom ovisi o zadanom zadatku i količini podataka. Za neke analize dovoljna su već posve prosječna računala, dok za zahtjevnije zadatke trebamo visokoučinkovita računala. Ona su opremljena višejezgrenim procesorima, velikim kapacitetima radne memorije (RAM) i snažnim grafičkim procesorima. Usluge GIS-a često se također izvođene u oblaku, što znači da takve poslužiteljske infrastrukture također moraju osigurati visoku procesorsku snagu i nuditi puno prostora za pohranu podataka.

1.3.2 Tiskari i ploteri velikih formata

Kartografi često moraju ispisivati karte visoke rezolucije, planove i tehničke crteže. U tu svrhu koriste tiskare i ploteri velikog formata. Koriste specijaliziranu tehnologiju ispisa ili lasera za izradu detaljnih kartografskih otisaka. Ti su uređaji ključni, na primjer, u urbanističkom planiranju, inženjerstvu i upravljanju katastrofama, gdje su za rad potrebne fizičke karte, jer rezolucija i mjera ispisanih karata ovise o performansama ovih uređaja.

1.3.3 Optički skeneri

Optički skeneri (skeneri) pretvaraju papirnate karte, planove i geodetske dokumente u digitalne oblike, kompatibilne s GIS-om. Stručnjaci GIS-a koriste skenere za digitalizaciju arhivskih karata, na primjer, za prostornu analizu promjena u korištenju zemljišta. Na ovaj način skenirane karte se zatim georeferenciraju pomoću GIS softvera kako bi se mogle postaviti u suvremeni koordinatni sustav i usporediti sa stvarnim stanjem. Ovaj postupak je od ključnog značaja za uključivanje starijih podataka u GIS aplikacije. Sličan postupak može se primijeniti i pri kartiranju raznih pojava na terenu (na primjer, tipova staništa), kada koristimo tiskane podloge (obično ortofoto) koje zatim skeniramo, georeferenciramo i vektoriziramo kako bismo dobili bazu podataka i digitalni grafički prikaz.

1.3.4 Uređaji za pohranu podataka

Prostorni podaci, osobito zbirke snimaka visoke rezolucije i podaci LiDAR, zahtijevaju velike kapacitete za pohranu. Vanjski tvrdi diskovi, mrežni sustavi za pohranu podataka (eng. *Network-attached storage* – NAS) i poslužitelji u oblaku (koji također imaju svoje fizičke poslužitelje!) nude rješenja za upravljanje podacima. Neke platforme GIS u oblaku omogućuju osim pohrane podataka i izradu web aplikacija i udaljen pristup geoprostornim podacima, što omogućava suradnju među GIS stručnjacima širom svijeta.

1.4 PROGRAMSKA PODRŠKA

Programska podrška je od ključne važnosti za rad s geografskim informacionim sustavima i nužan je element u svim fazama rada. Brine se za interakciju između hardvera i korisnika pri prikupljanju podataka, njihovom obradi, analizi i, naposljetku, pri prikazu rezultata. Postoje različite vrste softvera, koje su često namijenjene za točno određene aktivnosti – poznajemo programe, koji su nužni za postavljanje senzora, planiranje snimanja fotografija s dronovima, programe koji su namijenjeni vektorskoj i rasterskoj analizi podataka, te programe koji su namijenjeni za izradu karata (kartografski programi) i 3D prikazima i animacijama. Obsežan GIS program omogućava izvršenje više različitih setova zadataka. Korisnici mogu birati između plaćenih i slobodno dostupnih programa.

1.5 VRSTE PROSTORNIH PODATAKA

Koristimo se dvjema vrstama podataka:

- vektorskim podacima,
- rasterskim podacima.

1.5.1 Vektorski podaci

Vektorski podaci geografske značajke predstavljaju s točkama, linijama ili poligonima (Burrough, McDonnell i Lloyd 2015). Ovi elementi pohranjuju prostorne (grafičke/geometrijske) kao i atributne informacije. Ovisno o tipu geometrije, vektorski podaci se dijele na:

- **Točke** predstavljaju diskretne lokacije u prostoru, poput bunara, drveća ili centroida grada. Svaka točka ima točno definiranu lokaciju u odabranom koordinatnom sustavu (na primjer, s geografskom širinom i dužinom). Podaci o točkama često se koriste za kartaže točnih lokacija, na primjer, uzoraka mjesta, a u malom mjerilu mogu prikazivati i generalizirane lokacije naselja i drugih krajolik elemenata.
- **Linije** se sastoje od više povezanih točaka i koriste se za predstavljanje linijskih značajki, poput cesta, rijeka, željezničkih pruga i cjevovoda. Linijski podaci ključni su za analizu mreža.
- **Poligoni** su oblici koji se sastoje od zatvorenih linija, i koriste se za predstavljanje područja, kao što su administrativne granice (države, općine), jezera, područja korištenja zemljišta i površine zgrada.
- Vektorski podaci su vrlo jasno definirani, jer mogu pohranjivati precizne koordinate, i često se koriste u kartografiji, prostornoj analizi i navigaciji (mreže prometnica!).

Vektorskim podacima obično možemo preko zajedničkih identifikatora pripisati razne tabelarne podatke. Ovi podaci mogu biti brojčani ili opisni. Pohranjeni su u tablicama i preko zajedničkih identifikatora povezani s vektorskim prostornim podacima. Opisni atributi uključuju, na primjer,

geografska imena i vrste korištenja zemljišta, a brojčani atributi, na primjer, površinu područja i broj posjetitelja. Podaci o atributima snažno obogaćuju prostorne podatke i povećavaju analitičku moć GIS-a. Samostalni tabelarni podaci mogu također sadržavati informacije (na primjer, koordinate) koje možemo pretvoriti u prostorne.

1.5.2 Rasterski podaci

Rasterski podaci su vrsta prostornih podataka koja predstavlja geografske značajke s mrežom ćelija (Burrough, McDonnell i Lloyd 2015). Rastrski podaci su korisni za neprekidnu (kontinuiranu) prezentaciju prostornih podataka, poput rasporeda temperature ili nadmorske visine.
Najčešći primjer rasterskih podataka su fotografije koje snimamo fotoaparatom ili pametnim telefonom. Svaka ćelija (piksel) ima vrijednost koja odgovara određenom atributu, poput boje, nadmorske visine (u slučaju digitalnog modela visina), temperature ili kategorije korištenja zemljišta. U GIS-ima se s rasterskim načinom pohrane podataka najčešće susrećemo kod zračnih ortofota i satelitskih snimaka, kao i digitalnih modela visina. Također su u rasterskom zapisu često dostupne već pripremljene karte interpoliranih mjerenja, poput karata temperatura i padalina.

1.6 GLAVNI KORACI PRI ANALIZI PROSTORA

1.6.1 Prikupljanje podataka

Većina projekata ili zadataka u geoinformacijskim aktivnostima započinje postupkom prikupljanja prostornih podataka iz raznih izvora. Precizno prikupljanje podataka od suštinskog je značaja za osiguranje pouzdanih prostornih analiza koje slijede.
U fazi prikupljanja podataka često su prisutne sljedeće aktivnosti:

- prikupljanje podataka na terenu – (na primjer, prikupljanje lokacija pomoću GNSS prijemnika, mjerenja s teodolitom, mjerenja električne otpornosti tla, snimanje površine ručnim laserskim skenerom, kartiranje tipova staništa),
- daljinsko očitanje iz zraka (na primjer, dobivanje satelitskih snimaka, zračnih fotografija, lasersko ili optičko snimanje s dronom),
- digitalizacija (na primjer, optičko skeniranje papirnatih karata u digitalne oblike),
- prikupljanje podataka uz pomoć građanske znanosti (na primjer, prikupljanje podataka putem platformi kao što je OpenStreetMap (OSM) ili putem anketa),
- bilježenje mjerenja raznim senzorima (na primjer, bilježenje mjerenja meteoroloških stanica, brojanje prometa).

1.6.2 Uređivanje i priprema podataka za analize

Prikupljene podatke unosimo u GIS i pohranjujemo u odgovarajućem formatu za daljnju analizu. Neobrađeni (sirovi) prostorni podaci često sadrže pogreške ili nedosljednosti. Obrada osigurava kvalitetu podataka i priprema ih za analizu.
U fazi predobrade i čišćenja podataka često su prisutne sljedeće aktivnosti:

- otkrivanje i ispravanje pogrešaka (na primjer, utvrđivanje i ispravljanje nedostajućih, dupliranih ili nepravilnih prostornih atributa, uklanjanje pogrešnih mjerenja zbog grešaka senzora),
- provjera topologije/prostornih odnosa (na primjer, dodavanje nedostajućih dijelova cesta koji moraju biti kontinuirano povezani, uklanjanje preklapanja poligona prilikom digitalizacije korištenja zemljišta),
- postavljanje u željeni koordinatni sustav (na primjer, pretvorba prostornih podataka iz koordinatnog sustava WGS84 (koji je čest, na primjer, kod ručnih GNSS prijemnika za planinarenje) u hrvatski koordinatni sustav D96),
- obrada neobrađenih zračnih snimaka (fotogrametrijska obrada optičkih zračnih fotografija i izrada oblaka točaka nadmorske visine površine),
- pretvorba podataka između različitih zapisa (na primjer, vektorizacija cesta iz zračnih ortofota, rasterizacija oblaka točaka za izradu rastrskog digitalnog modela visina).

1.6.3 Prostorna analiza

Uređene podatke možemo analizirati na različite načine i dobiti raznolike informacije. U fazi analize podataka često su prisutne sljedeće aktivnosti:

- analiza preklapanja slojeva podataka (na primjer, preklapanje sloja lokacija zgrada i poplavnih područja za analizu ugroženosti naselja),
- analiza blizine ili udaljenosti između elemenata te analiza mreža (na primjer, traženje najbliže bolnice u odnosu na određenu lokaciju),
- interpolacija ili procjena vrijednosti na temelju bliskih mjerenja (na primjer, predviđanje padalina na lokacijama bez meteoroloških mjerenja),
- morfometrijska analiza površine (na primjer, proučavanje promjene nadmorske visine, nagiba i eksponiranosti),
- modeliranje pojava i procesa (na primjer, modeliranje opasnosti od klizišta, snježnih lavina, modeliranje temperatura, rasprostranjenosti vrsta i staništa).

1.6.4 Prikaz ili vizualizacija rezultata

Na kraju cjelokupnog procesa rada s GIS-om rezultate predstavljamo. Prikaz se najčešće daje u obliku tematskih karata – tiskanih ili mrežnih, a uz njih mogu biti priložene i brojne tablice i grafički prikazi za bolju ilustraciju. Vrlo privlačni su i prikazi sadržaja u 3D okruženjima.

- izrada karata za prikaz na ekranu ili tisak (na primjer, priprema pregledne karte nacionalnog parka),
- izrada 3D vizualizacija (na primjer, prikaz 3D modela ledenjaka s mogućnostima različitih vremenskih perioda),
- izrada web aplikacija za diseminaciju informacija (na primjer, priprema interaktivne web karte s dodatnim multimedijskim sadržajima pojedinih turističkih točaka),
- izrada web 3D prikaza površine (na primjer, prelet kroz planiranu urbanistički plan grada),
- izrada aplikacija za mobilne uređaje (na primjer, aplikacija za pomoć pri planinarenju)

1.7 IZVORI I LITERATURA

- Banton, O., Cimon, M., Seguin, M. 1997: Mapping field-scale physical properties of soil with electrical resistivity. Soil Science Society of America Journal 61. DOI: https://doi.org/10.2136/SSSAJ1997.03615995006100040003X
- Breg Valjavec, M. 2014: Study of filled dolines by using 3D stereo image processing and electrical resistivity imaging. International Journal of Speleology 43-1. DOI: https://doi.org/10.5038/1827-806X.43.1.6
- Burrough, P. A., McDonnell, R. A., Lloyd, C. D. 2015: Principles of geographical information systems. Oxford.
- Buynevich, I.V., FitzGerald, D.M. 2019: Ground-penetrating radar. Encyclopedia of Coastal Science. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-93806-6_162
- Gregersen, E. 2025: Lidar. Encyclopedia Britannica. Medmrežje: https://www.britannica.com/technology/lidar. (18. 3. 2025).
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., Wasle, E. 2008: GNSS – Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more. Dunaj. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-211-73017-1
- Kleeman, L., Kuc, R. 2008: Sonar sensing. Springer Handbook of Robotics. Berlin, Heidelberg. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-540-30301-5_22
- Okabe, A. 2006: Introduction. GIS-Based Studies in the Humanities and Social Sciences. Boca Raton.
- Polanec, D. 2014: Razvoj geodetskih instrumentov. Diplomsko delo, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani. Ljubljana.

2 PRIBAVLJANJE PODATAKA

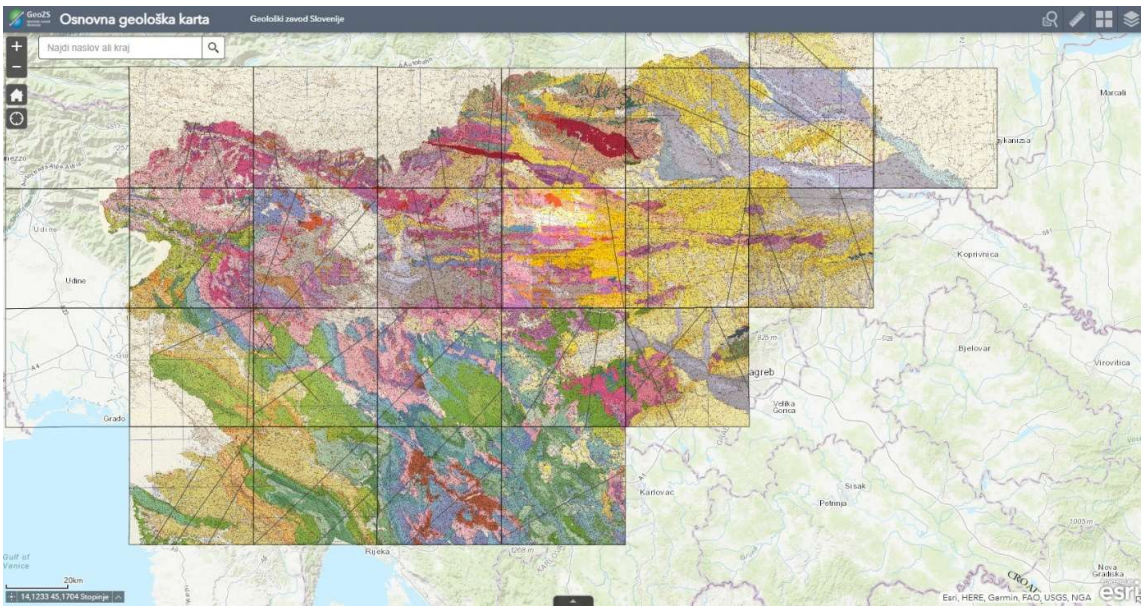
2.1 PRIBAVLJANJE PODATAKA POSTOJEĆIH BAZA I DRUGIH IZVORA

2.1.1 Podaci s područja geologije

A) Geološka karta Slovenije

Na mrežnim stranicama Geološkog zavoda Slovenije dostupna je Osnovna geološka karta Slovenije u mjerilu 1 : 100.000, koja sadrži podatke o litološko-stratigrafskim značajkama stijena koje čine slovensko područje, njihovim međusobnim odnosima, starosti i drugim važnim svojstvima. Podaci za cijelo područje Slovenije dostupni su u obliku web preglednika na adresi https://ogk100.geo-zs.si, a preuzimanje podataka u vektorskom i raster formatu moguće je za pojedinačna područja ili liste (Sloveniju pokriva 23 lista) na mrežnoj adresi https://egeologija.si/geonetwork/srv/slv/catalog.search#/home. U preuzetim vektorskim podacima geološke granice i tektonski elementi prikazani su kao linije, geološke jedinice predstavljaju zatvorene poligone, a točkasti strukturni elementi i druge lokacije geoloških pojava (na primjer fosili, mineralne sirovine, hidrogeološki pojavi) prikazani su kao točke. Prostorni podaci o stijenama u pripadajućim preglednicima prate i drugi podaci, kao što su starost i kategorizacija stijena u jedinice (slika 8).

Izvor podatkovnog sloja: Geološki zavod Slovenije
Pristup podatkovnom sloju: https://www.geo-zs.si/
Zapis podatkovnog sloja: vektorski, rasterski
Rezolucija podatkovnog sloja: /

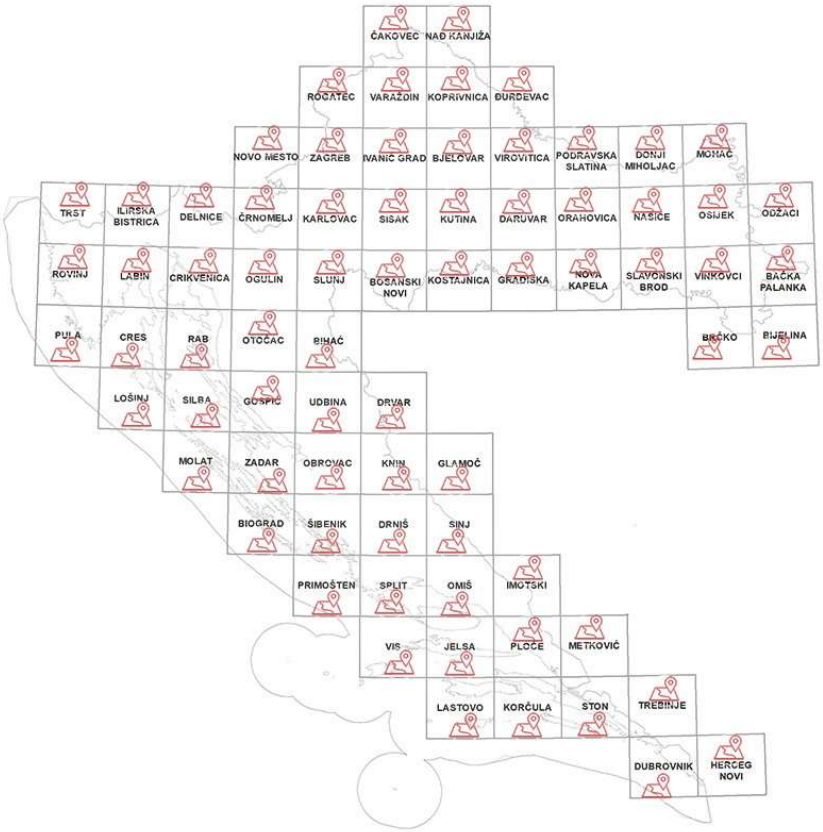


Slika 8: Zaslonski prikaz pregledovalnika Osnovne geološke karte Slovenije.

B) Geološka karta Hrvatske

Osnovna geološka karta Hrvatske (Osnovna geološka karta Republike Hrvatske 1 : 100 000) također kao i Osnovna geološka karta Slovenije sadrži podatke o litološko-stratigrafskim karakteristikama stijena, njihovim međusobnim odnosima, starosti i drugim važnim svojstvima. Podaci za cijelo područje Hrvatske u mjerilu 1 : 300.000 dostupni su u obliku web preglednika na adresi http://webgis.hgi-cgs.hr/gk300/default.aspx, a dobivanje podataka u digitalnom zapisu u mjerilu 1 : 100.000 moguće je za pojedinačna područja ili listove (Hrvatsku prekriva 74 lista) uz poslani zahtjev za dobivanje podataka na Hrvatski geološki institut, koji detaljne informacije nudi na https://www.hgi-cgs.hr/geoloske-karte (slika 9). Uz poslan upit moguće je dobiti odjednom i podatke za cijelo područje Hrvatske, no podaci nisu georeferencirani.

Izvor podatkovnog sloja: Hrvatski geološki institut, Zavod za geologiju
Pristup podatkovnom sloju: https://www.hgi-cgs.hr/
Zapis podatkpvnoga sloja: rasterski
Rezolucija podatkovnoga sloja: /



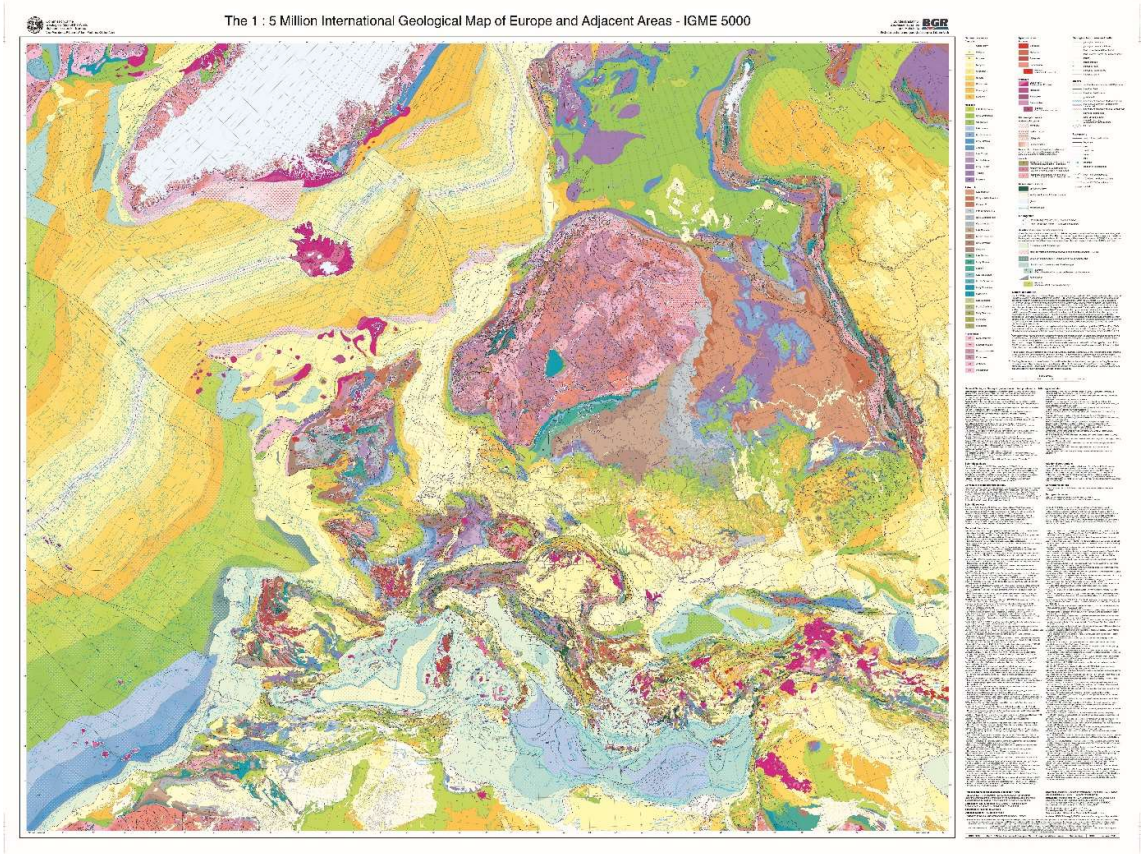
Slika 9: Pregled listova Osnovne geološke karte Hrvatske u mjerilu 1 : 100.000.

C) Međunarodni geološki zemljovid Europe i susjednih područja

Međunarodni geološki zemljovid Europe i susjednih područja u mjerilu 1 : 5.000.000 prikazuje pojednostavljene geološke karakteristike Europe prije kvartara na kopnu i na moru (slika 10). Osim informacija o starosti, petrografiji i genezi, prikazane su i magnetske anomalije, tektonske strukture, metamorfizam te podaci o kontinentalnoj odnosno oceanskoj kori i kontinentalnom rubu. Zemljovid je razvio Savezni institut za geoznanosti i prirodne resurse (njem. Bundesanstalt für Geowissenschaften

und Rohstoffe) pod okriljem Komisije za geološki zemljovid svijeta (engl. Commission of the Geological Map of the World, CGMW) u suradnji s 48 državnih geoloških organizacija i više od 20 istraživačkih instituta. Podaci u vektorskom i rastrskom obliku mogu se preuzeti s službenog portala Europske unije (https://data.europa.eu/data/datasets/9fd6624c-0aa7-46d4-9da3-955e558cd5f1-1?locale=en).

Izvor podatkovnog sloja: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Evropska Unija
Pristup podatkovnome sloju: https://data.europa.eu/en
Zapis podatkovnog sloja: rasterski, vektorski
Rezolucija podatkovnog sloja: /

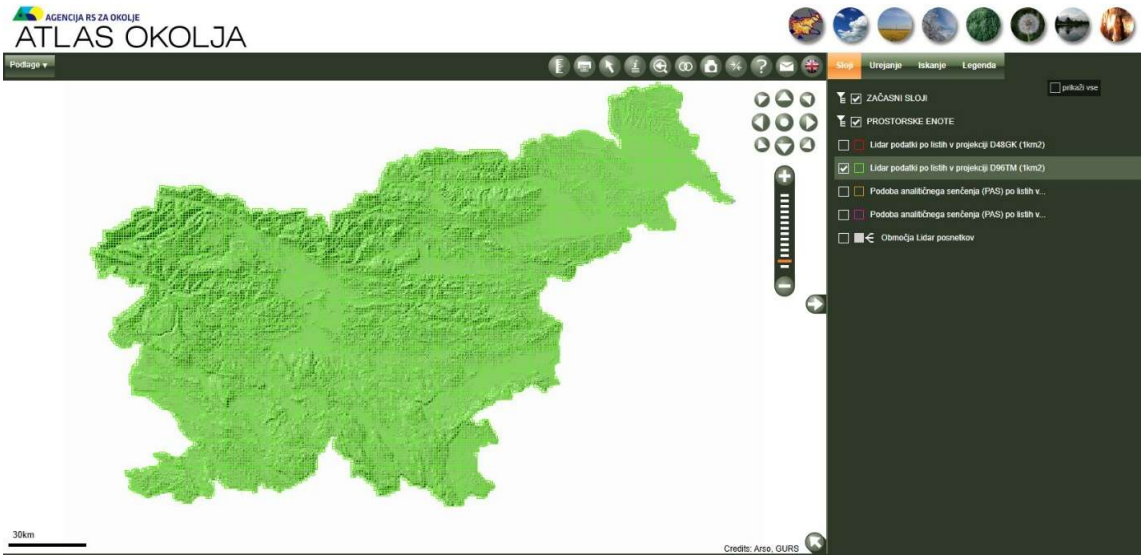


Slika 10: Međunarodni geološki zemljevid Evrope.

2.1.2 Podaci s područja geomorfologije

A) Podaci laserskog skeniranja (LIDAR) za područje Slovenije
Podaci zračnog laserskog skeniranja površine (LIDAR) dostupni su za cijelo područje Slovenije. Web preglednik eVode (https://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas_voda_Lidar@Arso; slika 11) omogućava pregled i preuzimanje podataka laserskog skeniranja za područje Slovenije po listovima veličine 1 km², za koje je već izrađen georeferencirani i klasificirani oblak točaka. Moguće je dobiti sljedeće vrste podataka: 1) oblak točaka reljefa u obliku zLAS (OTR), 2) oblak točaka u obliku zLAS klasificiran na tala, zgrade i tri različite vrste vegetacije – niska, srednja i visoka (GKOT), 3) digitalni model reljefa na osnovi točaka OTR s rezolucijom 1 m × 1 m u obliku ASCII (DMR). Za konverziju podataka iz oblika zLAS u LAS moguć je i besplatan prijenos alata LAS Optimizer. Točna uputstva za preuzimanje podataka dostupna su na web stranici http://www.evode.gov.si/index.php?id=87. Podaci za veća područja mogu se dobiti na Agenciji Republike Slovenije za okolje.

Izvor podatkovnog sloja: Agencija Republike Slovenije za okolje
Pristup podatkovnome sloju: https://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas_voda_Lidar@Arso in http://www.evode.gov.si/index.php
Zapis podatkovnog sloja: rastrski, vektorski (oblak točk)
Rezolucija podatkovnog sloja: 1 m × 1 m



Slika 11: Zaslonski prikaz spletnega pregledovalnika podatkov laserskega skeniranja Slovenije.

B) Podaci laserskog skeniranja (LIDAR) za područje Hrvatske
Podaci zračnog laserskog skeniranja površine dostupni su za cijelo područje Hrvatske. Podatke je moguće dobiti samo putem podane molbe. Upute za naručivanje podataka dostupne su na web stranici DGU (https://dgu.gov.hr/proizvodi-i-usluge/podnesite-zahtjev-91/91). Podaci su podijeljeni na mrežu listova u mjerilu 1 : 2.000, za koje je već izrađen georeferenciran oblak točaka. Moguće je dobiti sljedeće vrste podataka: 1) klasificirani izvorni oblak točaka po pojedinim listovima u zapisu LAS ili LAZ, 2) digitalni model površine (DMP) s razlučivošću 1 m × 1 m po pojedinim listovima u zapisu TIFF, 3) digitalni model reljefa (DMR) s razlučivošću 1 m × 1 m po pojedinim listovima u obliku TIFF.

Izvor podatkovnog sloja: Državna geodetska uprava
Pristup podatkovnome sloju: https://dgu.gov.hr/
Zapis podatkovnog sloja: rasterski
Rezolucija podatkovnog sloja: 1 m × 1 m

C) Digitalni model visina za područje Slovenije
Digitalni model visina Slovenije je opis reljefa u obliku modela, gdje su dane visine reljefa za svako polje kvadratne mreže. Model je dostupan u različitim rezolucijama: 100 m × 100 m (oznaka DMV 100), 25 m × 25 m (DMV 25), 12,5 m × 12,5 m (DMV 12,5) i 5 m × 5 m (DMV 5). Pri posljednjem je osnovna jedinica izdavanja pojedini list mreže temeljnog topografskog plana 1 : 5000 (TTN 5). Preuzimanje podataka moguće je putem zbirke javnih geodetskih podataka na Portalu Prostor Geodetske uprave Republike Slovenije, na mrežnoj stranici: https://ipi.eprostor.gov.si/jgp/data (područje Državni topografski sistem, Digitalni model višin).

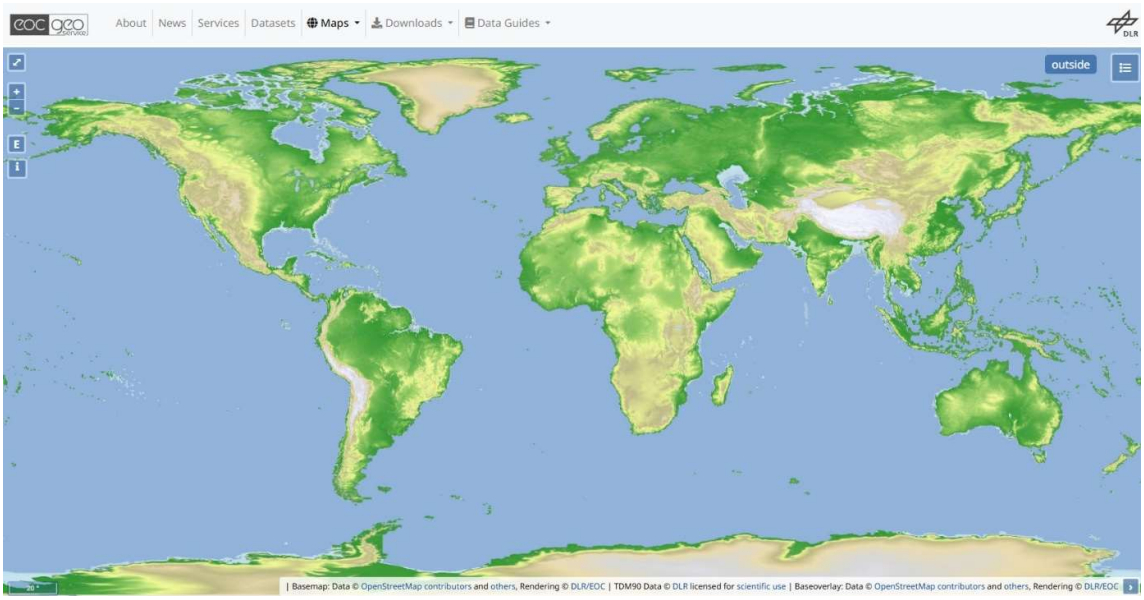
Izvor podatkovnog sloja: Geodetska uprava Republike Slovenije
Pristup podatkovnome sloju: https://www.e-prostor.gov.si/
Zapis podatkovnog sloja: rasterski
Rezolucija podatkovnog sloja: 5 m × 5 m, 12,5 m × 12,5 m, 25 m × 25 m, 100 m × 100 m

D) Digitalni model visina za područje Hrvatske
Digitalni model visina Hrvatske s razlučivošću 25 m × 25 m je opis reljefa u obliku modela, gdje su dane visine reljefa za svako polje kvadratne mreže i dostupan je za cijelo područje Hrvatske. Pregled podataka moguć je putem web preglednika Geoportala Hrvatske državne geodetske uprave na adresi https://geoportal.dgu.hr, a podatke je moguće dobiti samo putem podane molbe za pristup podacima, koja je dostupna na web stranici strani DGU https://dgu.gov.hr/proizvodi-i-usluge/podnesite-zahtjev-91/91.Podaci so u formatu ASCII.

Izvor podatkovnog sloja: Državna geodetska uprava
Pristup podatkovnome sloju: https://dgu.gov.hr/
Zapis podatkovnog sloja: rasterski
Rezolucija podatkovnog sloja: 25 m × 25 m

E) Globalni digitalni model visina TanDEM-X
TanDEM-X je verzija proizvoda globalnog digitalnog modela visina (DMV), dobivenog u okviru njemačke svemirske misije TanDEM-X. Na raspolaganju su tri digitalna modela visina u zapisu GeoTIFF u različitim razlučivostima: 12 m × 12 m, 30 m × 30 m i 90 m × 90 m. TanDEM-90 može se preuzeti s web stranice Geoservice (https://geoservice.dlr.de/web/dataguide/tdm90/), gdje su dostupne i sve upute i uvjeti korištenja. Podaci TanDEM-12 i TanDEM-30 dostupni su samo na zahtjev. Sve informacije su dostupne na mrežnoj stranici: https://tandemx-science.dlr.de/ (slika 12).

Izvor podatkovnog sloja: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Pristup podatkovnome sloju: https://tandemx-science.dlr.de/
Zapis podatkovnog sloja: rasterski
Rezolucija podatkovnog sloja: 12 m × 12 m, 30 m × 30 m, 90 m × 90 m



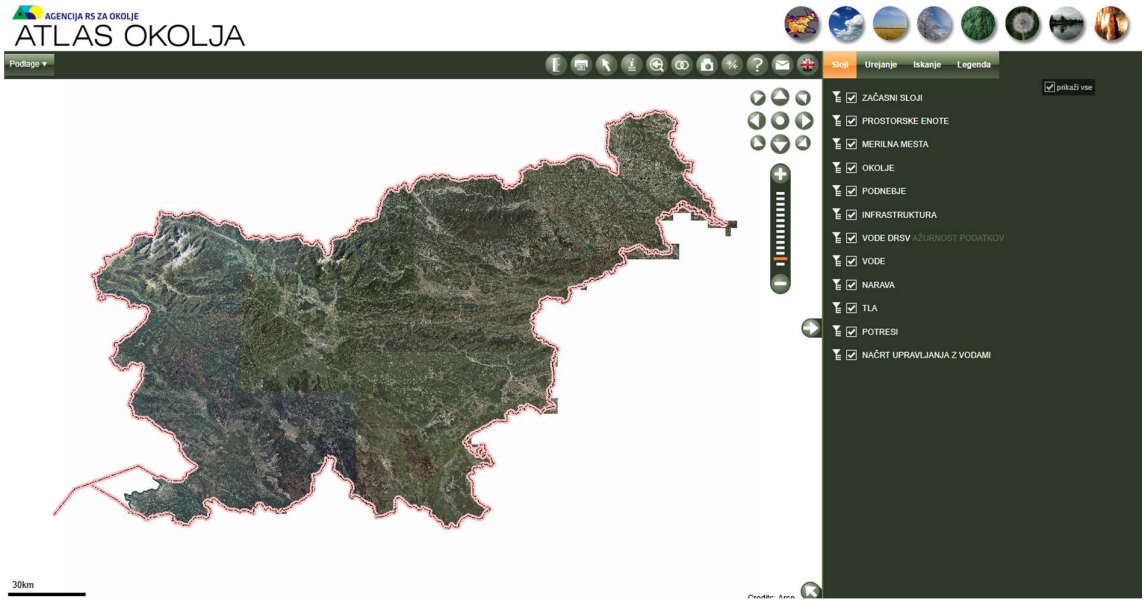
Slika 12: Snimak zaslona TanDEM-X globalnog digitalnog modela elevacije.

2.1.3 Podaci s područja klimatologije

A) Klimatski podaci Slovenije
Agencija Republike Slovenije za okoliš nudi brojne klimatske podatke, na primjer podatke o temperaturama, padavinama, snježnom pokrivaču i drugom (slika 13). Podatke prikuplja s opsežnom

mrežom klimatoloških postaja diljem Slovenije, za koje su dostupni tabelarni podaci. Za brojne pojave dostupni su i rasterski ili vektorski zemljovidi s interpoliranim vrijednostima.

Izvor podatkovnog sloja: Agencija Republike Slovenije za okolje
Pristup podatkovnome sloju: https://gis.arso.gov.si/geoportal/ in http://www.arso.si
Zapis podatkovnog sloja: vektorski in rasterski
Rezolucija podatkovnog sloja: različite rezolucije



Slika 13: Prikaz zaslona preglednika Atlasa okoliša Agencije za okoliš Republike Slovenije.

B) Klimatski podaci Hrvatske
Državni hidrometeorološki zavod nudi brojne klimatske podatke, na primjer podatke o temperaturama, padalinama, snježnom pokrivaču i drugom. Podatke prikuplja s opsežnom mrežom klimatoloških postaja diljem Hrvatske, za koje su dostupni tabelarni podaci. Za brojne pojave dostupni su i rasterski ili vektorski zemljovidi s interpoliranim vrijednostima.

Izvor podatkovnog sloja: Državni hidrometeorološki zavod
Pristup podatkovnome sloju: https://meteo.hr/
Zapis podatkovnog sloja: rasterski
Rezolucija podatkovnog sloja: različne ločljivosti

C) Klimatski podaci web stranice WorldClim
Na web stranici WorldClim dostupni su osnovne klimatski pojave, kao što su temperatura, padalina i vjetar. Podaci su dostupni u različitim rezolucijama (od 10 minuta do 30 sekundi). Među podacima nalazimo i prognozirane vrijednosti za buduća razdoblja.

Izvor podatkovnog sloja: WorldClim
Pristup podatkovnome sloju: https://worldclim.org/
Zapis podatkovnog sloja: rasterski
Rezolucija podatkovnog sloja: različite rezolucije

2.1.4 Podaci s područja hidrologije

A) Hidrološki podaci Slovenije
Agencija Republike Slovenije za okoliš nudi brojne hidrološke podatke, koje prikuplja s opsežnom mrežom hidroloških postaja diljem Slovenije. Za njih su dostupne tabelarne izmjerene vrijednosti. Za brojne pojave dostupni su i vektorski zemljovidi

Izvor podatkovnog sloja: Agencija Republike Slovenije za okolje
Pristup podatkovnome sloju: https://gis.arso.gov.si/geoportal/ in http://www.arso.si
Zapis podatkovnog sloja: vektorski
Rezolucija podatkovnog sloja: /

B) Hidrološki podaci Hrvatske
Web stranica ustanove Hrvatske vode nudi informacije s područja voda, gdje je dostupan preglednik prostorskih podataka s tog područja.

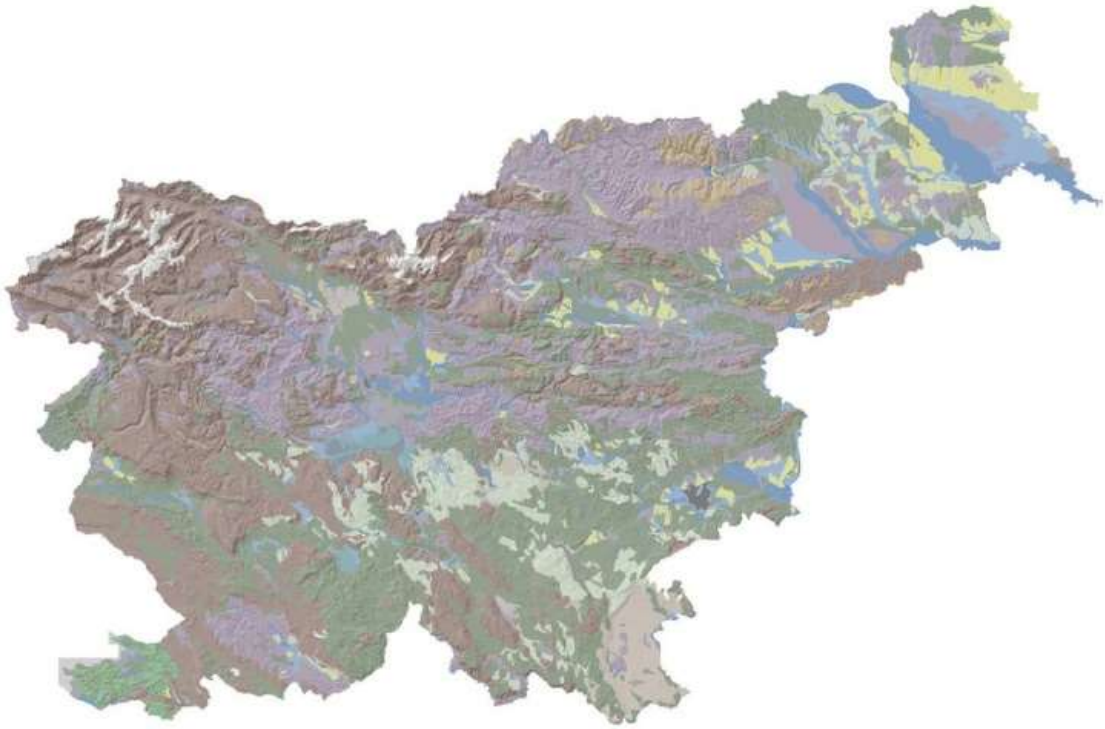
Izvor podatkovnog sloja: Državni hidrometeorološki zavod
Pristup podatkovnome sloju: https://www.voda.hr/hr/geoportal
Zapis podatkovnog sloja: rasterski
Rezolucija podatkovnog sloja: /

2.1.5 Podaci s područja pedologije

A) Pregledna pedološka karta Slovenije u mjerilu 1 : 1.000.000
Pregledna pedološka karta u mjerilu 1 : 1.000.000 (slika 14) predstavlja generalnu podatkovnu zbirku o ovom prirodnom resursu Slovenije. Sloj je namijenjen prikazu osnovnih pedoloških svojstava na razini države, stoga je pedološka karta najviše korisna u poljoprivredi, šumarstvu i zaštiti prirode. Pregledna pedološka karta sastoji se od poligona prevladavajućeg tipa tla prema slovenskoj klasifikaciji tala kao i prema klasifikaciji Organizacije Ujedinjenih Naroda za prehranu i poljoprivredu (engl. *Food and Agriculture Organization of the United Nations,* FAO).

Izvor podatkovnog sloja: Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano ter Kmetijski inštitut Slovenije
Pristup podatkovnome sloju: https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/soil-atlas-europe
Zapis podatkovnog sloja: vektorski

Više informacija:
- Vrščaj B., Prus T. 2005: Soil atlas of Europe. Ispra.

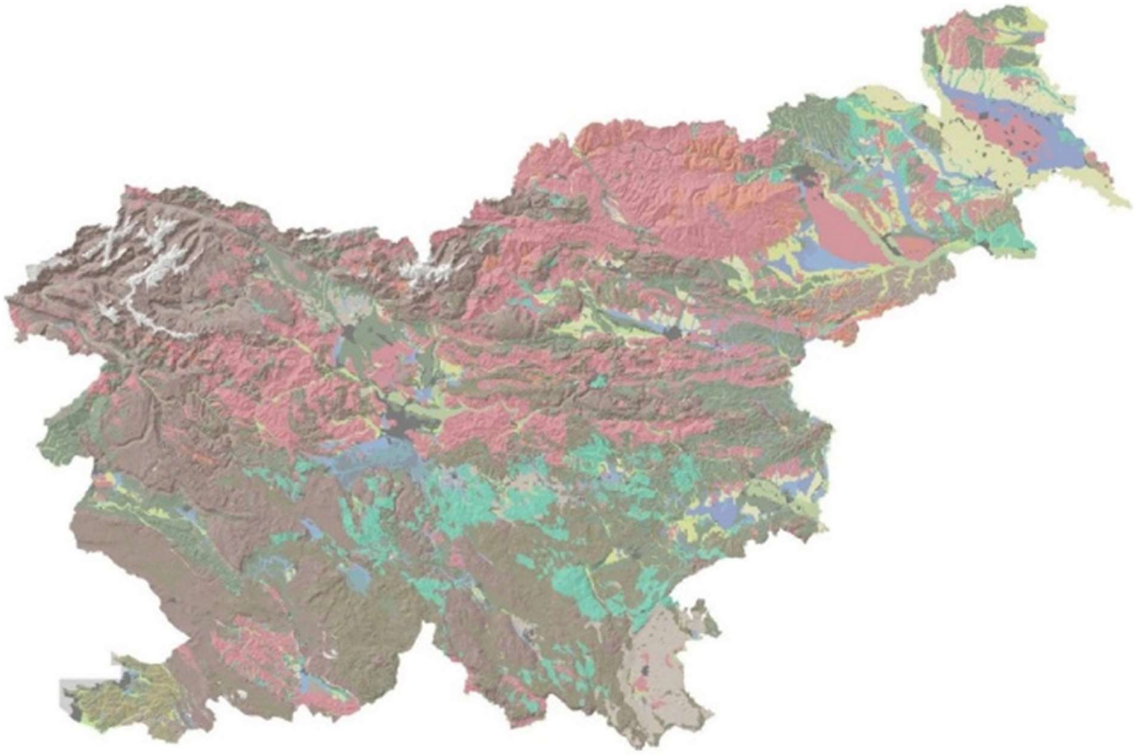


Slika 14: Zaslonski prikaz preglednika pregledne pedološke karte Slovenije u mjerilu 1 : 1.000.000.

B) Pedološka karta Slovenije u mjerilu 1 : 25.000

Sloj je temeljna evidencija tla u Sloveniji. Pedološku kartu čine kartografske jedinice tipova tla (TKE). Svakoj TKE je pripisan prevladavajući tip tla prema slovenskoj klasifikaciji tla kao i prema klasifikaciji FAO. Unutar TKE može se nalaziti više sistematskih jedinica tla (TSE) ili tipova tla, razvrstanih prema udjelima površine pojedine jedinice. U jednoj jedinici mogu se nalaziti najviše tri različita tipa tla. Sloj je izradio Centar za pedologiju i zaštitu okoliša (CPVO) Biotehničkog fakulteta Sveučilišta u Ljubljani. Podaci su slobodno dostupni na web pregledniku Ministarstva za poljoprivredu, šumarstvo i prehranu (slika 15) (https://gis.etla.si/KIS-WebGIS/#config=JAVNI.xml). Grafički i atributni podaci dostupni su na web stranici Otvoreni podaci Slovenije (OPSI), gdje se nalaze i metapodaci o svim podacima

Izvor podatkovnog sloja: Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano
Pristup podatkovnome sloju: https://podatki.gov.si/dataset/pedoloska-karta-slovenije in https://rkg.gov.si/razno/portal_analysis/PedoloskaKarta.zip
Zapis podatkovnog sloja: vektorski (poligon)

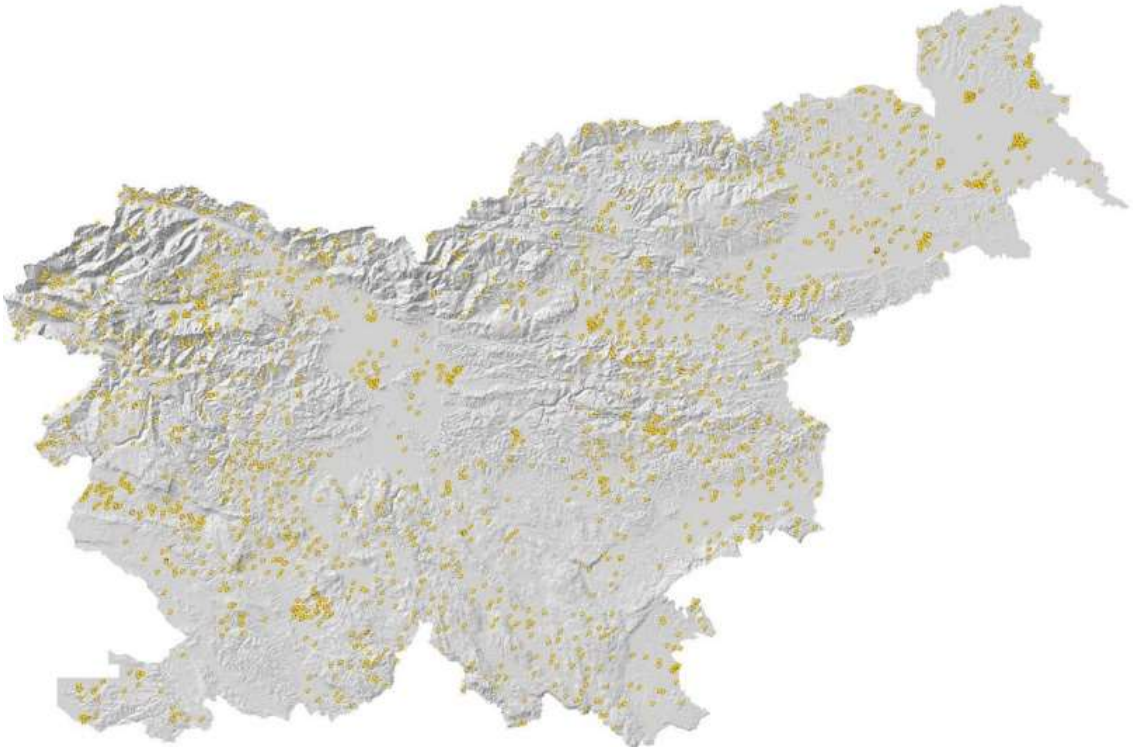


Slika 15: Zaslonski prikaz preglednika pedološke karte Slovenije u mjerilu 1 : 25.000.

C) Pedološki profili Slovenije

Sloj prikazuje lokacije pedoloških profila na razini cijele države te sadrži 1879 pedoloških profila. Svaka točka sadrži podatak o lokaciji iskopavanja, tipu tla, slijedu horizonta te dodatne informacije o matičnoj podlozi, korištenju zemljišta i vegetaciji. Vlasnik podataka je Ministarstvo za poljoprivredu, šumarstvo i prehranu, a autor je Centar za pedologiju i zaštitu okoliša Biotehničkog fakulteta Sveučilišta u Ljubljani. Karta je izrađena 2019. godine, a podaci su slobodno dostupni na web pregledniku Ministarstva za poljoprivredu, šumarstvo i prehranu (https://rkg.gov.si/GERK/WebViewer; slika 16) i pri registraciji također na mrežnoj stranici eTLa (https://gis.etla.si/KIS-WebGIS/#config=JAVNI.xml). Grafički i atributni podaci dostupni su na web stranici Otvoreni podaci Slovenije (OPSI), gdje se nalaze i metapodaci o svim podacima.

Izvor podatkovnog sloja: Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano
Pristup podatkovnome sloju: https://podatki.gov.si/dataset/pedoloska-karta-slovenije in https://rkg.gov.si/razno/portal_analysis/PedoloskaKarta.zip
Zapis podatkovnog sloja: vektorski (točke)



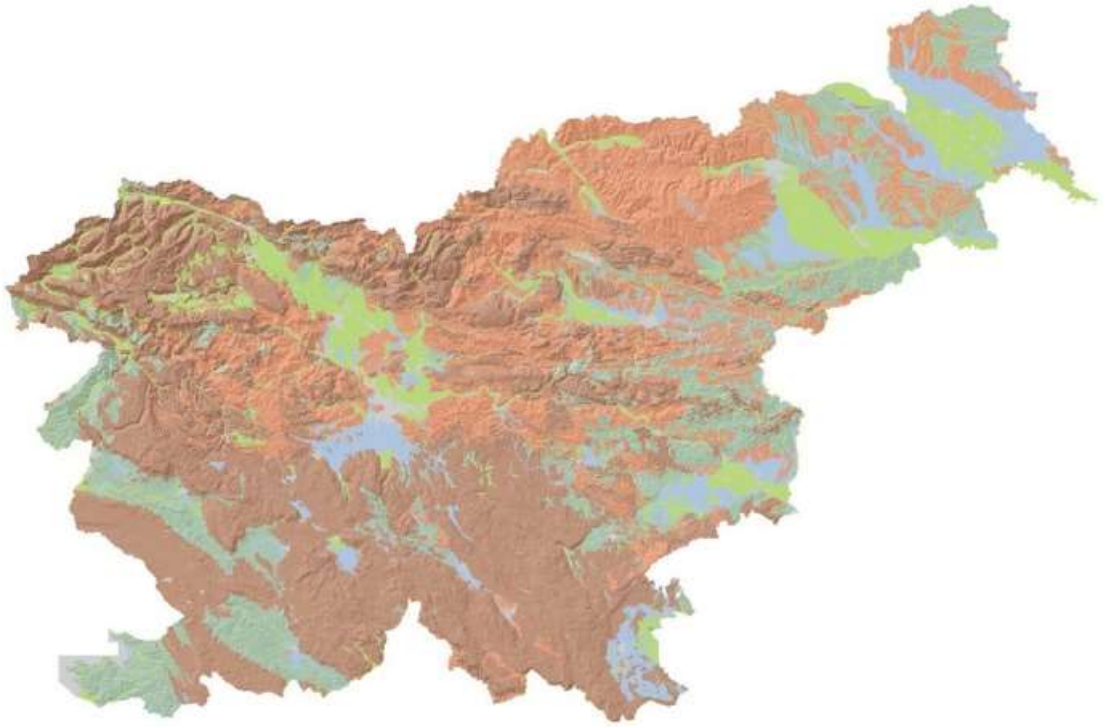
Slika 16: Zaslonski prikaz preglednika pedoloških profila Slovenije.

D) Pedosekvence Slovenije

Podatkovni sloj prikazuje pedosekvence na području Slovenije. Pedosekvenca je atributna pedološka jedinica, u kojoj se okupljaju tipovi tla sličnih svojstava. Glavni kriterij za određivanje pedosekvenci je prvenstveno matična podloga, koja je jedan od najjačih prirodnih pedogenetskih čimbenika. U Sloveniji se pojavljuje pet pedosekvenci: pedosekvenca na šljunku i pijesku (PP), pedosekvenca na glini i ilovači (GI), pedosekvenca na mekim karbonatnim stijenama (MK), pedosekvenca na tvrdim karbonatnim stijenama (TK) te pedosekvenca na nekarbonatnim stijenama (NK). Podatkovni sloj je 2015. godine pripremio Borut Vrščaj, a vlasnik podataka je Poljoprivredni institut Slovenije. Zemljovid je upotrebljiv do mjerila 1 : 25.000, a u većim mjerilima nije pouzdan.

Podaci su slobodno dostupni na web pregledniku Ministarstva za poljoprivredu, šumarstvo i prehranu (https://rkg.gov.si/GERK/WebViewer; slika 16) i pri registraciji također na mrežnoj stranici eTLa (https://gis.etla.si/KIS-WebGIS/#config=JAVNI.xml). Grafički i atributni podaci dostupni su na web stranici Otvoreni podaci Slovenije (OPSI), gdje se nalaze i metapodaci o svim podacima.

Izvor podatkovnog sloja: Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano
Pristup podatkovnome sloju: https://rkg.gov.si/razno/portal_analysis/PedoloskaKarta.zip in https://podatki.gov.si/dataset/pedoloska-karta-slovenije
Zapis podatkovnog sloja: vektorski (poligon)

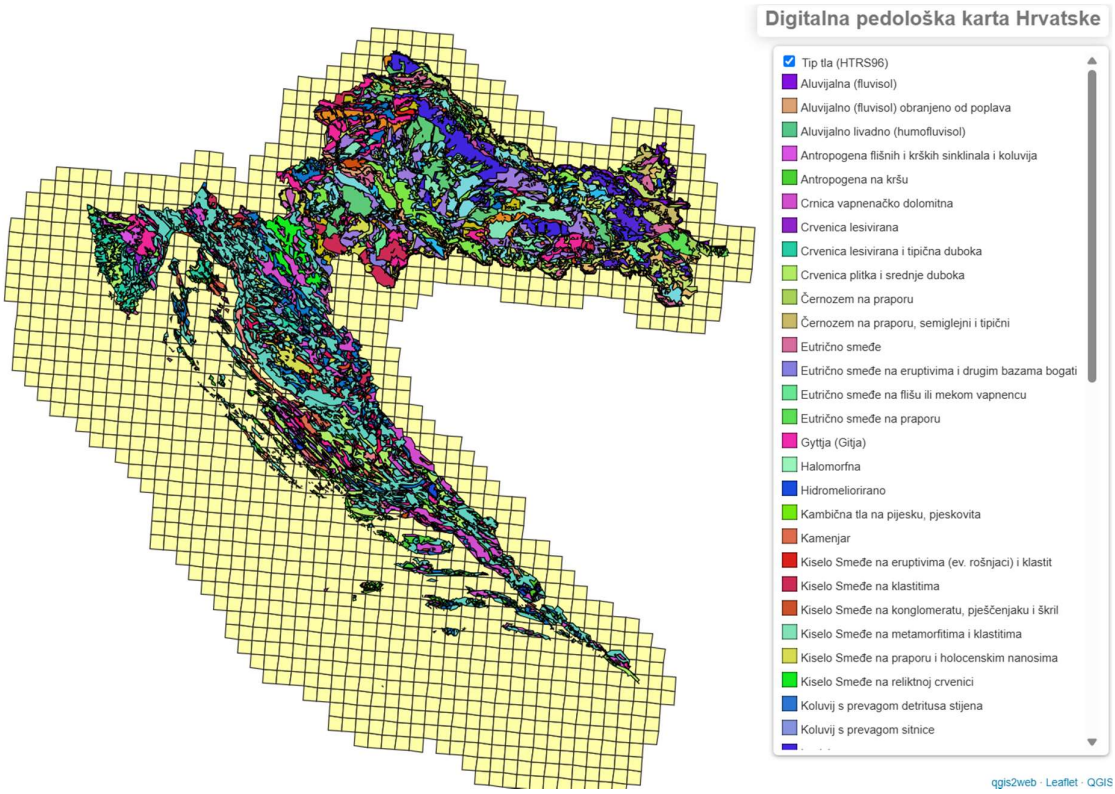


Slika 17: Zaslonski prikaz preglednika pedosekvenci Slovenije.

E) Digitalna pedološka karta Hrvaške

Digitalna pedološka karta Hrvaške je osnovni prostorski sloj, ki je na voljo za območje celotne Hrvaške (slika 18).

Izvor podatkovnog sloja: Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek
Pristup podatkovnome sloju: https://pedologija.com.hr/iBaza/DPK-Hr_2021/index.html#2/44.5/16.3
Zapis podatkovnog sloja: vektorski



Slika 18: Prikaz zaslona preglednika hrvatske pedološke karte

F) Europska pedološka baza (European Soil Database)

Ova zbirka podataka (2004) jedina je usklađena zbirka podataka o tlima za Europu, koja se proteže i na Euroaziju. Sadrži geografsku bazu podataka o tlima Euroazije u mjerilu 1 : 1.000.000 (SGDBE), na koju su vezani brojni bitni atributi tla, i pridruženu bazu podataka pravila o pedotransferu (PTRDB). Dio zbirke podataka je i analitička baza podataka profila tla u Europi (SPADBE), koja sadrži mjerene i procijenjene profile tla za Europu. Zbirku podataka zaokružuje baza podataka o hidrauličkim svojstvima europskih tla (HYPRES).

Izvor podatkovnog sloja: Joint Research Centre, European Soil Data Centre
Pristup podatkovnome sloju: Podatek je dostopen z izpolnitvijo in oddajo spletne vloge prek spletne strani: https://esdac.jrc.ec.europa.eu/resource-type/european-soil-database-soil-properties
Zapis podatkovnog sloja: vektor (poligon)
Rezolucija podatkovnog sloja: /

Više informacija:

- Vrščaj B., Prus T. 2005: Soil atlas of Europe. Ispra.
- Vrščaj, B. 2015: Pedosekvence Slovenije 1:25.000 [The Soil scapes 1:25,000]. Ljubljana.
- Vukadinović, V., Vukadinović, V. 2018. Zemljišni resursi. Vrednovanje poljoprivrednih zemljišnih resursa (e-knjiga). Osijek.

2.1.6 Podaci s područja biogeografije

A) Habitatni tipovi Slovenije

Kartiranje habitatnih tipova je brza i precizna metoda koja u relativno kratkom vremenu omogućava dobivanje što više informacija o stanju i strukturi habitatnih tipova u nekom prostoru. Osnova za terenski rad je digitalni ortofoto snimak (DOF), na koji se unose područja pojedinih habitatnih tipova.

Krajnji proizvod je karta habitatnih tipova (slika 19), koja su predstavljena skupljenim poligonima, pri čemu svaki od njih mora imati određenu barem jednu vrstu habitatnog tipa. Rezultati kartiranja s prirodno-zaštitarskom procjenom habitatnih tipova su korisni pri planiranju njihove zaštite te strategiji razvoja nekog područja (na primjer za planiranje infrastrukture). Habitatni tipovi Slovenije su pripremljeni u mjerilu 1 : 10.000.

Izvor podatkovnog sloja: Zavod Republike Slovenije za varstvo narave
Pristup podatkovnome sloju: https://www.naravovarstveni-atlas.si/web/profile.aspx?id=N2K@ZRSVNJ
Zapis podatkovnog sloja: vektorski (poligon)

Više informacija:

- Kačičnik Jančar, M. 2011: Navodila za kartiranje negozdnih habitatnih tipov. Ljubljana.
- Žvikart, M. 2013: Habitatni tipi Slovenije 2013, tehnična posodobitev. Ljubljana.



Slika 19: Prikaz zaslona preglednika habitatnih tipova Slovenije..

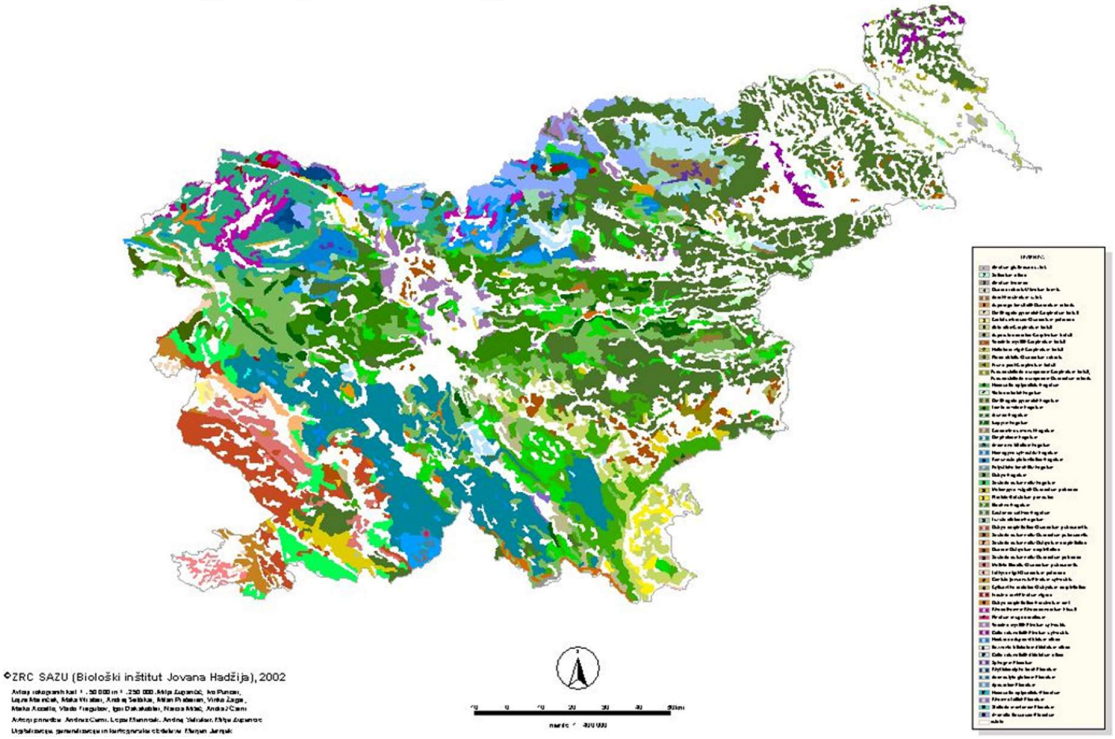
B) Šumska vegetacija Slovenije

U proteklom razdoblju u Sloveniji je provedeno kartiranje šumskih zajednica. Osnovna kartiranja su provedena u mjerilu 1 : 50.000 odnosno 1 : 100.000. Karte se temelje na istraživanjima šuma prema standardnoj srednjoeuropskoj metodi Braun-Blanqueta i predstavljaju osnovu za poznavanje šuma u Sloveniji. Kartiranje je započelo 60-ih godina prošlog stoljeća, no materijal je usklađen i digitaliziran (slika 20).

Izvor podatkovnog sloja: Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti ter Gozdarski inštitut Slovenije
Pristup podatkovnome sloju: podatki se nahajajo na zgoščenkah
Zapis podatkovnog sloja: vektorski (poligon)

Više informacija:

- Košir, Ž., Zorn-Pogorelc, M., Kalan, J., Marinček, L., Smole, I., Čampa, L., Šolar, M., Anko, B., Accetto, M., Robič, D., Toman, V., Žgajnar, L., Torelli, N., Tavčar, I., Kutnar, L., Kralj, A. 2007: Gozdnovegetacijska karta Slovenije. Ljubljana.
- Čarni, A., Marinček, L., Seliškar, A., Zupančič, M. 2002: Vegetacijska karta gozdnih združb Slovenije v merilu 1:400.000. Ljubljana.

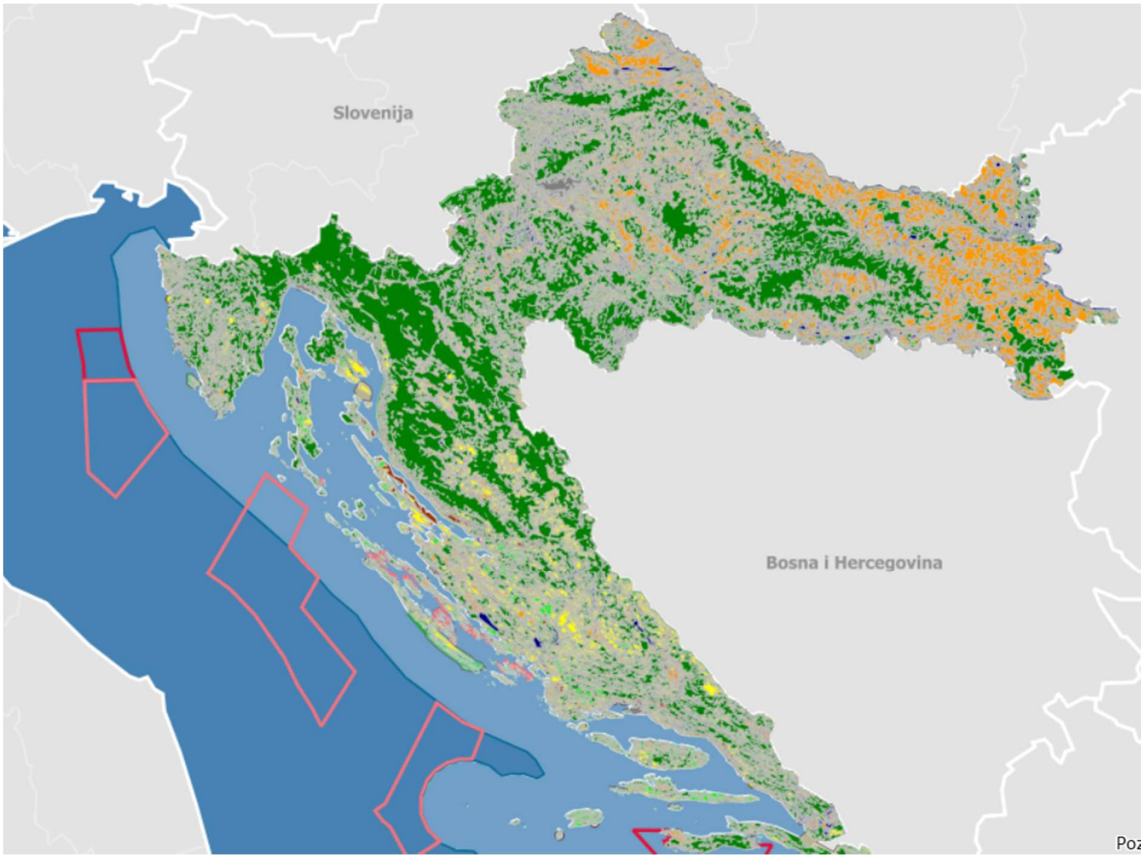


Slika 20: Vegetacijska karta šumskih zajednica Slovenije.

C) Habitatni tipovi Republike Hrvatske (1 : 25.000)

Karta kopnenih nešumskih staništa Republike Hrvatske iz 2016. godine je prostorni prikaz staništa, koja su kartirana u skladu s Nacionalnom klasifikacijom staništa (NKS). Uključuje 155 habitatnih tipova sljedećih kategorija: površinske slatkovodne vode i močvarni habitati (A), gola i rijetko obrasla zemljišta (B), travnjaci, močvare i visoke trave (C), grmlje (D), obalna vegetacija (F), obrađene nešumske površine i staništa s korovnom i ruderalnom vegetacijom (I) te stanišni kompleksi (K). Karta je izrađena u mjerilu 1 : 25.000 s najmanjom jedinicom kartiranja od 1,56 ha i sastoji se od 322.758 poligona i 972 točkastih prikaza habitatnih tipova. Tijekom izrade je terenski provjeravano više od 22 % poligona (slika 21).

Izvor podatkovnog sloja: Ministarstvo zaštite okoliša i zelene tranzicije
Pristup podatkovnome sloju: https://bioportal.hr/gis/
Zapis podatkovnog sloja: vektorski (poligon)



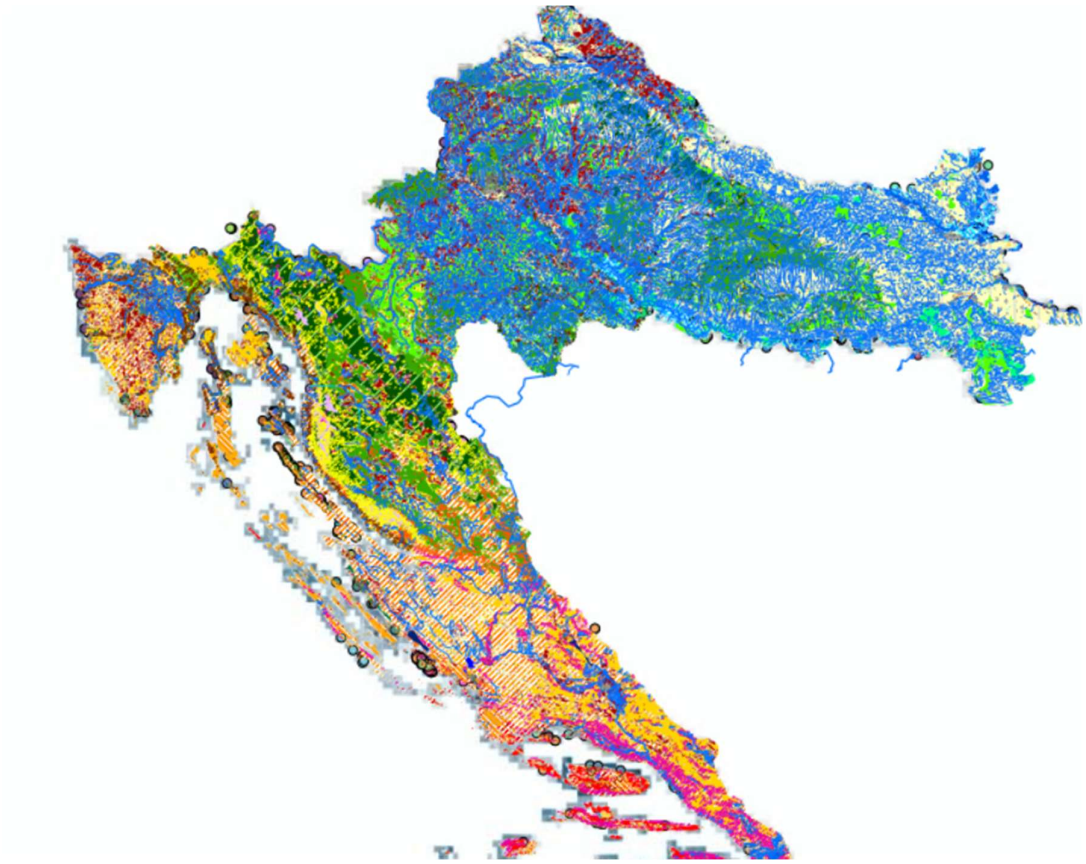
Slika 21: Prikaz zaslona preglednika habitatnih tipova Hrvatske u mjerilu 1 : 25.000.

D) Karta staništa Republike Hrvatske (1 : 100.000)

Karta staništa Republike Hrvatske iz 2004. godine u mjerilu 1 : 100.000 sadrži podatke o rasprostranjenosti habitatnih tipova na području Hrvatske prema Nacionalnoj klasifikaciji staništa (NKS) (slika 22). Na karti su prikazani habitatni tipovi sljedećih razreda: površinske slatkovodne vode i močvarni habitati (A), gola i rijetko obrasla zemljišta (B), livade, močvare i visoka trava (C), grmlje (D), šume (E), morska obala (F), more (G), podzemlje (H), obrađene nešumske površine i staništa s korovnom i ruderalnom vegetacijom (I) te građevinski i industrijski habitati (J). Tipovi su opisani na trećoj razini NKS. Najmanja jedinica kartiranja ima veličinu 9 ha. Osim poligona, koji prikazuju pojedinačna homogena područja koja pokriva isti habitatni tip, u bazi su i linearni habitati (najmanja dužina 300 metara) i točkasti habitati, u slučajevima kada je određeni važan habitatni tip zastupljen na

vrlo malom području. Habitatni tipovi su kartirani na cijelom području Republike Hrvatske, uključujući more.

Izvor podatkovnog sloja: Ministarstvo zaštite okoliša i zelene tranzicije
Pristup podatkovnome sloju: https://bioportal.hr/gis/
Zapis podatkovnog sloja: vektorski (poligon)



Slika 22: Prikaz zaslona preglednika habitatnih tipova Hrvatske u mjerilu 1 : 100.000.

E) Europski vegetacijski arhiv

Europski vegetacijski arhiv (EVA) je zbirka podataka o vegetacijskim popisima iz Europe i susjednih regija. Svaki popis sadrži popis biljnih vrsta na određenom malom području (popisnoj plohi), obično dopunjen ocjenom pokrovnosti svake vrste. EVA se sastoji od pojedinačnih baza podataka u vlasništvu autora podataka. Svaka upotreba podataka iz pojedinačnih zbirki podataka je predmet suglasnosti vlasnika podataka, dok su informacije o lokaciji i uvrštenju u habitatne tipove pojedinih popisa slobodno dostupne putem web stranice Eva-map.

Izvor podatkovnog sloja: European Vegetation Archive, International Association for Vegetation Science
Pristup podatkovnome sloju: https://euroveg.org/eva-database/databases in https://www.evamap.eu
Zapis podatkovnog sloja: vektorski (točkasti podaci)

F) Podaci o vegetaciji iz drugih izvora

Podatke o vegetaciji možemo dobiti i obradom nekih drugih slojeva podataka. Tako možemo na temelju podataka laserskog skeniranja površine dobiti podatke o visini vegetacije i posredno izvesti podatke o pokrovnosti zemljišta. Kao primjer možemo navesti oblak točaka laserskog skeniranja Slovenije. Podaci u obliku oblaka točaka, koje nudi Agencija Republike Slovenije za okoliš(pogledati poglavje 2.12 o podacima o geomorfologiji), već su klasificirani u različite kategorije, kao što su reljef, bilje, zgrade i drugo. Oblak točaka vegetacije je klasificiran u tri razreda vegetacije: niska (do 0,5 m; na primjer trava), srednja (0,5–3 m; na primjer grmlje) i visoka vegetacija (iznad 3 m; drveće).

2.1.7 Podaci iz područja znanosti o korištenju zemljišta

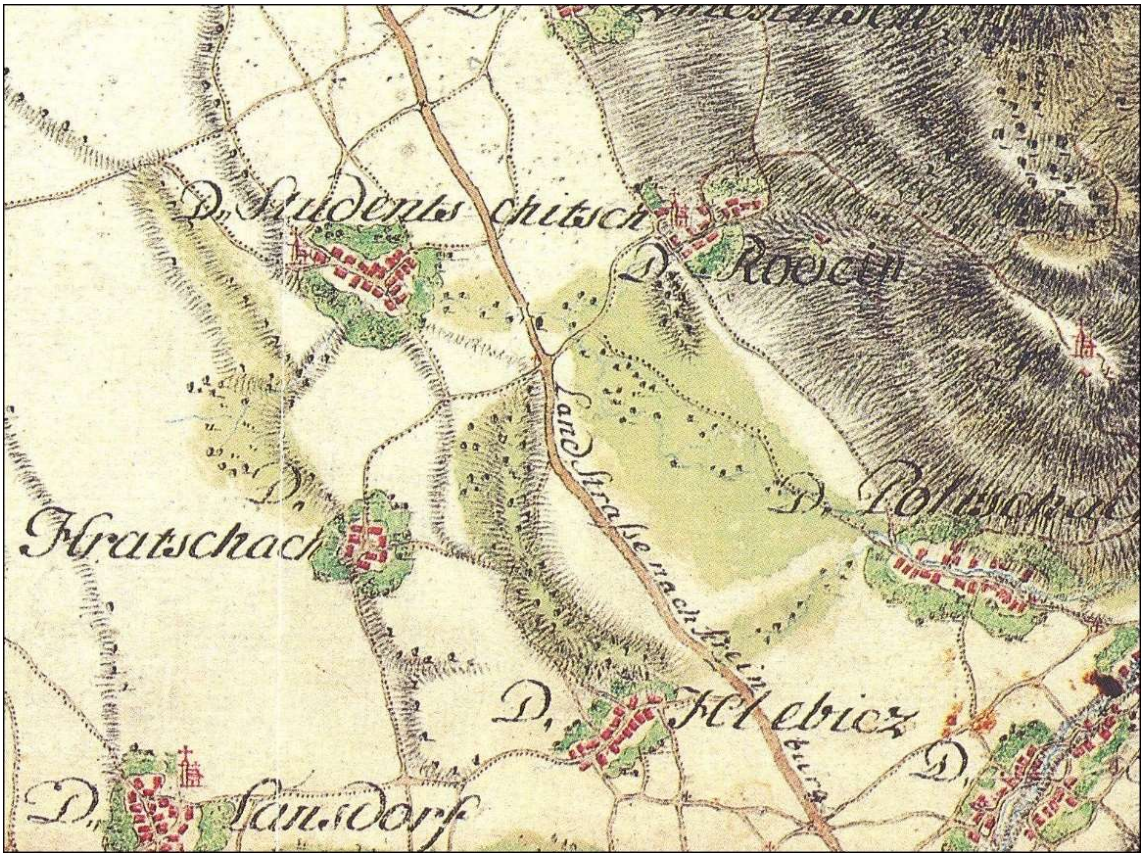
A) Jožefinska vojna karta

Jožefinske vojne karte (slika 23) su izrađene u austrijskom vojnom štabu po naređenju cara Josipa II. Poznate su i pod imenom Prva vojna izmjera. Već iz imena možemo naslutiti da su izrađene za vojne svrhe. Karte su izrađene između 1763. i 1787. godine. Austrijsko carstvo je bilo podijeljeno na 400 sekcija, a mjerilo karte je bilo 1 : 28.800. Karta prilično precizno prikazuje različite geografske elemente krajolika koji su važni za istraživanja o dinamici promjena u prirodnom okruženju i kulturnom krajoliku: površje, bilje, riječnu mrežu, naselja, prometnice, granice i geografska imena. Kartografskom materijalu su dodani opisi koji sadrže podatke o konfiguraciji površina, prohodnosti šuma, režimu protoka rijeka, prohodnosti prometnica, važnijim zgradama i slično (Golec 2004; Zorn 2007).

Izvor podatkovnog sloja: Arcanum Maps
Pristup podatkovnome sloju: https://maps.arcanum.com/en/browse/country/firstsurvey/
Zapis podatkovnog sloja: rasterski

Više informacija:

- Golec, B. 2004: Arhivistika 3, Arhivska veda, arhivi in arhivsko gradivo. Ljubljana.
- Zorn, M. 2007: Jožefinski vojaški zemljevid kot geografski vir. Geografski vestnik 79-2.



Slika 23: Izvadak iz Jožefinske vojne karte.

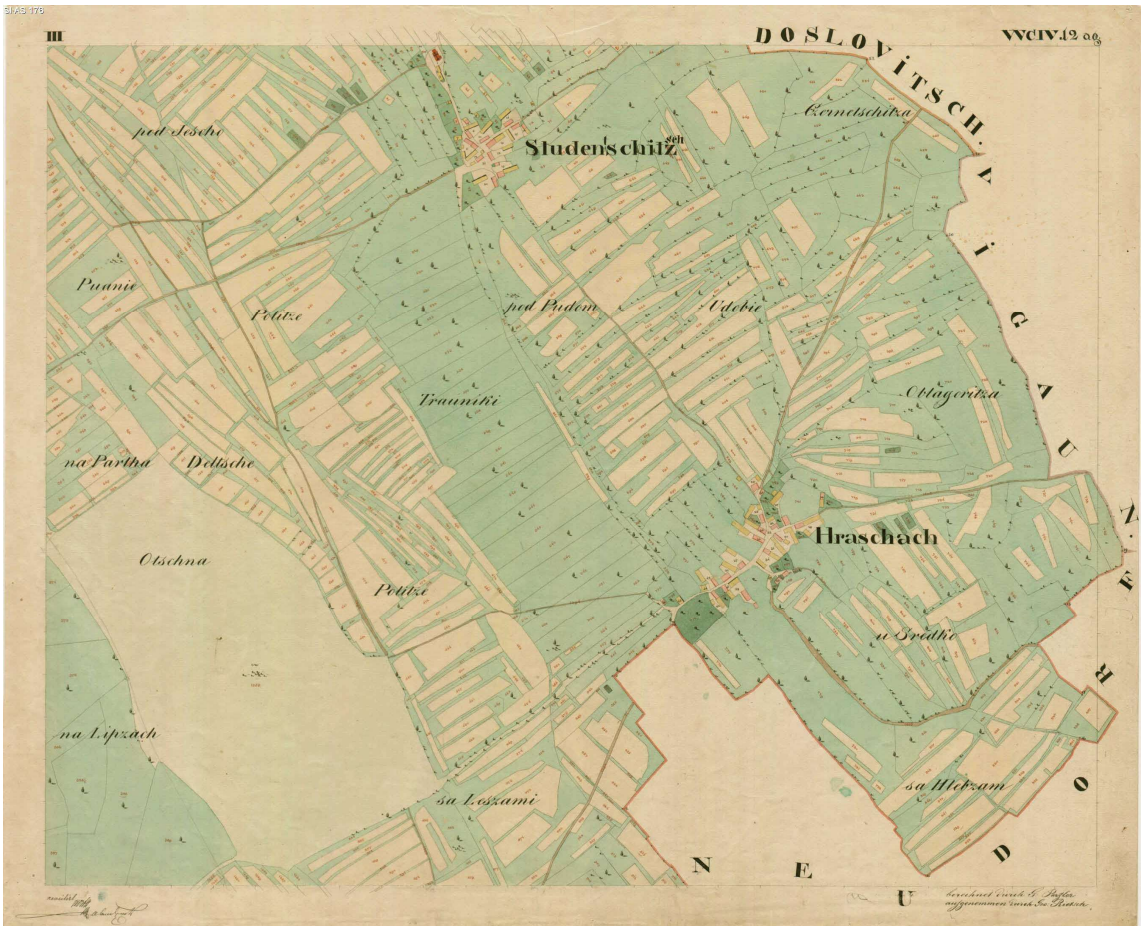
B) Franciskanski katastar

Franciskanski katastar (slika 24) je izrađen zbog poreznih obveza. Osnova za njegovu izradu bio je carski patent Franca I. iz 1818. godine. Katastar je izradila vojska (geodeti i časnici). To je bio prvi katastar izrađen uz pomoć mjerilnih instrumenata, i posljednji koji je u potpunosti nacrtan na terenu. Osnovna jedinica katastra je katastarska općina, a mjerilo karte je, uz rijetke iznimke, 1 : 2880. Korištenje zemljišta je na karti označeno različitim bojama i simbolima. Njive su označene smeđom bojom, vrtovi tamnozelenom, šume sivoj, pašnjaci svijetlozelenom i slično. Povremeno je označeno i vlasništvo, ako se radi o zajedničkim zemljištima. Osim karata, katastar sadrži i dokumentarni materijal – cjenovne operacije. One se sastoje od cjenovnih elaborata i priloga, koji uključuju popis kvalitativne klase svake zemljišne čestice, upitnik o poljoprivredi u pojedinoj katastarskoj općini i drugo gradivo (Golec 2003; Geršič, Gabrovec i Zwitter 2018).

Izvor podatkovnog sloja: Arhiv Republike Slovenije
Pristup podatkovnome sloju: https://geohub.gov.si/ghapp/giskd/ in https://maps.arcanum.com/en/map/cadastral/?layers=3%2C4&bbox=935862.9127199091%2C5585425.568501538%2C2179034.7407500157%2C6036098.287270937
Zapis podatkovnog sloja: rasterski
Rezolucija podatkovnog sloja: /

Više informacija:

- Geršič, M., Gabrovec, M., Zwitter, Ž. 2018: Primerjava kulturne pokrajine Hraških listnekov in tamkajšnjega kmetovanja v prvi polovici 19. stoletja in danes. Geografski vestnik 90-1. DOI: 10.3986/GV90104
- Golec, B. 2004: Arhivistika 3, Arhivska veda, arhivi in arhivsko gradivo. Ljubljana.



Slika 24: Izvadak iz Franciskanskog katastra.

C) Evidencija stvarne uporabe poljoprivrednog i šumskog zemljišta Slovenije

Evidencija stvarne uporabe poljoprivrednog i šumskog zemljišta je jedinstvena državna evidencija o stvarnoj uporabi poljoprivrednog i šumskog zemljišta. Riječ je o vektorskom sloju koji sadrži poligone tipova stvarne uporabe. Korištenje zemljišta je podijeljeno u 25 tipova. Primarno je namijenjena utvrđivanju stvarnog stanja korištenja zemljišta kao uvjeta za provođenje mjera zajedničke poljoprivredne politike Europske unije. Posredno i neposredno se podaci iz Evidencije stvarne uporabe koriste i pri određivanju stvarne uporabe na parceli u zemljišnom katastru, visine katastarskog prihoda, odštete za promjenu namjene poljoprivrednog zemljišta, promjeni boniteta zemljišta, utvrđivanju opravdanosti za socijalne potpore, za statističke analize, istraživanja i slično. Podaci o šumi u Evidenciji stvarne uporabe usklađuju se s podacima iz evidencija Zavoda za šume Slovenije (ZGS) (Evidencija … 2025).

Izvor podatkovnog sloja: Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano
Pristup podatkovnome sloju: https://podatki.gov.si/dataset/evidenca-dejanske-rabe-kmetijskih-in-gozdnih-zemljisc1
Zapis podatkovnog sloja: vektorski
Rezolucija podatkovnog sloja: /

Više informacija:

- Evidenca dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč, 2025. Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. Ljubljana.

D) CORINE Land Cover

Početkom osamdesetih godina prošlog stoljeća Europska komisija prepoznala je potrebu za sveobuhvatnim, detaljnim i usklađenim skupom podataka o pokrovnosti i korištenju zemljišta u Europi. Tada su karte pokrovnosti na razini pojedinih država često bile nedosljedne i međusobno neuporedive, zbog čega je praćenje stanja okoliša u Europi bilo vrlo otežano. Europska komisija je stoga pokrenula program CORINE (Coordination of Information on the Environment), kako bi razvila standardiziranu metodologiju za izradu karata pokrovnosti zemljišta, biotopa i kvalitete zraka na razini kontinenta. Godine 1990. izrađen je prvi skup podataka CORINE Land Cover. Od tada je postao vodeći sastavni dio usluge Europske agencije za okoliš za praćenje zemljišta Copernicus, koja već više od tri desetljeća osigurava informacije o pokrovnosti odnosno korištenju zemljišta u Europi.
Baza podataka CORINE Land Cover (CLC) nudi paneuropski popis pokrovnosti i korištenja zemljišta s 44 tematska razreda, od opsežnih šumskih područja do pojedinačnih vinograda. Proizvod se svakih šest godina ažurira novim slojevima stanja i promjena – posljednje ažuriranje izvršeno je 2018. CLC služi brojnim korisnicima i ima mnoge mogućnosti korištenja, uključujući praćenje okoliša, planiranje korištenja zemljišta, procjene klimatskih promjena i upravljanje izvanrednim situacijama (CORINE Land Cover 2025).

Izvor podatkovnog sloja: European Environment Agency
Pristup podatkovnome sloju: https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover/clc-2006#general_info
Zapis podatkovnog sloja: vektorski in rastrski
Rezolucija podatkovnog sloja: 100 m × 100 m

Više informacija:

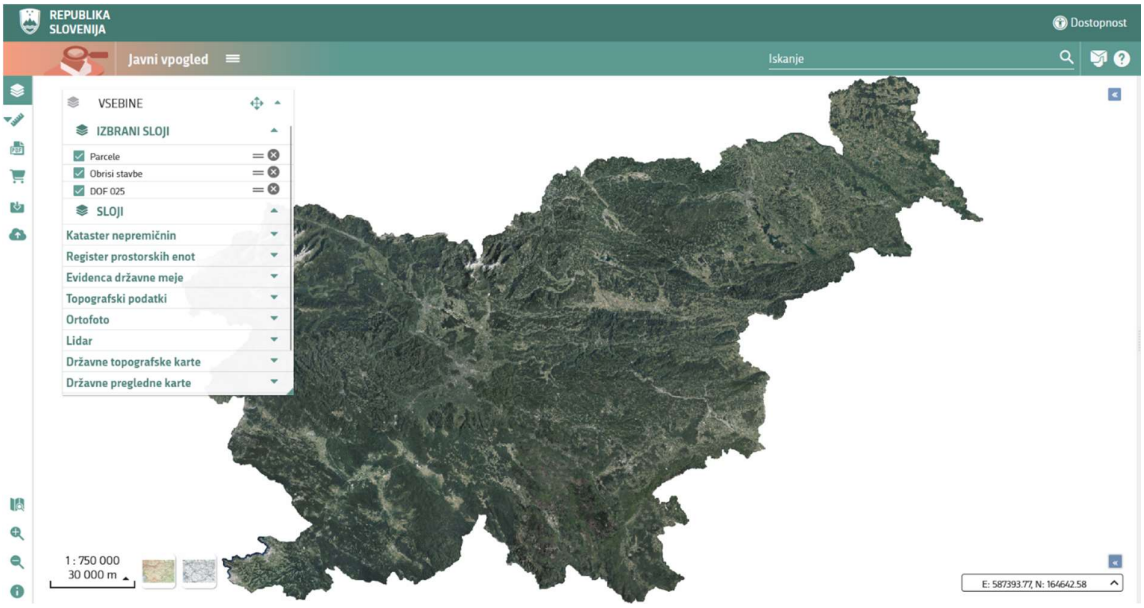
- CORINE Land Cover, 2025. Medmrežje: https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover (27. 3. 2025).

2.1.8 Podaci s područja znanosti o antropogenim elementima

A) Zgrade, parcele i podaci katastra nekretnina u Sloveniji

Na web stranicama Geodetske uprave Republike Slovenije (slika 25) dostupan je širok spektar podataka iz državnih evidencija, među kojima su dostupni poligoni zgrada, centri kućnih brojeva, poligoni parcela (prostorno odmjerenih zemljišta), poligoni katastarskih općina, bonitet zemljišta, zajedničke stvarne upotrebe i namjenske upotrebe. Ovi podaci omogućuju korisnicima jasnu sliku o raširenosti naseljenosti, a osim toga, povezivanjem raznih evidencija možemo provesti brojne prostorne analize. Na sloj zgrada i kućnih adresa tako je moguće priložiti podatke o vrsti zgrada i slično. Na web stranici je dostupna i baza s podacima o tržištu i vrijednosti nekretnina.

Izvor podatkovnog sloja: Geodetska uprava Republike Slovenije
Pristup podatkovnome sloju: https://www.e-prostor.gov.si/
Zapis podatkovnog sloja: vektorski
Rezolucija podatkovnog sloja: /



Slika 25: Prikaz zaslona preglednika podataka Geodetske uprave Republike Slovenije.

B) Gospodarska javna infrastruktura u Sloveniji

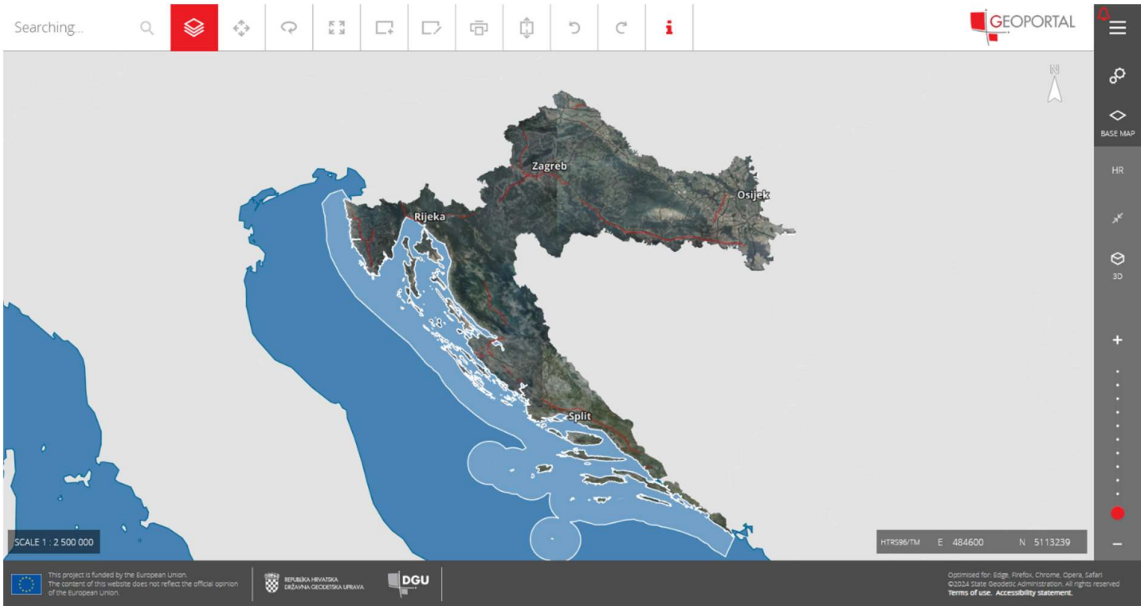
Geodetska uprava Republike Slovenije nudi veliku količinu podataka o postojećoj državnoj infrastrukturi. Na web stranicama se mogu pronaći precizni podaci o tijeku i opremi cesta, željeznica, žičara, vodovoda, kanalizacije, elektroenergetske infrastrukture, infrastrukture plina, toplinske energije, opskrbe naftom i derivatima te o lokacijama zračnih luka, luka i drugih. Podaci korisnicima omogućuju preciznu sliku infrastrukture, na primjer, prikaz osi odabranih kategorija cesta, te omogućuju daljnje analize, poput analize udaljenosti od određenog antropogenog elementa.

Izvor podatkovnog sloja: Geodetska uprava Republike Slovenije
Pristup podatkovnome sloju: https://www.e-prostor.gov.si/
Zapis podatkovnog sloja: vektorski
Rezolucija podatkovnog sloja: /

C) Zgrade, parcele, javna infrastruktura u Hrvatskoj

Na mrežnim stranicama Državne geodetske uprave Hrvatske (slika 26) postoje različite podjele na različite administrativne jedinice države. One obuhvaćaju podjelu na: županije, gradove i općine, naselja, gradske samouprave, ulice i kućne brojeve. Podaci omogućuju korisnicima prikazivanje službenih granica u prostoru na različitim razinama. Na raspolaganju su i podaci o parcelama, zgradama, imenima i nekim infrastrukturnim elementima, poput cesta i željezničkih pruga, javnih usluga. Podaci su dostupni u preglednicima https://www.geohrvatska.hr/ in https://geoportal.dgu.hr/. Prijenos podataka moguć je s https://dgu.gov.hr/. Za neke podatke potrebno je podnijeti zahtjev.

Izvor podatkovnog sloja: Državna geodetska uprava
Pristup podatkovnome sloju: https://geoportal.dgu.hr/; https://dgu.gov.hr/
Zapis podatkovnog sloja: vektorski
Rezolucija podatkovnog sloja: /



Slika 26: Prikaz zaslona preglednika Državne geodetske uprave Hrvatske.

D) Prostorne jedinice Slovenije

Na web stranicama Geodetske uprave Republike Slovenije dostupne su različite administrativne podjele države. Ove obuhvaćaju podjelu na kohezijske regije, statističke regije, upravne jedinice, općine i naselja te mjesne zajednice, kvartovske zajednice, seoske zajednice, biračka mjesta, (lokalne) izborne jedinice, izborne okruge, školske okolice i poštanske okolice. Podaci omogućuju korisnicima prikazivanje službenih granica u prostoru na različitim razinama.

Izvor podatkovnog sloja: Geodetska uprava Republike Slovenije
Pristup podatkovnome sloju: https://www.e-prostor.gov.si/
Zapis podatkovnog sloja: vektorski
Rezolucija podatkovnog sloja: /

E) Prostorne jedinice Hrvatske

Na web stranicama Državne geodetske uprave Hrvatske postoje različite podjele na različite administrativne jedinice države. One obuhvaćaju podjelu na: županije, gradove i općine, naselja, gradske samouprave, ulice i kućne brojeve. Podaci omogućuju korisnicima prikazivanje službenih granica u prostoru na različitim razinama. Prijenos podataka je moguć s mrežne stranice https://dgu.gov.hr/..

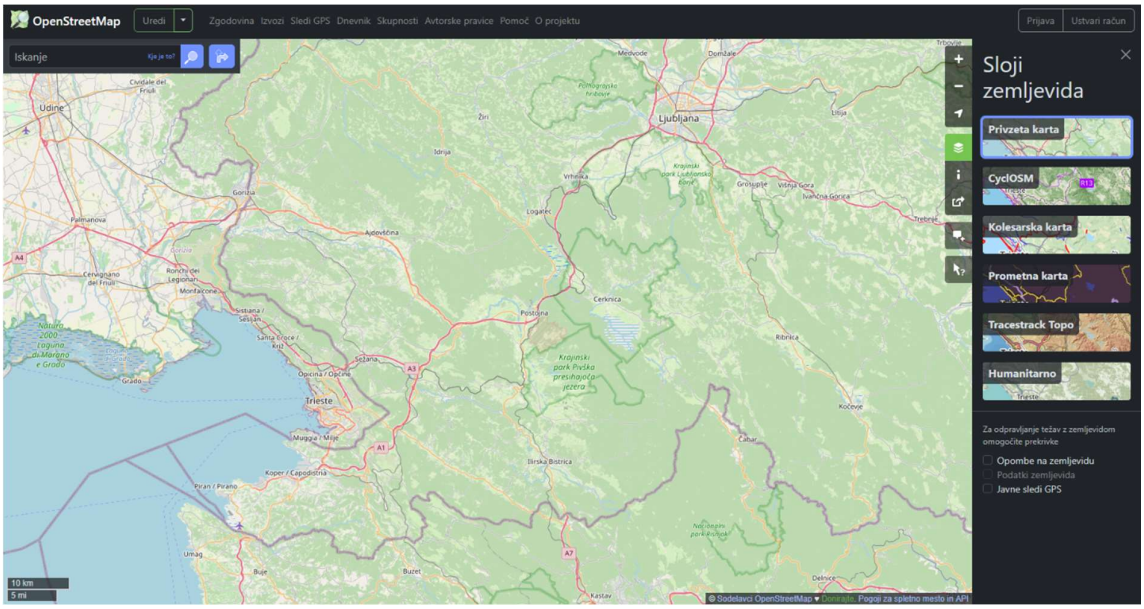
Izvor podatkovnog sloja: Državna geodetska uprava
Pristup podatkovnome sloju: https://geoportal.dgu.hr/
Zapis podatkovnog sloja: vektorski
Rezolucija podatkovnog sloja: /

F) Baza podataka OpenStreetMap

OpenStreetMap je mrežni preglednik (slika 27), gdje su prikupljeni brojni podaci o prirodnim (rijeke, jezera, vrhovi, mora ...) i antropogenim pojavama (naselja, zgrade, prometnice ...) iz cijelog svijeta. Najčešće se koristi kao mrežni preglednik ili osnova za vlastite mrežne preglednike. Osim toga, podatke iz ove zbirke moguće je preuzeti na računalo i koristiti za izradu preglednih karata ili ih koristiti u svrhu određene prostorne analize. Pri tome moramo biti oprezni, jer se ne radi o službenim podacima. Zbirka podataka je vrlo opsežna, stoga je dostupna mogućnost preuzimanja po pojedinim državama ili manjim područjima. Trenutno su podaci dostupni putem različitih mrežnog portala, kao što su

https://data.nextgis.com, https://download.geofabrik.de/ i za manja područja https://www.openstreetmap.org/export.

Izvor podatkovnog sloja: Fundacija OpenStreetMap
Pristup podatkovnome sloju: https://www.openstreetmap.org/ (pregledovalnik), https://download.geofabrik.de/ in https://www.openstreetmap.org/export (prenos podatkov)
Zapis podatkovnog sloja: vektorski
Rezolucija podatkovnog sloja: /



Slika 27: Prikaz zaslona preglednika OpenStreetMap.

G) Podaci o antropogenim elementima drugih izvora
Podaci o antropogenim elementima mogu se dobiti obradom nekih drugih slojeva podataka. Na temelju podataka laserskog skeniranja površine možemo dobiti informacije o lokacijama objekata. Na primjer, oblak točaka laserskog skeniranja Slovenije, koje dijeli Agencija Republike Slovenije za okoliš (vidi poglavlje 2.1.2 o podacima s područja geomorfologije) već je klasificiran u različite kategorije, kao što su reljef, vegetacija, zgrade i drugo. Ako odaberemo samo oblak točaka zgrada, možemo dobiti neke njihove karakteristike, kao što su tlocrt ili visina.

2.1.9 Podaci s područja opće kartografije

A) Državne topografske karte, pregledne karte i zemljopisna imena u Sloveniji
Na mrežnim stranicama Geodetske uprave Republike Slovenije (GURS) dostupne su državne topografske karte u mjerilu 1:50.000 te pregledne karte u mjerilima između 1:250.000 i 1:2.500.000. Ove vrste podataka dostupne su u vektorskom i rasterskom obliku, što ih čini vrlo korisnima za izradu preglednih karata koje možemo dopuniti raznim dodatnim podacima drugih izvora. Osim pripremljenih karata, na web stranicama GURS možemo dobiti i podatke o službenim zemljopisnim imenima i njihovim lokacijama u prostoru.

Izvor podatkovnog sloja: Geodetska uprava Republike Slovenije
Pristup podatkovnome sloju: https://www.e-prostor.gov.si/
Zapis podatkovnog sloja: vektorski, rastrski (več ločljivosti)
Rezolucija podatkovnog sloja: /

B) Državne topografske karte, pregledne karte i zemljopisna imena u Hrvatskoj

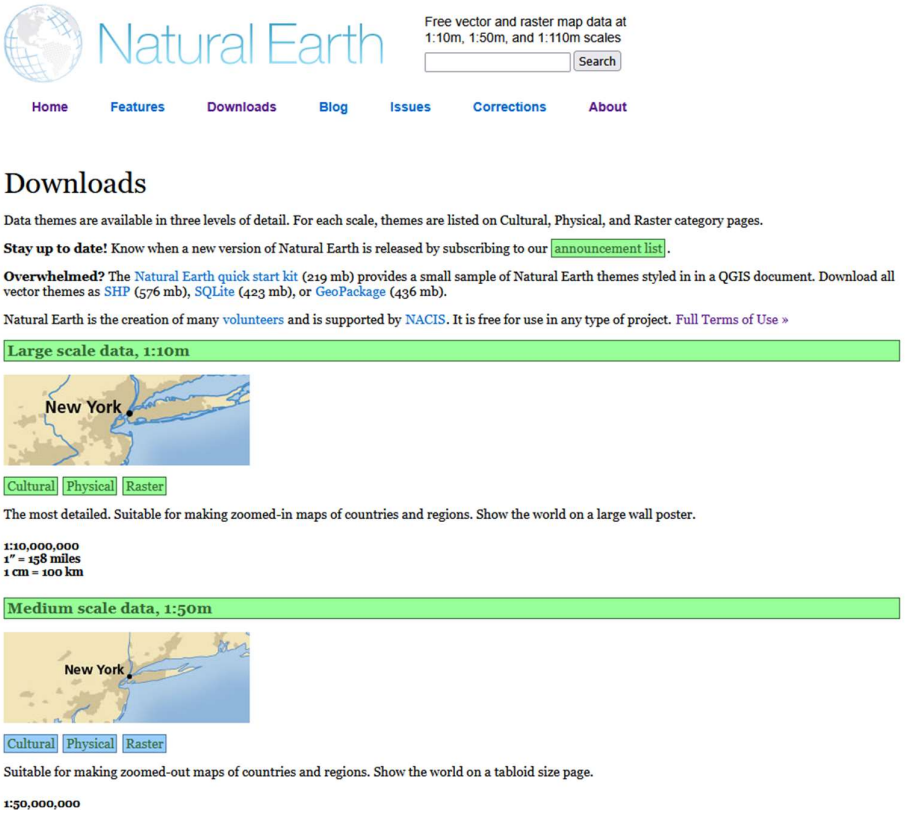
Hrvatska Državna geodetska uprava nudi topografske karte u mjerilima 1:25.000, 1:100.000 i 1:200.000. Podaci su dostupni u preglednicima https://www.geohrvatska.hr/ i https://geoportal.dgu.hr/, za prijenos, a za korištenje slojeva podataka potrebno je kontaktirati upravu.

Izvor podatkovnog sloja: Državna geodetska uprava
Pristup podatkovnome sloju: https://geoportal.dgu.hr/
Zapis podatkovnega sloja: rastrski
Rezolucija podatkovnog sloja: više dostupnih rezolucija

C) Baza podataka Natural Earth

Natural Earth nudi iznimno raznolik skup različitih podataka s kojima možemo pripremiti pregledne karte u manjem mjerilu za bilo koje područje na Zemlji. Organizacija nudi podatke prikladne za izradu karata u mjerilima 1:10.000.000, 1:50.000.000 i 1:110.000.000. U vektorskoj bazi podataka možete pronaći antropogene elemente, kao što su državne granice, veća naselja, ceste, željeznice, aerodromi, luke i urbane površine. Među prirodnim elementima možete birati između obala kontinenata, koraljnih grebena, otočja, mora, rijeka, jezera, ledenih površina i drugo. Također nude zemljopisna imena na više jezika. Među rasterskim slojevima podataka možete pronaći razne pripremljene sjenčane reljefe koji vam mogu poslužiti kao osnovna podloga preglednim kartama.

Izvor podatkovnog sloja: Natural Earth
Pristup podatkovnome sloju: https://www.naturalearthdata.com/
Zapis podatkovnega sloja: vektorski, rasterski
Rezolucija podatkovnog sloja: više dostupnih rezolucija



Slika 28: Prikaz zaslona mrežne stranice Natural Earth.

2.1.10 Podaci s područja satelitskog daljinskog promatranja

A) Multispektralni satelitski snimci programa Sentinel-2

Sentinel-2 je konstelacija tri identična satelita Europske svemirske agencije, programa Copernicus, koji omogućuju snimanje visokorezolucijskih multispektralnih slika u vidljivom i bliskom infracrvenom spektru u 13 kanala prostorne rezolucije 10, 20 i 60 m, vremenske rezolucije 5-10 dana i širine snimanja 290 km. Četiri 10 m kanala su u crvenom, zelenom, plavom i bliskom infracrvenom spektru, šest 20 m kanala su u bliskom infracrvenom i kratkovalnom infracrvenom spektru, a tri 60 m kanala koriste se za praćenje oblaka i atmosfersku korekciju slika. Snimci su korisni za praćenje poljoprivrednih površina, šuma, promjena u korištenju zemljišta, praćenje sadržaja klorofila i vode u listovima, kartiranje prirodnih katastrofa, praćenje obalnih područja i drugo. U svemiru djeluju od 2015. godine, što ih čini korisnima za praćenje pojava u dužem vremenskom razdoblju (Internet 1).

Izvor podatkovnog sloja: Evropska vesoljska agencija, Copernicus Data Space Environment
Pristup podatkovnome sloju: https://dataspace.copernicus.eu/browser/
Zapis podatkovnega sloja: rasterski
Rezolucija podatkovnog sloja: više dostupnih rezolucija

Više informacija:

- Internet 1: https://sentiwiki.copernicus.eu/web/s2-mission (17. 3. 2025).

B) Landsat multispektralne satelitske snimke

Landsat multispektralne satelitske snimke su najdugovječnija serija satelitskih slika, koja je počela prikupljati podatke 1972. Sateliti snimaju slike u vidljivom spektru (RGB), bliskom infracrvenom (NIR), kratkovalnom (SWIR) i termalnom spektru. Svi kanali, osim termalnog, snimaju se u rezoluciji od 30 m, dok se termalni snima u nižoj rezoluciji, ali je podešen na 30 m. Sateliti imaju vremensku rezoluciju od najmanje 16 dana, a širina slike je 164 km. Zbog dugog kontinuiranog niza podataka s istom prostornom rezolucijom, Landsat slike su pogodne za praćenje raznih pojava diljem svijeta. Koriste se za praćenje stanja poljoprivrednog zemljišta, praćenje deforestacije ili širenja šuma, praćenje ledenjaka, urbanizacije, morskih staništa, a pomoću toplinskih kanala i za praćenje promjena temperature u gradovima i traženje požara. Stariji Landsat sateliti hvatali su podatke u nešto manje spektralnih kanala od novijih, ali su još uvijek korisni za većinu analiza.

Izvor podatkovnog sloja: United States Geological Survey
Pristup podatkovnome sloju: https://earthexplorer.usgs.gov/
Zapis podatkovnega sloja: rasterski
Rezolucija podatkovnog sloja: više dostupnih rezolucija

C) Satelitske slike radara Sentinel-1

Sentinel-1 je konstelacija od dva satelita koji omogućuju praćenje Zemljine površine u svim vremenskim uvjetima, danju i noću. Zajedno omogućuju vremensku rezoluciju snimanja svakih 6 dana, a za Europu, Kanadu i više geografske širine vrijeme ponovnog snimanja može biti samo 3 dana. Sateliti imaju aktivni radarski senzor koji snima u C pojasu u četiri različita načina i različitim prostornim rezolucijama. Interferometrijski širokopojasni način ima razlučivost od 5 m × 20 m, valni i tračni načini imaju razlučivost od 5 m × 5 m, a širokopojasni način ima razlučivost od 20 m × 40 m. Radarske slike korisne su za otkrivanje vode na površini, u tlu i biljkama te za analizu stanja vodenih tijela. Također se mogu koristiti za praćenje morskog leda, promjena na kopnu (npr. zbog erozije, potresa, poplava) i mapiranje zemljišnog pokrova i korištenja (Internet 2).

Izvor podatkovnog sloja: Europska svemirska agencija, Copernicus Data Space Environment
Pristup podatkovnom sloju: https://dataspace.copernicus.eu/browser/
Format podatkovnog sloja: raster

Rezolucija podatkovnog sloja: više dostupnih rezolucija

Više informacija:

- Internet 2: https://sentiwiki.copernicus.eu/web/s1-mission (17. 3. 2025)

2.1.11 Podaci s područja zračnog daljinskog promatranja

A) Digitalni ortofoto za područje Slovenije

Digitalni ortofoto je zračna fotografija koja uzima u obzir podatke o reljefu i orijentaciju zračnih fotografija. Snimanje se provodi iz zraka (zrakoplov, helikopter i sl.) u svrhu snimanja topografskih podataka, snimanja stanja u prostoru, a koristi se i kao ulazni podatak za izradu digitalnog modela reljefa. U metričkom smislu, proizvod je isti kao linijski plan ili karta. U Sloveniji su dostupni ortofoto snimci rezolucije 0,5 × 0,5 m u vidljivom i infracrvenom spektru, a izrađeni su i ortofoto snimci rezolucije 0,25 × 0,25 m u vidljivom spektru. Podaci su dostupni u TIFF formatu te su geolocirani i izrezani na veličinu jednog lista temeljnog topografskog plana 1:5000 (Internet 3).

Izvor podatkovnog sloja: Geodetska uprava Republike Slovenije
Pristup podatkovnom sloju: https://ipi.eprostor.gov.si/jv/?map=jgp
Zapis podatkovnog sloja: više razlučivosti

Izvor podatkovnog sloja: National Collection of Aerial Photogprahy
Pristup podatkovnom sloju: https://ncap.org.uk/
Zapis podatkovnog sloja: rasterski

Više informacija:

- Internet 3: https://eprostor.gov.si/imps/srv/slv/catalog.search#/metadata/1e0f54cf-9303-4140-8c20-352d5468c0b3 (24. 3. 2025)

2.2 PRIKUPLJANJE VLASTITIH PODATAKA NA TERENU

2.2.1 Prikupljanje vlastitih podataka promatranjem na terenu sa stacionarnim monitoringom

2.2.1.1 Uvod u stacionarni monitoring abiotskih čimbenika

Stacionarni monitoring je kontinuirano ili opetovano mjerenje odabranih parametara okoliša na određenom mjestu tijekom duljeg vremenskog razdoblja. To je terenska metoda promatranja kod koje se na mjestu postavlja senzorski mjerač koji kontinuirano ili u redovitim razmacima prikuplja podatke o abiotskim čimbenicima okoliša. Ovo je posebno važno kod proučavanja uvjeta rasta biljnih vrsta, jer daje uvid u stvarne uvjete u kojima biljke žive kroz duži vremenski period (nekoliko godina). Stacionarnim praćenjem dobivamo vremenske serije podataka koji otkrivaju prirodnu varijabilnost okoliša - dnevne i sezonske obrasce i dugoročne trendove koje bi bilo teško otkriti pojedinačnim posjetima. Kratkotrajna i rijetka mjerenja mogu promašiti važne trendove u okolišu, dok su dugoročni podaci i podaci visoke rezolucije (prostorni i vremenski) ključni za sveobuhvatno razumijevanje procesa ekosustava.

Stacionarni monitoring pokazao se nezaobilaznim pristupom kada želimo razumjeti mikroklimatske uvjete na određenom mjestu (primjerice na livadi, u vrtači). Biljke često jako ovise o fluktuacijama abiotskih čimbenika – na primjer, neke rijetke biljne vrste uspijevaju samo u uskim temperaturnim rasponima ili pod vrlo specifičnim svjetlosnim uvjetima. Dugotrajnim promatranjem ovih čimbenika možemo odrediti stvarni raspon kolebanja u prirodi i kada (u kojem dijelu dana ili godine) dolazi do ekstremnih vrijednosti. Takvo nam znanje pomaže u tumačenju ekologije vrsta (na primjer, zašto se biljka pojavljuje samo na određenim mjestima) i u donošenju odluka o očuvanju (na primjer, kako klimatske promjene utječu na stanište vrste).

Osim stacionarnog motrenja, koristi se i **jednokratno praćenje** (tj. jednokratno snimanje stanja na terenu) i **eksperimentalno praćenje** (praćenje kontroliranim pokusima). Svaki pristup ima svoje prednosti i ograničenja (Artiola, Pepper i Brusseau 2004).

Jednokratna istraživanja uključuju jednokratno prikupljanje podataka, kao što je terenski posjet lokaciji gdje bilježimo trenutne vrijednosti abiotskih čimbenika ili prisutnost vrsta. Prednost jednokratnih inventura je u tome što mogu brzo pokriti više lokacija i dati jasnu sliku situacije u određenom trenutku. Ovo je korisno za popis ili početnu procjenu situacije. Ograničenje je to što jedan posjet ne pokazuje dinamiku – ne znamo koliko je parametar promjenjiv tijekom vremena. Povremena mjerenja, koja se provode tek nekoliko puta godišnje, također mogu u potpunosti promašiti dugoročne trendove – prikazuju samo trenutnu sliku i ne omogućuju pouzdane zaključke o smjeru promjena. Nadalje, periodično praćenje ima poteškoća u otkrivanju kratkoročnih pojava; Na primjer, ako između dva popisa dođe do ekstremnog zagrijavanja tla, to ćemo propustiti. Stacionarni sustav koji mjeri kontinuirano ili vrlo često zabilježit će takav događaj. Zbog toga je mnogo manja vjerojatnost da će propustiti važne promjene.

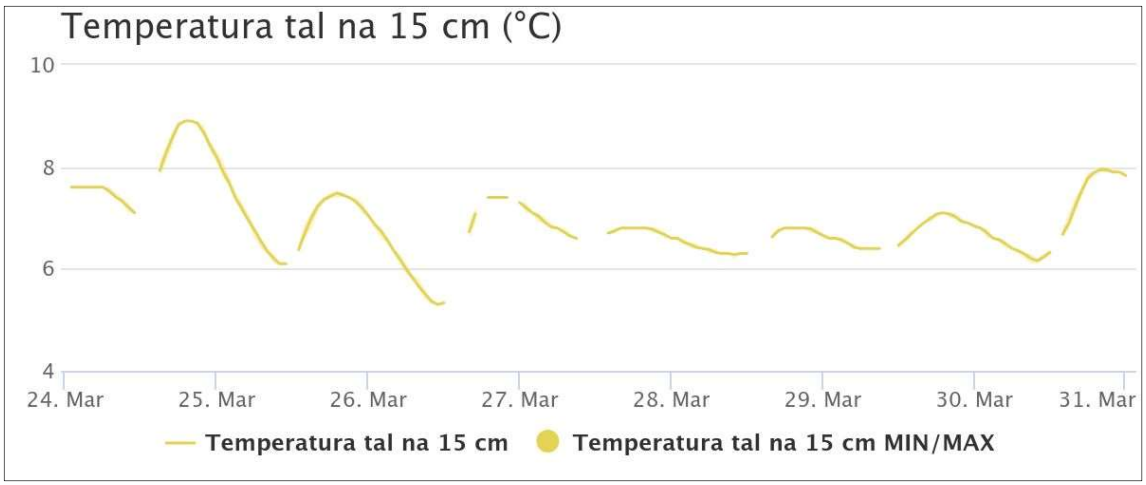
Stacionarni nadzor zahtijeva početno ulaganje u opremu (senzori, mjerači, napajanje), što je trošak i zahtijeva planiranje. Oprema mora biti otporna na vremenske uvjete i vandalizam na terenu, stoga je potrebno osigurati pravilnu instalaciju i održavanje. Također, stacionarno praćenje obično pokriva jedno mjesto ili malo područje – podaci su vrlo lokalni. Da bismo dobili širu sliku, trebamo ih kombinirati s drugim metodama (više stacionarnih točaka, opsežnija jednokratna istraživanja, kalibracija daljinskim mjerenjima iz zrakoplova ili satelita).

2.2.1.2 Vrste abiotskih podataka pri stacionarnom monitoringu

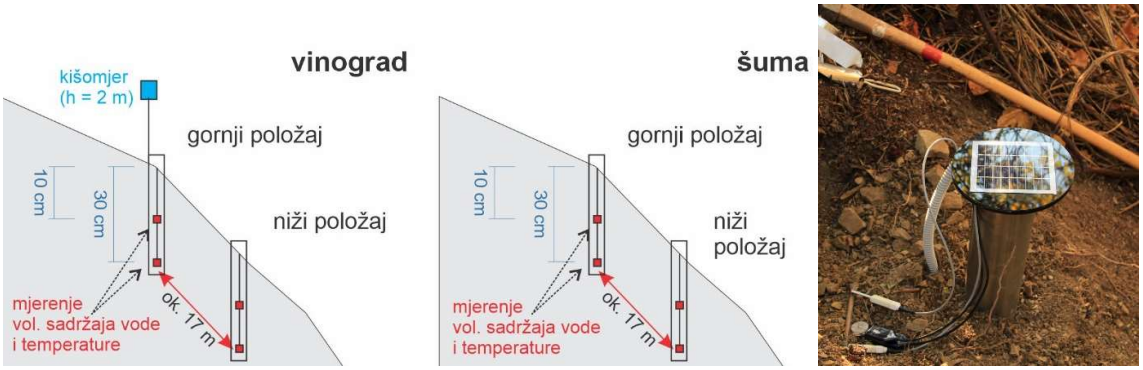
Pri stacionarnom monitoringu uvjeta staništa biramo senzore prema onim **abiotskim čimbenicima** koji su važni za proučavane biljne vrste. Najčešće uključujemo sljedeće vrste varijabli:

- **Temperatura zraka i tla:** Temperatura snažno utječe na metabolizam biljaka i na dostupnost vode i hranjivih tvari u tlu. Senzori mogu mjeriti **zračnu temperaturu** (na primjer na visini staništa biljke), **temperaturu rosišta** i **temperaturu tla** (kod korijena, u zemlji). Mjerenja se provode često (više puta na sat ili neprekidno) (slika 29) jer želimo bilježiti dnevne oscilacije i ekstremne vrijednosti (najviše i najniže temperature)

- **Zračna vlažnost i vlaga tla**: **Relativna vlažnost zraka** utječe na transpiraciju biljaka (ispuštanje vode kroz puči) i time na vodni status biljke. **Vlažnost tla** (sadržaj vode u tlu) izravno određuje koliko vode biljke imaju na raspolaganju. S stacionarnim mjeračima možemo pratiti obje vrste vlage. **Senzori vlažnosti zraka** redovito mjere udio vodene pare u zraku, dok **senzori vlage u tlu** (na primjer tenziometri ili volumetrijski mjerači) bilježe sadržaj vode u zemlji (slika 30). Tako dobivamo uvid u režim vlaženja tla (koliko brzo se tlo isušuje nakon kiše, kada dolazi do sušnih stresova i slično).
- **Količina oborina**: **Oborine** (kiša, snijeg) su glavni izvor vode u ekosustavu. S stacionarnim **kišomjerom** bilježimo **visinu oborina** kroz vrijeme (na primjer dnevno ili pri svakom događaju oborina) (slika 31). Ovi podaci su važni za razumijevanje **vodnog režima staništa** – koliko vode primaju tla, koliko su česti pljuskovi ili sušna razdoblja. U kombinaciji sa senzorima vlage u tlu, podaci o oborinama nam govore koliko brzo oborine poniknu u tlo i koliko dugo ostaju vlažna.
- **Osvjetljenost** (**svjetlosni uvjeti**): Svjetlost je izvor energije za fotosintezu, stoga je intenzitet svjetlosti na staništu ključan za biljke. Mjerimo je s senzorima svjetlosti (fotometrima), često odvojeno za fotosintetski aktivno zračenje, koje je korisno za biljke. Dugoročna mjerenja osvjetljenosti pokazuju koliko svjetlosti biljke primaju u različitim godišnjim dobima, koliki je udio izravne sunčeve svjetlosti i sjene, te kako na njih utječu, na primjer, oblačnost i krošnje drveća (ako se radi o podraslima).
- **Zračni tlak i vjetrovi**: **Zračni tlak** izravno možda ne utječe snažno na biljke, ali je dobar indikator vremenskih promjena (na primjer pad tlaka prije oluja). Neki napredni uređaji uključuju i **mjerač zračnog tlaka**. Vjetar može utjecati na isušivanje biljaka, mikroklimu (ventilaciju, hlađenje) i oprašivanje; na otvorenim staništima, stoga se također mjeri **brzina i smjer vjetra** anemometrima i vjetrokazima. Za šumske ili podrasle biljke vjetar obično nije primarni čimbenik unutar sastojine, stoga u ovom kontekstu nije uvijek mjeran, ali može biti važan u otvorenijim staništima (na primjer na golim vrhovima poput Velikog Snežnika).
- **Kemijske osobine tla (pH, vodljivost): pH tla** utječe na dostupnost hranjivih tvari biljkama i na sastav mikroflore u tlu. Neke biljke uspijevaju samo na kiselim ili bazičnim tlima. **Vodljivost tla** ili otopine tla mjeri sadržaj otopljenih iona (soli) i indirektno ukazuje na hranjivost ili slanost tla. S pomoću stacionarnih sondi možemo periodično mjeriti pH i vodljivost u tlu ili u iscijeđenoj vodi. Ovi podaci otkrivaju dolazi li do promjena u kemijskom sastavu tla tijekom godine (na primjer, ispiranje hranjivih tvari tijekom kiše, nakupljanje soli u sušnim razdobljima).



Slika 29: Mjerenje temperature tla na dubini od 15 cm važna je, na primjer, za travnate biljke čiji korijeni dosežu tu dubinu.



Slika 30: Primjer stacionarnog monitoringa tla: Shema monitoringa površina (lijevo) i fotografija opreme za monitoring prilikom instalacije na terenu (desno; fotografija MATEJA FERK). Mjerenja se prikupljaju i šalju na poslužitelj svake sat vremena putem mobilne mreže.

Navedeni skup podataka pokriva meteorološke (na primjer, temperatura, svjetlost), kemijske (pH, hranjivost) i hidrološke (vlaga, oborine) aspekte uvjeta rasta. Važno je odabrati one parametre koji su najrelevantniji za naše istraživačko pitanje ili za cilj zaštite određene biljne vrste (na primjer, Cerastium Dinaricum). Senzori u suvremenim sustavima mogu pokrivati širok spektar parametara – već osnovne meteorološke postaje za okolišni monitoring sposobne su pratiti temperaturu, vlagu, oborine i svjetlosne uvjete istovremeno i služe nam kao referenca za regionalne klimatske karakteristike. Kombinacijom više vrsta podataka možemo kasnije analizirati međusobne utjecaje (na primjer, kako oborine utječu na temperaturu tla ili kako istovremeno osciliranje temperature i vlage utječe na rastnu sezonu biljke).

2.2.1.3 Mjerne postaje i podatkovni mjerači

Danas su dostupni cjenovno pristupačni senzori i podatkovni mjerači koji omogućuju automatsko bilježenje brojnih okolišnih parametara u stvarnom vremenu. Ova oprema istraživačima štedi mnogo terenskog rada – nije potrebno svaki dan se vraćati na lokaciju i ručno zapisivati mjerenja. Podatkovni mjerači, naime, pohranjuju podatke u svom memoriji i često omogućuju i daljinski prijenos podataka. Time se štedi vrijeme i troškovi terenskih mjerenja, a istovremeno dobivamo gušći niz podataka visoke kvalitete nego što bismo mogli prikupiti ručnim mjerenjima.

Mjerna postaja za stacionarni monitoring obično se sastoji od više komponenti koje zajedno omogućuju automatsko prikupljanje podataka (slika 31). Srce postaje je podatkovni mjerač – elektronički uređaj zadužen za bilježenje (logiranje) mjerenja iz priključenih senzora. Mjerač je obično mali računalni uređaj ili mikro kontroler s unutarnjom memorijom i satom, koji u postavljenim vremenskim intervalima (na primjer, svake minute, svake sata) očitava vrijednosti senzora i pohranjuje ih zajedno s vremenskim oznakom. Većina mjerača radi na baterijsko napajanje (ili solarnu ćeliju s baterijom) i programirana je da štedljivo koristi energiju, jer mora neprekidno raditi možda mjesecima ili godinama na terenu bez ljudske intervencije.



Slika 31: Stacionarna mjerna postaja za automatsko prikupljanje i automatski prijenos podataka iz kišomjera u kombinaciji s podzemnim senzorima temperature i vlage u tlu. Fotografija: MATEJA BREG VALJAVEC

Osnovna tehnička oprema mjerne postaje tako uključuje:
Kućište i nosač: Da bismo zaštitili elektroničke uređaje od vremenskih utjecaja (kiša, snijeg, temperaturne oscilacije) i od životinja ili drugih vanjskih utjecaja, postavljamo mjerač i osjetljive dijelove u vremenski otporno kućište. To može biti plastična ili metalna kutija, koja je prozračna, ali istovremeno omogućuje zaštitu od vode. Kućište se zajedno sa senzorima pričvršćuje na nosač (na primjer, kolac, stup, stativ ili drvo) kako bi oprema bila stabilna i na željenoj visini.

- **Podatkovni mjerač** bilježi podatke. Napredniji mjerači imaju više kanala za priključak više senzora istovremeno (neki omogućuju priključak po nekoliko desetaka senzora). Jednostavniji su jednonamjenski (na primjer, samo za temperaturu). Mjerači mogu imati i zaslon za lokalno očitavanje i memorijsku karticu ili unutarnju memoriju za pohranu podataka. Važna osobina je interval mjerenja (koliko često mjeri) i kapacitet memorije (koliko mjerenja može pohraniti). Neki mjerači, kada se memorija napuni, prepisuju stare podatke (tzv. kružno pohranjivanje), dok drugi zaustavljaju pohranu. U tom slučaju potrebno je pravovremeno preuzeti podatke.
- **Napajanje**: Dugoročno napajanje može biti baterijsko (velike alkalne baterije ili akumulatori) ili solarno (solarni panel s akumulatorom). Solarno napajanje popularno je kod vremenskih postaja na otvorenom, jer solarna ćelija tijekom dana puni bateriju koja pokreće sustav noću i oblačnim danima. Kod baterijskog napajanja (bez solarnog panela) važno je izračunati koliko energije će mjerač potrošiti i koliko će često trebati mijenjati baterije.

- **Senzori**: Mjerna postaja uključuje više senzora (o njima više u sljedećem odjeljku) koji su pomoću vodova (ili u novijim izvedbama i bežično) povezani s mjeračem. Senzori mogu biti postavljeni na različitim mjestima: na primjer, senzor temperature i vlage zraka u zaklonjenom (radiacijskom štitu) na stupu, senzor svjetlosti na vrhu stupa, senzor za vlagu zakopan u zemlju, kišomjer malo dalje na otvorenom i tako dalje. Mjerač ih sve povezuje u cjelinu i vremenski usklađuje mjerenja.

Tipična terenska mjerna postaja za mikroklimatski monitoring biljaka je stoga neka vrsta smanjene meteorološke postaje. Često se koriste standardne meteorološke postaje ili njihovi sastavni dijelovi, prilagođeni posebnim potrebama istraživanja. Na primjer, za rastište u šumi koristit ćemo niži drveni stup (jer mjerimo uvjete blizu tla), dok su meteorološke postaje za vrijeme obično na otvorenom 2 m iznad tla. No načelo rada je isto: robusna oprema koja automatski mjeri i pohranjuje podatke, koje istraživači povremeno prenose na računalo za analizu. Danas se to prenošenje može odvijati ručno (uzimanjem memorijske kartice ili prijenosnim računalom na terenu) ili daljinski – putem GSM/GPRS modema, bežične veze ili satelitski, ako je postaja vrlo udaljena. Potonje omogućuje praćenje na daljinu u stvarnom vremenu, što je idealno, ali povećava složenost i cijenu sustava.

2.2.1.4 Vrste senzora i njihova uloga

Svaki abiotski parametar koji nas zanima zahtijeva odgovarajući senzor. Senzor je uređaj koji detektira fizičku količinu i pretvara je u mjerljiv signal (obično električni – na primjer napetost, struja ili digitalni signal) koji može zabilježiti mjerač. U nastavku su predstavljene glavne vrste senzora u takvim sustavima monitoringa i njihova uloga:

- **Termometri i termični senzori**: Za mjerenje temperature koriste se termometarske sonde (metalne sonde s termočlenovima ili termistorima) ili digitalni temperaturni senzori. Termočlen generira napetost ovisno o temperaturi, dok termistor mijenja otpornost. U oba slučaja mjerač pretvara signal u temperaturnu vrijednost. Senzore temperature postavljamo u zračno zaklonište (mala bijela ventilirana kućica ili kućište koje štiti od izravnog sunca i kiše) za mjerenje zraka, ili ih umetnemo u tlo za mjerenje temperature tla na određenoj dubini (na primjer 5 cm, 10 cm duboko). Njihova uloga je praćenje toplinskog režima okoliša – time detektiramo smrzavanje, toplinske valove, duljinu vegetacijske sezone i drugo.
- **Higrometri i senzori vlage**: Relativnu vlažnost zraka mjerimo s higrosenzorima, koji reagiraju na količinu vodene pare u zraku. Često su kombinirani s temperaturnim senzorom u jednom uređaju (za pravilno izračunavanje relativne vlažnosti potrebno je poznavati i temperaturu). Postavljeni su slično kao termometri u vremenskom zakloništu. Vlažnost tla može se mjeriti različitim tipovima senzora: klasični tenziometar mjeri napetost vode u tlu (sisača sila koju biljke moraju prevladati da bi dobile vodu), dok noviji kapacitivni senzori vlage u tlu mjere dielektričnu konstantu okoline, koja je proporcionalna sadržaju vode. Senzor vlage u tlu obično je štapast ili cijevast i zakopava se u tlo na dubinu korijenskog sustava biljaka. Uloga ovih senzora je detektirati kada uvjeti za biljke postanu sušni ili previše vlažni, te pratiti brzinu sušenja tla nakon kiše.
- **Senzori osvjetljenja (svjetlosni senzori)**: Za mjerenje svjetlosti koristimo fotodijade ili fotovoltaične ćelije, koje proizvode električnu struju proporcionalnu intenzitetu svjetlosti. Za ekološke svrhe često koristimo senzore podešene za fotosintetski aktivno zračenje u jedinicama µmol fotona/m²/s. Ovi senzori su mali kupolasti detektori, koji se postavljaju na otvoreno mjesto gdje na njih ne baca sjenu neka prepreka (osim ako nas ne zanima udio sjene, tada ih možemo postaviti i ispod biljaka). Njihova uloga je pratiti koliko svjetlosne energije je dostupno biljkama. Ovo je važno za razumijevanje fotosintetske produkcije, natjecanja za svjetlost u sestoju i utvrđivanje je li svjetlosti možda premalo (na primjer, zarastanje habitata utječe na smanjenje svjetlosti).
- **Kišomjer (pluviometer)**: Kišomjer je senzor za padaline. Klasični automatski kišomjer djeluje na principu nagibne posudice: lijevak prikuplja kišu u dvostruku posudicu, koja se pri određenoj količini nagne i isprazni, pri čemu prekidač zabilježi svaki takav pokret posudice. Mjerač broji te pokrete, pri čemu svaki označava određeni milimetar padavina. Kišomjer je postavljen na

otvorenom, vodoravno, obično 50–200 cm iznad tla. Mjerenje padavina pokazuje nam količinu i intenzitet kiše tijekom vremena. Ovo je ključno za razumijevanje opskrbe tla vodom (na primjer, zalijevanje biljaka).

- **Senzori tlaka zraka**: Mali barometrijski senzori često su ugrađeni direktno u mjerač ili smješteni u kućištu, gdje su zaštićeni. Mjere zračni tlak, što nam posredno može poslužiti za identifikaciju vremenskih fronti i visina (ako imamo mobilne mjerače). U stacionarnoj stanici na stalnoj lokaciji tlak nije najvažniji parametar za biljke, ali može biti koristan u kombinaciji s drugim (na primjer, visok tlak ukazuje na stabilno vrijeme, a nizak na mogućnost nastanka padalina).
- **Anemometar i smjer vjetra**: Ovi senzori su sastavni dijelovi meteoroloških stanica na otvorenom. Anemometar (može biti klasični s tri čašice ili ultrazvučni) mjeri brzinu vjetra, a smjer vjetra (u obliku zastavice) mjeri smjer vjetra. Signali vjetra su često digitalni impulsi ili analogni (napetost proporcionalna brzini). Na rastištima biljaka u zaklonu (na primjer, u šumi) vjetar se značajno smanjuje; tamo anemometar nije nužan, osim ako proučavamo na primjer propuh ili temperaturne inverzije. Na otvorenim livadama vjetar utječe na isparavanje vode i raspršivanje sjemena, stoga ga je smisleno mjeriti.
- **Kemijski senzori (pH mjerač, konduktometar)**: Za mjerenje pH vrijednosti u tlu postoje pH elektrode, koje se mogu postaviti u tlo ili u rezervoar za isluženu vodu; ove periodično kalibriramo, jer s vremenom prolaze. Slično, senzori električne provodljivosti (konduktometri) mjere provodljivost otopine u tlu (obično kao dvije elektrode u kontaktu s vlagom u tlu). Ovi senzori trebaju dobar kontakt s vodom u tlu, pa u sušnim razdobljima ponekad ne mogu provoditi mjerenja (ako je tlo suho n emože se mjeriti). Svrha ovih senzora je pratiti kemijsko okruženje biljaka: pH utječe na dostupnost hranjivih tvari (na primjer, željezo je topljivije u kiselim tlima), a provodljivost ukazuje na ukupnu količinu otopljenih tvari.

Svaki senzor ima svoju specifičnu ulogu i metodološke posebnosti, ali u kontekstu stacionarnog monitoringa djeluju zajedno. Povezani su u sustav koji omogućuje simultano prikupljanje više parametara – time dobivamo cjelokupnu sliku abiotskih uvjeta na rastištu. Važno je naglasiti da je senzore potrebno pravilno kalibrirati i održavati. Povremeno ih treba provjeriti (na primjer, očistiti kišomjer, zamijeniti baterije, provjeriti kalibraciju pH sonde) – stacionarni monitoring inače teče automatski, ali ne posve bez nadzora. Ipak, većinu vremena sustav djeluje automatski i bilježi podatke i u odsutnosti istraživača, što je njegova velika prednost.

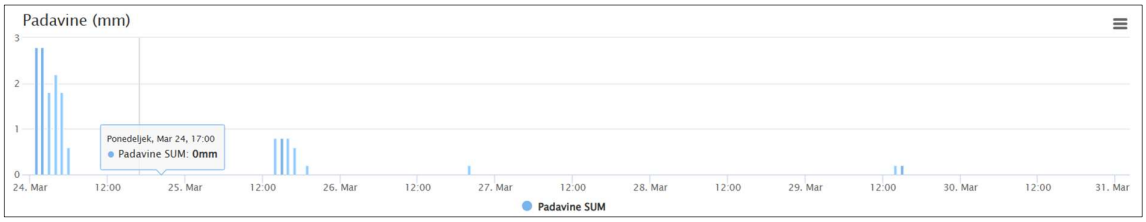
2.2.1.5 Dugoročno prikupljanje podataka i analiza vremenskih serija

Ključna značajka stacionarnog monitoringa je dugoročnost. Podaci prikupljeni kroz nekoliko godina čine **vremenske serije**, koje su nizovi mjerenja kroz vrijeme. Analizom takvih serija možemo odgovoriti na pitanja koja s jednom mjerenjem nisu dostupna. Na primjer: *Povećava li se prosječna temperatura tla na rastištu tijekom godina? Kako često se javljaju ekstremno sušni dani i jesu li sve češći? Kakav je tipični godišnji režim vlažnosti tla i kada u godini biljke imaju najmanje vode?*

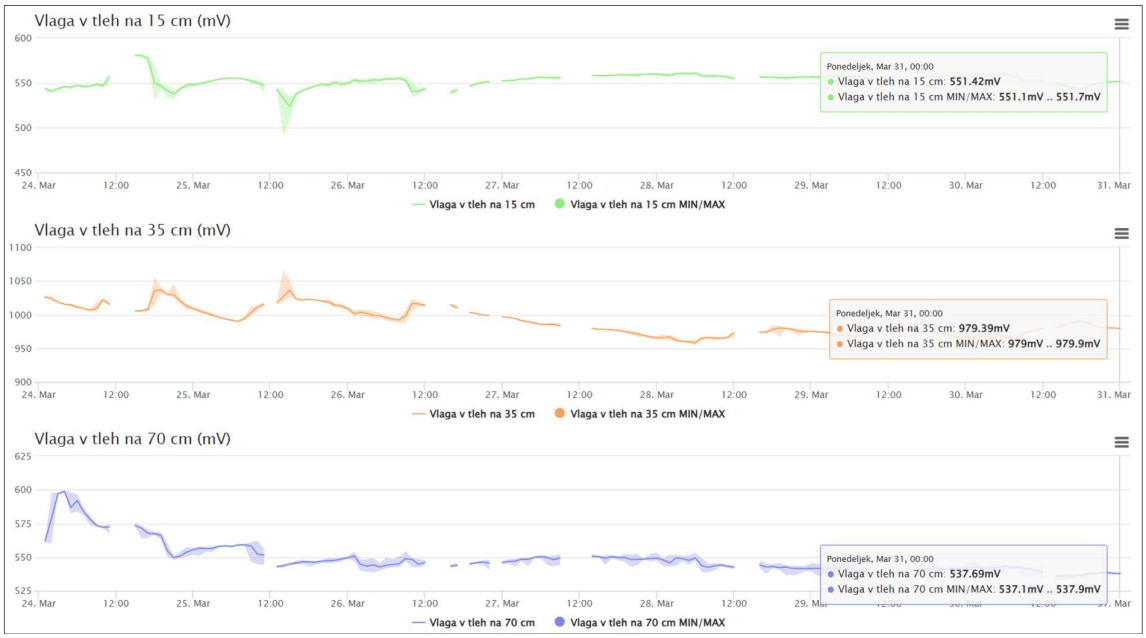
Dugotrajno prikupljanje podataka omogućuje otkrivanje trendova, kao što su postupno zagrijavanje mikroklime (koje može biti povezano s klimatskim promjenama) ili promjene u režimu padavina (na primjer, veća učestalost razdoblja bez padavina). Također možemo primijetiti periodičnost – na primjer, višegodišnje cikluse koji mogu biti povezani s globalnim pojavama ili lokalnim biljnim ciklusima. Za zaštitu biljnih vrsta takvi su podaci neprocjenjivi: ako primijetimo da se uvjeti na rastištu dugoročno pogoršavaju (na primjer, zbijanje tla dovodi do manjeg prozračivanja i nižeg pH), možemo djelovati prije nego dođe do opadanja populacije vrsta.

Vremenske serije obično su prikazane u obliku grafova. Vizualizacijom možemo brzo prepoznati **sezonske uzorke** (na primjer, temperatura je zimi niža nego ljeti) i **anomalije** (odstupanja, poput neobično toplog siječnja). Statistička obrada vremenskih serija uključuje izračun trendova (linearnog ili nelinearnog), prosjeka i varijabilnosti za pojedina razdoblja, te korelacije između različitih parametara. Na primjer, dugotrajnim monitoringom možemo utvrditi postoji li korelacija između prosječne ljetne temperature i brojnosti neke biljne vrste u sljedećoj godini, što bi moglo ukazivati na utjecaj toplinskih

stresova na razmnožavanje.Prilikom obrade dužih vremenskih serija često se suočavamo s velikim obujmom podataka, stoga si pomažemo računalnom analizom i statističkim paketima. Važno je osigurati i kontinuitet mjerenja. U slučaju prekida (na primjer, kvar senzora) stoga pokušavamo nadomjestiti nedostajuće podatke ili barem zabilježiti kada i zašto su nedostajali. Dobrim vođenjem metapodataka (s zapisima o servisima i smetnjama) je sastavni dio dugoročnog monitoringa.



Slika 32: Primjer dulje serije mjerenja stacionarnog praćenja oborine.



Slika 33: Primjer dulje serije mjerenja stacionarnog praćenja vlažnosti tla i nedostajući podaci zbog kvara senzora.

Višegodišnje prikupljanje podataka o abiotskim uvjetima stvara dragocjenu bazu znanja o staništima. Takva baza nadilazi trenutne "snimke stanja" i pruža nam "film događanja kroz vrijeme". U poglavlju o praktičnim primjerima vidjet ćemo kako si pomažemo s stacionarnim monitoringom kod biljnih vrsta i koje izazove to donosi. Teoretski, što je mjerenje dulje i detaljnije, to čvrsto možemo zaključiti o tome u kakvom okruženju žive i napreduju naše proučavane biljke, te kako na njih utječu promjene u okolišu. S ovim znanjem smo bolje opremljeni za zaštitu vrsta i upravljanje njihovim staništima u budućnosti.

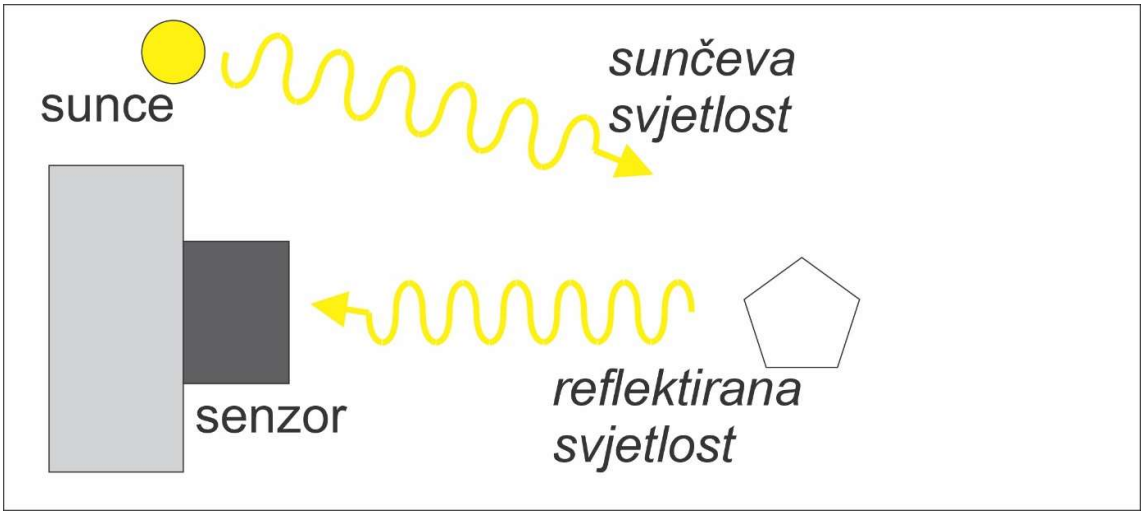
2.2.2 Pribavljanje vlastitih podataka na terenu putem daljinskog senzora

Najčešći i najjednostavniji primjer daljinskog senzora je **fotografiranje** mobilnim telefonom ili običnim fotoaparatom. Obe naprave imaju senzor za detekciju svjetlosti ili elektromagnetskog zračenja, obično u vidljivom dijelu spektra, kojim snimaju fotografiju. Za detekciju, ovaj senzor treba vanjski izvor zračenja, poput Sunca ili svjetiljke (žarulje, sijalice). Zračenje putuje od izvora do površine ili promatranog objekta, odbija se i dolazi do senzora koji se nalazi u fotoaparatu ili telefonu (slika 34 i 35). Slično se događa i pri detekciji ljudskim vidom. U potpunoj tami ili odsutnosti izvora vidljive svjetlosti, naše oči nisu sposobne detektirati ništa. Kada Sunce izađe ili upalimo svjetlo u sobi,

svjetlost se odbija od površina, zidova, predmeta, i tu odbijenu svjetlost detektiramo te stoga možemo vidjeti.

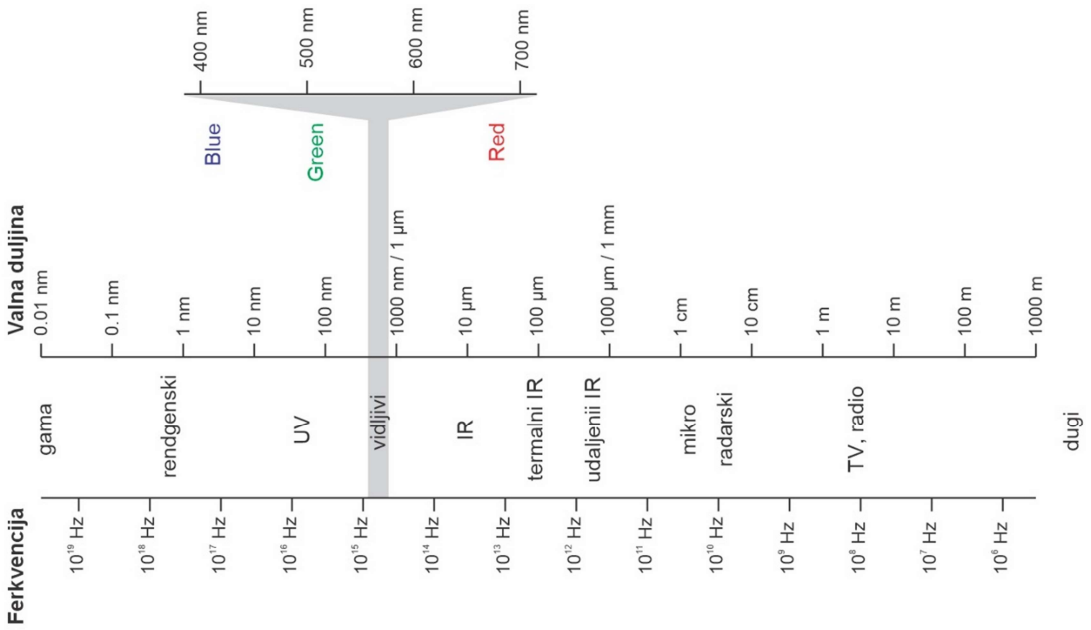


Slika 34: Fotografiranje s telefonom. Fotografija: ADOBE STOCK, ALISA



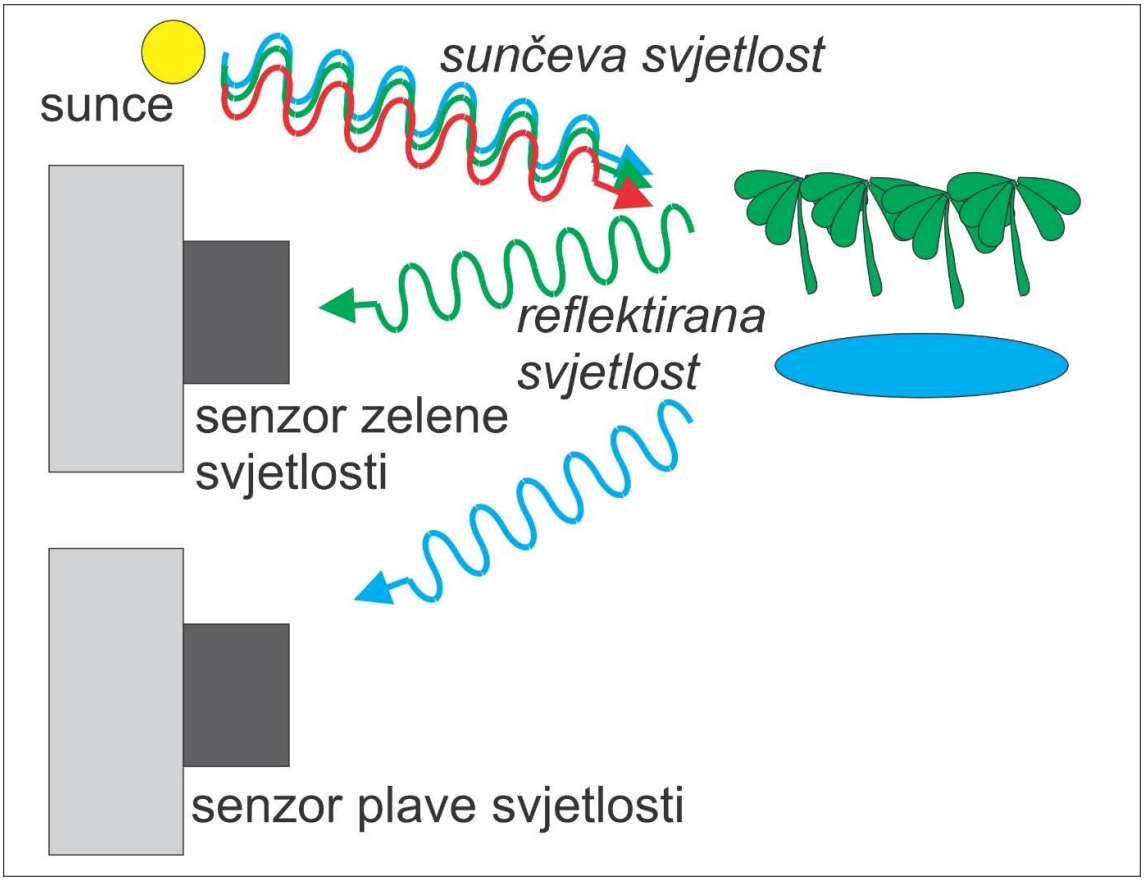
Slika 35: Pasivni senzor.

Senzori također mogu detektirati odbijeno elektromagnetsko zračenje u drugim spektarnim pojasima, na primjer, infracrvenom ili termalnom. Elektromagnetsko zračenje sastoji se od električnog i magnetskog polja koja putuju brzinom svjetlosti i u odnosu su: $c=\lambda v$, pri čemu je λ – valna duljina (m); v – frekvencija (Hz); c – brzina svjetlosti (3×10^8 m/s).

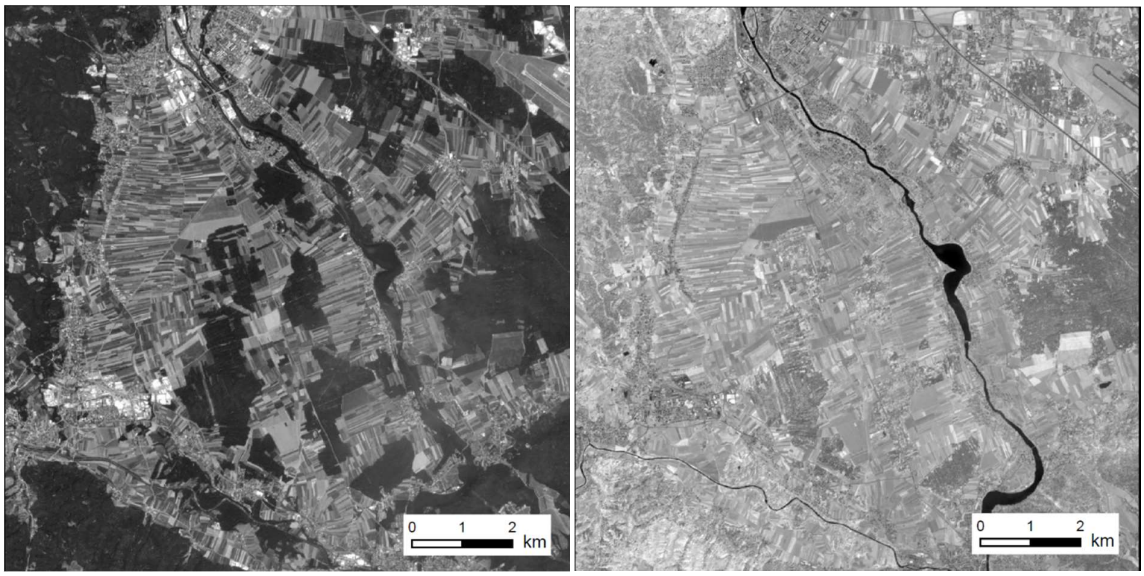


Slika 36: Elektromagnetski valovi prema valnim duljinama i frekvencijama (Penubag, Wikipedia 2008).

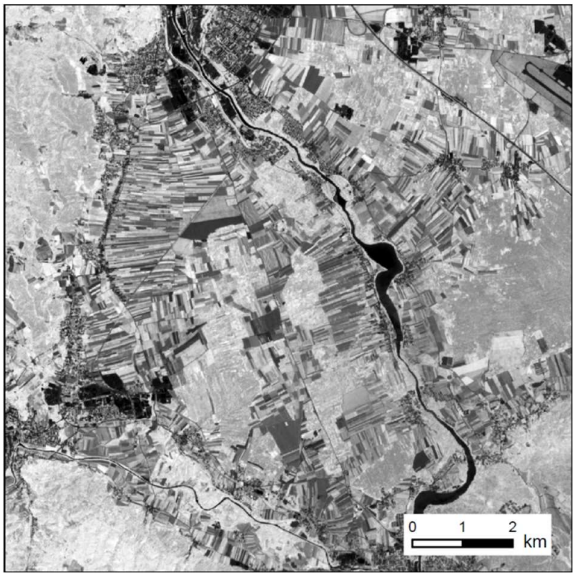
Vrlo je uobičajena upotreba **multispektralnih kamera**, koje imaju više senzora za detekciju odabranih spektralnih pojasova. Različiti objekti i tvari različito apsorbiraju i odbijaju pojedine spektre elektromagnetskog zračenja. Na primjer, biljke (klorofil) obično apsorbiraju ljubičasti, plavi i crveni dio spektra vidljive svjetlosti, dok odbijaju zeleni. Duboka morska voda apsorbira zeleno i crveno, dok odbija plavo (slika 37). Česta je upotreba kamera za detekciju crvenog i infracrvenog spektra (na primjer, kod senzora na satelitima), jer izračunavanjem omjera ovih dviju vrijednosti možemo dobiti informacije o količini klorofila u vegetaciji (Slika 39).



Slika 37: Multispektralna kamera ima više senzora. Svaki senzor detektira odabrani dio elektromagnetskog spektra.



Slika 38: Slika Sorškog polja u crvenom (lijevo) i infracrvenom (desno) spektralnom pojasu. Slika je prikazana u sivim tonovima, s većom refleksijom prikazanom svjetlijom nijansom.



Slika 39: Prikaz normaliziranog diferencijalnog vegetacijskog indeksa, koji se izračunava iz omjera vrijednosti refleksije crvene i infracrvene svjetlosti. Rijeke, izgrađena područja i požnjevena polja imaju niže vrijednosti i prikazani su u tamnijim nijansama. Šume, livade i polja s usjevima imaju visoke vrijednosti i prikazani su u svjetlijim nijansama.

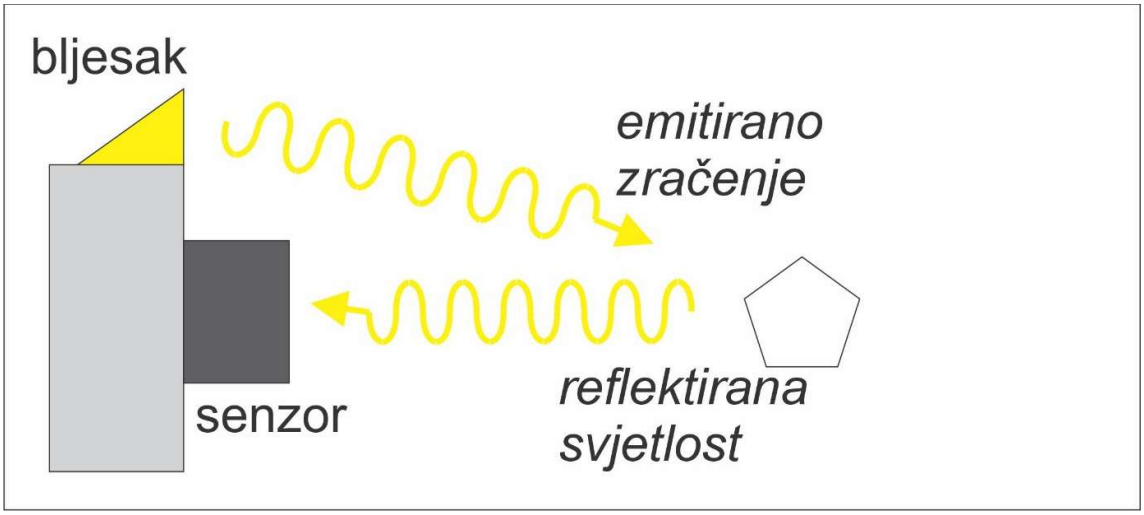
Pasivni optički senzori mogu se postaviti na letjelice, avione, satelite i praktično sva druga plovila i terenska vozila. Sateliti obično nose multispektralne ili čak **hiperspektralne** senzore, pri čemu su pojedini senzori pripremljeni za snimanje odbijenog zračenja u izuzetno uskim pojasovima.



Slika 40: DJI Mavic 3M ima pet kamera ili senzora: senzor za snimanje u vidljivom svjetlu (RGB) i četiri dodatna senzora za snimanje slika u zelenom pojasu, crvenom pojasu, prijelaznom pojasu između crvenog i infracrvenog te pojasu blizu infracrvenog. Fotografija: ROK CIGLIČ

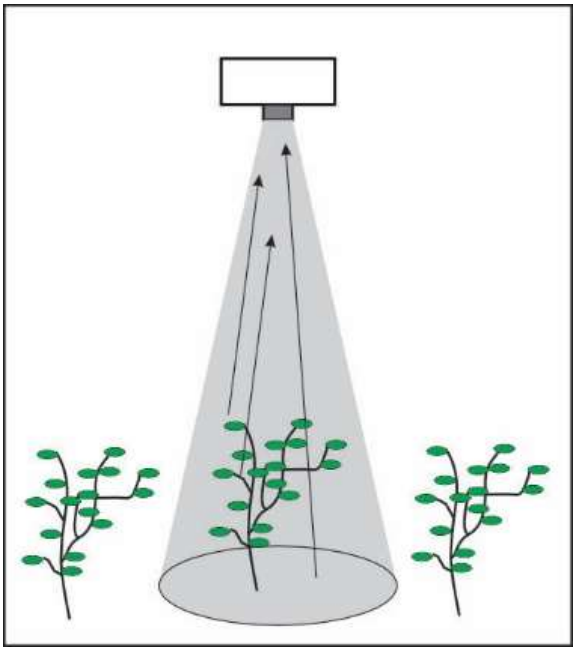
Ako nema prirodnog ili vanjskog umjetnog izvora svjetlosti ili odgovarajućeg elektromagnetskog zračenja, tada se senzor može opremiti takvim izvorom. Ovi senzori nazivamo **aktivnim senzorima**. Ovi senzori sami emitiraju elektromagnetsko zračenje u određenom spektralnom pojasu. Kao primjer takvog zračenja može poslužiti fotoaparat s blicem (slika 41) ili satelit s radarom.

Če naravnega vira ali zunanjega umetnega vira svetlobe oziroma ustreznega elektromagnetnega valovanja ni, potem lahko senzor opremimo s takšnim virom. Tovrstni senzorji se imenujejo **aktivni senzorji**. Ti senzorji sami oddajajo elektromagnetno valovanje v določenem spektralnem pasu. Kot primer takega valovanja lahko služi fotoaparat z bliskavico (slika 41) ali satelit z radarjem.



Slika 41: Aktivni senzor.

Optičke snimke (zračne, satelitske i sl.) mogu se, uz odgovarajuće ispravke i postupke obrade koje nazivamo **fotogrametrija**, koristiti za izradu ortofotografija i 3D modela. Ortofoti su obrađene snimke koje nemaju izobličenja zbog reljefa (Campbell 1996). Takve podatke možemo koristiti u geografskim informacijskim sustavima, jer imaju odgovarajuću mjeru na cijelom području.
Izuzetno koristan je laserski skener **LiDAR**, što znači svjetlosno detektiranje i mjerenje udaljenosti (eng. *Light Detection And Ranging*) ili lasersko snimanje, otkrivanje i određivanje udaljenosti razdalj (*Laser Imaging Detection And Ranging*). Tehnologija se koristi za određivanje udaljenosti do objekata ili površina pomoću laserskih zraka (Oštir 2006). LIDAR koristi jednu valnu duljinu. Emitirani laserski zrak odbija se od objekta. Senzor mjeri vrijeme od emitiranja zraka do prijema (Triglav Čekada 2015). Jedna zraka može izazvati više odboja (slika 42).
Svojim mjerenjima stvaraju oblake točaka u prostoru, što nam omogućava izradu detaljnih 3D modela krajolika s detaljima vegetacije i infrastrukture. Ovi senzori također mogu biti postavljeni na avionima, bespilotnim letjelicama ili vozilima na tlu. Također mogu biti ručni (slika 43) ili pričvršćeni na stative. Razlikujemo dvije vrste laserskih skenera: diskretni i kontinuirani skener(Triglav Čekada 2015).



Slika 42: Delovanje laserskega skeniranja.



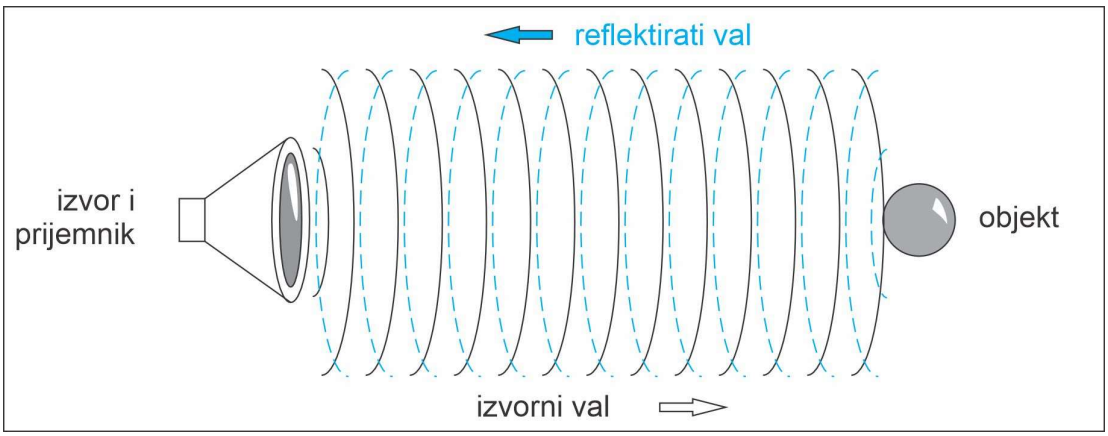
Slika 43: Upotreba ručnog laserskog skenera. Fotografija: ROK CIGLIČ

Osim lidar tehnologije, treba istaknuti i **radar**. Često je to aktivni senzor koji emitira radarske valove i detektira njihov odboj. Često su opremljeni sateliti, a koriste se i pri analizi površina. Potonje često označavamo terminom georadar (slika 44). Radar također može biti pasivan i samo detektirati radarske valove (ne emitira svoj signal).



Slika 44: Georadar med uporabo pri merjenju debeline ledu. Fotografija: MIHA PAVŠEK

Sonar koristi zvučne valove za lociranje objekata i površina pod vodom. Djeluje tako da šalje akustične signale u vodu i mjeri vrijeme do njihova povratka od površine (na primjer, morskog dna) ili objekata koji odbijaju signal. Postoje dva glavna tipa sonara: aktivni (slika 45), koji emitira zvučne signale i sluša odjeke za određivanje udaljenosti, i pasivni, koji ne emitira signale, nego samo sluša prirodne podvodne zvukove, poput prirodnih zvukova ili zvukova plovila. Sonar se vrlo često koristi u podvodnom kartiranju i navigaciji.



Slika 45: Rad aktivnog sonara koji emitira zvučne signale i bilježi odbijeni zvuk.

2.2.3 Izvori i literatura

- Artiola, J. F., Pepper, I. L., Brusseau, M. L. (ur.) 2004: Environmental monitoring and characterization. London.

- Campbell, J. B. 1996: Introduction to remote sensing. London.
- Oštir, K. 2006: Daljinsko zaznavanje. Ljubljana.
- Triglav Čekada, M. 2015: Osnove o laserskem skeniranju in kako naročimo podatke. Izzivi in priložnosti uporabe laserskih podatkov. Ljubljana.

3 KORIŠTENJE PODATAKA: PRIMJERI KORIŠTENJA GIS-a ZA PROSTORNE ANALIZE I PRIKAZE

3.1 PRIMJER 1: PRIMJER KORIŠTENJA PODATAKA LASERSKOG SKENIRANJA (LIDAR) IZ ZRAKOPLOVA ZA ANALIZU ABIOTSKIH KARAKTERISTIKA SCOPOLIJEVE GUŠARKE (ARABIS SCOPOLIANA) NA PODRUČJU REZERVATA PRIRODE SNEŽNIK-ŽDROCLE

3.1.1 Opis aktivnosti

Skopolijeva gušarka (*Arabis scopoliana*) jedna je od najkarakterističnijih predstavnika dinarske planinske flore i zaštićena je Direktivom o staništima. Budući da su se Slovenija i Hrvatska zauzele za praćenje njezina stanja, nadležne institucije (primjerice Slovenski zavod za varstvo narave, ZRSVN) moraju pripremiti potencijalne prijedloge i strateške smjernice za uključivanje u razne planske dokumente i programe praćenja na različitim razinama upravljanja. U Sloveniji je zabilježeno samo sedam nalazišta Scopolijeve gušarke, od kojih se tri lokacije nalaze na Snežniku. U blizini, na području Gorskog kotara i Nacionalnog parka Risnjak, nalazi se još 20 lokacija.
Navedeni lokaliteti nalaze se u teško pristupačnom, šumovitom (i šutovitom) krškom području. ZRSVN planira izraditi analizu abiotskih karakteristika lokaliteta. Zbog sve većih antropogenih pritisaka u prirodnom rezervatu Snežnik-Ždrocle žele se identificirati i potencijalno pogodna staništa (područja s istim ili sličnim abiotičkim ograničenjima) s ciljem uvrštenja tih područja u smjernice zaštite.

3.1.2 Polazišta primjera

Poslovi izvođača u području geografskih informacijskih sustava mogu se svrstati u sljedeće okvirne korake, na temelju želja naručitelja:

- dobivanje točaka snimljenih staništa šaša Scopoli na području Snežnika i Gorskog kotara te Nacionalnog parka Risnjak,
- priprema LiDAR podataka (podataka laserskog skeniranja) za proučavano područje,
- priprema slojeva za analizu abitoznih karakteristika staništa na temelju LiDAR podataka,
- izrada karte potencijalnih staništa na temelju analiziranih abiotskih karakteristika.

3.1.2.1 Korišteni izvori podataka

U konkretnom slučaju sve potrebne informacije pribavit ćemo od nadležnih institucija. Od naručitelja (ZRSVN) dobivamo lokacije nalazišta Scopolijeve gušarke u Sloveniji i Hrvatskoj. Iz mrežnog preglednika Atlasa okoliša Agencije Republike Slovenije za okoliš (ARSO) preuzimamo sloj zaštićenih prirodnih područja, koji također sadrži i površinu prirodnog rezervata Snežnik-Ždrocle. Iz web preglednika eVode (ARSO) preuzimamo kartografsku mrežu i LiDAR podatke list po list za područje rezervata Snežnik-Ždrocle u projekciji D96TM. Putem obrasca dostupnog na stranicama hrvatske Državne geodetske uprave (DGU) tražimo kartografsku mrežu i LiDAR podatke za te listove na području Gorskog kotara ili Nacionalnog parka Risnjak, gdje su zabilježena staništa Scopolijeve gušarke.

Tablica 1: Popis izvora podataka.

ime podatka	zapis	izvor podatka	ločljivost
lokacije staništa Scopolijeve gušarke	vektorski	ZRSVN	/
zaštićena područja prirode (rezervat prirode Snežnik-Ždrocle)	vektorski	ARSO	/
LiDAR podatkovna mreža (Slovenija)	vektorski	ARSO	/
LiDAR podaci za područje rezervata Snežnik-Ždrocle	rasterski	ARSO	1 m × 1 m
lidar kartografska mreža (Hrvatska)	vektorski	DGU	/
LiDAR podaci za područje Gorskog kotara i Nacionalnog parka Risnjak	rasterski	DGU	1 m × 1 m

3.1.2.2 Korišteni alati

Za prikaz rezultata koristili smo:

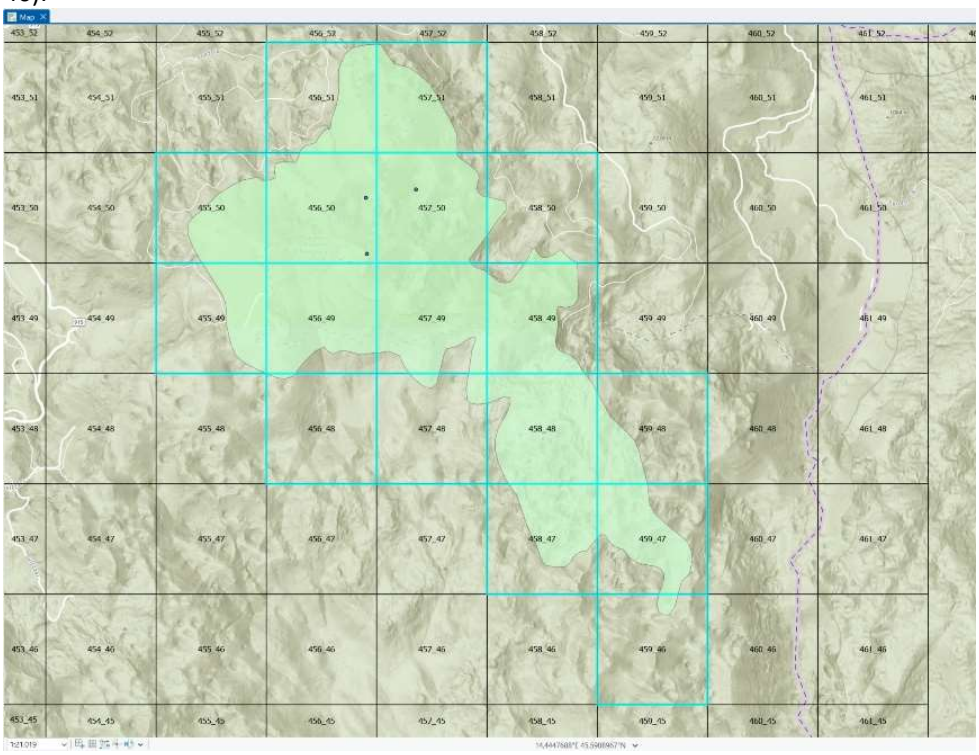
- program ESRI ArcGIS Pro 3.4.

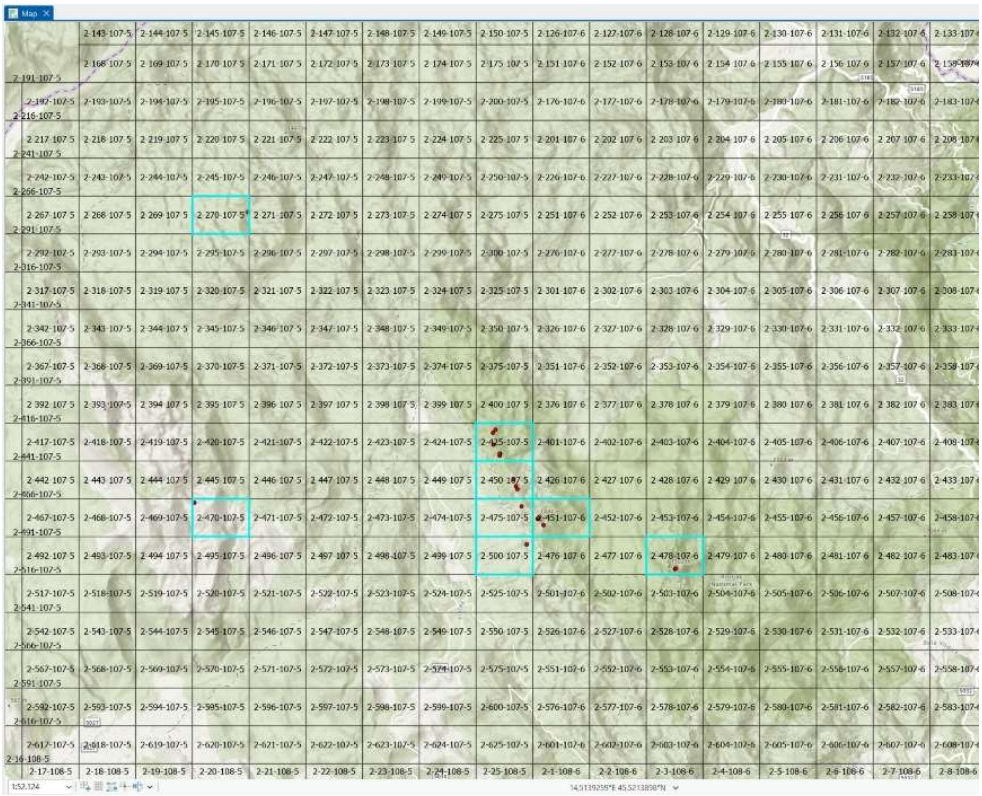
3.1.3 Opis korištenja GIS-a u rješavanju slučaja

Iz mrežnog preglednika Atlasa okoliša (ARSO) preuzimamo sloj zaštićenih područja prirode (poligon rezervata Snežnik-Ždrocle). U ZRSVN dobivamo lokacije staništa vrste na području Snežnika i Gorskog kotara te Nacionalnog parka Risnjak. Mrežu LiDAR tablica podataka za Hrvatsku tražimo putem obrasca dostupnog na web stranici DGU. Budući da sada znamo opseg područja istraživanja na temelju poligona prirodnog rezervata, LiDAR podatkovne mreže za Hrvatsku i lokacije staništa, možemo započeti s prikupljanjem, pripremom i analizom LiDAR podataka.

3.1.3.1 Korak 1: Preuzimanje i priprema LiDAR podataka

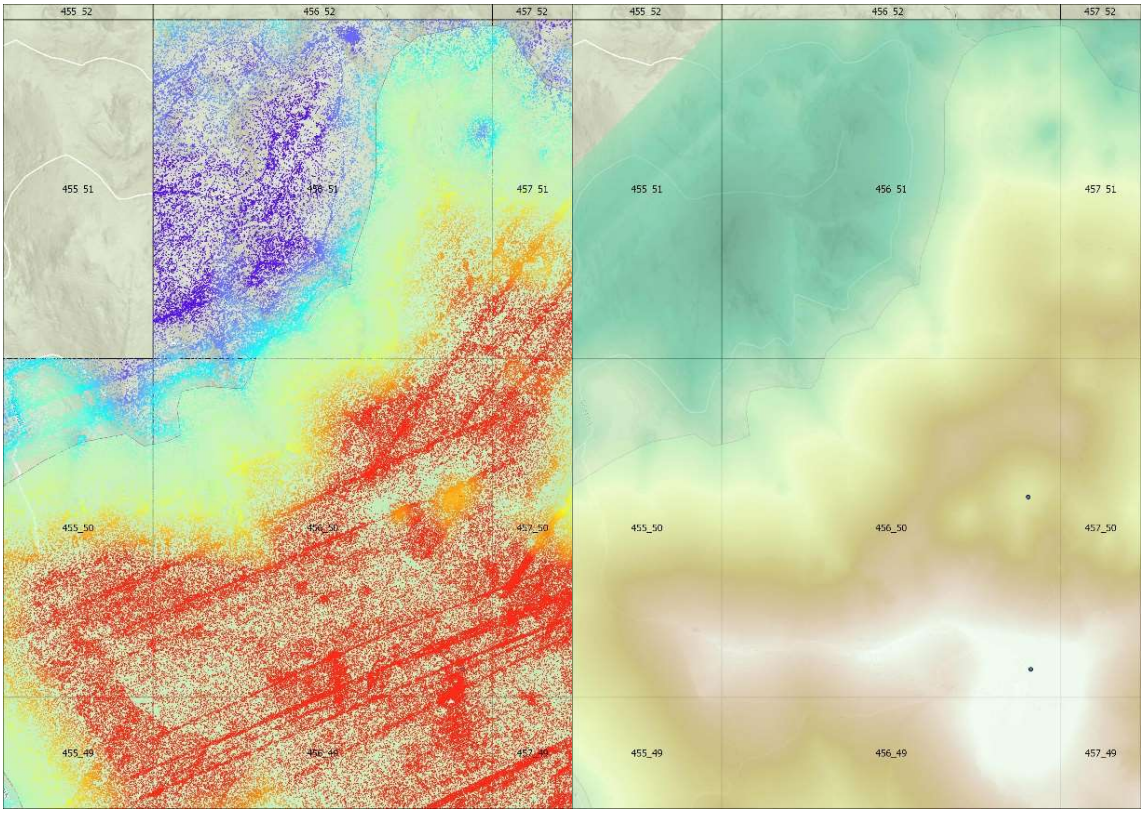
U prvom koraku pripremamo LiDAR podatke za područje rezervata Snežnik-Ždrocle. Kartografsku mrežu preuzimamo s web preglednika eVode (ARSO). To činimo tako da u pregledniku uključimo *podatke Lidara po sloju listova u projekciji D96TM (1km^2)* i kliknemo na bilo koji list, a zatim u prozoru za izbor odaberemo opciju K*artografska mreža za cijelu Sloveniju (D96TM)*. U programu ArcGIS Pro zatim uspoređujemo kartografsku mrežu s poligonom rezervata Snežnik-Ždrocle. Na temelju presjeka vidimo da se poligon rezervata prirode Snežnik-Ždrocle nalazi u prostoru od 17 različitih listova (slika 46).





Slika 46: Presjek lisne mreže za LiDAR podatke i poligon rezervata prirode Snežnik-Ždrocle (gore) i položaj staništa Scopolijeve gušarke na području Gorskog kotara i Nacionalnog parka Risnjak (dolje).

U sljedećem koraku prenosimo LiDAR podatke u obliku oblaka reljefnih točaka (*OTR Data Transfer (D96TM) ZLAS format*) za svih 17 odabranih listova putem istog preglednika. Preneseni podaci pohranjuju se u zLAS formatu, što je komprimirani oblik originalnog LAS formata.
Zatim trebamo pretvoriti podatke u zLAS formatu u LAS format (slika 40), što se može učiniti u programu ArcGIS Pro pomoću alata *Convert LAS* (s odabranom opcijom *Batch*, koja nam omogućuje konvertiranje više datoteka istovremeno). U alat unesemo ulazne datoteke zLAS, izaberemo izlaznu mapu, odredimo nazive izlaznih datoteka i koordinatni sustav (D96). Ostale postavke zadržavamo kao zadane.
Zatim koristimo alat *Create LAS Dataset* za izradu LAS skupa podataka, što znači da kombiniramo LAS datoteke pojedinačnih listova u jednu datoteku. U alat unesemo ulazne LAS podatke, izaberemo izlaznu mapu, odredimo naziv izlazne datoteke (*LAS Dataset*) i koordinatni sustav (D96).
U posljednjem koraku koristimo alat *LAS Dataset to Raster* za izradu rastera (slika 47) na temelju vrijednosti navedenih u LAS skupu podataka. U alat unosimo ulazni LAS skup podataka, odabiremo izlaznu mapu, specificiramo naziv izlazne datoteke i specificiramo vrijednost uzorkovanja 1 (engleski *Sampling value*), što znači da će izlazni raster (u našem slučaju digitalni model reljefa, DRM) imati ćeliju veličine 1 m × 1 m. Ostale postavke zadržavamo kao zadane.



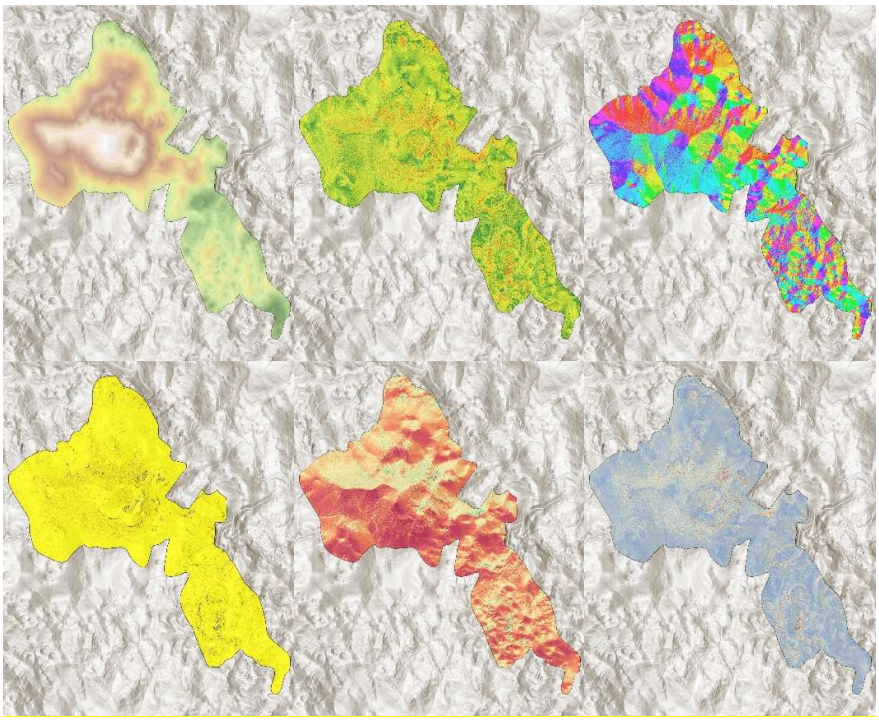
Slika 47: LiDAR podaci u obliku oblaka reljefnih točaka (LAS) (lijevo) i digitalni model reljefa u tif formatu (desno).

LiDAR podatke za Hrvatsku moguće je naručiti putem obrasca dostupnog na stranicama DGU. Kao što je spomenuto, prvo tražimo kartografsku mrežu. Na temelju presjeka staništa Scopolijeve gušarke i kartografske mreže utvrđujemo koje listove trebamo (slika 47). Zatim ponovno ispunjavamo obrazac i naručujemo LiDAR podatke u DMR formatu za identificirane listove (s rezolucijom 1 m × 1 m u tif formatu za pojedinačne listove). Budući da su primljeni podaci već u DMR (tif) formatu, ne moramo ih dalje pretvarati. Međutim, budući da su podaci odvojeni u pojedinačne listove, kombiniramo ih u jedan raster pomoću alata *Mosaic To New Raster*.
U zadnjem koraku, radi brže obrade, spajamo DMR za područje Slovenije i Hrvatske u jedan raster (alat *Mosaic To New Raster*). Prije kombiniranja moramo obratiti pozornost na koordinatne sustave odnosno projekcije. DMR za Sloveniju je u koordinatnom sustavu D96TM, a za Hrvatsku u HTRS96. Stoga prije spajanja DMR-ova u jedan raster koristimo alat *Project Raster* koji omogućuje transformaciju u jedinstveni koordinatni sustav.

3.1.3.2 Korak 2: Analiza abiotskih karakteristika staništa Scopolijeve gušarke

Sada kada su LiDAR podaci spremni, možemo početi analizirati abiotičke karakteristike staništa Scopolijeve gušarke. Na temelju DMR-a izračunavamo nagib, orijentaciju, indeks topografskog položaja, insolaciju i indeks hrapavosti površine (slika 48) te svakoj lokaciji staništa pripisujemo vrijednosti svih izračunatih slojeva.
Podaci o **nadmorskoj visini** dobivaju se izravno iz DMR-a, jer se DMR temelji na podacima o nadmorskoj visini. Pomoću alata *Slope* izračunavamo **nagib površine** u stupnjevima. Alat *Aspect* izračunava **orijentaciju površine**. Orijentacija se izražava u pozitivnim stupnjevima od 0 do 360 i mjeri se u smjeru kazaljke na satu od sjevera prema sjeveru, odnosno u punom krugu. Ćelijama koje su ravne (nagib = 0^o) u ulaznom rasteru dodjeljuje se vrijednost -1. Orijentacijski sloj kategoriziran je u sljedeće klase pomoću alata *Reclassify*: ravnina (-1), sjever (0–22,5^o i 337,5–360^o) je 1, sjeveroistok (22,5–67,5^o) je 2, istok (67,5–112,5^o) je 3, jugoistok (112,5–157,5^o) je 4, jug (157,5–202,5^o) je 5, jugozapad (202,5–

247,5°) je 6, zapad (247,5–292,5°) je 7, sjeverozapad (292,5–337,5°) je 8. Za izračun **topografskog indeksa položaja** (engleski *Topographic Position Index*,TPI), koristimo istoimeni alat. TPI sloj je kategoriziran u sljedeće klase: dolina/depresija (≤ -1), ravnica/donja padina (-1–-0,5), srednja padina (-0,5–0,5), gornja padina (0,5–1), greben (≥ 1) (Weiss 2001). Za analizu odabiremo izračun kružnog pokretnog prozora (engleski *Circle*) i radijus analize susjedstva od 10 metara. Što je radijus pretraživanja manji, to su oblici mikroreljefa istaknutiji, a što je radijus pretraživanja veći, to su rezultati generaliziraniji i oblici makroreljefa su istaknutiji (Weiss 2001). Alat *Raster Solar Radiation* izračunava **dolazno sunčevo zračenje** ili **insolaciju**. Insolacija se računa kao količina primljene energije sunčevog zračenja po jedinici površine u određenom vremenskom razdoblju (u našem slučaju za cijelu godinu) i mjeri se u jedinicama kilovatsat po kvadratnom metru (kWh/m2). Također izračunavamo **indeks hrapavosti terena** (engleski *Terrain Ruggedness Index*, TRI) na temelju istoimenog alata. Indeks izračunava promjenu visine između ćelije i njenih osam susjednih ćelija i dodjeljuje novu vrijednost svakoj ćeliji. Indeks otpornostii površine predstavlja objektivan prikaz i govori nam kakva je relativna raspodjela visina, odnosno topografska heterogenost (Riley et al. 1999).



Slika 48: Primjeri slojeva a) nadmorske visine, b) nagiba, c) orijentacije, d) indeksa topografskog položaja, e) insolacije i f) indeksa hrapavosti terena na području rezervata prirode Snežnik-Ždrocle.

U sljedećem koraku dodjeljujemo vrijednosti pojedinih izračunatih slojeva lokacijama staništa. To radimo pomoću alata *Extract Multivalues to Points*. Unosimo lokacije staništa Scopolijeve gušarke kao ulazni točkasti sloj, a sve izračunate rasterske slojeve ubacujemo kao ulazne rasterske slojeve i navodimo naziv izlaznog polja (engleski *Output field name*).
Vrijednosti slojeva sada su dodijeljene svakoj lokaciji i mogu se vidjeti u atributnoj tablici točkastog sloja staništa Scopolijeve gušarke. Iz podataka u atributnoj tablici utvrđujemo abiotske karakteristike staništa (tablica 2).

Tablica 2: Raspon vrijednosti ili kategorija nadmorske visine, nagiba, orijentacije, indeksa topografskog položaja, insolacije i indeksa hrapavosti terena za sva staništa Scopolijeve gušarke.

sloj	**raspon vrijednosti ili kategorija**
nadmorska visina	1020,56–1771,45 m

nagib	4,33–39,34°
orijentacija	S (1), SV (2), V (3), JV (4), J (5), JZ (6), Z (7), SZ (8)
indeks topografskog položaja (TPI)	srednji nagib (3), gornji nagib (4)
insolacija	573,91–1240,24 kWh/m^2
hrapavost terena	0,37–2,12

3.1.3.3 Korak 3: Izrada karte potencijalno pogodnih staništa na temelju analiziranih abiotskih karakteristika

Na temelju abiotskih karakteristika staništa Scopolijeve gušarke dobivenih u prethodnom koraku izrađujemo kartu područja potencijalno pogodnih staništa. Pomoću alata *Raster Calculator* utvrđujemo područja s istim ili sličnim abiotskim karakteristikama postojećim staništima. Jednadžbu ili izraz u nastavku unosimo u alat pomoću funkcije *Con* koja provjerava ispunjavaju li pojedine ćelije u ulaznim rasterima određene uvjete. Ako ćelija zadovoljava sve kriterije, dodjeljuje joj se vrijednost 1, u suprotnom se dodjeljuje vrijednost *NoData*. Uvjeti uključuju nadmorsku visinu (oznaka: nmv) između 1020,56 i 1771,45 m, nagib između 4,33° i 39,34°, orijentaciju s vrijednostima 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 i 8, topografski indeks položaja (TPI) s vrijednošću 3 ili 4, sunčevo zračenje između 573,91 i 1240,24 kWh/m2, a hrapavost ili neravnina terena (TRI) između 0,37 i 2,12.

Konačni rezultat je rasterski sloj gdje su ćelije koje zadovoljavaju sve kriterije označene s 1, a ostale imaju vrijednost NoData (slika 49).

Con(("nmv" >= 1020.56) & ("nmv" <= 1771.45) & ("nagib" >= 4.33) & ("nagib" <= 39.34) & (("orijentacija" == 1) | ("orijentacija" == 2) | ("orijentacija" == 3) | ("orijentacija" == 4) | ("orijentacija" == 5) | ("orijentacija" == 6) | ("orijentacija" == 7) | ("orijentacija" == 8)) & (("TPI" == 3) | ("TPI" == 4)) & ("insolacija" >= 573.91) & ("insolacija" <= 1240.24) & ("TRI" >= 0.37) & ("TRI" <= 2.12), 1)



Slika 49: Karta potencijalno pogodnih staništa na temelju analiziranih abiotskih karakteristika.

3.1.3.4 Zaključak odnosno nastavak zadatka

U postupak određivanja karakteristika staništa i potencijalno pogodnih staništa možemo uključiti još niz različitih karakteristika koje potencijalno utječu na uspijevanje Skopolijeve gušarke. To su, primjerice, podaci o klimatskim (temperatura, oborine), pedološkim (tip tla, topografski indeks vlažnosti), geološkim (vrsta stijena) ili vegetacijskim karakteristikama (korištenje zemljišta odnosno vegetacijski tipovi). Također bi bilo smisleno za preciznije i kompleksnije analize određivanja potencijalnih staništa koristiti napredne metode iz područja modeliranja rasprostranjenosti vrsta (engleski *Species Distribution Modelling, SDM*), kao što je metoda Maxent (Phillips i sur., 2006).

Korištenjem SDM metoda možemo dobiti informacije o tome koje karakteristike najviše utječu na rasprostranjenost vrste te to uzeti u obzir pri izradi smjernica za očuvanje i upravljanje vrstom.
Ipak, osnovna logična analiza uvjeta, kao što smo ju prikazali u našem primjeru, može nam poslužiti kao orijentacijska podloga za terensko popisivanje proučavane biljne vrste te za opću identifikaciju uvjeta staništa.

3.1.4 Mogućnost korištenja programa

Za postizanje rezultata mogu se koristiti programi:

- ArcGIS Pro (ESRI),
- QGIS (QGIS Project),
- SAGA GIS,
- RStudio, R,
- Maxent.

3.1.5 Izvori i literatura

- Phillips, S. J., Anderson, R. P., Schapire, R. E. 2006: Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(3–4). DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026
- Riley, S. J., DeGloria, S. D., Elliot, R., 1999: A terrain ruggedness index that quantifies topographic heterogeneity. *Intermountain Journal of Sciences*, 5(1–4).
- Weiss, A. D. 2001: Topographic position and landforms analysis. Poster, Esri User Conference. San Diego.

3.2 PRIMJER 2: PRIMJENA PODATAKA RUČNOG LASERSKOG SKENIRANJA ZA ANALIZU RELJEFA I VEGETACIJE

3.2.1 Opis aktivnosti

U šumskom rezervatu pojavila se potreba za evidencijom i dugoročnim praćenjem vrsta stabala u krškim ponikvama. U tu svrhu želimo prikupiti podatke o broju i točnoj lokaciji postojećih stabala unutar te kraške reljefne forme. Za pilotni primjer odabrana je ponikva u kojoj uspijevaju listopadne i crnogorične vrste. Stanište u udolini obuhvaća površinu od približno 1000 m² i nalazi se na teško pristupačnom, djelomično stjenovitom kraškom području, gdje se među stablima isprepliću škrape i stijene.
Za potrebe upravljanja i očuvanja šumskog staništa i stablašica potrebno je izraditi kartu rasporeda stabala čiji promjer na visini od 1,3 m iznosi najmanje 10 cm.

3.2.2 Polazišta primjera

Za izradu karte možemo koristiti trodimenzionalno (dalje 3D) lasersko skeniranje, bilo zračno, terestričko ili ručno. Budući da je riječ o manjem lokalnom području i da metodologija počiva na određivanju prsnog promjera stabala, koristimo 3D lasersko skeniranje pomoću ručnog laserskog skenera. Za precizno kartiranje šumskih sastojina vrlo je korisna tehnika terestričkog laserskog skeniranja (TLS), posebno 3D TLS, gdje je rezultat oblak točaka koji prikazuje sve objekte u vidnom polju skenera. Riječ je o tehnologiji koja se brzo razvija i omogućuje sve preciznije prostorne analize. Mobilni 3D laserski skeneri uključuju automatsko povezivanje točaka tijekom kretanja kroz prostor. Jedan laserski snimak, tijekom kretanja operatera, bilježi milijune mjerenja u sve tri dimenzije, koje suvremeni mobilni skener automatski povezuje u 3D oblak točaka, izrađuje trajektorij (put skeniranja) i stvara unutarnji koordinatni sustav. Dobivanjem oblaka točaka izrađujemo 3D model koji se nakon obrade može koristiti za detaljnu kartografsku interpretaciju u stvarnim, visoko preciznim koordinatama te za razna istraživanja.
U nastavku prikazujemo primjer upotrebe koji uključuje:

- prikupljanje podataka na terenu, pri čemu je potrebno obići područje i pripremiti referentne točke,

- obradu 3D oblaka točaka, uključujući georeferenciranje i identifikaciju stabala na prsnoj visini u različitim programima,
- izradu karte rasporeda stabala pomoću obojanog 3D oblaka točaka i panoramskih fotografija.

3.2.2.1 Korišteni izvori podataka

U ovom primjeru svi potrebni podaci prikupljeni su na terenu pomoću vlastitog ručnog 3D laserskog skenera i GNSS prijemnika, pa unaprijed pripremljeni podaci iz drugih izvora nisu potrebni. Potrebno je aktivirati pretplatu na RTK signal koji omogućava precizno pozicioniranje i ručno bilježenje referentnih točaka pomoću GNSS prijemnika. RTK signal u Sloveniji osigurava Geodetska uprava Republike Slovenije, a u Hrvatskoj Državna geodetska uprava.

3.2.2.2 Korišteni alati

Za postizanje rezultata koristimo:

- ručni 3D laserski skener Leica BLK2GO,
- GNSS prijemnik Leica FLX100 plus s tvrdim nosačem i tabletom s programom Leica Zeno Mobile One,
- licencirani program Leica Cyclone Register 360,
- licencirani program Leica Cyclone 3DR,
- licencirani program Global Mapper.

3.2.3 Opis korištenja GIS-a u rješavanju primjera

3.2.3.1 Korak 1: Prikupljanje podataka na terenu

Prije terenskog skeniranja potrebno je provjeriti tehničku ispravnost ručnog skenera (npr. otkloniti eventualne mehaničke kvarove i ažurirati softver). Treba provjeriti vremensku prognozu jer skeniranje nije moguće po kiši i pri temperaturama nižim od 4 °C. Važno je upoznati se s područjem skeniranja pomoću postojećih prostornih podataka i, ako je moguće, teren prethodno obići. Kada to nije moguće, priprema se može provesti kabinetski, koristeći podatke poput digitalnih modela reljefa ili ortofoto snimki. Prije izvođenja skeniranja izrađuje se plan kretanja operatera.

Na terenu se postavljaju referentne točke, koje mogu biti u obliku meta ili običnih drvenih kolaca, čiji je gornji dio obojen radi lakše prepoznatljivosti tijekom georeferenciranja na zaslonu, koje slijedi nakon obrade podataka. Referentnim točkama pomoću GNSS prijemnika određuju se koordinate s preciznošću od nekoliko centimetara. U ovom primjeru koristimo prijemnik Leica Zeno (slika 50) i program Zeno Mobile. Referentne točke su nužne za smještanje 3D oblaka točaka u odgovarajući koordinatni sustav i za usporedbu s ostalim prostornim podacima analiziranog područja. Točkama se određuje točan položaj u željenom koordinatnom sustavu (u Sloveniji se koristi državni sustav D96/TM, a u Hrvatskoj HTRS96/TM). U istom koordinatnom sustavu kasnije izrađujemo 3D model reljefa s rasporedom stabala odnosno preciznu kartu drveća.

Slijedi **lasersko skeniranje**. U ovom primjeru (tablica 3) koristimo ručni 3D laserski skener Leica BLK2GO (slika 51). To je mali dvoosni lidar (engl. *dual-axis lidar dome*) s preciznošću od 20 mm, zatvoren u potpuno zaštićenu kupolu. Brzina skeniranja iznosi 420.000 točaka u sekundi. Domet laserske zrake je od 0,5 do 25 m i radi na valnoj duljini od 830 nm. Vertikalni i horizontalni kut vidnog polja sustava skeniranja iznosi 360° odnosno 270°. BLK2GO uključuje višekamerni vizualni sustav (engl. *multicamera vision system*), koji se sastoji od ugrađene kamere s 12 MP za visokokontrastne slike i tri dodatne panoramske kamere za vizualizaciju i navigaciju SLAM (engl. *Simultaneous Localization and Mapping*), za bojanje oblaka točaka i snimanje panoramskih slika. Pomoću triju kalibriranih panoramskih kamera algoritam automatski u stvarnom vremenu izrađuje panoramsku fotografiju (300° × 135°). Ovaj sustav kamera koristi se i u sklopu VIS sustava (engl. *Visual Inertial System*) za bojanje oblaka točaka. GRAND-SLAM je kombinacija visokobrzinskog dvoosnog lidara, višekamernog vizualnog sustava i inercijske mjerne jedinice, koja omogućuje BLK2GO samostalnu orijentaciju bez vanjskog pozicijskog sustava. Precizna kamera omogućuje snimanje detaljnih fotografija rezolucije 12 MP u vidnom polju 90° x 120°. Fotografije se snimaju dok GRAND-SLAM neometano radi (BLK2GO kontinuirano skenira okolinu i

koristi VIS sustav). BLK2GO ima vlastitu internu memoriju koja omogućuje do 6 sati skeniranja, a jedna baterija podržava otprilike 45 minuta rada.



Slika 50: Mjerenje kontrolnih točaka GNSS prijamnikom. Fotografije: MATEJA BREG VALJAVEC



Slika 51: Ručni 3D laserski skener Leica BLK2GO prije početka skeniranja. Fotografija: MATEJA BREG VALJAVEC

Budući da se radi o reljefno vrlo raznolikim udolinama koje su na pojedinim dijelovima teško prohodne, unaprijed precizno određivanje puta skeniranja nije uvijek moguće, pa operater tijekom samog snimanja prilagođava trajektorij skeniranja prema prohodnosti terena i gustoći šume. Cijelo područje

ponikve sustavno se snima u trodimenzionalni oblak točaka. Tijekom skeniranja bilježi se oblik i boja objekata, a podaci se zapisuju u svakoj točki unutar oblaka točaka. S ciljem osiguravanja uspješnosti skeniranja i što veće prostorne pokrivenosti, skeniranje započinje u dnu ponikve, blizu središta, te se nastavlja spiralno uz padine sve do ruba udoline. Nakon toga se operater spiralno vraća istom ili sličnom putanjom natrag do početne točke. Na taj se način osigurava dvostruka pokrivenost područja i 3D snimanje objekata iz različitih smjerova. To je osobito važno pri snimanju debala stabala kako bi se dobio potpun oblik debla za kasnije automatsko prepoznavanje.



Slika 52: Operater usred laserskog skeniranja. Fotografija: ŠPELA ČONČ

Tijekom skeniranja potrebno je izbjegavati grane drveća jer je preporučena udaljenost između skenera i okolnih objekata najmanje 0,5 metara kako bi se osigurala kvaliteta podataka. Laserski snop može ometati i prejako izravno sijanje sunca, pa skener nije najprikladniji za snimanje travnjačkih staništa. Također je važno da se u okolici, unutar dometa od 25 metara, nalaze viši objekti koje algoritam GRAND-SLAM koristi za orijentaciju i izradu automatske trajektorije kretanja. Skener nije prikladan za vodene površine jer one uzrokuju prejako odbijanje i šum.

Tablica 3: Podaci o snimanju 3D oblaka točaka pomoću ručnog 3D laserskog skenera.

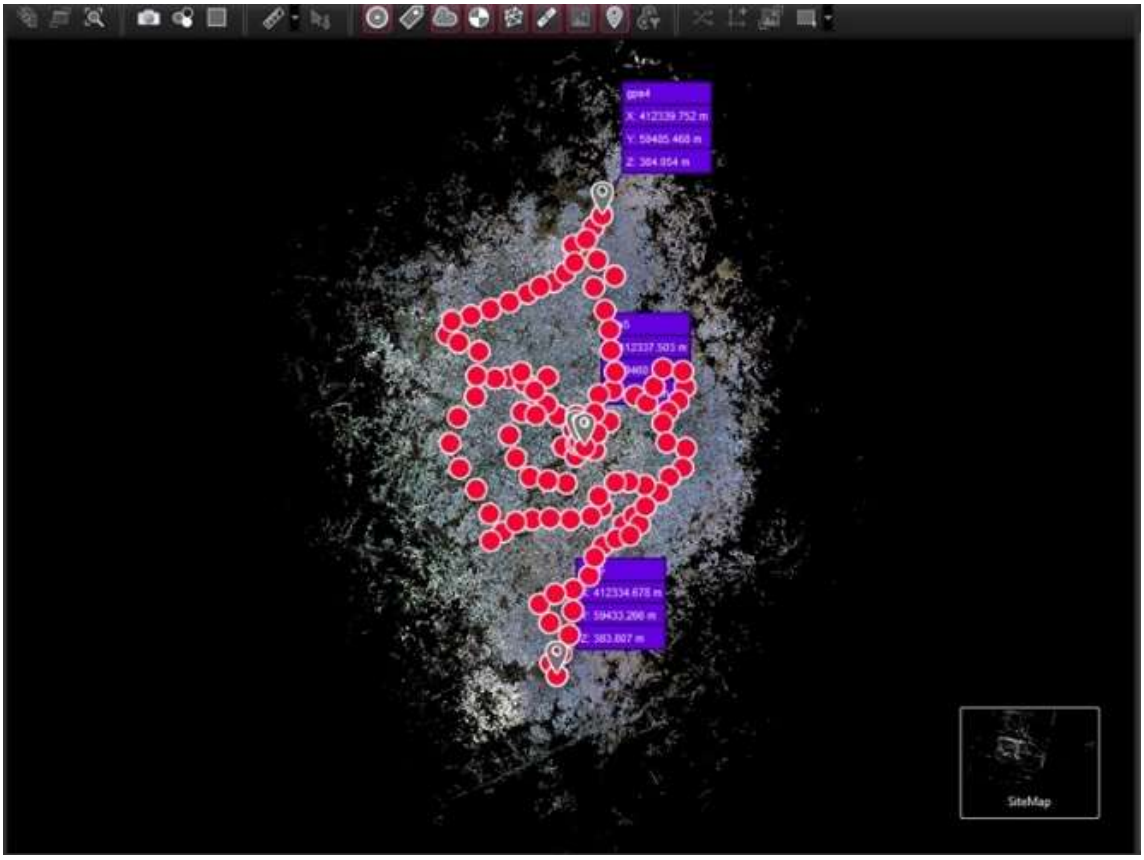
tip skenera	Leica BLK2GO
broj skenograma (točki oblaka)	1
trajanje skeniranja	15 min
rezolucija	22 mm
broj referentnih točaka	3

3.2.3.2 Korak 2: Prijenos podataka i obrada 3D oblaka točaka

Uvoz i obrada sirovih oblaka točaka u ovom su primjeru provedeni u programu za obradu 3D oblaka točaka Leica Cyclone Register 360. Georeferenciranje oblaka točaka provodi se na temelju koordinata dobivenih GNSS-om i označenih referentnih točaka u obliku kolaca (slike 53 i 54).

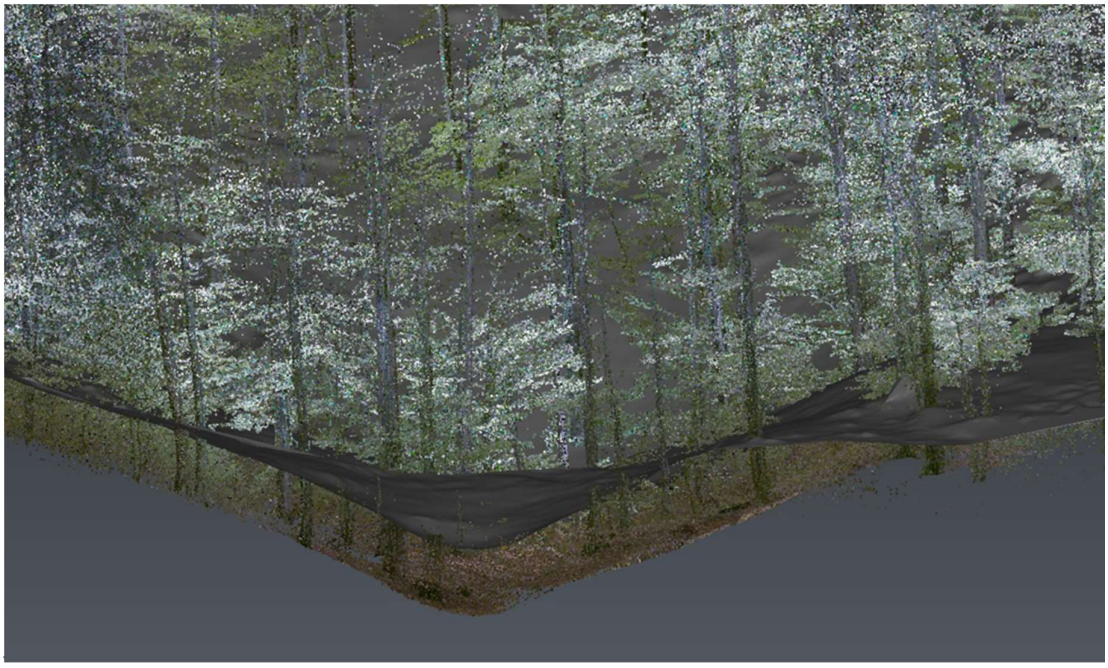


Slika 53: Sirov oblak točaka ponikve prikazan s bočne strane, gdje se jasno vidi reljefna udolina sa stijenama i drvenastom vegetacijom. Označene su lokacije referentnih točaka na dnu i rubu ponikve.

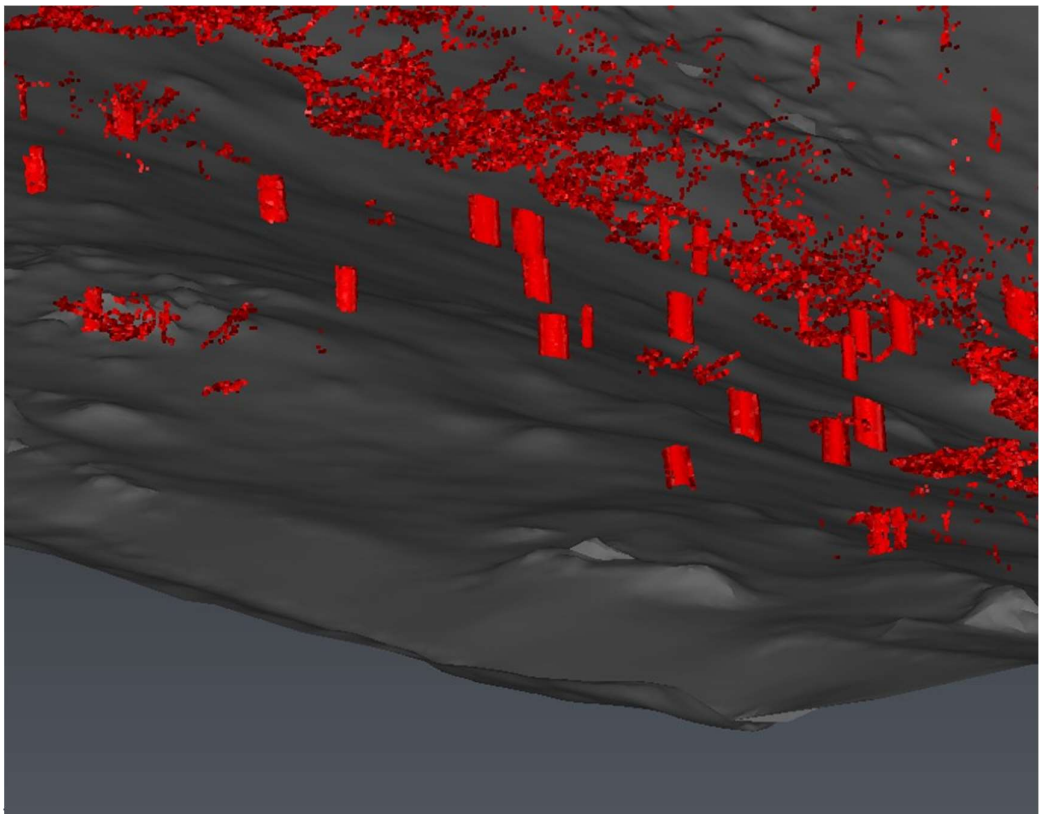


Slika 54: Putanja (trajektorija) kojom se operater kretao tijekom 3D laserskog skeniranja označena je crvenim točkama koje su postavljene preko 3D oblaka točaka. U ljubičastim okvirima prikazane su koordinate triju referentnih točaka za georeferenciranje. Prikaz je snimka zaslona iz programa Leica Cyclone Register 360.

Nakon georeferenciranja slijedi izvoz podataka u jednom od standardnih formata (npr. LAS ili E57). Tako spremljene podatke otvaramo u jednom od programa za obradu 3D oblaka točaka – u našem slučaju u programu Global Mapper. Oblak točaka dijelimo na točke tla (*ground points*) i točke vegetacije, čime dobivamo klasificirani oblak točaka. Iz točaka tla izrađujemo digitalni model reljefa (DMR), koji kasnije koristimo kao podlogu za izradu karte rasporeda stabala.
Oblak točaka vegetacije potrebno je "odrezati" na prsnoj visini (1,3 m) (slika 55), što izvodimo u programu Cyclone 3DR tako da iz oblaka vegetacije izdvojimo pojas točaka visine 20 cm na prsnoj visini (+/- 10 cm, tj. između 120 i 140 cm iznad tla). Na temelju tog sloja (slika 56) zatim izdvajamo stabla koja imaju prsni promjer veći od 10 cm.



Slika 55: Umjetno podizanje reljefa na prsnu visinu od 1,3 m.

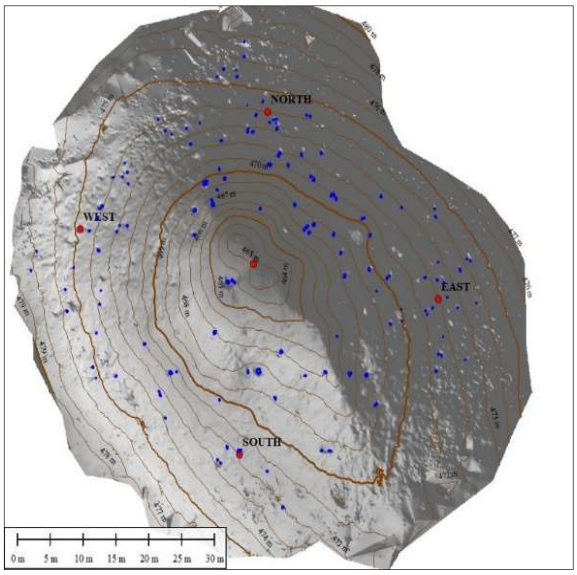


Slika 56: Izbor 20 cm pojasa vegetacije na visini 1,3 m od tla, koji koristimo za identifikaciju stabala s promjerom iznad 10 cm.

3.2.3.3 Korak 3: Izrada karte rasporeda stabala

Na kraju izrađujemo kartu rasporeda stabala, koju možemo izraditi u programu Global Mapper, ESRI ArcGIS Pro, ili besplatnom QGIS-u. Kao podlogu koristimo zasjenjeni digitalni model reljefa, preko kojeg

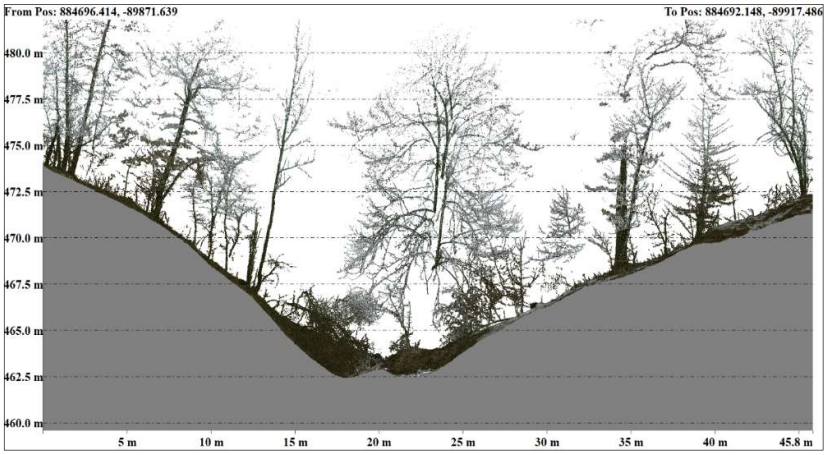
postavljamo vektorski sloj izohipsi kako bismo dobili pregled nadmorske visine te položaj debala (slika 57). Prethodno uklanjamo grane i stabla promjera manjeg od 10 cm, ili automatski izdvajamo samo debla (valjkasti oblici) te ih izvozimo kao zasebnu datoteku.



Slika 57: Karta rasporeda stabala s podlogom digitalnog modela reljefa; plavom su označene lokacije stabala.

3.2.3.4 Zaključak ili nastavak rada

Kartu možemo koristiti za terensko kartiranje i precizno određivanje vrsta stabala na terenu, ali vrste možemo odrediti i iz samog oblaka točaka koji vizualiziramo i analiziramo na više načina. Najlakše to radimo uz pomoć 3D vizualizacije oblaka točaka u kombinaciji s panoramskom fotografijom u programu Leica Cyclone Register 360. Na slici 58 prikazan je primjer presjeka kroz oblak točaka i digitalni model reljefa, pomoću čega prepoznajemo vrste stabala na temelju oblika krošnje i visine stabla.



Slika 58: Dodatni kriterij za prepoznavanje vrste stabla može biti i oblik krošnje, prikazan na presječnom profilu.

3.2.4 Mogućnost korištenja programa

- Leica Cyclone Register 360,
- Leica Cyclone 3DR,
- Global Mapper,
- CloudCompare,

- QGIS.

3.3 PRIMJER UPOTREBE SATELITSKIH/ZRAČNIH SNIMKI ZA PRAĆENJE ŠUMSKIH POVRŠINA NA PODRUČJU IZMEĐU ILIRSKE BISTRICE, SNEŽNIKA I RIJEKE (HRVATSKA)

3.3.1 Opis aktivnosti

Projektna skupina pograničnih općina u Sloveniji i Hrvatskoj zainteresirana je za promjene u korištenju zemljišta, osobito promjene šumskih površina, u okolici Snežnika i Ilirske Bistrice u Sloveniji te zaleđu Rijeke u Hrvatskoj. Budući da za razdoblje prije 2002. godine nema službenih podataka o stvarnoj upotrebi zemljišta, odlučeno je koristiti satelitske snimke koje omogućuju praćenje stvarne upotrebe zemljišta od 1972. godine. Želja je napraviti analizu promjena upotrebe zemljišta od 1975. do 2025. godine, u otprilike desetogodišnjim intervalima. Budući da je ručno kartiranje upotrebe zemljišta na zračnim snimkama vrlo dugotrajno, odlučeno je koristiti satelitske snimke. Odabrane su višespektralne satelitske snimke Landsat i Sentinel-2, na kojima će se provesti nadzirana klasifikacija upotrebe zemljišta.

Područje obuhvata veliko je nekoliko desetaka četvornih kilometara i znatno se mijenjalo u posljednjih 50 godina. Općine tog područja zanima na kojim je lokacijama, u kojem vremenskom razdoblju i u kojoj kategoriji upotrebe zemljišta došlo do najvećih promjena. Usporedbom rezultata klasifikacija između pojedinih razdoblja utvrdit će se područja s najvećim promjenama.

3.3.2 Polazišta primjera

Na temelju zahtjeva općina, zadaci se mogu podijeliti u sljedeće korake:

- odabir satelitskog sustava i odgovarajućih višespektralnih snimki za proučavana razdoblja,
- izrada trening uzoraka za odabrane kategorije upotrebe zemljišta za svaki vremenski presjek,
- izrada spektralnih potpisa na više spektralnih kanala,
- odabir odgovarajuće metode nadzirane klasifikacije,
- usporedba promjena u daljinski zabilježenoj upotrebi zemljišta između različitih vremenskih presjeka.

3.3.2.1 Korišteni izvori podataka

U praktičnom primjeru korištenja satelitskih snimki svi potrebni podaci za klasifikaciju preuzeti su sa sljedećih internetskih stranica: *Earth Explorer* američkog geološkog zavoda (engleski *United States Geological Survey*), *Copernicus* i *Atlas okoliša* (tablica 5). Neki računalni programi omogućuju izravan prijenos snimki unutar programa, što može pojednostaviti postupak. Prilikom preuzimanja treba paziti da se koriste snimke snimljene u isto doba godine i za vedrog vremena (bez oblaka).

Tablica 5: Popis izvora podataka

ime podatka	zapis	vir podatka	Leto	ločljivost
Landsat 1 – 8	raster	United states Geological Survey	2025	60 - 30 m
Sentinel 2	raster	Europska svemirska agencija Copernicus Data Space Environment	2025	10/20 m
Digitalni ortofoto	raster	Ministarstvo za prirodne resurse i prostor, Geodetska uprava RS	2024	0,5 m

3.3.2.2 Korišteni alati

Za postizanje rezultata korišteni su sljedeći alati:

- ESRI ArcGIS Pro 3.3.2,
- TerrSet liberaGIS.

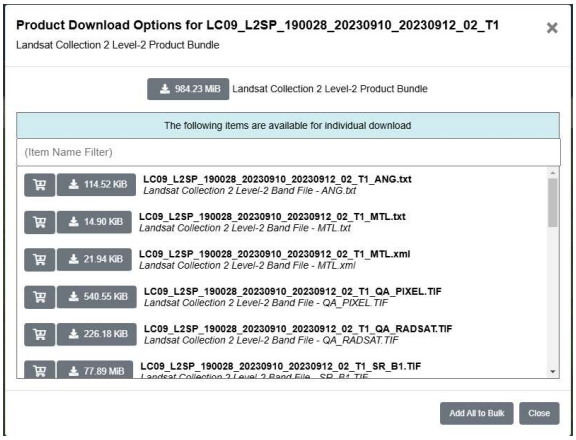
3.3.3 Opis primjene GIS-a u praćenju šumskih površina u regionalnom parku Snežnik

3.3.3.1 Dobivanje satelitskih snimki s interneta

Za izradu analize upotrebe zemljišta u željenim vremenskim razdobljima najprije pribavljamo odgovarajuće satelitske snimke. Dostupne su nam višespektralne snimke srednje rezolucije koje su besplatne te snimke visoke rezolucije koje se obično moraju platiti. Budući da nas zanima dulje vremensko razdoblje, za snimke nastale prije 2015. koristit ćemo podatke iz satelitskog sustava Landsat. Od 2015. nadalje, zbog bolje prostorne rezolucije, koristit ćemo podatke iz Sentinel-2 satelita. Za Landsat, podaci su dostupni na mrežnoj stranici američkog geološkog zavoda *Earth Explorer*, a za Sentinel-2 na mrežnoj stranici *Copernicus*. U analiziranom razdoblju u okviru programa Landsat radilo je više satelita. Koristit ćemo snimke iz što novijeg sustava koji je bio aktivan u pojedinom vremenskom presjeku i nije imao grešaka pri snimanju. Iako noviji sateliti imaju istu prostornu rezoluciju, s novijim verzijama snimali su na više spektralnih kanala, što poboljšava rezultate klasifikacije. Satelitske snimke moraju se obraditi prije daljnje upotrebe, kako bi se uklonili atmosferski utjecaji na kvalitetu snimke. Većinom su već dostupne unaprijed obrađene snimke s uklonjenim atmosferskim utjecajima. Za svaki vremenski presjek pribavljamo satelitske snimke snimljene između svibnja i rujna koje nemaju oblake na promatranom području (slika 59). Preuzimaju se svi dostupni spektralni kanali (slika 60). Zimske snimke nisu prikladne zbog neolistalih stabala i prisutnosti snijega koji prikriva različite tipove upotrebe zemljišta.



Slika 59: Primjer prozora odabira satelitskih snimaka Landsat 9 na web stranici Earth Explorer.



Slika 60: Primjer prijenosa dostupnih spektralnih kanala Landsat satelitskih snimaka na web stranicu Earth Explorer.

3.3.3.2 Određivanje kategorija upotrebe zemljišta

Kategorije stvarne upotrebe zemljišta od 2002. godine nadalje se neprestano dopunjavaju i ažuriraju, pa podaci između godina nisu izravno usporedivi (Klar 2016; Opis evidencije korištenja zemljišta 2025). Prostorna rezolucija satelitskih snimki s veličinama ćelija 30 × 30 m ili 10 × 10 m nije dovoljna za precizno razlikovanje svih 25 kategorija stvarne upotrebe zemljišta ni različitih vrsta zarastanja. Koristit ćemo šest pojednostavljenih kategorija koje se često koriste u međunarodnoj literaturi (Anderson i sur., 1976; Kamusoko i Aniya, 2009; Büyüksalih, 2016):

- izgrađena područja i gole površine,
- poljoprivredne površine (oranice),
- travnjaci,
- crnogorična šuma,
- listopadna šuma,
- voda.

Upotrebom ovih kategorija možemo stvoriti dovoljan broj trening uzoraka za svaku kategoriju, kako bi model mogao naučiti prepoznavati ih.

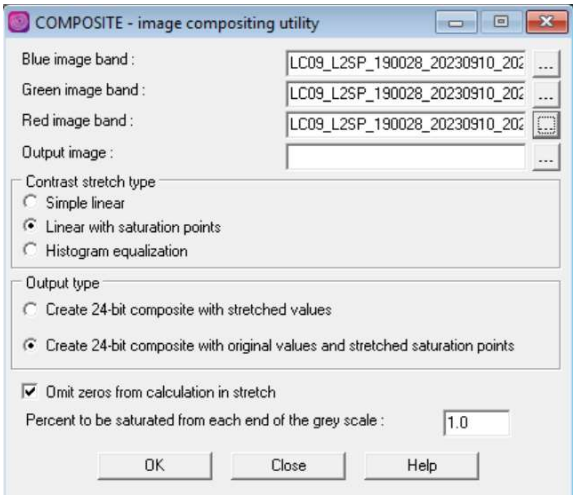
3.3.3.3 Izrada trening uzoraka i spektralnih potpisa

Satelitske snimke mogu se klasificirati različitim metodama. Općenito, klasifikaciju dijelimo na nenadziranu i nadziranu. Kod nenadzirane klasifikacije softver sam dijeli piksele u unaprijed određeni broj kategorija temeljem njihovih karakteristika. Jedini utjecaj koji korisnik ima s ovom vrstom klasifikacije je određivanje broja kategorija.
Druga vrsta klasifikacije je nadzirana klasifikacija pri kojoj izrađujemo trening uzorke i spektralne potpise za svaku kategoriju upotrebe zemljišta te time "učimo" softver kako izgleda svaka kategorija na različitim spektralnim kanalima. Postoji više algoritama za nadziranu klasifikaciju, a kvaliteta klasifikacije ovisi o izboru metode. U ovom slučaju koristimo *metodu maksimalne vjerojatnosti* (*Maximum Likelihood*), koja je vrlo raširena i daje dobre rezultate. Naprednji pristup je korištenje strojnog učenja, koji daje još preciznije rezultate, ali zahtijeva više vremena i računalnih resursa. Postoje i jednostavnije metode poput paralelopipedne metode i metode najmanje udaljenosti, koje su brže, ali manje točne.
Cijeli postupak klasifikacije provodimo u programu TerrSet liberaGIS, koji je posebno prikladan za obradu podataka daljinskog istraživanja i klasifikaciju satelitskih snimki. Na odabranim satelitskim snimkama (poglavlje 3.1) radimo klasifikaciju šest kategorija upotrebe zemljišta (poglavlje 3.2). Za postizanje čim veće točnosti klasifikacije i iskorištavanja većeg broja spektralnih kanala kod novijih satelita, trening uzorke izrađujemo za svaki vremenski presjek posebno. Najprije izrađujemo kompozitnu sliku u vidljivom dijelu spektra kombiniranjem crvenog, zelenog i plavog kanala pomoću alata *Composite* (slika 61). Na toj slici pomoću alata *Digitize* označimo trening uzorke za svaku kategoriju (slika 62). Što više relevantnih trening uzoraka označimo, to će model bolje naučiti prepoznavati kategorije. Minimalni broj piksela po kategoriji trebao bi biti deset puta veći od broja korištenih spektralnih kanala. Učni uzorci moraju sadržavati samo jednu kategoriju koju označujemo (slika 63). Na označenim poligonima program pomoću alata *Makesig* (slika 64) izrađuje spektralne potpise za svaki kanal, koji prikazuju razlike u prosječnoj refleksiji za svaku kategoriju (slika 65). Zatim pomoću alata *Maximum Likelihood Classification* provodimo nadziranu klasifikaciju, koja je jednostavna, brza i dovoljno precizna. Uspješnost klasifikacije između pojedinih namjena zemljišta ovisi o broju i vrsti korištenih spektralnih kanala. Za svaki vremenski presjek koristimo barem četiri kanala, ovisno o starosti satelitskog sustava (tablica 6). Nakon pokretanja alata, dobijemo klasifikaciju upotrebe zemljišta po kanalima (slika 66).

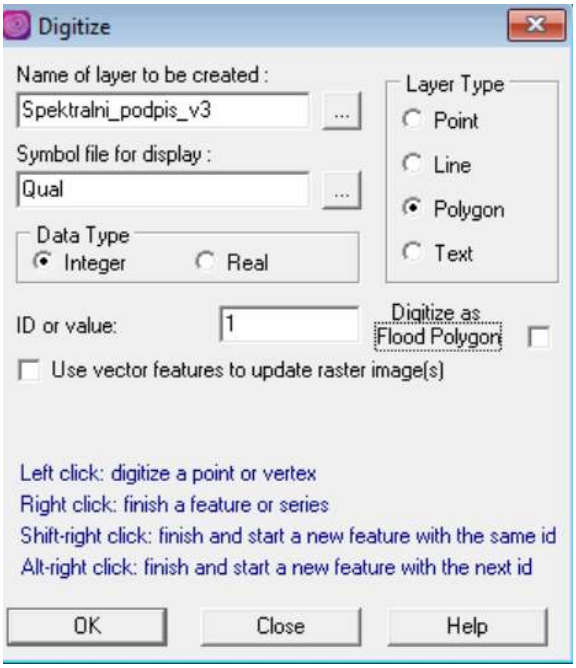
Tablica 6: Korišteni spektralni kanali za klasifikaciju ovisno o satelitskom sustavu

Satelit	Korišteni kanali	Rezolucija	Dostoupne godine
Landsat 1–3	4, 5, 6, 7	60 m	1972–1983
Landsat 4–5	1, 2, 3, 4, 5, 7	30 m	1982–2013

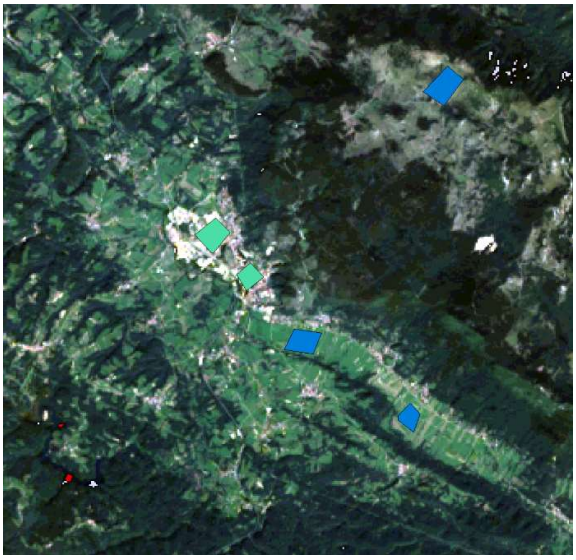
Landsat 8–9	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9	30 m	2013–2025
Sentinel-2	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 8a, 11, 12	10–20 m	2015–2025



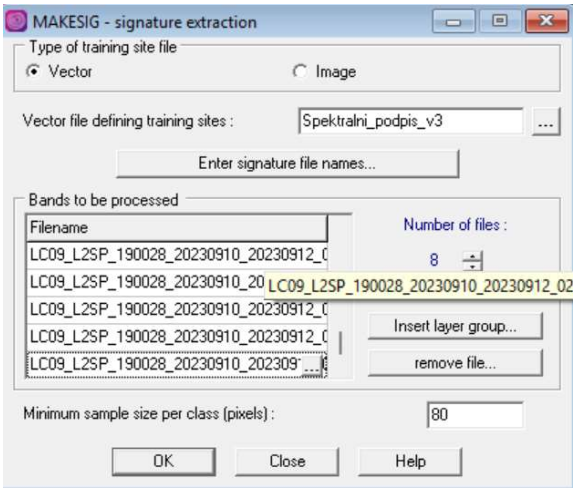
Slika 61: Stvaranje kompozitne slike od crvenog (R), zelenog (G) i plavog (B) spektralnog kanala (RGB).



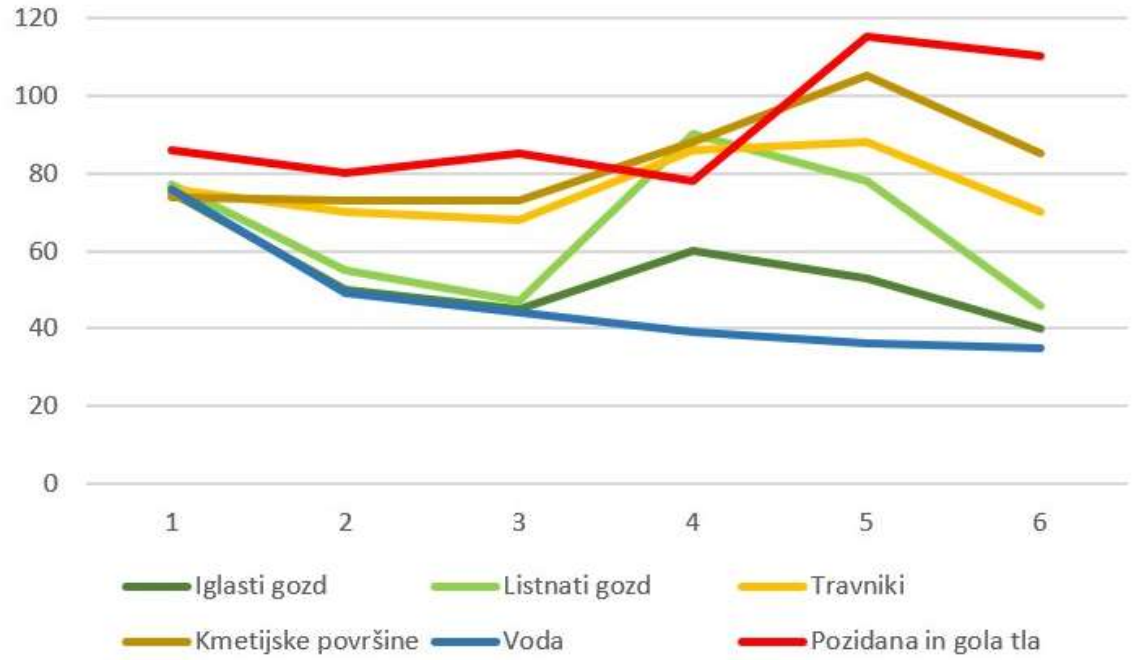
Slika 62: Postavke za kreiranje trening uzoraka u programu TerrSet.



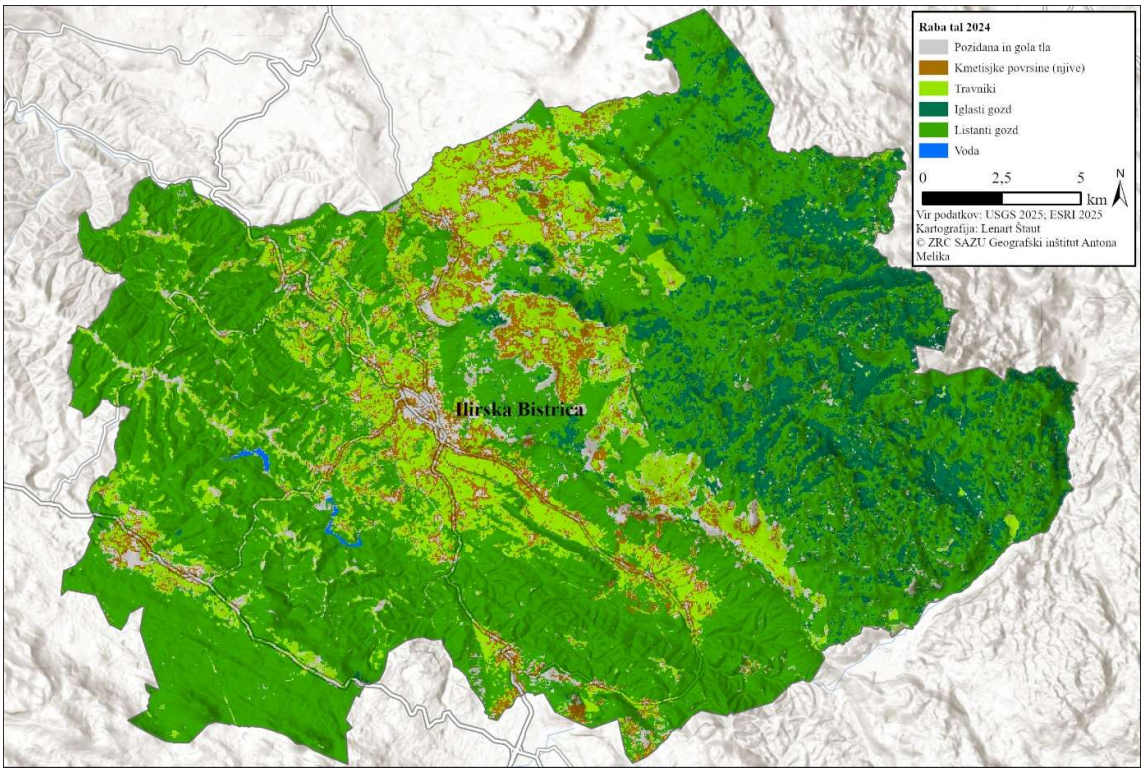
Slika 63: Primjer označavanja trening uzoraka (primjer poznate namjene zemljišta).



Slika 64: Generiranje spektralnih potpisa u programu TerrSet.



Slika 65: Primjer spektralnih potpisa trening (testnih) uzoraka.

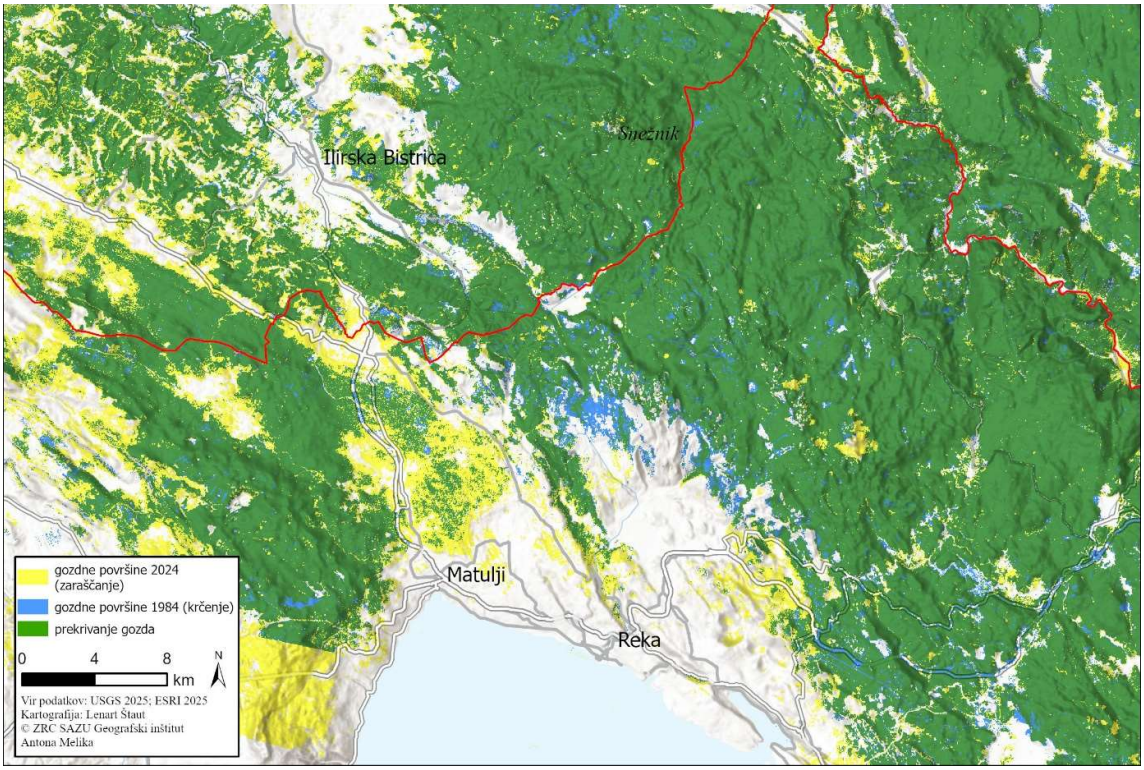


Slika 66: Rezultat klasifikacije Maximum Likelihood u programu TerrSet.

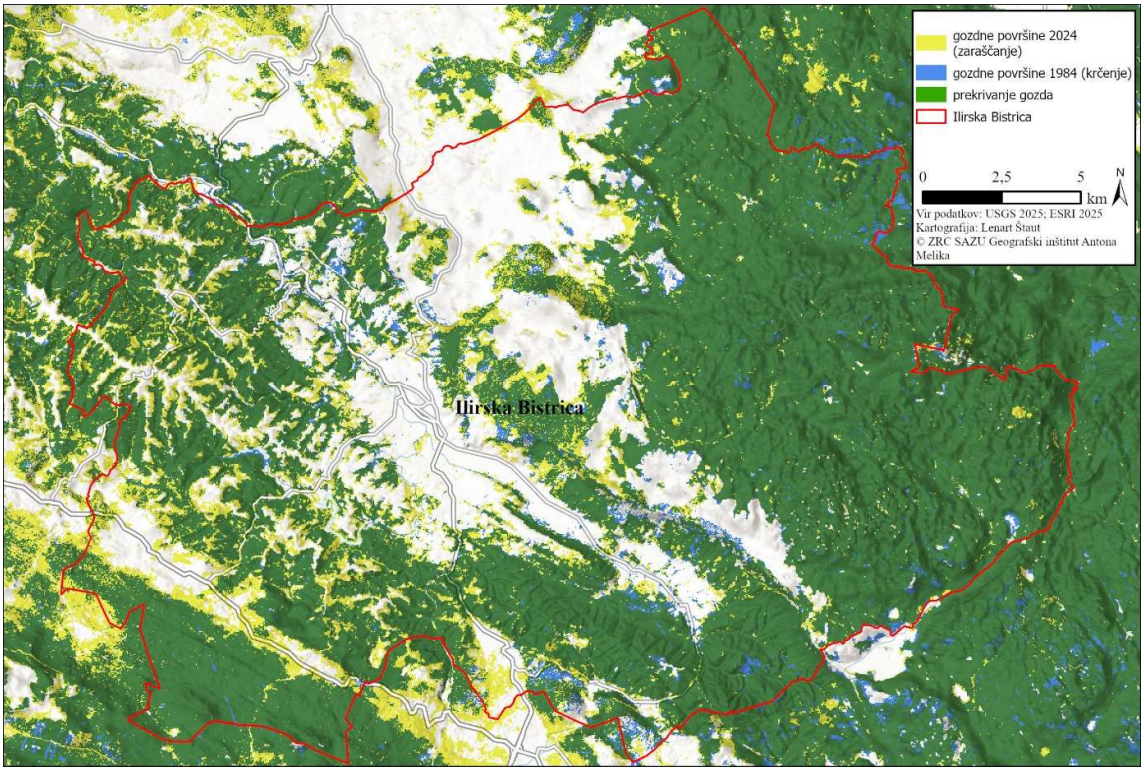
Postupak ponavljamo za svaki od odabranih vremenskih presjeka i korištenih satelitskih snimki kako bismo dobili šest vremenskih presjeka klasificirane uporabe zemljišta. Trening uzorke i klasifikaciju uvijek provodimo na cijeloj satelitskoj snimci jer na taj način dobivamo dovoljno velik broj trening uzoraka te izbjegavamo utjecaj rubova slike na samu klasifikaciju. U našem slučaju ograničili smo se na područje oko masiva Snežnika.

3.3.3.5 Promjene u korištenju zemljišta kroz godine i između početnog i završnog datuma

Za odabranih šest vremenskih presjeka izrađujemo klasifikaciju korištenja zemljišta. Usporedbu daljinski detektiranih, odnosno klasificiranih načina korištenja zemljišta provodimo u programu ArcGIS Pro ili QGIS. Postupak je u oba slučaja vrlo sličan. Klasificirane satelitske snimke najprije obrežemo na analizirano područje kako bismo skratili vrijeme izvođenja usporednih analiza. Podatke zatim pretvaramo u vektorski zapis bez pojednostavljivanja poligona, kako bismo što više smanjili mogućnost pogreške. Željene godine za usporedbu zatim preklapamo pomoću alata Intersect. Najjednostavniji način usporedbe je korištenje atributne tablice. Usporedbom stupaca s podacima o korištenju zemljišta na početnom i završnom datumu možemo vidjeti koliko i gdje se promijenila uporaba zemljišta. Možemo si pomoći dodavanjem novog stupca u kojem spajamo nazive kategorija za početnu i završnu godinu, a zatim vektorske podatke grupiramo na temelju istih naziva. Na taj način izrađujemo tablicu koja prikazuje ukupne promjene u svim odabranim vrstama korištenja zemljišta. Kategorije se mogu proizvoljno spajati. Razdvajanje četinjača i bjelogoričnih vrsta korisno je samo uvjetno, budući da se obično postiže tek oko 50 % točnosti, dok se kod razdvajanja šumskih i nešumskih površina može očekivati znatno bolji rezultat – oko 90 % točnosti (Štaut 2018), što je dovoljno dobro da ti rezultati budu korisni za daljnju primjenu (Anderson i sur., 1976). U prikazanom primjeru spojili smo bjelogoričnu i crnogoričnu šumu u kategoriju šuma, dok smo ostale kategorije izostavili. Na slici 67 možemo vidjeti da su se šumske površine u većini slučajeva povećale. Najizraženije je to povećanje u okolici naselja Matulji i Matarskog podolja (jugozapadno od Ilirske Bistrice). Za prikaz u tabličnom obliku koristili smo primjer općine Ilirska Bistrica (slika 68, tablice 7 i 8). Možemo vidjeti da se u posljednjih 40 godina šuma proširila za oko 40 km² površine.



Slika 67: Usporedba šumskih površina između 1984. i 2024. za šire područje istraživanja.



Slika 68: Usporedba šumskih površina za područje općine Ilirska Bistrica.

Tablica 7: Površine pod šumom 1984. i 2024. godine (km2) na području općine Ilirska Bistrica.

stanje površine šumskog zemljišta	površina (km^2)
- 1984	314,3
- 2024	354,3
razlika	40,0

Tablica 8: Dinamika promjene šumovitosti 1984. – 2024. (km2) na području općine Ilirska Bistrica.

vrsta promjene	površina (km^2)
zarastanje	52,8
krčenje	13,0
bez promjene	301,4

3.3.4 Mogućnost upotrebe programa

Za postizanje rezultata možemo koristiti:

- Geoinformatičke alate za klasifikaciju i obradu satelitskih snimki:
  - ESRI ArcGIS Pro 3.3.2,
  - TerrSet,
  - QGIS.
- Internetske alate za obradu satelitskih slika:
  - Google Earth Engine.

3.3.5 Izvori i literatura

- Anderson, J.R., Hardy, E.E., Roach, J.T., Witmer, R.E. 1976: *A land use and land cover classification system for use with remote sensor data*. Washington. Mrežno: https://pubs.usgs.gov/pp/0964/report.pdf (pristupljeno 17. 3. 2025.)

- Büyüksalih, İ. 2016: Landsat Images Classification and Change Analysis of Land Cover/Use in Istanbul. International Journal of Environment and Geoinformatics 3-2. DOI: https://doi.org/10.30897/ijegeo.304484
- Kamusoko, C., Aniya, M. 2009: Hybrid classification of Landsat data and GIS for land use/cover change analysis of the Bindura district, Zimbabwe. International Journal of Remote Sensing 30-1. DOI: http://dx.doi.org/10.1080/01431160802244268
- Klar, T. 2016: Preučevanje vpliva metodologije zajema dejanske rabe zemljišč na spreminjanje površin vrste rabe zemljišč med letoma 2002 in 2016 v Sloveniji. Diplomski rad, Sveučilište u Ljubljani.
- Opis evidencije uporabe zemljišta 2025. https://rkg.gov.si/arhiv/RABA/RABA_Beri_me.pdf
- Štaut, L. 2018: Daljinsko zaznavanje izbranih drevesnih vrst z uporabo večspektralnih posnetkov Landsat in hiperspektralnih posnetkov Hyperion. Diplomski rad, Sveučilište u Ljubljani.
- United States Geological Survey: Landsat missions 2025. https://www.usgs.gov/landsat-missions

3.4 PRIMJER PRIMJENE ARHIVSKIH IZVORA U ANALIZI I ODREĐIVANJU ŠUMSKE I DRVNE GRANICE U PROŠLOSTI

3.4.1 Opis aktivnosti

Za utvrđivanje trendova promjena vegetacije, podizanja ili spuštanja šumske i drvne granice, te općenito uporabe zemljišta, osim trenutačnog stanja, ključno je poznavanje povijesnog stanja. Među najvažnijim izvorima za određivanje povijesnog stanja su stare karte. Te karte obično nisu bile izrađene posebno za potrebe analize vegetacije, pa se relevantne informacije moraju tumačiti posredno. Najpouzdaniji izvori su vojne karte i karte izrađene za određivanje iznosa katastarskog prihoda. Najstariji sustavni izvor dovoljne preciznosti za analizu prirodne vegetacije je Prva vojna izmjera Habsburške Monarhije, provedena između 1763. i 1768. godine. Projektno područje prikazano je na karti *Inneröesterreich* (1784–1785). Slijedi Druga vojna izmjera, provedena između 1806. i 1869., a projektno područje pokrivaju karte *Küstenland* (1821–1824) (hrvatski dio) i *Illyrien* (1829–1835) (slovenski dio), pri čemu je potonja djelomično prikladna za analizu. Točnije su karte izrađene za porezne svrhe. Slovensko područje projekta pokriva franciskanski katastar, izrađen između 1818. i 1828. u mjerilu 1:2880. Katastrske općine obrađene su između 1823. i 1826. Na hrvatskom dijelu projektno područje je katastarski izmjereno nešto kasnije, između 1860. i 1862., ali je s aspekta prirodne vegetacije manje precizno. Kartografski izvor koji može poslužiti za analizu sredine 20. stoljeća su zračne snimke savezničkih snaga (1944.), pohranjene u arhivu u Škotskoj, iako za analizirano područje pokrivaju samo manji dio. Prve digitalne ortofoto snimke datiraju iz 60-ih godina 20. stoljeća, ali su zbog niske rezolucije neupotrebljive. Novije snimke nude bolju kvalitetu. Suvremeni podaci o korištenju zemljišta na razini Europe dostupni su u vektorskoj bazi CORINE *Land Cover* (https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover). Na nacionalnim razinama postoje detaljnije baze. U Sloveniji je to Evidencija stvarne uporabe poljoprivrednog i šumskog zemljišta, kojom upravlja Ministarstvo za poljoprivredu, šumarstvo i prehranu.

3.4.2 Polazišta primjera

Zadatak izvođača s područja geografije, prema zahtjevu naručitelja, može se okvirno podijeliti na:

- digitalizaciju kartografskog izvora (skeniranje),
- georeferenciranje kartografskog izvora,
- digitalizaciju korištenja zemljišta,
- izradu protokola za određivanje trenda.

3.4.2.1 Korišteni podaci

U ovom primjeru, svi potrebni podaci o povijesnom stanju dobivaju se iz arhivskih izvora, dok se za aktualno stanje koristi Evidencija stvarne uporabe poljoprivrednog i šumskog zemljišta, digitalna baza podataka.

3.4.2.2 Korišteni alati

Za postizanje rezultata korišten je program:

- ESRI ArcGIS Pro 3.4.

3.4.3 Opis korištenja GIS-a u rješavanju primjera

3.4.3.1 Korak 1: digitalizacija karte i georeferenciranje

Prvi korak uključuje pripremu podataka u digitalnom okruženju, koji odražavaju početno stanje (vrsta vegetacije, drvna granica i sl.). Najprije treba digitalizirati (skenirati) odgovarajuću kartu. Zatim slijedi georeferenciranje — postupak kojim se analogna karta smješta u suvremeni koordinatni sustav. Ovaj proces može dovesti do određenih iskrivljenja, ovisno o kvaliteti karte i metodama izrade. Neki stari kartografski izvori su već digitalizirani i georeferencirani, pa ovaj korak može biti izostavljen. Međutim, neki online dostupni kartografski materijali ne omogućuju izravan uvoz u lokalne GIS sustave. Takve je karte potrebno ponovno digitalizirati i georeferencirati. Umjesto klasične digitalizacije, karta se može dohvatiti *snimanjem zaslona* (*screenshot*), a zatim georeferencirati.
Kao referentne točke za georeferenciranje najbolje se koriste: granice katastra, ceste, crkve, rijeke i sl. (vidi sliku 69).

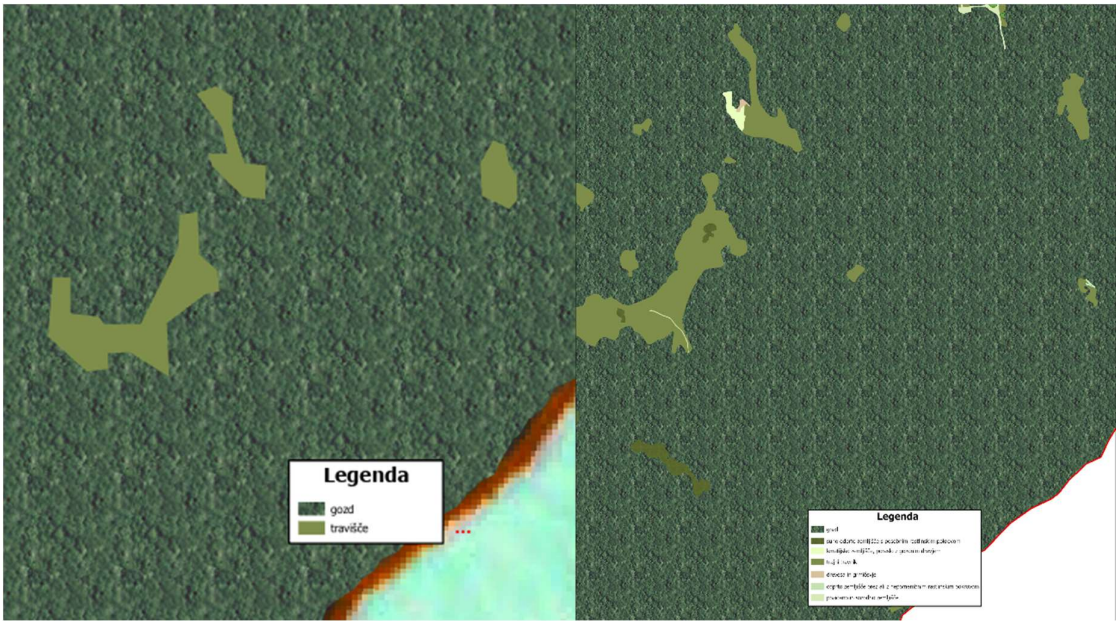


Slika 69: Vektorski sloj granica katastarske općine (KO) i rasterski sloj namjene zemljišta u Franjevačkom katastru prije georeferenciranja (lijevo) i nakon georeferenciranja (desno).

3.4.3.2 Korak 2: digitalizacija uporabe zemljišta

Nakon provedene digitalizacije (skeniranja) i georeferenciranja, možemo započeti s digitalizacijom uporabe zemljišta. Stvaramo novi vektorski sloj u kojem ćemo kreirati objekte u obliku poligona. Teoretski, digitalizacija se može obaviti automatski pomoću odgovarajućih geoinformacijskih alata, ali to je korisno samo u slučaju ako je originalni izvor izrađen vrlo kvalitetno i ako je skeniranje provedeno u vrlo visokoj rezoluciji. U suprotnom je pogrešaka previše.
Svakoj vrsti uporabe u atributnoj tablici dodjeljujemo brojčanu vrijednost, koja može biti proizvoljna. Određujemo je na temelju preliminarne procjene izvornog materijala (slika 70). Rezultat rada je

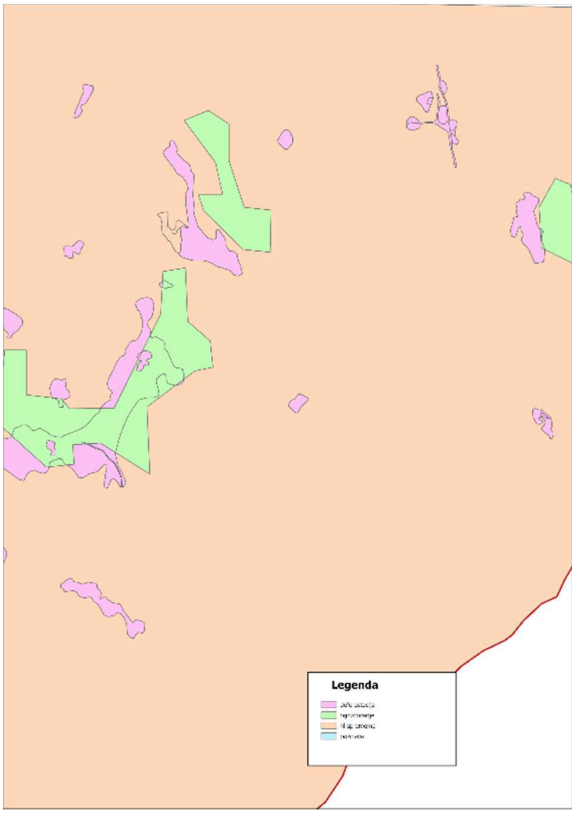
vektorski sloj s vrstama uporabe zemljišta odnosno pokrova tla u određenom razdoblju. Budući da ćemo za usporedbu sa suvremenim stanjem koristiti digitalnu bazu podataka s tipiziranom uporabom zemljišta, koja je već georeferencirana, ovaj korak nije potrebno provesti.



Slika 70: Digitalizacija korištenja zemljišta – lijevo stanje u franjevačkom katastru, desno suvremena namjena.

3.4.3.3. Korak 3: utvrđivanje trenda pomoću GIS-a

Utvrđivanje trenda promjena provest ćemo pomoću softvera ArcGIS Pro. Vektorske slojeve s poligonima koje uspoređujemo preklapamo funkcijom *Intersect*. Rezultat je novi vektorski sloj s poligonima koji u atributnoj tablici sadrže vrijednosti oba sloja, na temelju kojih utvrđujemo omjer između uspoređenih slojeva. Funkcijom *Dissolve* spajamo poligone s istim vrijednostima. Budući da suvremena uporaba uključuje više tipova nego prijašnja, novonastalim poligonima moramo dodijeliti tip promjene. On nam govori je li se površina šume povećala, smanjila ili ostala nepromijenjena (slika 71).



Slika 71: Trend promjene zaraštenosti zemljišta.

3.4.3.4 Zaključak odnosno nastavak zadatka

Za utvrđivanje promjene šumske odnosno drvenaste granice u vertikalnom smjeru, moramo koristiti i sloj s podacima o nadmorskoj visini. Na temelju tog podatka možemo zaključiti je li se drvenasta ili šumska granica spustila ili podigla.

3.4.4 Mogućnost korištenja programa

Za postizanje rezultata mogu se koristiti sljedeći programi za digitalizaciju i kartografiju:

- ArcGIS Pro (ESRI),
- QGIS (QGIS Project).

3.5 ISTRAŽIVANJE PROSTORNIH I VREMENSKIH RAZLIKA STANIŠNIH UVJETA POMOĆU MJERILA DUŽ RELJEFNOG PROFILA KROZ PONIKVU/HLADNU DOLINU NA SNEŽNIKU

3.5.1 Opis aktivnosti

U okviru projekta transPlant (Interreg Slovenija-Hrvatska) planira se postavljanje mjernih uređaja (engl. *data logger*) za praćenje abiotskih čimbenika i stanišnih uvjeta odabrane biljne vrste u 100 m dubokoj ledenjački oblikovanoj ponikvi na Snežniku, s ciljem određivanja prikladnih područja za premještanje ugrožene biljne vrste. Ključni parametri za praćenje stanišnih uvjeta koje bilježe postavljeni mjerni uređaji su temperatura zraka, vlažnost zraka i temperatura rosišta. Meteorološka mjerenja bit će nadopunjena i podacima o lokalnim karakteristikama reljefa i vegetacije. Lokacije mjernih mjesta moraju biti odabrane tako da što bolje odražavaju lokalne uvjete staništa.

3.5.2 Polazišta primjera

S aspekta korisnika GIS-a, zadatak uključuje više važnih koraka koji mjerenjima dodaju podatke o reljefu i vegetaciji na mjernim mjestima iz različitih izvora. Naš je zadatak vrednovati lokacije mjernih mjesta na temelju poznatih podataka (reljef, vegetacija) korištenjem geoinformacijskih alata. Za pravilno

postavljanje mjernih uređaja moramo najprije odrediti gdje će biti postavljeni, uzimajući u obzir topografske značajke terena, poput nagiba padine i pristupačnosti, kao i sve prisutne biljne zajednice u vrtači.

3.5.2.1 Korišteni izvori podataka

Koristimo različite vrste prostornih podataka, poput:

- topografskih karata mjerila 1 : 25.000 za analizu reljefa terena,
- digitalnog modela reljefa LIDAR (1 m × 1 m) za detaljnu analizu vrtače i okolice – prikaz kao osjenčani reljef (engl. *hillshade*) ili tehnikom faktora vidljivog neba (engl. *Sky View Factor*) (slika 72),
- satelitskih snimki i ortofoto zapisa za pregled terena i prepoznavanje specifičnih biljnih zajednica.

3.5.2.2 Korišteni alati

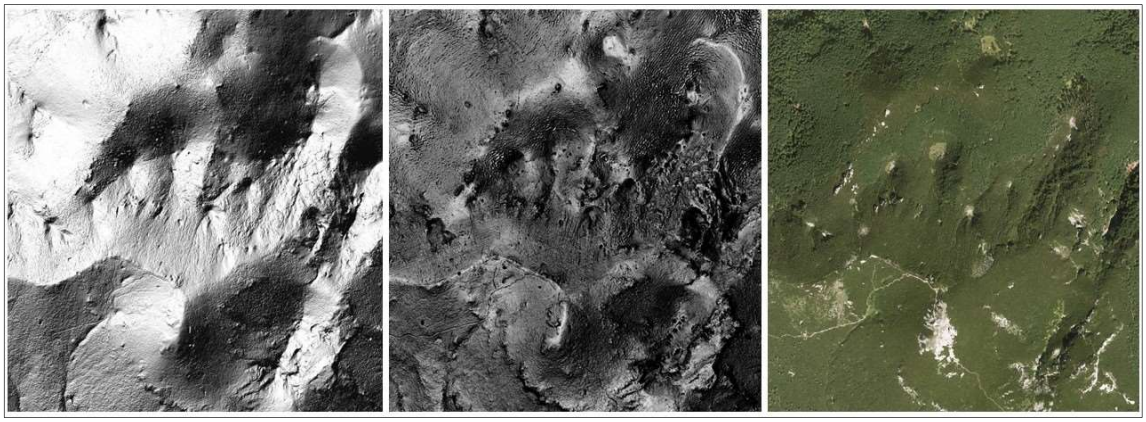
Za izvođenje ovog zadatka koristimo različite geoinformacijske alate, poput:

- Google Earth za dijeljenje podataka (KMZ, KML) među suradnicima,
- ESRI ArcGIS Pro 3.3 za vizualizaciju područja (reljef i pokrov zemljišta) i analizu geografske raspodjele mjernih uređaja,
- ArcGIS Online za suradnju i razmjenu podataka među različitim suradnicima,
- MS Office Excel za obradu i analizu prikupljenih podataka.

3.5.3 Opis korištenja GIS-a u rješavanju slučaja

3.5.3.1 Korak 1: Preliminarna analiza terena

Prije početka postavljanja mjerača, ortofoto snimke područja Snežnika uvozimo u ArcGIS Pro zajedno s digitalnim modelom reljefa (DRM) u rezoluciji 1 m × 1 m (slika 72) te ih prekrivamo biljnim zajednicama koje su već utvrđene temeljem prethodnih terenskih istraživanja. Želimo da mjerači budu smješteni u različitim biljnim zajednicama, što omogućuje bolju analizu uvjeta uzgoja na ovom specifičnom području. Precizan digitalni model reljefa omogućuje nam prepoznavanje potencijalno teško dostupnih područja čak i prije rada na terenu.



Slika 72: Topografija istog područja ponikve na osjenčanom reljefu (lijevo) i korištenjem tehnike vidljivog neba (u sredini) i zemljišnog pokrova na ortofoto snimku.

3.5.3.2 Korak 2: Ugradnja mjerača i određivanje točne lokacije

Unutar unaprijed određenih zajednica pronalazimo odgovarajuće lokacije i postavljamo 10 mjerača, čija je zadaća dugoročno pratiti stanje na lokaciji od dna vrtače do vrha padina. Mjerači su postavljeni na različitim mjestima, koja predstavljaju različite biljne zajednice, a raspoređeni su od vrha južne padine prema dnu pa prema gore prema vrhu sjeverne padine. Lokacije su prikazane u tablici 9.

Tablica 9: Primjer osnovnih podataka o položaju mjernih mjesta u odnosu na biljne zajednice. U GIS tablicu dodajemo varijable reljefa (po stupcima), a tijekom procesa praćenja dodajemo mjerenja s mjernih postaja (mjerila).

kod	broj mjerila	zajednica
KD01	547	*Polysticho - Fagetum*
KD02	736	meja med *Polysticho - Fagetum in Lonicero - Piceetum*
KD03	551	*Lonicero - Piceetum*
KD04	752	*Deschampsietum*
KD05	734	*Drepanoclado uncinati-Heliospermetum pusillii*
KD06	550	*Derepanoclado -Pino - Sphagnetum*
KD07	751	*Lonicero caeruleae - Piceetum*
KD08	553	*Drepanoclado uncinati-Heliospermetum pusillii*
KD09	749	prehod med *Lonicero - Piceetum in Polysticho - Fagetum*
KD10	755	*Polysticho - Fagetum*

Mjerne postaje postavljamo u bijela drvena kućišta po uzoru na tradicionalne meteorološke kućice i pričvršćujemo ih na drvene stupove na visini od 30 cm iznad tla (slika 73.). Odabrali smo ovu visinu jer je najrelevantnija za nisko raslinje (biljni sloj) koje pratimo. Mjerači bilježe podatke svakih 60 minuta i mjerit će najmanje 2 godine kako bi uhvatili podatke za najmanje dva vegetacijska razdoblja, jer se uvjeti na vrhu Snežnika uvelike mijenjaju s godišnjim dobima. Prijenos podataka s mjerača na telefon vrši se putem Bluetootha.



Slika 73. Namještanje mjernih postaja (meteorološke kućice) na drvene kolce u ponikvi. Fotografija: MATEJA BREG VALJAVEC

Na terenu zatim pomoću GNSS uređaja utvrđujemo točne koordinate lokacije svakog mjernog uređaja. Bilježimo koordinate i spremamo ih u podatkovnu tablicu za daljnju analizu i vizualizaciju rezultata.

3.5.3.3 Korak 3: Baza podataka i prostorna analiza podataka stacionarnog monitoringa

Podatke s mjerača prenesemo na računalo i možemo ih obraditi pomoću različitih statističkih i geoinformacijskih programa (Excel, ArcGIS Pro, QGIS). U Excelu organiziramo vremenske serije podataka za svaku od mjerenih varijabli (temperatura, vlažnost, temperatura rosišta) i izvedene varijable iz DMR-a te ih pripremamo za daljnje prostorne analize u GIS-u. Osim terenskih podataka, u geoinformacijskim programima možemo točkama pridružiti podatke iz postojećih slojeva, poput karte tipova staništa (pogledaj poglavlje 2.1) i dodati podatke kao atribut „tip staništa“ (na primjer, pomoću prostorne operacije *Intersect* ili *Spatial Join* između točaka i poligonskog sloja vegetacijske karte). Također, u GIS-u svakom mjeraču pridružujemo podatke o lokaciji i topografiji, koje izračunavamo iz preciznog digitalnog modela terena, poput DMR-a lidara 1 m × 1 m. Najčešće izračunavamo varijable kao što su: nagib, ekspozicija, osunčanost, razvedenost i reljefna vlažnost.

Podatke možemo ponovno izvesti iz geoinformacijskog programa u tablicu (korisno za Excel, SPSS, R ili drugi statistički program) ili unutar GIS okruženja koristiti alate za geostatistiku. Rezultat analize mogu biti tablice ili grafikoni koji jasno pokazuju stvara li određena zajednica specifične mikroklimatske uvjete.

Jedan od prvih GIS zadataka koji slijedi u prostornoj analizi podataka sa Snježnika je izrada prostornih modela (karti) temperature i vlažnosti na temelju točkastih mjerenja s mjernih postaja. Budući da postaje bilježe podatke samo na ograničenom broju lokacija, a mi želimo rasterski sloj koji prikazuje pojava na cijelom istraživanom području, koristimo interpolaciju za procjenu vrijednosti i na područjima bez neposrednih mjerenja. Na temelju modeliranja tražimo područja sa sličnim topografskim i vegetacijskim značajkama, kao na lokacijama mjernih postaja, i njima dodjeljujemo slične temperature, dok za međuprostor provodimo prostornu interpolaciju. Na taj način dobivamo kontinuiranu temperaturnu kartu i kartu vlažnosti šireg područja Snježnika.

U praksi su dvije interpolacijske metode često korištene: interpolacija s inverzno ponderiranim udaljenostima (eng. *Inverse Distance Weighting*, IDW) i kriging. Metoda IDW je deterministička metoda koja pretpostavlja da su bliže točke po vrijednosti sličnije nego udaljenije. Vrijednost nepoznate lokacije procjenjujemo kao ponderirani prosjek podataka s bližnjih mjernih postaja, pri čemu su ponderi obrnuto proporcionalni udaljenosti – bliže točke imaju veći utjecaj (Benmoshe 2025; Palomino i Martín 1995). *Kriging* je geostatistička interpolacijska metoda koja osim udaljenosti uzima u obzir i prostornu korelaciju među podacima. Na temelju variograma (funkcije koje opisuju kako sličnost mjerenja opada s udaljenostima) izračunava pondera za pojedinačna mjerenja i tako procjenjuje najvjerojatniju vrijednost na neizmjerenim lokacijama (Samanta i suradnici 2021; Wang i suradnici 2017). U slučaju prostornog modeliranja temperature na Snježniku, kriging nam daje realističniji prikaz mikroklimatskih razlika, osobito ako su mjerne postaje gusto raspoređene ili ako uključimo dodatne utjecaje (na primjer, nadmorsku visinu). U slučajevima kada je mjernih postaja malo ili su neravnomjerno raspoređene, koristimo metodu IDW kao jednostavniju alternativu. Pomoću *geoinformacijskih alata* u ArcGIS Pro (na primjer, *Spatial Analyst* ili *Geostatistical Analyst*) provodimo interpolaciju. Rezultat je rasterski sloj – karta koja prikazuje distribuciju temperature i vlažnosti na području. Za Snježnik možemo tako izraditi kartu koja primjerice ističe hladnija područja (kao što su doline/ponikve ili sjenovita strana) i toplija područja (osunčana strana, čistine i slično). S ovakvim prostornim modelom lakše možemo razumjeti temperaturnu heterogenost okoliša, planirati daljnja istraživanja ili donositi upravljačke odluke (na primjer u zaštiti staništa i vrsta).

3.5.3.4 Korak 4: Usporedba temperatura i vlažnosti među biljnim zajednicama

Mjerne postaje postavljene na Snježniku pokrivaju različite biljne zajednice (tablica 9). Vrlo je važno utvrditi kako se mikroklimatski uvjeti razlikuju među tim staništima. Bazu podataka mikroklimatskih mjerenja povezujemo s terenskim podacima o vegetaciji iz fitoloških popisa, koje provodimo jednim popisivanjem u vegetacijskoj sezoni na parceli oko mjernih postaja. U GIS-u svakoj mjernoj postaji pridružujemo podatke o kojoj se biljnoj zajednici nalazi i koje su biljke prisutne u toj zajednici. Time

podatke grupiramo i analiziramo prema tipu zajednice. Postupak uključuje statističku obradu podataka za svaku zajednicu posebno; izračunavamo prosjeke, minimalne i maksimalne vrijednosti, standardne devijacije ili druge pokazatelje. Zatim uspoređujemo prosječne temperature mjernih postaja u šumi (bukva, smreka) i na otvorenim površinama (travnjak, kamenjar).

3.5.3.5 Korak 5: Analiza vremenskih serija i trendova

Osim prostorne analize, kod stacionarnog monitoringa ključna je i vremenska analiza – kako se mjerenja mijenjaju kroz vrijeme. Svaka mjerna postaja na Snježniku bilježi niz vrijednosti (na primjer, temperatura) kroz dulje razdoblje, čime nastaje vremenska serija (eng. *time-series*). Statističkom analizom vremenskih serija utvrđujemo trendove, periodičnost i eventualne izvanredne događaje.

Prvi korak često je vizualizacija podataka kroz vrijeme, poput izrade grafova kretanja temperature i vlažnosti. Ovi grafovi vremenskih serija omogućuju brzi uvid u sezonska kolebanja (na primjer, više temperature ljeti, niže zimi) i iznimne pojave (na primjer, iznenadni hladni valovi ili toplinski valovi ljeti). Za dublju analizu vremenske serije razdvajamo na sastavne dijelove: dugoročni trend, sezonsku komponentu i ostatak (slučajnu varijabilnost). Tako lakše razlučujemo što je dugoročna promjena, a što redovita sezonska cikličnost.

Analiza trendova znači utvrditi raste li, opada li ili ostaje približno ista određena varijabla s vremenom. To činimo pomoću jednostavne linearne regresije ili naprednijih metoda (na primjer, Mann-Kendallov test za statističku značajnost trenda). U našem slučaju zanima nas je li temperatura na Snježniku kroz godine porasla ili ne, i u kojem smjeru ide trend prema dnu ponikve.

Okruženje GIS-a pomaže nam u vremenskoj analizi jer povezuje vremenske podatke s lokacijama. U ArcGIS Pro koristimo alat *Temporal* (vremenski klizač) ili *Temporal Profile Chart* za vizualizaciju promjena kroz vrijeme. To znači da za odabrano mjerno mjesto možemo prikazati grafikon koji se ažurira prema vremenski odabranom intervalu, ili animirati kartu koja prikazuje, na primjer, promjenu temperature na određenom mjestu iz godine u godinu. U QGIS-u postoji dodatak *TimeManager* koji omogućuje sličnu animaciju karata kroz vrijeme, dok pomoću dodatka *DataPlotly* ili funkcije za graf možemo izraditi dijagram kretanja vrijednosti. Ključno je da kombinacijom grafova i statističkih metoda izvučemo, pokazuju li podaci trend. Takva analiza trendova pokazuje kako iz sirovih numeričkih nizova izdvojiti važne informacije o promjenama u okolišu, a posredno i o uvjetima staništa i biljnim vrstama.

3.5.3.6 Korak 6: Priprema tematskih karata

Nakon što prostorno i vremenski obradimo podatke, slijedi jasna prezentacija rezultata. Vizualizacija pomoću karata i dijagrama posljednji je, ali vrlo važan dio prostorne analize. U geoinformacijskim programima (kao što su ArcGIS Pro i QGIS) izrađujemo tematske karte i dijagrame koji će biti uključeni u izvještaje.

Pripremimo tematsku kartu interpolirane temperature na području Snežnika, gdje ljestvica boja prikazuje temperaturne vrijednosti (plavi tonovi za hladnija područja i crveni za toplija). Na kartu dodajemo izohipse jer želimo prikazati nadmorske visine i lokacije mjernih postaja (označene simbolima). Različitim simbolima ili bojama označavamo biljne zajednice na karti (područja šume i travnjaka te im dodajemo izmjerene vrijednosti). Time povezujemo rezultate usporedbe među zajednicama direktno na karti (na primjer s oznakama/nazivima prosječne temperature za svaki tip staništa).

Za vremensku analizu pripremamo dijagrame koji nadopunjuju karte. U ArcGIS Pro izravno u postavku planirane karte (*Layout*) uključujemo grafikon koji prikazuje trend temperature kroz vrijeme za odabranu postaju. QGIS omogućuje izradu jednostavnih grafikona ili izvoz podataka u posebna sredstva (kao što su Excel ili R), gdje crtamo odgovarajuće dijagrame koji se zatim uvoze kao slike. I ArcGIS Pro i QGIS nude mogućnost kombiniranja karata i grafikona u jedinstveni grafički prikaz. Na kraju stvaramo kartu, na kojoj je gore prikazana karta Snežnika s rasporedom mjernih postaja i interpoliranom temperaturom, dolje lijevo grafikon sezonskog kretanja temperature, a dolje desno legenda i tablica ekstremnih vrijednosti. U QGIS-u i ArcGIS Pro pripremljene karte i dijagrame možemo izvesti u visokoj rezoluciji (na primjer u formatima jpg ili tif), spremne za uključivanje u publikacije ili samostalnu objavu na internetu ili društvenim mrežama.

Pomoću vizualnih prikaza lakše razumijemo kako se temperatura prostorno mijenja po Snežničkom gorju, kako se razlikuje između šume i travnjaka te kako se mijenja kroz vrijeme. Time postižemo cilj obrade podataka – od mjerenja smo prešli do korisnog znanja, predstavljenog u obliku koji je informativan i dostupan. Korištenje GIS-a pri obradi podataka stacionarnog monitoringa na Snežniku omogućuje cjelovit uvid u prikupljene podatke. Kombinacijom prostorne interpolacije, usporedne analize među zajednicama, vremenske analize trendova te učinkovite vizualizacije ističemo glavne značajke podataka i pripremamo rezultate koji su prikladni za daljnju raspravu ili podučavanje. Ovaj pristup može se koristiti i šire u okolišnom monitoringu na drugim područjima, gdje želimo razumjeti povezanost prostora, vremena i ekosustava.

3.5.4 Mogućnost korištenja programa

Za izvođenje zadatka mogu se koristiti različiti alati, kako komercijalni, tako i otvoreni:

- ESRI ArcGIS Pro 3.3 (plaćeni): robustan alat za prostornu analizu i vizualizaciju, koji omogućuje rad s prostornim podacima, izradu tematskih karata i naprednu analizu.
- QGIS (otvoreni): GIS alat koji nudi širok spektar funkcionalnosti za prostornu analizu i vizualizaciju.
- MS Office Excel (plaćeni): za obradu i analizu podataka u tabličnom obliku, izradu grafikona i tablica za izvještavanje.
- Google Earth Pro (besplatno): koristan za jednostavan pregled terena i određivanje koordinata na terenu.

3.5.5 Izvori i literatura

- Artiola, J. 2004: Environmental monitoring and characterization. London.
- Benmoshe, N. 2025: A simple solution for the inverse distance weighting interpolation (IDW) clustering problem. Sci 7-1. DOI: https://doi.org/10.3390/sci7010030
- ESRI ArcGIS Pro tutorials u sklopu programskog paketa.
- QGIS tutorials: https://www.qgistutorials.com/en/
- Palomino, I., Martín, F. 1995: A simple method for spatial interpolation of the wind in complex terrain. Journal of Applied Meteorology and Climatology 34-7. DOI: https://doi.org/10.1175/1520-0450-34.7.1678
- Samanta, S., Pal, D. K., Lohar, D., Pal, B. 2021: Interpolation of climate variables and temperature modeling. Theoretical and Applied Climatology 107. DOI: https://doi.org/10.1007/s00704-011-0455-3
- Wang, M., He, G., Zhang, Z., Wang, G., Zhang, Z., Cao, X., Wu, Z., Liu, X. 2017: Comparison of spatial interpolation and regression analysis models for an estimation of monthly near surface air temperature in China. Remote Sensing 9-12. DOI: https://doi.org/10.3390/rs9121278

3.6 PRIMJER UPORABE OPTIČKIH SNIMAKA S BEZPILOTNOM LETJELICOM ZA KARTIRANJE IZABRANIH VRSTA NA KRŠKOM TRAVNJAKU

3.6.1 Opis aktivnosti

U upravi nacionalnog parka odlučili su da će praćenje staništa zaštićene endemične biljne vrste vršiti precizno, te svake godine tijekom cvatnje bilježiti pojedinačne primjerke biljke pomoću daljinskog očitanja. Stanište pokriva područje veličine nogometnog igrališta ili približno jednog hektara i smješteno je na teško pristupačnom, djelomično kamenitom krškom području, gdje se među travnatim parcelama prepliće i kamenjar. Želja uprave je da se svake godine pripremi digitalna karta područja, na kojoj će iz zraka biti vidljivo stanje, te će na njoj biti moguće označiti prepoznate primjerke promatrane biljne vrste.

3.6.2 Polazišta primjera

Zadatak izvođača u području geografskih informacijskih sustava prema želji naručitelja, u ovom slučaju nacionalnog parka, može se svrstati u sljedeće okvirne radne sklopove:

- prikupljanje podataka na terenu, koje obuhvaća fotografiranje s bespilotnom letjelicom i pripremu referentnih i kontrolnih točaka,
- priprema ortofota s fotogrametrijskim postupcima,
- priprema protokola za digitalizaciju primjeraka biljne vrste pomoću izrađenog ortofota.

3.6.2.1 Korišteni izvori podataka

U ovom slučaju sve potrebne podatke prikupljamo na terenu uz pomoć bespilotne letjelice i GNSS prijemnika, stoga ne trebamo već pripremljene podatke raznih izvora podataka. Međutim, potrebno je osigurati pretplatu na RTK signal koji nam omogućava precizno pozicioniranje letjelice i precizno bilježenje referentnih i kontrolnih točaka s GNSS prijemnikom. RTK sustav poboljšava preciznost GNSS sustava; u Sloveniji sustav RTK osim komercijalnih ponuđača osigurava Geodetska uprava Republike Slovenije, dok ga u Hrvatskoj osigurava Državna geodetska uprava. Za korištenje usluga RTK sustava potrebno je povezati letalo i GNSS prijemnik u mobilnu podatkovnu mrežu.

3.6.2.2 Korišteni alati

Za postizanje rezultata koristimo:

- bespilotnu letjelicu DJI Mavic 3M,
- GNSS prijemnik Leica FLX100 plus s čvrstim grezilom,
- tablet Leica CSX8 s programom Leica Zeno Mobile One,
- program Agisoft Metashape Professional 2.2,
- program ESRI ArcGIS Pro 3.4.

3.6.3 Opis korištenja GIS-a u rješavanju slučaja

3.6.3.1 Korak 1: Prikupljanje podataka na terenu

Prvi korak uključuje terenski rad, kojim za cijelo područje sustavno prikupljamo osnovne informacije – fotografije s kojima ćemo kasnije izraditi ortofoto snimku. Obične (neobrađene) fotografije iz zraka nisu prikazane na projekcijskoj ravnini, jer je prilikom (na primjer) vertikalnog fotografiranja duljina između senzora fotoaparata i površine izravno ispod senzora kraća nego duljina do točaka na površini koje se nalaze na većoj udaljenosti. Stoga iz pregleda fotogrametrijski neobrađenih fotografija ne možemo zaključivati o udaljenostima ili površinama promatranog područja.
Prije leta s bespilotnom letjelicom potrebno je osigurati da je letjelica pravilno pripremljena (na primjer, ukloniti eventualne mehaničke kvarove, ažurirati softver letjelice), da imamo urednu dokumentaciju (na primjer, registraciju letjelice, dozvolu upravitelja parka za let), obučenog pilota letjelice te provjeriti eventualne posebnosti zračnog prostora u kojem ćemo letjeti, te aktualne obavijesti NOTAM (engleski *notice to airmen*). Informacije o zračnom prostoru i aktualnim obavijestima u Sloveniji dobivamo od Agencije za civilno zrakoplovstvo, a u Hrvatskoj od Hrvatske kontrole zračne plovidbe d.o.o.
Na terenu osiguravamo da je područje odgovarajuće zaštićeno i **postavljamo referentne i kontrolne točke**. Te točke će nam pomoći pri smještanju naših zračnih snimaka i izrađenih prostornih modela u odgovarajući koordinatni sustav. Točke moraju biti raspoređene po cijelom promatranom području. Tim točkama mjerimo točan položaj u željenom koordinatnom sustavu (u Sloveniji se koristi državni koordinatni sustav D96/TM, a u Hrvatskoj HTRS96/TM). U ovom slučaju pripremit ćemo ortofoto u slovenskom koordinatnom sustavu. **Položaje mjerimo s GNSS prijemnikom** (u našem slučaju koristimo GNSS prijemnik Leica FLX100 plus s čvrstim viskom te tablet Leica CSX8 s programom Leica Zeno Mobile One; slika 74) i uspostavljenom RTK vezom (pogledajte uvodno poglavlje 1 za opis rada GNSS prijemnika). Uz odgovarajuću vidljivost neba i prijem signala više satelita, te podatkovnu vezu, položaj možemo odrediti s točnošću od nekoliko centimetara. U našem slučaju koristimo bespilotno letalo DJI Mavic 3M s RTK vezom (slika 75), koje pri svakom snimanju bilježi položaj letjelice s vrlo visokom

točnošću, što olakšava poravnavanje fotografija za izradu fotogrametrijskog modela (oblaka točaka), koji je osnova za izradu ortofota. Pri fotogrametrijskoj obradi fotografija za izradu ortofota koristimo referentne točke (čija se lokacija mjeri duže i imaju bolju točnost od letjelice) kako bismo naš izrađeni fotogrametrijski model (oblak točaka) još preciznije smjestili u koordinatni sustav, dok kontrolne točke koristimo za provjeru točnosti. Preporučljivo je da s trajnim oznakama postavimo stabilne točke unutar našeg proučavanog područja, jer tako možemo najbolje usporediti razlike između godina, a mjerenje lokacije obavljamo samo jednom (slika 76).



Slika 74. Mjerenje kontrolne točke. Fotografija: ROK CIGLIČ

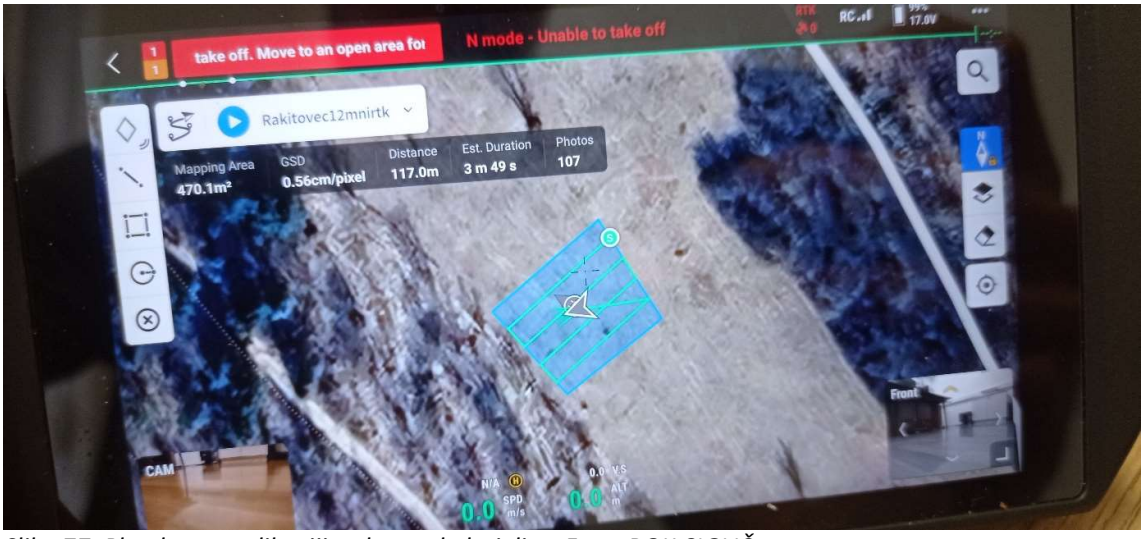


Slika 75: Letjelica s s priključenim modulom RTK sustava. Fotografija: ROK CIGLIČ



Slika 76: Primjer fiksne točke (Triglav). Fotografija: JURE TIČAR

Nakon toga **bespilotnim letjelicom sustavno prelijetamo** područje, na način da svaki djelić područja bude zabilježen na više snimaka (slika 77). Pritom nam može pomoći unaprijed zadani let letjelice, gdje se određuje da se let mora odvijati po točno određenoj ruti (najčešće niz paralelnih linija leta), a fotografiranje se izvodi tako da se pojedine fotografije međusobno preklapaju. Visina leta i mogućnosti senzora (kamere) određuju kolika će biti rezolucija snimaka. U našem slučaju odlučujemo se za visinu leta od 10 m, što nam omogućava izradu ortofota u rezoluciji 1 cm ili manjoj. S takvom razlučivošću moći ćemo prepoznati ciljanu biljnu vrstu.



Slika 77: Plan leta u aplikaciji za kontrolu letjelice. Foto: ROK CIGLIČ

Kod fotografiranja dronom vrlo je važno i **vrijeme**. Treba izbjegavati kišne i vjetrovite uvjete jer voda može oštetiti uređaj, a vjetar kod jačih udara može onemogućiti planirani let. Pri fotografiranju moramo obratiti pozornost na položaj sunca i zasjenjenost područja. Ako su zbog okolnih reljefnih oblika ili visoke vegetacije pojedini dijelovi u jakoj sjeni, dok su drugi dijelovi jako osvijetljeni, u ortofotu može doći do izraženih razlika u prikazu različitih dijelova područja. U takvom je slučaju bolje izbjegavati jako sunčan dan i pokušati let obaviti u dijelu dana ili pri vremenskim uvjetima (npr. visoka

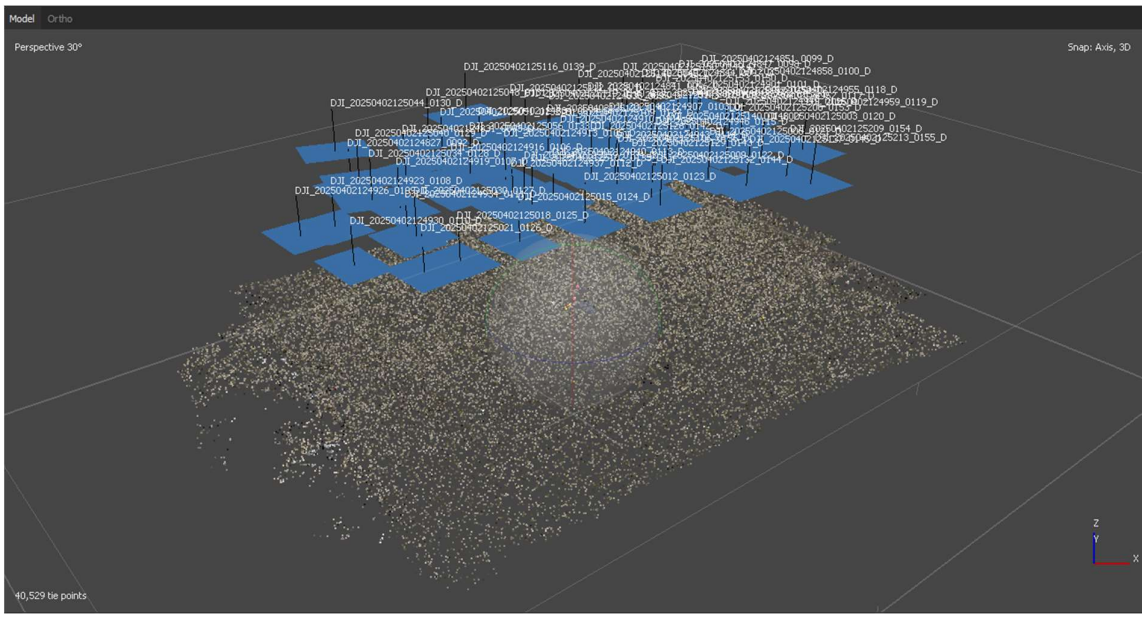
naoblaka bez opasnosti od kiše ili oluje) kada sjene nisu toliko izražene. Istovremeno je naravno važno da ima dovoljno svjetla, jer u slučajevima slabe osvijetljenosti snimke mogu biti mutnije.
Snimke su u našem slučaju izrađene kamerom koja je dio standardnog modela bespilotne letjelice DJI Mavic 3M (20 MP, 4/3 CMOS, 24 mm), pod kutom od 90° (tablica 10). Giordan i suradnici (2015) preporučuju korištenje vertikalnih snimaka za padine blagih nagiba (do 40°).

Tablica 10: Podaci o snimanju bespilotnom letjelicom

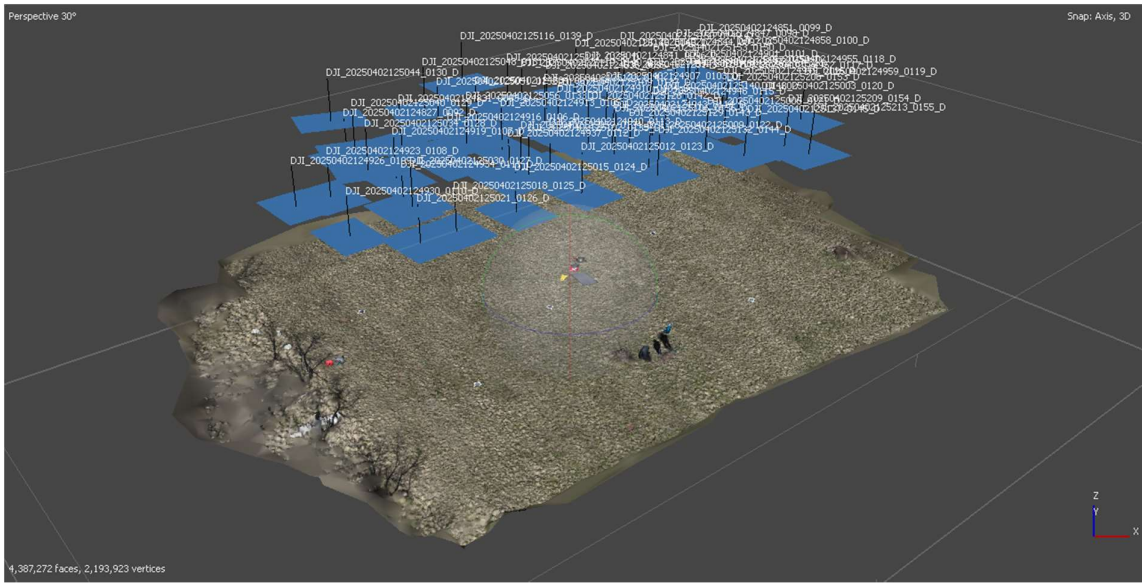
tip letjelice	DJI Mavic 3M
procijenjena visina leta	10 m
rezolucija ortofota	4 mm

3.6.3.2 Korak 2: Priprema ortofota fotogrametrijskim postupcima

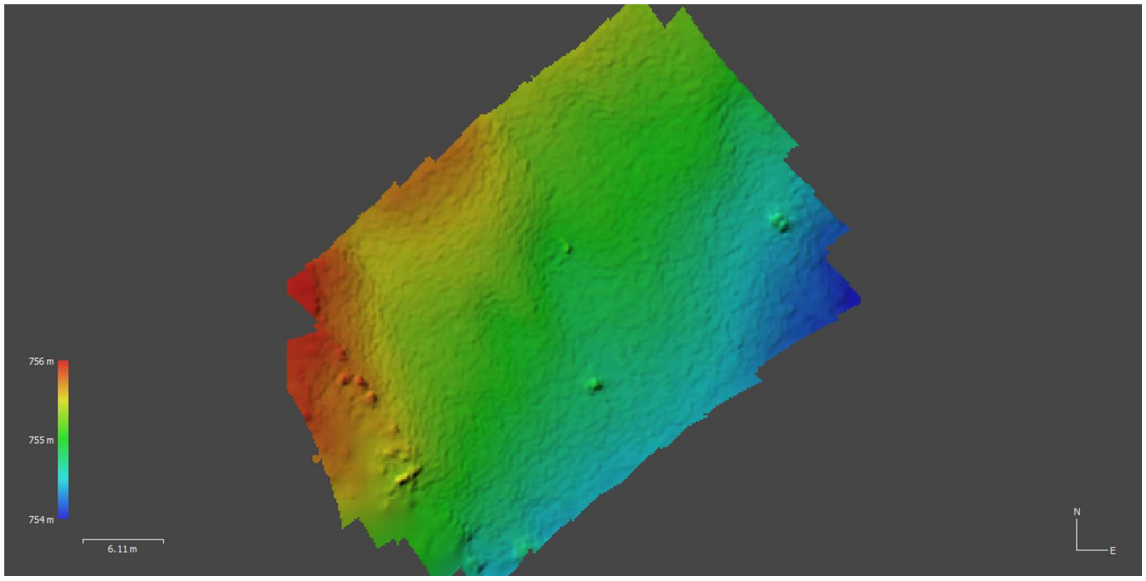
Nakon završetka terenskog rada možemo se posvetiti obradi fotografija pomoću specijaliziranog fotogrametrijskog softvera. U našem slučaju koristili smo Agisoft Metashape Professional 2.2.0. Prikupljene snimke obrađujemo prema postupku koji su koristili i drugi istraživači (npr. Bevan i sur. 2017; Ciglič i sur. 2020). Najprije uklanjamo snimke neodgovarajuće kvalitete. Suvremeni softver automatski provodi kalibraciju snimaka na temelju velikog broja fotografija, kako bi se ispravile nepravilnosti uzrokovane lećom kamere. Ako softver to ne omogućuje, preporučuje se ručna kalibracija kamere pomoću crno-bijele šahovnice i uključivanje izmjerenih vrijednosti u obradu snimaka radi postizanja maksimalne točnosti. Fotografije se postavljaju u prostor te se određuju ključne točke – izrađuje se početni, tzv. rijedak oblak točaka (*sparse cloud*; slika 78). Nakon toga unosimo koordinate (x, y, z) izmjerenih referentnih i kontrolnih točaka, te na svakoj pojedinačnoj snimci, na kojoj je vidljiva kontrolna točka, poravnavamo točku sa središtem izmjerenih koordinata. Tako poravnane snimke i početni oblak točaka koriste se u metodi stereo snimanja s više pogleda za izradu gustog oblaka točaka (*dense cloud*; slika 79), zatim za izradu digitalnog modela površine (DMP; slika 80) i na kraju ortorektificirane snimke, odnosno ortofota (slika 81) (Peternel i sur. 2017; Cignetti i sur. 2019).
Koristimo izraz digitalni model površine jer ne uklanjamo sloj trave i manjih grmova s područja, pa se sloj ne može označiti kao digitalni model reljefa. Očitavanje točaka na terenu i završni ortofoto pripremamo u slovenskom koordinatnom sustavu D96. Završni sloj spremamo u TIFF formatu, koji je općeprihvaćen i može se otvoriti u drugim GIS softverima.



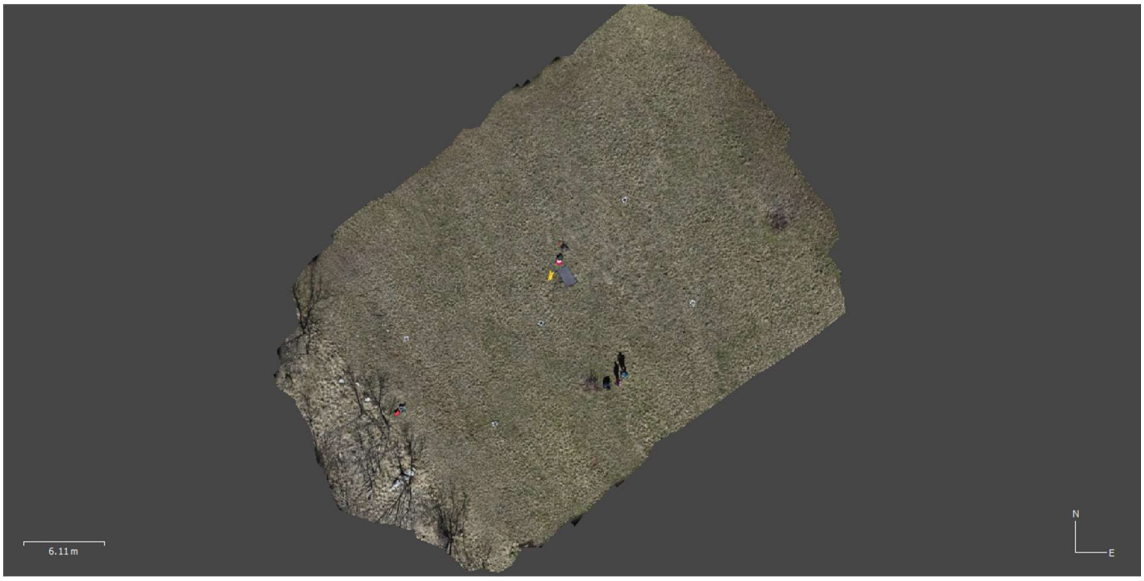
Slika 78: Neobrađeni oblak točaka.



Slika 79: Gusti oblak točaka.



Slika 80: Digitalni model površine.



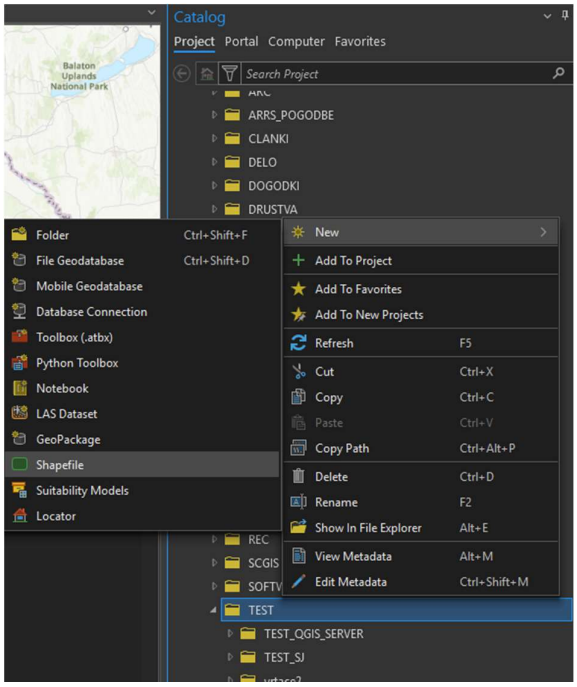
Slika 81: Ortofoto područja.

3.6.3.3 Korak 3: Digitalizacija primjeraka biljne vrste pomoću ortofota

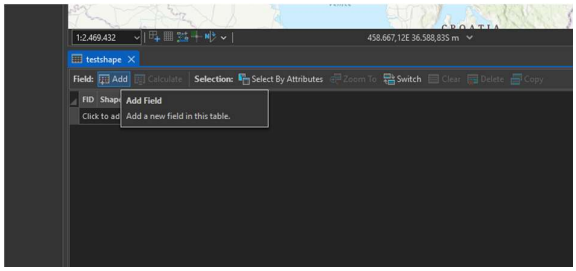
Pripremljeni ortofoto promatranog područja unosimo u odabrani geoinformacijski program (npr. QGIS ili ArcGIS Pro; u našem slučaju koristili smo potonji). U programu pripremamo novi vektorski sloj u koji ćemo unositi točke (centre) zabilježenih primjeraka biljne vrste. Pritom možemo koristiti zapis *Feature Class*, koji se sprema u namjensku bazu podataka *Geodatabase*. Radi se o formatu zapisa koji koristi tvrtka ESRI. Još raširenији format je *shapefile* (također razvijen od strane ESRI-ja), koji ima nešto manju sposobnost pohrane podataka, ali je vjerojatno najraširenији i općeprihvaćen format. U našem slučaju odlučujemo se za *shapefile*, budući da u završnoj tablici trebamo samo koordinate pojedinog primjerka s eventualnim bilješkama za svaki primjerak.

Shapefile datoteku u programu ArcGIS Pro izrađujemo u kartici Catalog (slika 82), gdje u odabranoj mapi stvaramo novu datoteku. Važno je da pri tome odaberemo točkasti tip zapisa. U atributnoj tablici dodajemo nova numerička atributa *x* i *y* (slika 83), gdje ćemo nakon završene digitalizacije automatski dodijeliti koordinate za svaku pojedinačnu točku. Također dodajemo numerički atribut ID i tekstualni atribut bilješke, u koje ćemo tijekom digitalizacije unositi redni broj primjerka (ID) i eventualna opažanja. Opažanja su ograničena na duljinu od 255 znakova. Ako bismo željeli omogućiti dulje opise, tada bismo morali koristiti podatkovnu strukturu *Feature Class*.

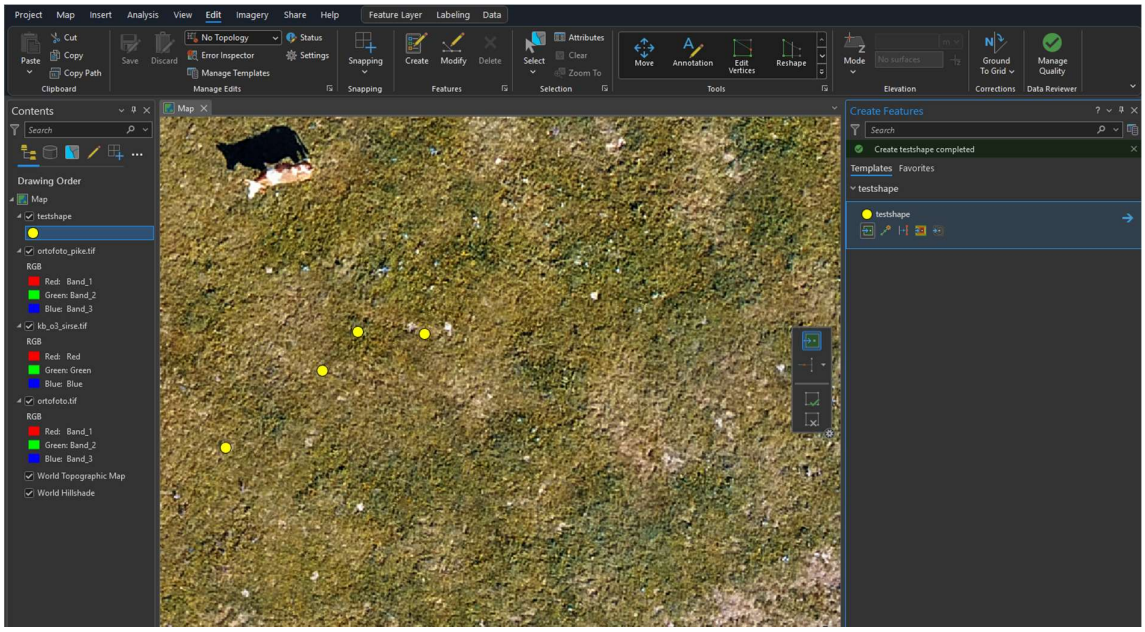
Digitalizaciju primjeraka biljke provodimo prema unaprijed dogovorenoj metodologiji. Time osiguravamo da će bilježenje biti što ujednačenije, čak i ako ga raspodijelimo među više suradnika. U našem slučaju točkasta digitalizacija se provodi tako da na svaku uočenu biljku postavimo jednu točku u njezin središnji dio. Označavamo svaku biljku pojedinačno, čak i u slučajevima kada više primjeraka raste zajedno. Nakon završene digitalizacije (slika 84), atributima *X* i *Y* pomoću odgovarajuće naredbe *Calculate Geometry* dodajemo informacije o koordinatama. Tako pripremljeni sloj predajemo naručitelju zajedno s ortofotom.



Slika 82: Stvaranje novog shapefile-a.



Slika 83: Dodavanje atributa proračunskoj tablici.



Slika 84: Digitalizirani uzorci.

3.6.3.4 Zaključak odnosno nastavak zadatka

Postupak ćemo ponavljati svake godine u vrijeme cvatnje. Na taj ćemo način moći pratiti stanje i trendove u rasporedu ove biljne vrste na promatranom području. Geografski informacijski sustavi tako nam pomažu pri preciznoj evidenciji stanja i njegovom arhiviranju.

3.6.4 Mogućnost korištenja programa

Za postizanje rezultata mogu se koristiti, na primjer:

- Bespilotne letjelice/dronovi:
  - DJI Mavic 3M RTK,
  - DJI Mini 4 Pro,
  - DJI Matrice 4.
- GNSS prijamnici:
  - Leica FLX100 plus s krutom antenom,
  - Stonex S900+ s krutom antenom.
- Programi za fotogrametriju:
  - Pix4DMapper (Pix4D),
  - ArcGIS Drone2Map (ESRI),
  - Meshroom (AliceVision; besplatan),
  - 3D Survey (Modri planet).
- Programi za digitalizaciju i kartografiju:
  - ArcGIS Pro (ESRI),
  - QGIS (QGIS Project, besplatan).

3.6.5 Izvori i literatura

- Bevan, D. J., Brook, M. S., Tunnicliffe, J., Richards, N. P., Prebble, W. M. 2017: Use of UAV mounted /Structure-from-Motion (SfM) data capture for engineering geological landslide mapping. 20th NZGS Geotechnical Symposium. Wellington.
- Ciglič, R., Ferk, M., Nagy, G. 2020: Opazovanje pobočnih procesov z brezpilotnim letalnikom an primeru plazov v Slovenskih goricah. Modeliranje pokrajine, GIS v Sloveniji 15. Ljubljana.
- Cignetti, M., Godone, D., Wrzesniak, A., Giordan, D. 2019: Structure from motion multisource application for landslide characterization and monitoring: The Champlas du Col case study, Sestriere, North-Western Italy. Sensors 19-10. DOI: https://doi.org/10.3390/s19102364
- Giordan, D., Manconi, A., Tannant, D. D., Allasia, P. 2015: UAV: Low-cost remote sensing for high-resolution investigation of landslides. 2015 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). Milano.
- Peternel, T., Kumelj, Š., Oštir, K., Komac, M. 2017: Monitoring the Potoška planina landslide (NW Slovenia) using UAV photogrammetry and tachymetric measurements. Landslides 14-1. DOI: https://doi.org/10.1007/s10346-016-0759-6