

**Danijel Davidović**

Oddelek za geografijo
Filozofska fakulteta
Univerza v Mariboru
daniyel.davidovic@um.si

**Vesna Vervega**

II. gimnazija Maribor
vervega3@gmail.com

**Gašper Dimnik**

dijak II. gimnazije Maribor

**Lan Patrik Horvat,**

dijak II. gimnazije Maribor
COBISS: 1.02

Uporaba satelitov za ugotavljanje zdravja gozda in njegove odvisnosti od reliefa na primeru regije Strojna, Kozjak in Pohorje

Satellite-based Monitoring of Forest Health and its Dependence on Relief in the Regions of Strojna, Kozjak and Pohorje

Izvleček

Človek je življenjsko odvisen od narave oziroma od ekosistemskih storitev, ki jih zagotavlja narava. Predvsem gozd je tisti del narave, ki predstavlja najrazvitejši ekosistem in med drugim človeku nudi čist zrak, surovine in prostor za sprostitev. Zaradi krepitev podnebnih sprememb in drugih človekovih posegov v okolje pa so omenjene funkcije vedno bolj ogrožene. Članek je nastal na podlagi raziskovalne naloge, v sklopu katere so dijaki II. gimnazije Maribor spoznali uporabnost daljinskega zaznavanja in geografskih informacijskih sistemov (GIS) v geografiji. Namen raziskovalne naloge je bil prikaz spreminjanja zdravja gozda v prostoru in času na primeru regije Strojna, Kozjak in Pohorje. Zdravje gozda smo ugotavljali z vegetacijskim indeksom NDVI, ki smo ga izračunali na podlagi daljinsko zaznanih podatkov satelitov Landsat in Sentinel, pri tem smo za obdelavo podatkov uporabili prosto dostopen program QGIS. Rezultat prvega dela je trendna linija, ki prikazuje splošno slabšanje zdravja gozda na obravnavanem območju, rezultat drugega dela pa so statistični testi, ki potrjujejo vpliv reliefnih prvin na zdravje gozda.

Ključne besede: NDVI, QGIS, Landsat, Sentinel, GIS, Strojna, Kozjak, Pohorje

Abstract

Humans depend upon nature or, more precisely, upon its ecosystem services for their sustenance. Forests, in particular, are the nature's most sophisticated ecosystems, providing clean air, raw materials, and a place for people to relax. However, these functions are increasingly threatened by climate change and other types of human intervention in the environment.

This article is based on a research project through which a group of students at II. gimnazija Maribor learned about the usefulness of remote sensing and geographic information systems (GIS) in geography. The research aimed at detecting forest health changes in space and time in the Strojna, Kozjak and Pohorje regions. Forest health was assessed using the vegetation index NDVI. It was calculated from the remotely sensed Landsat and Sentinel data. The freely available QGIS software was used for data processing. The first part resulted in a trendline that indicated a general decline in forest health in all the regions. The second part consisted of statistical tests which confirmed the influence of relief features on forest health.

Keywords: NDVI, QGIS, Landsat, Sentinel, GIS, Strojna, Kozjak, Pohorje

Kratka predstavitev obravnavanega območja

Regija Strojna, Kozjak in Pohorje obsega 1.310 km², od tega največje območje pokrivajo gozd (67 %) in travniki (18 %). Ostale površine, ki se pojavljajo predvsem v nižinah oziroma dolinah, so trajni nasadi (4 %) in pozidane površine (4 %), nato njive in vrtovi (1 %) ter zaraščene površine (1 %) (Slika 1).

Povprečna letna temperatura zraka znaša 8 °C, povprečna količina padavin pa med 1200–1600 mm (ARSO, 2020). V splošnem količina padavin narašča z nadmorsko višino in od zahoda proti vzhodu. Zmerno celinsko podnebje osrednje Slovenije tako prehaja v bolj suho zmerno celinsko podnebje vzhodne Slovenije in na višjih nadmorskih višinah osrednjega Pohorja v različico gorskega podnebja (Ogrin, 1996).

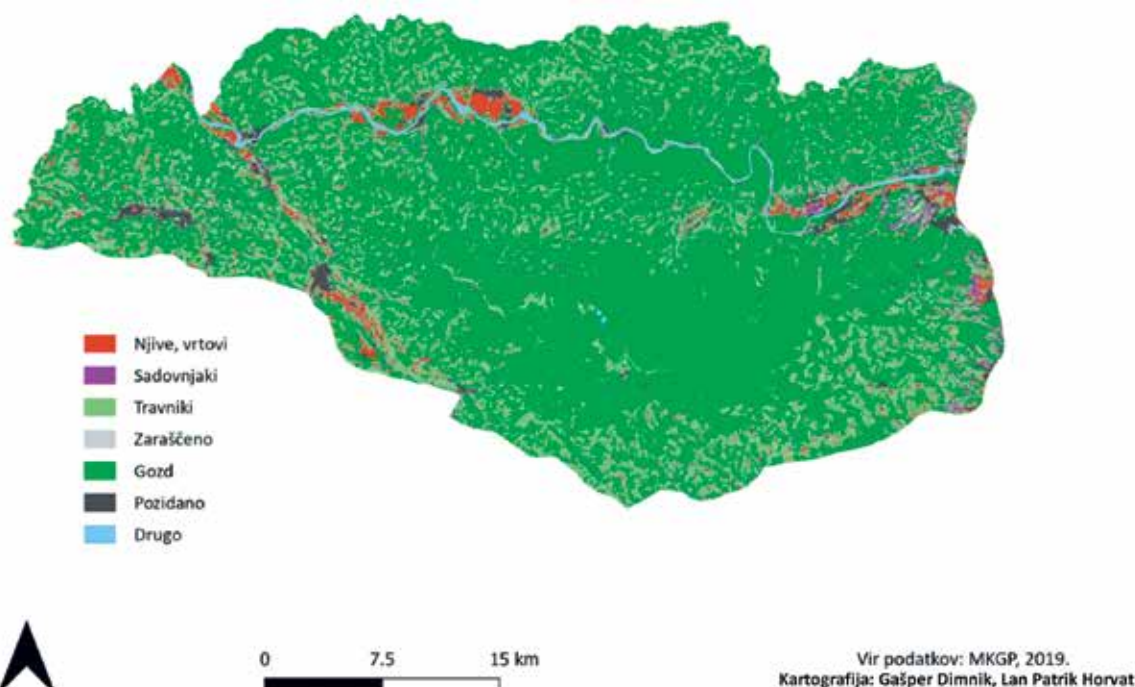
Kamnine spadajo med najpomembnejše pokrajinske sestavine v Sloveniji, kar je predvsem opazno na obravnavanem območju, ki je slovenska kamninska posebnost. Prevladujejo metamorfne kamnine (59,9 %), kot so gnajs, blestnik in skrilavec. Sledijo sedimentne kamnine (27,5 %), kot je peščenjak, ki se pojavljajo predvsem v dolinah, in nato magmatske kamnine (12,6 %), kot je granodiorit, ki so najpogostejše na višjih osrednjih predelih Pohorja (Slika 2). Ker na obravnavanem

območju prevladujejo silikatne kamnine, so se razvile predvsem kisle prsti, kot so distrična rjava prst (69,7 %) in ranker (19,6 %) (Slika 3). Med pedološke posebnosti obravnavanega območja spadajo tudi šotišča in opodzoljena tla, ki se nahajajo predvsem na uravnanih višjih nadmorskih višinah (Repe, 2017). Kamnine imajo velik vpliv tudi na vodovje. Zaradi neprepustnih kamnin se je na obravnavanem območju razvila gosta rečna mreža, ki znaša 3,1 km/km². Manjše površine obsegajo tudi stoječe vode (0,02 %) (Slika 4). Ena izmed posebnosti Pohorja so tudi barja, ki so oblika mokrišč, na katerih nastaja šota. Barja imajo velik naravovarstveni pomen z vidika ohranjanja biodiverzitete, uravnavanja vode in skladiščenja CO₂. Poleg barij imajo na obravnavanem območju naravovarstveni pomen različne oblike zavarovane narave, kot so ekološko pomembna območja, ki obsegajo 65,3 % celotne površine (Slika 5).

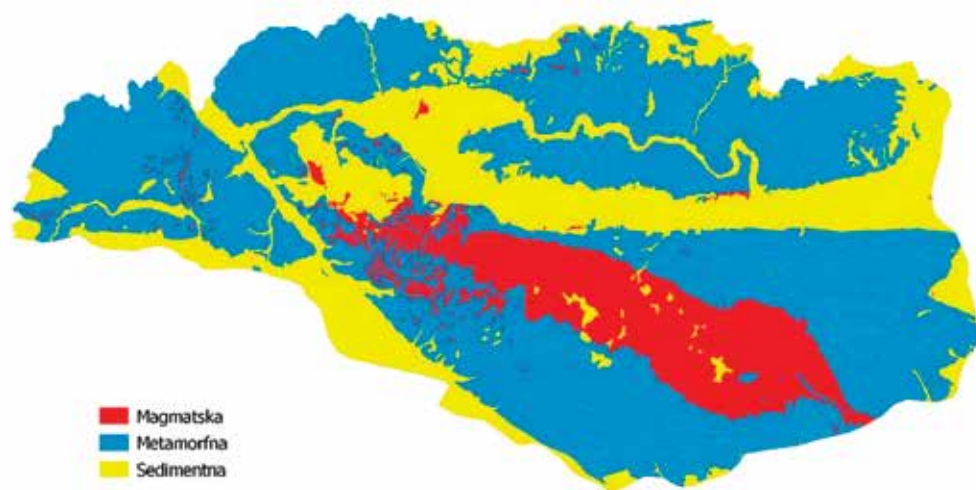
Reliefne značilnosti obravnavanega območja

V raziskovalni nalogi smo ugotavljali vpliv reliefa oziroma izbranih reliefnih prvin, kot so nadmorska višina, naklon in ekspozicija, na zdravje gozda. Vpliv reliefa se kaže predvsem v padavinah, temperaturi in svetlobi, ki so pomembni dejavniki rasti dreves. Najnižja

Ena izmed posebnosti Pohorja so barja, ki so oblika mokrišč, na katerih nastaja šota. Barja imajo velik naravovarstveni pomen z vidika ohranjanja biodiverzitete, uravnavanja vode in skladiščenja CO₂. Poleg barij imajo na obravnavanem območju naravovarstveni pomen različne oblike zavarovane narave, kot so ekološko pomembna območja, ki obsegajo 65,3 % celotne površine.

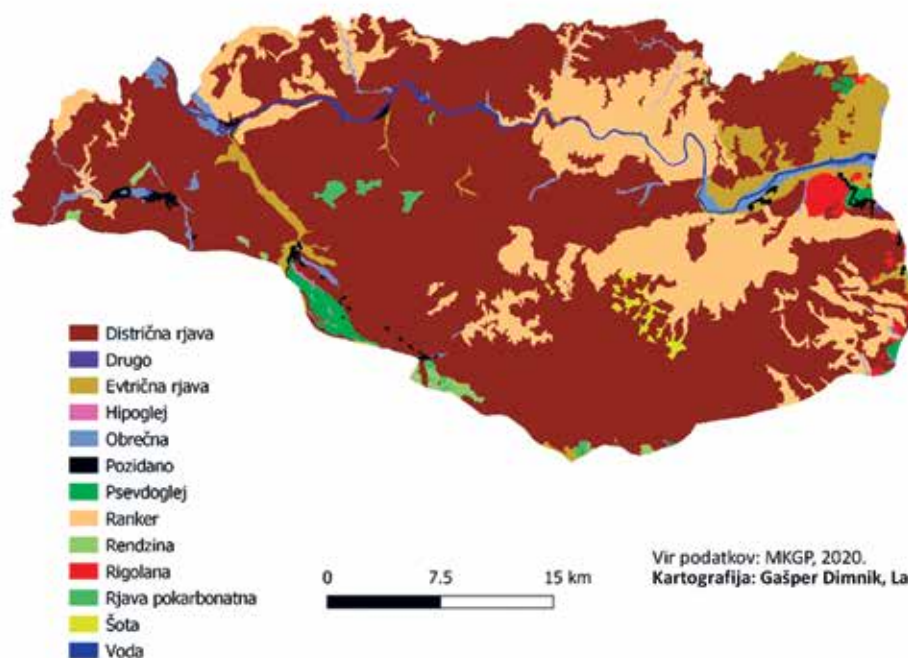


Slika 1: Raba tal na obravnavanem območju
Vir: MKGP, 2019



Slika 2: Osnovne skupine kamnin na obravnavanem območju
Vir: GeoSZ, 2016

Vir podatkov: GeoSZ, 2016.
Kartografija: Gašper Dimnik, Lan Patrik Horvat



Slika 3: Tipi prsti na obravnavanem območju
Vir: MKGP, 2020

Vir podatkov: MKGP, 2020.
Kartografija: Gašper Dimnik, Lan Patrik Horvat

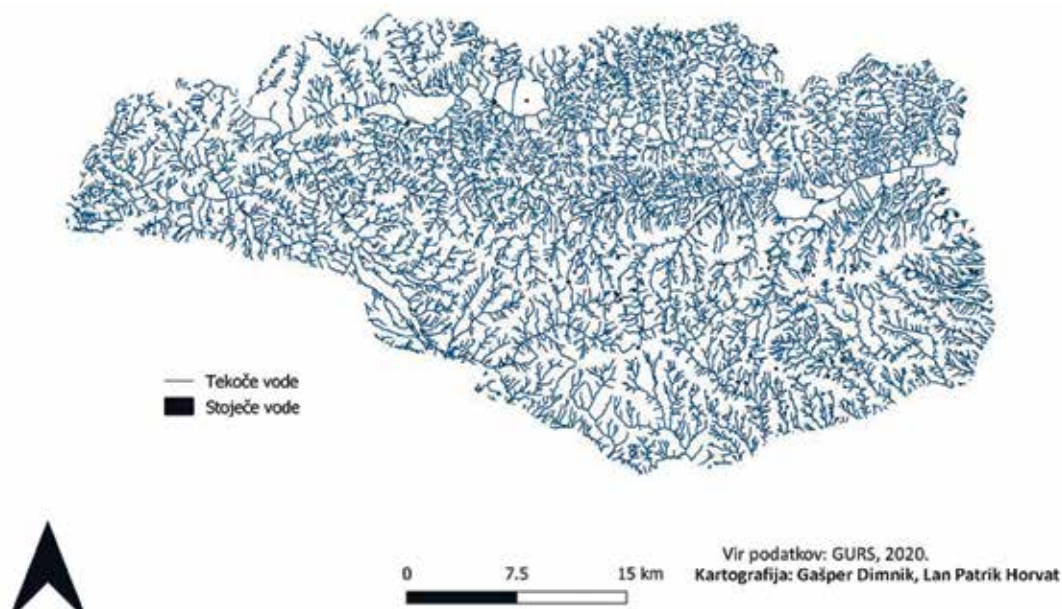
nadmorska višina obravnavanega območja znaša 253 m, najvišja 1.543 m, povprečna pa 714 m. Največ površja se nahaja med 300–600 m nadmorske višine (40 % površja), najmanj pa med 1.200–1.600 m (9 % površja) in med 0 in 300 m (2 %) nadmorske višine (Slika 6). Najmanjši naklon obravnavanega območja znaša 0°, kar predstavlja uravnave, največji pa 59°. Večina območja ima naklon med 12–90° (73 % površja) (Slika 7). Na obravnavanem območju prevladujejo južne ekspozicije (52 %) (Slika 8).

Gozd na Pohorju in njegov pomen

Gozd je opredeljen kot površina, večja od 0,5 ha, ki je vsaj 10 % poraščena z drevesi z višino vsaj 5 m (Černelič, 2019). Predstavlja najvišje razvit ekosistem, ki se lahko razvije ob primernih pogojih, kot so količina padavin, temperaturni režim in dolžina vegetacijske dobe. Zaradi ugodnih pogojev bi Slovenijo brez človekovih posegov v celoti prekrival gozd z izjemami močvirnatih območij ter višjih gorskih vrhov nad gozdno mejo (Ivajnsič in Kaligarič, 2015). Danes je približno 60 % Slovenije prekrte z gozdom, ki

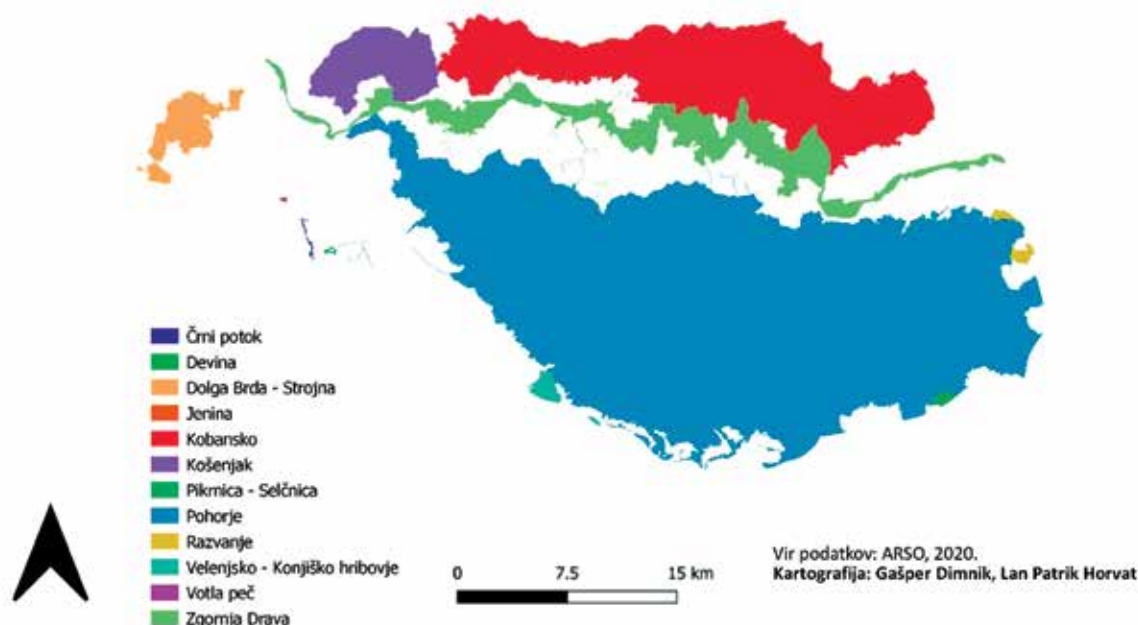
Slika 4: Tekoče in stoječe vode na obravnavanem območju

Vir: GURS, 2020



Slika 5: Ekološko pomembna območja (EPO) na obravnavanem območju

Vir: ARSO, 2020



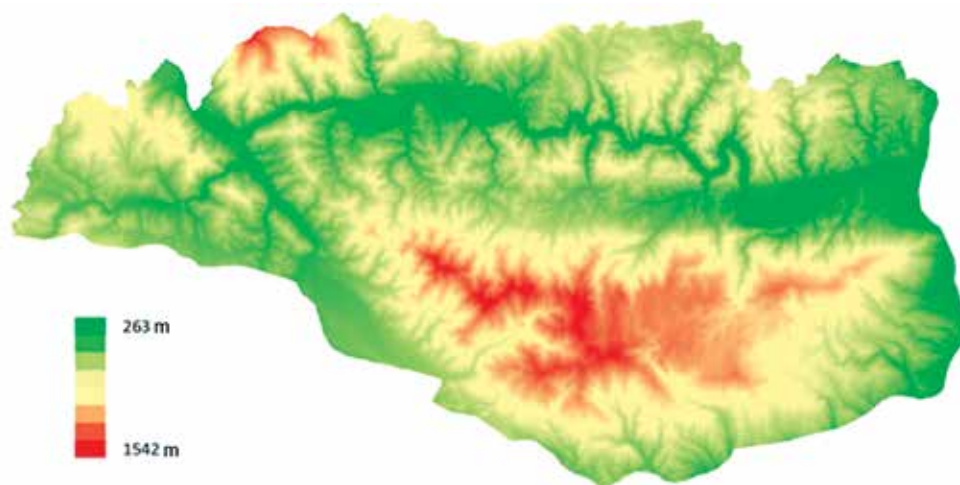
se dodatno širi na travnike in druge kmetijske površine.

Gozd omogoča različne ekosistemske storitve za človeka in družbo. Delimo jih na podporne (pedogeneza, fotosinteza, primarna produkcija, kroženje snovi, vodni cikel), oskrbne (gozdni sadeži, gobe, voda, les, zastirka), nadzorne (čiščenje zraka in vode, uravnavanje podnebja, preprečevanje erozije, ponor ogljika, oprasčevanje) in kulturne storitve (turizem, rekreacija, duhovna obogatitev, navdih, izobraževanje) (Vovk Korže, 2008). Gozd predstavlja tudi eno pomembnejših dopolnilnih dejavnosti na kmetijah na območju Pohorja in Kozjaka, pa tudi drugod po Sloveniji. Gozdarska dopolnilna dejavnost prinaša pomemben del dohodka h

kmetijski dejavnosti, ki sama po navadi kmetom ne omogoča primerne ekonomskega in socialnega položaja (Jurše, 2008).

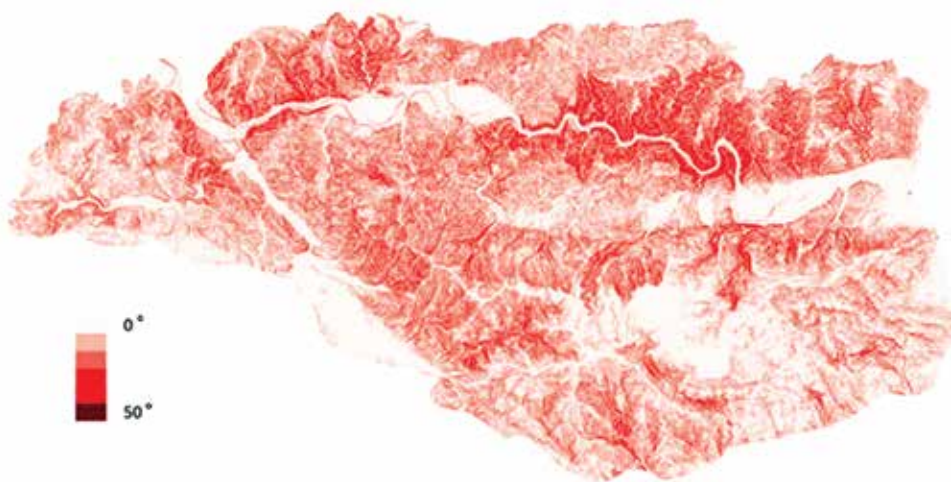
Kot omenjeno, je gozd prevladujoča oblika rabe tal na obravnavanem območju. Predvsem pohorski gozd pa je precej drugačen, kot je bil v preteklosti. Vzroki za to so nenadzorovana sečnja za namene metalurgije in steklarstva sredi 18. stoletja, žaganje, splavarjenje oziroma trgovina z lesom. Predvsem med letoma 1750 in 1950 je na Pohorju potekala intenzivna eksploatacija gozdov, ki je spremenila sestavo gozda in potek naravnih procesov. Mešane gozdove so nadomestili smrekovi, z njimi pa se je spremenila tudi prvotna gozdna krajina (Cimperšek, 2014).

Pohorski gozd je precej drugačen, kot je bil v preteklosti. Vzroki za to so nenadzorovana sečnja za namene metalurgije in steklarstva sredi 18. stoletja, žaganje, splavarjenje oziroma trgovina z lesom. Predvsem med letoma 1750 in 1950 je na Pohorju potekala intenzivna eksploatacija gozdov, ki je spremenila sestavo gozda in potek naravnih procesov. Mešane gozdove so nadomestili smrekovi, z njimi pa se je spremenila tudi prvotna gozdna krajina.



Slika 6: Nadmorske višine na obravnavanem območju
Vir: GURS, 2017

Vir podatkov: GURS, DMV25, 2017.
Kartografija: Gašper Dimnik, Lan Patrik Horvat



Slika 7: Nakloni na obravnavanem območju
Vir: GURS, 2017

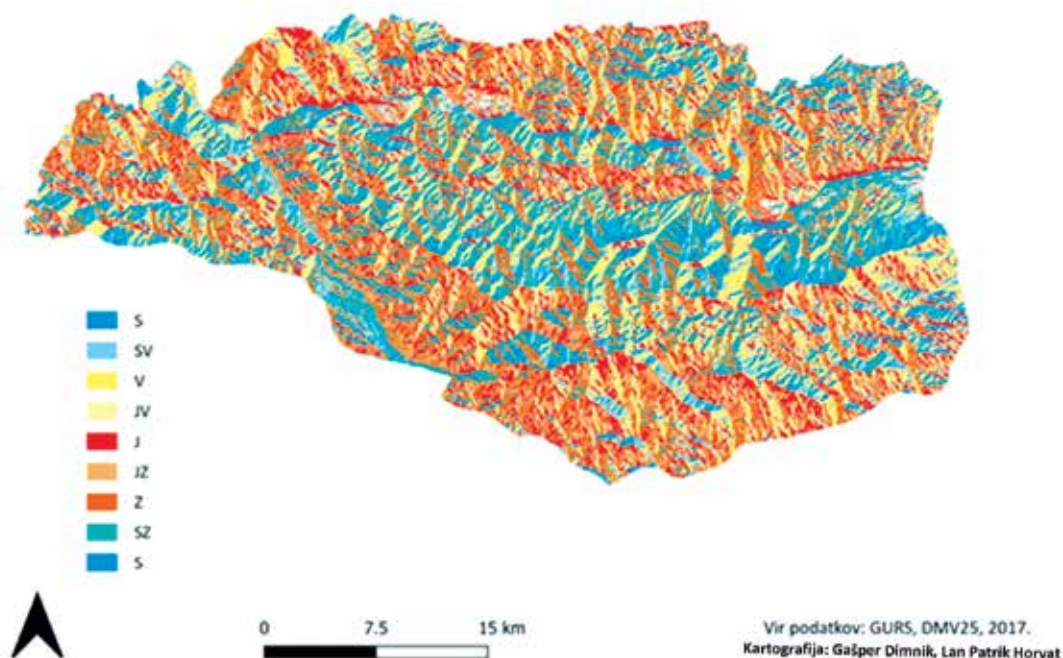
Vir podatkov: GURS, DMV25, 2017.
Kartografija: Gašper Dimnik, Lan Patrik Horvat

Ugotavljanje stanja vegetacije z računanjem vegetacijskega indeksa NDVI na podlagi satelitskih podob je v Sloveniji relativno malo uporabljena metoda raziskovanja.

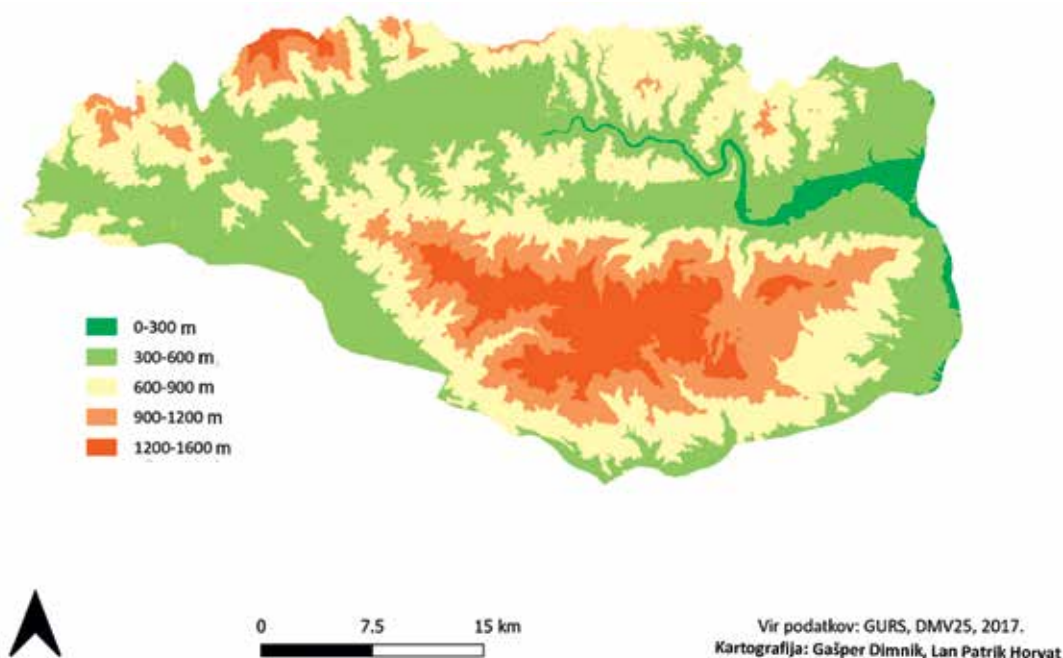
Postopek dela z GIS in satelitskimi podatki

Glavni namen raziskovalne naloge je bil ugotavljanje sedanjega stanja zdravja gozda ter njegove spremembe v prostoru in času na primeru regije Strojna, Kozjak in Pohorje. V prvem delu smo obravnavali spreminjanje vegetacijskega indeksa NDVI v obdobju med 1978 in 2020, v drugem delu pa njegovo spreminjanje v odvisnosti od reliefnih prvin, kot so nadmorska višina, naklon in ekspozicija.

Geografske informacijske sisteme ali GIS lahko opredelimo kot računalniško podprt sistem, ki vključuje zajemanje, shranjevanje, obdelovanje, povezovanje, analiziranje in prikazovanje georeferenciranih oziroma prostorskih podatkov (Močnik in Rugelj, 2004). Eden izmed možnih virov prostorskih podatkov je daljinsko zaznavanje, ki je definirano kot »znanost pridobivanja informacij o površju Zemlje, ne da bi z njo prišli v neposredni stik« (Oštir, 2006, str. 13).



Slika 8: Ekspozicije na obravnavanem območju
Vir: GURS, 2017

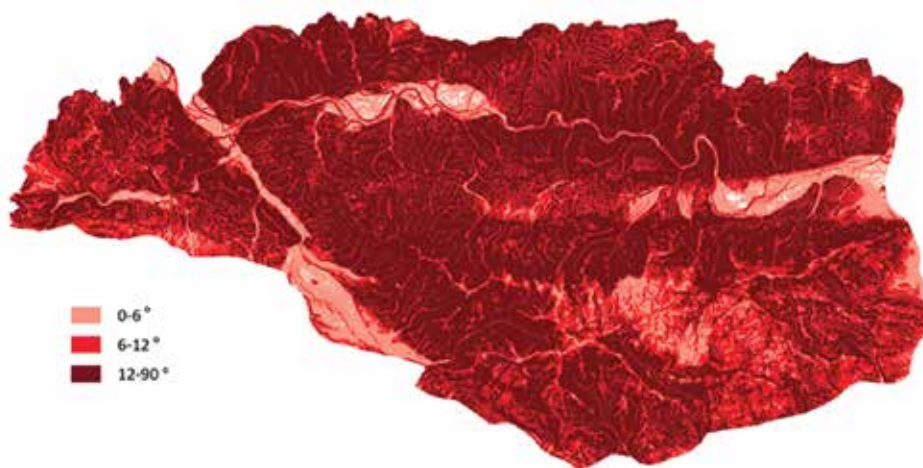


Slika 9: Klasificirane nadmorske višine na obravnavanem območju
Vir: GURS, 2017

Ugotavljanje stanja vegetacije z računanjem vegetacijskega indeksa NDVI na podlagi satelitskih podob je v Sloveniji relativno malo uporabljena metoda raziskovanja. Glede na knjižnični informacijski sistem COBISS je s ključno besedo NDVI objavljenih 32 del, ki spadajo predvsem na področje kmetijstva in gozdarstva. Šprah (2019) je na območju enote Lovrenc na Pohorju ocenjeval strukturno pestrost gozdov s pomočjo digitalnega modela krošenj, izdelanega na podlagi podatkov laserskega skeniranja Slovenije in satelitskih posnetkov Sentinel-2. Pintar in Hladnik

(2019) sta na podlagi satelitskih posnetkov Sentinel-2 ocenjevala razlike v fenološkem razvoju prevladujočih drevesnih vrst na območju Pahernikove posesti. Jovanović, Milanović in Zorn (2018) so NDVI uporabili pri svoji raziskavi upravljanja z gozdovi v Srbiji. Ugotovili so, da je lahko uporaba daljinskega zaznavanja in NDVI razmeroma poceni, hiter in objektiven način popisovanja in upravljanja gozdov.

Vegetacijski indeks NDVI (ang. Normalized Difference Vegetation Index) je eden izmed indeksov, ki se najpogosteje uporabljajo pri



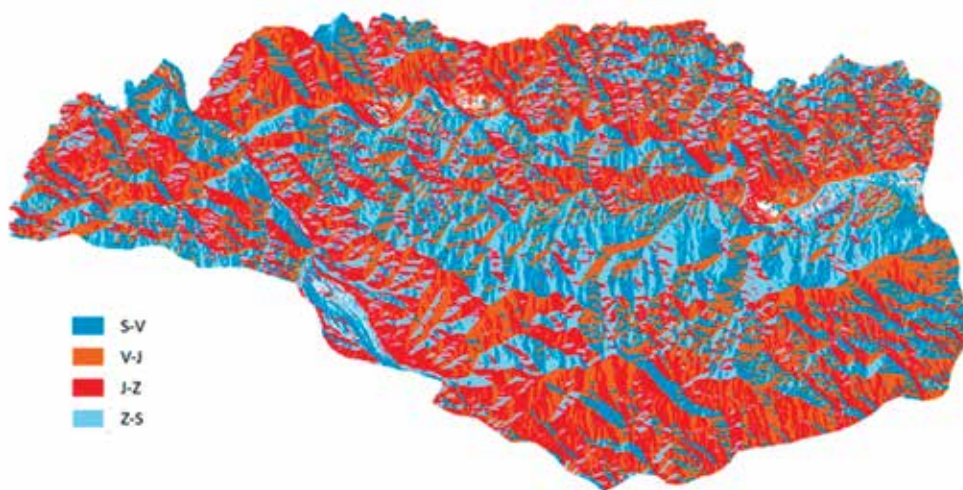
Slika 10: Klasificirani nakloni na obravnavanem območju

Vir: GURS, 2017



0 7.5 15 km

Vir podatkov: GURS, DMV25, 2017.
Kartografija: Gašper Dimnik, Lan Patrik Horvat



Slika 11: Klasificirane ekspozicije na obravnavanem območju

Vir: GURS, 2017



0 7.5 15 km

Vir podatkov: GURS, DMV25, 2017.
Kartografija: Gašper Dimnik, Lan Patrik Horvat

opazovanju gozdnih in drugih rastlin. Računanje vegetacijskega indeksa NDVI temelji na multispektralnih satelitskih posnetkih oziroma na razmerju med rdečim in bližnje infrardečim delom spektra. NDVI računamo po formuli:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

kjer NIR predstavlja vrednost odboja v bližnjem infrardečem spektru, RED pa vrednost odboja rdečega spektra (Kobler, Čotar in Ogris, 2016). Vrednosti indeksa segajo od -1 do 1. Negativne vrednosti predstavljajo oblake, vodo ali sneg,

vrednosti blizu ničle pa večinoma kamenje in tla, ki niso pokrita z vegetacijo. Pozitivne vrednosti med 0,2 in 0,3 predstavljajo grmičevje in travnike, na območjih z visokimi vrednostmi indeksa med 0,6 in 0,8 pa lahko najdemo različne gozdove (Earth observing system, 2020).

V prvem delu raziskave smo ugotavljali spremembe NDVI gozda v obdobju med 1978 in 2020. Pri tem smo uporabili podatke satelitov Landsat, kjer je en piksel predstavljal območje 30x30 metrov. Uporabili smo posnetke satelitov Landsat 3, Landsat 5 in Landsat 8. Posnetke smo

dobili s pomočjo podatkovnega portala Earth Explorer, ki ga upravlja Geološki zavod ZDA (USGS, 2020). S portala smo prenesli posnetke in jih uvozili v program QGIS. Tukaj smo delo nadaljevali samo s pasovi, ki so prikazovali odboj svetlobe v rdečem in bližnjem infrardečem spektru. Pri posnetkih satelita Landsat 3 sta to bila band 5 (RED) in band 6 (NIR). Pri posnetkih satelita Landsat 5 smo uporabili pasova 3 (RED) in 4 (NIR), pri posnetkih Landsat 8 pa pasova 4 (RED) in 5 (NIR). S QGIS smo nato posnetke obrezali na obravnavano območje in v raster kalkulator vnesli pasove po enačbi za računanje NDVI. Kot rezultat smo dobili karte NDVI za izbrana leta, ki prikazujejo stanje zdravja gozda. V programu QGIS smo nato izračunali povprečne vrednosti NDVI, najvišje in najnižje vrednosti, razpon in standardni odklon. Podatke smo nato prenesli v Excel in s povprečnimi vrednostmi izdelali raztreseni grafikon. Grafikonu smo dodali tudi trendno linijo, enačbo premice in determinacijski koeficient.

V drugem delu raziskave smo ugotavljali odvisnost NDVI gozda od nadmorske višine, naklona in ekspozicije površja. V tem delu naloge smo uporabili podatke satelita Sentinel 2. Pri računanju NDVI smo uporabljali pasova 4 (RED) in 8 (NIR), kjer je ločljivost 10x10 m. Sateliti Sentinel so del programa Copernicus, ki ga usklajujejo in upravlja Evropska komisija, Evropska vesoljska agencija in države članice. Podobno kot v prvem delu naloge smo v raster kalkulator v programu QGIS vnesli pasove po enačbi in dobili karto, ki prikazuje stanje zdravja gozda leta 2020.

Prav tako smo izdelali karte nadmorskih višin, naklonov in ekspozicij na podlagi digitalnega modela višin (DMV 25), podatke smo dobili na Geodetski upravi Republike Slovenije (GURS, 2017). Karte smo nato klasificirali v izbrane razrede. Nadmorske višine smo razdelili v pet razredov v 300 m razponu (Slika 9). Naklone smo razdelili v prvi (0°–6°), drugi (6°–12°) in tretji (12°–90°) razred (Slika 10). Ekspozicije smo razdelili v severovzhodno, jugovzhodno, severozahodno in jugozahodno (Slika 11).

V vsakem razredu smo s programom QGIS določili 100 naključno izbranih točk, ki smo jim pripisali vrednosti NDVI. Vrednosti smo uvozili v program SPSS in izvedli statistične teste, da smo ugotovili, če obstajajo statistično signifikantne razlike v vrednostih NDVI glede na posamezne razrede. Izbrali smo neparametrični Kruskal-Wallisov test, saj smo ugotovili, da podatki ne sledijo normalni distribuciji. Prav tako smo uporabili post test, s katerim smo ugotavljali, med katerimi razredi so največje razlike.

Trend NDVI gozda na obravnavanem območju

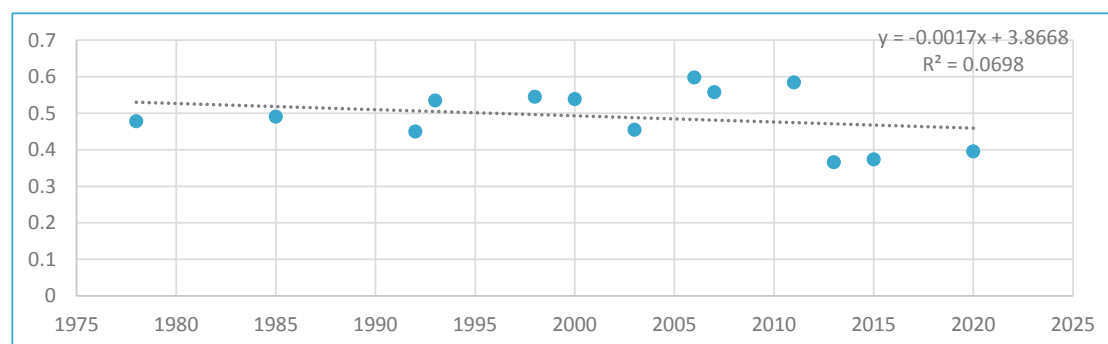
Z opisano metodologijo smo ugotovili, da v splošnem povprečna vrednost NDVI v analiziranem obdobju pada, z izjemo med letoma 1993 in 2000, ko je povprečna vrednost naraščala, nato pa ponovno padala. Podobno je med letoma 2003 in 2006 spet narasla in leta 2006 bila tudi najvišja. Potem je povprečna vrednost začela padati in bila najnižja leta 2013. Tudi najvišje vrednosti NDVI območja v analiziranem obdobju padajo, najvišjo vrednost pa dosežejo leta 1998 (Grafikon 1).

Vzroke za slabšanje zdravja gozda med letoma 1978 in 1993, kar nam kaže padanje povprečne vrednosti NDVI, pripisujemo vplivu kislega dežja, večji koncentraciji različnih plinov v ozračju (tudi TGP). To je bilo obdobje industrializacije in intenzivnega izkoriščanja fosilnih energetskih virov (npr. lignita v Velenju). Prav tako sklepamo, da so na zdravje gozda negativno vplivale podnebne spremembe, kot so bolj pogosta neurja (z močnim vetrom, žledom ali vročinskimi valovi in sušo), kar lahko povzroči poškodbe na drevesih ali hitrejše širjenje škodljivcev (npr. smrekov lubadar).

Odvisnost NDVI gozda od reliefa na obravnavanem območju

Rezultat podatkov satelita Sentinel je karta indeksa NDVI. Na karti lahko opazimo rdečo vijugo, ki poteka od severozahoda do vzhoda

Vzroke za slabšanje zdravja gozda med letoma 1978 in 1993 pripisujemo vplivu kislega dežja, večji koncentraciji različnih plinov v ozračju (tudi TGP). Sklepamo, da so na zdravje gozda negativno vplivale podnebne spremembe, kot so bolj pogosta neurja (z močnim vetrom, žledom ali vročinskimi valovi in sušo), kar lahko povzroči poškodbe na drevesih ali hitrejše širjenje škodljivcev (npr. smrekov lubadar).



Grafikon 1: Trend NDVI v obdobju 1978–2020
Vir: USGS, 2020

obravnavanega območja. Predstavlja tok reke Drave, saj je vrednost vegetacijskega indeksa NDVI okoli $-0,5$. Zelene površine predstavljajo gozd, gozdne vrtove in travnike. Rumenkaste površine pa pozidana območja, njive in neporaščena območja z vrednostjo indeksa NDVI med $-0,1$ in $0,4$. Največjo površino ima zelena barva. Maksimalna vrednost znaša $0,94$, kar pomeni, da je gozd tam zelo zdrav (Slika 12).

Sprva smo ugotavljali povprečni NDVI v naših reklasificiranih razredih reliefnih prvin. Pri nadmorskih višinah smo ugotovili, da je najvišji povprečni NDVI v četrtem razredu (od 900 do 1.200 m), najnižjega pa je imel prvi razred, v katerem je bilo tudi največje odstopanje, vrednost indeksa je bila okoli $0,52$, medtem ko je bila v drugih višinskih razredih vrednost NDVI večja. Glede na podatke nismo mogli sklepati, da je na višjih nadmorskih višinah tudi povprečni NDVI višji, kar pomeni bolj zdrav gozd. Vzroki za to so lahko različni, npr. vpliv vetrov, posledice ujm. V najnižjem razredu sklepamo, da gre za večji delež obdelovalnih površin. Pri naklonih smo ugotovili, da je najvišji povprečni NDVI v tretjem razredu (od 12° do 90°), kar pomeni, da višji ko je naklon, višji je povprečni NDVI. Torej, na višjih naklonih je več zelenih površin, tj. več zdravega gozda. Glede na ekspozicijo je vegetacijski indeks NDVI imel največjo vrednost v kategoriji jugovzhodna ekspozicija. Predvidevali smo, da bo imela največjo vrednost prisojna stran (južna, jugovzhodna ekspozicija), vendar tega predvidevanja nismo potrdili. Vrednosti NDVI so bile zelo podobne, tako da ekspozicija nima večjega vpliva na višino NDVI oziroma zdravje gozda.

V vseh treh primerih smo s Kruskal-Wallisovim testom ovrgli ničelno hipotezo. To pomeni, da obstajajo statistično signifikantne razlike med vegetacijskim indeksom NDVI na različnih nadmorskih višinah, na različnih naklonih in različnih ekspozicijah oziroma reliefne prvine imajo vpliv na zdravje gozda.

Končne ugotovitve

Glavna ugotovitev prvega dela raziskave je, da se vrednost vegetacijskega indeksa NDVI v regiji Strojna, Kozjak in Pohorje med letoma 1978 in 2020 niža. Padec NDVI pomeni slabšanje zdravja gozda, kar lahko povežemo z različnimi dejavniki. Višje temperature in nižje količine padavin vplivajo na rast in zdravje rastlin, kar se lahko kaže tudi v vrednosti NDVI. Podnebne spremembe prinašajo pogostejše, dolgotrajnejše in intenzivnejše vročinske valove in suše. Na raztresenem grafikonu (Grafikon 1) je dobro opazno nižanje vrednosti NDVI leta 2003 in leta 2013, ko je bilo sušno obdobje (Sušnik in Gregorič, 2017). Vpliv na zdravje gozdov in izračunan NDVI imajo tudi drugi dejavniki. Vrednosti NDVI padajo tudi z izsekavanjem gozdov in širjenjem naselij. Na zdravje gozda vplivajo tudi drugi naravni in antropogeni dejavniki, kot so onesnaževanje in kisli dež ter smrekov lubadar.

V drugem delu raziskave smo ugotovili, da v splošnem povprečna vrednost indeksa NDVI pada z nadmorsko višino, kar je lahko posledica padanja temperature. Pri naklonih smo ugotovili nasprotno, saj vrednosti NDVI naraščajo z



Slika 12: Izračunan vegetacijski indeks NDVI na obravnavanem območju

Vir: Copernicus Sentinel data, 2020

Vir podatkov: Copernicus Sentinel data, 2020.
Kartografija: Gašper Dilmnik, Lan Patrik Horvat