

Zaznava velikopovršinskih poškodb gozdnega drevja s pomočjo vegetacijskih indeksov na primeru žledoloma 2014

Nikica OGRIS^{1*}, Klemen ČOTAR², Andrej KOBLER¹

Uvod

Ob gozdni ujmi je ključnega pomena hitra pridobitev ocene o njeni razsežnosti. Pri tem si lahko pomagamo z multispektralnimi satelitskimi posnetki, kjer iz razmerij med odboji svetlobe v posameznih delih spektra izračunamo tako imenovane vegetacijske indekse. Za namen opazovanja gozdnih površin se pogosto uporabljata vegetacijska indeksa NDVI (ang. Normalized Difference Vegetation Index) in EVI (ang. Enhanced Vegetation Index).

Vegetacijski indeks NDVI temelji na razmerju med vrednostmi odbojnosti svetlobe v rdečem in bližnjem infrardečem delu spektra. NDVI loči zeleno vegetacijo od ostalih površin, ker klorofil absorbira rdeči del vpadnega spektra sončevega sevanja in odbija bližnji infrardeči del spektra zaradi notranje sestave lista. Visoke vrednosti NDVI kažejo na velike listne površine, visoko listno biomaso in sklenjenost krošenj. NDVI izračunamo po formuli: $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$, kjer je NIR vrednost odbojnosti v bližnjem infrardečem spektru, RED pa v rdečem delu spektra (Solano in sod., 2010).

V gostih sestojih, kjer je površina listov velika, uporabljamo vegetacijski indeks EVI. EVI je v osnovi podoben NDVI, katerega vrednosti izboljšamo s pomočjo vrednosti odbojnosti v modrem delu spektra. To omogoča popravek vpliva spektralnega odboja od tal in atmosferskih motenj. Izračunamo ga po naslednji formuli (Solano in sod., 2010): $EVI = 2,5 \times [(NIR - RED) / ((NIR + (6 \times RED) - (7,5 \times BLUE) + 1))]$. NDVI odraža količino klorofila, EVI pa zazna strukturne spremembe v krošnjah dreves, vključno z listno površino, fizionomijo rastline in zgradbo krošnje.

Pogosto za zaznavo sprememb v vegetaciji uporabljamo še indeks listne površine (LAI, ang. Leaf Area Index) in FAPAR (ang. Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation). LAI je pri listavcih opredeljen kot listna površina (ena stran lista) na enoto površine tal in pri iglavcih kot pol celotne površine iglice na enoto površine tal (Myneni, 2012). LAI uporabljamo za napoved primarne produkcije, evapotranspiracije in kot referenčno orodje za oceno rasti vegetacije.

Indeks FAPAR opisuje absorpcijo svetlobe v sklenjenih krošnjah in je opredeljen kot delež absorbiranega sevanja pri valovnih dolžinah med 400 in 700 nm, kjer je vegetacija zmožna proizvajati fotosintezo. Zato FAPAR neposredno odraža primarno produkcijo fotosinteze, nekateri modeli pa ga uporabljajo tudi za oceno asimilacije ogljikovega dioksida v vegetaciji.

Izračun navedenih indeksov omogočajo multispektralni posnetki instrumenta MODIS (ang. Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) na krovu satelitov Terra (prvotno znan kot EOS AM-1) in Aqua (prvotno

znan kot EOS PM-1). Terra kroži okoli Zemlje od severa proti jugu, medtem ko Aqua kroži od juga proti severu. Terra MODIS in Aqua MODIS pregledata celotno Zemljino površino vsakih 1 do 2 dni, podatke pridobivata v 36. spektralnih kanalih (Solano in sod., 2010). Razpoložljivi produkti, izvedeni iz več dnevnik opazovanj, imajo različno prostorsko in časovno ločljivost. Pri raziskavi uporabljena indeksa NDVI in EVI (produkt MYD13Q1) imata prostorsko ločljivost 250 m in časovno ločljivost 16 dni ter indeksa LAI in FAPAR (produkt MCD15A3) prostorsko ločljivost 1 km in časovno ločljivost 4 dni.

Cilj raziskave je bil preveriti ali vegetacijski indeksi instrumenta MODIS lahko zaznajo velikopovršinske poškodbe gozdnega drevja v treh časovnih ločljivosti: dan, mesec in leto. Za študijski primer smo izbrali izjemen žledolom, ki se je zgodil 30. 1.–10. 2. 2014 (ZGS, 2014).

Metode dela

Hipotezo smo preverjali z enostavnim linearnim regresijskim modelom, pri katerem smo za odvisno spremenljivko vzeli količino označenih dreves za posek zaradi žledoloma (m^3/ha) v gozdnogospodarski enoti (GGE), za neodvisno spremenljivko pa vegetacijski indeks (NDVI, EVI, LAI, FAPAR) znotraj GGE. Za prostorsko ločljivost GGE smo se odločili zato, ker smo preskušali sposobnost zaznavanja velikopovršinskih poškodb gozdov na primeru žledoloma 2014, kar se bi moralo odražati tudi na večji prostorski enoti; z večjo prostorsko enoto smo zmanjšali šum multispektralnih posnetkov in obravnava vegetacijskih indeksov na ravni cele Slovenije je postala preglednejša.

Vir podatkov za količino označenih dreves za posek zaradi žledoloma je bila podatkovna zbirka Timber (ZGS, 2015a). Upoštevali smo dve vrsti sečnje, tj. sanitarni posek dreves zaradi žleda in posek oslabelih dreves zaradi žleda od 30. 1. 2014 do 13. 12. 2015. Absolutno količino (m^3) označenih dreves smo naredili primerljivo za različna območja v Sloveniji tako, da smo jo delili s površino gozdov v GGE (ZGS, 2015b), s čimer smo dobili odvisno spremenljivko izraženo v $m^3 ha^{-1}$.

Vegetacijski indeks je predstavljal neodvisno spremenljivko linearnega regresijskega modela. Preskušali smo naslednje indekse: NDVI, EVI, LAI in FAPAR. Vir podatkov za vegetacijske indekse je bila podatkovna zbirka spletne aplikacije VegX (Ogris in sod., 2015; slika 1). Pri pretvorbi vrednosti indeksa na raven GGE smo izračunali mediano vseh vrednosti slikovnih elementov posnetka, kjer je bila raba tal označena kot gozd (MKGP, 2015).

Preverjali smo tri časovne ločljivosti indeksov, tj. dan, mesec in leto. Dnevna raven je pomenila osnovno časovno ločljivost vegetacijskih indeksov, tj. NDVI in

EVI 16 dni, LAI in FAPAR 4 dni. V okviru posameznega meseca in leta smo izračunali povprečno vrednost indeksa v GGE v določenem mesecu oz. letu. Pri analizi smo upoštevali samo tiste GGE, ki so imeli za določeno obravnavo na voljo podatek indeksa, npr. pri dnevni časovni ločljivosti je moral biti na voljo podatek za izbran indeks na določen dan. Ker se je žledolom zgodil v 12. dneh (30. 1.–10. 2. 2014) smo ga v raziskavi obravnavali kot enkratni dogodek, kar pomeni, da smo za odvisno spremenljivko vzeli vso poškodovano lesno maso in iskali možne korelacije z omenjenimi indeksi v treh časovnih ločljivostih.

Kakovost regresijskega modela smo ovrednotili s koeficientom determinacije R^2 (%). Statistično analizo smo naredili s statističnim programom R (R Core Team, 2015; Ripley in Lapsley, 2015; Gagolewski in Tartanus, 2015). Prostorska podatkovna zbirka vegetacijskih indeksov je bila shranjena v Microsoft SQL Server 2008 R2 v formatu raster kataloga ESRI ArcGIS 10.3.1.

Rezultati

Na letni ravni je poškodbe gozdov zaradi žledoloma najbolje zaznal EVI (slika 2). Vsi indeksi so v 2015 pojasnili manj variabilnosti odvisne spremenljivke kot v letu 2014, npr. EVI je imel za več kot tretjino manjši R^2 . LAI, NDVI in FAPAR na letni ravni so zelo slabo pojasnjevali variabilnost poškodb po žledolomu (R^2 je bil manjši kot 4 %). Če primerjamo slednje indekse, je bil na letni ravni LAI boljši kot NDVI, FAPAR pa je najslabši.

Na mesečni ravni je v povprečju najbolje pojasnjeval poškodbe po žledu spet EVI, vendar je bil R^2 v posameznih mesecih NDVI višji kot EVI, npr. maj in junij 2014 (slika 3). LAI in FAPAR sta kot na letni tudi na mesečni ravni slabše zaznala poškodbe zaradi žledoloma in sicer R^2 je bil v povprečju 1,6–4,7 krat manjši kot EVI in NDVI (slika 4). Vsi indeksi na mesečni ravni so v letu 2015 slabše pojasnjevali poškodbe gozdov zaradi žledu kot v letu 2014 in sicer R^2 je bil v povprečju 1,6–3,3 krat manjši. EVI in NDVI sta bolje zaznala poškodbe zaradi žledoloma v letu 2014 med vegetacijsko sezono, tj. od meseca maja do avgusta, v zimskem času pa je bil R^2 znatno nižji. Pri indeksu LAI in FAPAR takšne sezonske odvisnosti nismo zaznali, saj je bila variabilnost med meseci precejšnja. LAI in FAPAR sta imela najvišji R^2 v mesecu maju 2014. LAI je na mesečni ravni imel za malenkost višji povprečni R^2 kot FAPAR.

Na dnevni ravni smo opazili podobne zakonitosti kot pri mesečni ravni, kar je razumljivo, saj so karte vegetacijskih indeksov na mesečni ravni pripravljene iz kart na dnevni ravni. Tako je na dnevni ravni poškodbe gozdov zaradi žledu najbolje pojasnjeval EVI in NDVI (slika 5). Med vegetacijsko sezono je bil R^2 za EVI in NDVI višji kot med mirovanjem vegetacije. V določenih dnevih je NDVI bolje pojasnjeval poškodbe gozdov zaradi žledu kot EVI, tj. v 16. od 40. primerov. V letu 2015 so vsi indeksi imeli manjši povprečni R^2 kot v letu 2014, npr. EVI za 1,4 krat, NDVI za 3,2 krat, LAI in FAPAR za 1,5 krat. V določenih dnevih smo opazili nenaden upad R^2 pri NDVI in EVI, kar lahko pojasnjujemo z veliko oblačnostjo v tem času, npr. julija in avgusta 2014 je bilo vreme deževno in oblačno (Cegnar, 2015a, 2015b). LAI in FAPAR na dnevni ravni sta imela povprečno 2,4 krat

manjši R^2 kot EVI in NDVI. Indeksa LAI in FAPAR sta imela na voljo skoraj 4 krat več podatkov kot EVI in NDVI, tj. 156 : 40, kar je posledica časovne ločljivosti posnetkov MODIS (slika 6). Zato smo pri indeksih LAI in FAPAR zasledili še večjo variabilnost med posameznimi meritvami kot pri ostalih dveh.

Razprava in sklepi

Vegetacijski indeksi so dobro zaznali velikopovršinske poškodbe gozdov zaradi žledoloma v 2014. Najbolje je poškodbe po žledu zaznal EVI, v določenih primerih na mesečni in dnevni ravni tudi NDVI. Vsi proučevani indeksi so pojasnjevali nastanek poškodb gozdov zaradi žleda bolje v prvem letu nastanka poškodb, kot v drugem letu, ko je njihova moč zaznave upadla za večkratnik. Upad R^2 v letu 2015 lahko v večji meri pojasnimo s pojavom adventivnih poganjkov, kar je normalen odziv poškodovanih (okleščenih) krošenj dreves, in bujnim odzivom talne vegetacije na večjo količino svetlobe, ki jo je prepuščal poškodovan sklep krošenj dreves. LAI in FAPAR sta imela relativno nižji R^2 v primerjavi z EVI in NDVI že prvo leto nastanka poškodb, kar lahko pojasnimo s takojšnjo reakcijo talne vegetacije na večjo količino dospelih svetlobe do tal, LAI in FAPAR pa ne zaznavata dobro med različnimi tipi vegetacije (drevje, grmovje, zelišča).

V vseh časovnih ločljivostih je bil R^2 relativno nizek in je dosegel najvišjo vrednost 27,8 % (NDVI, 26. 6. 2014). To je lahko posledica prevelikega prostorskega okvira za agregacijo podatkov na raven GGE. Morda bi z izbiro manjše prostorske enote dosegli višji R^2 , vendar predvidevamo, da bi bile vrednosti vegetacijskih indeksov veliko bolj variabilne in zmanjšala se bi preglednost na ravni celotne Slovenije. Nizek R^2 je lahko posledica nepopolnega podatkovnega niza za odvisno spremenljivko, tj. količino označenih dreves za posek zaradi poškodb po žledu. Po podatkih načrta sanacije smo z odvisno spremenljivko upoštevali samo 55,2 % ocenjene poškodovane količine zaradi žleda (ZGS, 2014a), po informacijah iz spletne strani ZGS pa 73,1 % ocenjene poškodovane količine zaradi žleda (ZGS, 2014b). Nepopoln podatkovni niz za odvisno spremenljivko je logična posledica načina evidentiranja dreves za posek, ki ga izvaja ZGS. Pri izjemno velikih poškodbah gozdov evidentiranje poškodovanih dreves poteka več let zapored. Predvidevamo, da bi bil R^2 višji, če bi imeli na voljo vse podatke o poškodovanih drevesih zaradi žledoloma 2014.

Uporaba EVI za zaznavo velikopovršinskih poškodb gozdov se glede na rezultate raziskave zdi smiselna na časovni ločljivosti meseca in leta. Na časovni ravni meseca lahko uporabimo tudi NDVI vendar samo med vegetacijsko dobo, kar velja tudi za EVI. Slednja ugotovitev velja samo za GGE, kjer je večino gozdov listopadnih. Oba indeksa sta zelo občutljiva na oblačno vreme, saj takrat ne moreta zaznati odboja vpadnega sevanja od vegetacije. Na časovni ločljivosti manjši kot mesec pa je variabilnost vegetacijskih indeksov prevelika, da bi lahko na njihovi podlagi z večjo verjetnostjo sklepali na velikopovršinske poškodbe v GGE, kar je posledica velike občutljivosti na oblačnost.

Zaključimo lahko, da MODIS ni primeren kot podlaga za hiter zajem informacij v roku nekaj dni po dogodku, je pa primeren za kontrolo okularnih velikopovršinskih ocen in za naknadne korekcije teh ocen na mesečni in letni ravni. Pri tem moramo upoštevati, da je korelacija med intenziteto poškodb gozdov in vegetacijskim indeksom relativno nizka.

Raziskava je našla več priložnosti za izboljšavo postopkov pri pripravi vegetacijskih indeksov. Pri pripravi kart indeksov na ravni GGE po zdajšnjem postopku GGE dobi vrednost, ko je na voljo vsaj 10 % slikovnih elementov satelitskega posnetka na območju gozdov. Možna izboljšava je, da bi zvišali prag na vsaj 50 % ali več slikovnih elementov na območju gozdov uporaben podatek na satelitskem posnetku. S to izboljšavo bi dodatno omilili vpliv oblačnosti na vrednost indeksa na ravni GGE, kljub temu da so izvirni MODIS podatki na oblačnih območjih že zamaskirani. Druga možna izboljšava je, da bi pri izračunu letnega indeksa NDVI in EVI upoštevali samo vegetacijsko obdobje od meseca maja do avgusta.

Za ovrednotenje kakovosti regresijskega modela smo vzeli koeficient determinacije R^2 . Uporaba drugih kazalcev povezanosti spremenljivk bi morda pokazala boljše rezultate, recimo odstopanje od prejšnjega leta ali povprečja več let, ki jih uporabljamo tudi za prikazovanje na spletni aplikaciji VegX (Ogris in sod., 2015). Lahko bi uporabili regresijske modele, npr. spremembo v lesni zalogi bi poskušali pojasnjevati s spremembo vegetacijskega indeksa, kjer bi morebitno povezavo lahko preskusili tako z absolutnimi kot z relativnimi vrednostmi spremenljivk.

Satelitski posnetki MODIS imajo sicer nizko prostorsko ločljivost (250 m), imajo pa v nasprotju z instrumenti večje prostorske ločljivosti (na primer seriji SPOT in Landsat) prednost v mnogo boljši časovni ločljivosti. Pri posnetkih MODIS je na voljo tudi dolga časovna vrsta podatkov, tj. od leta 2000 naprej. To nam omogoča izračunati povprečja in odklone od povprečij. Z izračunom normaliziranega odklona od povprečja dobimo vrednost, ki jo lahko enostavno interpretiramo, kar smo uporabili tudi pri sami spletni aplikaciji VegX, ki je javno dostopna na naslovu <http://www.zdravgozd.si/projekti/vegx>. Spletna aplikacija VegX vključuje orodje za analizo izbranega indeksa v določeni GGE v treh časovnih ločljivosti (slika 7). Analiza vključuje tri grafikone: (1) na prvem so prikazana letna povprečja vegetacijskega indeksa izbrane GGE in letna povprečja za celo Slovenijo; (2) drugi grafikon prikazuje mesečna povprečja vegetacijskega indeksa v izbrani GGE, mesečna povprečja izbranega vegetacijskega indeksa za celo Slovenijo in vrednosti indeksa na izbrani dan; (3) tretji grafikon prikazuje gibanje dnevni vrednosti vegetacijskega indeksa preko več let tako v izbrani GGE kot na ravni cele Slovenije. V vseh grafikonih z rdečo črto prikazujemo vrednosti na ravni GGE, z

rumeno na ravni Slovenije, črna črta pa prikazuje celotno povprečje vegetacijskega indeksa skozi celotno obdobje.

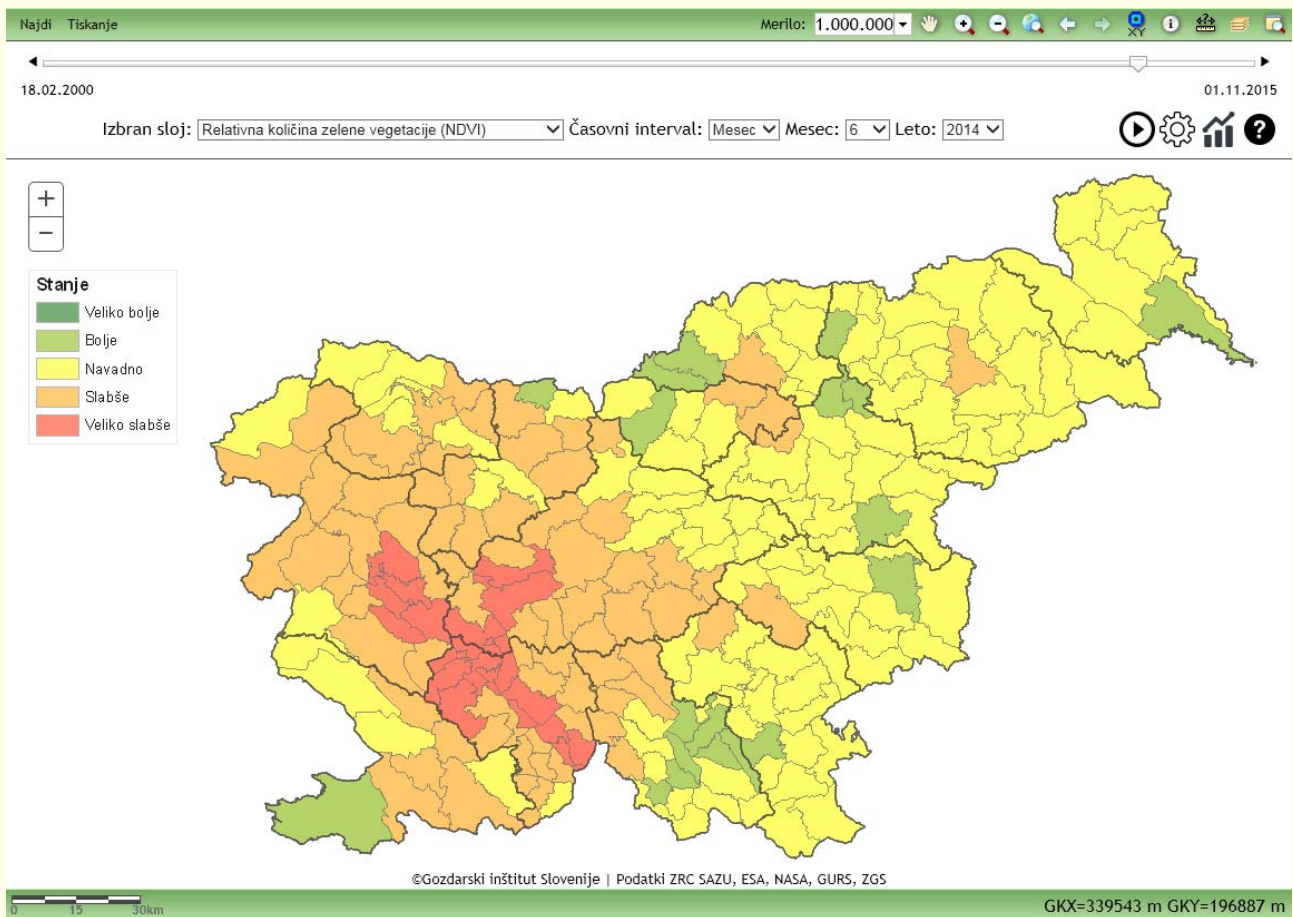
Zahvala

Zahvaljujemo se Zavodu za gozdove Slovenije za dovoljenje za uporabo podatkov o označenih drevesih za posek zaradi žledoloma in Znanstvenoraziskovalnemu centru Slovenske akademije znanosti in umetnosti za pripravo podatkov MODIS. Zahvaljujemo se recenzentu dr. Milanu Kobalu za konstruktivne pripombe, ki so bistveno izboljšale kakovost prispevka. Raziskava je nastala v okviru projekta Učinki žleda na gozdove glede na sestojne in talne značilnosti (CRP, V4-1422), ki sta ga financirala Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano ter Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS.

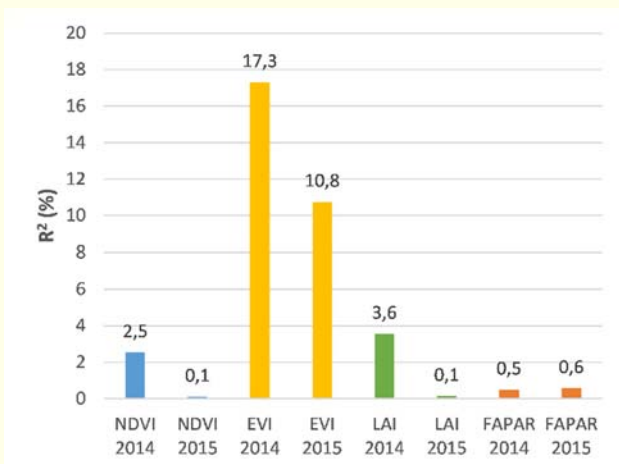
Viri

- Cegnar T. 2015a. Podnebne razmere v juliju 2014. Naše okolje 21, 7: 3–25
- Cegnar T. 2015b. Podnebne razmere v avgustu 2014. Naše okolje 21, 8: 3–25
- Gagolewski M., Tartanus B. 2015. R package stringi: Character string processing facilities. <http://stringi.r-examine.com/>. DOI:10.5281/zenodo.19071
- MKGP. 2015. Grafični podatki RABA za celo Slovenijo. Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. <http://rkg.gov.si/GERK/>
- Myneni R. 2012. MODIS LAI/FPAR Product User's Guide. NASA. <http://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/mod15.php>
- Ogris N., Andrej K., Čotar K. 2015. VegX – Vegetacijski indeksi v Sloveniji, spletna aplikacija in interaktivna karta. Gozdarski inštitut Slovenije, Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti. <http://www.zdravgozd.si/projekti/vegx/> (14. 12. 2015)
- R Core Team. 2015. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org>
- Ripley B., Lapsley M. 2015. RODBC: ODBC Database Access. R package version 1.3-12. <http://CRAN.R-project.org/package=RODBC>
- Solano R., Didan K., Jacobson A., Huete A. 2010. MODIS Vegetation Index User's Guide (MOD13 Series), Version 2.00. NASA. <http://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/mod13.php>
- ZGS. 2014a. Načrt sanacije gozdov poškodovanih v žledolomu 30. 1.–10. 2. 2014. Zavod za gozdove Slovenije. http://www.zgs.si/fileadmin/zgs/main/img/CE/varstvo/2014Ujma/Nacrt_sanacije_zled_2014.pdf (14. 12. 2015)
- ZGS. 2014b. Obseg škode v gozdovih zaradi žledoloma 31. 1.–9. 2. 2014: Količina poškodovanega lesa, predvidenega za posek. Zavod za gozdove Slovenije. http://www.zgs.si/slo/delovna_podrocja/varstvo_gozdov/sanacija_posledic_ujme_2014/index.html (14. 12. 2015)
- ZGS. 2015a. Timber – podatkovna zbirka o označenih drevesih za posek gozdnega drevja. Zavod za gozdove Slovenije (13. 12. 2015)
- ZGS. 2015b. Gozdni fondii – podatkovna zbirka o gozdovih 2014. Zavod za gozdove Slovenije

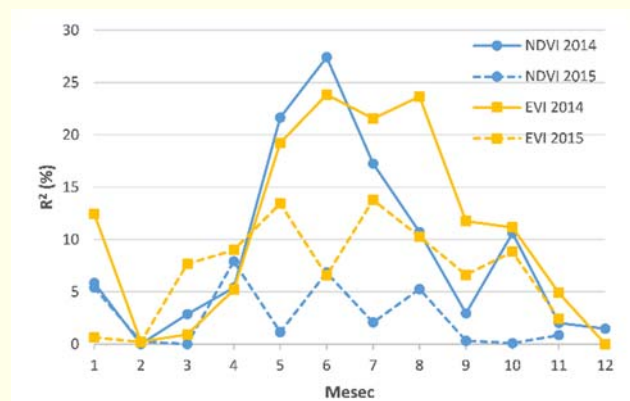
¹Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, 1000 Ljubljana; ²Center odličnosti Vesolje, znanost in tehnologije, Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana
nikica.ogris@gozdis.si



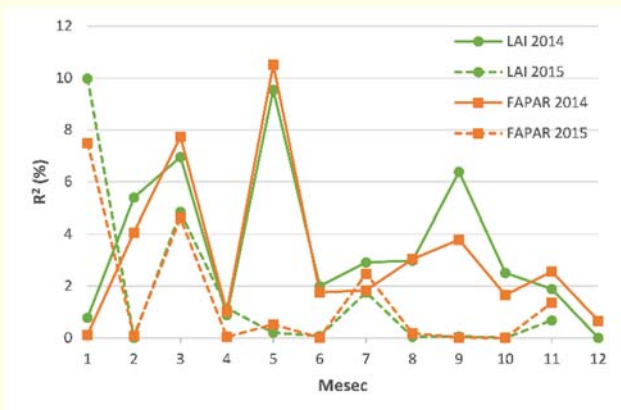
Slika 1: Normaliziran odklon od povprečja za vegetacijski indeks NDVI za junij 2014 na ravni GGE (iz spletne aplikacije VegX, Ogris in sod., 2015, <http://www.zdravgozd.si/projekti/vegx>)



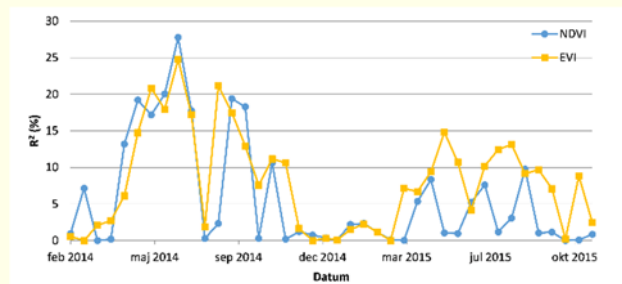
Slika 2: Koefficient determinacije za vegetacijske indekse NDVI, EVI, LAI in FAPAR v letu 2014 ter 2015



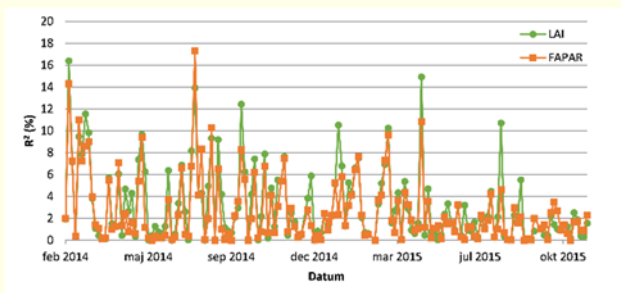
Slika 3: Koefficient determinacije za vegetacijska indeksa NDVI in EVI po mesecih v letu 2014 in 2015



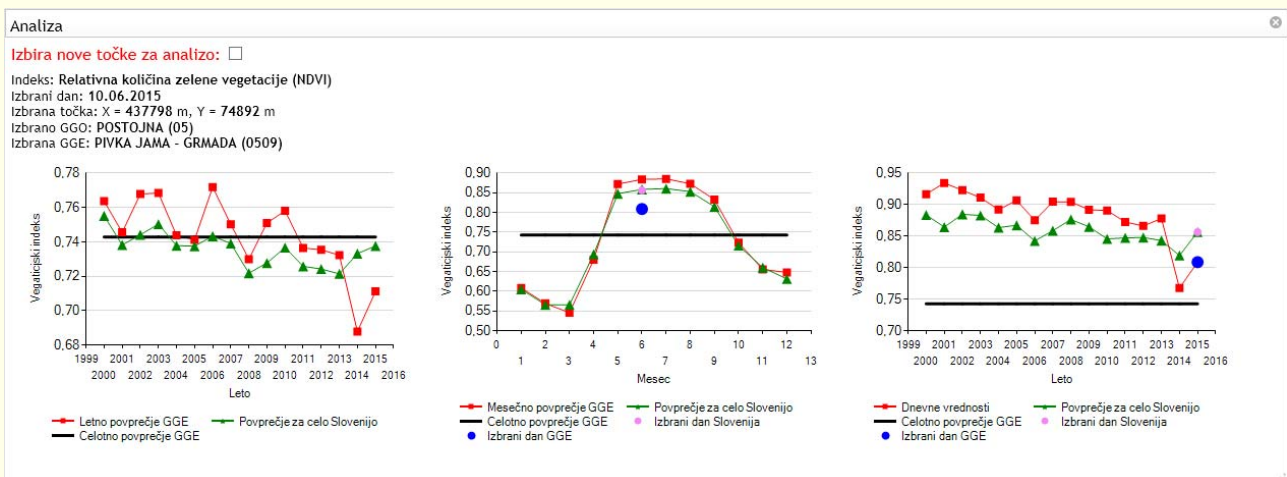
Slika 4: Koeficient determinacije za vegetacijska indeksa LAI in FAPAR po mesecih v letu 2014 in 2015



Slika 5: Koeficient determinacije za vegetacijska indeksa NDVI in EVI po dnevih v letu 2014 in 2015



Slika 6: Koeficient determinacije za vegetacijska indeksa LAI in FAPAR po dnevih v letu 2014 in 2015



Slika 7: Orodje za analizo vegetacijskega indeksa v treh časovnih ločljivosti (dan, mesec, leto) v okviru spletne aplikacije VegX