

Vegetacijski indeksi i njihova primjena u šumarstvu

Puškadija, Matea

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Forestry and Wood Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:108:669852>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-04**



Repository / Repozitorij:

[University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE
ŠUMARSKI ODSJEK

PREDDIPLOMSKI STUDIJ
ŠUMARSTVO

MATEA PUŠKADIJA

VEGETACIJSKI INDEKSI I NJIHOVA PRIMJENA U
ŠUMARSTVU

ZAVRŠNI RAD

ZAGREB, RUJAN, 2023.

Zavod:	Zavod za izmjeru, daljinska istraživanja i uređivanje šuma
Predmet:	Daljinska istraživanja i GIS u šumarstvu
Mentor:	doc. dr. sc. Jelena Kolić
Student:	Matea Puškadija
JMBAG:	0068234420
Akadska godina:	2022./2023.
Mjesto, datum obrane:	Rujan 2023. Zagreb
Sadržaj rada:	Broj slika: 8 Broj tablica: 1 Navoda literature: 21
Sažetak:	Vegetacijski indeksi su kvalitativne mjere, bazirane na digitalnim vrijednostima, koje procjenjuju biomasu ili zdravstveno stanje vegetacije. Računaju se na osnovi digitalnih brojeva pojedinih spektralnih kanala, te na multispektralnim satelitskim snimkama, navedeni indeksi uključuju brojčane kombinacije refleksija unutar različitih valnih dužina. U ovom radu će se dati pregled vegetacijskih indeksa koji se najčešće koriste u šumarstvu kao i njihova primjena.



IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

OB FŠDT 05 07

Revizija: 2

Datum: 29.04.2021.

„Izjavljujem da je moj završni rad izvorni rezultat mojega rada te da se u izradi istoga nisam koristila drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni“.

U Zagrebu, 9. 2023. godine

vlastoručni potpis

Matea Puškadija

SADRŽAJ

SAŽETAK.....	1
ABSTRACT.....	1
1 UVOD	2
2 VEGETACIJSKI INDESKI - OPĆENITO.....	3
3 VEGETACIJSKI INDESKI I NJIHOVA PRIMJENA U ŠUMARSTVU	4
3.1 NDVI - Indeks normalizirane razlike (engl. Normalised Difference Vegetative Index).....	5
3.2 NDRE - Indeks normalizirane razlike crvenog ruba (engl. <i>Normalized Difference Red Edge Index</i>).....	7
3.3 GNDVI - Zeleni vegetacijski indeks normalizirane razlike (engl. Green Normalised Difference Vegetative Index)	8
3.4 SAVI - Vegetacijski indeks prilagođen tlu (engl. <i>Soil- Adjusted Vegetation Index</i>) ..	9
3.5 OSAVI - Optimizirani vegetacijski indeks prilagođen tlu (engl. Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index).....	10
4 ZAKLJUČAK	172
5 LITERATURA	183

SAŽETAK

Vegetacijski indeksi su kvalitativne mjere, bazirane na digitalnim vrijednostima, koje procjenjuju biomasu ili zdravstveno stanje vegetacije. Računaju se na osnovi digitalnih brojeva pojedinih spektralnih kanala, te na multispektralnim satelitskim snimkama, ti indeksi uključuju brojčane kombinacije refleksija unutar različitih valnih dužina. U ovom radu će se dati pregled vegetacijskih indeksa koji se najčešće koriste u šumarstvu kao i njihova primjena.

Ključne riječi: vegetacijski indeksi, multispektralne satelitske snimke, primjena u šumarstvu

ABSTRACT

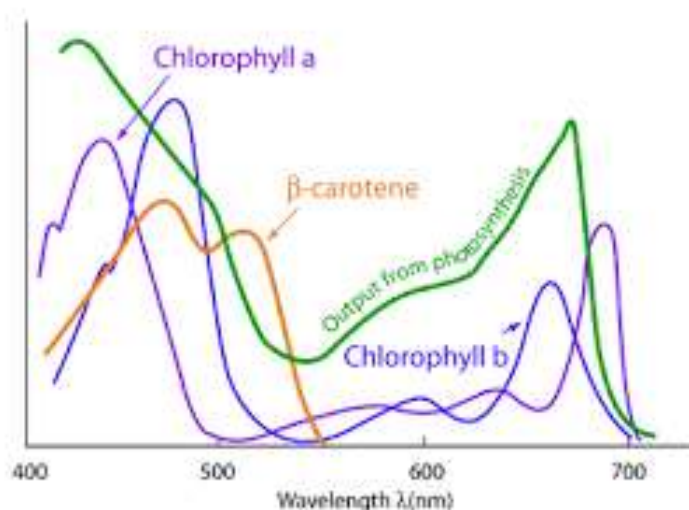
Vegetation indices are qualitative measures, based on digital values, which assess the biomass or health status of vegetation. They are calculated on the basis of digital numbers of individual spectral channels, and on multispectral satellite images, these indices include numerical combinations of reflections within different wavelengths. This paper will provide an overview of the vegetation indices that are most often used in forestry, as well as their application.

Keywords: vegetation indices, multispectral satellite images, application in forestry

2 VEGETACIJSKI INDESKI - OPĆENITO

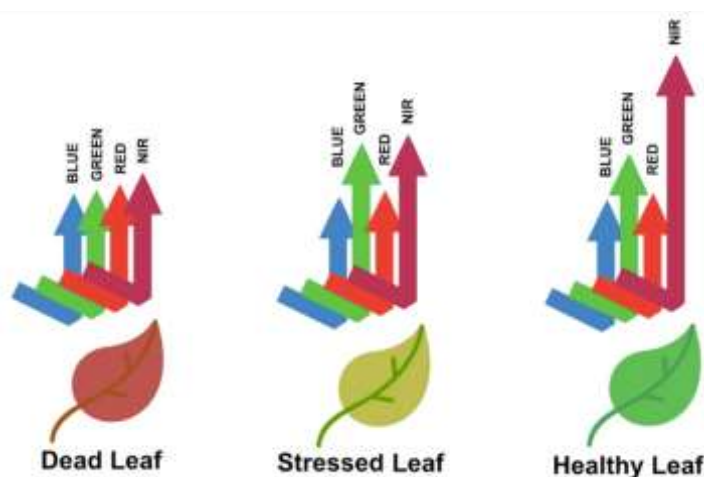
U literaturi postoji više od 150 različitih tipova vegetacijskih indeksa, a njihova primjenjivost uvelike ovisi o njihovoj specifičnoj primjenjivosti i reprezentativnosti za područje istraživanja (Rendulić i Jelušić 2022.). Neki od poznatih indeksa su: VI, NDVI, TNDVI, NDRE, VARI, SAVI, MSAVI2, TGI, SIPI2, LCI, BNDVI, GNDVI (Bugarin 2022).

Vegetacijski indeksi usko su povezani s razinom reflektirajućeg zračenja u blisko infracrvenom (NIR) i crvenom spektru, prate fotosintetsku aktivnost biljke (Slika 2) odnosno mjere fotosintetski aktivnu biomasu (FAB) i koriste se kao indikatori jačine i bujnosti vegetacije (Hall i dr. 2002, Rendulić i Jelušić 2022.).



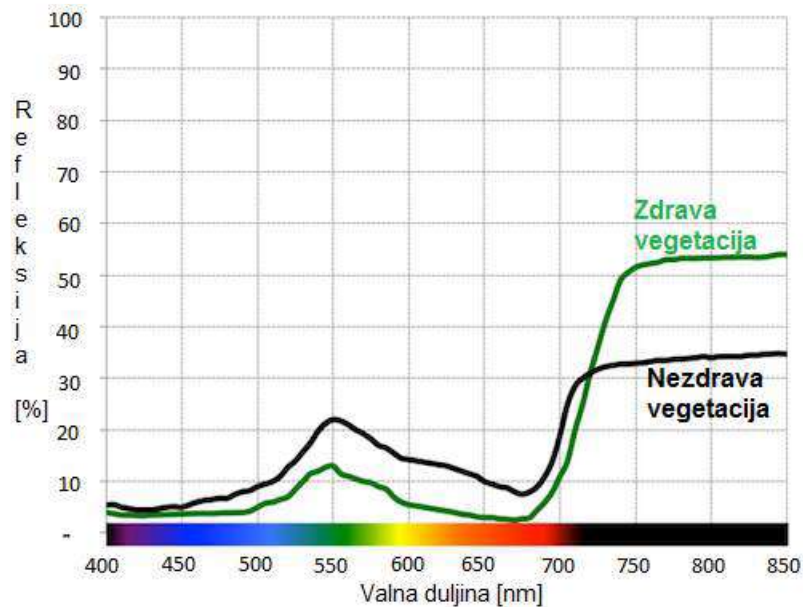
Slika 2. Upijanje svjetlosti prilikom fotosinteze (Izvor: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Biology/ligabs.html>)

Biljke sadrže klorofil koji najviše upija crveni i plavi dio spektra valnih duljina a reflektiraju zeleni dio pa su baš iz tog razloga zdrave biljke zelene boje (Slika 3).



Slika 3. Način reflektiranja elektromagnetskog zračenja kod biljaka različitog zdravstvenog stanja (izvor: <https://github.com/px39n/Awesome-Vegetation-Index>)

Osim zelenog dijela spektra i bliži infracrveni dio (skraćeno NIR od eng. *near infrared*), koji je nevidljiv ljudskom oku) se reflektira od površinu biljaka, a jačina refleksije ovisi o s zdravstvenom stanju u kojem se biljka nalazi – zdrava vegetacija – jača refleksija (Slika 3 i Slika 4) (Gabela i dr. 2016).



Slika 4. Refleksivnost elektromagnetskog zračenja zdrave i nezdrave vegetacije (Gabela i dr 2016.)

Do koje mjere će doći do upijanja i refleksije primarno ovisi o vrsti i gustoći vegetacije, zdravstvenom stanju, položaju i strukturi lišća, a sekundarno o pigmentu u lišću, debljini i strukturi stanica i iznosu slobodne vode u tkivu lišća (Bugarin 2022).

Pomoću vegetacijskih indeksa moguće je pratiti stanje vegetacije kroz dulji niz godina i zabilježiti promijene kao što su napadi štetnika, rano otkrivanje bolesti, sadržaj vode u biljkama ili utvrđivanje stresa u biljkama (Božić 2022).

3 VEGETACIJSKI INDESKI I NJIHOVA PRIMJENA U ŠUMARSTVU

Neki od vegetacijskih indeksa koji se češće koriste su šumarstvu prikazani su u tablici 1., zajedno s pripadajućim matematičkim izrazima prema kojima se pojedini vegetacijski indeks izračunava (Rendulić i Jelušić 2022.):

Tablica 1. Nazivi i kratice nekih vegetacijskih indeksa s pripadajućim formulama

Naziv vegetacijskog indeksa	Kratice	Matematički izraz
Indeks normalizirane razlike (engl. <i>Normalised Difference Vegetative Index</i>)	NDVI	$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$
Indeks normalizirane razlike crvenog ruba (engl. <i>Normalized Difference Red Edge Index</i>)	NDRE	$NDRE = \frac{NIR - RE}{NIR + RE}$
Zeleni vegetacijski indeks normalizirane razlike (engl. <i>Green Normalised Difference Vegetative Index</i>)	GNDVI	$GNDVI = \frac{NIR - G}{NIR + G}$
Vegetacijski indeks prilagođen tlu (engl. <i>Soil-Adjusted Vegetation Index</i>)	SAVI	$SAVI = \frac{NIR - R}{NIR + R + L} \times (1 + L)$
Optimizirani vegetacijski indeks prilagođen tlu (engl. <i>Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index</i>)	OSAVI	$OSAVI = \frac{(NIR - R)}{NIR + R + 0,16}$

3.1 NDVI - Indeks normalizirane razlike (engl. *Normalised Difference Vegetative Index*)

Ovaj indeks prvi put je koristio Rouse 1973. godine na tekšaškom sveučilištu u centru za daljinska istraživanja. Radi se o najpoznatijem i najviše korištenom vegetacijskom indeksu za određivanje regionalnih i globalnih karakteristika vegetacije i praćenje rasta i bujnosti (Xue i Su 2017, Rendulić i Jelušić 2022). Koristi se za mjerenje aktivnosti klorofila u biljkama, što je u izravnom razmjeru s zasićenosti biljaka dušikom te općenitom zdravljem, a u šumarstvu se koristi za kvantificiranje indeksa šumske raznolikosti. (Bugarin 2022).

Sam izračun indeksa temelji se na mjerenjima refleksije u crvenom (R) i blisko infracrvenom (NIR) dijelu elektromagnetskog spektra i izražava se kao broj između -1 i +1 pa će bujnija vegetacija imati vrijednosti bliže 1, a manje bujna bliže nula dok se negativne vrijednosti indeksa gotovo nikada ne pojavljuju na lokalitetima pokrivenim vegetacijom (Hall i dr. 2002, Rendulić i Jelušić 2022). Nula je područje gologa tla i kamena, a negativne vrijednosti predstavljaju vodu, snijeg i oblake, dok vrijednosti blizu jedan (0,8 – 0,9 μm) upućuju na to da je riječ o vegetaciji velike gustoće (Vela, E. i dr. 2017.).

NDVI indeks definiran je sljedećim izrazom:

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

U tom izrazu, RED i NIR predstavljaju refleksiju od površine u vidljivom crvenom (RED) i bliskom infracrvenom (NIR) području elektromagnetskog spektra. NDVI predstavlja razliku između zračenja bliskih infracrvenih (NIR) i crvenih (RED) valnih duljina koje emitira vegetacija podijeljeno njihovim zbrojem. Ovaj indeks je kreiran na osnovu spektralnih svojstava klorofila čije molekule imaju apsorpcijske maksimume u plavom (B) (431 nm i 453 nm) i crvenom (R) kanalu (667 nm i 642 nm), a apsorpcijske minimume u zelenom (G) i bliskom infracrvenom (NIR) kanalu (Bugarin 2022).



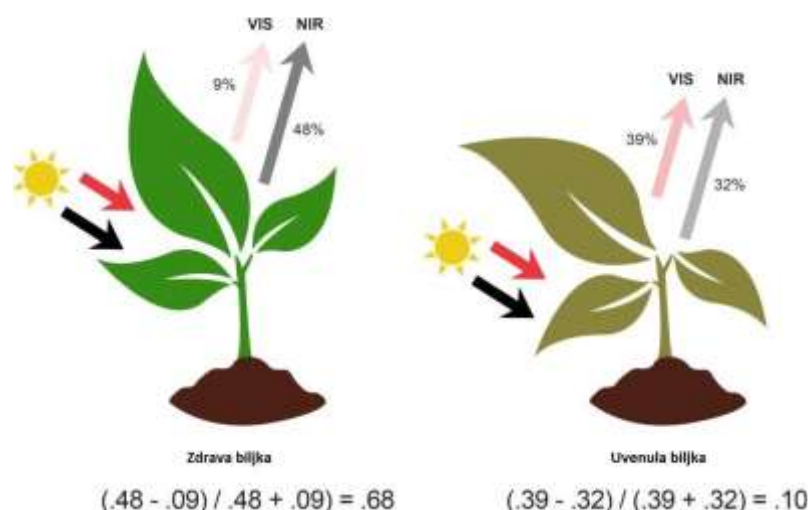
Slika 5. Razlika u apsorpciji valnih duljina između zdravog i nezdravog stabla

U šumarstvu je to bitno jer zdrave biljke u izračunu predstavljaju veću razliku između crvenog i infracrvenog spektralnog kanala i imaju veći indeks, dok bolesne biljke ili one koje pate od stresa imaju puno veću refleksiju crvenog dijela spektra i manju vrijednost indeksa koja ukazuju na smanjenje fotosintetske aktivnosti vegetacije ili da se jednostavno radi o vodenim ili sličnim površinama (Slika 5, Slika 6).

Različite studije pokazuju kako je NDVI indeks vrlo učinkovit za razlikovanje gustih šuma (Matushita i dr. 2007), prepoznavanje poljoprivrednih polja, određivanje zimzelenih šuma u odnosu na listopadne vrste šuma i druge aktivnosti vezane uz šumarstvo, granu djelatnosti na koju otpada čak trećina istraživanja vezanih uz korištenje NDVI indeksa (Huang i dr. 2021, Marinović 2022).

U šumarstvu NDVI pronalazi svoju primjenu za procjenjivanje i praćenje:

- dinamike vegetacije i životnih ciklusa biljaka,
- stvaranja biomase,
- utjecaja ispaše stoke ili svojstava povezanih s upravljanjem ispašom,
- promjena stanja vegetacije (zbog utjecaja čovjeka ili zbog pojava kao što su šumski požari),
- zona zdrave vegetacije,
- količine vegetacije,
- klasifikacija vegetacije, odnosno pokrova tla,
- vlažnosti u zemlji...



Slika 6. Primjer izračuna NDVI indeksa (Bugarin 2022.)

S druge strane NDVI ima i nedostatke jer je normirani bazirani indeks nelinearan i podložan je utjecaju dodatnih šumovi kao što je atmosfersko zračenje, također postoje i problemi kod skaliranja kod zasićenih signala u područjima guste biomase (Jensen 1996, Sabo i dr. 2014).

3.2 NDRE - Indeks normalizirane razlike crvenog ruba (engl. *Normalized Difference Red Edge Index*)

Indeks normalizirane razlike je modificirani NDVI indeks (Slika 7) u kojem je crveni spektralni dio kanal RED zamijenjen spektralnim kanalom crvenog svijetlog ruba RE koji je znatnije osjetljiviji na varijacije klorofila. Općenito, to je spektralni indeks dobiven kombinacijom nekoliko spektralnih kanala. Pouzdan je pokazatelj zdravstvenog stanja vegetacije posebno kada je u listovima visoka razina klorofila, ali tek u srednjoj i kasnijoj fazi rasta biljki (Bugarin 2022.)

NDRE se računa prema sljedećem izrazu:

$$NDRE = \frac{NIR - RE}{NIR + RE}$$

Primjena NDRE u šumarstvu je korisna utoliko što daje intenzivan prikaz stanja prilikom praćenje stanja vegetacije koja se nalazi u srednjim i starijim razvojnim fazama, tj. kada se nakuplja najveća količina klorofila. Također, NDRE je pogodan za praćenje vegetacije u svim godišnjim dobima jer ne dolazi do zasićenja tijekom najveće akumulacije klorofila u biljkama.



Slika 7. Vizualna razlika između NDVI/NDRE vegetacijskog indeksa (Bugarin 2022)

Mnogobrojni znanstvenici (Barnes i dr. 2000, Marx i Kleinschmit 2017, Boiarskii i Hasegawa 2019, Jorge i dr. 2019, Morlin-Carneiro i dr. 2020) predlažu mišljenje da upravo ovaj indeks pokazuje najbolje rezultate u odnosu na druge i da se NDRE treba češće koristiti.

3.3 GNDVI - Zeleni vegetacijski indeks normalizirane razlike (engl. *Green Normalised Difference Vegetative Index*)

GNDVI je sličan kao NDVI, ali umjesto crvenog kanala koristi zeleni jer se pokazalo da je zeleni kanal osjetljiviji na klorofil od crvenog. (Yoder i Waring 1994, Vela i dr. 2017).

Računa se prema sljedećem matematičkom izrazu:

$$\text{GNDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{G}}{\text{NIR} + \text{G}}$$

Koristan je za proučavanje različitih tipova vegetacije, a u šumarstvu se može koristiti za razlikovanje zdrave i nezdrave vegetacije, određivanje unosa vode i dušika u krošnju biljaka što služi za rano otkrivanje i sprječavanje štetnih nametnika. (Shanahan i dr. 2001, Marinović R. 2022.).

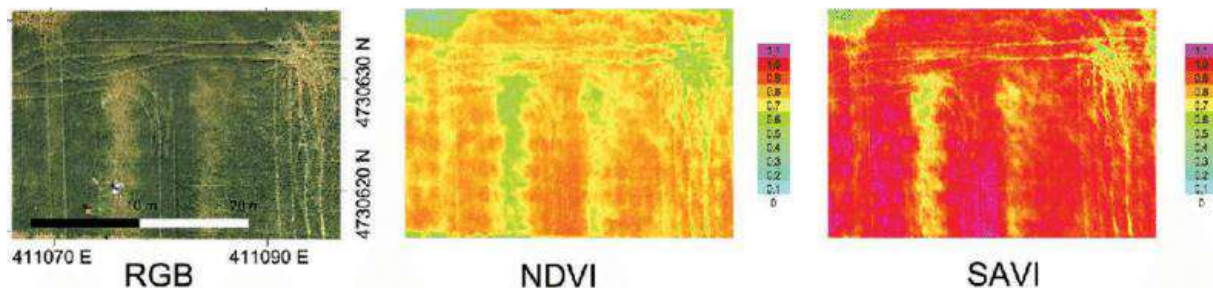
3.4 SAVI - Vegetacijski indeks prilagođen tlu (engl. *Soil- Adjusted Vegetation Index*)

SAVI predstavlja prilagođeni NDVI koji ima iste vrijednosti kao NDVI, ali se koristi kada je potrebno otkloniti utjecaj atmosfere i tla na snimci sa smanjenim vegetacijskim pokrovom (Vela, E. i dr. 2017), a usporedba vegetacijskih indeksa NDVI i SAVI je vidljiva na slici 8.

Matematički izraz koji se koristi za SAVI je:

$$SAVI = \frac{NIR - R}{NIR + R + L} \times (1 + L)$$

U prikazanoj formuli L označava korekcijski koeficijent za određenu vrstu tla i može iznositi od 0, gdje je prisutnost tla velika, do 1 što predstavlja veliku pokrivenost vegetacijom. Dok se sama vrijednost indeksa kreće se od -1 do 1 gdje manja vrijednost označava i manju prisutnost vegetacije (Bugarin 2022).



Slika 8. Usporedba RGB s NDVI i SAVI indeksa u sivoj skali tonova (Bugarin 2022.)

U šumarstvu SAVI je najpogodniji indeks za vegetaciju u poluaridnim područjima (Vani i Ravibabu Mandla 2017).

3.5 OSAVI - Optimizirani vegetacijski indeks prilagođen tlu (engl. *Optimized Soil- Adjusted Vegetation Index*)

Ovaj vegetacijski indeks nije puno korišten, a ujedno je i najmanje istražen. Ipak, u nekim se istraživanjima pokazao koristan za procjenu vodnog stresa, sadržaja klorofila i količine zelene biomase.

Tako su, Fern i dr. (2018) koristili vegetacijske indekse (NDVI i OSAVI) za procjenu vrste pokrova i količine zelene mase na pašnjacima u polusušnim područjima Teksasa (SAD). Zaključili su kako je OSAVI indeks, dobiven satelitskim snimkama (Landsat 8-OLI), najbolji za detekciju vrste pokrova i količine zelene mase jer je uspješno detektirao travnati i drvenasti pokrov, kao i tlo bez vegetacije (preciznost više od 95%) te je minimizirao utjecaj visoke razine varijabilnosti tla na analizu vegetacije (Rendulić Jelušić 2022).

Formula za izračun OSAVI indeksa je:

$$OSAVI = \frac{(NIR - R)}{NIR + R + 0,16}$$

Osim navedenih vegetacijskih indeksa, postoji još mnogo vegetacijskih indeksa koji se mogu koristiti, ali nemaju širu primjenu u šumarstvu, pa tako imamo:

- **EVI indeks – Poboljšani indeks vegetacije**

Poboljšani indeks vegetacije (EVI - eng. Enhanced Vegetation Index) je vrlo sličan NDVI indeksu, ali za razliku od NDVI, koristi i plavi kanal kako bi se poboljšala osjetljivost na refleksiju biljke. Osim bližeg infracrvenog, crvenog i plavog spektralnog kanala, u izračun se uvrštavaju i koeficijenti koji se odnose na korekciju aerosoli. Vrijednosti EVI indeksa se kreću u rasponu od -1 do +1.

EVI indeks u šumarstvu se može koristiti za praćenje izrazito bujnih vegetacija, kao što su na primjer prašume.

- **RECI indeks**

Vegetacijski indeks RECI (eng. Red-Edge Chlorophyll Vegetation Index) ukazuje na sadržaj klorofila u listovima koji je direktno povezan s količinom dušika u biljkama. Za izračun ovoga indeksa u obzir se uzimaju samo bliži infracrveni i crveni spektralni kanal.

RECI indeks se u šumarstvu može koristiti za vrijeme vegetacijskog razdoblja kada i daje najpreciznije rezultate. Prikladan je za korištenje npr. u rasadnicima budući da je pomoću njega moguće detektirati manjak dušika u biljkama.

- **NDWI indeks**

NDWI (eng. Normalized Difference Water Index) vegetacijski indeks se koristi kako bi se maksimalno pojačala refleksija vode. Za izračun se koristi zeleni i bliži infracrveni kanal elektromagnetskog spektra. Kod vodenih površina vrijednosti indeksa su pozitivne, dok su kod vegetacije i tla vrijednosti nula ili negativne.

- **NDMI indeks**

NDMI (eng. Normalized Difference Moisture Index) vegetacijski indeks prikazuje intezitet stresa biljaka koji je prouzrokovan sušom. Njegove vrijednosti se kreću od -1 do +1 gdje -1 - golo tlo, bez vegetacije, a +1 - pokrivenost tla vegetacijom, bez vodenog stresa.

- **GCI indeks**

GCI (eng. Green Chlorophyll Vegetation Index) indeks se koristi za procjenu sadržaja klorofila u biljkama. Za izračun ovoga indeksa u obzir je potrebno uzeti bliži infracrveni i zeleni kanal elektromagnetskog spektra.

Moguća primjena u šumarstvu je za praćenje sezonskih promjena u vegetaciji.

4 ZAKLJUČAK

Vegetacijski indeksi omogućuju bolje razumijevanje i praćenje promjena koje nastaju u vegetaciji. Promijene na vegetaciji se mogu pratiti u smislu kvantitete i kvalitete, a rezultati istraživanja i praćenja mogu poslužiti za bolje i prilagođeno upravljanje i zaštitu šumskih resursa. Jedna od najvažnijih prednosti i koristi vegetacijskih indeksa je rano opažanje bolesti šumske vegetacije, a najkorišteniji indeksi u šumarstvu su NDVI i NDRE.

S obzirom na teške izazove u šumarstvu koji se već sad događaju, ali i koji će se, zbog klimatskih promjena, događati u budućnosti, vegetacijski indeksi će sigurno imati sve veću primjenu.

U budućnosti šumarstva vegetacijski indeksi će pronaći dobru primjenu i u rasadnicima, plantažama i kulturama jer, upotrebom vegetacijskih indeksa, smanjuje se nepotreban unos pesticida, te njihova primjena pomaže u ranom otkrivanju stresa i bolesti mladih biljaka.

5 LITERATURA

1. Barnes, E. M., Clarke, T. R., Richards, S. E., Colaizzi, P. D., Haberland, J., Kostrzewski, M., Moran, M. S. (2000): Coincident detection of crop water stress, nitrogen status and canopy density using ground based multispectral data. *Proceedings of the Fifth International Conference on Precision Agriculture, Bloomington*
2. Božić 2022: Što su vegetacijski indeksi, koji su i čemu služe? <https://www.agroklub.com/poljoprivredne-vijesti/sto-su-vegetacijski-indeksi-koji-su-i-cemu-sluze/76027/> (pristupljeno 22.9.2023.)
3. Boiarskii, B., Hasegawa, H. (2019). Comparison of NDVI and NDRE Indices to Detect in Vegetation and Chlorophyll Content. *J. Mech. Cont.& Math. Sci., Special Issue 4: 20-29.* doi: 10.26782/jmcms.spl.4/2019.11.00003.
4. Bugarin N. (2022.), Daljinska istraživanja i računalni vid u analizi slika voćnjaka prikupljenih bespilotnom letjelicom, Kvalifikacijski ispit, Sveučilište u Splitu, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje
5. Fern, R., Foxley, E., Bruno, A., Morrison, M. (2018). Suitability of NDVI and OSAVI as estimators of green biomass and coverage in a semi-arid rangeland. *Ecol Indic* 94: 16-21. doi: 10.1016/j.ecolind.2018.06.029.
6. Gabela J., Ivić M., Jovanović N. (2016.), Analiza vegetacijske aktivnosti pomoću NDVI metode upotrebom geostatističkih alata, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet
7. Hall, A., Lamb, D.W. Holzappel, B., Louis, J. (2002). Optical remote sensing applications in viticulture - a review. *Aust J Grape Wine Res* 8 (1): 36-47. doi: 10.1111/j.1755-0238.2002.tb00209.x.
8. Huang, S., Tang, L., Hupy, J. P., Wang, Y., Shao, G. (2021): A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. *Journal of Forestry Research*, 32, 1-6.
9. Jensen, R. J., (1996), *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*, Prentice Hall.
10. Jorge, J., Vallbé, M., Soler, J. A. (2019). Detection of irrigation inhomogeneities in an olive grove using the NDRE vegetation index obtained from UAV images. *Eur J Remote Sens* 52 (1): 169-177. doi: 10.1080/22797254.2019.1572459.
11. Krevh 2018
12. Lillesand i Kiefer 1994
13. Marinović J. Geoprostorne tehnologije u analizi vegetacijskih indeksa na primjeru krošanja Lunjskih maslinika, Diplomski rad, Sveučilište u Zadru, Diplomski jednopredmetni sveučilišni studij primijenjene geografije
14. Marx, A., Kleinschmit, B. (2017): Sensitivity analysis of RapidEye spectral bands and derived vegetation indices for insect defoliation detection in pure Scots pine stands. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 10(4), 659. Matushita i dr. 2007 Morlin-Carneiro i dr., 2020
15. Rendulić Jelušić, I. (2022.), Primjena vegetacijskih indeksa u kvalitativnom zoniranju vinograda i povećanju ekonomičnosti vinogradarske proizvodnje, Doktorski rad, Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet

16. Sabo, F., Pavlović, S., Popović, D. (2014): Veza između vegetacijskih indeksa i detekcije šuma na osnovi Landsat 5 snimki, *Ekscentar*, br. 17 (58-61)
17. Shanahan, J. F., Schepers, J. S., Francis, D. D., Varvel, G. E., Wilhelm, W. W., Tringe, J. M., Major, D. J. (2001): Use of remote-sensing imagery to estimate corn grain yield. *Agronomy Journal*, 93(3), 583-589.
18. Vani, V. i Ravibabu Mandla, V. 2017: Comparative study of NDVI and SAVI vegetation indices in Anantapur district semi-arid areas, *IJCIET (International Journal of Civil Engineering and Technology)*, 8, 4, 559 – 566.
19. Vela, E. i dr. (2017.), Geostatistička analiza vegetacijskih indeksa na šumskom ekosustavu Česma, *Geodetski list* 1 (25–40)
20. Xue, J, Su, B. (2017). Significant Remote Sensing Vegetation Indices: A Review of Developments and Application. *J Sens* 2017(1):1-17. doi: 10.1155/2017/1353691.
21. Yoder, B. J., Waring, R. H. (1994): The normalized difference vegetation index of small Douglas-fir canopies with varying chlorophyll concentrations, *Remote Sensing of Environment*, 49(1), 81–91.

WEB:

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Biology/ligabs.html> (Pristupljeno 22.9.2023.)

<https://github.com/px39n/Awesome-Vegetation-Index> (Pristupljeno 22.9.2023).