

**DETEKCIJA STRESA U POLJU KORIŠĆENJEM DALJINSKOG UZORKOVANJA U POLJOPRIVREDI
FIELD STRESS DETECTION USING REMOTE SENSING IN AGRICULTURE**

Cvetković Nikola, Dobrota Milan, Đoković Aleksandar, Dragović Nebojša

REZIME: One of the global challenges facing the world today is the question of how to produce enough food for the population which grows year to year. Considering the limitations of arable land, the solution represents the improvement of the process of production and growing plants. The expansion of “precision agriculture”, whose basic element is remote sensing, as a method of collecting information from the ground without physical contact with it, has enabled a significant improvement in the process of plants growing in the field of crop monitoring. By analyzing digital images, certain information is collected from the sensor that contains a part of the electromagnetic spectrum. By studying various changes in the value of the electromagnetic spectrum, it is possible to make certain conclusions about the condition of the crops on the arable surface. This paper presents an algorithm for the detection of crop stress in the field, based on the supervised classification that requires the selection of segments of the picture that represent a healthy plant. The algorithm is based on the extraction of the vegetation index values (VI's) from the selected segments of the digital image, and then the creation of appropriate vegetation index histograms of a healthy plant. The resulting histograms are then compared with the histograms of all other segments of the image, where differences in the values of vegetation index manifest themselves as stress in the field.

KLJUČNE REČI: agriculture, remote sensing, stress detection, vegetation index, precision agriculture

ABSTRACT: Jedan od globalnih izazova sa kojima se današnji svet susreće, predstavlja pitanje kako proizvesti dovoljnu količinu hrane za populaciju koja raste iz godine iz godinu. S obzirom na ograničenost obradivog zemljišta, rešenje predstavlja unapređenje samog procesa proizvodnje i gajenja biljaka. Ekspanzija “precizne poljoprivrede” čiji osnovni element čini daljinsko uzorkovanje, kao metod prikupljanja informacija sa tla bez fizičkog kontakta sa njim, omogućila je znatno unapređenje procesa gajenja biljaka u domenu praćenja stanja useva. Analizom digitalnih slika izvlače se određene informacije prikupljene senzorom koje u sebi sadrže deo elektromagnetnog spektra. Studiranjem različitih promena vrednosti elektromagnetnog spektra, moguće je doneti određene zaključke o stanju useva na obradivoj površini. U ovom radu prikazan je algoritam za detekciju stresa na polju u čijoj osnovi se nalazi nadgledana klasifikacija koja zahteva selekciju segmenata na slici koji predstavljaju zdravu biljku. Algoritam se bazira na ekstrakciji vrednosti vegetativnih indeksa (VI) iz izabranih segmenata digitalne slike, a potom i kreiranja odgovarajućih histograma vegetativnih indeksa zdrave biljke. Ovako dobijeni histogrami potom se upoređuju sa histogramima svih ostalih segmenata slike, gde se razlike u vrednostima vegetativnih indeksa manifestuju kao stres u polju.

KEY WORDS: poljoprivreda, daljinsko uzorkovanje, detekcija stresa, vegetativni indeksi, precizna poljoprivreda

1. UVOD

Trenutna situacija vezana za globalnu sigurnost hrane predstavlja jedan od najvećih problema u vremenu u kojem živimo. Odnos između tražnje za hranom koja je u konstantnom porastu i globalne ponude hrane je uznemiravajući. Iz godine u godinu, neophodno je proizvesti sve veću količinu hrane i sirovina koje će predstavljati input u dalji proces proizvodnje hrane, a sve sa ciljem zadovoljavanja potreba rastuće populacije. S obzirom da klimatske promene igraju veliku ulogu u proizvodnom procesu, neophodno je koristiti efikasnije metode proizvodnje hrane. Takođe, jedan od ograničavajućih faktora predstavlja i ograničenost obradive površine, što iziskuje korišćenje njenog punog potencijala na najbolji mogući način. Strange i Scott (2005) objasnili su da zaštita biljaka u globalu i zaštita useva od raznih bolesti igraju bitnu ulogu u zadovoljavanju rastuće tražnje za kvalitetom i kvantitetom hrane. Oerke, E.C., (2006) otkrio je da bakterije, virusi, korov i životinje predstavljaju direktan uzrok gubitku prinosa. On navodi da su oni odgovorni za gubitak između 20 i 40 procenata globalnog prinosa. Zadoks, J. C., (1967) objašnjava da su gubici usled pesticida i patogena direktni kao i indirektni, kako sa kratkoročnim, tako i sa dugoročnim posledicama. S obzirom da su poljoprivredne površine veoma velike, obično nije moguće fizički obići čitavo polje u nameri detekcije svih bolesti biljaka

koje se na njemu nalaze. Međutim, sa pronalaskom i razvojem daljinskog uzorkovanja u poljoprivredi i korišćenjem bespilotnih vazdušnih letelica (UAV) kako bi se prikupili podaci sa tla, ovaj problem je prevaziđen. Sada je moguće prikupiti informacije o velikim površinama za vrlo kratko vreme i veoma niske troškove. Kako svaki objekat na zemlji, usled sunčevog zračenja, emituje određenu energiju kao deo elektromagnetnog spektra, korišćenjem daljinskog uzorkovanja moguće je prikupiti informacije o određenoj površini koja nosi deo elektromagnetnog spektra. Analiziranjem prikupljenih podataka mogu se uočiti promene u elektromagnetnom spektru. Merenjem ovih promena i istraživanjem njihovih veza, dobijaju se podaci o zdravlju biljaka.

Pregled literature u domenu daljinskog uzorkovanja je veoma obiman. Ova metoda se intenzivno koristi u različitim oblastima kako bi se prikupile slike bez fizičkog kontakta sa objektom. Suresh, S. i drugi (2018) u svom istraživanju objasnili su kako poboljšati proces daljinskog uzorkovanja, prikupljanjem kvalitetnijih slika putem satelita. Daljinsko uzorkovanje svoju primenu pronalazi u raznim oblastima kao što su geologija, građevinarstvo, okeanografija, proceni štete itd. U jednom radu, Rathje i Franke, (2016) upotrebom daljinskog uzorkovanja uspešili su da dokumentuju obrasce oštećenja i kretanje zemlje usled zemljotresa. Međutim, najznačajnija primena da-

ljinskog uzorkovanja pronađena je u poljoprivredi. Prednosti korišćenja daljinskog uzorkovanja u poljoprivredi nasuprot tradicionalnih načina upravljanja obradivom površinom opisani su na primeru detekcije stresa u pšenici od strane Wright Jr., D.L. i drugih. (2005). Sa pojavom bespilotnih letelica, upotreba daljinskog uzorkovanja doživela je veliku ekspanziju. Mnogi autori (Konar i Iken, 2017; Omar i ostali, 2017; Xue i ostali, 2016) predstavili su moguće primene bespilotnih letelica i pogodnosti koje je moguće ostvariti njihovom primenom, kao što su praćenje plime i oseke, nadzor izgradnje betonskih mostova i razvoj sistema za automatsko raspršivanje. Primena daljinskog uzorkovanja u poljoprivredi pronađena je zahvaljujući multispektralnim slikama koje se koristi za izdvajanje vegetativnih indeksa. U svom radu, Berni, J. i ostali (2009) objasnili su kako se korišćenjem multispektralnih slika mogu izvući informacije o vegetaciji i stresu biljaka. McDonald, A. J. i ostali (1998) evaluirali su različite vegetativne indekse prikupljene multispektralnim kamerama na četinarskim šumama. Kombinacijom multispektralnih slika i tehnologije u daljinskom uzorkovanju moguće je detektovati probleme u zdravlju drveća i primenu pesticida u proizvodnji citrusa, kao što su opisali Du., Q., i ostali (2008). Jannoura, R., i ostali (2015) ističu veliku primenu daljinskog uzorkovanja u poljoprivredi poslednjih godina, i ističu upotrebu vegetativnih indeksa kako bi se pratile promene u stanju useva, biomase i koncentracije hlorofila. Neki vegetativni indeksi dobijaju se kombinovanjem refleksije u vidljivom i infracrvenom delu spektra (npr. NDVI), dok se drugi mogu dobiti samo korišćenjem vidljivog dela spektra (GRVI, NGRDI). Dobijeni pokazatelji se potom primenjuju kako bi se pratila fenologija, odredila biomasa i status hraniva za lokalizovano suzbijanje korova.

Kada je u pitanju poljoprivreda, Ballesteros, R. i ostali (2014) otkrili su da se pravilna upotreba slika visoke rezolucije koje su dobijene daljinskim uzorkovanjem može smatrati kao korisno sredstvo za precizno praćenje rasta i razvoja useva, potreba za vodom, proizvodnje prinosa, zaraze korovom i insektima i ostalog. Upotreba vegetativnih indeksa stvorila je brojne mogućnosti za praćenje stanja useva na polju. Gitelson i Merzlyak (1998) upotreбили su vegetativne indekse kako bi odredili koncentraciju hlorofila u višim listovima biljaka dok su ih Zhuang, S. i ostali (2017) upotreabili kako bi detektovали stres od vode u ranim fazama uzgoja biljaka. Candiago, S. i ostali (2015) pomoću multispektralnih podataka, a korišćenjem vegetativnih indeksa vršili su analizu useva, vinograda i paradajza. Predmet njihovog istraživanja obuhvata: planiranje fotogrametrije i obrade multispektralnih podataka prikupljenih pomoću bespilotnih letelica, generisanje ortofotografija visoke rezolucije, identifikaciju i maskiranje pozadinskog zemljišta, generisanje različitih vegetativnih indeksa i na kraju njihovu statističku analizu. Kao krajnji cilj istraživanja navodi se diskriminacija vegetacije istih useva na različitim VI bez korišćenja radiometrijskih merenja sa zemlje.

Pérez-Ortiz, i drugi (2015), u svom istraživanju opisuju sistem za mapiranje korova na osnovu slika prikupljenih bespilotnim letelicama. U preciznoj poljoprivredi, kontrola korova bazira se na projektovanju lokacijsko-specifičnih kontrolisanih

tretmana na osnovu zastupljenosti korova. Ovakav sistem obuhvata tehnike klasifikacije za pridruživanje svakog piksela nekoj od klasa koje predstavljaju usev, zemljište ili korov. Hague, T., Tillett, N. D., i Wheeler, H. (2006) bavili su se sličnim problemom. Oni su vršili segmentaciju transformisane slike u delove zemljišta i vegetacije korišćenjem jednog fiksiranog praga vrednosti. Upotrebom algoritma za robusno lociranje redova useva, zone procene nivoa useva se automatski pozicioniraju. Potom se odnos prebrojanih piksela useva i korova poredi sa ručnom procenom gustine oblasti, na osnovu drugih slika visoke rezolucije. Kada je reč o detekciji stresa u polju, u većini radova se za klasifikaciju koristi *k-means* algoritam. Badnakhe i Deshmukh (2011) u svom istraživanju primenili su *k-means* algoritam zajedno sa veštačkom inteligencijom kako bi izvršili detekciju bolesti useva. Takođe, Cheng, H., i ostali (2013) u svom radu primenili su *k-means* algoritam za segmentaciju slike. Dalja istraživanja otkrila su postojanje velikog broja algoritama za detekciju stresa, obično specijalizovanih za određeni tip stresa u polju.

Rad je strukturiran na sledeći način: nakon uvoda, drugo poglavlje posvećeno je metodologiji i algoritmu koji se koristi za detekciju stresa na obradivom zemljištu. Treće poglavlje odnosi se na primenu prikazanog algoritma kako bi se izvršila detekcija stresa na polju pšenice. U četvrtom poglavlju dat je zaključak i smernice za dalje istraživanje u ovoj oblasti.

2. METODOLOGIJA

Daljinsko uzorkovanje predstavlja proces prikupljanja informacija o objektu ili pojavi bez fizičkog kontakta sa njom. Ova metodologija pronašla je primenu u raznim oblastima uključujući fotografiju, geodeziju, geologiju, šumarstvo, građevinu i ostalo. Takođe, zbog svoje mogućnosti da informacije o velikim površinama prikupi za vrlo kratko vreme i bez fizičkog kontakta sa njima, daljinsko uzorkovanje značajnu primenu ima i u poljoprivredi. Daljinsko uzorkovanje u poljoprivredi koristi se u razne svrhe kao što su predviđanje prinosa useva, detekciju useva, identifikacija raznih vrsta stresa itd. U oblasti precizne poljoprivrede, korišćenjem senzora bespilotnih letelica snima se objekat posmatranja, što je u ovom slučaju zemljina površina sa biljnim kulturama. Studiranjem promena u elektromagnetnom spektru, moguće je detektovati biljni stres.

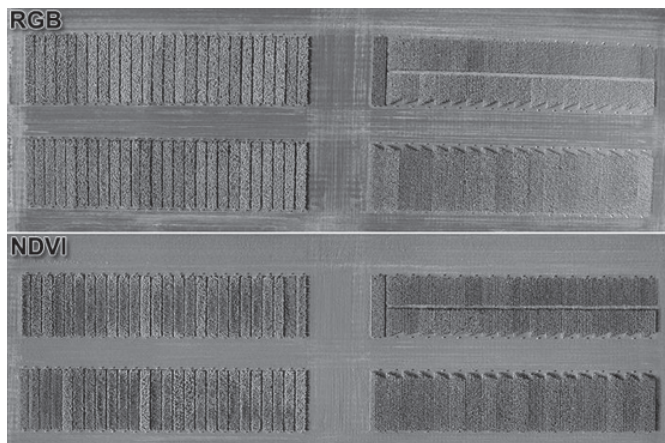
Biljni stres se manifestuje kao bilo koje stanje biološkog sistema koje odstupa od optimalnog. Različiti intenzitet i dužina negativnih efekata utiče na nivo stresa, koji uvek vodi do direktnog smanjenja prinosa i kvaliteta useva ispod genetskog potencijala. Stres može biti izazvan velikim brojem prirodnih i faktora koji su posledica čovekovog delovanja. Kao najčešće tipove stresa mogu se izdvojiti stres uzrokovan niskom temperaturom, poplavama, olujom i gradom, upotrebom pesticida, insektima i bolešću biljaka. Smatra se da je čak 90% biljne proizvodnje ugroženo stresom koji ima sve veći uticaj.

U ovom radu predstavljen je algoritam za detekciju stresa korišćenjem daljinskog uzorkovanja, koji se sastoji od tri glavna koraka. Prvi korak obuhvata pripremu podataka, odnosno, prikupljanje slika korišćenjem bespilotne letelice odnosno

drona. Drugi korak predstavlja pre-procesiranje prikupljenih podataka, koje se sastoji od biranja uzoraka slike, izbor vegetativnog indeksa koji će biti korišćen i njegovog izdvajanja, i na kraju unošenje vrednosti za svaki klaster. Poslednji korak u primeni algoritma za detekciju stresa u polju predstavlja procesiranje slike koje obuhvata poređenje vrednosti histograma vegetativnih indeksa za svaki segment slike sa histogramom vegetativnog indeksa koji je dobijen u prethodnom koraku, i na osnovu procenta preklapanja dva histograma, pridruživanje segmenta slike odgovarajućem klasteru koji je definisan u prethodnom koraku. Svaki korak algoritma detaljnije je objašnjen u nastavku.

2.1. Priprema podataka

Priprema podataka, kao prvi korak primene algoritma za detekciju stresa u polju, obuhvata proces prikupljanja slika obradive površine iz vazduha. Poslednjih godina, korišćenje bespilotnih letelica koje su opremljene kamerom predstavlja jednu od najnaprednijih tehnologija daljinskog uzorkovanja. Na ovaj način, veoma brzo i lako mogu biti prikupljene slike poljoprivredne površine koje su pogodnije za preciznu poljoprivredu. Proces prikupljanja slika iz vazduha predstavlja jedan od ključnih koraka za ceo proces analize slika, i zbog toga je potrebno voditi računa o mnogim detaljima prilikom nadletanja određene površine. Kvalitet dobijene slike zavisi od mnogih faktora kao što su specifikacija kamere, vremenski uslovi, visina sa koje se snima itd.



Slika 1: RGB i NDVI slika polja

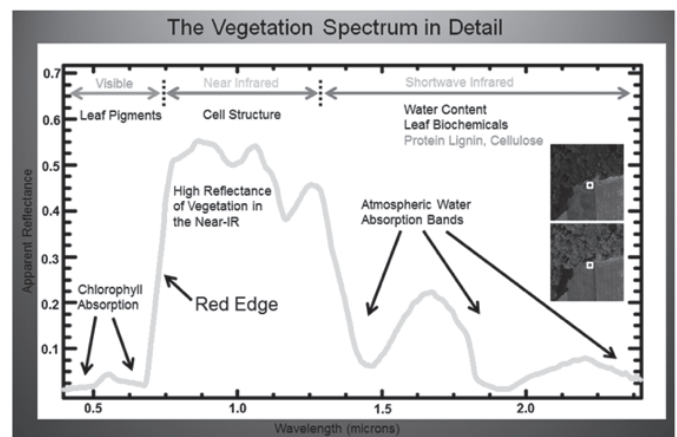
U daljinskom uzorkovanju u poljoprivredi, nekoliko različitih tipova kamera odnosno senzora koriste se kako bi se prikupile slike polja kao što su termalne kamere, RGB i NIR kamere. Termalne kamere, zbog svoje niske prostorne i vremenske rezolucije i visoke cene, nisu pronašle široku primenu u prikupljanju slika iz vazduha u poljoprivredi. Slike u RGB (eng. *Red, Green, Blue*) formatu predstavljaju slike koje najbliže prikazuju način na koji ljudsko oko registruje polje. Prednost upotrebe slika snimljenim u RGB formatu predstavlja to što je on dostupan na većini vazdušnih platformi odnosno njihovih senzora. Međutim, ovaj format ima određena ograničenja. Kada je slika u ovom formatu, usev mora biti značajno pod

stresom da bi se vizuelno mogla napraviti razlika u odnosu na onaj koji predstavlja zdravu biljku. Takođe, ovaj format pruža veoma male mogućnosti za otkrivanje malih razlika u područjima visokog prinosa. RGB slike najpogodnije su za vađenje VARI i ExG vegetativnih indeksa. Sa druge strane, NIR (eng. *near-infrared*) slike dalju bolji uvid u praćenje zdravlja biljaka u odnosu na tradicionalne RGB slike, jer sadrže informacije koje se ne nalaze u vidljivom delu elektromagnetnog spektra. Ovaj format slike koristi negativnu kompoziciju boja kako bi prikazao informacije koje nisu vidljive golim okom. NIR mapa oblasti sa visokim prinosom prikazuje svetlo crvenom bojom, dok oblasti sa malim prinosom ili zemlju označava sivom. Najčešće korišćeni format slike u daljinskom uzorkovanju u poljoprivredi je NDVI (eng. *Normalized Difference Vegetative Index*), odnosno normalizovani indeks razlike u vegetaciji. Slika ovog tipa najčešće je dobijena korišćenjem BNDVI filtera i prethodno izračunatog indeksa kako bi se omogućilo praćenje zdravlja useva i aktivnosti fotosinteze.

2.2. Pre-procesiranje

Nakon prikupljanja slike, sledeći korak obuhvata izbor reprezentativnih uzoraka sa dobijene slike. Neophodno je izvršiti selekciju uzoraka koji predstavljaju zdravu biljku. Kako bi se na adekvatan način izabrali uzorci, najčešće se koristi istina sa tla (eng. *ground truth*) ili mišljenje eksperta. Broj uzoraka direktno utiče na samu efikasnost algoritma, tako da je preporučljivo izabrati bar deset uzoraka sa slike.

Vegetacija je u interakciji sa sunčevim zračenjem na drugačiji način nego ostali materijali koji se nalaze na zemlji. Spektr vegetacije se obično apsorbuje u crvenim i plavim talasnim dužinama, reflektuje u zelenoj talasnoj dužini, snažno reflektuje u blisko-infracrvenoj (NIR) talasnoj dužini, i pokazuje značajnu apsorpciju u talasnim dužinama gde je prisutna atmosferska voda. Različiti biljni materijali, sadržaj vode, pigment, sadržaj uglja, azota i druga svojstva uzrokuju dalje varijacije u čitavom spektru. Merenjem ovih varijacija i studiranjem njihovih međusobnih veza mogu se dobiti korisne informacije o zdravlju biljaka, sadržaju vode, stresa životne okoline i drugih važnih karakteristika. Ove veze najčešće se opisuju kao vegetativni indeksi.



Slika 2: Spektar vegetacije

Normalizovani indeks razlike u vegetaciji (NDVI) je verovatno najpoznatiji i najčešće korišćeni vegetativni indeks. Iako veoma jednostavan, ovaj indeks je veoma efikasan vegetativni indeks kada je u pitanju kvantifikovanje zelene vegetacije. NDVI normalizuje rasipanje zelenog lista u blizini infracrvene talasne dužine i apsorpciju hlorofila u crvenoj talasnoj dužini. Opseg vrednosti NDVI indeksa je između -1 i 1, gde zdrava biljka upada u interval između 0.2 i 0.8. VARIgreen (*eng. vegetation atmospherically resistant index*) indeks bazira se na ARVI (*eng. Atmospherically Resistant Vegetation Index*) indeksu i koristi se za procenu udela vegetacije u oblasti sa niskom osetljivošću na atmosferske efekte. ExG (*eng. Excess Green Index*) indeks obezbeđuje skoro binarnu sliku intenziteta biljke iz koje se može izvršiti segmentacija sa odgovarajućim pragom.

U zavisnosti od tipa slike (RGB ili NDVI), tipa biljaka i mogućih tipova stresa, potrebno je izabrati odgovarajući vegetativni indeks koji će biti izvučen iz svakog prethodno izabranog uzorka. Proces ekstrakcije vegetativnog indeksa je sledeći: svaki uzorak deli se na određeni broj segmenata (u zavisnosti od prostorne rezolucije slike), i za svaki od njih računa se vrednost vegetativnog indeksa. Nakon toga, za svaki segment, računa se odgovarajući histogram vegetativnih indeksa. Prolaskom kroz sve uzorke i računanjem njihovih histograma, na kraju se računa histogram koji predstavlja njihovu prosečnu vrednost, a koji će se u fazi procesiranja koristiti kao reper za zdravu biljku.

K-means algoritam za klasifikaciju veoma je primenjen u oblasti daljinskog uzorkovanja. Ovaj algoritam ima za cilj da klasifikuje objekte na osnovu skupa karakteristika u *k* klasa po svojoj sličnosti. Klasifikacija se vrši minimiziranjem sume kvadrata udaljenosti između objekata i odgovarajućeg klastera ili centroida. Rezultati ranijih istraživanja pokazali su da unapređeni algoritam može smanjiti vreme računanja i povećati preciznost i tačnost klasterovanja (Ballesteros, R. i ostali, 2014). Međutim, upotrebom ovog algoritma klasterovanja, u mnogim slučajevima nije moguće jasno napraviti razliku između zdrave bilje i svih tipova stresa u polju. Algoritam prikazan u ovom radu prevazilazi ovaj problem. U poslednjem koraku preprocesiranja, potrebno je odrediti vrednosti za svaki klaster. Algoritam koristi tri predefinisana klastera koji predstavljaju: zdravu biljku, potencijalni stres i stres. Za svaki od klastera potrebno je uneti opseg između 0-100 koji predstavlja procenat preklapanja histograma, ali tako da se međusobno ne preklapaju.

Primer opsega klastera:

- Zdrava biljka: 80-100% preklapanja
- Potencijalni stres: 60-80% preklapanja
- Stres: 0-60% preklapanja

Slika dobijena daljinskim uzorkovanjem, histogram vegetativnog indeksa koji predstavlja reper za poređenje sa svim segmentima slike i unesene vrednosti opsega klastera predstavljaju input u poslednji korak algoritma za detekciju stresa u polju.

2.3. Procesiranje

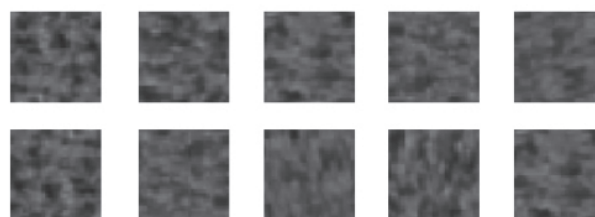
Poslednji korak u primeni algoritma za detekciju stresa u polju predstavlja procesiranje. Prolaskom kroz svaki segment slike, vrednost histograma za dati segment poređi se sa histogramom koji se uzima kao reper, i na osnovu procenta preklapanja dva histograma, određeni segment se pridružuje jednom od tri predefinisana klastera.

U ovom koraku, cela slika deli se na segmente jednake veličine (obično veličine 1m²). Prostorna rezolucija slike, kao i biljka koja se posmatra bitno utiču na izabranu veličinu segmenta. Nakon toga, prolaskom kroz svaki segment slike, računa se histogram vrednosti vegetativnih indeksa. Upoređivanjem vrednosti histograma segmenta sa histogramom koji se uzima kao reper, određuje se procenat njihovog međusobnog preklapanja. U zavisnosti od procenta preklapanja, segment će biti klasifikovan u klaster čiji opseg preklapanja obuhvata dobijeni procenat preklapanja. Nakon klasifikacije svih segmenata slike, proces detekcije stresa je završen, a svaki segment slike sadrži informacije kojem klasteru pripada. Na ovaj način, izvršena je detekcija stresa a tako dobijeni podaci spremni su za dalju obradu i donošenje odluka.

3. STUDIJA SLUČAJA

Pšenica predstavlja jednu od najznačajnijih kultura neophodnom za svakodnevnu ishranu ljudi. S obzirom da se godišnje požanje više od 218 milion hektara, zdravlje useva od velike je važnosti kako bi se zadovoljile potrebe rastuće populacije. Kao jedna od veoma osetljivih biljaka, pšenica je na stalnom udaru različitih insekata koji joj mogu nauditi. Takođe, crna rđa i pepeo su samo neke od bolesti koje mogu da utiču na usev usled dejstva raznih insekata i mikroorganizama. Sve ovo samo ukazuje na važnost praćenja promena koje utiču na sam usev. Prethodno opisani algoritam za detekciju stresa u polju biće primenjen na polju pšenice.

Slike iz vazduha prikupljene su nadletanjem polja pšenice površine 8.86 hektara koje se nalazi u Sutton Bridge-u u Engleskoj. Slike su dobijene korišćenjem bespilotne letelice odnosno drona DJI Phatnom 4 Advanced letenjem na visini od 70 metara. Dron je bio opremljen integrisanom kamerom koja slika u RGB formatu, poseduje senzor od 20 mega piksela i stabilizator. Nakon prikupljanja kolekcije slika, korišćen je softver za spajanje slika kako bi se dobija slika koja predstavlja celo polje.



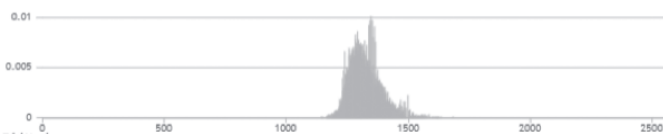
Slika 3: Uzorci koji predstavljaju zdravu biljku

Kada je spajanjem slika dobijena slika celog polja, sledeći korak predstavlja izbor uzoraka koji predstavljaju zdravu biljku. Na osnovu podataka sa tla, izabran je uzorak od deset segmenata veličine 1m² kao što je prikazano na Slici 3. Za svaki od uzoraka izvršeno je izvlačenje vegetativnog indeksa. S obzirom da je slika dobijena korišćenjem senzora koji slika u RGB formatu, najprikladniji vegetativni indeks za detekciju stresa pšenice predstavlja ExG indeks koji se dobija na sledeći način (vrednosti R, G i B predstavljaju izmerene vrednosti u opsegu od 0-255 za svaki od tri kanala):

$$ExG = 2g - r - b \quad (1)$$

$$r = \frac{R}{R + G + B} \quad g = \frac{G}{R + G + B} \quad b = \frac{B}{R + G + B} \quad (2)$$

Svaki uzorak podeljen je na 100 segmenata (10x10), a potom je za svaki od njih izračunata vrednost ExG vegetativnog indeksa. Nakon kreiranja histograma za svaki uzorak posebno, izračunata je vrednost prosečnog histograma vegetativnog indeksa koji će u narednom koraku algoritma biti korišćen kao reper. Dobijeni histogram predstavlja histogram zdrave biljke i prikazan je na Slici 4.



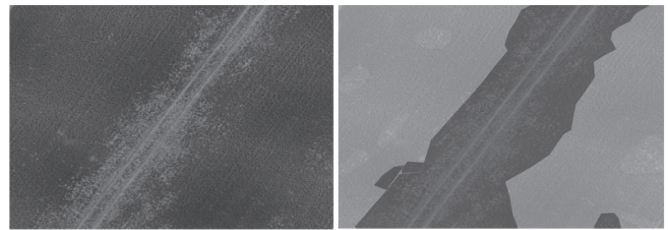
Slika 4: Histogram zdrave biljke vegetativnog indeksa (ExG)

Pre samog pristupanja procesiranju slike, neophodno je uneti opsege preklapanja za svaki od tri predefinisana klastera. Empirijskim istraživanjem dobijeno je da, kada je u pitanju pšenica, algoritam najbolje rezultate daje za sledeće vrednosti klastera:

Tabela 1 - Opseg vrednosti klastera

Naziv klastera	Procenat preklapanja
Zdrava biljka	(80-100]
Potencijalni stres	(50-80]
Stres	[0-50]

Nakon definisanja opsega vrednosti za svaki od klastera i računanja histograma koji služi kao reper za zdravu biljku, pristupa se fazi procesiranja. Korišćenjem softvera za procesiranje slika, prolaskom kroz svaki segment slike računa se histogram vegetativnog indeksa segmenta koji se potom poredi sa reper histogramom dobijenim u prethodnom koraku. U zavisnosti od stepena preklapanja, segment se klasifikuje u odgovarajući klaster. Na Slici 5, sa leve strane prikazan je deo originalne slike, dok se sa desne strane nalazi isti deo slike gde je svaki klaster prikazan odgovarajućom bojom. Zdrava biljka prikazana je zelenom bojom, potencijalni stres žutom a stres crvenom bojom.



Slika 5: Originalna slika u odnosu na klasifikovane segmente

Rezultati primene algoritma za detekciju stresa prikazani su u Tabeli 2. Na osnovu njih možemo videti da je 3.87% polja pod stresom što obuhvata površinu od 0.34 ha. Potencijalni stres na polju detektovan je na površini od 0.31 ha (3.53% polja). Segmente polja koji su klasifikovani kao stres potrebno je rehabilitovati odnosno utvrditi izvor stresa i primeniti odgovarajuće mere oporavka, dok je na segmente koji su klasifikovani kao potencijalni stres potrebno obratiti pažnju i ukoliko je to potrebno preventivno sprečiti nastanak stresa.

Tabela 2 - Rezultati primene algoritma

Naziv klastera	Površina (ha)	Procenat (%)
Zdrava biljka	8.21	92.6
Potencijalni stres	0.31	3.53
Stres	0.34	3.87

4. ZAKLJUČAK

Primenom različitih algoritama za detekciju stresa u polju moguće je znatno uticati na zdravlje biljaka i prinosa. U odnosu na veliku većinu algoritama za detekciju stresa u polju koji su modelirani za otkrivanje samo određene vrste stresa, algoritam prikazan u ovom radu veoma je pogodan za prikaz generalizovanog stresa u polju. Integracijom sa geografskim informacionim sistemom (GIS), koji se koristi za snimanje, skladištenje, manipulaciju i prikazivanje geografskih podataka, moguće je izvući geo-referencirane podatke za svaki segment polja. Na taj način omogućeno je izvlačenje koordinata delova polja koja su pod stresom kako bi se omogućilo tačno pronalaženje ugroženih delova na samom terenu. U budućem istraživanju, naglasak treba staviti na poređenje ovog algoritma sa postojećim, u cilju njegovog poboljšanja. Takođe, fokus bi trebalo da bude na mogućnosti integracije podataka dobijenih primenom ovog algoritma sa tehnologijama koje se baziraju na GPS uređajima.

REFERENCE

- [1] About stress and biostimulators. Retrieved April 29, 2018, from Ekoplant website, <http://www.ekoplantserbia.com>
- [2] Badnakhe, M. R., & Deshmukh, P. R. (2011). An Application of K-Means Clustering and Artificial Intelligence in Pattern Recognition for Crop Diseases. In *2011 International Conference on Advancements in Information Technology With a workshop of ICBMG*.

- [3] Ballesteros, R., Ortega, J. F., Hernández, D., & Moreno, M. A. (2014). Applications of georeferenced high-resolution images obtained with unmanned aerial vehicles. Part I: Description of image acquisition and processing. *Precision Agriculture*, 15(6), 579-592.
- [4] Ballesteros, R., Ortega, J. F., Hernández, D., & Moreno, M. A. (2014). Applications of georeferenced high-resolution images obtained with unmanned aerial vehicles. Part I: Description of image acquisition and processing. *Precision Agriculture*, 15, 579-592.
- [5] Berni, J. A., Zarco-Tejada, P. J., Suárez, L., & Fereres, E. (2009). Thermal and narrowband multispectral remote sensing for vegetation monitoring from an unmanned aerial vehicle. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47(3), 722-738.
- [6] Candiago, S., Remondino, F., De Giglio, M., Dubbini, M., & Gattelli, M. (2015). Evaluating multispectral images and vegetation indices for precision farming applications from UAV images. *Remote Sensing*, 7(4), 4026-4047.
- [7] Cheng, H., Peng, H., & Liu, S. (2013, March). An improved K-means clustering algorithm for agricultural image segmentation. In *PIAGENG 2013: Image Processing and Photonics for Agricultural Engineering (Vol. 8761, p. 87610G)*. International Society for Optics and Photonics.
- [8] Corrigan, F. (2018, April 22). Multispectral Imaging Camera Drones In Farming Yield Big Benefits. [Web log post]. Retrieved from <https://www.dronezone.com/learn-about-drones-quadcopters/multispectral-sensor-drones-in-farming-yield-big-benefits/>
- [9] Du, Q., Chang, N. B., Yang, C., & Srilakshmi, K. R. (2008). Combination of multispectral remote sensing, variable rate technology and environmental modeling for citrus pest management. *Journal of Environmental Management*, 86(1), 14-26.
- [10] Gitelson, A. A., & Merzlyak, M. N. (1998). Remote sensing of chlorophyll concentration in higher plant leaves. *Advances in Space Research*, 22(5), 689-692.
- [11] Hague, T., Tillett, N. D., & Wheeler, H. (2006). Automated crop and weed monitoring in widely spaced cereals. *Precision Agriculture*, 7, 21-3
- [12] Jannoura, R., Brinkmann, K., Uteau, D., Bruns, C., & Joergensen, R. G. (2015). Monitoring of crop biomass using true colour aerial photographs taken from a remote controlled hexacopter. *Biosystems Engineering*, 129, 341-351.
- [13] Konar, B., & Iken, K. (2017). The use of unmanned aerial vehicle imagery in intertidal monitoring. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*.
- [14] McDonald, A. J., Gemmell, F. M., & Lewis, P. E. (1998). Investigation of the utility of spectral vegetation indices for determining information on coniferous forests. *Remote Sensing of Environment*, 66(3), 250-272.
- [15] Oerke, E. C. (2006). Crop losses to pests. *Journal of Agricultural Science*, 144, 31-43.
- [16] Olson, K. (2017, August 17). RGB SENSORS VS. NIR SENSORS - WHICH IS BETTER FOR MEASURING CROP HEALTH? [Web log post]. Retrieved from <https://www.botlink.com/blog/rgb-sensors-vs-nir-sensors-which-sensor-is-better-for-measuring-crop-health>
- [17] Omar, T., & Nehdi, M. L. (2017). Remote sensing of concrete bridge decks using unmanned aerial vehicle infrared thermography. *Automation in Construction*, 83, 360-371.
- [18] Pérez-Ortiz, Pena, J., Gutiérrez, P., Torres-Sánchez, J., Hervás-Martínez, C., & López-Granados, F. (2015). A semi-supervised system for weed mapping in sunflower crops using unmanned aerial vehicles and a crop row detection method. *Applied Soft Computing*, 37, 533-544.
- [19] Rathje, E. M., & Franke, K. (2016). Remote sensing for geotechnical earthquake reconnaissance. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 91, 304-316.
- [20] Samseemoung, G., Soni, P., Jayasuriya, H. P., & Salokhe, V. M. (2012). Application of low altitude remote sensing (LARS) platform for monitoring crop growth and weed infestation in a soybean plantation. *Precision Agriculture*, 13(6), 611-627.
- [21] Strange, R. N. & Scott, P. R. (2005). Plant disease: a threat to global food security. *Annual Review of Phytopathology*, 43, 83-116.
- [22] Suresh, S., Das, D., Lal, S., & Gupta, D. (2018). Image quality restoration framework for contrast enhancement of satellite remote sensing images. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 10, 104-119.
- [23] Vegetation Analysis: Using Vegetation Indices in ENVI (n.d.). Retrieved April 29, 2018, from Harris geospatial solutions website <http://www.harrisgeospatial.com>
- [24] Wright Jr, D. L., Rasmussen Jr, V. P., & Ramsey, R. D. (2005). Comparing the use of remote sensing with traditional techniques to detect nitrogen stress in wheat. *Geocarto International*, 20(1), 63-68.
- [25] Xue, X., Lan, Y., Sun, Z., Chang, C., & Hoffmann, W. C. (2016). Develop an unmanned aerial vehicle based automatic aerial spraying system. *Computers and electronics in agriculture*, 128, 58-66.
- [26] Zadoks, J. C. (1967). Types of losses caused by plant diseases. In L. Chiarappa (Ed.), *FAO papers presented at the symposium on crop losses* (pp. 149-158).
- [27] Zhuang, S., Wang, P., Jiang, B., Li, M., & Gong, Z. (2017). Early detection of water stress in maize based on digital images. *Computers and Electronics in Agriculture*, 140, 461-468.



Cvetković Nikola, Fakultet organizacionih nauka, univerziteta u Beogradu

Kontakt: ??????????????????????

Oblast interesovanja: računarska statistika, multivarijaciona analiza, analiza podataka, teorija verovatnoće



Dobrota Milan, Agremo d.o.o.

Kontakt: ??????????????????????

Oblast interesovanja: mašinsko učenje, daljinska detekcija, softversko inženjerstvo, preduzetništvo



Đoković Aleksandar, Fakultet organizacionih nauka, univerziteta u Beogradu

Kontakt: ??????????????????????

Oblast interesovanja: računarska statistika, multivarijaciona analiza, analiza podataka, teorija verovatnoće



Dragović Nebojša, Ministarstvo unutrašnjih poslova Republike Srbije

Kontakt: ??????????????????????

Oblast interesovanja: operaciona istraživanja, poslovna analitika, računarska statistika