

Klasifikacija i analiza poljoprivrednih zemljišta u Donjem Međimurju pomoću podataka misija Sentinel

Golomboš, Josipa

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:146853>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-15**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



Josipa Golomboš

**Klasifikacija i analiza poljoprivrednih zemljišta u
Donjem Međimurju pomoću podataka misija Sentinel**

Diplomski rad

**Zagreb
2022.**

Josipa Golomboš

**Klasifikacija i analiza poljoprivrednih zemljišta u
Donjem Međimurju pomoću podataka misija Sentinel**

Diplomski rad

predan na ocjenu Geografskom odsjeku
Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu
radi stjecanja akademskog zvanja
magistre geografije

**Zagreb
2022.**

Ovaj je diplomski rad izrađen u sklopu diplomskog sveučilišnog studija *Geografija; smjer: Geografski informacijski sustavi* na Geografskom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom doc. dr. sc. Luke Valožića

Sveučilište u Zagrebu

Diplomski
rad

Prirodoslovno-matematički fakultet
Geografski odsjek

Klasifikacija i analiza poljoprivrednih zemljišta u Donjem Međimurju pomoću podataka misija Sentinel

Josipa Golomboš

Izvadak: Cilj ovog istraživanja je random forest klasifikacijom izdvojiti poljoprivredna zemljišta i klasificirati ih prema 6 klasa poljoprivrednih usjeva. Korištene su optičke snimke visoke rezolucije Sentinel 2 satelitske misije, a preuzeto je po 5 snimaka za 2017., 2018., 2019. i 2020. godinu. Sentinel-2 je satelitska misija koja se sastoji od satelita S-2A i S-2B koja snima Zemljinu površinu i formira satelitske snimke sa 13 spektralnih kanala prostornih rezolucija od 10 m, 20 m i 60 m. Snimke su prethodno obrađene i klasificirane pomoću programa SNAP, a dodatna vizualizacija kao i matrica pogrške je izrađena u ArcGIS Pro programu. U ovom radu će se analizirati promjene u odabiru usjeva pojedine godine, raspravljati će se o godišnjim cijenama pojedinih usjeva te utjecaju određenih faktora na odabir usjeva.

64 stranica, 40 grafičkih priloga, 16 Tab., 77 bibliografskih referenci; izvornik na hrvatskom jeziku

Ključne riječi: SNAP, random forest, poljoprivredna zemljišta, Sentinel-2, Donje Međimurje

Voditelj: doc. dr. sc. Luka Valožić

Povjerenstvo: doc. dr. sc. Luka Valožić
izv. prof. dr. sc. Mladen Pahernik
doc. dr. sc. Dubravka Spevec

Tema prihvaćena: 11. 2. 2021.

Rad prihvaćen: 10. 2. 2022.

Rad je pohranjen u Središnjoj geografskoj knjižnici Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Marulićev trg 19, Zagreb, Hrvatska.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Geography

Master
Thesis

Agricultural areas classification and analysis in the Donje Međimurje region using Sentinel data

Josipa Golomboš

Abstract: The goal of this research is to extract agricultural lands and classify them according to 6 types of agricultural crops. High-resolution optical images of the Sentinel 2 satellite mission were used and 5 images were taken for the years 2017, 2018, 2019 and 2020. Sentinel-2 is a satellite mission consisting of satellites S-2A and S-2B that captures the Earth's surface and forms satellite images with 13 spectral channels of spatial resolutions of 10 m, 20 m and 60 m. The images are pre-processed and classified using SNAP software. Additional visualization as well as an accuracy matrix was created in the ArcGIS Pro software. This paper will analyze changes in crop selection in a particular year, discuss the annual prices of individual crops and the impact of different on crop selection.

64 pages, 40 figures, 16 tables, 77 references; original in Croatian

Keywords: SNAP, random forest, agricultural area, Sentinel-2, Donje Međimurje

Supervisor: Luka Valožić, PhD, Assistant Professor

Reviewers: Luka Valožić, PhD, Assistant Professor
Mladen Pahernik, PhD, Associate Professor
Dubravka Spevec, PhD, Assistant Professor

Thesis title accepted: 11/02/2021

Thesis accepted: 10/02/2022

Thesis deposited in Central Geographic Library, Faculty of Science, University of Zagreb, Marulićev trg 19, Zagreb, Croatia.

Zahvala

Hvala mentoru doc. dr. sc. Luki Valožiću na smjernicama prilikom pisanja diplomskog rada. Njegovo dugogodišnje iskustvo kao predavača i autora vezano uz tematiku ovog rada pridonijelo je u njegovoj izradi.

Zahvaljujem se DHMZ-u i OPG-u Židov na ustupljenim podacima.

Teško je pronaći riječi koje bi opisale zahvalnost prema mojim ljudima. Hvala mojim curama na podršci i nezaboravnim danima u najljepšem periodu života. Hvala mami Ljubici i tati Josipu, bratu Darku, sestri Ljiljani i dečku Marku. Zauvijek sam zahvalna na žrtvi i odricanju.

SADRŽAJ

1	UVOD	1
2	TEMA ISTRAŽIVANJA	3
2.1	Daljinska istraživanja	3
2.2	Multispektralne satelitske snimke	4
2.3	Prostorni obuvat istraživanja – Donje Međimurje	7
2.3.1	Geografski položaj	7
2.3.2	Prirodno-geografska obilježja	8
2.3.2.1	Reljefna obilježja	8
2.3.2.2	Klimatska obilježja	10
2.3.2.3	Hidrogeografska obilježja	12
2.3.2.4	Pedološka obilježja	13
2.3.3	Društveno geografska obilježja	14
2.3.3.1	Opća demografska obilježja	14
2.3.3.2	Naselja	16
2.3.3.3	Razvoj poljoprivredne djelatnosti	18
3	CILJEVI I HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA	20
3.1	Ciljevi istraživanja	20
3.2	Hipoteze istraživanja	20
4	TEORIJSKI OKVIR ISTRAŽIVANJA	22
4.1	Sentinel misija	22
4.2	Random forest klasifikacija	23
4.3	Vegetacijski indeksi	24
4.4	Klasifikacija usjeva	27
4.5	Matrica pogrešaka	28
4.6	Usjevi u Donjem Međimurju	29
4.6.1	Pšenica	29
4.6.2	Uljana repica	31
4.6.3	Suncokret	33
4.6.4	Kukuruz	35
4.6.5	Šećerna repa	37
4.6.6	Soja	39

4.6.7	Ostalo	41
5	PODACI I METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA	42
5.1	Podaci	42
5.1.1	Multispektralne Sentinel-2 snimke	42
5.1.2	Vektorski podaci.....	43
5.1.3	Statistički podaci.....	45
5.2	Metodologija	45
5.2.1	Predobrada podataka.....	45
5.2.2	Obrada rasterskih podataka – SNAP	48
5.2.3	Nadzirana klasifikacija.....	48
5.2.4	Provjera točnosti klasifikacije	49
6	REZULTATI ISTRAŽIVANJA I RASPRAVA	50
6.1	Ostvarena točnost klasifikacije	50
6.2	Kretanje cijena usjeva.....	51
6.3	Analiza promjena u korištenju zemljišta	53
7	ZAKLJUČAK.....	62
	LITERATURA	63
	IZVORI	68
	PRILOZI.....	IX

1 UVOD

Istraživanje prostora i prostornih procesa temelj je geografske struke od samih početaka razvoja geografskih metoda i principa spoznaje o prostoru. Glavne geografske metode prilikom formiranja geografije kao egzaktne znanosti svoju su osnovu imale u metodama istraživanja koje su se temeljile ponajviše na promatranju pojava i procesa uz analizu kauzalnih odnosa između međudjelovanja prirodne osnove i utjecaja iste na prirodno-geografske procese. Kao interdisciplinarno područje znanosti, geografija je razvila svoje mehanizme istraživanja i u kontekstu društvene geografije, međutim, počeci istraživanja i proučavanja u geografskoj struci ponajviše se vežu uz prirodno-geografske procese i pojave.

U tom smislu, razvojem metoda i procesom modernizacije, geografija kao znanost osuvremenjivala je temeljne postulate znanosti. Prostor kao temeljni predmet proučavanja geografije, dobio je potpuno novu dimenziju razvojem daljinskih istraživanja. Valja napomenuti da je početni trenutak razvoja daljinskih istraživanja bio razvoj fotografije. Upravo je fotografija omogućila budući razvoj daljinskih istraživanja kao novim načinima prikupljanja i interpretacije informacija o Zemljinoj površini pomoću senzora bez da oni međusobno imaju fizički kontakt (Frančula i Lapaine, 2001).

Razvojem tehnologije i ulaganjem u svemirska istraživanja, razina današnjih daljinskih istraživanja nemjerljiva je s počecima u kontekstu usporedbe fotografija. Era satelitskih daljinskih istraživanja započela je lansiranjem Landsat satelita koji su u potpunosti promijenili shvaćanje prostora i u kontekstu geografije tada je započeo proces okretanja moderne geografske znanosti kvalitetnijim i obuhvatnijim istraživanjima prostora uz mogućnost detaljne analize svakog dijela Zemljine površine. Još veći zamah u smjeru digitalizacije prostornih podataka bio je razvoj interneta kao medija pomoću kojeg se podaci na lakši i kvalitetniji način reproduciraju na razini cijelog svijeta (Campbell, 2007).

Čak i manja područja podložna su detaljnoj i točnoj analizi podataka i to posebno uz pomoć satelita najnovije generacije koji su dio projekta Copernicus. U sklopu projekta, u orbitu Zemlje lansirani su sateliti misije naziva Sentinel u svrhu snimanja površine Zemlje u intervalima od 5 dana. Prostorna rezolucija podataka koje generiraju ovisi o promatranom dijelu spektra (ESA, 2012).

Područje ovog istraživanja je prostor Donjeg Međimurja. Glavni razlog odabira upravo ove podregije kao temeljnog područja istraživanja jest dostupnost podataka o sijanju određenih kultura ovisno o godini sijanja. Naime, lokalni OPG ustupio je podatke u periodu od 2017. do 2020. godine koji se tiču detaljnih zabilješki o površini određene parcele i kulturi

koja je obrađivana na toj parceli tijekom godine. Navedeni podaci u istraživanju uzimaju se kao relevantni poradi činjenice da nadležna Agencija uvelike vodi brigu o točnosti i vjerodostojnosti navedenih podataka što je svakako veliki dobitak u kontekstu ovog istraživanja.

Upravo uz pomoć navedenih podataka lokalnog OPG-a te javno dostupnih podataka misije Sentinel za navedene godine pokušat će se analizirati i interpretirati poljoprivredna zemljišta na području Donjeg Međimurja. Uz korištenje multispektralnih satelitskih snimaka kao bazu za diferencijaciju pojedinih poljoprivrednih kultura, u ovom istraživanju korištena je i matrica konfuzije pomoću koje će se kvantificirati točnost klasifikacije (Story i Congalton, 1986; Rees, 2012). U kontekstu donošenja zaključaka o prostornim podacima koji nisu poznati, glavni algoritam na kojem se bazira ovo istraživanje jest *random forest* klasifikacija budući da se promatranjem uzoraka, ponašanja i različitih ulaznih podataka u modelima, mogu se predvidjeti ishodi novih podataka čije karakteristike ne znamo (Breiman, 2001; Hartshorn, 2016).

2 TEMA ISTRAŽIVANJA

2.1 Daljinska istraživanja

Daljinska istraživanja obuhvaćaju prikupljanje i interpretaciju informacija o Zemljinoj površini pomoću senzora bez da oni međusobno imaju fizički kontakt (Frančula i Lapaine, 2001). Za razvoj daljinskih istraživanja ključnu je ulogu odigrao razvoj fotografije. Iako je prvu fotografiju snimio Gaspard Tournachon 1858. godine, široko korištenje fotografije javilo se tek krajem 19. i početkom 20. stoljeća (Sandler, 2002). Neki historičari početke daljinskih istraživanja vežu za fotografije iz zraka nastale tako što je kamera bila vezana za golubove ili za balon na vrući zrak te za fotografije nastale s uzvišenja ili zgrade na kojima se mogao opaziti širi prostor zemljine površine približno tlocrtne perspektive. Takve su se fotografije koristile kao predlošci za izradu topografskih karata krajem 19. i početkom 20. stoljeća. Već s početkom Prvog svjetskog rata došlo je do razvoja daljinskih istraživanja za vojne potrebe. Kamere su se montirale na vojne avione koji su iz zraka snimali neprijateljska područja. Takve fotografije koristile su se ponajviše za strateško planiranje napada i obrane te opskrbljivanja civila i vojnika, a danas su primjer početaka daljinskih istraživanja. Fotografije koje su snimljene morale su uz sebe imati i podatke o prostoru koji je snimljen, položaju aviona u trenutku snimanja i mjerilu snimanja koje se izračunavalo iz visine na kojoj je avion bio i žarišne duljine objektiva (Cracknell, 2018). U razdoblju između dva svjetska rata, u Sjedinjenim Američkim Državama se prvi put javlja ponavljajuće snimanje pojedinih saveznih država i te snimljene fotografije danas su od neprocjenjive povijesne važnosti u promatranju promjena u korištenju zemljišta na tim prostorima. S Drugim svjetskim ratom dalje se razvija snimanje površine Zemlje iz zraka za vojno-strateško planiranje. Počinju se koristiti infracrveno i termalno snimanje za izdvajanje maskiranih neprijatelja u vegetaciji te radar koji se koristio za navigaciju zrakoplova i brodova noću i u lošim vremenskim uvjetima, za lociranje neprijateljskih postrojbi i ciljeva bombardiranja. Devedesetih godina 20. stoljeća se za takve pothvate prestaje koristiti analogna fotografija, a nju zamjenjuje digitalna fotografija. Danas se povijesne analogne fotografije digitaliziraju i georeferenciraju i takve se koriste za razna istraživanja zemljine površine (Lillesand i dr., 2015).

Dug vremenski period su za daljinska istraživanja korištene zračne fotografije i fotogrametrija. Od pedesetih godina 20. stoljeća, u razvoju satelitskih i svemirskih misija prednjačile su SSSR i Sjedinjene Američke Države koje su od kraja Drugog svjetskog rata pa do devedesetih godina 20. stoljeća bile u Hladnom ratu, natječući se u razvoju tehnologija. Prva uspješna misija postavljanja umjetnog satelita u Zemljinu orbitu dogodila se 1957., a

satelit je nazvan Sputnik-1. Nakon uspjeha s lansiranjem prvih satelitima, lansirani su i meteorološki sateliti, koji su pribavili prve podatke u satelitskim daljinskim istraživanjima Zemlje. Neki od njih su TIROS, Vanguard, NOAA i GOES (Cracknell, 2018). Sljedeća prekretnica dogodila se 1972. godine lansiranjem Landsat 1 satelita, prve od mnogih satelitskih misija. Tada su prvi puta dobivena ponavljajuća elektromagnetska mjerenja za velik dio kopnene mase zemljine površine. Landsatom je započeo i razvoj softvera za digitalne analize satelitskih snimaka. Ubrzo su se razvili sateliti druge generacije koji su pružali 10 metarsku točnost, a devedesetih godina 20. stoljeća i oni koji su proizvodili satelitske snimke prostorne rezolucije do 1 metar za područje cijele Zemlje. Početkom 21. stoljeća došlo je do integracije GPS-a i satelita što je dovelo do izrazito preciznog pozicioniranja satelitskih snimaka. Razvojem interneta u prvom desetljeću 21. stoljeća, interes za daljinskim istraživanjima i analizom satelitskih snimaka je rastao te su snimke postale dostupnije civilnom društvu (Campbell, 2007). Dostupni su podaci javnih satelitskih misija kao što su Landsat 7-9, MODIS, Sentinel, Aster i onih koje se financiraju iz privatnih izvora kao GeoEye, SPOT, EROS i drugi.

2.2 Multispektralne satelitske snimke

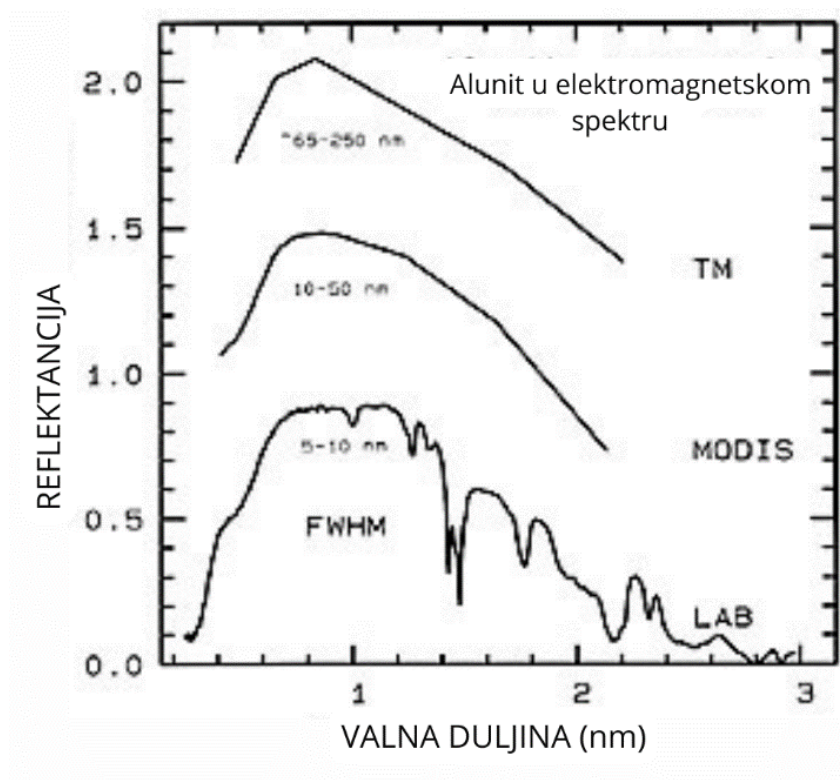
Količina dostupnih informacija za daljinska istraživanja svakim danom se povećava. Neprestano se razvijaju tehnologije kojima se poboljšavaju vremenska i prostorna rezolucija satelitskih snimaka. Kao posljedica toga, povećava se i količina multispektralnih snimaka (Yin i Guo, 2007). Multispektralni senzori koji se najčešće nalaze na satelitima ili drugim letećim objektima, bilježe reflektirano Sunčevo zračenje ili emitirano zračenje sa Zemljine površine u različitim dijelovima elektromagnetskog spektra te ih pretvaraju u digitalni zapis (Navulur, 2006).

Snimke imaju prostornu, spektralnu, radiometrijsku i vremensku rezoluciju, a o njima ovisi veličina datoteka, kompleksnost analize, točnost analize, cijena obrade i pohrane podataka, utrošak vremena i upotrebu adekvatnih ljudskih resursa. Svaki senzor ima svoje zasebne karakteristike.

Prostorna rezolucija je prostor na površini Zemlje koji prekriva jedan piksel na snimci. Ona se objašnjava i predočava kroz prikaz najmanjeg objekta koji se može razaznati na nekoj snimci. Npr. ako je rezolucija 10 m, to u stvarnosti znači da jedan piksel pokriva prostor zemljine površine veličine 10 m x 10 m. Određena je točnošću parametara instrumenta kao i visinom na kojoj se nalazi satelit iznad Zemljine površine, brojem detektora u senzoru i drugim parametrima (Anji Reddy, 2008). Prostorna rezolucija se

valorizira drugačije kroz razne struke i primjene. Okvirna podjela prostorne rezolucije u daljinskim istraživanjima je s obzirom na veličinu piksela: niska rezolucija s pikselima 30 m x 30 m ili većim, srednja rezolucija s pikselima veličine 2 m do 30 m, visoka rezolucija kod kojih je veličina piksela od 0,5 m do 2 m u jednoj dužini te izrazito visoka rezolucija s pikselima manjim od 0,5 m x 0,5 m (Navulur, 2006).

Spektralna rezolucija određena je širinom i brojem spektralnih kanala. Idealno je kada postoji veći broj kanala koji pokrivaju uži dio elektromagnetskog zračenja te tako pokrivaju cijeli spektar koji nam je potreban za istraživanje pojedinih elemenata prostora. To su uglavnom vidljivi i infracrveni spektar elektromagnetskog zračenja. Najčešće, današnji satelitski senzori, generiraju snimku istog područja u nekoliko različitih kanala te se zbog toga nazivaju multispektralni, superspektralni ili hiperspektralni (Anji Reddy, 2008). Kod multispektralnih analiza svaki element Zemljine površine drugačije reflektira elektromagnetsko zračenje natrag do senzora. Zbog toga je i moguća diferencijacija različitih pojava. U geografskoj struci, često se primijenjuju multispektralni senzori, koji generiraju snimku područja u 10 kanala i manje, u vidljivom i infracrvenom spektru, za potrebe analize zemljišnog pokrova Zemlje, vodnih tijela te morskih površina. Superspektralni senzori imaju više od 10 kanala, dok hiperspektralni senzori imaju stotine kanala te se oni koriste za detaljnije analize kao što su istraživanje eksploatacije minerala ili analiza rasprostranjenosti šumskih vrsta. Kod analize tako velikih količina snimaka javlja se potreba i za drugačijim metodama istraživanja, ali i potreba za specijaliziranim hardverom i softverom (Navulur, 2006).



Sl. 1. Koncept Spektralne rezolucije

(Izvor: USDA Agricultural Research Service, 2021)

Kod multispektralnih snimaka vrlo je važan interval snimanja, odnosno vremenska rezolucija. Snimke istog područja kroz različito vrijeme važne su za analizu promjena u krajoliku. Veći broj snimaka generiran je većom frekvencijom preleta preko istog područja. Vremenska komponenta snimaka izrazito je bitna kod analize područja nakon elementarne nepogode ili kod analize promjena nekog od elementa na Zemljinoj površini u određenom razdoblju (Campbell, 2007).

Radiometrijska rezolucija određena je sposobnošću senzora da razluči između manjih razlika u svjetlosti pojedinih piksela. Što je finija radiometrijska rezolucija, veća je kvaliteta snimke, odnosno senzor može prepoznati sitnije promjene u količini energije pojedinog elementa (Lillesand i dr., 2015). U konačnom proizvodu – digitalnoj grafičkoj datoteci, određena je brojem nijansi sive boje (engl. *grayscale*). Radiometrijska rezolucija digitalne slike određuje se brojem, odnosno dubinom bita. Primjerice, Landsat 5 Thematic Mapper ima 8 bita (256 nijansi), dok Landsat 9 OLI-2 14 bita (16 384 nijansi) (Navulur, 2007).

2.3 Prostorni obuhvat istraživanja – Donje Međimurje

2.3.1 Geografski položaj

Geografski položaj Međimurja (Međimurske županije¹) u administrativnom smislu možemo opisati kao najsjeverniji rubni prostor Republike Hrvatske omeđen Republikom Slovenijom na zapadu i sjeveru te Republikom Mađarskom na istoku. Na jugozapadu i jugu nalazi se granica prema Varaždinskoj županiji dok se na jugoistoku nalazi granica prema Koprivničko-križevačkoj županiji. U statističko-brojčanom smislu, kratki pregled osnovnih podataka o Međimurju prikazan je u tab. 1.

Tab. 1. Opći podaci o Međimurskoj županiji

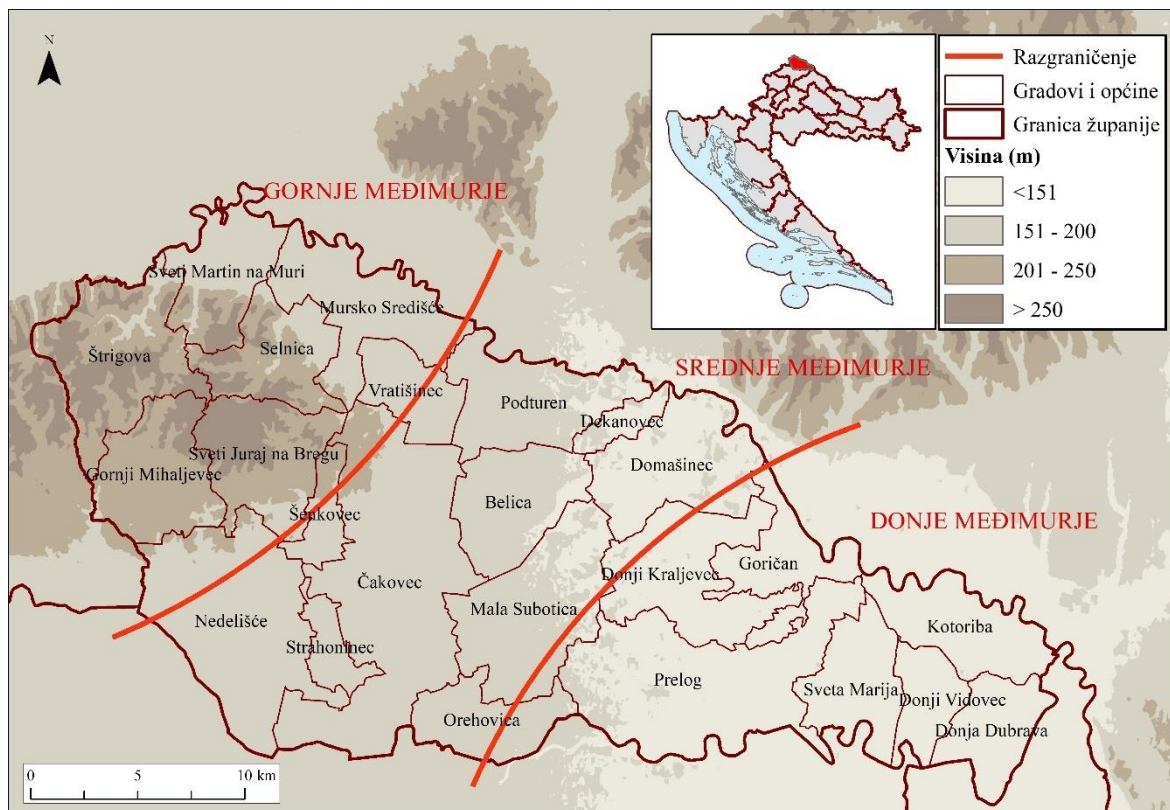
Međimurska županija		Udio u RH (%)	RH (kopneni dio)
Površina županije	729,54 km ²	1,29	56 610 km ²
Dužina državne granice	110,5 km	5,45	2028 km
Opseg županije	182,3 km		
Broj stanovnika (2021.)	105863	2,72	3.888.529
Prostorni obuhvat istok - zapad	47,3 km		
Prostorni obuhvat sjever - jug	30,4 km		

(Izvor: REDEA, 2015, , Popis stanovništva, kućanstava i stanova 2021. godine, Državni zavod za statistiku, Zagreb)

U prirodno-geografskom smislu, prostor Međimurja se vrlo često i kroz samu povijest nazivalo „otokom“ (Heršak i Šimunko, 1990) pa u tom kontekstu prostor Međimurja možemo označiti ovisno o hidrogeografskim barijerama rijeke Mure na sjeveru i sjeveroistoku te rijeke Drave na jugozapadu, jugu i jugoistoku. Kao zapadnu, prirodno-geografsku barijeru Međimurja možemo odrediti Slovenske gorice koje u određenoj mjeri predstavljaju nastavak Međimurskih gorica budući da su istovjetne u svojim geološkim i geomorfološkim obilježjima (Tandarić, 2010). Donje Međimurje, kao prostor u fokusu ovog

¹ Prostor Međimurja nije istovjetan prostoru Međimurske županije. Glavni razlozi ove diskrepancije mogu se očitati u velikoj ulozi rijeka Mure i Drave prilikom formiranja reljefa na prostoru Međimurja i činjenice da su kroz prošlost iste te rijeke mijenjale smjer svojeg toka te je samim time došlo do određenih promjena u izgledu krajolika Međimurja. Temeljni dokaz tome je i recentna promjena smjera toka rijeke Drave tijekom 17. i 18. stoljeća gdje je cijelo naselje Legrad promijenilo svoj geografski smještaj i položaj zbog promjene vodotoka rijeke Drave (Heršak i Šimunko, 1990).

diplomskog rada, obuhvaća prostor naplavnih nizina Mure i Drave na krajnjem dijelu Međimurja, a administrativno obuhvaća jedinice Grad Prelog i Općine Orehovica, Donji Kraljevec, Goričan, Kotoriba, Sveta Marija, Donji Vidovec i Donja Dubrava.



Sl. 2. Prostor Međimurja

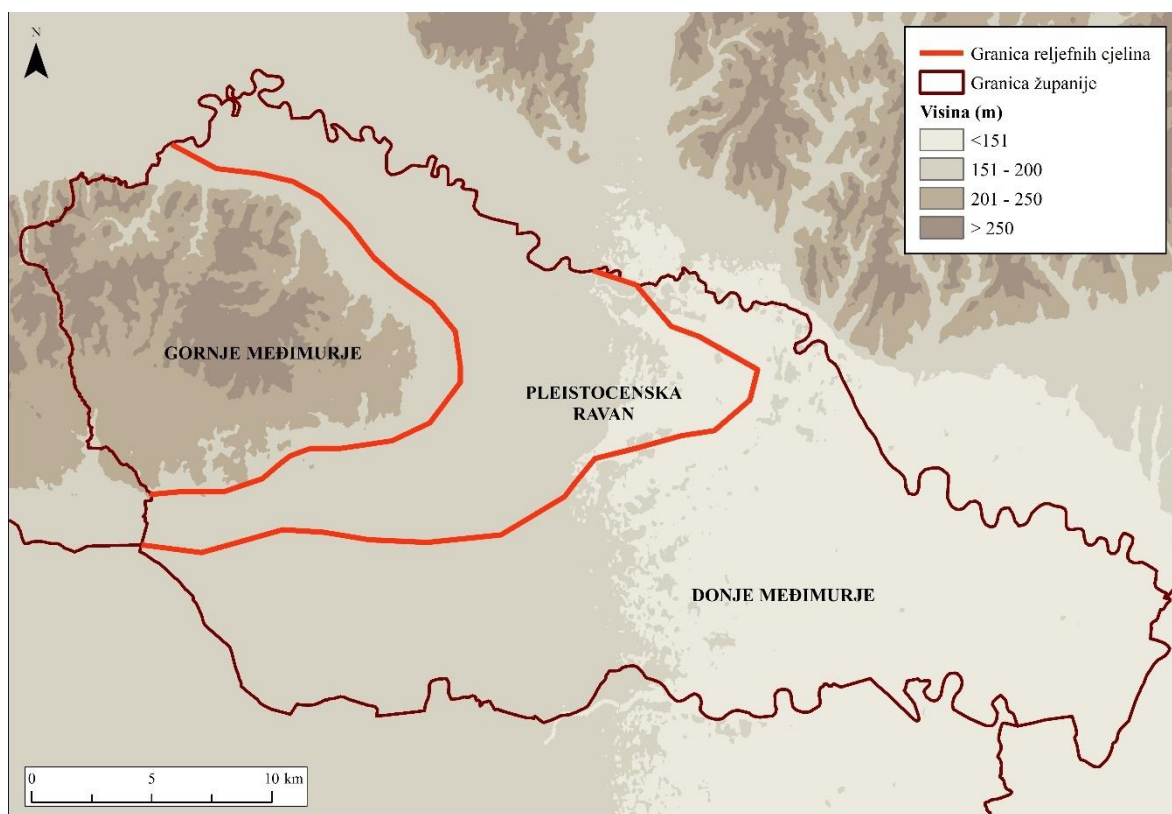
(Izvor: autorica prema podacima Registra prostornih jedinica Državne geodetske uprave)

2.3.2 Prirodno-geografska obilježja

2.3.2.1 Reljefna obilježja

Prostor Republike Hrvatske se u kontekstu uvjetno-homogene (fizionomske) regionalizacije dijeli na Primorsku Hrvatsku, Gorsku Hrvatsku te Panonsku i Peripanonsku Hrvatsku. Upravo se u potonjoj regiji nalazi prostor Međimurja uz užu regionalizaciju prostora Međimurja na podcjelinu peripanonskog prostora pod nazivom zapadni peripanonski prostor. Kao najsjevernije područje zapadnog peripanonskog prostora Republike Hrvatske koje pokazuje homogenost struktura i kriterija ističe se gornjepodravsko međimurski prostor. U geomorfološkom kontekstu, strukturu tvore podravsko-pomurske ocjedite, starije i mlađe terasne ravnice isto kao i tercijarno-kvartarna pobrđa te dravski fluvioglacialni nanosi i doline. Daljnjom podjelom ovog prostora (gornjepodravsko međimurski prostor) dolazimo do Međimurja kao zasebne cjeline. (Magaš, 2013). Upravo je

Magaš odredio i sljedeću razinu uvjetno-homogene regionalizacije prostora Međimurja i to na sljedeće cjeline: Donje Međimurje, Srednje Međimurje i Gornje Međimurje. Ipak, u literaturi se najčešće raspravlja o granici Gornjeg i Donjeg Međimurja, dok se Srednje Međimurje izostavlja. Granica Gornjeg i Donjeg Međimurja se poklapa s morfologijom Međimurja, odnosno s izohipsom od 200 metara nadmorske visine. Srednje Međimurje se može objasniti kao prijelazan prostor između niskog pobrđa Gornjeg Međimurja, te ravničarskog, dolinskog područja rijeka Drave i Mure koje je karakteristično za Donje Međimurje (Hrvatski geološki institut, 2009: 2). Prema Laciju (1962), površina Donjeg Međimurja u ukupnoj površini Međimurja jest 62,5 %. “U prostoru Donjeg Međimurja reljefno se izdvajaju dva glavna dijela kraja: viši prostor na sjeverozapadu i aluvijalna dravsko-murska nizina na jugu i istoku. Najbolje je izražena južna međa višeg prostora u odnosu na okolni niži kraj, nju čini tzv. dravska stepenica. To je zapravo pleistocena lijeva obala Drave ” (Laci, 1962).

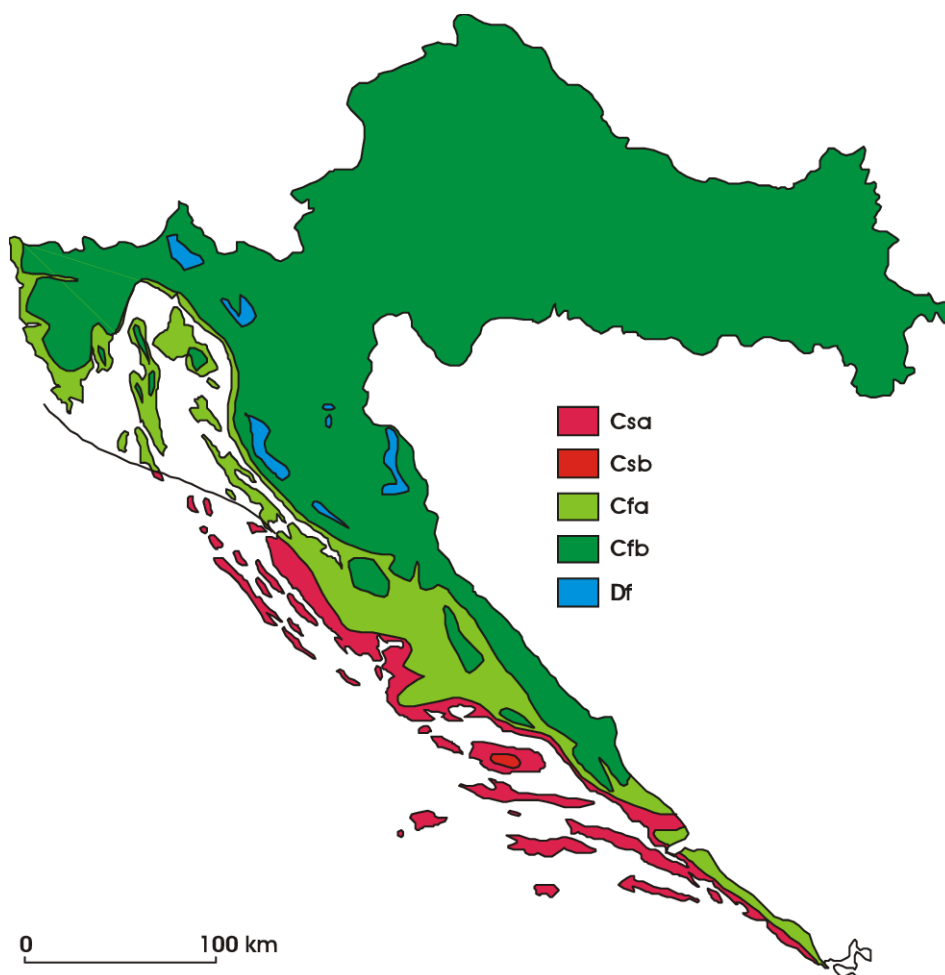


Sl. 3. Podjela Međimurske županije na geografske cjeline

(Izvor: autorica prema: Hrvatski geološki institut, 2009)

2.3.2.2 Klimatska obilježja

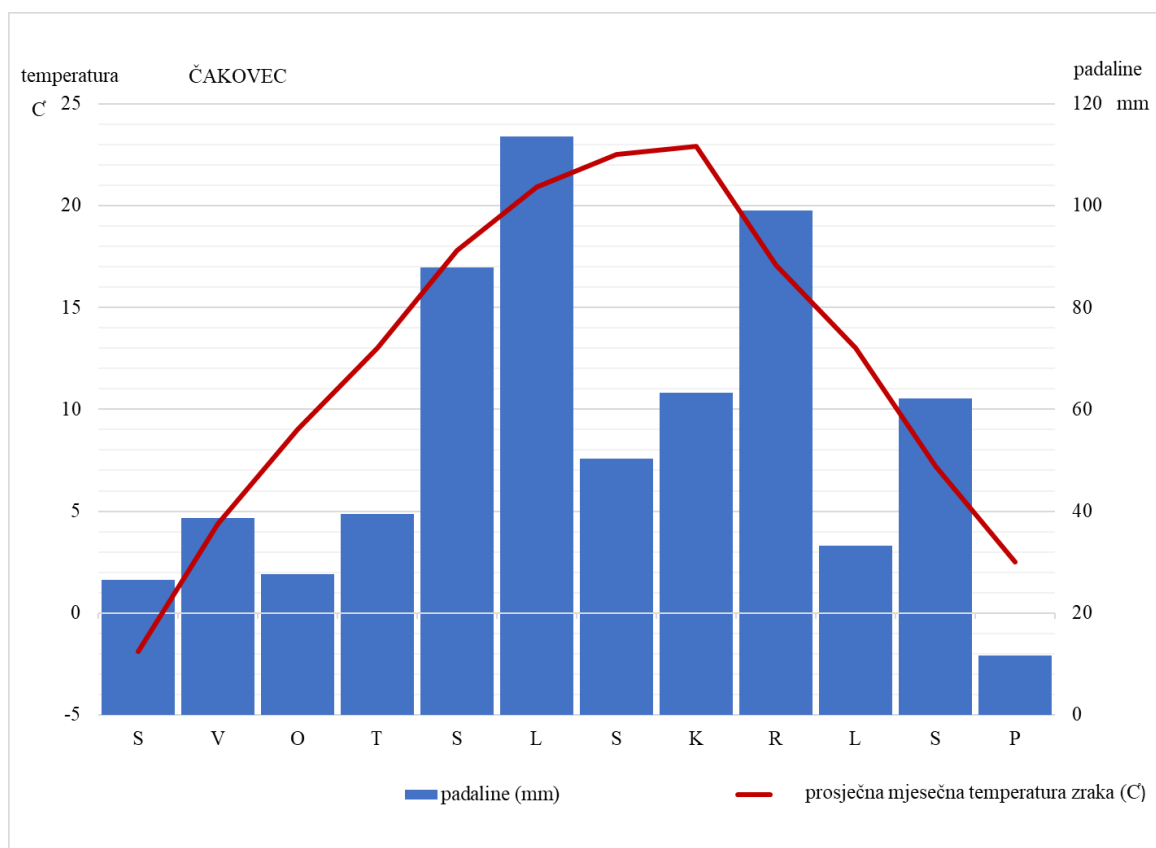
Osnovni klimatski čimbenici koji ponajviše utječu na klimu u Republici Hrvatskoj jesu geografski položaj, raspodjela i utjecaj kopna i mora te reljef. Položaj Republike Hrvatske u sjevernom umjerenom pojasu manifestira rijetku pojavu ekstremnih hladnoća i vrućina. Upravo činjenica da se prostor Republike Hrvatske nalazi na području prevladavanja zapadnih strujanja, najveći utjecaj na klimatska obilježja Republike Hrvatske imaju zračne mase koje su oblikovane nad Atlantskim oceanom (Magaš, 2013). Također, valja napomenuti da je Republika Hrvatska nalazi između kopnenih masa Euroazije i sjeverne Afrike te u području pod djelovanjem Atlantika i Sredozemnog mora. One utječu na maritimne i kontinentske zračne mase nad hrvatskim prostorima (Šegota i Filipčić, 1996).



Sl. 4. Raspodjela klimatskih tipova u Republici Hrvatskoj s označenim područjem Međimurja

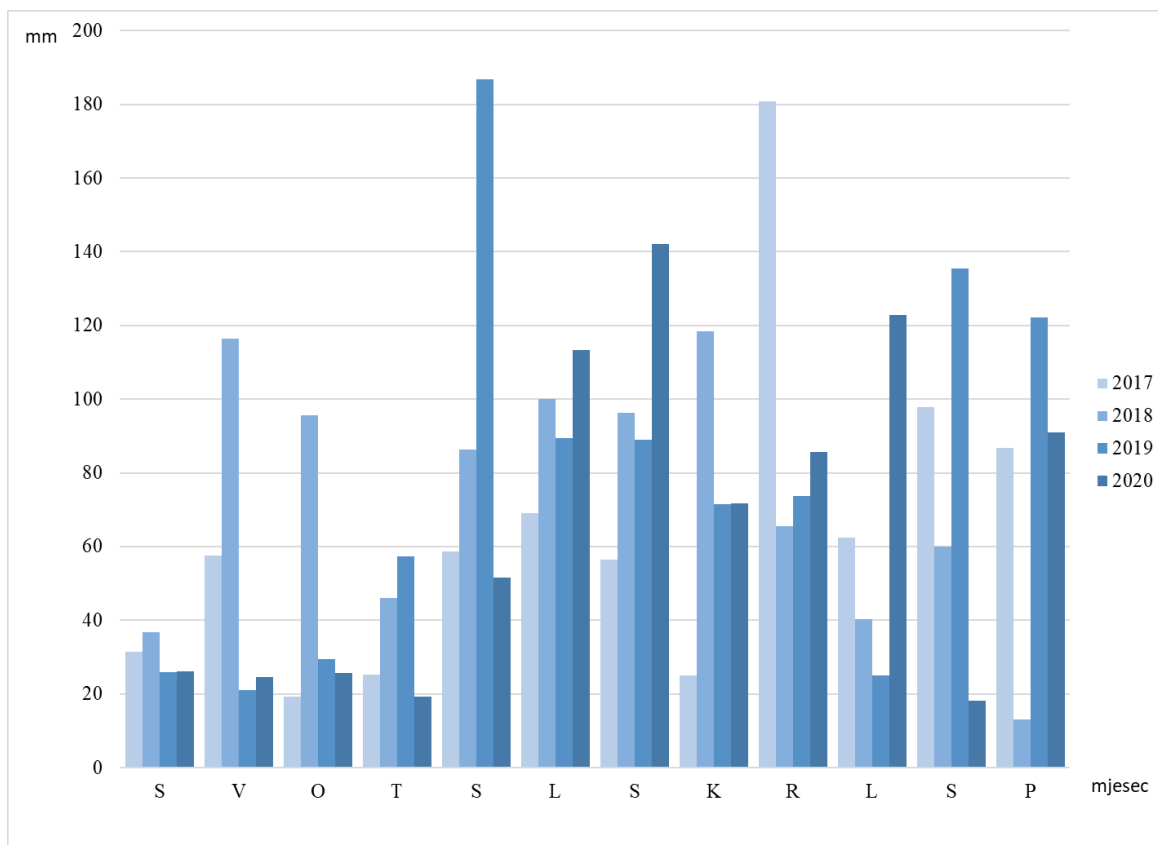
(Izvor: Šegota i Filipčić, 2003)

Prema Šegoti i Filipčiću (2003), klimatska obilježja prostora Međimurja pripadaju Cfb podrazredu, odnosno, umjereno toploj vlažnoj klimi s toplim ljetom. Zbog prethodno navedenih čimbenika, prostor Međimurja nije zahvaćen ekstremima u smislu temperaturnih parametara što pogoduje razvoju brojnim vrstama usjeva. Srednja zimska (siječanj) temperatura iznosi $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ dok je srednja ljetna (srpanj) temperatura $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Magaš, 2013). U Međimurju se često javlja brzi prijelaz iz hladnog dijela godine u topli pa zbog toga se već u rano proljeće javljaju visoke dnevne temperature, ali i proljetni mrazovi. U ljetnim mjesecima, kada su kritični trenuci vegetacijskog razdoblja za usjeve karakteristične za ovo područje, javljaju se relativno visoke temperature i razdoblja bez padalina, ali i nagle oluje s jakim pljuskovima i tučama, koje negativno utječu na razvoj (Hrvatski geološki institut, 2009).



Sl. 5. Klimadijagram Grada Čakovca 2015. godine

(Izvor: autorica, prema podacima DHMZ-a)



Sl. 6. Godišnji hod padalina u Prelogu 2017., 2018., 2019. i 2020. godine

(Izvor: autorica prema podacima DHMZ-a)

2.3.2.3 Hidrogeografska obilježja

Povoljna tektonska, geološka i geomorfološka osnova uz klimatske uvjete bili su glavni faktor razvijanja hidrografske mreže u Međimurju koja je vrlo dobro razgranata. Područje Međimurja odvodnjavaju rijeke Drava i Mura. Budući da je Mura lijeva pritoka Drave te se u daljnjem toku Drava ulijeva u Dunav, područje Međimurja pripada crnomorskom slijevu. Uz ove dvije najvažnije rijeke, važno je spomenuti i najveće akumulacijsko jezero u Republici Hrvatskoj – Dubravsko jezero površine 17,1 km² (Hrvatski geološki institut, 2009). Maksimum vodostaja rijeka Drava ima od svibnja do srpnja, a najniže razine vodostaja bilježe se od prosinca do veljače. Veliku ulogu na razvoj Međimurja imale su ogromne poplave koje su kroz prošlost uvjetovale razvoj naselja na većoj udaljenosti od samog toka rijeke. (Savezni hidrometeorološki zavod, 1988). Važne međimurske pritoke rijeke Drave su rijeka Bednja i rijeka Mura (Magaš, 2013). Upravo su rijeke, kao što je navedeno u poglavlju *Reljefna obilježja*, zaslužne za oblikovanje nizinskog, aluvijalnog tipa reljefa na području Donjeg Međimurja.

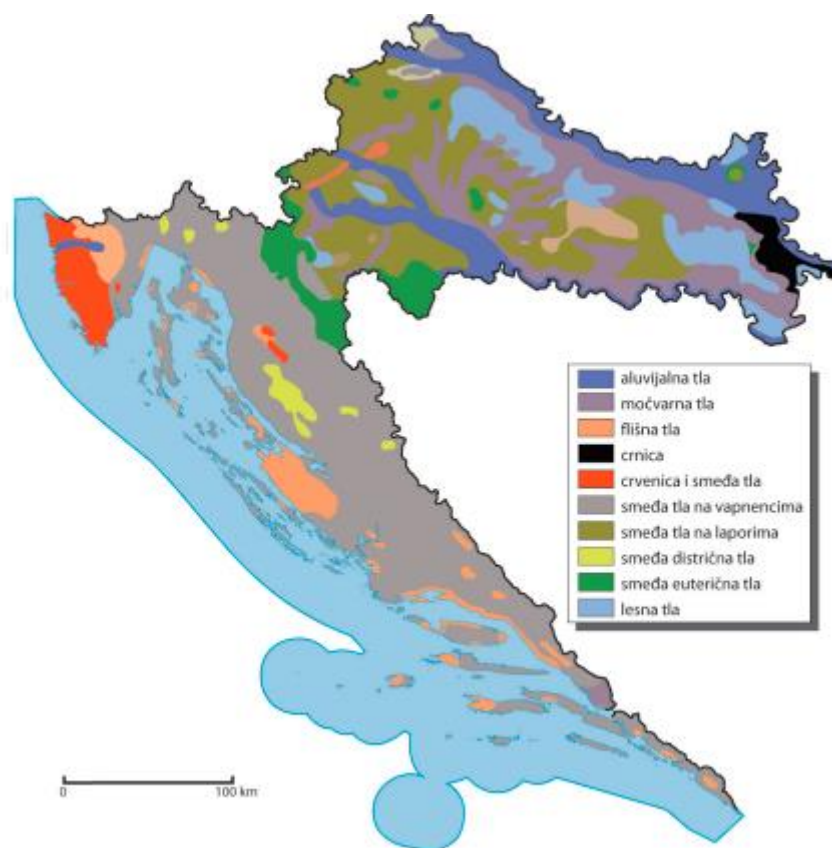
2.3.2.4 *Pedološka obilježja*

Budući da su stijene, odnosno geološka osnova, temelj za daljnje formiranje sloja tla koji je potom pogodan ili nepogodan za daljnju obradu, navedene skupine stijena možemo navesti kao glavne faktore razvoja specifičnih vrsta tala na prostoru Međimurja. Tako na prostoru Međimurja razlikujemo aluvijalna tla uz tokove rijeka Mure i Drave, tla močvarnog tipa koja se ističu u središnjem dijelu Međimurja te isprana, lesna tla na prostorima brežuljkastog reljefa, odnosno na prostoru Međimurskih gorica.

Podjela tipova tala na području Međimurja (Creda, 2021):

- ilovasto-glinasto tlo na vapnenačkoj podlozi – Međimurske gorice
- glinasta ilovača - ispod Međimurskih gorica i uz rijeku Muru
- treset i mulj - Donje Međimurje uz Muru
- šljunkovito zemljište – uz više nepostojeći sjeverniji tok Drave
- crnica i ilovača - središnji plato
- pijesci i šljunkovito - uz Dravu

Za Gornje Međimurje uglavnom su karakteristični podzoli različitih stupnjeva podzoliranosti te erodirana ilovasta, pjeskovita tla koja su nastala deforestacijom strmih padina šuma za potrebe ratarske i vinogradarske proizvodnje. S druge strane, na području porječja potoka Trnave došlo je do razvitka aluvijalno-močvarnih tla na silikatnom šljunku. Specifičnost ovih tala je vrlo slaba mogućnost valorizacije budući da su najmanje plodna pa se stoga koriste kao pašnjaci i livade. Nadalje, u Donjem Međimurju je došlo do taloženja ilovastih i pjeskovito-ilovastih nanosa budući da se korito Drave kroz prošlost pomicalo sa sjevera prema jugu te ostavljalo velike nanose šljunka i pijeska. Ovakvi prostori, uz prisutnost faktora dubine tla i ilovastog sastava, pripadaju najplodnijim tlima na prostoru Međimurja te su u poljoprivrednom smislu najviše valorizirana i obrađena. Idući dalje prema istoku, dolazimo do ušća Mure u Dravu gdje su specifična aluvijalno-močvarna glinasto-ilovasta tla koja su jako humusna što je također pogodno za razvoj poljoprivrede (Tla Hrvatske, 2021). „Utjecajem pedogenetskih faktora razvili su se različiti tipovi tala. Najmanje plodna su često plavljena tla uz tekućice, pa se znatnim dijelom iskorišćuju kao prirodne livade i pašnjaci. Kod sadašnjih vodnih prilika kao najplodnija tla mogu se smatrati aluvijalno-močvarna karbonatna tla koja uglavnom zahvaćaju centralni dio Donjeg Međimurja, pa su najvećim dijelom obrađena” (Laci, 1962: 84).



Sl. 7. Tipovi tala na prostoru Republike Hrvatske s označenim područjem Međimurja (Izvor: Tla Hrvatske, 2021)

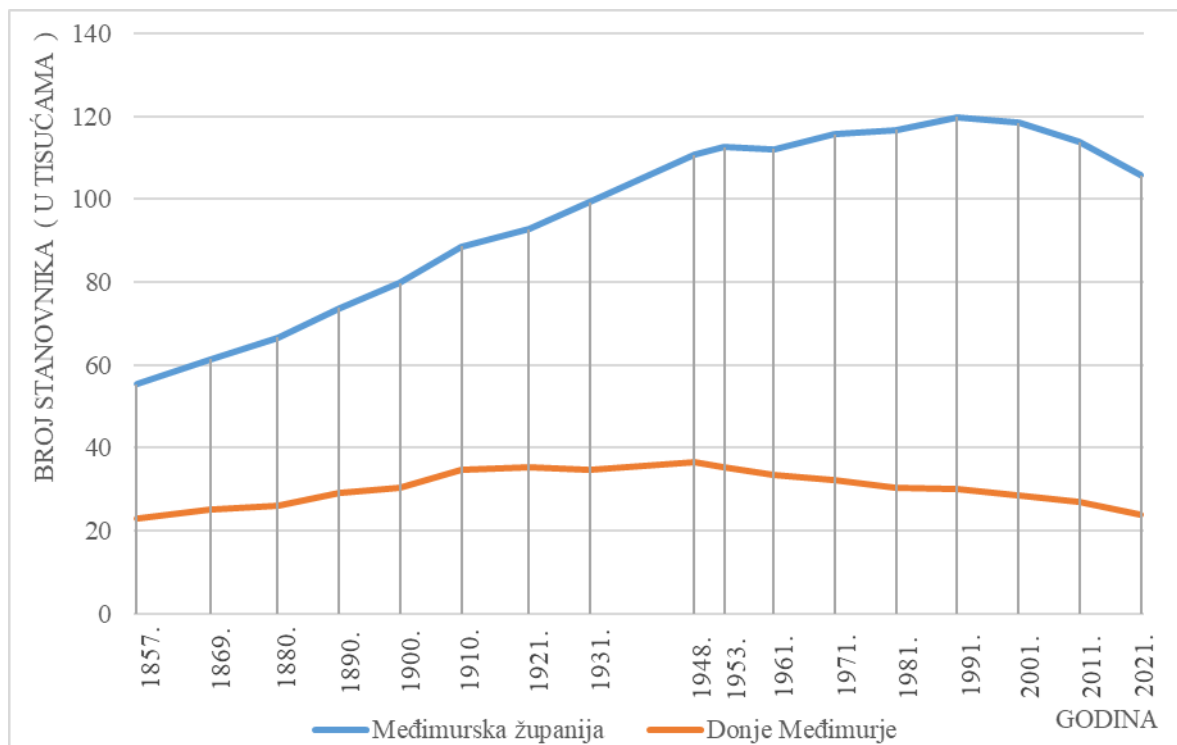
2.3.3 Društveno geografska obilježja

Međimurska županija proglašena je županijom preustrojem administrativne podjele Republike Hrvatske 1992. godine. Dotadašnji prostor općine Čakovec postaje najmanjom županijom na prostoru Republike Hrvatske (Magdalenić, 1994). Prostor Međimurske županije obuhvaća površinu od 730 km², odnosno 1,29 % teritorija Republike Hrvatske (REDEA, 2017).

2.3.3.1 Opća demografska obilježja

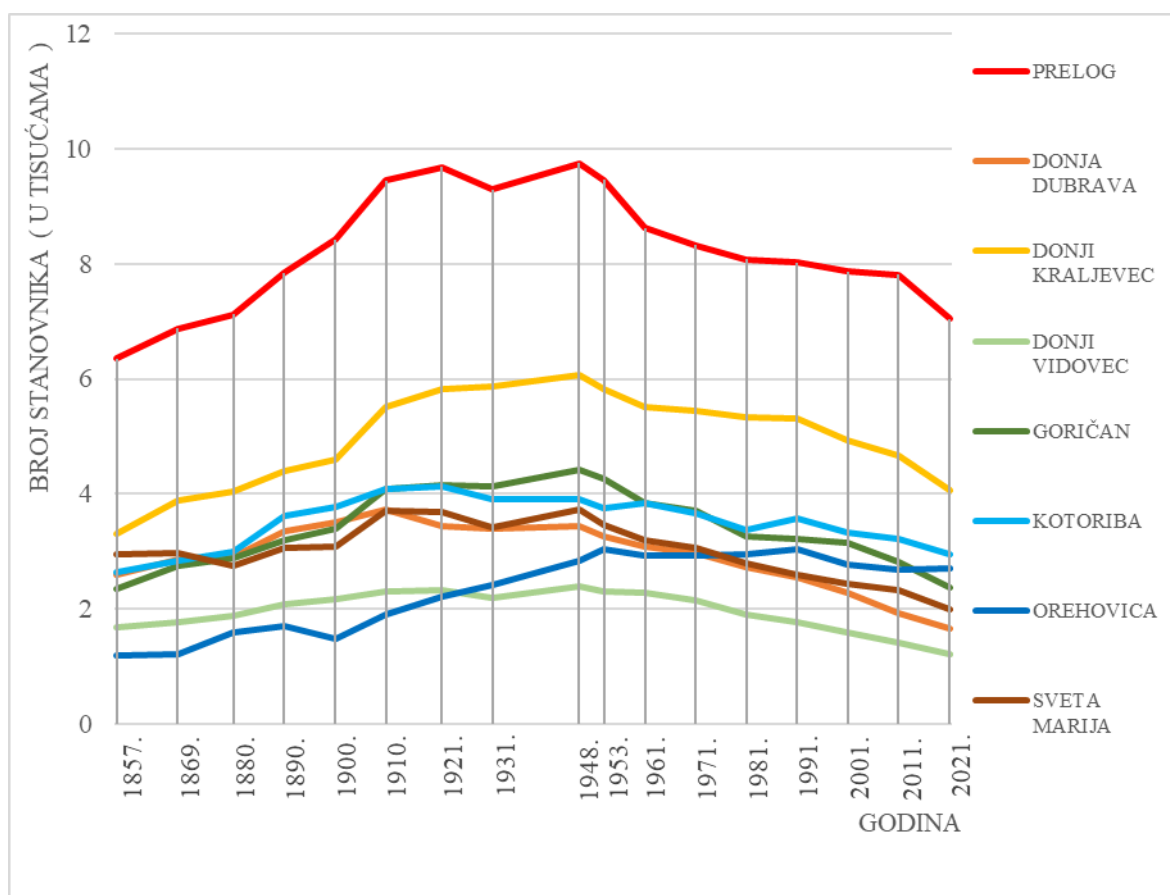
Međimurje, kao i ostale dijelove Republike Hrvatske karakteriziraju nepovoljna demografska kretanja. Prema posljednjem Popisu stanovništva 2021. godine u Međimurju je zabilježeno 105 863 stanovnika, dok podaci Popisa stanovništva iz 2011. godine pokazuju da je Međimurje u toj popisnoj godini imalo 113 804 stanovnika (DZS). Prisutan je određeni pad broja stanovnika u odnosu na prethodni popis, a jednako tako se vidio pad broja

stanovnika između popisa 2001. i 2011. godine. U Gradu Prelogu i općinama Donjeg Međimurja prisutan je pad broja stanovnika prema posljednjem popisu stanovništva 2021. godine. Najveći broj stanovnika od 1857. godine ima Grad Prelog koji je i jedini grad na promatranom prostoru.



Sl. 8. Ukupno kretanje stanovništva Međimurja i Donjeg Međimurja od 1857. do 2021. godine

(Izvor: autorica prema: Naselja i stanovništvo RH 1857.-2001., Međimurska županija - broj stanovnika po gradovima/općinama; Popis stanovništva, kućanstava i stanova u Republici Hrvatskoj 2011. godine, Popis stanovništva, kućanstava i stanova 2021. godine, Državni zavod za statistiku, Zagreb)

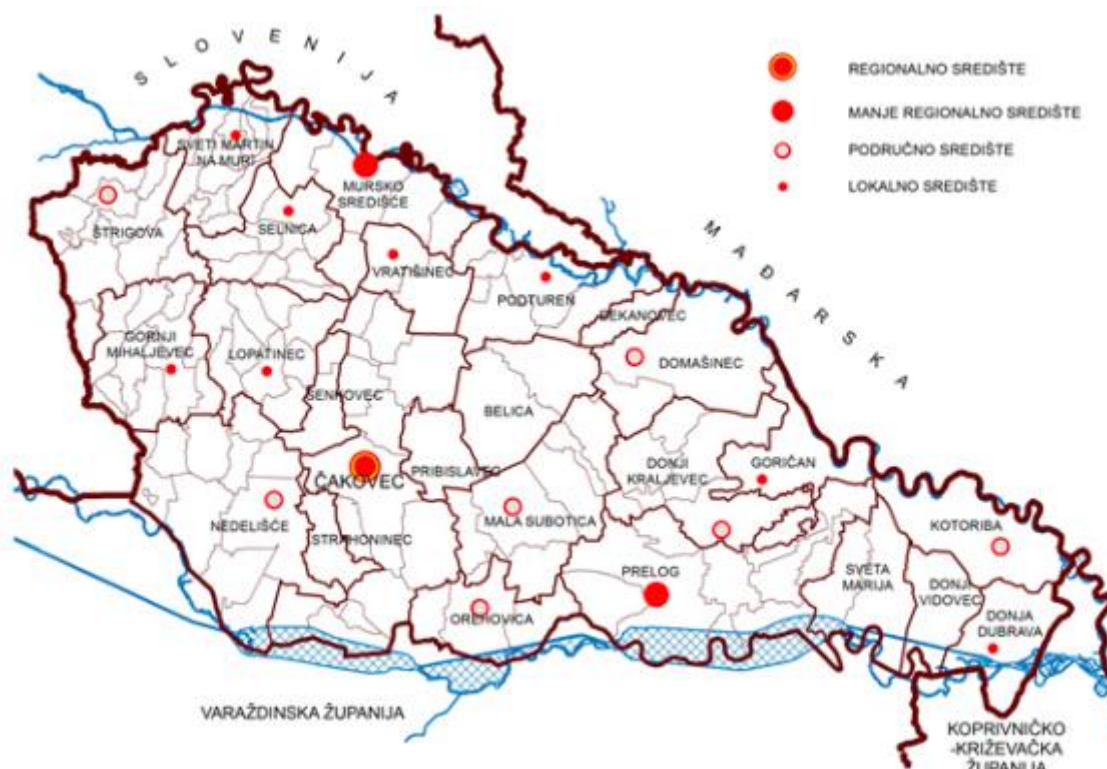


Sl. 9. Ukupno kretanje stanovništva grada i općina Donjeg Međimurja od 1857. do 2021. godine

(Izvor: autorica prema: Naselja i stanovništvo RH 1857.-2001., Međimurska županija - broj stanovnika po gradovima/općinama; Popis stanovništva, kućanstava i stanova u Republici Hrvatskoj 2011. godine, Popis stanovništva, kućanstava i stanova 2021. godine, Državni zavod za statistiku, Zagreb)

2.3.3.2 Naselja

Međimurska županija ima 3 grada – Čakovec, Prelog, Mursko Središće i 22 općine - Belica, Dekanovec, Domašinec, Donja Dubrava, Donji Kraljevec, Donji Vidovec, Goričan, Gornji Mihaljevec, Kotoriba, Mala Subotica, Nedelišće, Orešnica, Podturen, Pribislavec, Selnica, Strahoninec, Sveta Marija, Sveti Juraj na Bregu, Sveti Martin na Muri, Šenkovec, Štrigova, Vratišinec (DZS, 2011).



Sl. 10. Sustav središnjih naselja Međimurske županije

(Izvor: Službeni glasnik Međimurske županije, 2014)

Sustav središnjih naselja Međimurske županije u manjoj je mjeri modificiran u odnosu na Program prostornog uređenja Republike Hrvatske, a sve u cilju podjednagog razvoja svih naselja Međimurske županije. Prema Službenom glasniku Međimurske županije (2014), sustav središnjih naselja Međimurske županije klasificira se na sljedeći način:

1. regionalno središte – Čakovec
2. manja regionalna središta – Prelog, Mursko Središće
3. područna središta – Kotoriba, Donji Kraljevec, Domašinec, Nedelišće, Štrigova
4. lokalna središta – sva ostala općinska središta

Promatrajući samo naselja Donjeg Međimurja, uzevši u obzir Magaševu podjelu Međimurja na Gornje, Srednje i Donje Međimurje, vidljivo je da naselje koje dominira veličinom, odnosno brojem stanovnika 2021. godine spram drugih naselja, grad Prelog. Smješten uz Dubravsko jezero i još iz davnih vremena gospodarski vrlo uspješan. Slijede veća seoska naselja Goričan, Kotoriba, Donja Dubrava i dr.

2.3.3.3 *Razvoj poljoprivredne djelatnosti*

Međimurje je izrazito gusto naseljeno područje. Opća gustoća naseljenosti od 76 st./km² bila je zabilježena već na popisu 1857. godine, što je otprilike današnja opća gustoća naseljenosti u Republici Hrvatskoj. „Usprkos dugotrajnoj, snažnoj i stalnoj emigraciji gustoća naseljenosti povećavala se tako da je 1900. godine iznosila 110 st./km², 1948. godine 152 st./km², a 2001. godine 162 st./km² iz čega je vidljivo da je visoka opća gustoća naseljenosti jedna od glavnih demografskih karakteristika Međimurja” (Vuk i Slunjski, 2004). Na posljednjem Popisu 2021. godine zabilježena je gustoća naseljenosti od 145 st./km².

U vremenu između popisa se demografska situacija Međimurja mijenjala ovisno o većem broju faktora. Razdoblje od 1857. do početka Prvog svjetskog rata specifično je po porastu broja stanovnika po srednjoj godišnjoj stopi rasta od 0,87 % (Šlezak i Belić, 2019).

„Više faktora, prije svega ubrzani rast agrarnog stanovništva, raspad malih seljačkih posjeda i racionalizacije na grofovskim imanjima - ali i stanovit etnopolitički pritisak - pokrenulo je emigraciju iz Međimurja na početku 20. stoljeća” (Heršak i Šimunko, 1990). U ovom razdoblju, valja naglasiti i činjenicu da je Prelog tijekom popisa 1857. godine imao veći broj stanovnika (3049) od Čakovca (2678). Dolaskom željezničke pruge u Čakovec 1860. godine, počinje razvitak Čakovca kao glavnog središta Međimurja. Tijekom ovog razdoblja dolazi do smanjenja srednje godišnje stope rasta Međimurja uz početak procesa depopulacije sela (Šlezak i Belić, 2019). Razdoblje između dva svjetska rata karakterizira pripojenje Međimurja hrvatskom prostoru 1918. godine gdje Međimurci, zbog marginalizacije, pripadanja „krivoj“ strani, nisu imali prevelikog izbora što se tiče zaposlenja. Razdoblje nakon svjetskih ratova u Međimurju bilo je okarakterizirano snažnim poljoprivrednim sektorom, ispodprosječnom obrazovnom strukturom te imigracijom. „Dok je tridesetih godina svega 0,5 % seljaka imalo ukupne posjede do veličine od jednog hektara (odnosno dva jutra), godine 1960. taj je udio u poljoprivredno gustom Donjem Međimurju iznosio već oko 40 %, a gotovo 95 % seljaka posjedovalo je zemlju samo do pet hektara“ (Heršak i Šimunko, 1990). Treće razdoblje demografskih promjena u Međimurju očituje se u razdoblju 1948.-1991. godine gdje se primjećuje demografski rast Čakovca po srednjoj godišnjoj stopi od 1,83 % dok je taj iznos na razini cijelog Međimurja na svega 0,21 %. Čakovec se u ovom razdoblju konsolidirao kao glavno središte i centar Međimurja. Četvrto razdoblje pak se očituje od 1991. godine do 2001. tijekom kojeg cijeli prostor Međimurja ima negativnu prosječnu stopu promjene stanovnika što se objašnjava Domovinskim ratom, niskim natalitetom, emigracijama te promijenjenom metodologijom popisa (Vuk, Slunjski,

2004). “Međutim, između 2014. i 2018. godine, u RH su zabilježene samo četiri županije s prirodnim prirastom te je Međimurska jedna od njih“ (Šlezak i Belić, 2019).

Prema Popisu stanovništva 2011. godine, utvrđeno je da 59,2 % kućanstava Donjeg Međimurja nema nikakvo poljoprivredno zemljište, dok se u 92 % kućanstava, ukoliko imaju poljoprivredno zemljište, radi o oranicama. Najviše kućanstava, s preko 20 hektara oranice, ima u Gradu Prelogu i Općini Donji Kraljevec koje prema Popisu 2011. godine imaju i najveći broj stanovnika i kućanstava. Gotovo podjednak broj kućanstava u Donjem Međimurju ima manje od 1 hektar oranica i od 1 do 10 hektara oranica. Najveći postotak kućanstava bez poljoprivrednog zemljišta ima Općina Kotoriba za koju je značajna komasacija, gdje se većinom „veliki“ i „srednje veliki“ zemljoposjednici bave obradom oranica. Sukladno tome postoji manji broj kućanstava koji se bavi poljoprivredom, ali na većini poljoprivrednih površina. Tek je za 3,05 % stanovništva Donjeg Međimurja bavljenje poljoprivredom glavni izvor prihoda i to poljoprivreda ne obuhvaća samo ratarstvo, odnosno obradu polja već i vinogradarstvo, voćarstvo, povrćarstvo i ostalo. To ukazuje na činjenicu da se zapravo vrlo mali postotak stanovništva bavi isključivo poljoprivredom. Većini je ona ipak sekundarna djelatnost i dodatan izvor prihoda. Najveći udio stanovništva s poljoprivredom kao glavnim izvorom prihoda je u Orehovici i Prelogu.

Tab. 2. Kućanstva prema korištenom poljoprivrednom zemljištu 2011. godine

Grad/ Općina	Ostalo korištenje poljoprivrednog zemljišta	Udio kućanstava s oranicom			Udio kućanstava bez poljoprivrednog zemljišta (%)	Udio oranica u ukupnom poljoprivrednom zemljištu (%)
		< 1 ha	1 -10 ha	> 10 ha		
Prelog	64	36,7	57,6	5,7	60,7	93,1
Donja Dubrava	7	67,0	31,2	1,8	57,3	97,6
Donji Kraljevec	58	35,2	56,3	8,5	59,9	89,5
Donji Vidovec	28	52,5	45,0	2,5	49,7	87,8
Goričan	20	72,4	25,7	1,8	45,1	95,6
Kotoriba	69	64,5	28,9	6,6	73,3	74,1
Orehovica	10	18,2	63,1	18,6	64,3	95,9
Sveta Marija	7	57,9	38,8	3,3	53,1	97,9
Ukupno	263	48,1	46,1	5,8	59,2	92,0

Izvor: Privatna kućanstva prema korištenome poljoprivrednom zemljištu, broju stoke i peradi, Popis 2011., DZS, Zagreb

3 CILJEVI I HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA

3.1 Ciljevi istraživanja

Kao glavni cilj ovog istraživanja ističe se dokazivanje mogućnosti klasifikacije usjeva Donjeg Međimurja prema korištenoj metodologiji s ostvarenom dovoljnom točnošću. Jedan od načina provjeravanja točnosti klasifikacije je matrica pogrešaka (engl. *error matrix*) gdje se provodi usporedba referentnih podataka i podataka dobivenih klasifikacijom. Andersen je u svojem radu o klasifikacijskim shemama korištenim za klasifikaciju načina korištenja zemljišta upotrebom daljinskih istraživanja istaknuo da točnost klasifikacije mora biti gotovo jednaka točnosti ostvarenoj terenskim istraživanjima kako bi klasificirani podaci bili usporedivi sa dotadašnjim, standardiziranim metodama koji su imali točnost 90 do 95 %. Raspravlja o točnosti na temelju podataka o načinu korištenja zemljišta Popisa poljoprivrede provedenog u Sjedinjenim Američkim Državama (Anderson, 1971).

Drugi cilj koji se nastoji ostvariti o ovom istraživanju jest minimalne razlike u točnosti klasifikacije među klasama (Anderson, 1971). One će zasigurno biti različite zbog razlike u referentnim podacima, točnije u broju istih za pojedinu klasu. U istraživanju je prostor Donjeg Međimurja primarno stratificiran prema 6 usjeva: kukuruz, pšenica, soja, šećerna repa, suncokret i uljana repica te sekundarno na druge klase: izgrađeno, šume, voda i ostalo. Odabrani su spomenuti usjevi jer se oni najčešće pojavljuju na donjomeđimurskim poljima te su oni sijani od 2017. do 2020. godine od strane obiteljskog poljoprivrednog gospodarstva čija se dokumentacija koristila za generiranje referentnih podataka.

Treći cilj ovog istraživanja je u budućnosti aplicirati jednaku metodologiju prikupljanja, obrade i analize podataka i na drugim područjima na kojima se siju slični usjevi, odnosno na onim područjima gdje usjevi imaju sličan vegetacijski razvoj.

3.2 Hipoteze istraživanja

Prva hipoteza ovog istraživanja ističe da se odabranom metodom obrade satelitskih snimaka i njihovom klasifikacijom može postići točnost klasifikacije usjeva sa zadovoljavajućim iznosom od najmanje 85 %.

Ona se odnosi na tvrdnje da točnost klasifikacije ne bi smjela biti manja od 85 %, zbog toga što su takvu točnost ostvarivali analitičari terenskim prikupljanjem podataka. Daljinskim istraživanjima, kako bi se ona mogla uspješno primjenjivati, potrebno je postići minimalno isti iznos točnosti, kako bi podaci bili usporedivi s podacima terenskih mjerenja (Anderson, 1971).

Izračun ukupne točnosti obavlja se usporedbom klasifikacijom dobivenih podataka i referentnih podataka. Referentne podatke u ovom istraživanju čine podaci dobiveni od lokalnog obiteljskog poljoprivrednog gospodarstva, koji vode evidenciju usjeva prema parcelama. Klasificiranih i referentni podaci uspoređuju se kroz matricom pogrešaka. Osim ukupne točnosti, kvaliteta klasifikacije usjeva može se provjeriti i kroz točnost klasifikacije pojedinih klasa ili preko kapa koeficijenta koji je mjera podudaranja klasificiranih i referentnih podataka.

Druga hipoteza odnosi se konkretno na klasifikaciju usjeva gdje se pretpostavlja da će najčešći usjev na poljoprivrednim površinama u Donjem Međimurju kroz promatrano razdoblje biti kukuruz. Za sijanje i obradu kukuruza nije potrebna specijalna mehanizacija. On se vrlo lako može posijati na jednoj parceli više godina za redom, lako se održava u smislu da se ne mora više puta kroz vegetacijsko razdoblje tretirati sredstvima već samo dva puta, dobro podnosi topla ljeta, najčešće, ukoliko nije sušna godina, osigurava dobre prinose i postoji duga tradicija sijanja kukuruza u tom kraju. Iako cijena na tržištu ponekad nije najbolja, ljudi se odlučuju na sijanje kukuruza iz razloga što uglavnom mali rashodi tijekom njegovog vegetacijskog razdoblja osiguravaju ekonomski profit te zbog toga što kultura nije zahtjeva u smislu obrade kroz vegetacijsko razdoblje (Pucarić i dr., 1997).

4 TEORIJSKI OKVIR ISTRAŽIVANJA

4.1 Sentinel misija

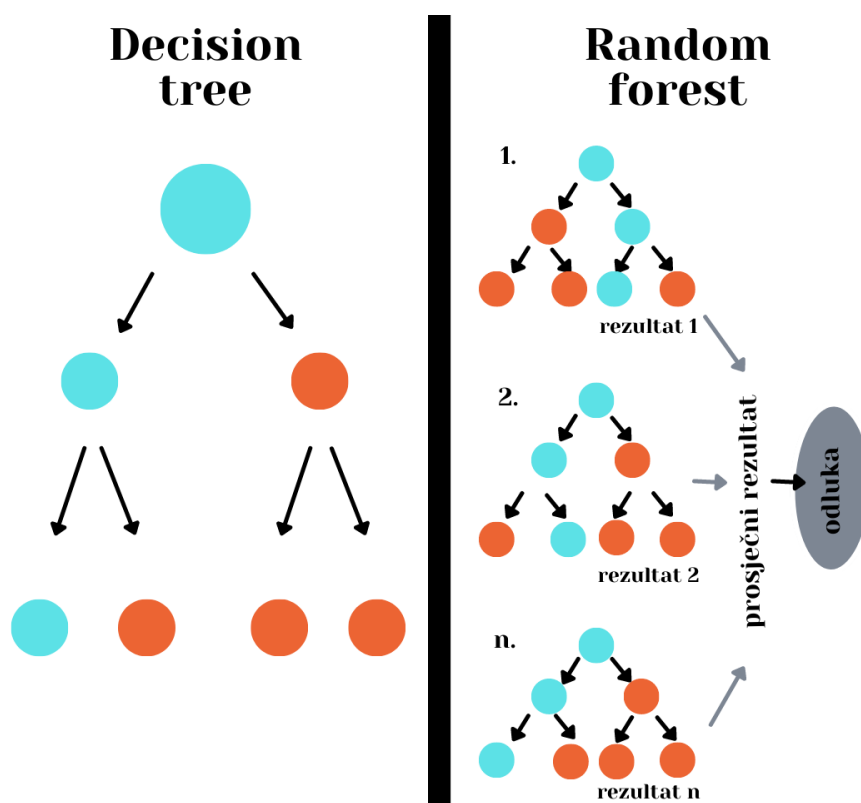
Copernicus program je program za promatranje Zemlje osmišljen od strane Europske Unije s ciljem prikupljanja informacija o Zemlji za sve europske građane. Copernicus programom upravlja Europska komisija, a surađuje i s državama članicama Europske Unije, Europskom svemirskom agencijom (ESA), Europskom organizacijom za iskorištavanje meteoroloških satelita (EUMETSAT), institucijama Europske Unije i drugim. Copernicus program djeluje preko satelitske misije Sentinel. Prvi satelit misije je lansiran 2014. godine i nazvan je Sentinel-1A, a do 2030. godine predviđa se da će čak 20 satelita biti lansirano u svemir. Copernicus program koristi u regionalnom i lokalnom planiranju, zaštiti okoliša, poljoprivredi, šumarstvu, prometu, zdravstvu, upravljanju urbanim područjima i mnogočem drugom (Copernicus, 2021).

Sentinel misije su razvijene od strane Europske svemirske agencije kako bi zamijenile dotrajale svemirske misije koje su tada bile u tijeku kao što su ERS i Envisat. Novi sateliti lansirani su prije kraja zastarjelih misija kako ne bi bilo rupa u podacima. U svakoj Sentinel misiji lansirana su 2 satelita koji pokrivaju područje cijele Zemlje, a na sebi nose najnovije tehnologije kao što su radari i multispektralne kamere potrebne za nadziranje kopna, vodenih površina i atmosfere. Prvi lansirani Sentinel-1A satelit, kao i Sentinel-1B sateliti su radarski sateliti, dok su sateliti Sentinel-2A, lansiran 2015. godine, i Sentinel-2B, lansiran 2017. godine, sateliti s multispektralnim kanalima (ESA, 2021). Na Sentinel-2A satelitima bazirano je ovo istraživanje iz razloga što pokazuju veću refleksiju u svim kanalima u odnosu na Sentinel-2B satelitske multi spektralne kanale (Chen i dr., 2018). Nakon njih lansirano je još nekoliko Sentinel misija, a posljednja Sentinel-6 je lansirana 2020. godine.

Dva satelita Sentinel-2 misije pozicionirani su 180 stupnjeva jedan u odnosu na drugoga. Opremljeni su sa MSI - multispektralnim instrumentom koji svaku snimku snima s 13 multispektralnih kanala raspona valne duljine od 443 do 2190 nanometara. MSI pasivno prikuplja reflektiranu Sunčevu svjetlost s površine Zemlje. Sateliti snimaju isto područje u različitim prostornim rezolucijama, ovisno o kanalu, u intervalu od 5 dana. Najveću prostornu rezoluciju od 10 metara ima vidljivi i bliski infracrveni dio spektra - B2 B3, B4, B8. Prostornu rezoluciju od 20 metara imaju kanali vidljivog i bliskog infracrvenog spektra - B5, B6, B7, B8A te kratkovalni infracrveni B11 i B12, dok najslabiju prostornu rezoluciju od 60 metara imaju kratkovalni infracrveni kanali B9 i B10 te B1 kanal (ESA, 2012).

4.2 Random forest klasifikacija

Random forest (RF) je jedan od algoritama strojnog učenja. Generalno, strojno učenje nastoji iz poznatih činjenica zaključiti o karakteristikama ostalih podataka o kojima ne znamo puno. Stablo odlučivanja (engl. *decision tree*) uobičajena je praksa strojnog učenja te je dio RF procesa odlučivanja. Stablo odlučivanja se koristi nizom slijednih odluka kod donošenja konačne odluke. Promatranjem uzoraka, ponašanja i različitih ulaznih podataka u modelima, mogu se predvidjeti ishodi novih podataka čije karakteristike ne znamo (Breiman, 2001; Hartshorn, 2016). Stablo odlučivanja je, u odnosu na RF algoritam, jednostavniji i razumljiviji algoritam s manjim opsegom trening podataka i kraćim vremenom obrade. RF algoritam oslanja se u svojoj konačnoj odluci na više stabala odlučivanja, odnosno na većinu odgovora grupe stabala odlučivanja. U konačnici, svaki piksel ima n broj stabala odlučivanja koja glasaju kojoj bi klasi određen piksel trebao pripasti. Primjerice, u RF algoritmu s 300 stabala odluke i 4 klase, rezultat odlučivanja je bio da je određen piksel bio 50 puta određen kao klasa vode, 25 puta kao klasa šume, 25 puta kao klasa poljoprivredno zemljište i 200 puta kao klasa izgrađeno zemljište. Rezultat ovog primjera je zaključen prema većini glasova, odnosno da je taj piksel izgrađeno zemljište (Ok i dr., 2012; Bell, 2014).



Sl. 11. Algoritmi *decision tree* i *random forest*

(Izvor: autorski rad)

4.3 Vegetacijski indeksi

Vegetacijski indeksi koriste se kod daljinskih istraživanja vegetacije, a izračunavaju se preko kanala satelitske snimke matematičkom funkcijom. U ovome istraživanju korišteno je pet vegetacijskih indeksa: NDVI, SAVI, LCI, Clrededge i Clgreen.

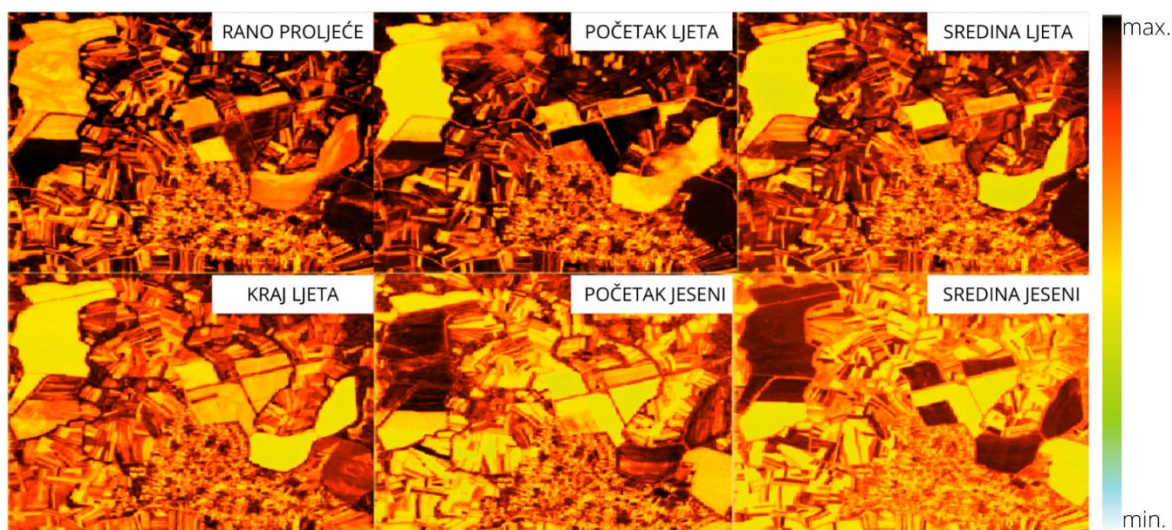
Tab. 3. Formule vegetacijskih indeksa

Vegetacijski indeks	Formula	Sentinel-2 kanali
NDVI	$\frac{(NIR - R)}{(NIR + R)}$	$\frac{(B8 - B4)}{(B8 + B4)}$
SAVI	$\frac{(NIR - R)}{((NIR + R + L) * (1.0 + L))}$ L= 0.5	$\frac{(B08 - B04)}{((B08 + B04 + L) * (1.0 + L))}$ L= 0.5
LCI	$\frac{(NIR - Redge)}{(NIR + R)}$	$\frac{(B8 - B5)}{(B8 + B5)}$
Clrededge	$\left(\frac{NIR}{Redge} \right) - 1$	$\left(\frac{B9}{B5} \right) - 1$
Clgreen	$\left(\frac{NIR}{G} \right) - 1$	$\left(\frac{B9}{B3} \right) - 1$

(Izvor: Frampton i dr., 2013.)

Normalizirani indeks razlika vegetacije (NDVI) je najčešće korišten vegetacijski indeks, a pokazuje gustoću vegetacije u određenoj točki slike koje je jednaka razlici u intenzitetima reflektiranog elektromagnetnog zračenja u crvenom i infracrvenom području podijeljenim sa zbrojem tih intenziteta. Indeks se izračunava postupkom normalizacije te je zbog toga raspon vrijednosti NDVI-a između 0 i 1. NDVI ima osjetljivi odgovor na zelenu vegetaciju, čak i za područja s niskom vegetacijom. Osjetljiv je na učinke svjetline tla, boje tla, atmosfere, sjene oblaka i oblaka te sjene krošnje lišća. Negativne vrijednosti uglavnom nastaju od oblaka, vode i snijega, a vrijednosti bliske nuli prvenstveno se formiraju od stijena i golog tla. Vrlo male vrijednosti (0,1 ili manje) indeksa NDVI odgovaraju praznim područjima kamenja, pijeska ili snijega. Umjerene vrijednosti (od 0,2 do 0,3) predstavljaju grmlje i livade, dok velike vrijednosti (od 0,6 do 0,8) označavaju umjerene i tropske šume. Ova ljestvica se uspješno koristi za praćenje usjeva na zemljištima jer poljoprivrednicima daje informaciju koji dijelovi njihovih polja imaju gustu ili rijetku vegetaciju. Pojednostavljeno, NDVI je mjera stanja vegetacijskog pokrova, a temelji se na refleksiji elektromagnetnog zračenja određenih valnih duljina. Klorofil je indikator zdravlja te zdrave

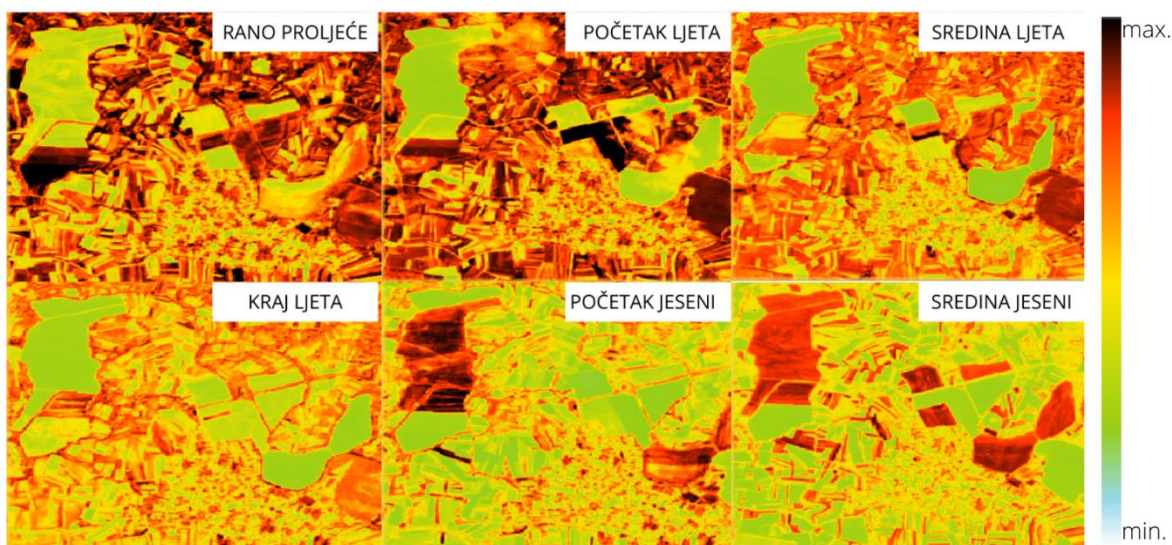
biljke poprilično jako reflektiraju blisko infracrveno zračenje (NIR) (Weier i Herring, 2000; Xie i dr.,2010).



Sl. 12. Primjer kretanja NDVI vrijednosti – detalj snimaka 2019. godine

(Izvor: autorski rad)

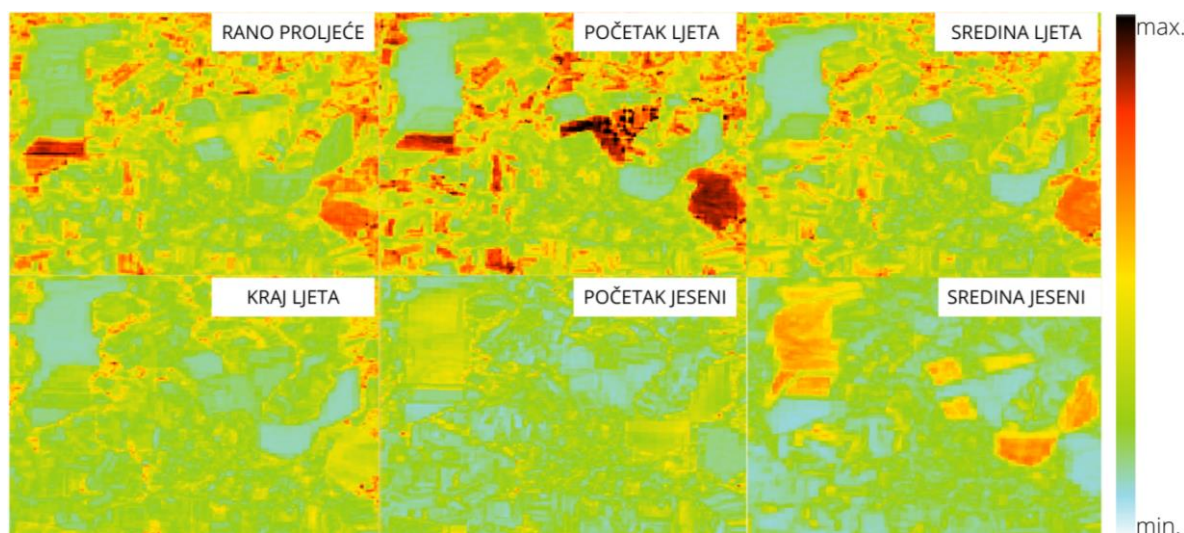
SAVI ili *Soil-Adjusted Vegetation Index*, osmišljen je kako bi se poboljšala osjetljivost NDVI na podlogu tla, a izražava se u rasponu od 0 do 1. Kada je stupanj pokrivenosti vegetacijom visok, SAVI ima vrijednost blizu 1, što pokazuje da pozadina tla nema utjecaja na preuzimanje informacija o vegetaciji. Dio formule je i vrijednost L koja je najčešće 0,5 u prosječnim uvjetima okoliša, 0 u područjima bez zelene vegetacije, a 1 u područjima s bujnom zelenom vegetacijom. Kada je blizu 0, vrijednost SAVI je jednaka NDVI (Huete, 2002; Xue i Su, 2017).



Sl. 13. Primjer kretanja SAVI vrijednosti – detalj snimaka 2019. godine

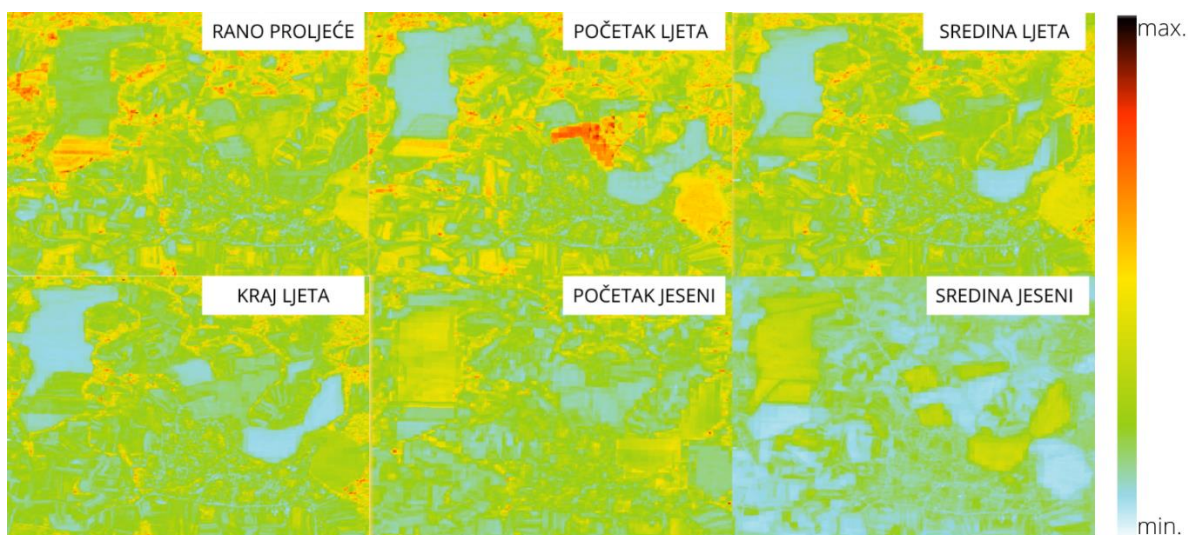
(Izvor: autorski rad)

Indeks klorofila (CI) se primjenjuje za izračunavanje ukupne količine klorofila u biljkama. Općenito, ovaj indeks sadrži dva odvojena pojasa: CIgreen i Clrededge. Ovi indeksi reagiraju na male varijacije u sadržaju klorofila i konzistentne su za većinu vrsta biljaka. Stanična struktura biljaka ima tendenciju reflektiranja valova unutar Clrededge spektralnog raspona, što rezultira reflektiranjem više svjetlosti, pa zbog toga slijedi: što je veća refleksija, to je područje zelenije.



Sl. 14. Primjer kretanja Clrededge vrijednosti – detalji snimaka 2019. godine

(Izvor: autorski rad)

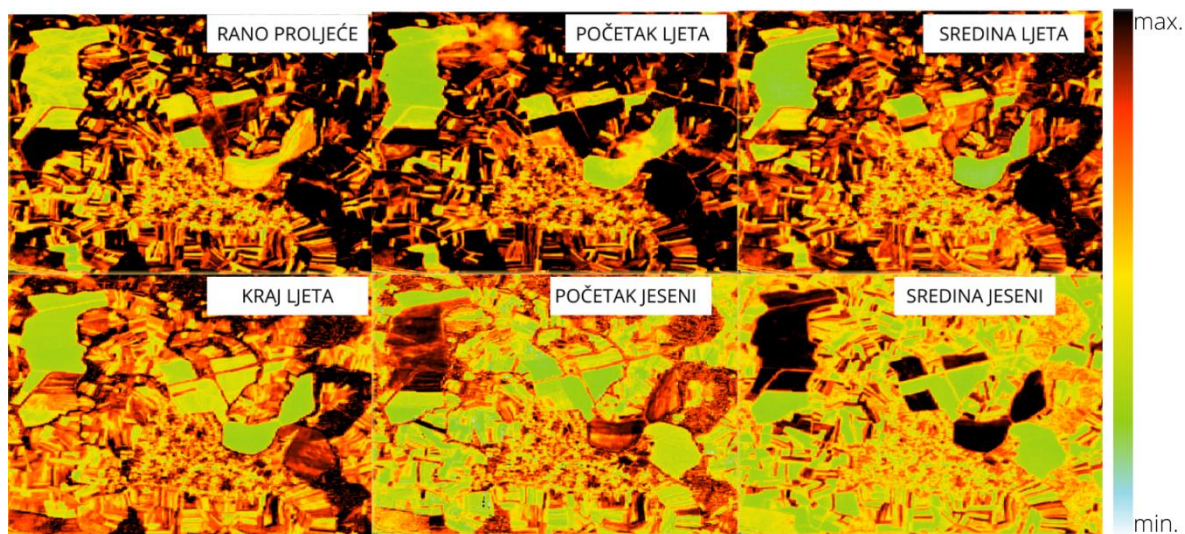


Sl. 15. Primjer kretanja CIgreen vrijednosti – detalji snimaka 2019. godine

(Izvor: autorski rad)

Leaf Chlorophyll Index ili LCI je također indeks za procjenu sadržaja klorofila u područjima s potpunom pokrivenošću listova. Koristi crveni spektar elektromagnetnog

zračenja, odnosno karakteristike spektralne refleksije crvenog i infracrvenog spektra s ciljem prikaza količine klorofila (Datt, 1999).



Sl. 16. Primjer kretanja LCI vrijednosti – detalji snimaka 2019. godine

(Izvor: autorski rad)

4.4 Klasifikacija usjeva

Dobrinić i dr. (2021) su u studiji slučaja istraživanje provodili na području Međimurja. Kartirali su prostor Međimurja koristeći vremenski niz snimaka od 6 datuma u 2017. i 2018. godini kao i RF klasifikaciju. Koristili su više vegetacijskih indeksa uključujući i NDVI i SAVI koji su korišteni u ovom istraživanju. Zbog napomene u njihovom radu da je najbolje ne koristiti kanale prostorne rezolucije 60 metara SENTINEL-2 misije zbog loše prostorne rezolucije kao i prisustva oblaka i aerosola, ni u ovom diplomskom radu isti nisu korišteni. Ukupna točnost klasifikacije koristeći samo Sentinel-2 kanale u klasifikacija iznosila je 89,04 %, dok je ukupna točnost klasifikacije Sentinel 2 kanalima i dodanim vegetacijskim indeksima iznosila 90,37 %.

Žiža i dr. (2019) u svojem konferencijskom projektu koristili su RF klasifikaciju kod diferencijacije usjeva na poljoprivrednim površinama. Zaključili su da su vegetacijski indeksi NDVI, SAVI, LCI, CIrededge i CIgreen najbolji za diferencijaciju usjeva te su iste koristili. Također su iskoristili snimke vremenskog niza od travnja do listopada i ostvarili ukupnu točnost klasifikacije od 92,2 %.

Immitzer i dr. (2016) u svojem članku koriste RF klasifikaciju kod određivanja vrste drveća kao i vrste usjeva na području Centralne Europe. Kod klasifikacije usjeva ostvaruju ukupnu točnost od 76 % te ističu da je veća točnost klasifikacije na piksel baziranoj

klasifikaciji u odnosu na objektno orijentiranu klasifikaciju. Raspravljaju o pogrešnoj klasifikaciji suncokreta koji se često zamjenjuje s usjevima koji se sijaju najesen. Ističu da je najveća ostvarena ukupna točnost klasifikacije za one usjeve koji imaju najviše uzoraka.

4.5 Matrica pogrešaka

Matrica pogrešaka (engl. *error matrix*) ili matrica konfuzije (engl. *confusion matrix*) je metoda kvantifikacije točnosti klasifikacije. Referentni podaci, zamjenjuju podatke o terenskim podacima koji bi se trebali prikupljati četiri godine za redom na terenu (engl. *ground truth*). Usporedba referentnih podataka i podataka dobivenih klasifikacijom ostvaruje se pomoću matrice pogrešaka. Ona je organizirana kao tablica u kojoj svaki redak matrice predstavlja podudaranje u stvarnoj klasi, prema referentnim podacima, dok svaki stupac predstavlja podudaranje u predviđenoj klasi, prema klasifikacijom dobivenim podacima. To je posebna vrsta tablice s dvije dimenzije i identičnim „klasama“ u obje dimenzije. Matrica pogrešaka za potrebe ovog istraživanja izrađuje se na temelju slučajnog uzorka (Story i Congalton, 1986; Rees, 2012). Izračunava se ukupna točnost u obliku postotka, dijeljenjem zbroja točno klasificiranih uzoraka sa ukupnim brojem referentnih podataka. Uz ukupnu točnost postoje i točnost proizvođača i točnost korisnika. Točnost proizvođača gleda na točnost iz perspektive kreatora skupa podataka. To odgovara statističkom konceptu pogrešaka izostavljanja ili gubljenja (engl. *omission error*) – drugim riječima, nenamjernog isključenja iz određene kategorije. Točnost proizvođača pokazuje za danu klasu udio referentnih podataka koji su ispravno klasificirani. Izračunava se kao broj piksela u danoj klasi podijeljen s ukupnim brojem piksela u referentnim podacima za tu klasu. Uz pretpostavku da je matrica pogreške organizirana s referentnim podacima u stupcima, točnost proizvođača se izračunava gledanjem ukupnih vrijednosti stupaca. Točnost korisnika gleda na matricu pogrešaka iz perspektive krajnjeg korisnika proizvoda koji pokriva zemljište. Kroz nju se izračunava za danu klasu koliko je piksela zapravo ono što klasifikacija tvrdi da jesu. U statističkom smislu, korisnikova točnost mjeri pogreške dodavanja ili lažnog proglašavanja (engl. *commission error*), odnosno dodjele piksela netočnoj kategoriji. Izračunava se kao broj piksela koji je ispravno identificiran u danoj klasi podijeljen s ukupnim brojem piksela koji su dodijeljeni toj klasi (Congalton, 1991).

Kapa koeficijent je izračun koji je mjera usporedbe rezultata klasifikacije sa slučajno dodijeljenim vrijednostima. Može imati vrijednosti od 0 do 1. Ukoliko je Kapa koeficijent jednak 0, nema slaganja između klasificiranih i referentnih podataka. Ukoliko je kapa

koeficijent jednak 1, tada su klasificirani i referentni podaci potpuno identični. Dakle, što je veći kapa koeficijent, to je klasifikacija točnija (Story i Congalton, 1986).

		Referentni podaci			
		A	B	C	UKUPNO
Klasificirani podaci	A	28	0	2	30
	B	2	30	3	35
	C	5	5	25	35
	UKUPNO	35	35	30	100

$$\text{UKUPNA TOČNOST} = \frac{28 + 30 + 25}{100} \times 100 = 83 \%$$

$$\text{TOČNOST PROIZVOĐAČA (A)} = \frac{28}{35} \times 100 = 80 \%$$

$$\text{TOČNOST KORISNIKA (A)} = \frac{28}{30} \times 100 = 93 \%$$

Sl. 17. Primjer matrice pogreške i izračuna ukupne točnosti klasifikacije, točnosti korisnika i točnosti proizvođača

(Izvor: autorski rad)

4.6 Usjevi u Donjem Međimurju

4.6.1 Pšenica

Pšenica (*Triticum aestivum* L.) jedna je od najčešćih žitarica na poljima u svijetu gdje se zrno može iskoristiti prvenstveno kao hrana zbog svoje visoke kalorijske vrijednosti, dok se stabljika koristi u raznim industrijama kao što su prerađivačko-prehrambena industrija, farmaceutska industrija i proizvodnja stočne hrane (Kovačević i Rastija, 2014). Iako je žitarica izrazito prilagodljiva, najbolje uspijeva u umjerenim klimatskim područjima. Optimalna temperatura zraka za rast i razvoj zrna je 18 do 25 stupnjeva celzijusa. Visoke temperature tijekom razvojnih faza ubrzavaju rast i razvoj, a skraćuju različite razvojne faze,

s time onemogućuju postizanje punih potencijala uroda (Oyewole, 2016). Pšenicu je potrebno uzgajati u najmanje trogodišnjem plodoredu, zbog sklonosti bolestima korijena i nerazvijenom sustavu korijena (Kovačević i Rastija, 2014). Na poljima donjomeđimurkog kraja, najčešća je ozima pšenica koja se sije u listopadu i čije vegetacijsko razdoblje traje 9 mjeseci što znači da prezimljuje u tlu i niče na proljeće, dok je žetva u ljetnim mjesecima prije najvećih vrućina u srpnju (Gagro, 1997).



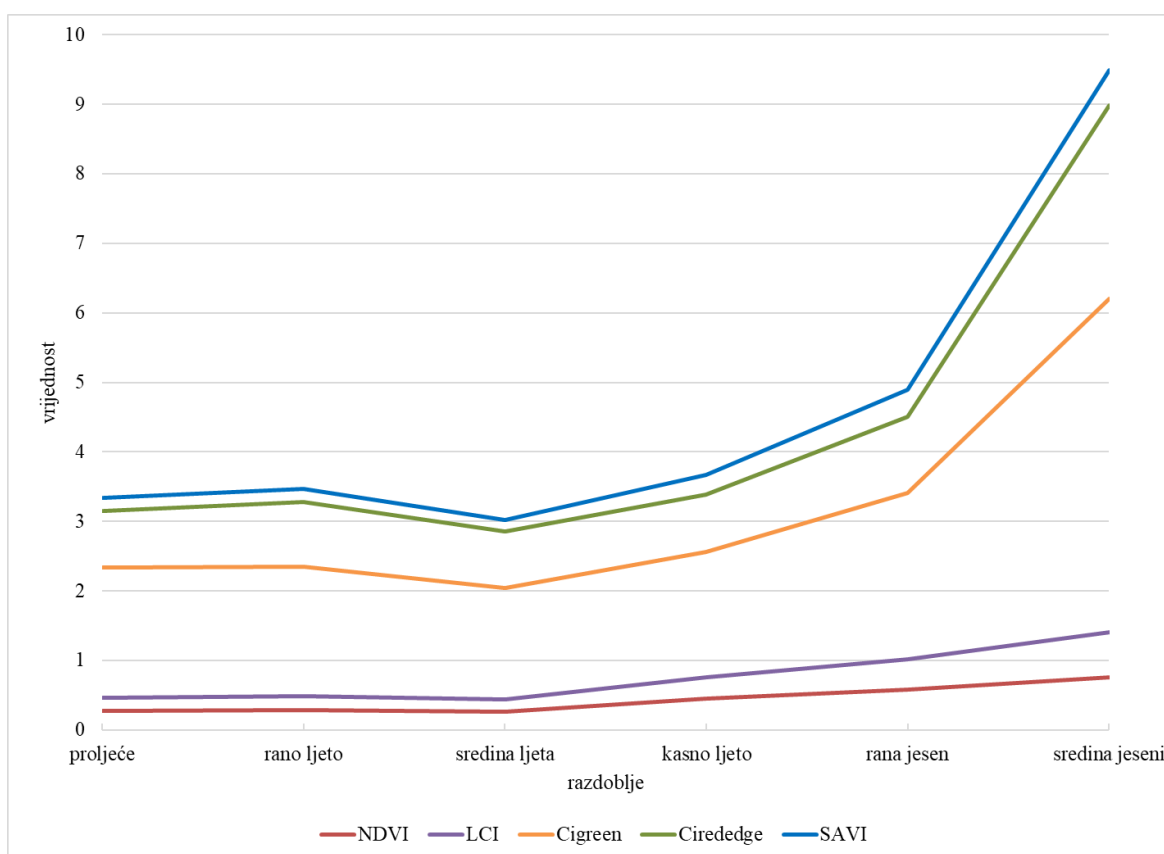
Sl. 18. Pšenica

(Izvor: Flora Croatica Database, 2021)

Tab. 4. Tržišne kupovne cijene pšenice u Hrvatskoj prema godinama

Godina	Prosječni prinos (t/ha)	Prosječna otkupna cijena (kn/t)	Prosječni prihod (kn/ha)
2016.	5,7	918,63	5236,19
2017.	5,9	1036,83	6117,30
2018.	5,4	1083,51	5850,95
2019.	5,6	1111,57	6224,79
2020.	5,7	1050,58	5988,31

(Izvor: DZS (2021): Priopćenje - Cijene u poljoprivredi u 2020., Zagreb, DZS (2019): Priopćenje - Cijene u poljoprivredi u 2018., Zagreb; DZS (2017): Priopćenje - Cijene u poljoprivredi u 2016., Zagreb; DZS (2020): Statističko izvješće – Poljoprivredna proizvodnja u 2019., Zagreb; DZS (2020): Priopćenje - Ostvareni prirodi ranih usjeva – privremeni podaci., stanje 15. kolovoza 2020., Zagreb)



Sl. 19. Pšenica - srednje vrijednosti vegetacijskih indeksa

(Izvor: autorski rad)

4.6.2 Uljana repica

Uljana repica je opći naziv za uljarice *Brassica* u koji spada i uljana repica ili *Brassica Napus*. Ista je druga svjetska uljarica s najvećim prinosom. Velika je potražnja za uljanom repicom jer se ona koristi kao biljno ulje, sirovina za biogorivo i stočna hrana (Fu i dr., 2016). Jednogodišnja je biljka iz vlažnih i hladnih umjerenih klima te joj povećanje temperature i smanjenje oborina određuju prinos i koncentraciju ulja u sjemenu (Jaime i dr., 2018). Sjetva ozime uljane repice se odvija krajem mjeseca kolovoza i početkom mjeseca rujna. Vrijeme sadnje je od izrazito velike važnosti iz razloga što može doći do smrzavanja previše razvijene biljke u zimi u slučaju preranog sijanja, odnosno neotpornosti nedovoljno razvijene biljke na niske temperature kao posljedica prekasne sadnje. Uljana repica najčešće dozrije početkom ljeta, pred kraj lipnja i početkom srpnja, odnosno kada vlaga sjemena dosegne 12 % (Gadžo i dr., 2011).



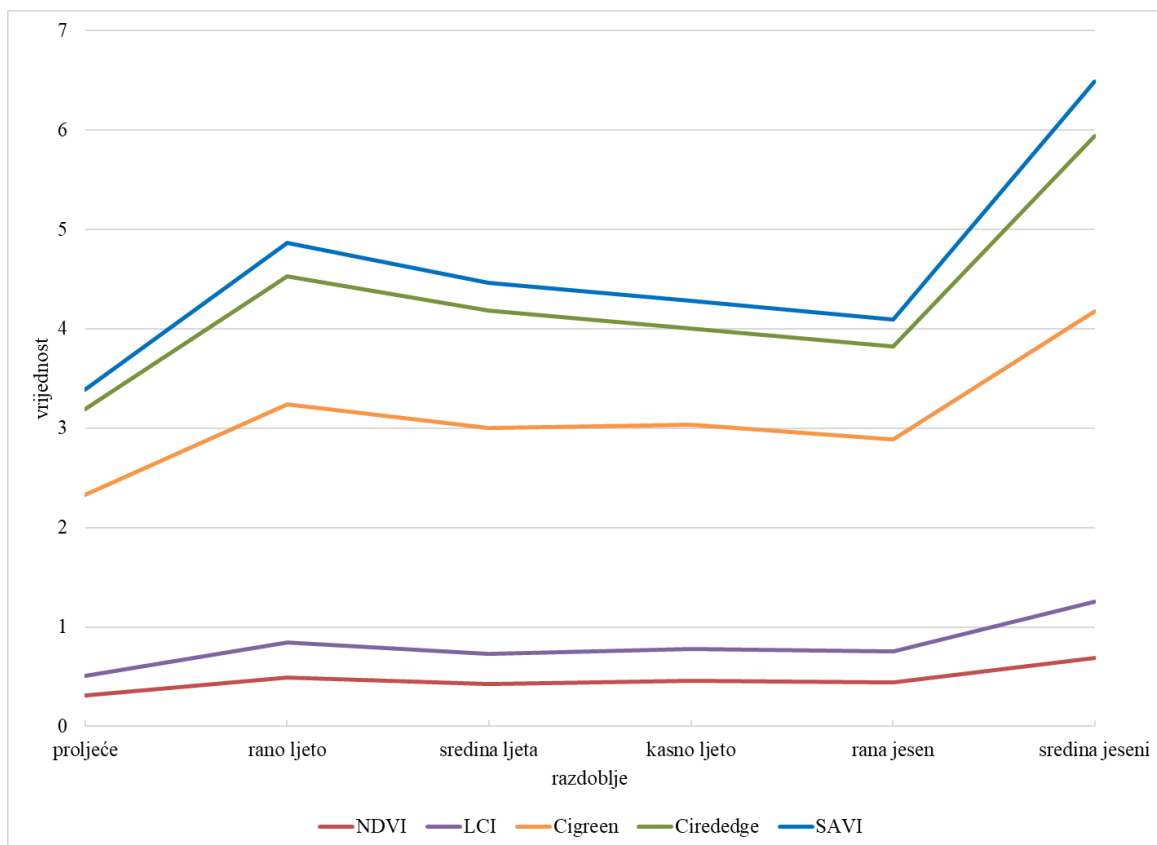
Sl. 20. Uljana repica

(Izvor: Flora Croatica Database, 2021)

Tab. 5. Tržišne kupovne cijene uljane repice u Hrvatskoj prema godinama

Godina	Prosječni prinos (t/ha)	Prosječna otkupna cijena (kn/t)	Prosječni prihod (kn/ha)
2016.	3,1	2378,80	7374,28
2017.	2,8	2389,57	6690,80
2018.	2,8	2311,12	6471,14
2019.	2,5	2406,06	6015,15
2020.	2,7	2586,95	6984,77

(Izvor: DZS (2021): Priopćenje - Cijene u poljoprivredi u 2020., Zagreb, DZS (2019): Priopćenje - Cijene u poljoprivredi u 2018., Zagreb; DZS (2017): Priopćenje - Cijene u poljoprivredi u 2016., Zagreb; DZS (2020): Statističko izvješće – Poljoprivredna proizvodnja u 2019., Zagreb; DZS (2020): Priopćenje - Ostvareni prirodi ranih usjeva – privremeni podaci., stanje 15. kolovoza 2020., Zagreb)



Sl. 21. Uljana repica - srednje vrijednosti vegetacijskih indeksa

(Izvor: autorski rad)

4.6.3 Suncokret

Suncokret (*Helianthus annuus L.*) je jednogodišnja ratarska kultura koja pripada obitelji *Asteraceae*. Četvrta je najčešća uljarica, a osim za ulje, sjemenke se koriste za jelo, u industriji za izradu boja i kozmetičkih proizvoda, a osušena prerađena stabljika kao gorivo (Fernández-Luqueño, 2014). Temperatura ima važnu ulogu u proizvodnji suncokreta. Najniža temperatura za nicanje iznosi 8 °C, dok bi najpovoljniji uvjeti u fazi intenzivne sinteze ulja bili pri temperaturama između 20 – 25 °C, a u fazi cvatnje 20 – 26 °C. Isto tako, pri temperaturama nižim od 19 °C ovi se procesi usporavaju, smanjuje se postotak ulja u sjemenu i produžuje vegetacija (Pospišil, 2013). „Sjetvu suncokreta treba započeti kad se temperatura tla na 5 cm dubine ustali na 8-10 °C, zbog toga što je potrebno da vrijeme od sjetve do nicanja bude što kraće. To je u našim uvjetima najčešće u prvoj i drugoj dekadi travnja“ (Pospišil, 2008). Krajem kolovoza ili početkom rujna može se krenuti sa žetvom jer suncokret tada dostiže fiziološku zrelost (Gadžo i dr., 2011).



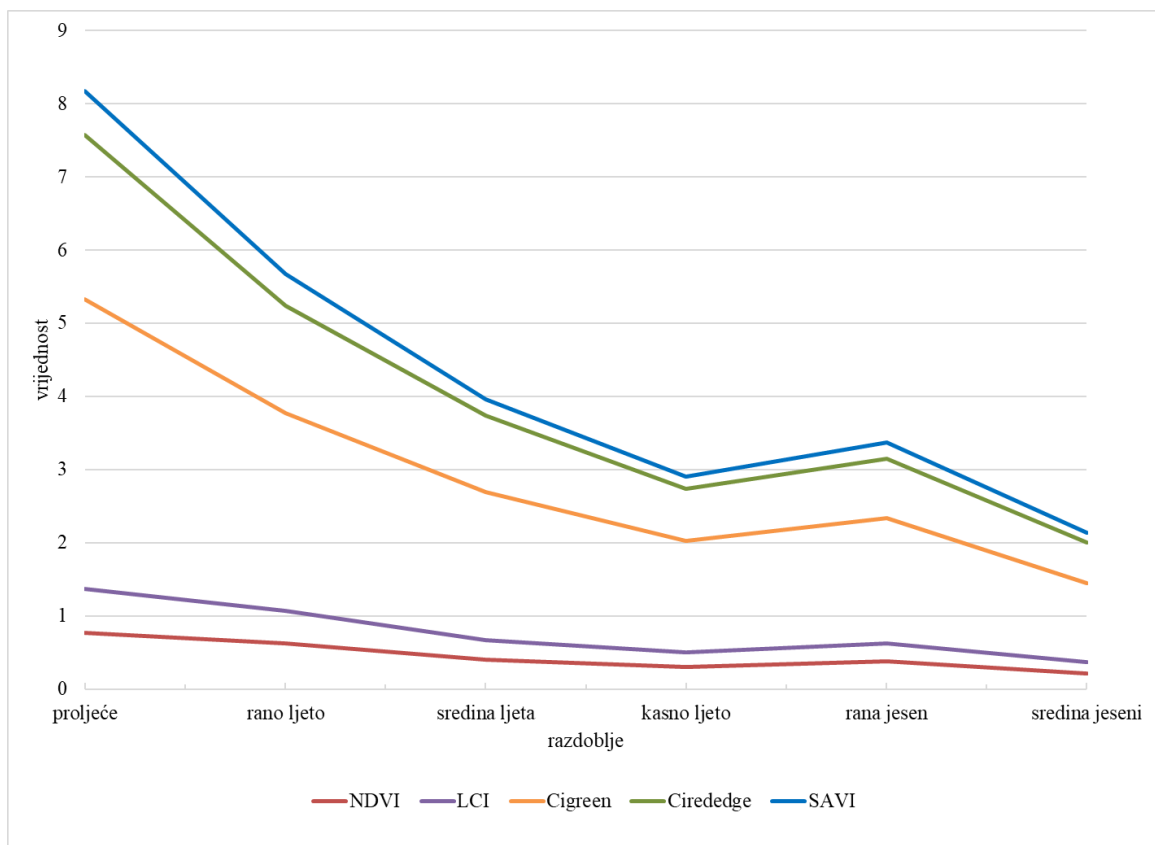
Sl. 22. Suncokret

(Izvor: Flora Croatica Database,2021)

Tab. 6. Tržišne kupovne cijene suncokreta u Hrvatskoj prema godinama

Godina	Prosječni prinos (t/ha)	Prosječna otkupna cijena (kn/t)	Prosječni prihod (kn/ha)
2016.	2,7	2211,12	5970,02
2017.	3,1	2206,39	6839,81
2018.	3,0	1863,48	5590,44
2019.	3,0	1917,61	5752,83
2020.	3,2	2297,90	7353,28

(Izvor: DZS (2021): Priopćenje - Cijene u poljoprivredi u 2020., Zagreb, DZS (2019): Priopćenje - Cijene u poljoprivredi u 2018., Zagreb; DZS (2017): Priopćenje - Cijene u poljoprivredi u 2016., Zagreb; DZS (2020): Statističko izvješće – Poljoprivredna proizvodnja u 2019., Zagreb; DZS (2021): Statističko izvješće – Površina i proizvodnja žitarica i ostalih usjeva u 2020., privremeni podaci, Zagreb)



Sl. 23. Suncokret - srednje vrijednosti vegetacijskih indeksa

(Izvor: autorski rad)

4.6.4 Kukuruz

Kukuruz (*Zea mays L.*) je biljka koja je uz rižu i pšenicu najzastupljenija na svjetskim oranicama. Koristi se u ishrani ljudi kao i stoke te u prerađivačkoj industriji. Genetika kukuruza je najčešće istraživana od svih biljaka te zbog toga ima velik genetički potencijal i mnogo različitih sorti i hibrida. To nosi sa sobom širok areal rasprostranjenosti i prilagodljivost raznim ekološkim uvjetima. Može se uzgajati u uvjetima s godišnjom količinom oborina u širokom rasponu od 250 do 5000 mm, a s obzirom da je podrijetlom iz toplog tropskog pojasa, treba mu dovoljno topline i svjetlosti za nesmetan rast i razvoj. Sjetva kukuruza počinje sa dobrim vremenskim uvjetima te temperaturom višom od 10°C do 12°C, što je u Hrvatskoj uglavnom u drugoj polovici travnja (Kovačević i Rastija, 2014). Vrijeme žetve kukuruza se razlikuje ovisno o svrsi za koju je namijenjen i načinu branja (u klip, u zrn), a uglavnom je to u vrijeme kada vlaga postigne željeni postotak, u listopadu (Kovačević i Rastija, 2014).



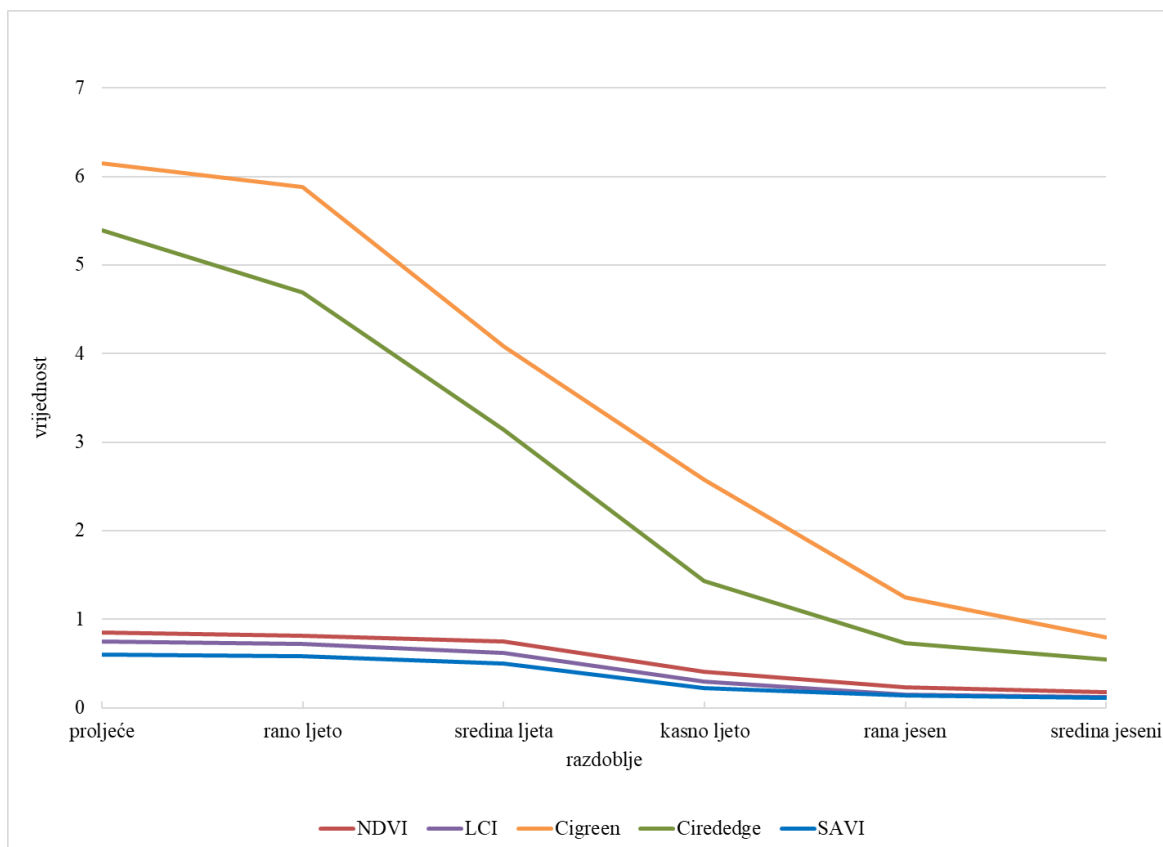
Sl. 24. Kukuruz

(Izvor: Flora Croatica Database, 2021)

Tab. 7. Tržišne kupovne cijene kukuruza u Hrvatskoj prema godinama

Godina	Prosječni prinos (t/ha)	Prosječna otkupna cijena (kn/t)	Prosječni prihod (kn/ha)
2016.	8,5	898,03	7633,26
2017.	6,3	1021,95	6438,29
2018.	9,1	955,87	8698,42
2019.	9,0	889,45	8005,05
2020.	9,0	967,57	8708,13

(Izvor: DZS (2021): Priopćenje - Cijene u poljoprivredi u 2020., Zagreb, DZS (2019): Priopćenje - Cijene u poljoprivredi u 2018., Zagreb; DZS (2017): Priopćenje - Cijene u poljoprivredi u 2016., Zagreb; DZS (2020): Statističko izvješće – Poljoprivredna proizvodnja u 2019., Zagreb; DZS (2021): Statističko izvješće – Površina i proizvodnja žitarica i ostalih usjeva u 2020., privremeni podaci, Zagreb)



Sl. 25. Kukuruz - srednje vrijednosti vegetacijskih indeksa

(Izvor: autorski rad)

4.6.5 Šećerna repa

Šećerna repa (*Beta vulgaris L. ssp. vulgaris*), dvogodišnja je biljka koja u prvoj godini razvija korijen i rozetu listova, a u drugoj godini stabljiku. Iz njezinog se korijena proizvodi kristalni šećer, a neki njezini dijelovi se koriste i za ishranu stoke u proizvodnji alkohola, prehrambenih proizvoda i drugog. U Hrvatskoj je to jedina kultura za proizvodnju šećera, a za optimalan prinos slatkoće traži povoljan odnos topline, svjetlosti i vlage. Optimalna godišnja količina oborina je oko 600 mm, topli dani i pro hladne noći pogoduju stvaranju šećera, a vrlo je važan i broj sunčanih dana zbog čijeg se nedostatka šećernoj repa snižava prinos i kvaliteta (Biancardi i dr., 2010). Korijen šećerne repe se sadi kada sloj tla ispod površine održava temperaturu od 5 do 6 °C, a to je okvirno od sredine ožujka do početka travnja (Pospišil, 2013). Vađenje se obavlja sukladno povoljnim vremenskim prilikama od rujna do kraja studenog.



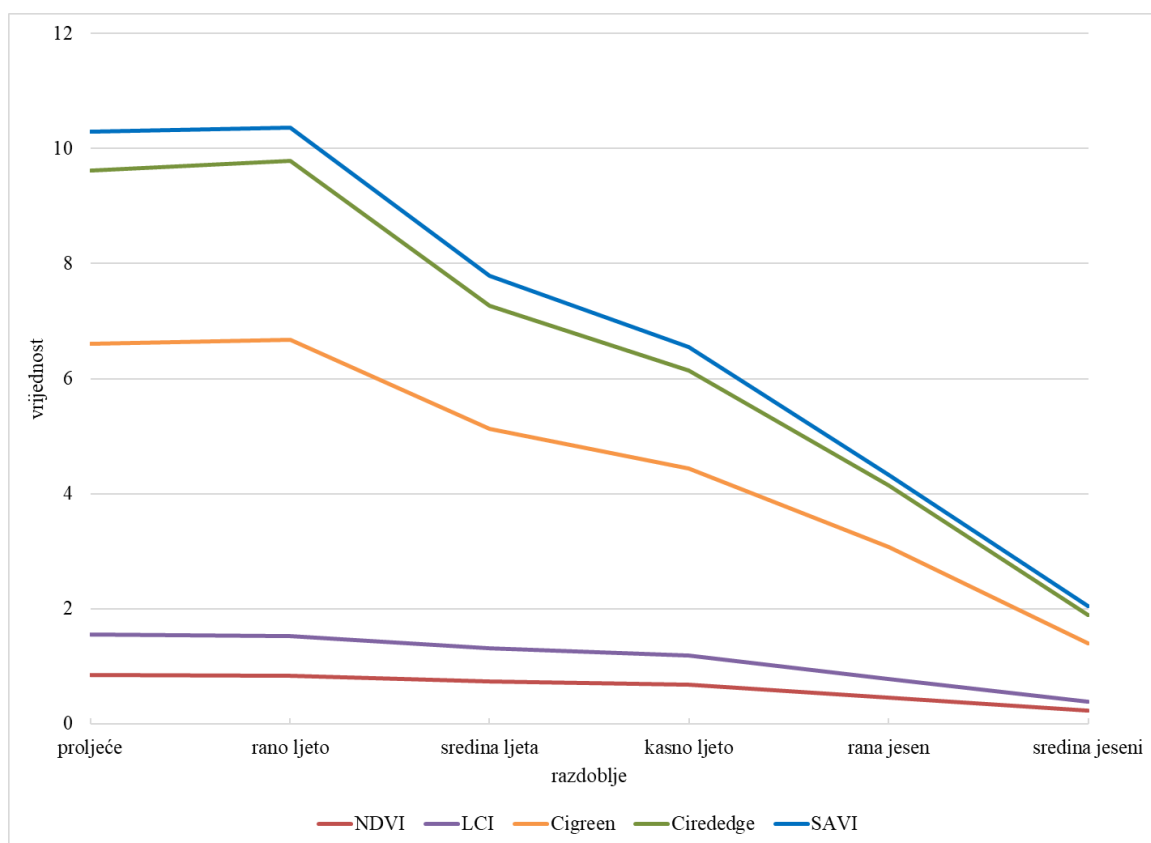
Sl. 26. Šećerna repa

(Izvor: Flora Croatica Database,2021)

Tab. 8. Tržišne kupovne cijene šećerne repe u Hrvatskoj prema godinama

Godina	Prosječni prinos (t/ha)	Prosječna otkupna cijena (kn/t)	Prosječni prihod (kn/ha)
2016.	75,5	261,88	19771,94
2017.	66,3	276,37	18323,33
2018.	55,2	202,06	11153,71
2019.	61,2	203,79	12471,95
2020.	69,4	239,77	16640,04

(Izvor: DZS (2021): Priopćenje - Cijene u poljoprivredi u 2020., Zagreb, DZS (2019): Priopćenje - Cijene u poljoprivredi u 2018., Zagreb; DZS (2017): Priopćenje - Cijene u poljoprivredi u 2016., Zagreb; DZS (2020): Statističko izvješće – Poljoprivredna proizvodnja u 2019., Zagreb; DZS (2021): Statističko izvješće – Površina i proizvodnja žitarica i ostalih usjeva u 2020., privremeni podaci, Zagreb)



Sl. 27. Šećerna repa - srednje vrijednosti vegetacijskih indeksa

(Izvor: autorski rad)

4.6.6 Soja

Soja (*Glycine max* (L.) Merr.) je usjev koji pripada porodici *Fabaceae*, koje uključuju lepirnjače ili mahunarke. Ona je rasprostranjena na velikom području s obzirom da nije zahtjevna biljka u smislu prilagođavanja na nove uvjete (Vratarić i Sudarić, 2000). Sojina se zrnca prerađuju, a prerađeni proizvodi od soje se najčešće koriste za prehranu ljudi u obliku pljeskavica, mlijeka ili ulja, za prehranu stoke, dok se ostali dijelovi koriste u prerađivačkoj industriji za proizvodnju briketa, granula i drugog kako bi se biljka iskoristila u potpunosti. Vrlo je karakteristična i vremenski i finansijski zahtjevna borba s korovima kod razvoja ovog usjeva. Primjena zemljišnih herbicida započinje odmah nakon sjetve te se ona često mora ponavljati (Gadžo i dr., 2011). Biljka ima različite potrebe za temperaturom, vlagom i svjetlosti ovisno o vegetacijskom stadiju. Prema istraživanju u Hrvatskoj, niži su se prinosi soje ostvarivali u sušnijim i toplijim godinama (Vratarić i Sudarić, 2008). Sjetva soje obavlja se u proljeće, u razdoblju od sredine travnja do sredine svibnja, dok se žetva obavlja kada biljka i plod potamne, najčešće od sredine do kraja rujna.



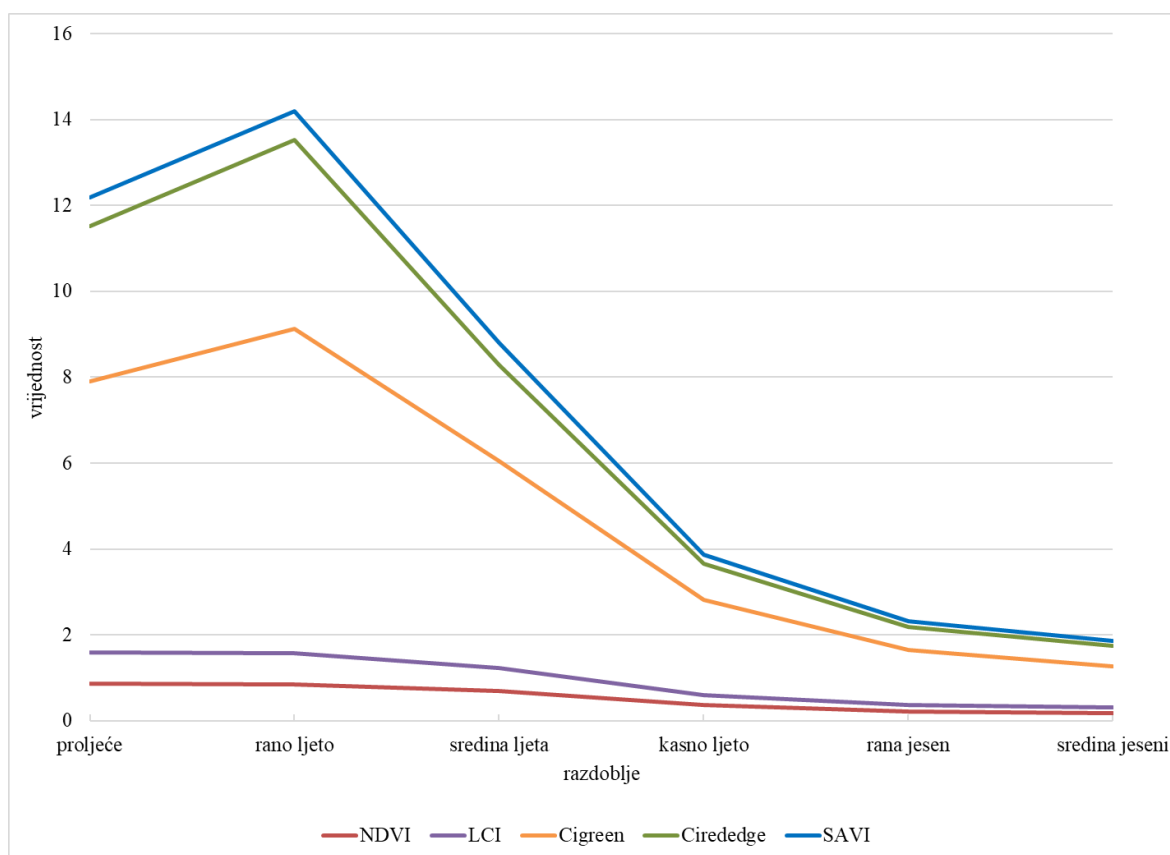
Sl. 28. Soja

(Izvor: Flora Croatica Database, 2021)

Tab. 9. Tržišne kupovne cijene soje u Hrvatskoj prema godinama

Godina	Prosječni prinos (t/ha)	Prosječna otkupna cijena (kn/t)	Prosječna zarada (kn/ha)
2016.	3,1	2326,86	750,60
2017.	2,4	2 675,14	1114,64
2018.	3,2	2 250,62	703,32
2019.	3,1	2 175,45	701,76
2020.	3,2	2 543,06	794,71

(Izvor: DZS (2021): Priopćenje - Cijene u poljoprivredi u 2020., Zagreb, DZS (2019): Priopćenje - Cijene u poljoprivredi u 2018., Zagreb; DZS (2017): Priopćenje - Cijene u poljoprivredi u 2016., Zagreb; DZS (2020): Statističko izvješće – Poljoprivredna proizvodnja u 2019., Zagreb; DZS (2021): Statističko izvješće – Površina i proizvodnja žitarica i ostalih usjeva u 2020., privremeni podaci, Zagreb)



Sl. 29. Soja - srednje vrijednosti vegetacijskih indeksa

(Izvor: autorski rad)

4.6.7 Ostalo

Od ostalih kultura, u Donjem Međimurju se uz prethodno navedene kulture uzgajaju i krumpir, tikve ili buče, nešto manje industrijske konoplje, a od žitarica zob, raž i nešto manje pira. Česte su i livade gdje se na oranicama nikne divlje bilje koje se kosi i koristi kao ishrana za životinje. Također, nakon za zemlju iscrpnih i zahtjevnih biljaka, kao što je šećerna repa, sije se mješavina bilja i žitarica koje omogućavaju da se tlo obnovi i obogati nutrijentima i mineralima, a sam proces se naziva zelena gnojidba.

5 PODACI I METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

5.1 Podaci

5.1.1 Multispektralne Sentinel-2 snimke

Za potrebe izrade ovog rada preuzete su satelitske snimke misije Sentinel-2 (A i B) u razdoblju od 2017. do 2020. godine sa servisa Copernicus Open Access Hub. One su odabrane prema određenim razdobljima. Snimke nultog razdoblja, ranog proljeća, vremenski su nevezane na ostala razdoblja. Odabrane su snimke s minimalno naoblake u proljetnim mjesecima za svaku pojedinu godinu u razdoblju nicanja proljetnih usjeva, kao što su pšenica i uljana repica, koji se na ostalim snimkama ne pojavljuju zbog toga što im vegetacijski razvoj uglavnom završava prije razdoblja ranog ljeta. Razdoblje rano ljeto, uključuje snimke od druge polovice lipnja do kraja prve polovice srpnja, drugo razdoblje, sredina ljeta, uključuje snimke iz druge polovice srpnja i prve polovice kolovoza, treće razdoblje, kasno ljeto, uključuje snimke iz druge polovice kolovoza i one iz prve polovice rujna, četvrto razdoblje, rana jesen, odnosi se na drugu polovicu rujna i prvu polovicu listopada i posljednje, a peto razdoblje, sredina jeseni, se odnosi na drugu polovicu listopada. U svih 4 promatranih godina odabrano je po 5 datuma, jedan u svakom razdoblju, tako da između datuma nema više od 35 dana. Odabrane su snimke s minimalno naoblake na području Donjeg Međimurja. Za 2018. godinu snimka datuma 17. srpnja korištena je u prvom razdoblju, iako spada u drugo razdoblje, zbog izostanka adekvatne snimke za prvo razdoblje.

Tab. 10. Korištene Sentinel-2A snimke

Godina / razdoblje	rano proljeće	rano ljeto	sredina ljeta	kasno ljeto	rana jesen	sredina jeseni
2017.	18.05.	07.07.	06.08.	05.09.	05.10.	25.10.
2018.	28.04.	17.07.	01.08.	21.08.	20.09.	25.10.
2019.	03.04.	27.06.	27.07.	31.08.	20.09.	25.10.
2020.	22.04.	11.07.	10.08.	04.09.	24.09.	19.10.

(Izvor: autorski rad)

5.1.2 Vektorski podaci

U istraživanju su korišteni podaci lokalnog obiteljskog gospodarstva te njihova poslovna dokumentacija prikupljana za potrebe vođenja evidencije Agencije za plaćanja u poljoprivredi, ribarstvu i ruralnom razvoju. Vrlo se ozbiljno vodi godišnja evidencija usjeva na parcelama iz razloga što postoje provjere od strane Agencije i adekvatne kazne u slučaju nepoštivanja prijavljene dokumentacije. Za svaku od godina postoji spis u kojem su navedeni ARKOD broj parcele i usjev koji je na toj parceli određene godine posijan. Parcele se uglavnom ponavljaju jer su privatno vlasništvo obiteljskog gospodarstva ili su u zakupu. Svaka parcela je prema ARKOD broju pretražena, locirana i vektorizirana na podlozi DOF 5 u programu ArcMap.

Korišteni su i vektorski podaci Registra prostornih jedinica Državne geodetske uprave kao što su granice općina i gradova. Izdvojene su administrativne jedinice koje su dio Donjeg Međimurja te su korištene kao obuhvat istraživanja u analizi.

LIST B
Prijava površina za 2019. godinu



1205699

MIBPG

NAZIV POLJOPRIVREDNIKA

Podaci iz ARKOD sustava (PODACI SE NE UPISUJU)							Prijava korištenja					Tražene potpore po ARKOD parceli																		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Rb.	Domaće ime ARKOD parcele	Identifikacijski broj ARKOD parcele	Identifikacijski broj Ekološko značajnih površina	Vrsta uporabe zemljišta	Površina ARKOD parcele **(ha)	Broj stabala maslina	Naziv kulture/ Ekološko značajna površina	Sorte IZVK	Postni usjev	Zeleni pokrovni usjev	Prijava Ekološki značajnih površina	Površina pod kulturom/ vrstom (ha) i dužina obilježja krajobraza (m)	EZP* (ha)	OP/ZP/PP	Šećerna repa	Voće i povrće	Proteinski usjevi	Ekološki uzgoj (EKO/EKOP)	Područja s ogr. (GPP/ZPO/PPO)	Očuvanje tradic. sorti (IZVK)	Očuvanje travnjaka (TVPV)	Zaštita kosca (ZK)	Zaštita leptira (ZL)	Uspostava poljskih traka (PT)	Ekstenzivni voćnjaci (EV)	Ekstenzivni maslinici (EM)	Obrada tla s nagibom (OTSN)	Zatravnjivanje nasada (ZTN)	Očuvanje suhozida (OS)	Očuvanje živica (OŽ)
1	DRABOŠICA	1392683		Oranica	0,20	0	suncokret					0,20		DA																
2	TANJINA BERKE	1393672		Oranica	0,43	0	kukuruz					0,43		DA																
3	FRANCIKINA IZA VRTI	1394472		Oranica	0,14	0	kukuruz					0,14		DA																
4	GUSTUJOVA	1399449		Oranica	0,53	0	kukuruz					0,53		DA																
5	GUSTUJOVA	1399449	221577	Oranica	0,53	0	Divored																							
6	MAC ČUKOVEC	1764810		Oranica	0,14	0	šećerna repa					0,14		DA	DA				DA											
7	BURO ZADNJA	2093463		Oranica	0,48	0	pšenica- ozima					0,48		DA																
8	FRU OPOROVI LJEVO	2153329		Oranica	0,17	0	pšenica- ozima					0,17		DA																
9	MIKEC PAVAO	2164035		Oranica	0,93	0	šećerna repa					0,93		DA	DA															
10	PEGACOVA REPŠICE	2345149		Oranica	0,50	0	pšenica- ozima					0,50		DA																
11	IGREC	2351471		Oranica	0,12	0	šećerna repa					0,12		DA	DA				DA											
12	KRAJ PUTA VLAHOVA	2375668		Oranica	0,47	0	škrva uljenica (uljna buča)					0,47		DA																
13	KRBULJE	2375706		Oranica	0,86	0	pšenica- ozima		DA			0,86	0,2580	DA																

Sl. 30. Primjer dokumentacije za pojedinu parcelu za 2019. godinu

5.1.3 Statistički podaci

U diplomskom radu korišteni su statistički podaci Državnog zavoda za statistiku za godine od 2017. do 2020. Korišteni su demografski podaci Popisa 2021. godine, Popisa 2011. godine te prethodnih popisa na području Republike Hrvatske u pregledu prostora istraživanja. U samoj analizi diplomskog rada korišteni ekonomski podaci o prosječnom kretanju cijene pojedinih usjeva u Republici Hrvatskoj kao i podaci o količini ostvarenih prinosa po hektaru posađenog usjeva za svaku od uključenih godina. Državni zavod za statistiku svake godine, za prethodnu godinu, objavi Priopćenje - Cijene u poljoprivredi, zatim Statističko izvješće – Poljoprivredna proizvodnja te Priopćenje - Ostvareni prirodni usjevi koji su korišteni u pregledu kretanja cijene i prosječnog prinosa svakog od usjeva uključenog u analizu i klasifikaciju.

5.2 Metodologija

5.2.1 Predobrada podataka



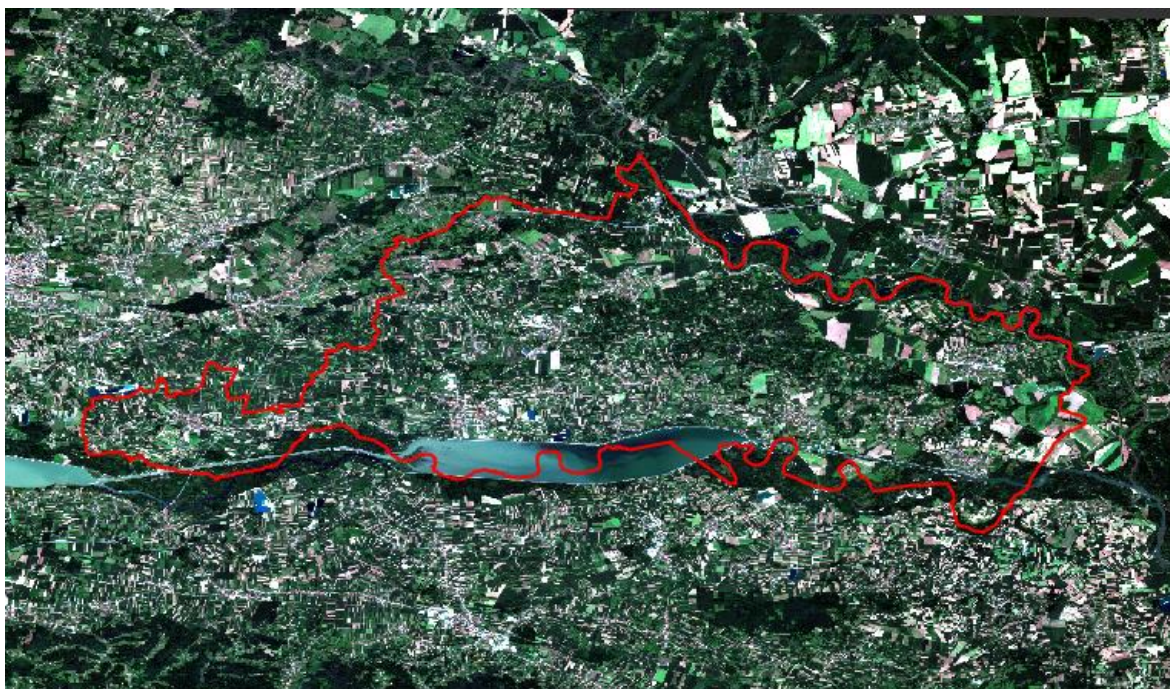
Sl. 31. Dijagram toka predobrade u SNAP-u

(Izvor: autorski rad)

Za istraživanje je korišten program SNAP ili The Sentinel Application Program, razvijen od strane Europske satelitske agencije prvenstveno za obradu snimaka svemirske misije Sentinel, ali se koristi i za obradu snimaka drugih satelitskih snimaka kao što su Landsat, MODIS ili RapidEye. Omogućava vrlo jednostavnu i efikasnu predobradu, moduliranje i vizualizaciju velike količine podataka u raznim formatima. Neka od obilježja su grafički prikaz procesa, brzi prikaz velikih skupova podataka i visoko rezolucijskih snimaka, niz alata za prikaz statističkih pojedinosti korištenih snimaka te najvažnije, skup alata za obradu optičkih i radarskih multispektralnih snimaka (ESA Copernicus Sentinel, 2021).

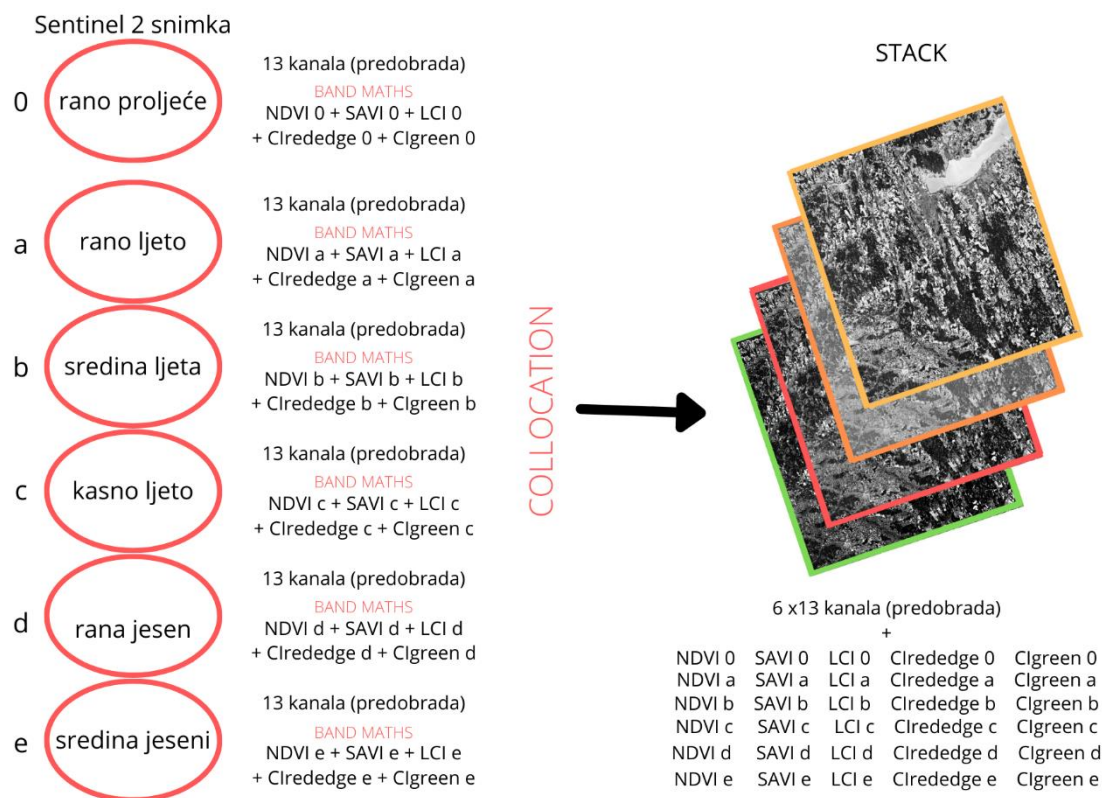
Preuzete satelitske snimke za pojedine datume su u SNAP računalnom programu prethodno obrađene. Prvi korak procesa predobrade je bio ponovno uzorkovanje (engl. *resample*) zbog toga što su kanali Sentinel 2 snimaka u različitim prostornim rezolucijama od 10, 20 i 60 metara. Svi kanali sveli su se na prostornu rezoluciju 10 m x 10 m koja odgovara kanalu B2, referentnom kanalu. Zatim, preko alata *subset* izdvojen je samo prostor

istraživanja za sve kanale kako bi se dodatno ubrzao proces obrade snimaka. Korišten je prostor istraživanja (engl. *study area*) u vektorskom obliku podatka za područje Donjeg Međimurja. . Snimke su projicirane u projekciju UTM/WGS 84 što je i automatska postavka ovog programa. S obzirom da je alatom *subset* izdvojen širi prostor Donjeg Međimuja, alatom *Land-Sea-Mask* snimke su svedene na prostor unutar spomenutog vektorskog podatka prostora istraživanja. Posljednji korak u predobradi podataka je bila izrada zajedničke datoteke preko alata *collocation*, gdje su uključene odabrane snimke sa svim kanalima za svaku godinu uključenu u analizu. Dobiven je *stack* snimaka, uvriježeni termin u struci, odnosno zbirka snimaka gdje su u jednoj datoteci sadržani kanali svih snimaka određene godine posloženi jedan na drugi. (Sl. 33.)



Sl. 32. Prethodno obrađena satelitska snimka s obuhvatom istraživanja

(Izvor: autorski rad)



Sl. 33. Primjer zbirke snimaka - "stack" snimaka

(Izvor: autorski rad)

Dio predobrade bila je i vektorizacija analogne dokumentacije većeg obiteljskog poljoprivrednog gospodarstva. Kako je prethodno navedeno, obiteljsko gospodarstvo uglavnom svake godine obrađuje iste parcele, neke vlastite, a neke u zakupu. One se svake godine evidentiraju preko dokumentacije Agencije za plaćanja u poljoprivredi, ribarstvu i ruralnom razvoju. Za svaku od četiri godina postoji spis koji sadrži podatke o broju ARKOD parcele te usjevu koji je te godine bio na nekoj parceli. Svaka parcela je prema ARKOD broju pretražena u ARKOD pretraživaču, locirana i vektorizirana na podlozi DOF 5 u programu ArcMap. Ti su podaci koristili kao referentni podaci, kao svojevrsna zamjena terenskim podacima. U setu vektorskih podataka, od ukupno 86 uzoraka 30 % ili 26 uzoraka izdvojeno alatom *subset feature* u skupinu referentnih podataka dok je ostalih 70 %, odnosno 60 uzoraka alatom *dissolve* stratificirano prema klasama i korišteno za trening RF algoritma (Dobbin i dr. 2011).

5.2.2 Obrada rasterskih podataka – SNAP

U SNAP program su uvedeni, u programu ARCGIS Pro prethodno vektorizirani, podaci o izgrađenom zemljištu, vodi, šumama te poljoprivrednim površinama sa usjevima: suncokretom, kukuruzom, pšenicom, sojom, šećernom repom i uljanom repicom. Iz prethodno obrađenih snimaka za svaki od 5 datuma, za svaku od 4 godine izračunati su vegetacijski indeksi preko matematičke funkcije *band maths* u računalnom programu SNAP. Postoji cijeli niz referenci koje raspravljaju o korištenju vegetacijskih indeksa s raznim klasifikacijskim algoritmima kako bi dobili rezultate zadovoljavajuće točnosti. Odabrani indeksi, ali i mnogi drugi, spominju se najčešće u literaturi vezanoj za klasifikaciju usjeva (Žiža i dr., 2019; Dobrinić i dr., 2021). Korišten je NDVI (Normalized Difference Vegetation Indeks) koji se najčešće koristio kod diferencijacije usjeva pomoću satelitskih snimaka (Frampton i dr., 2013) i SAVI (Soil Adjusted Vegetation Indeks), indeks sličan NDVI-u, koji se koristi kako bi umanjio utjecaj svjetline podloge na spektralne karakteristike vegetacije (Huete i dr., 2002; Sonobae i dr., 2018). Uz njih su još korišteni i indeksi klorofila (CI) koji se primjenjuju za izračunavanje ukupne količine klorofila u biljkama. Korištena su dva odvojena pojasa indeksa: CIgreen i Cired-edge, a isti su izrazito osjetljivi na varijacije u količini klorofila u biljkama. Sličan njima je i Leaf Chlorophyll Index ili LCI koji se koristi za procjenu sadržaja klorofila u područjima s potpunom pokrivenošću listova (Zhou i dr., 2020).

5.2.3 Nadzirana klasifikacija

U klasifikaciji je korištena RF nadzirana klasifikacija u računalnom programu SNAP. Korišteno je 200 stabala u RF klasifikaciji. Broj stabala odluke je automatski podešen na 10 stabala, no točnost klasifikacije se povećava s brojem stabala odluke. Što je povećanje veće, to se točnost povećava manjom brzinom. Primjerice, točnost se više povećala promjenom sa 10 na 100 stabala odluke, nego sa 100 na 300 stabala odluke (Breiman, 2001). Ok i dr. (2012) ističu u svojem istraživanju da nema značajnih razlika u točnosti klasifikacije između algoritama sa 100, 200 i 500 stabala odluke. Ističu da je omjer točnosti i vremena procesuiranja najpovoljniji sa 200 stabala odluke. Nakon dobivenih rezultata, klasificirana snimka je izvezena u ArcGIS Pro gdje su korišteni alati *raster to polygon* kojim je klasificirana snimka pretvorena u zasebne poligone i *clip* kojim je izdvojen prostor Donjeg Međimurja.

5.2.4 Provjera točnosti klasifikacije

Vrednovanje točnosti je važan korak u daljinskom istraživanju jer se vrednuju klasifikacijom dobiveni podaci uspoređujući ih sa referentnim podacima prikupljenim na terenu (engl. *ground truth*) ili preko snimaka veće rezolucije od onih korištenih za analizu. U ovom slučaju, usporedbom klasifikacijom dobivenih podataka sa podacima lokalnog obiteljskog gospodarstva koje je vodilo evidenciju o tome što su sijali na kojoj parceli. Ono se prikazuje u tabličnom prikazu u matrici pogrešaka (Congalton, 1986; Rwanga i Ndambuki 2017) Matrica pogrešaka za potrebe ovog istraživanja izrađuje se na temelju stratificiranog slučajnog statističkog uzorka. Od ukupno 87 uzoraka 30 % ili 26 uzoraka izdvojeno je u skupinu referentnih podataka dok je ostalih 70 %, odnosno 60 uzoraka stratificirano prema klasama i korišteno za trening RF algoritma. U setu podataka za svaku od godina nije korišteno svih 87 poligona iz razloga što na pojedinim parcelama u nekoj od 4 godine istraživanja nije posađen usjev ili nije posađen neki od usjeva koji su korišteni u istraživanju. Za svaki referentni poligon, u svakoj od godina, određeno je po 20 referentnih točaka koje su kasnije preklopljene sa vektoriziranim klasificiranim setom poligonskih podataka (Rees, 2012, Story i Congalton, 1986). U matrici pogrešaka, podaci na dijagonalama predstavljaju ispravno klasificirane točke, dok je ostatak točaka klasificiran netočno u neku drugu klasu. U matrici se vrlo lako može primijetiti koje je klase algoritam miješao. Uz ukupnu točnost za svaku pojedinu godinu, kao i ukupnu točnost cjelokupnog istraživanja, za svaku pojedinu godinu je izračunavana i točnost korisnika, odnosno točnost proizvođača. Zadnji izračun prema matrici pogreške, bio je izračun kapa koeficijenta (Congalton, 1991).

6 REZULTATI ISTRAŽIVANJA I RASPRAVA

6.1 Ostvarena točnost klasifikacije

Nakon što su satelitske snimke klasificirane i izlazni raster vektorizirani, iste su preklopljene s referentnim točkama nastalim iz referentnih podataka. Nakon obrade i izrade matrice pogrešaka izračunata je ukupna točnost, točnost korisnika, točnost proizvođača i kapa koeficijent.

Ukupna točnost klasifikacije dijeli ukupan broj točno klasificiranih točaka sa ukupnim brojem referentnih točaka. U konačnici, to je postotak točno klasificiranih točaka u matrici pogreške. Istraživanje je pokazalo da je ostvarena ukupna točnost u 2017. godini iznosila 92,5 % što je najveći postotak točnosti u odnosu na ostale godine istraživanja U 2018. godini ukupna točnost iznosila je 87,5 %, dok je 2019. godine iznosila 80,5 % što je najmanji ostvareni postotak. U posljednjoj, 2020. godini, ukupna točnost klasifikacije iznosila je 84,2 %. Zbroj svih referentnih točaka u cijelom istraživanju za sve četiri godine iznosi 1680, a njih 1446 je klasificirano točno. To je ukupna točnost od 86,07 %, odnosno na svakih 100 uzoraka, njih 86 je klasificirano točno, a 14 netočno.

Izračuni točnosti proizvođača izvode se na način da se u danoj klasi broj u stupcu podijeli ukupnim brojem piksela u referentnim podacima za navedenu klasu. Pokazuje za danu klasu udio referentnih podataka koji su ispravno klasificirani. Uz pretpostavku da je matrica pogreške organizirana s referentnim podacima u stupcima, točnost proizvođača izračunava se uzimajući u obzir ukupne vrijednosti stupaca i zelene vrijednosti u pojedinom stupcu. Izračuni točnosti proizvođača izvode se na način da se u danoj klasi, zeleno označeni broj u retku, podijeli s ukupnim brojem piksela u referentnim podacima, koji je prilikom izrade matrice pogreške pao na određenu klasu u klasificiranom setu podataka. Točnost korisnika predstavlja mjerilo koliko se dobro može klasificirati pojedini pokrov u odnosu na stvarni svijet. Točnost korisnika predstavlja vjerojatnost da klasificirani piksel odgovara tipu pokrova njegove odgovarajuće lokacije u stvarnom svijetu.

Manje vrijednosti proizvođača za referentne podatke označavaju propust u vođenju referentnih podataka za pojedini usjev. Događalo se da je prijavljena jedna kultura na zemljištu, ista je uvedena u dokumentaciju Agencije za plaćanja u poljoprivredi, ribarstvu i ruralnom razvoju, zatim je ona takva uvedena u vektorizirani set podataka i korištena u daljnjem istraživanju, a u stvarnosti je na toj parceli posađena druga kultura. Primjerice, 2019. godine samo jedna parcela sa 20 referentnih točaka je korištena kao referentni podatak za uljanu repicu. Preko matrice pogreške vidljivo je da se na 12 od 20 točaka, u stvarnom prostoru, nalazila pšenica, odnosno u 8 od 20 točaka se na referentnom pikselu nalazila klasa

drugo u koju su uvršteni izgrađeno zemljište, šuma, voda i ostalo. U takvom slučaju je točnost proizvođača 0,00 % jer za tu klasu nije bilo preciznih referentnih podataka. Javljaju se i primjeri gdje je točnost proizvođača 100 %, a to sugerira da su svi podaci zaista bili dobro uvedeni, odnosno da je klasifikacija pokazala da se na određenom mjestu nalazio usjev koji je uveden i na referentnoj točki na istom mjestu.

Kapa koeficijent je statistička mjera koja se koristi u klasifikaciji kao mjera slaganja između promatranih i pretpostavljenih klasa za slučajeve u skupu referentnih podataka. Ako je kapa koeficijent jednak 1, podaci klasificirane snimke i referentni podaci su potpuno jednaki. Suprotno tome, ako je kapa koeficijent jednak 0, podaci klasificirane snimke i referentni podaci su potpuno različiti. Za 2017. godinu on je iznosio najvećih 0,91, 2018. je iznosio 0,85, 2019. je iznosi 0,74, a za 2020. godine je vrijednost od 0,79.

Tab. 11. Ostvarena ukupna točnost i kapa koeficijent za pojedine godine

GODINA	UKUPNA TOČNOST (%)	KAPA KOEFICIJENT
2017.	92,5	0,91
2018.	87,5	0,85
2019.	80,5	0,74
2020.	84,2	0,79

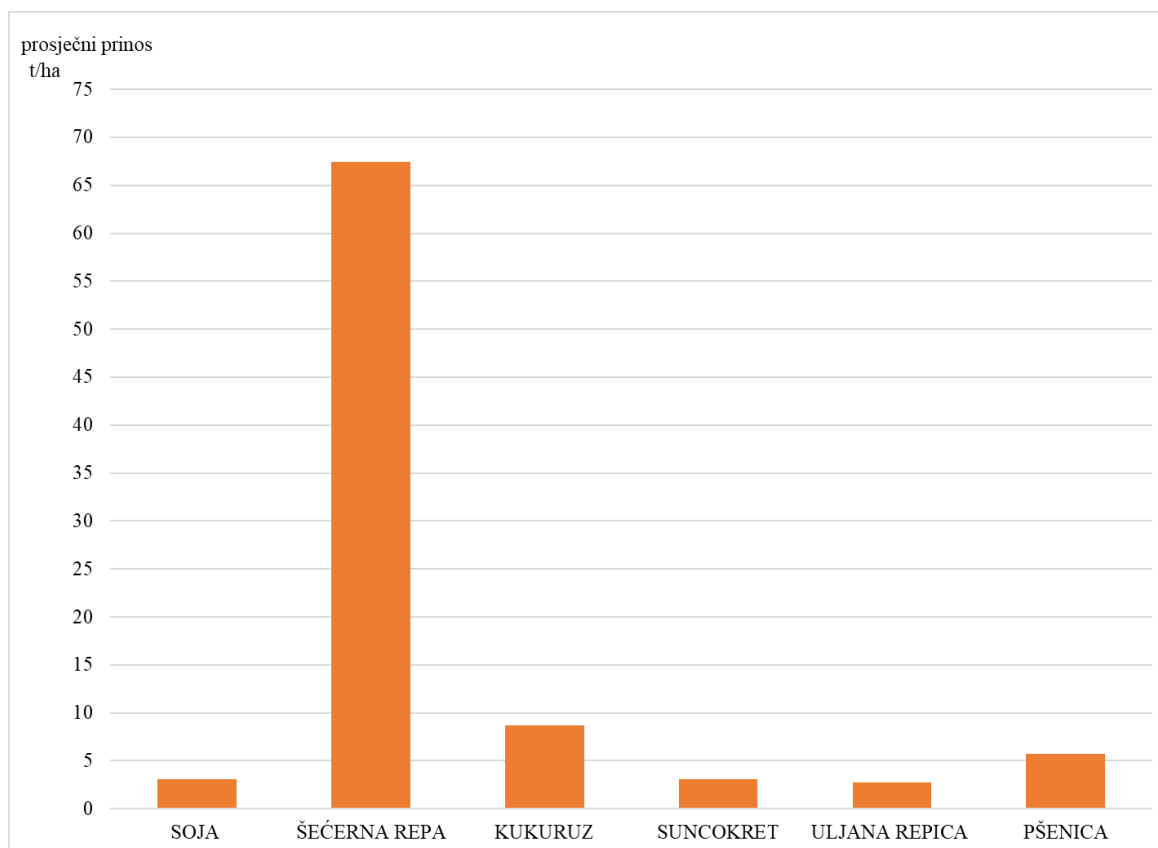
(Izvor: autorski rad)

6.2 Kretanje cijena usjeva

Prilikom odabira usjeva za pojedinu parcelu svake godine, mnogi elementi ulaze u izračun. Glavni cilj svake godine je održati prihode veće od rashoda, odnosno zaraditi. Cijene usjeva se mijenjanju danonoćno, kao i cijene goriva, gnojiva, zaštitnih sredstava, ali i cijene rada. Također, uzimaju se u obzir i drugi elementi kao što su plodored i poticaji. Krajnji cilj rashode održati manjima od očekivanog prihoda koji očekuje zemljoradnike na kraju vegetacijske sezone. Kod izračuna očekivanog prihoda uzima se u obzir iskustvo proteklih godina, odnosno rashodi proteklih godina, cijena usjeva na kraju protekle godine, prinosi pojedinih usjeva i trenutna potražnja za određenim usjevom.

Promatrajući usjeve koji su korišteni u ovom istraživanju, prosječni prinosi po hektaru zemljišta, u 4 istraživane godine, daleko su najveći za šećernu repu, koja je i najteža. Žitarice kukuruz i pšenica imaju prinose nešto veće od uljarica suncokreta, uljane repice i mahunarke soje. Prinosi su uglavnom, iz godine u godinu, poprilično jednaki. Oni ponajviše ovise o vremenskim uvjetima u kojima su se usjevi nalazili u pojedinim etapama

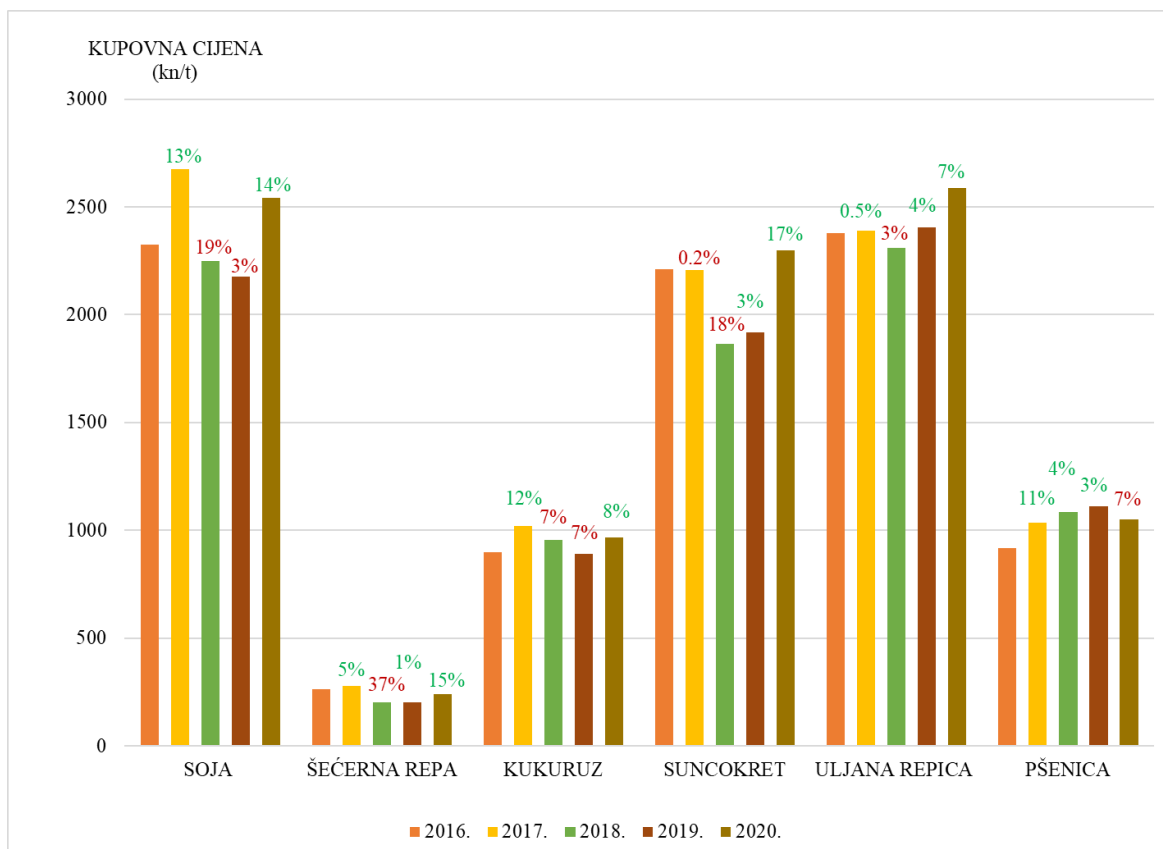
vegetacijskog razvoja. Šećerna repa ima prinos od čak 67 tona po hektaru zemljišta. Slijedi kukuruz s 9 tona te pšenica s 6 tona po hektaru zasađenog usjeva. Uljana repica, suncokret i soja imaju prosječno jako mali prinos od 3 tone po hektaru zemljišta.



Sl. 34. Prosječni prinos prema usjevima

(Izvor: autorski rad prema podacima DZS-a)

Iako je i prinos od velike važnosti, najveću ipak nosi otkupna cijena. Otkupne cijene uglavnom osciliraju ovisno o gospodarskom stanju u svijetu i državi. Od 2016. do 2020. godine cijene su najstabilnije pšenici i kukuruzu. Kritična godina, kada su pale cijene gotovo za sve promatrane usjeve, osim za pšenicu, bila je 2018. Najveći pad pogodio je soju, šećernu repu i suncokret. Šećernoj repi je 2018. godine cijena pala, u odnosu na 2017. godinu, za 37 % kao rezultat prevelike produkcije. Najveće otkupne cijene po toni prinosa imaju soja i uljana repica, dok najmanju ima šećerna repa.



Sl. 35. Kretanje otkupne cijene usjeva prema godinama

Izvor: autorski rad prema podacima DZS-a

6.3 Analiza promjena u korištenju zemljišta

Korištenje zemljišta je u stalnoj promjeni, pa tako i na prostoru Donjeg Međimurja. Gradovi se šire, manja ruralna naselja se smanjuju, pa stalno dolazi do preraspodjele u udjelima pojedinih elemenata u prostoru. Međimurje je oduvijek bio ruralni, poljoprivredni kraj, s malo urbanog prostora. Kako se naseljeni prostor povećava, kroz godine se traži parcela više za obradu. Postoje veća poljoprivredna gospodarstva koja se bave isključivo poljoprivredom kao primarni izvor prihoda, no većina ljudi uglavnom obrađuje zemlju za svoje potrebe ili kao dodatan izvor prihoda, uz konvencionalan posao, u slobodno vrijeme i na malim površinama. U zadnje vrijeme, češće ipak se odlučuju na plaćanje usluga obrade zemljišta, gdje daju zemljište u najam ili u zakup. Razlog tome je skupo održavanje poljoprivredne mehanizacije. Nekome tko ima jednu ili nekoliko parcela, ne isplati se obavljati godišnju obavezu održavanja vozila i kupovati dodatne alate za obradu, već im je isplativije platiti uslugu obrade nekome tko se na većim površinama bavi poljoprivredom kao primarnom djelatnosti i tko ima svu potrebu mehanizaciju i alate za obradu usjeva. Odabir usjeva jako je delikatna stvar, jer u obzir treba uzeti mnogo elemenata kako bi, na

kraju godine, rashodi ostali manji od prihoda. Najvažniji element koji se razmatra je cijena usjeva kroz godine, odnosno profit.

Tab.12. Površine i udjeli usjeva u ukupnom poljoprivrednom zemljištu prema godinama

GODINA / KLASA	2017.		2018.		2019.		2020.	
	Površina (ha)	Udio (%)	Površina (ha)	Udio (%)	Površina (ha)	Udio (%)	Površina (ha)	Udio (%)
KUKURUZ	3277,4	35,0	4212,0	44,3	4606,6	51,2	4960,3	55,6
ULJANA REPICA	1017,8	10,9	773,8	8,1	620,9	6,9	716,5	8,0
PŠENICA	2089,1	22,3	2293,6	24,1	1601,4	17,8	2054,9	23,0
SOJA	1280,2	13,7	848,5	8,9	608,8	6,8	224,9	2,5
SUNCOKRET	324,6	3,5	661,4	7,0	926,9	10,3	865,0	9,7
ŠEĆERNA REPA	1382,1	14,7	727,0	7,6	638,2	7,1	95,1	1,1
UKUPNO	9371,3	100	9561,2	100	9002,7	100	8916,7	100

(Izvor: autorski rad)

Površine i udjeli u ukupnom poljoprivrednom zemljištu koje zauzima pojedini usjev mijenjali su se od 2017. do 2020 godine. Nakon provedene klasifikacije, klasificirane satelitske snimke su bile reklasificirane i vektorizirane, gdje su dobivene i površine poligona za svaku pojedinu klasu.

Klasificirane snimke pokazale su da se na poljoprivrednim površinama u svim promatranim godinama nalazio kukuruz u najvećem postotku. Postotak je kroz godine rastao od 35 % do 55,6 %, dok se, u apsolutnom smislu, površina na kojoj je bio posijan kukuruz povećala za gotovo 1700 hektara u četiri godine. Rezultat je to višegodišnjeg razvoja sjemenarstva kukuruza gdje je razvijena sorta za svaku namjenu i za svakoga. Postoji nebrojeno mnogo hibrida ovisno o tome za što će se na kraju taj kukuruz koristiti. Njegova je primjena izrazito široka, od korištenja u prehrani ljudi i stoke te proizvodnji, do korištenja u farmaceutskoj i tekstilnoj industriji. Onima koji siju kukuruz, može se svidjeti cijena tekuće godine ili mogu spremiti kukuruz i pričekati koju godinu kasnije u nadi da će se potencijalno podignuti cijena kukuruza narednih godina. Sama obrada tijekom vegetacijskog razdoblja je nezahtjevna. Obavezno je prskanje samo dva puta kroz godinu, protiv korova i

protiv bolesti što je izrazito olakšavajuća okolnost. Nije potrebno nekoliko puta kroz vegetacijsko razdoblje trošiti resurse na njegu usjeva. Klima je u podneblju Donjeg Međimurja povoljna za razvoj kukuruza, a kukuruz izrazito adaptivna biljka i najčešće poljoprivrednici ne moraju zalijevati biljke i trošiti dodatan resurs, vodu. Za posljednji korak, žetvu, najčešće se traži usluga većeg poljoprivrednog gospodarstva koje ima kombajn. S prinosima od oko 9 tona po hektaru i cijeni koja je izrazito stabilna na tržištu, kukuruz je svojevrsna sigurna zona. Isto tako, kukuruz se može skladištiti nekoliko godina te tako poljoprivrednik može pričekati neku od sljedećih godina kada potencijalno cijena može porasti. Adaptivne značajke kukuruza, stabilne cijene i jednostavna briga za usjeve razlozi su zbog čega sve više kukuruza ima na poljima Donjeg Međimurja. Time se potvrđuje druga hipoteza gdje je navedena pretpostavka da će se površine na kojima je posijan kukuruz kroz godine povećavati (Hrgović, 2007).

Pšenica je usjev koji se nerijetko nalazi na poljoprivrednim zemljištima Donjeg Međimurja. Uglavnom na poljima zauzima oko 2000 hektara, a samo 2019. godine se nalazila na tek 1600 hektara površine. Rast otkupne cijene pšenice 2017. godine, odrazio se na povećanje zasijane pšenice za 200 hektara u 2018. godini, no već u 2019. taj se iznos smanjio na 1600 hektara, neovisno o cijeni. Često se govori o njoj kao ne suviše profitabilnoj, no zadnjih desetak godina ima najstabilniju cijenu na tržištu što je veliki razlog zbog kojeg se poljoprivrednici odlučuju za njezino sijanje. Isto tako, početni korak sadnje je izrazito jeftin. Pšenica se sije na pognojeno tlo, krajem listopada, s ciljem da se dovoljno razvije prije zimskih uvjeta. Biljka nije zahtjevnja za njegu, već je dovoljno pratiti njezin vegetacijski razvoj te prema potrebi zaštititi protiv bolesti, korova ili štetnika. Uz provođenje pravilnih mjera i pravovremeno sijanje i zaštitu, dostiže prosječne prinose od 6 tona po hektaru (Hrgović i dr., 2014).

Uljana repica je 2017. godine zauzimala najveći udio na poljima Donjeg Međimurja. Bila je rasprostranjena na 10.9 posto svih poljoprivrednih površina. Iako joj se otkupna cijena povećala od 2016. godine, sije se na manjim površinama od oko 700 hektara svake godine. Cijena joj je uglavnom stabilna, uz manje varijacije. Uljana repica se sije krajem kolovoza i početkom rujna što je najranije od gotovo svih ozimih kultura, no ako se u tom razdoblju javi suša, često poljoprivrednici odustaju od sijanja. Kao biljka ima relativno nizak prinos od oko 3 tone po hektaru, što je u odnosu na sličnu joj pšenicu, duplo niži prinos. Uspoređujući pšenicu i uljanu repicu vidljivo je da se uljana repica mora 3 puta prskati kroz vegetacijsko razdoblje, ima niži prinos nego pšenica i napada je puž buhać zbog čega je teško uzgojiva. Najkritičnije joj je razdoblje žetve, kada je potrebno vrlo dobro prepoznati vrijeme

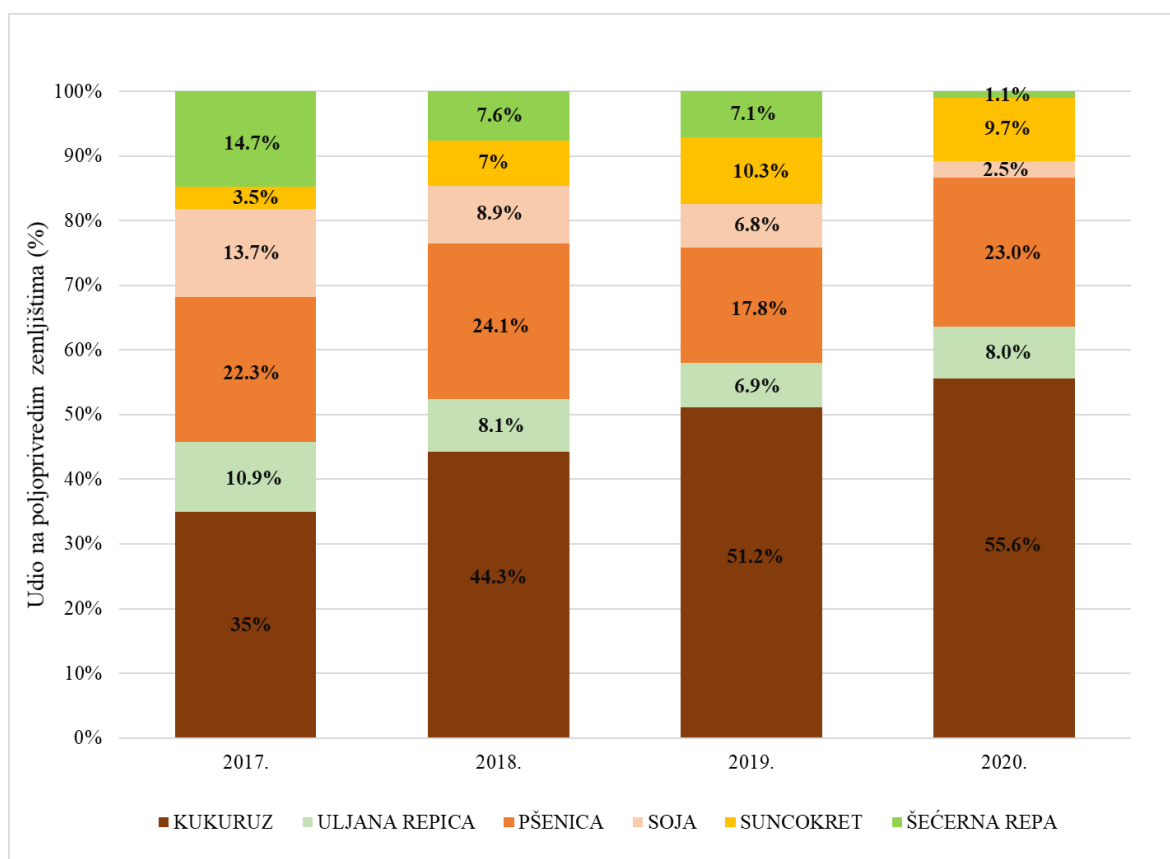
tik prije pucanja komušaka kad je uljana repica najsušša. Ono može biti problematično jer biljke dozrijevaju nejednolično. Ukoliko se propusti to najpovoljnije razdoblje za žetvu, dolazi do pucanja komušaka i smanjenja prinosa. Iako uljana repica u odnosu na pšenicu ima više nego duplu otkupnu cijenu po toni, zbog ulaganja kroz vegetacijsko razdoblje i složenu njegu mnogo je manje isplativa od pšenice. Pozitivna strana je što je zemljište nakon sijanja uljane repice puno kvalitetnije nego nakon sijanja pšenice. Koristi se kao biljno ulje, sirovina za biogorivo i stočna hrana (Han i dr., 2004b; Iljkić i dr., 2019).

Suncokret je, u podacima obiteljskog gospodarstva koji su služili kao referenca, bio slabo zastupljen ili zastupljen na manjim parcelama što se potencijalno odrazilo na klasifikaciju. Bio je slabo zastupljen na poljima u 2017. godini, nalazio se na tek 324,6 hektara. U 2018. godini se povećala površina posijanog suncokreta, no te iste godine se srozala otkupna cijena suncokreta za 18 % zbog pretjerane proizvodnje u svijetu. Široko mu je korištenje u farmaceutskoj, prehrambenoj i kemijskoj industriji. Potražnja za suncokretom je velika i uvijek se uspijeva otkupiti. Kompliciran je u plodoredu jer se smije sijati na istoj parceli tek za 4 do 5 godina te se ne smije se sijati nakon soje i uljane repice. Također, jako je varijabilna kultura što se tiče prinosa jer je jako podložan nepovoljnim vremenskim prilikama te je neotporan na bolesti te se zbog toga ljudi teško odlučuju na sijanje iako u posljednoj godini bilježi porast otkupne cijene od 17 % (Lešić i dr., 2004; Iljkić i dr., 2019).

Soja je kultura čija proizvodnja u svijetu raste, zauzima mjesto usjevima čija je proizvodnja prednjačila, kao što je na primjer pšenica. Jedan od većih razloga je uvođenje takozvane Zajedničke zelene politike i poticaja Agencije za plaćanja u poljoprivredi, ribarstvu i ratarstvu kroz „Zelena plaćanja“ u koje je do 2018. bila uvrštena i soja. Od tada se sije manje soje zbog manjih prihoda od Agencije koja je navela da su u „Zelena plaćanja“ uključene samo vrste soje koje nisu genetski modificirane. U vegetacijskom razdoblju se nekoliko puta mora njegovati i prskati zbog toga što je izrazito osjetljiva na bolesti i korov koji ako se na vrijeme ne ukloni može zapriječiti rast soje. Često prskanje iziskuje dodatnu mehanizaciju i dodatno utrošeno vrijeme. To je dodatan trošak koji si, većinom oni kojima je poljoprivreda sekundarna djelatnost, ne žele dodavati (Han i dr., 2004a; Iljkić i dr., 2019).

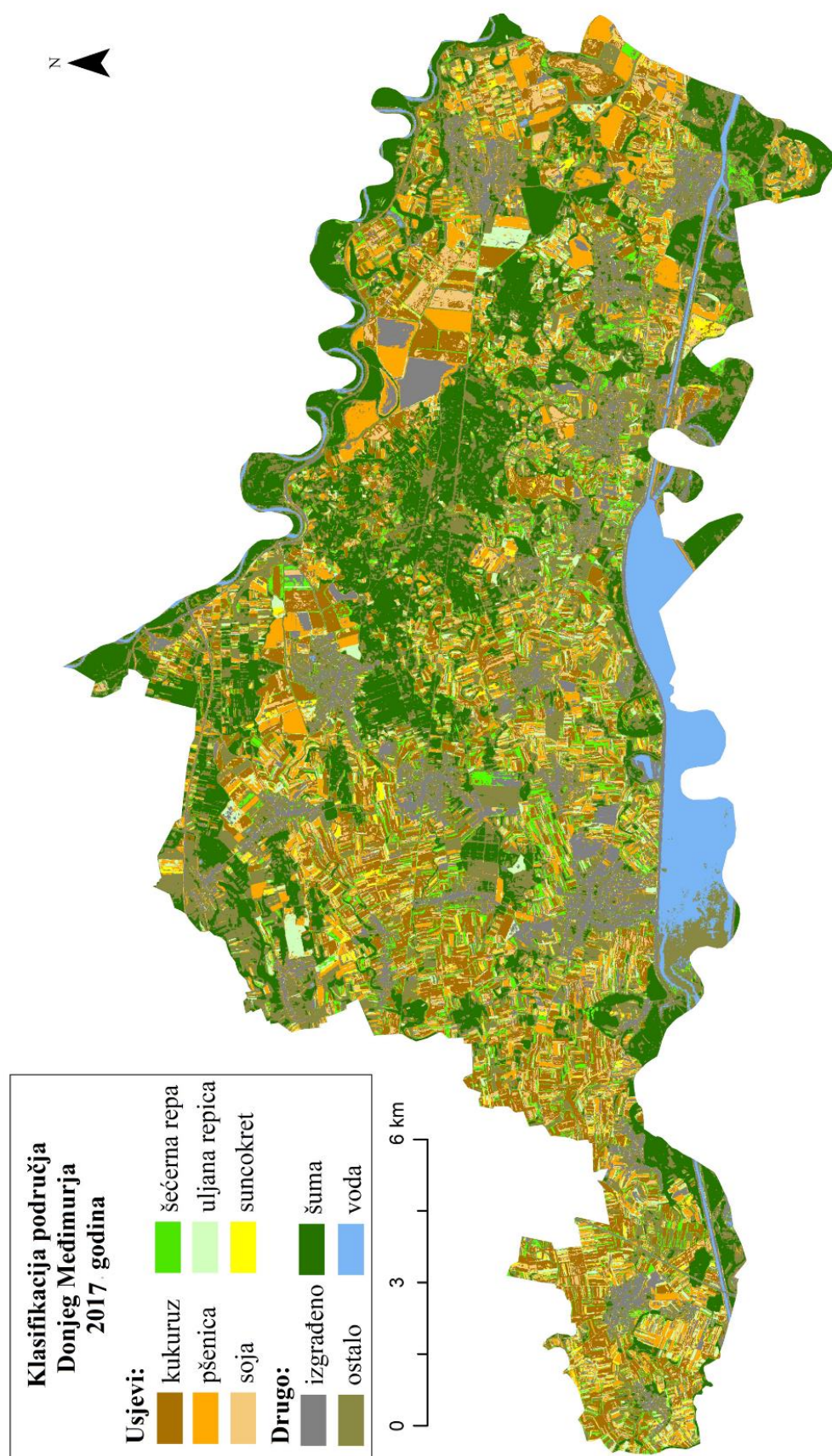
Šećerna repa ima nadimak kraljica kultura, zbog toga što kroz cijelo vegetacijsko razdoblje traži znanje, stalnu njegu i pažnju. Izrazito joj je velika potražnja vlagom u lipnju i srpnju te za sunčanom svjetlošću zbog toga što joj je količina šećera u korelaciji sa sunčevom energijom. Osjetljiva je na biljne bolesti, plodored koji joj prethodi, ne smije se sijati na istu parcelu unutar 5 godina, zahtjeva posebnu obradu tla, a nakon sebe ostavlja opustošeno tlo. U početnom stadiju sadnje, skuplja je od kukuruza, soje i pšenice. Iako ima značajnije veće

prinose nego ostale spomenute kulture, uz nju su vezani veliki rashodi i briga kroz cijelo vegetacijsko razdoblje. Zbog izrazito velikih poticaja, poljoprivrednici su se odlučivali za šećernu repu, sve do 2018. godine, kada joj je pala cijena za velikih 37 % te do 2019. godine kada se zatvara šećerana Virovitica kojoj su gravitirali. Od tada, šećerna repa mogla se transportirati sa željeznice u Donjem Kraljevcu do Županje gdje je danas šećerana, što je predstavljalo dodatnu odbojnost kod odabira ovog usjeva (Vencel i dr., 2004).

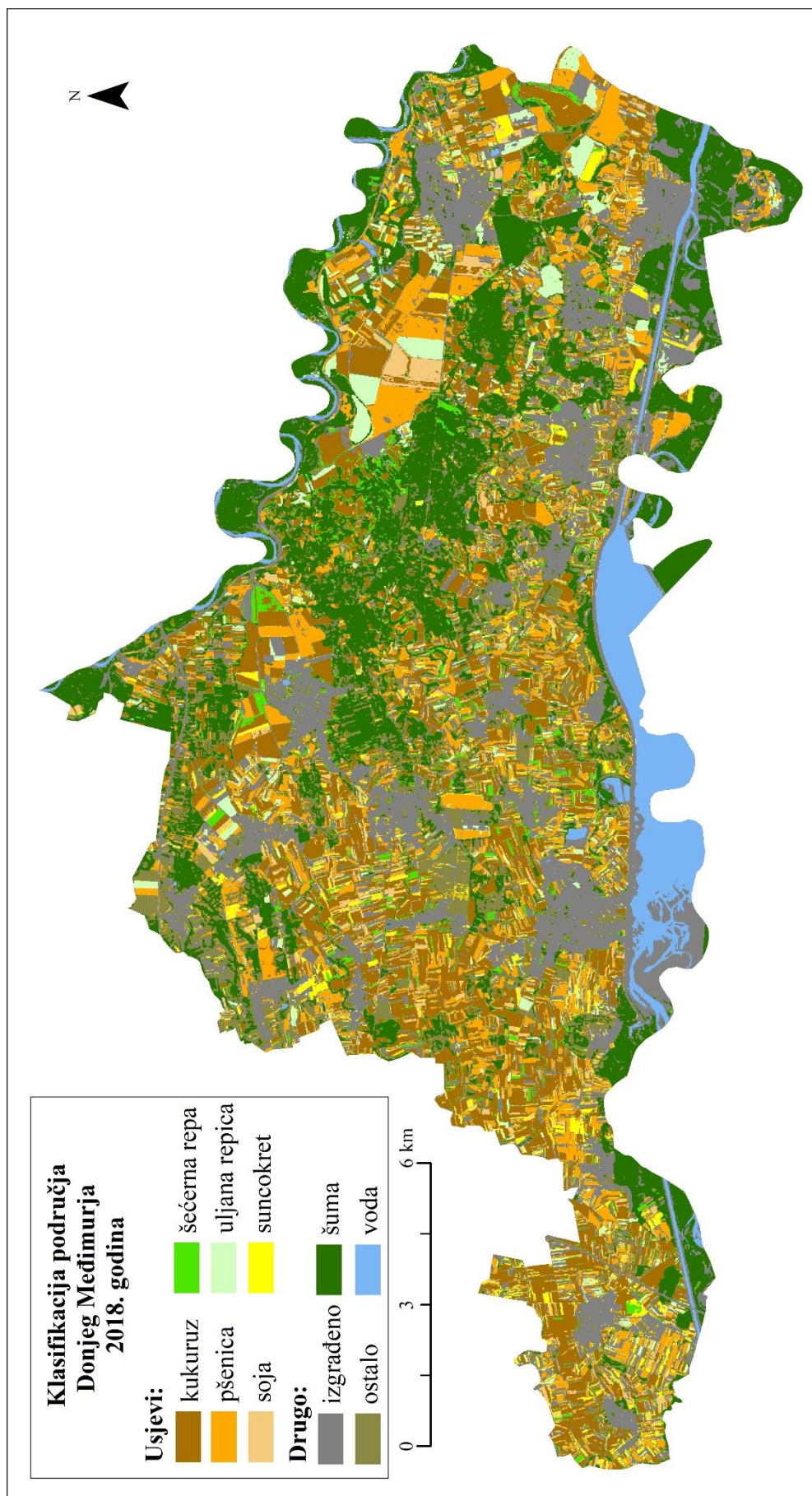


Sl. 36. Raspodjela udjela usjeva prema godinama

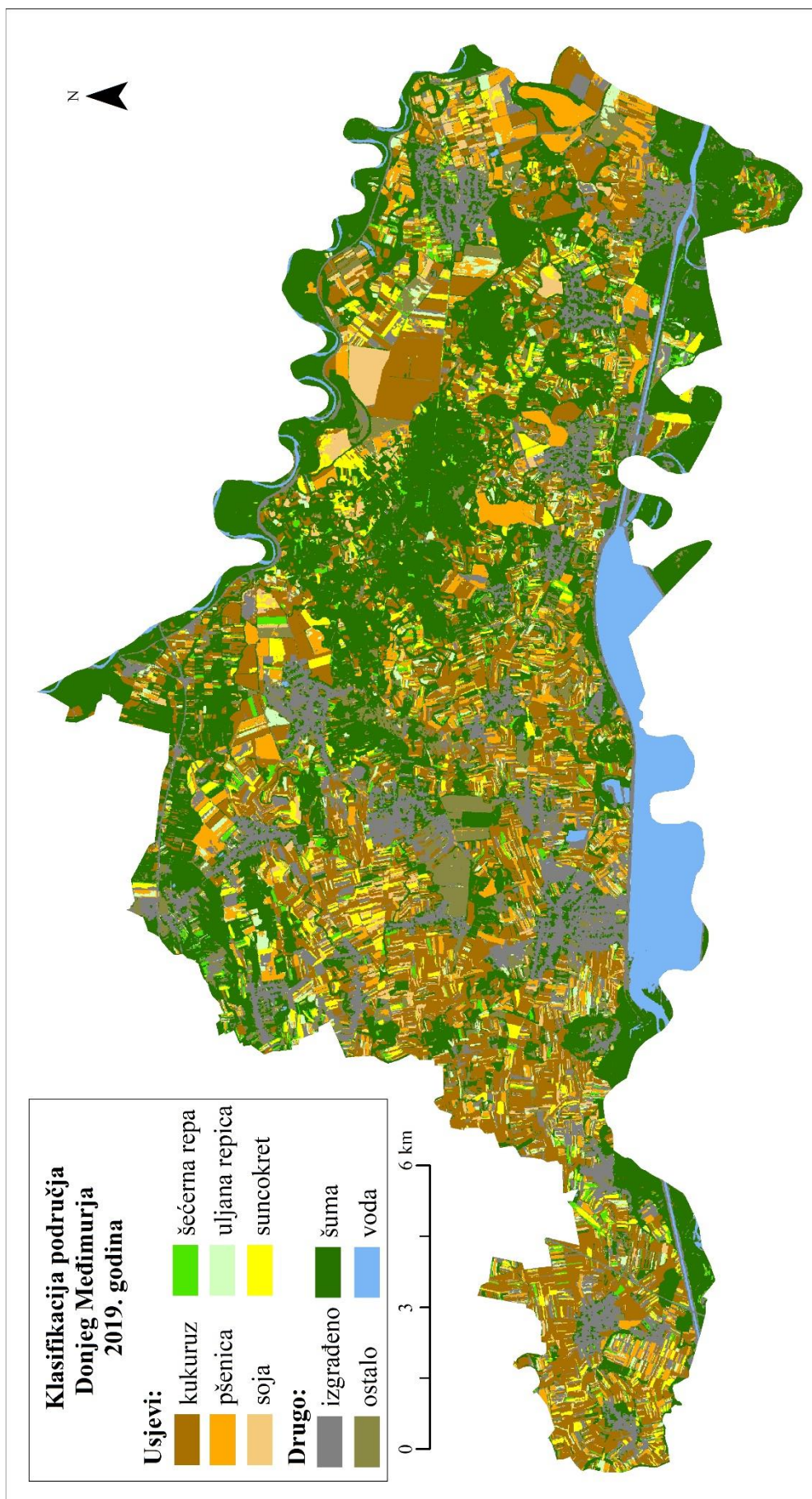
Izvor: autorski rad



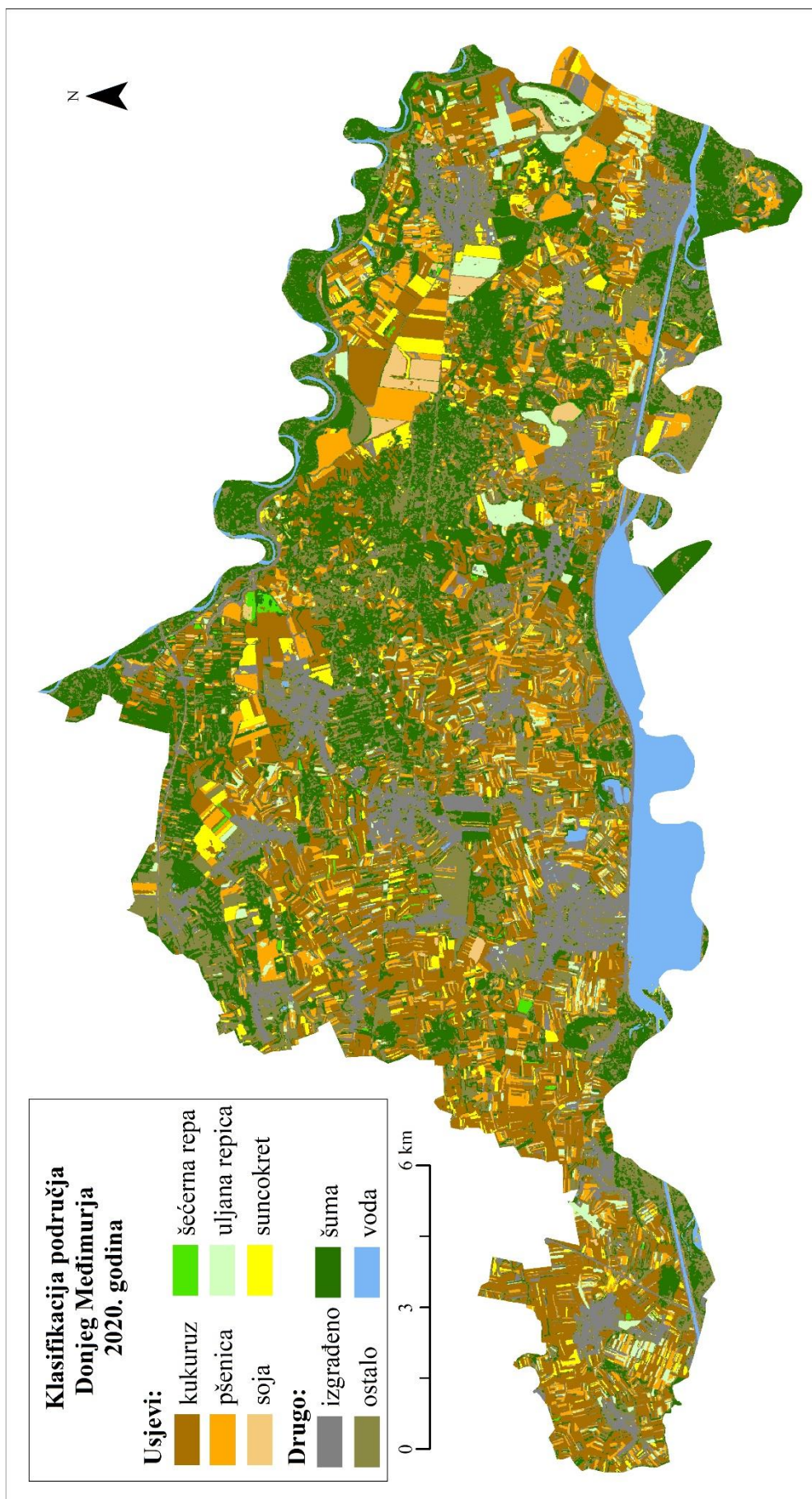
Sl. 37. Klasifikacija područja Donjeg Međimurja – 2017. godina



Sl. 38. Klasifikacija područja Donjeg Međimurja – 2018. godina



Sl. 39. Klasifikacija područja Donjeg Međimurja – 2019. godina



Sl. 40. Klasifikacija područja Donjeg Međimurja – 2020. godina

7 ZAKLJUČAK

Donje Međimurje, kraj s izrazito jako razvijenom poljoprivredom i vječnim borbama za još koju parcelu. Proizvodnja na poljoprivrednim površinama Donjeg Međimurja provodi se na cijelom nizu usjeva, dok postoje oni najčešći. Uz usjeve koji su odabrani u ovom istraživanju, još se sade i ječam, krumpir, industrijska konoplja i drugi. Daljinska istraživanja uvelike mogu pridonijeti planiranju, razvoju i poboljšanju trenutne poljoprivrede u toj regiji.

Odabranom metodologijom izvršena je uspješna klasifikacija. Vegetacijski indeksi NDVI, SAVI, LCI, CIgreen i CIrededge, pokazali su se kao dobri pokazatelji kod diferencijacije usjeva RF algoritmom. Korišteni referentni podaci pokazali su se manjkavi u okviru klasa koje se nisu često pojavljivale na parcelama. Za sljedeće istraživanje predlažem generiranje seta referentnih podataka iz dva različita gospodarstva koji na parcelama imaju različite usjeve. Primjerice, u nekim od godina i klasa se dogodilo da je klasa predstavljena u matrici pogreške jednim poligonom, odnosno 20 točaka, što je relativno malo u odnosu na ostale klase.

Matricom pogreške djelomičnom se opovrgnula, a djelomično potvrdila prva hipoteza, kojom se pretpostavljalo da će minimalna točnost biti 85 %. Gledajući ukupnu točnost za sve četiri istraživane godine, ona je istinita, dok je u okviru svake godine zasebno, ona djelomično točna. Točna je za 2017., 2018. i gotovo 2020. godinu, dok je 2019. godinu ostvarena ukupna točnost od 80,7 % te ona kao takva nije dostatna da se potvrdi hipoteza.

Klasifikacijom je potvrđena druga hipoteza, koja je tvrdila da će najveći udio površine u poljoprivrednim zemljištima Donjeg Međimurja kroz cijelo promatrano razdoblje zauzimati kukuruz. Kukuruz zaista predvodi u smislu udjela koji zauzima na poljima zbog jednostavne obrade, stabilne cijene, lake prodaje i činjenice da može biti skladišten do godine s potencijalnom boljom otkupnom cijenom. Ostali usjevi su sijani u skladu sa svojim značajkama, kao i poticajima koji se za njih dobivaju. Kod nekih površina je došlo do nesrazmjera s otkupnom cijenom zbog drugih faktora koji utječu na odabir usjeva, kao i zbog manjeg broja referentnih podataka za pojedine klase u pojedinim godinama.

U daljnjem istraživanju predlažem dodavanje dodatnih referentnih podataka za sve klase kao i dodavanje drugih vegetacijskih indeksa kao temelja klasifikacije.

LITERATURA

1. **Anderson, J. R. (1971).** Land-Use Classification Schemes, *Photogrammetric Engineering*, 37 (4), 379-387.
2. **Anderson, J. R., Hardy, E. E., Roach, J. T., Witmer, R. E. (1976).** A land use and land cover classification system for use with remote sensor data, US Geological Survey Professional Paper 964, (28).
3. **Anji Reddy, M. (2008).** Textbook Of Remote Sensing And Geographical Information Systems, Third Edition.
4. **Bell, J. (2014).** Machine Learning: Hands-On for Developers and Technical Professionals
5. **Biancardi, E., McGrath, J., Panella, L., Lewellen, R.T., Stevanato, P. (2010).** Sugar Beet. 10.1007/978-0-387-92765-7_6.
6. **Breiman, L. (2001).** Random forests. *Machine learning*, 45, 1, 5-32.
7. **Campbell, J.B. (2007).** Introduction to remote sensing. 4th Edition, The Guilford Press. New York.
8. **Chen, F., Cheng, M., Li, J., Wang, C., Claverie, M. (2018).** A comparison of Sentinel-2A and Sentinel-2B with preliminary results, IGARSS 2018, July 23–27, Valencia, Spain, 8226-8229.
9. **Congalton, R. (1991).** A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data Department of Forestry and Resource Management, University of California, Berkeley, REMOTE SENS. ENVIRON. 37:35-46.
10. **Cracknell P.A. (2018).** The development of remote sensing in the last 40 years, *International Journal of Remote Sensing*, 39:23, 8387-8427.
11. **Datt, B. (1999).** A New Reflectance Index for Remote Sensing of Chlorophyll Content in Higher Plants: Tests using Eucalyptus Leaves. *J. Plant Physiol.* 154, 30–36.
12. **Devadasa, R., Denhama, R. J., Pringlea M. (2012).** Support vector machine classification of object-based data for crop mapping, using multi-temporal Landsat imagery, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Congress, Melbourne, Australia.
13. **Dobbin, K.K., Simon, R.M. (2011).** Optimally splitting cases for training and testing high dimensional classifiers. *BMC Med Genomics* 4, 31.
14. **Dobrinić, D., Gasparović, M., Medak, D. (2021).** Sentinel-1 and 2 Time-Series for Vegetation Mapping Using Random Forest Classification: A Case Study of Northern Croatia. *Remote Sensing. Utilization, Pests.* U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 338.

15. **ESA (2012).** Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services, ESA SP-1322/2.
16. **Fernández-Luqueño, F., López-Valdez, F., Miranda-Arámbula, M., Rosas-Morales, M., Pariona, N., Espinoza-Zapata, R. (2014).** An Introduction to the Sunflower Crop
17. **Frampton, W.J., Dash, J., Watmough, G., Milton, E.J. (2013).** Evaluating the capabilities of Sentinel-2 for quantitative estimation of biophysical variables in vegetation, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Volume 82, 83-92.
18. **Frančula N., Lapaine, M. (2001).** Kartografija i daljinska istraživanja, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Zagreb.
19. **Fu, D., Jiang, L., Mason, A., Xiao, M., Zhu, L., Li, L., Zhou, Q., Shen, C., Huang, C. (2016).** Research progress and strategies for multifunctional rapeseed: A case study of China. *Journal of Integrative Agriculture*. 15. 1673-1684.
20. **Gadžo, D., Đikić, M., Mijić, A. (2011).** Industrijsko bilje. Univerzitet u Sarajevu. Poljoprivredno – prehrambeni fakultet. Sarajevo.
21. **Gagro, M., (1997).** Ratarstvo obiteljskog gospodarstva – Žitarice i zrnate mahunarke; Zagreb.
22. **Han, I., Bistrović, V., Hrgović, S. (2004).** Agrotehnika proizvodnje soje, Hrvatski zavod za poljoprivrednu savjetodavnu službu, Zagreb.
23. **Han, I., Hrgović S. (2004).** Agrotehnika proizvodnje uljane repice, Hrvatski zavod za poljoprivrednu savjetodavnu službu, Zagreb
24. **Hartshorn, S. (2016).** Machine Learning With Random Forests And Decision Trees: A Visual Guide For Beginners Kindle Edition.
25. **Heršak, E., Šimunko, J. (1990).** 'Međimurje – povijest, identitet i seobe', *Migracijske i etničke teme*, 6(4), str. 569-591.
26. **Hrgović, S. (2007).** Osnove agrotehnike proizvodnje kukuruza (*zea mays*), Glasnik zaštite bilja 3/2007.
27. **Hrgović, S. (2016).** Osnove agrotehnike proizvodnje: ječma, zobi i raži, Glasnik zaštite bilja 1/2006, stručni rad.
28. **Hrgović, S., Pajić, S., Medimurec, T. (2014).** Pravilnom agrotehnikom do visokih prinosa pšenice dobre kakvoće, Ministarstvo poljoprivrede, Savjetodavna služba
29. **Hrvatski geološki institut (2009),.** Resursna osnova za pitku i geotermalnu vodu u Međimurskoj županiji, Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju, Zagreb.

30. **Huete, A.R., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E.P., Gao, X., Ferreria, L.G. (2002).** Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices, *Remote Sens. Environ.*, 83, pp. 195-213.
31. **Iljkić, D., Kranjac, D. Zebec, V., Varga, I., Rastija, M. Antunović, M., Kovačević, V. (2019.)** Stanje i perspektiva proizvodnje žitarica i uljarica u Republici Hrvatskoj. *Glasnik zaštite bilja*, 42 (3): 67-69.
32. **Immitzer, M., Vuolo, F., Atzberger, C. (2016).** First Experience with Sentinel-2 Data for Crop and Tree Species Classifications in Central Europe, *Remote Sensing* 8, no. 3: 166.
33. **Jaime, R., Alcántara, J., Manzaneda, A., Rey, P. (2018).** Climate change decreases suitable areas for rapeseed cultivation in Europe but provides new opportunities for white mustard as an alternative oilseed for biofuel production, *PLoS ONE* 13(11): e0207124.
34. **Jakopović, L., Kolarek, M., Rezo, M., Kranjčić, N. (2018).** Satelitska misija Copernicus – mogućnosti nadziranja prirodnih nepogoda, pregledni rad, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin, Republika Hrvatska
35. **Jogun, T., Pavlek, K., Belić, T., Buhin, S., Malešić, N. (2017).** Promjene zemljišnog pokrova u sjevernoj Hrvatskoj od 1981. do 2011. godine. *Hrvatski geografski glasnik*, 79 (1), 33-59.
36. **Johnson, B.A., Ma, L. (2020).** Image Segmentation and Object-Based Image Analysis for Environmental Monitoring: Recent Areas of Interest, Researchers' Views on the Future Priorities, *Remote Sensing* 12, 11: 1772.
37. **Kovačević V., Rastija, M. (2014).** Žitarice, Sveučilište J. J. Strossmayera u Osijeku, Poljoprivredni fakultet, Osijek.
38. **Laci, S. (1962).** Donje Međimurje, *Hrvatski geografski glasnik*, 24.(1.), str. 83-100.
39. **Laci, S., (1979).** Centralna naselja Međimurja, *Acta Geographica Croatica*, 14(1), 19-39.
40. **Lešić, L., Hrgović, S. (2004).** Agrotehnika proizvodnje suncokreta, Hrvatski zavod za poljoprivrednu savjetodavnu službu, Zagreb.
41. **Lillesand, T., Kiefer, W.R., Chipman, J. (2015).** *Remote Sensing and Image Interpretation*, 7th Edition, Wiley.
42. **Magaš, D. (2013).** *Geografija Hrvatske*, Meridijani, Zadar.
43. **Magdalenić, I. (1994).** Županija međimurska: osnovna sociodemografska obilježja, *Sociologija i prostor*, (123-124), 85-99.
44. **Navulur, K. (2007).** *Multispectral Image Analysis Using the Object-Oriented Paradigm*, CRC Press.

45. **Ok, A., Akar, Ö., Gungor, O. (2012).** Evaluation of random forest method for agricultural crop classification. *European Journal of Remote Sensing*. 45. 421-432.
46. **Oyewole, C. (2016).** The wheat crop, Kogi State University.
47. **Pospišil M. (2008).** Sjetva suncokreta, Glasnik zaštite bilja 4/2008, stručni rad.
48. **Pospišil, M. (2013).** Ratarstvo – II. dio – industrijsko bilje, Zrinski d.d., Čakovec.
49. **Pucarić A., Ostojić Z., Čuljat M. (1997).** Proizvodnja kukuruza. Hrvatski zadružni savez, Zagreb.
50. **REDEA (2015).** Strategija ruralnog razvoja Međimurske županije.
51. **REDEA (2017).** Razvojna strategija Međimurske županije do 2020.
52. **Rees, W. (2012).** Physical Principles of Remote Sensing (3rd ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
53. **Rwanga, S.S., Ndambuki, J.M. (2017).** Accuracy Assessment of Land Use/Land Cover Classification Using Remote Sensing and GIS. *International Journal of Geosciences*, 8, 611-622.
54. **Sandler, W. M. (2002).** Photography: An Illustrated History, Oxford University Press, New York
55. **Savezni hidrometeorološki zavod (1988).** Hidrološki godišnjak Jugoslavije I/1985, Beograd
56. **Sonobe, R., Yamaya, Y., Tani, H., Wang, X., Kobayashi, N., Mochizuki, K. (2018).** Crop classification from Sentinel-2-derived vegetation indices using ensemble learning, *J. Appl. Rem. Sens.* 12(2).
57. **Story, M., Congalton, R.G., (1986).** Accuracy assessment - A user's perspective, *Photogrammetric Engineering and remote sensing*, 52 (3), 397-399.
58. **Šegota, T., Filipčić, A. (1996).** Klimatologija za geografe, Školska knjiga, Zagreb.
59. **Šegota, T., Filipčić, A. (2003).** Köppenova podjela klima i hrvatsko nazivlje, *Geoadria*, 8(1), str. 17-37.
60. **Tandarić, N. (2010).** Opća geomorfologija. Nastavni materijal. Zagreb.
61. **Valožić, L. (2015).** Objektno orijentirana klasifikacija zemljišnoga pokrova pomoću multispektralnih satelitskih snimaka - primjer Grada Zagreba (Disertacija).
62. **Vencel, Ž., Hrgović, S. (2004).** Agrotehnika proizvodnje šećerne, Hrvatski zavod za poljoprivrednu savjetodavnu službu, Zagreb
63. **Vratarić, M., Sudarić, A. (2007).** Tehnologija proizvodnje soje, Poljoprivredni institut Osijek, Zvijezda d.d. Zagreb.

64. **Vuk, M., Slunjski, R. (2004).** Demografske promjene u Međimurju 1857.-2001., Insula, Čakovec.
65. **Weier, J. and Herring, D. (2000).** Measuring Vegetation (NDVI & EVI). NASA Earth Observatory, Washington DC.
66. **Xie Y, Zhao X, Li, L, Wang, H. (2010).** Calculating NDVI for landsat7-etm data after atmospheric Correction using 6s model: a case study in Zhangye City, China, In proceeding IEEE Geo Informatics 18th international conference, pp. 1-4.
67. **Xue, J., Su, B. (2017).** Significant Remote Sensing Vegetation Indices: A Review of Developments and Applications, Journal of Sensors, vol. 2017.
68. **Yin, Q., Guo, P. (2007).** Multispectral Remote Sensing Image Classification with Multiple Features., Machine Learning and Cybernetics, 2007 International Conference, 360 - 365.
69. **Zhou, J., Bgood, J., Shelton, S., Holden, Z., Sankaran, S. (2016).** Aerial multispectral imaging for crop hail damage assessment in potato, Computers and Electronics in Agriculture, 127, 406-412.
70. **Zhou, X., Zhang, J., Chen, D., Huang, J., Kong, W., Yuan, L., Ye, H., Huang, W. (2020).** Assessment of Leaf Chlorophyll Content Models for Winter Wheat Using Landsat-8 Multispectral Remote Sensing Data, Remote Sensing.
71. **Žiža, I., Tomljenović, I., Radun, B., Berta, A., Mesić, Z., Kušan, V. (2019).** Random Forest Based Automated Crop Mapping In Small-Scale Farming Using Stacked Multitemporal Sentinel 1 And Sentinel 2 Satellite Imagery: A Case Study For Croatia.

IZVORI

Copernicus:

<https://www.copernicus.eu/en/about-copernicus/copernicus-detail> (12.08.2021)

Credu, Značajke Međimurskog podneblja:

<http://www.credu.skole.hr/radionice/geografija> (31.08.2021.)

Državni zavod za statistiku:

<https://www.dzs.hr/Hrv/system/starth.htm> (15.08.2021)

ESA:

https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/The_Sentinel_mission,
ESA (12.08.2021)

ESA Copenicus Sentinel:

<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-2/instrument-payload/resolution-and-swath> (26.08.2021.)

Flora Croatica Database:

<https://hirc.botanic.hr/fcd/> (11.11.2021.)

Tla Hrvatske:

https://hr.izzi.digital/DOS/604/datastore/10/publication/604/files/2019/07/05/1562337823_medjunaroda_godina_tla_geografija.pdf?v=1614862445 (31.08.2021.)

USDA Agricultural Research Service:

https://gpsr.ars.usda.gov/short_remotesensing/Sect13/Sect13_5.html (20.02.2022.)

PRILOZI

Popis slika

Sl. 1. Koncept Spektralne rezolucije _____	6
Sl. 2. Prostor Međimurja _____	8
Sl. 3. Podjela Međimurske županije na geografske cjeline _____	9
Sl. 4. Raspodjela klimatskih tipova u Republici Hrvatskoj s označenim područjem Međimurja _____	10
Sl. 5. Klimadijagram Grada Čakovca 2015. godine _____	11
Sl. 6. Godišnji hod padalina u Prelogu 2017., 2018., 2019. i 2020. godine _____	12
Sl. 7. Tipovi tala na prostoru Republike Hrvatske s označenim područjem Međimurja _____	14
Sl. 8. Ukupno kretanje stanovništva Međimurja i Donjeg Međimurja od 1857. do 2021. godine _____	15
Sl. 9. Ukupno kretanje stanovništva grada i općina Donjeg Međimurja od 1857. do 2021. godine _____	16
Sl. 10. Sustav središnjih naselja Međimurske županije _____	17
Sl. 11. Algoritmi <i>decision tree</i> i <i>random forest</i> _____	23
Sl. 12. Primjer kretanja NDVI vrijednosti – detalj snimaka 2019. godine _____	25
Sl. 13. Primjer kretanja SAVI vrijednosti – detalj snimaka 2019. godine _____	25
Sl. 14. Primjer kretanja CIrededge vrijednosti – detalji snimaka 2019. godine _____	26
Sl. 15. Primjer kretanja CIgreen vrijednosti – detalji snimaka 2019. godine _____	26
Sl. 16. Primjer kretanja LCI vrijednosti – detalji snimaka 2019. godine _____	27
Sl. 17. Primjer matrice pogreške i izračuna ukupne točnosti klasifikacije, točnosti korisnika i točnosti proizvođača _____	29
Sl. 18. Pšenica _____	30
Sl. 19. Pšenica - srednje vrijednosti vegetacijskih indeksa _____	31
Sl. 20. Uljana repica _____	32
Sl. 21. Uljana repica - srednje vrijednosti vegetacijskih indeksa _____	33
Sl. 22. Suncokret _____	34
Sl. 23. Suncokret - srednje vrijednosti vegetacijskih indeksa _____	35
Sl. 24. Kukuruz _____	36
Sl. 25. Kukuruz - srednje vrijednosti vegetacijskih indeksa _____	37
Sl. 26. Šećerna repa _____	38
Sl. 27. Šećerna repa - srednje vrijednosti vegetacijskih indeksa _____	39
Sl. 28. Soja _____	40

Sl. 29. Soja - srednje vrijednosti vegetacijskih indeksa	41
Sl. 30. Primjer dokumentacije za pojedinu parcelu za 2019. godinu	44
Sl. 31. Dijagram toka predobrade u SNAP-u	45
Sl. 32. Prethodno obrađena satelitska snimka s obuhvatom istraživanja	46
Sl. 33. Primjer zbirke snimaka - "stack" snimaka	47
Sl. 34. Prosječni prinos prema usjevima	52
Sl. 35. Kretanje otkupne cijene usjeva prema godinama	53
Sl. 36. Raspodjela udjela usjeva prema godinama	57
Sl. 37. Klasifikacija područja Donjeg Međimurja – 2017. godina	58
Sl. 38. Klasifikacija područja Donjeg Međimurja – 2018. godina	59
Sl. 39. Klasifikacija područja Donjeg Međimurja – 2019. godina	60
Sl. 40. Klasifikacija područja Donjeg Međimurja – 2020. godina	61

Popis tablica

Tab. 1. Opći podaci o Međimurskoj županiji	7
Tab. 2. Kućanstva prema korištenom poljoprivrednom zemljištu 2011. godine	19
Tab. 3. Formule vegetacijskih indeksa	24
Tab. 4. Tržišne kupovne cijene pšenice u Hrvatskoj prema godinama	30
Tab. 5. Tržišne kupovne cijene uljane repice u Hrvatskoj prema godinama	32
Tab. 6. Tržišne kupovne cijene suncokreta u Hrvatskoj prema godinama	34
Tab. 7. Tržišne kupovne cijene kukuruza u Hrvatskoj prema godinama	36
Tab. 8. Tržišne kupovne cijene šećerne repe u Hrvatskoj prema godinama	38
Tab. 9. Tržišne kupovne cijene soje u Hrvatskoj prema godinama	40
Tab. 10. Korištene Sentinel-2A snimke	42
Tab. 11. Ostvarena ukupna točnost i kapa koeficijent za pojedine godine	51
Tab. 12. Površine i udjeli usjeva u ukupnom poljoprivrednom zemljištu prema godinama	54
Tab. 13. Centralne valne duljine i širine spektranih pojasa pojedinih spektralnih kanala	XI
Tab. 14. Matrica pogreške za klasificirane podatke 2017. godine,	XII
Tab. 15. Matrica pogreške za klasificirane podatke 2018. godine	XIII
Tab. 16. Matrica pogreške za klasificirane podatke 2019. godine	XIV
Tab. 17. Matrica pogreške za klasificirane podatke 2020. godine	XV

Dodatne tablice

Tab. 13. Centralne valne duljine i širine spektranih pojasa pojedinih spektralnih kanala

Prostorna rezolucija (m)	Broj kanala	S2A		S2B	
		Centralna valna duljina (nm)	Širina spektralnog pojasa (nm)	Centralna valna duljina (nm)	Širina spektralnog pojasa (nm)
10	2	492.4	66	492.1	66
	3	559.8	36	559.0	36
	4	664.6	31	664.9	31
	8	832.8	106	832.9	106
20	5	704.1	15	703.8	16
	6	740.5	15	739.1	15
	7	782.8	20	779.7	20
	8a	864.7	21	864.0	22
	11	1613.7	91	1610.4	94
	12	2202.4	175	2185.7	185
60	1	442.7	21	442.2	21
	9	945.1	20	943.2	21
	10	1373.5	31	1376.9	30

(Izvor: ESA Copernicus Sentinel, 2021)

Tab.14. Matrica pogreške za klasificirane podatke 2017. godine,

2017		REFERENTNI PODACI									
		KUKURUZ	ULJANA REPICA	PŠENICA	SOJA	SUNCOKRET	ŠEĆERNA REPA	DRUGO	UKUPNO		
KLASIFICIRANI PODACI	KUKURUZ	113	0	0	5	0	0	0	118	95,8	Točnost korisnika (%)
	ULJANA REPICA	0	58	0	1	0	0	0	59	98,3	
	PŠENICA	0	2	35	0	0	0	0	37	94,6	
	SOJA	3	0	0	45	0	1	0	49	91,8	
	SUNCOKRET	0	0	0	3	20	0	0	23	87,0	
	ŠEĆERNA REPA	4	0	1	0	0	99	0	104	95,2	
	DRUGO	0	0	4	5	0	1	0	10		
	UKUPNO	120	60	40	59	20	101	0	400		

94,2	96,7	87,5	76,3	100,0	98,0
Točnost proizvođača (%)					

(Izvor: autorski rad)

Tab.15. Matrica pogreške za klasificirane podatke 2018. godine

2018		REFERENTNI PODACI									
		KUKURUZ	ULJANA REPICA	PŠENICA	SOJA	SUNCOKRET	ŠEĆERNA REPA	DRUGO	UKUPNO		
KLASIFICIRANI PODACI	KUKURUZ	74	0	0	0	0	23	0	97	76,3	Točnost korisnika (%)
	ULJANA REPICA	3	23	0	0	0	0	0	26	88,5	
	PŠENICA	0	1	99	0	0	0	0	100	99,0	
	SOJA	0	0	0	58	0	0	0	58	100,0	
	SUNCOKRET	1	1	0	0	20	0	0	22	90,9	
	ŠEĆERNA REPA	0	0	0	1	0	76	0	77	98,7	
	DRUGO	2	15	1	1	0	1	0	20		
	UKUPNO	80	40	100	60	20	100	0	400		

92,5	57,5	99,0	96,7	100,0	76,0
Točnost proizvođača (%)					

(Izvor: autorski rad)

Tab.16. Matrica pogreške za klasificirane podatke 2019. godine

2019		REFERENTNI PODACI									
		KUKURUZ	ULJANA REPICA	PŠENICA	SOJA	SUNCOKRET	ŠEĆERNA REPA	DRUGO	UKUPNO		
KLASIFICIRANI PODACI	KUKURUZ	77	0	1	4	0	3	0	85	90,6	Točnost korisnika (%)
	ULJANA REPICA	0	0	9	0	0	2	0	11	0,0	
	PŠENICA	0	12	133	0	0	1	0	146	91,1	
	SOJA	0	0	0	34	0	1	0	35	97,1	
	SUNCOKRET	0	0	0	0	10	0	0	10	100,0	
	ŠEĆERNA REPA	0	0	1	0	10	68	0	79	86,1	
	DRUGO	3	8	16	2	1	3	0	33		
	UKUPNO	80	20	160	40	20	80	0	400		

96,2	0,0	83,1	85,0	50,0	85,0
Točnost proizvođača (%)					

(Izvor: autorski rad)

Tab.17. Matrica pogreške za klasificirane podatke 2020. godine

2020		REFERENTNI PODACI									
		KUKURUZ	ULJANA REPICA	PŠENICA	SOJA	SUNCOKRET	ŠEĆERNA REPA	DRUGO	UKUPNO		
KLASIFICIRANI PODACI	KUKURUZ	155	0	0	0	5	0	0	160	96,9	Točnost korisnika (%)
	ULJANA REPICA	0	57	0	0	0	0	0	57	100,0	
	PŠENICA	0	0	128	0	31	0	0	159	80,5	
	SOJA	0	0	0	20	0	0	0	20	100,0	
	SUNCOKRET	0	0	0	0	33	0	0	33	100,0	
	ŠEĆERNA REPA	0	0	0	0	0	0	0	11	0,0	
	DRUGO	5	3	12	0	11	9	0	40		
	UKUPNO	160	60	140	20	80	20	0	480		

96,9	95,0	91,4	100,0	41,3	0,0
Točnost proizvođača (%)					

(Izvor: autorski rad)