

Određivanje planinskog područja u Republici Hrvatskoj za sigurno nadvisivanje terena

Lulić, Stipe

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:575894>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-26**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository](#)



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

ODREĐIVANJE PLANINSKOG PODRUČJA U REPUBLICI HRVATSKOJ
ZA SIGURNO NADVISIVANJE TERENA

DETERMINING MOUNTAIN AREAS IN THE REPUBLIC OF CROATIA
FOR MINIMUM OBSTACLE CLEARANCE

Mentor: doc. dr. sc. tech. Petar Andrašić

Student: Stipe Lulić
JMBAG: 0135264539

Zagreb, kolovoz 2024.



Sveučilište u Zagrebu
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb
PRIJEDIPLOMSKI STUDIJ

Prijediplomski studij: Prijediplomski studij Aeronautike
Katedra: Katedra za avioniku i navigaciju
Predmet: Kontrola zračnog prometa

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Pristupnik: Stipe Lulić
Matični broj: 0135264539
Smjer: Smjer pilot, Usmjerenje vojni pilot

Zadatak:

Određivanje planinskog područja u Republici Hrvatskoj za sigurno nadvisivanje terena

Engleski naziv zadatka:

Determining Mountain Areas in the Republic of Croatia for Minimum Obstacle Clearance

Opis zadatka:

Tema završnog rada podrazumijeva detaljno istraživanje i definiranje pojma planinskog područja, opis programskih alata za određivanje prostora planinskog područja. Osim navedenog pružit će se i opis metode određivanja planinskog područja te kroz rezultate prikazati zone planinskih područja u Republici Hrvatskoj.

Nadzorni nastavnik: doc. dr. sc. tech. Petar Andrašić

Predsjednik povjerenstva za završni ispit: prof. dr. sc. Biljana Juričić

Djelovođa: Stipe Lulić

ODREĐIVANJE PLANINSKOG PODRUČJA U REPUBLICI HRVATSKOJ ZA SIGURNO NADVISIVANJE TERENA

SAŽETAK:

Ovaj završni rad analizira planinska područja u Hrvatskoj kako bi se osigurala sigurna visina nadvisivanja terena u zrakoplovnoj navigaciji. Zbog raznolike i zahtjevne topografije Hrvatske, precizno određivanje minimalnih visina nad terenom ključno je za sigurnost letova. U radu se prvo definira pojam planinskog područja, uzimajući u obzir geološke i ekološke karakteristike. Zatim se opisuje korištenje GIS tehnologija za mapiranje i analizu terena, koje omogućuju prikupljanje i vizualizaciju geografskih podataka. Metodologija uključuje prikupljanje topografskih i geoloških podataka te implementaciju algoritama za automatsko prepoznavanje planinskih zona. Rezultati analize prikazani su kroz karte koje jasno identificiraju planinska područja, pružajući temelj za daljnje planiranje zračne navigacije i infrastrukture te sigurnost letenja.

KLJUČNE RIJEČI: minimalne visine nadvisivanja, planinska područja, GIS tehnologije, topografija

DETERMINING MOUNTAIN AREAS IN THE REPUBLIC OF CROATIA FOR MINIMUM OBSTACLE CLEARANCE

SUMMARY:

This thesis analyzes mountain areas in Croatia to ensure safe terrain clearance in aviation navigation. Due to Croatia's diverse and challenging topography, precise determination of minimum terrain clearance heights is crucial for flight safety. The thesis first defines the concept of mountain areas, considering geological and ecological characteristics. It then describes the use of GIS technologies for terrain mapping and analysis, enabling the collection and visualization of geographical data. The methodology includes gathering topographic and geological data and implementing algorithms for the automatic recognition of mountain zones. The analysis results are presented through maps that clearly identify mountain areas, providing a foundation for further planning of air navigation and infrastructure, as well as flight safety.

KEYWORDS: minimal terrain overhang heights, mountainous areas, GIS technologies, topography

SADRŽAJ

1	UVOD.....	1
2	GEOGRAFSKE KARAKTERISTIKE REPUBLIKE HRVATSKE.....	3
2.1	Geološke i geomorfološke karakteristike planinskih područja	5
2.2	Klimatske karakteristike planinskih područja	6
3	ODREĐIVANJE VISINSKIH RAZLIKA	9
3.1	Metode određivanja visinske razlike.....	12
3.2	Programski alati za određivanje prostora planinskog područja	14
3.2.1	Geografski Informacijski Sustavi (GIS)	14
3.2.2	Digitalni Modeli Reljefa (DEM).....	15
3.2.3	Alati za analizu satelitskih snimaka.....	17
3.2.4	Alati za topografsku analizu	17
3.2.5	Specijalizirani softveri za planinsku analizu	18
4	METODOLOGIJA ODREĐIVANJA PLANINSKIH PODRUČJA	19
5	REZULTATI	25
6	ZAKLJUČAK	29
	LITERATURA	30
	POPIS KRATICA	34
	POPIS SLIKA	35
	POPIS TABLICA.....	35
	POPIS KARTI	35

1 UVOD

Sigurno nadvisivanje terena predstavlja ključan aspekt zrakoplovne navigacije, osobito u planinskim područjima gdje visinske razlike mogu značajno utjecati na sigurnost letenja u Republici Hrvatskoj koja je poznata po svojoj raznolikoj i zahtjevnoj topografiji, suočava se s posebnim izazovima kada je u pitanju određivanje minimalnih visina nadvisivanja terena. Prisustvo Dinarskih Alpa, Gorskog kotara te brojnih drugih planinskih i brdovitih područja čini precizno definiranje planinskog područja iznimno važnim za zrakoplovnu sigurnost.

Cilj ovog završnog rada je temeljito istražiti i definirati planinska područja u Republici Hrvatskoj s aspekta sigurnog nadvisivanja terena. Kroz uvodni dio i drugo poglavlje rada detaljno će se definirati pojam planinskog područja. Ova definicija uključivat će različite geološke, geomorfološke, klimatske i ekološke karakteristike koje određuju planinska područja. Razumijevanje ovih karakteristika je ključno za precizno određivanje minimalnih visina nadvisivanja terena koje zrakoplovi moraju poštovati kako bi osigurali sigurnost letova.

U drugom poglavlju bit će ukratko prikazane geografske karakteristike planinskih područja Republike Hrvatske. Prikazat će se stvarna površina kopnene granice i teritorijalnog mora te površine planinskog područja prema definiciji Hrvatskog planinarskog saveza koja će kroz daljnji rad biti uspoređena s površinom koja će se dobiti analizom. Osim navedenog ukratko će biti prikazane geomorfološke i klimatske karakteristike kroz geološki sastav, seizmičku aktivnost, reljef te opis klime planinskog područja.

Nadalje, u trećem poglavlju rada opisać će se programski alati koji mogu biti korišteni za određivanje prostora planinskih područja. U tu svrhu, posebna pozornost bit će posvećena GIS (Geografski Informacijski Sustav) tehnologijama koje omogućuju precizno mapiranje i analizu terena. GIS alati omogućuju prikupljanje, analizu i vizualizaciju geografskih podataka, što je ključno za točnu identifikaciju planinskih područja. Opis funkcionalnosti i prednosti korištenja GIS alata u ovom kontekstu bit će detaljno razrađen, uz poseban naglasak na specifične softverske pakete koji će se koristiti u radu.

U četvrtom poglavlju rada, detaljno će se opisati metodologija određivanja planinskog područja. Kroz ovaj dio obuhvatit će se prikupljanje i obrada topografskih i geoloških podataka, korištenje visinskih kriterija i geoloških karakteristika za određivanje granica planinskih područja te implementacija algoritama unutar QGIS softvera za automatsko prepoznavanje i mapiranje tih zona. Posebna pažnja bit će posvećena prilagodbi metoda specifičnim uvjetima u Hrvatskoj, uzimajući u obzir lokalne geološke i geomorfološke karakteristike.

Konačno, kroz poglavlje Rezultati bit će prezentirani kroz vizualni prikaz, odnosno kartu na kojoj će se jasno identificirati zone planinskih područja unutar granica Republike Hrvatske. Ovi rezultati bit će temelj za daljnje planiranje zračne navigacije i infrastrukture te će značajno doprinijeti sigurnosti letenja. Osim toga, dobiveni rezultati mogu se koristiti za planiranje infrastrukture kao što su primjerice planiranje lokacija za postavljanje telekomunikacijskih i drugih tornjeva pri čemu se osigurava optimalna pokrivenost bez rizika od ometanja zračnih puteva. Također, mogu se koristiti za vojne potrebe kako bi se planirali sigurne visinske koridore, izbjegli nepristupačni tereni tijekom operacija ili vježbi u planinskim područjima.

U zaključku, kroz ovaj završni rad pružit će se detaljan pregled planinskih područja Hrvatske, kao i praktične smjernice za implementaciju rezultata u zračnoj navigaciji i drugim relevantnim područjima.

Ovaj završni rad doprinijet će boljem razumijevanju topografskih karakteristika Hrvatske i omogućiti preciznije planiranje i provedbu mjera za osiguranje sigurnog nadvisivanja terena.

2 GEOGRAFSKE KARAKTERISTIKE REPUBLIKE HRVATSKE

Republika Hrvatska država je smještena u jugoistočnom dijelu Europe. Površina kopnenog dijela iznosi 56.542 m², a površina teritorijalnog mora iznosi 31.067 m², što je čini srednje velikom zemljom u odnosu na ostale europske zemlje. Oblik državnog teritorija je izdužen i nepravilan pa Hrvatska s obzirom na navedeno ima razmjerno duge kopnene ranice sa susjednim državama. Ukupna dužina kopnenih granica iznosi 2.028 km, a dužina morske obale iznosi 5.835 km, od čega 4.058 km čine obale otoka, hridi i grebena [9].

Geografski gledano Hrvatska se dijeli na tri prirodne cjeline: srednjoeuropska ili panonska nizina, južnoeuropska ili Sredozemna te gorska ili planinska cjelina.

Republika Hrvatska nizinska je zemlja s obzirom da 79,03% ukupnog teritorija čine područja čije su nadmorske visine manje od 500 m [38].

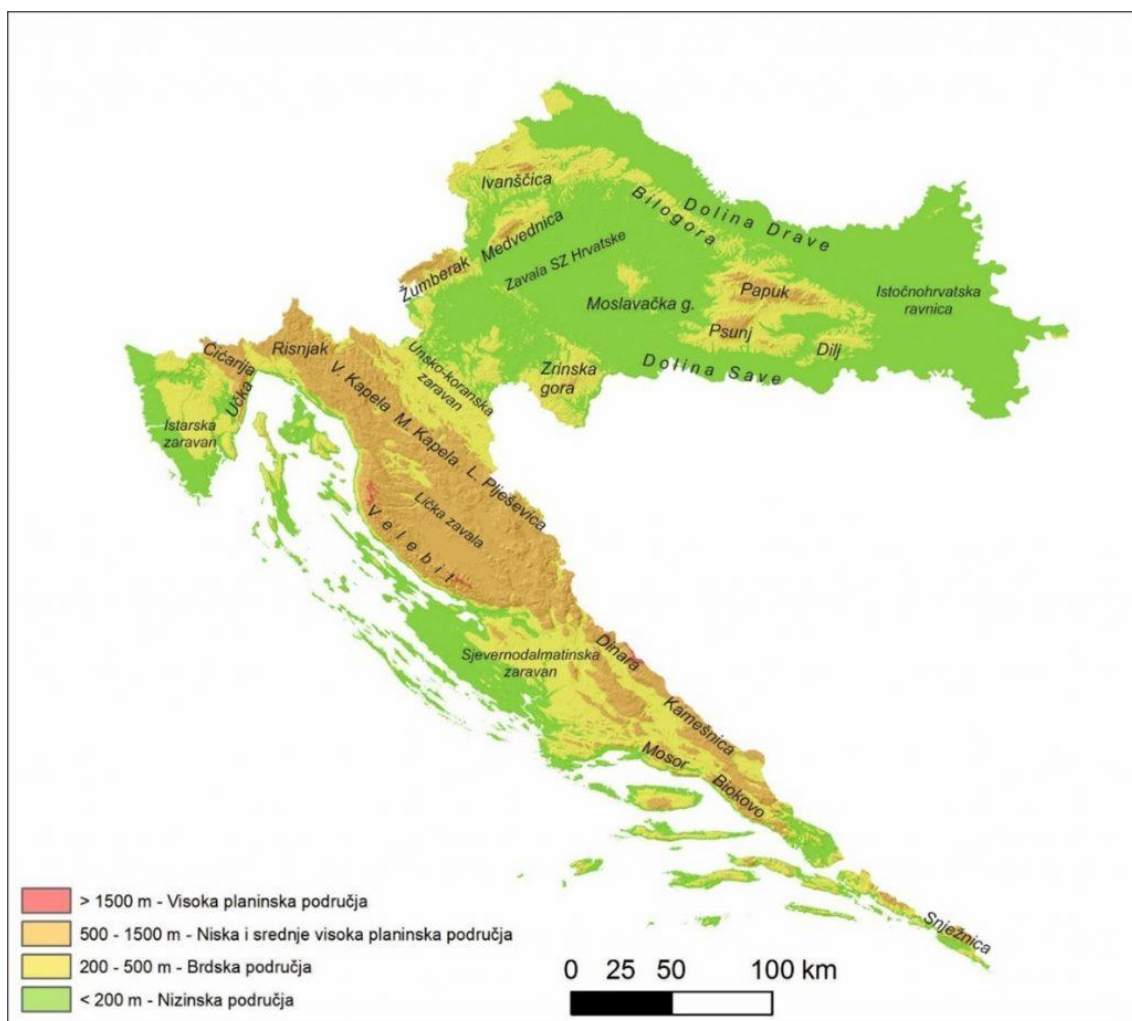
Tablica 1. Površina RH po visinskim zonama (izrađeno prema: Statistički ljetopis DZS-a, 2018.)

Visinska zona (m.n.v.)	Površina (km ²)	Udio (%)
0-200	30.015,46	53,22
200-500	14.560,26	25,82
500-1.000	9.635,12	17,09
1.000-1.500	2.101,68	3,73
1.500-2.000	81,28	0,14
UKUPNO	56.393,80	100,00

Gleda li se reljef prema visinskim zonama (Tablica 1) vidljivo je kako najveći dio Hrvatske zauzimaju ravničarske nizine i obalni pojas (53,22%), u visinskoj zoni od 200-500 m nadmorske visine nalaze se prostrana područja brežuljaka i podbrđa. Osim njih u ovoj se visinskoj zoni nalaze i pojedina krška polja te niži dijelovi gorske Hrvatske i panonskih gora. Visinska zona od 500-1.000 m zauzima ukupno 17,09% teritorija, a obuhvaća sredogorja i gore u gorskoj Hrvatskoj te u gorama između Save i Drave. U visinsku zonu od 1.000-1.500 m spadaju visoravni i viša sredogorja Dinarida. Visinska zova iznad 1.500 m obuhvaća samo 0,14% ukupnog teritorija, a čine ju najviši dijelovi Dinare, Velebita, Risnjaka, Biokova i Plješivice. Republika Hrvatska jedina je zemlja na jugoistoku Europe koja nema nijednog vrha višeg od 2.000 m.

Uzme li se u obzir definicija Hrvatskog planinarskog saveza (2021.) prema kojoj su planine ili gore u geografskom smislu svi uzdignuti dijelovi zemljine kore viši od 500 m, površina planinskog područja prema Tablici 1 iznosi 11.818,12 km² odnosno 20,96% ukupnog teritorija Republike Hrvatske.

Planinsko područje Republike Hrvatske pripada planinskom lancu Dinarida koje se proteže od slovenskih Alpi, preko hrvatskog teritorija i teritorija Bosne i Hercegovine te dalje do Republike Albanije [38]. Nadalje, planinsko područje dijeli se na nekoliko kategorija ovisno o nadmorskim visinama na: brdska područja, niska i srednje visoka planinska područja te visoka planinska područja (Slika 1).



Slika 1 Karta najistaknutijih orografskih elementa reljefa Republike Hrvatske. Reljefna kategorizacija prema Bognar (1996) i Bognar i dr. (2012).

2.1 Geološke i geomorfološke karakteristike planinskih područja

Geološke i geomorfološke karakteristike planinskih područja Hrvatske izuzetno su raznolike i složene. Djelovanje aktivnih unutarnjih (endogenih) i vanjskih (egzogenih) čimbenika oblikovanja reljefa značajno ovisi o specifičnim uvjetima na pojedinom području.

Planinska područja Republike Hrvatske imaju bogatu i raznoliku geološku povijest koja je obilježena nizom složenih geoloških procesa, a glavne geološke karakteristike ovih područja uključuju tektonske aktivnosti, geološki sastav te vulkanske i magmatske aktivnosti. Tektonske aktivnosti hrvatskih planina rezultat su sudara Afričke i Euroazijske tektonske ploče, a navedene aktivnosti dovele su do nabiranja i rasjedanja stijena, stvarajući složene geološke strukture koje vidimo danas [8]. Geološki sastav najvećeg dijela teritorija Republike Hrvatske građen je od sedimentnih stijena, od kojih su najzastupljenije karbonatne stijene vapnenac i dolomit koje datiraju iz mezozoika. Dinarsko područje sastoji se od pojasa Unutarnjih i Vanjskih Dinarida. Vanjski Dinaridi uglavnom su izgrađeni od karbonatnih stijena koje su se taložile unutar mezozojske Jadranske karbonatne platforme [41]. Pojas Unutarnjih Dinarida smješten je između Vanjskih Dinarida i Panonskog bazena. Za razliku od Vanjskih Dinarida, uglavnom je izgrađen od stijena koje nisu podložne okršavanju [26]. Vrlo često takve stijene sadrže fosile čime pružaju uvid u drevne ekosustave koji su nekada postojali na ovom području [16]. Iako u današnjoj Hrvatskoj nema aktivnog vulkanizma, postoje brojni dokazi u magmatskim aktivnostima u prošlosti koje su posebno izražene bile u istočnim dijelovima zemlje, a magmatske stijene poput granita i dijabaza još se uvijek mogu naći u nekim područjima [16].

S druge strane, geomorfološke značajke planinskih područja u Hrvatskoj oblikovane su različitim geološkim procesima koji uključuju eroziju, sedimentaciju i tektoniku. Ključne geomorfološke karakteristike uključuju vrhove i grebene koje karakteriziraju visoki i strmi vrhovi te oštri grebeni, zatim krški reljef, doline i kanjoni te visoki platoi [6]. Djelovanje vanjskih čimbenika na oblikovanje reljefa Hrvatske prvenstveno je određeno klimatskim uvjetima i geološkom građom. Cijela Hrvatska se nalazi u fluvijalno erozijskoj oblasti umjerenog klimatskog pojasa [6], ali razlike u geološkoj građi uzrokuju značajne razlike u oblikovanju reljefa panonskog i dinarskog dijela Hrvatske. U panonskom prostoru prevladavaju fluvijalni i fluviodenudacijski tipovi reljefa, dok u dinarskom dominiraju krški i fluviokrški tipovi reljefa.

Tektonske aktivnosti, geološki sastav i geomorfološki procesi oblikovali su jedinstveni krajolik koji je ključan za razumijevanje regionalne geologije i ekologije. Planine kao što su Velebit, Biokovo te područje Gorskog kotara nude bogatstvo prirodnih ljepota i znanstvenih resursa koji su od vitalnog značaja za istraživanje i očuvanje hrvatskog prirodnog naslijeđa.

2.2 Klimatske karakteristike planinskih područja

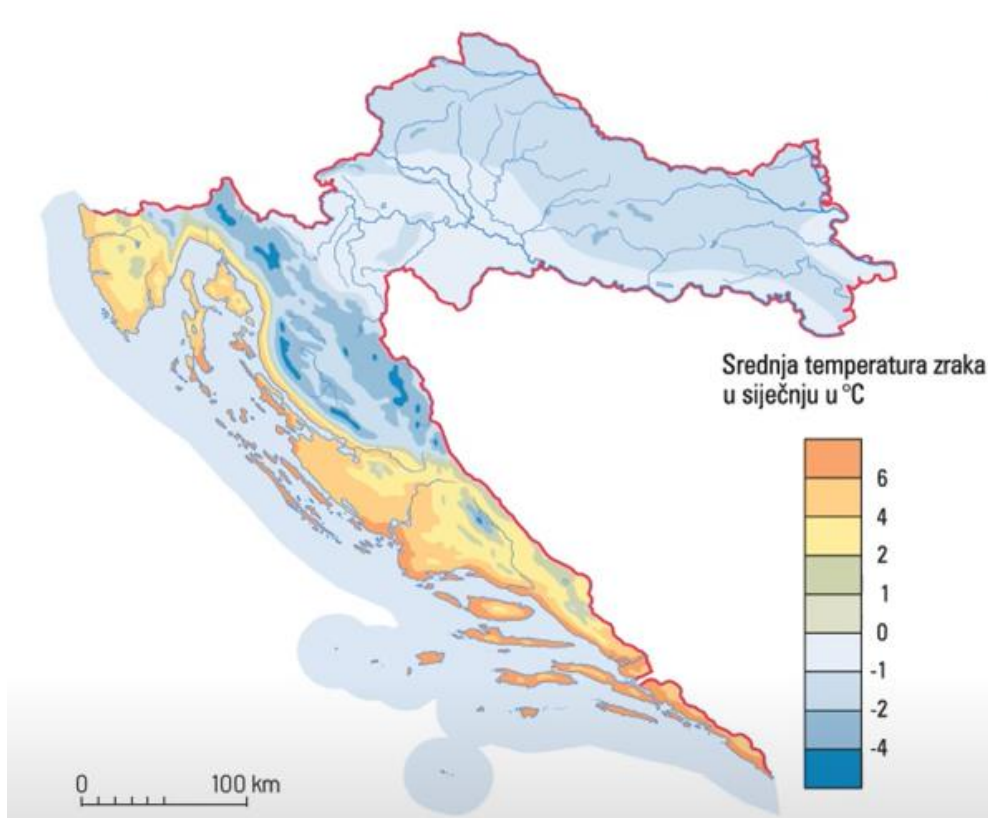
Republika Hrvatska smještena je u umjerenom klimatskom pojasu, oko 45. paralele, a tako povoljan smještaj omogućio je umjerenu klimu s dobro izražena sva četiri godišnja doba. Iako se nalazi u umjerenom klimatskom pojasu, važno je napomenuti da je na području Hrvatske prisutno pet različitih klimatskih tipova i podtipova (Slika 2): Csa – Sredozemna klima s vrućim ljetom, Csb – Sredozemna klima s toplim ljetom, Cfa – Umjereno topla vlažna klima s vrućim ljetom, Cfb – Umjereno topla vlažna klima s toplim ljetom i Df – snježno-šumska (borealna) klima [12].



Slika 2. Tipovi klime u Hrvatskoj (izvor: Statistički ljetopis, 2018)

Lokalne klimatske razlike određuju ponajprije reljefna raznolikost i blizina Jadranskoga mora, a rasprostranjenost glavnih klimatskih tipova uglavnom je podudarna s tri glavne reljefne cjeline. Pod utjecajem globalnog strujanja zraka te regionalnih reljefnih značajki i pod utjecajem Jadranskog mora u Hrvatskoj razlikujemo tri klimatske regije: Mediteranska, Panonsko - peripanonska i Gorsko - kotlinska klimatska regija.

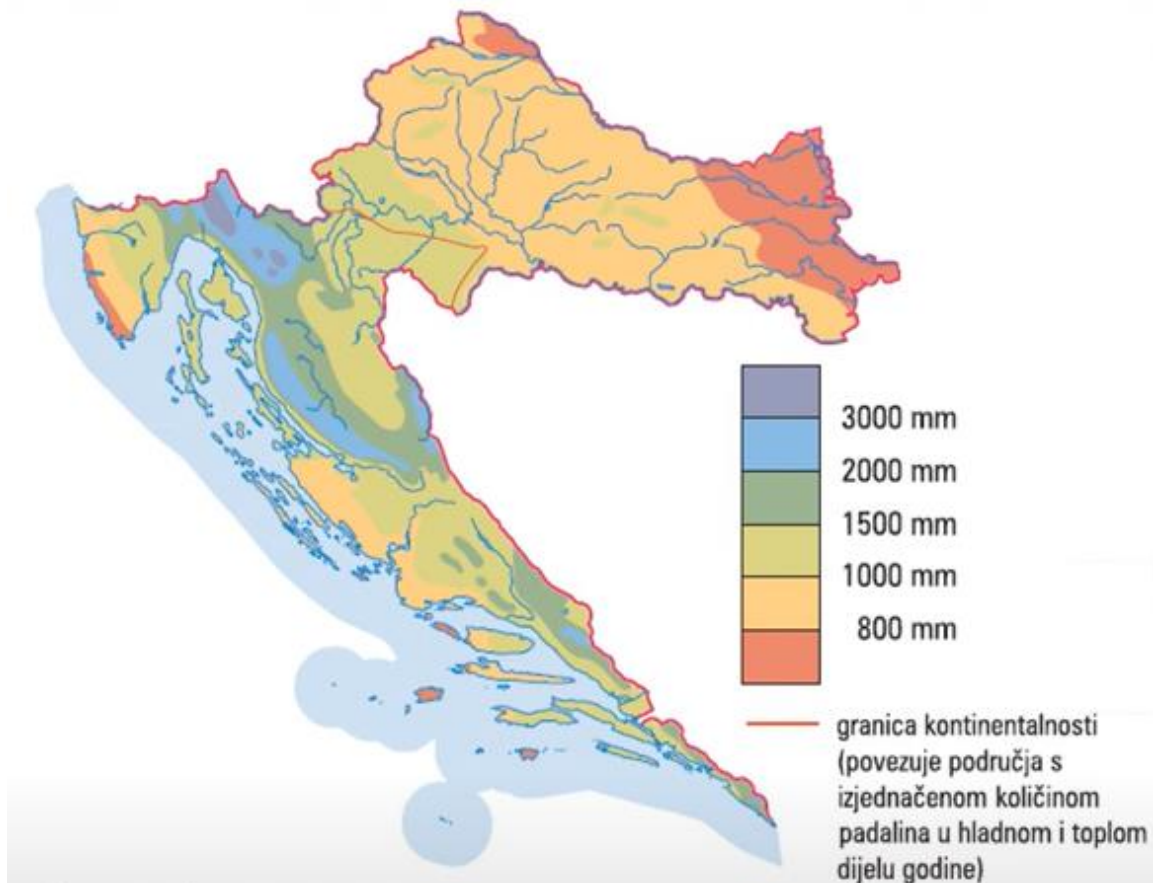
Planinska područja Republike Hrvatske imaju specifične klimatske karakteristike koje se razlikuju od ostatka zemlje zbog njihove nadmorske visine, geografskog položaja i orografskih barijera. U planinskim dijelovima prevladava umjereno topla vlažna klima s toplim ljetima (Cfb) te snježno-šumska klima (Df) u područjima iznad 1.000 metara nadmorske visine. Prosječne temperature u siječnju kreću se do -4°C , a u srpnju između $15\text{-}20^{\circ}\text{C}$ (Slika 3). Zime su hladnije i duže, s čestim snježnim padalinama, dok su ljeta svježija. U planinskim područjima, zimske temperature često padaju ispod nule, a snijeg može ostati na tlu duže vrijeme.



Slika 3. Srednja temperatura zraka u siječnju (izvor: Statistički ljetopis, 2018.)

Ovu regiju karakterizira i velika količina padalina koja raste s nadmorskom visinom (Slika 4). Orografski efekti uzrokuju povećanje količine padalina kako zračne mase

prelaze preko planina. Što se tiče distribucije padalina, kiša je češća tijekom proljeća i jeseni, dok su zime karakterizirane snijegom. Ljeti može doći do pljuskova, ali su općenito manje česte u odnosu na proljetne i jesenske padaline.



Slika 4. Srednja godišnja količina padalina (izvor: Statistički ljetopis, 2018.)

3 ODREĐIVANJE VISINSKIH RAZLIKA

Određivanje visinskih razlika u zrakoplovstvo važno je zbog sigurnosti letenja, precizne navigacije te izbjegavanja prepreka. Svaki let mora biti pažljivo planiran pri čemu je važno u obzir uzeti nadmorsku visinu, konfiguraciju terena te regulativu koja propisuje minimalnu sigurnu visinu iznad prepreka. Ta visina osigurava da zrakoplov sigurno nadvisuje prirodne i umjetne prepreke kao što su primjerice planine, zgrade i druge objekte.

Prema Europskoj agenciji za sigurnost zračnog prometa (EASA), planinski teren za nadvisivanje prepreka definira se kao područje gdje visinske razlike između najviše točke terena i najniže točke u krugu od 10 nautičkih milja iznose više od 3000 stopa (približno 914 metara) [11].

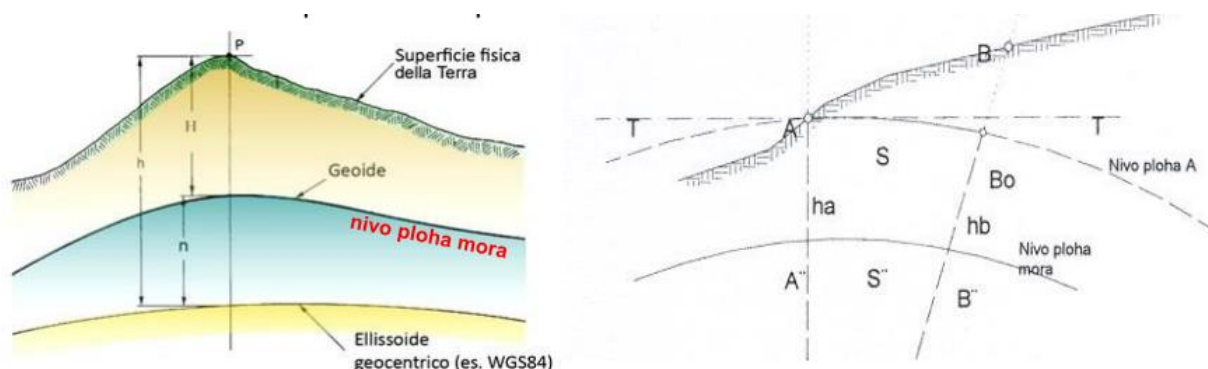
Za potrebe zrakoplovstva koristi se više različitih definicija visine čije je razumijevanje ključno za precizno određivanje položaja i performansi zrakoplova. Među najvažnijima su apsolutna visina, odnosno visina koja mjeri udaljenost zrakoplova od zemljine površine, zatim geometrijska visina koja je mjerena od površine Zemlje prema geometrijskim zakonima, te geopotencijalna visina koja uzima u obzir promjene gravitacijske sile s visinom. Osim navednih visina, u praksi se koriste i visina po tlaku koja se temelji na vrijednostima tlaka zraka, zatim visina po temperaturi koja je određena prema odstupanjima temperature od standardne atmosfere, te visina po gustoći koja je povezana s gustoćom zraka u odnosu na uvjete standardne atmosfere. Visinomjeri su baždareni prema uvjetima Međunarodne standardne atmosfere (MSA), gdje je tlak na razini mora definiran kao 1013,25 hPa. Ovi pojmovi visine omogućuju precizne proračune i sigurnu navigaciju, ovisno o specifičnim zračnim uvjetima [25].

Ove mjere su ključne kako bi se osigurala sigurnost letova, posebno u lošim vremenskim uvjetima ili noću, kada je vizualna identifikacija prepreka otežana.

Visinski sustav je jednodimenzionalni koordinatni sustav koji se koristi za mjerenje udaljenosti točke od referentne plohe duž zadanog puta (koji ovisi o visinskom sustavu) u smjeru prema gore od te referentne plohe, pri čemu ta udaljenost označava visinu točke [17]. Službeni naziv visinskog sustava Republike Hrvatske je Hrvatski visinski referentni sustav za epohu 1971,5, poznat pod skraćenim nazivom HVRS71 [34]. HVRS71 predstavlja sustav temeljen na normalnom gravitacijskom polju Zemlje. U implementaciji visinskog sustava Republike Hrvatske korišteni su parametri koji definiraju dimenzije Besselova elipsoida iz 1841. godine i konstante normalnog gravitacijskog polja Geodetskog referentnog sustava iz 1980. godine (GRS80). Visinska mreža, koja se sastoji od trajno stabiliziranih repera II. nivoa visoke točnosti, uspostavljena je na temelju visinskog referentnog sustava Republike Hrvatske [23, 24].

Visinski prikaz terena odnosno konfiguracija terena odnosi se na prikaz topografskih karakteristika određenog područja u odnosu na nadmorsku visinu, a ostvaruje se s pomoću apsolutnih ili nadmorskih visina točaka terena koje su unaprijed određene.

Za određivanje visinskog prikaza terena koriste se posebne metode, instrumenti te programski alati koji će u nastavku rada biti prikazani. Svaka metoda ima svoje prednosti i primjene ovisno o uvjetima na terenu, potrebnoj točnosti i dostupnim instrumentima.



Slika 6 Visinska razlika (izvor: Vidović, 2017)

Slikom 5 prikazana su dva različita prikaza odnosa između fizičke površine Zemlje, geoidne površine (nivo plohom mora) i referentnog elipsoida koji se koristi u geodeziji.

Na lijevom prikazu prvim slojem prikazana je fizička površina Zemlje, odnosno nepravilna površina koja uključuje terenske varijacije (brda, doline itd.). Drugi sloj je geoid, odnosno teoretska površina koja odgovara srednjoj razini mora i koristi se kao referenca za mjerenje nadmorske visine. Geoid nije savršeno ravan jer prati gravitacijske varijacije Zemlje. Ispod geoida nalazi se elipsoid koji prikazuje idealizirani matematički model Zemlje (npr. WGS84 elipsoid) koji se koristi u geodetskim mjerenjima, navigaciji i GPS sustavima. To je glatka, pravilna površina koja predstavlja približnu formu Zemlje. Slovo h prikazuje elipsoidnu visinu, odnosno visinu iznad elipsoida (elipsoidna visina), a veliko slovo H nadmorsku visinu, odnosno visinu iznad geoida. Desni prikaz također opisuje odnos između nivo plohe mora (geoida) i referentnog elipsoida. A' i B' predstavljaju točke na površini elipsoida. A i B predstavljaju točke na fizičkoj površini Zemlje, a slovo S točku na geoidu, koja predstavlja nivo plohu mora. Različite visine prikazane slovima h , a , h_a te h , b i h_b označavaju visine iznad geoida i elipsoida za različite točke.

3.1 Metode određivanja visinske razlike

Metode određivanja visinskih razlika mogu se podijeliti na geodetske i negeodetske mjerne metode.

Geodetska metoda koja se koristi za mjerenje visinskih razlika i određivanje visina točaka naziva se nivelman [13]. Nivo ploha mora je početna ploha od koje se uzimaju vertikalne udaljenosti. Ona se definira kao zamišljena ploha koja predstavlja srednji vodostaj mirnog mora ispod svih kontinenata. Kao najčešće korištene geodetske mjerne metode navode se: geometrijski nivelman, trigonometrijski nivelman te globalni navigacijski satelitski sustavi (GNSS).

Geometrijski nivelman metoda je kojom se određuju visinske razlike između točaka na Zemljinoj površini. Ova metoda temelji se na osnovnim načelima geometrije i koristi se za precizno mjerenje visinskih razlika s pomoću horizontalnih linija, koje su smatrane ravninama. U geometrijskom nivelmanu, postavlja se nivo ploha između točaka, a instrumenti se koriste za očitavanje visinskih razlika između točaka na temelju promjena u visini nivo plohe. Ova metoda omogućava visoku preciznost u mjerenju, no može biti podložna pogreškama ako nisu pravilno kalibrirani instrumenti ili ako su uvjeti rada nepovoljni.

Kod trigonometrijskog nivelmana visinske razlike između točaka određuju se korištenjem matematičkih formula iz ravninske trigonometrije [3]. Osnova matematičkih izraza u trigonometrijskom nivelmanu su mjerene veličine kao što su zenitna daljina, kosa duljina te visine instrumenta i signala [2].

Globalni navigacijski satelitski sustavi (u nastavku GNSS) čine mreža satelita u orbiti oko Zemlje, zemaljske stanice za upravljanje satelitima te korisnički uređaji koji primaju signale sa satelita kako bi precizno odredili svoju poziciju na Zemlji. Upotrebom složenih algoritama i procesa trilateracije, GNSS omogućuju određivanje točne lokacije korisnika u svakom trenutku, bez obzira na vremenske uvjete ili mjesto na Zemlji. U današnjem tehnološkom dobu, globalni navigacijski satelitski sustavi (GNSS) postali su neizostavan alat u svakodnevnom životu i u mnogim industrijskim sektorima [20]. Ovi sustavi omogućuju korisnicima širom svijeta precizno određivanje vremena, položaja i brzine, čineći ih ključnima za navigaciju, komunikaciju, kartografiju i druge primjene. Najpoznatiji od njih je Global Positioning System (GPS), američki satelitski navigacijski sustav koji pruža osnovu za globalnu navigacijsku preciznost. Osim GPS-a, tu su i ruski Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema (GLONASS) i europski Galileo sustav, koji dodatno poboljšavaju globalne navigacijske kapacitete i nude alternativu ili dodatak GPS-u [19].

Najčešće korištene negeodetske mjerne metode su barometrijski i hidrostatski nivelman.

U barometrijskom nivelmanu visina točke određuje se mjerenjem razlika u tlaku zraka između te točke i točke čija je visina već poznata. Ova metoda se više ne koristi u geodetskim mjerenjima. S druge strane, hidrostatskim nivelmanom visine točaka utvrđuju se primjenom fizičkog zakona o spojenim posudama [2]. U zrakoplovstvu se koristi za određivanje visine zrakoplova u odnosu na srednju razinu mora (engl. *Mean Sea Level*, MSL), a temelji se na mjerenju atmosferskog tlaka. Ovaj način određivanja visine oslanja se na činjenicu da se tlak zraka smanjuje s povećanjem visine.

Hidrostatski nivelman metoda je određivanja visinskih razlika koristeći princip hidrostatičke, tj. mjerenje tlaka tekućine. Ova metoda koristi razlike u tlaku između dviju ili više točaka za izračunavanje visinskih razlika.

3.2 Programski alati za određivanje prostora planinskog područja

Određivanje prostora planinskog područja zahtijeva precizne analize terena, topografije, geologije, vegetacije i klimatskih uvjeta. Kako bi se te analize provede učinkovito te s visokom preciznošću u današnje vrijeme koriste se različiti programski alati koji omogućuju geografsko modeliranje, analizu podataka i vizualizaciju rezultata. U nastavku će biti prikazani i ukratko opisani neki od najpopularnijih i najčešće korištenih programskih alata.

3.2.1 Geografski Informacijski Sustavi (GIS)

Geoinformacijski sustav predstavlja informatički i računalni sustav koji služi za prikupljanje, pohranu, pretragu, analizu i prikaz podataka koji se odnose na određeno geografsko područje [15]. Njegova primjena je široka, a najčešća upotreba je u djelatnostima kojima je glavni predmet istraživanje ili upravljanje prostorom. Svrha GIS-a je osigurati prostorni okvir kojim se podupiru odluke za inteligentno korištenje prirodnih resursa te upravljanje čovjekovim okolišem [43]. Glavni cilj GIS-a je pružanje pomoći pri donošenju odluka koje se temelje na prostornim podacima. Prostorni podatci su svi oni podatci koji opisuju položaj u posrednom i neposrednom smislu, a mogu se prikazati u grafičkom ili u negrafičkom obliku (Slika 6). Važno je napomenuti da osim prostornih postoje i neprostorni podatci kao što su dijagrami, slike, filmovi, financijski podatci i sl. Fotografije podrazumijevaju stvarne scene ili objekte s pomoću kamere ili nekog drugog uređaja za hvatanje slike, a prikazuje ono što stvarno postoji ili je postojalo u trenutku snimanja. S druge strane, slika je pojam koji uključuje sve vizualne prikaze, uključujući crteže, grafike, ilustracije i digitalno generirane vizuale. Slike ne moraju nužno biti realistične već mogu biti apstraktne, umjetnički interpretirane ili potpuno izmišljene.

	prostorni	neproostorni
	karte	dijagrami 
	fotografije	slike 
	videografija	filmovi
KT1 2EE RH8 9AA SW1P 3AD	adrese	financijski podaci £12,000 23.45 56789 £23,456 12.45 23456 £45,987 29.57 87634

Slika 7 Prostorni i neproostorni podaci (izvor: Tutić i dr., 2002.)

GIS sustavi uglavnom su ograničeni na dvije dimenzije; dužinu i širinu. Osnovu sustava čini baza podataka u čijim se slojevima pohranjuju podatci koji su povezani zajedničkim koordinatnim sustavom i mjerilom. S obzirom na podatke, način njihova zapisa može biti rasterski ili vektorski. Rasterski zapis koristi se za podatke koji su prikupljeni fotografskim, termografskim ili radarskim snimanjem Zemljine površine iz zrakoplova ili satelita, dok je vektorski zapis pogodniji za podatke prikupljene geodetskom izmjerom [39].

Glavne prednosti geoinformacijskog sustava uključuju široke mogućnosti analize podataka kroz usporedbu različitih slojeva unutar baze podataka, njihovu statističku obradu i vizualizaciju. U novije vrijeme, dodatne prednosti uključuju mogućnost integracije prostorne i vremenske dimenzije te pristup podacima putem globalne računalne mreže.

Upotreba GIS-a kao programskog alata za određivanje minimalne visine nadvisivanja u zrakoplovstvu može biti od velike važnosti jer omogućuje preciznu analizu terena i pruža potrebne podatke za određivanje visine na kojoj zrakoplov može sigurno letjeti iznad prirodnih i umjetnih prepreka.

3.2.2 Digitalni Modeli Reljefa (DEM)

Reljef, koji obuhvaća različite oblike Zemljine površine, poput ravnina, uzvišenja i udubljenja [29], jedan je od ključnih geografskih elemenata. Osim što određuje osnovni izgled terena, reljef ima značajan utjecaj na klimu, vegetaciju, raspored stanovništva i mnoge druge geografske čimbenike [28].

Zbog izuzetno složenih reljefnih oblika na Zemljinoj površini, znanstvenici ih proučavaju putem izrade i analize digitalnih modela reljefa (DMR ili DTM, digital terrain model) [10, 5, 42]. Ovisno o svrsi, digitalni model reljefa mora biti izrađen tako da zadovoljava specifične kriterije odgovarajuće znanstvene discipline, kao što su geomorfologija, hidrologija, klimatologija, zrakoplovstvo, geologija ili kartografija, s obzirom da svaka od tih disciplina zahtijeva različite razine preciznosti. S razvojem računalne tehnologije razvile su se i brojne metode za izradu i analizu digitalnih modela reljefa [30, 31].

Postoje brojne definicije za digitalni model reljefa, međutim najjednostavnije rečeno, digitalni model reljefa može se predstaviti kao statistički prikaz kontinuiranih površina reljefa u vektorskom ili rasterskom obliku s nizom poznatih x, y i z koordinata unutar proizvoljno odabranog koordinatnog sustava [21].

Prikupljanje podataka za potrebe izrade digitalnog modela reljefa jest da se izmjerom prikupljaju karakteristične točke reljefa koje će poslužiti kao temelj za izradu modela koji aproksimira stvarnu površinu. Prikupljanje podataka ovisi o tipu reljefa, a moguće ih je usporediti prema četiri kriterija: cijena, točnost, gustoća uzoraka i zahtjevnost obrade prikupljenih podataka. Najtočnija metoda je terensko istraživanje ili poluautomatska digitalizacija, međutim mana ove metode je što je istovremeno najsporija, ali i najskuplja [18]. Točnost s kojom digitalni model reljefa (DMR) prikazuje stvarnu površinu ovisi o razvedenosti i kompleksnosti te površine, kao i o rezoluciji modela [32].

Postoji ukupno pet metoda prikupljanja podataka za izradu digitalnog modela reljefa [37]:

- terenska izmjera za prikupljanje položajnih i visinskih podataka (tahimetrija, GNSS),
- fotogrametrijsko prikupljanje podataka (terestričko, zračno, satelitsko)
- lasersko snimanje (skeniranje), odnosno prikupljanje i obrada LiDAR podataka
- radarsko prikupljanje podataka (zračne, satelitske) i
- metoda vektorizacije s postojećih topografskih karata (izohipse, kote).

Digitalni model reljefa također je moguće koristiti kao programski alat za određivanje minimalne visine nadvisivanja u zrakoplovstvu.

3.2.3 Alati za analizu satelitskih snimaka

Od alata koji se koriste za analizu satelitskih snimaka najčešće se koriste Google Earth Engine i Sentinel Hub.

Google Earth Engine predstavlja moćnu cloud platformu koja je razvijena od strane kompanije Google. Alat je dizajniran za analizu i vizualizaciju satelitskih podataka te drugih geosvemirskih informacija na globalnoj razini. Platforma omogućuje korisnicima pristup zbirci velikog broja satelitskih slika, uključujući povijesne i trenutne podatke, te pruža napredne alate za obradu i analizu tih podataka. Google Earth Engine omogućuje analizu i vizualizaciju visinskih podataka, kao što su digitalni modeli visine (DEM), koji predstavljaju topografiju određenog područja. S pomoću ovih podataka, moguće je identificirati najviše točke terena i prepreka duž planirane rute leta. Proces uključuje unos visinskih podataka u program nakon čega se analiziraju s ciljem određivanja minimalne visine koju zrakoplov mora održavati kako bi sigurno preletio sve prepreke na putu. Alat koristi složene algoritme za analizu visinskih razlika, identificiranje kritičnih točaka i izračunavanje potrebnog nadvisivanja iznad tih točaka. Ovaj pristup omogućuje zrakoplovnim operaterima da planiraju rute koje minimiziraju rizik od sudara s terenom ili drugim objektima, uzimajući u obzir promjene u terenu duž rute.

Sentinel Hub predstavlja naprednu cloud platformu koja omogućuje jednostavan i brz pristup satelitskim podacima iz različitih izvora, uključujući satelite iz programa Copernicus, kao što su Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3, te drugih misija kao što su Landsat i MODIS. Platforma je dizajnirana za olakšavanje analize i vizualizacije satelitskih slika u različitim primjenama. Korištenjem Sentinel Hub-a, korisnici mogu brzo i efikasno preuzimati i obrađivati velike količine podataka zahvaljujući naprednim sučeljem za programsko povezivanje (*engl. Application Programming Interface*) i alatima za obradu podataka u oblaku (*engl. Cloud*). Platforma također podržava različite formate podataka i omogućuje prilagodbu analiza prema specifičnim potrebama korisnika.

3.2.4 Alati za topografsku analizu

Na tržištu postoje razne vrste alata za digitalnu obradu terena kao što su Global Mapper i MicroDEM.

Global Mapper predstavlja alat za prostornu analizu i obradu topografskih podataka. Pruža širok spektar alata za rad s DEM-ovima, uključujući analizu nagiba, sjene reljefa, hidrološku analizu i još mnogo toga.

MicroDEM predstavlja besplatan alat za obradu i analizu digitalnih modela reljefa. Omogućava analizu topografije, izradu 3D prikaza terena i identifikaciju geomorfoloških značajki planinskih područja.

3.2.5 Specijalizirani softveri za planinsku analizu

Osim navedenih metoda koriste se još i specijalizirani softveri za planinsku analizu kao što su LandSerf i TopoToolbox.

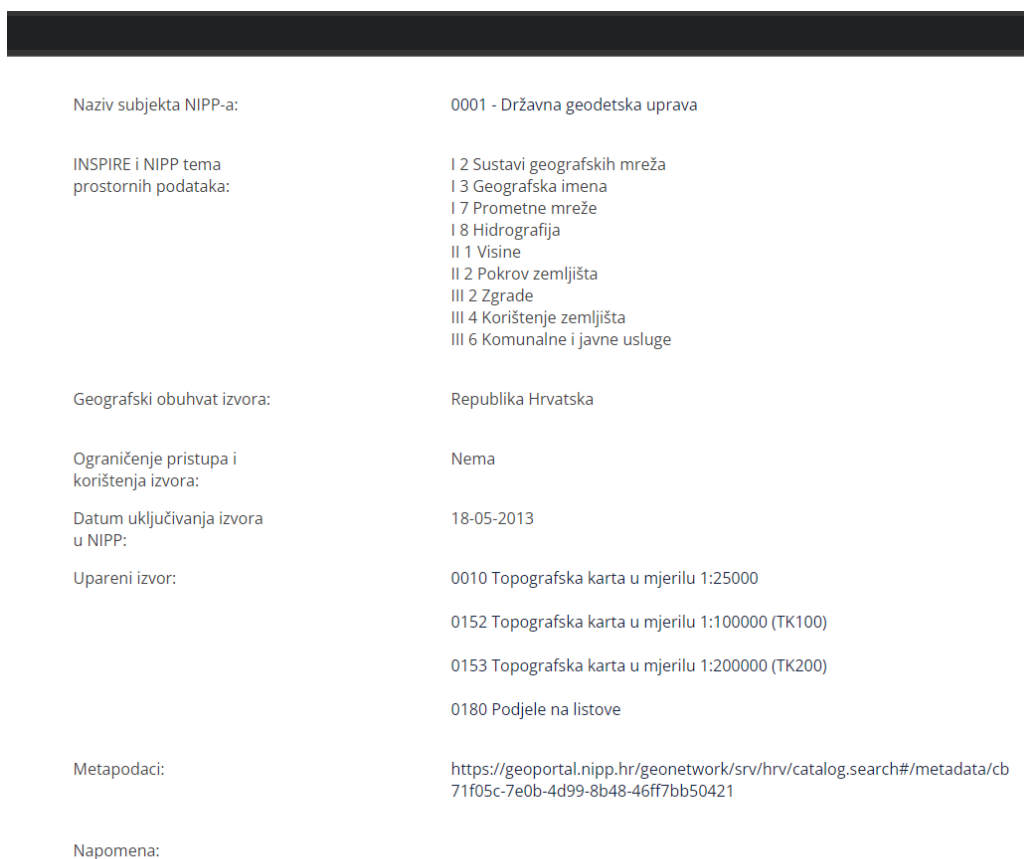
LandSerf specijaliziran je alat za geomorfološku analizu terena. Omogućava analizu reljefa, klasifikaciju terena, izradu karata strmosti i eksponiranosti, što je korisno za detaljno mapiranje planinskih područja.

TopoToolbox alat je za analizu topografskih podataka unutar MATLAB okruženja. Koristi se za analizu geomorfoloških procesa, uključujući eroziju, transport sedimenta i modeliranje hidroloških mreža u planinskim područjima.

4 METODOLOGIJA ODREĐIVANJA PLANINSKIH PODRUČJA

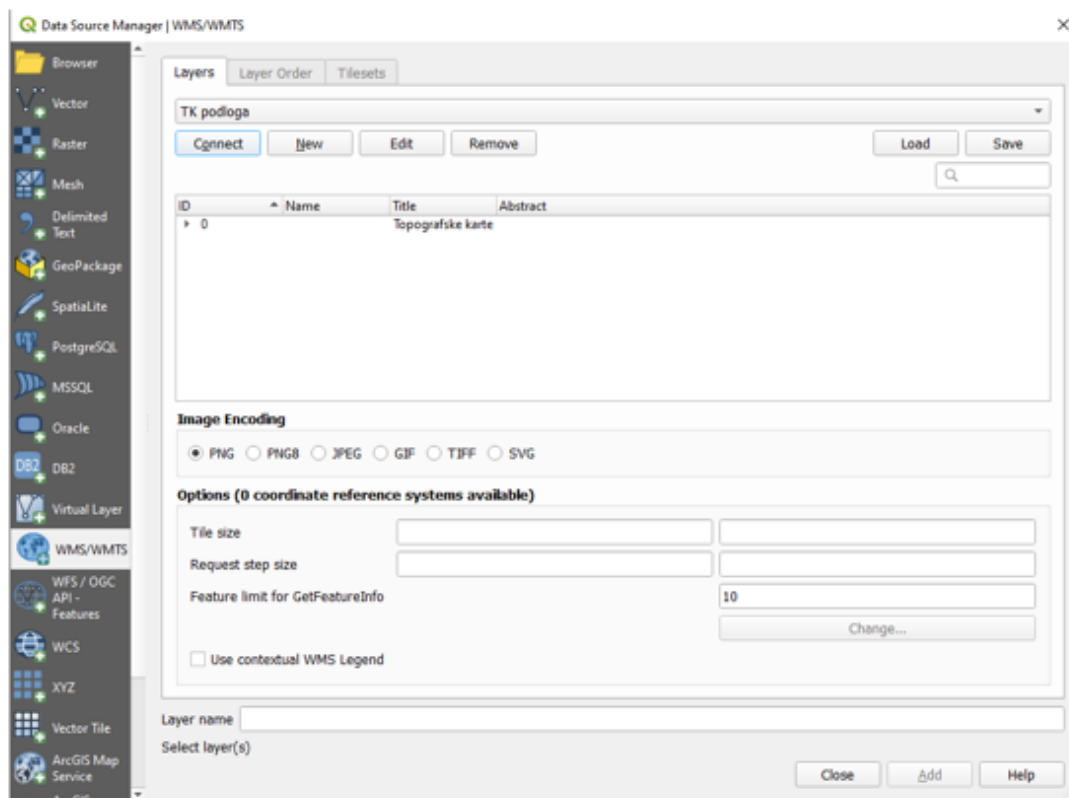
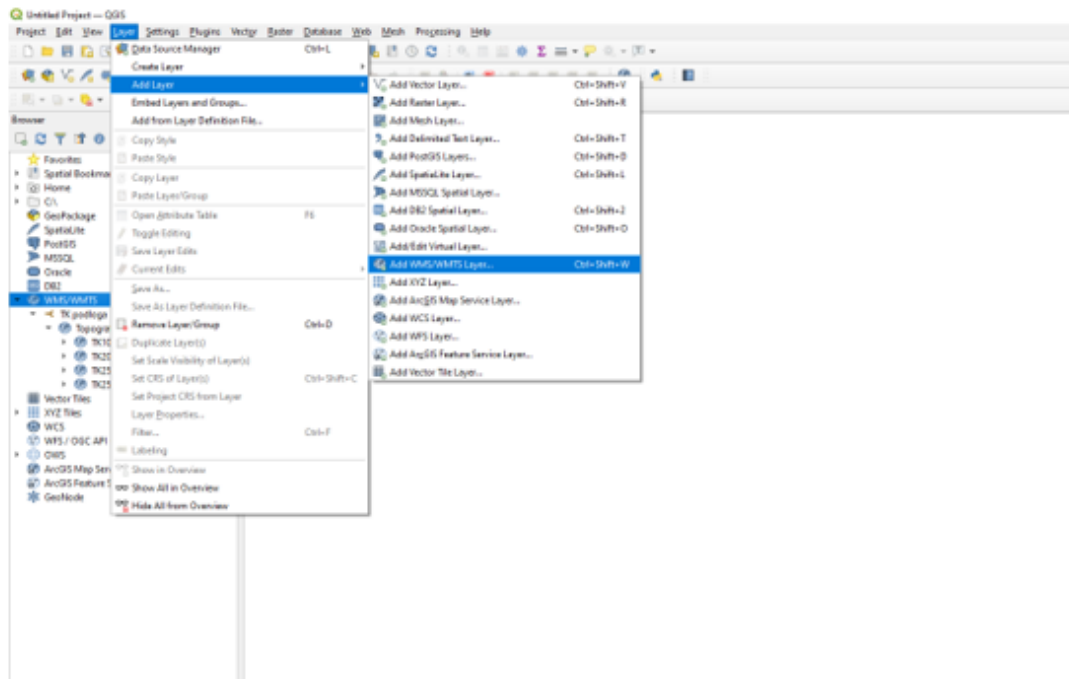
Za potrebe određivanja planinskih područja u Republici Hrvatskoj primijenjena je metodologija koja se temelji na analizi prostornih podataka te njihovoj vizualizaciji korištenjem digitalnih kartografskih izvora u programu QGIS.

Kao osnovna podloga korištena je topografska karta u mjerilu 1:2000 preuzeta sa službene internetske stranice Geoportala (Slika 7), Nacionalne infrastrukture prostornih podataka (NIPP) [20]. Preuzeti WMS učitani je u QGIS (Slika 8). Osim podloge, sa stranice Geoportal preuzet je i sloj (engl. *shapefile*) granice Republike Hrvatske. S obzirom da navedeni sloj ne sadrži granice jadranskog mora, napravljen je dodatni vektorski sloj koji je prikazan plavom bojom.



Naziv subjekta NIPP-a:	0001 - Državna geodetska uprava
INSPIRE i NIPP tema prostornih podataka:	I 2 Sustavi geografskih mreža I 3 Geografska imena I 7 Prometne mreže I 8 Hidrografija II 1 Visine II 2 Pokrov zemljišta III 2 Zgrade III 4 Korištenje zemljišta III 6 Komunalne i javne usluge
Geografski obuhvat izvora:	Republika Hrvatska
Ograničenje pristupa i korištenja izvora:	Nema
Datum uključivanja izvora u NIPP:	18-05-2013
Upareni izvor:	0010 Topografska karta u mjerilu 1:25000 0152 Topografska karta u mjerilu 1:100000 (TK100) 0153 Topografska karta u mjerilu 1:200000 (TK200) 0180 Podjele na listove
Metapodaci:	https://geoportal.nipp.hr/geonetwork/srv/hrv/catalog.search#/metadata/cb71f05c-7e0b-4d99-8b48-46ff7bb50421
Napomena:	

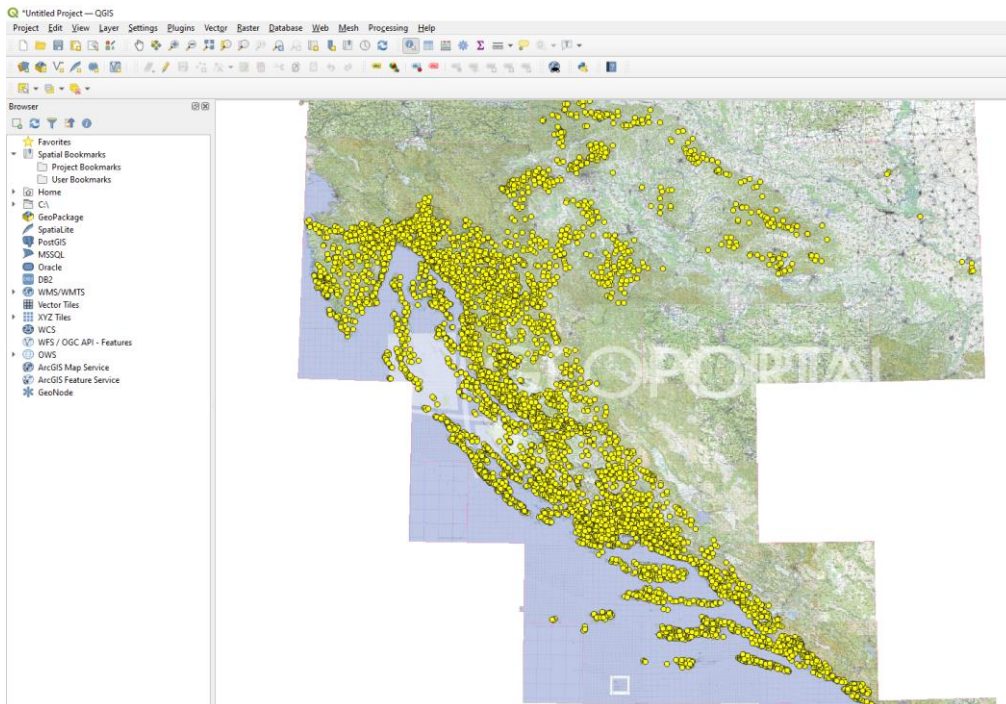
Slika 8. Službena internetska stranica Geoportala, WMS sloj



Slika 9. Učitavanje WMS-a u program QGIS

S obzirom da sloj planinarskih vrhova Republike Hrvatske nije javno dostupan, poslana je zamolba Hrvatskoj gorskoj službi spašavanja (HGSS) koja je za potrebe izrade završnog rada izašla u susret i dostavila vektorski sloj svih planinskih vrhova. Dobiveni

podatci sadržavaju 6.632 vrha (Slika 9). U atributnoj tablici filtrirani su svi vrhovi čija je visina ≤ 900 m. Za izradu karte korišteni su svi oni vrhovi čija je nadmorska visina veća od 900 metara, točnije njih 1.187 (Karta 1).



Slika 10. Prikaz shapefile-a svih planinskih vrhova Republike Hrvatske



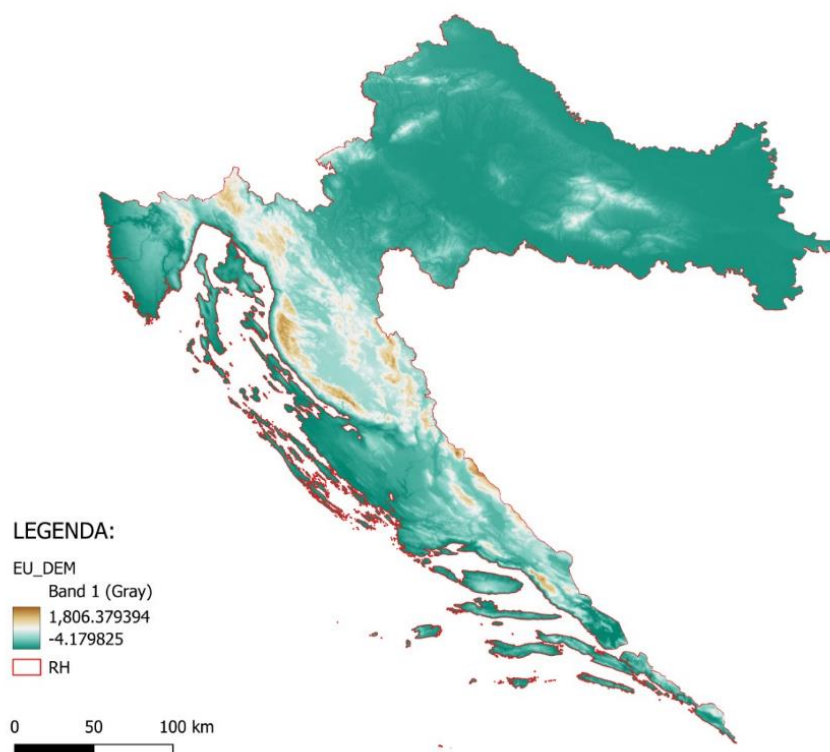
Karta 1. Karta vrhova čija je nadmorska visina viša od 900 m

Kako je uvjetovano da visinska razlika između terena u radijusu od 10 nautičkih milja između vrhova mora biti 900 metara, korišteni su samo vrhovi čija je visina veća od 900 metara. Kada su vrhovi izdvojeni oko njih su ucrtani radijusi veličine 10 nautičkih milja s ciljem određivanja planinskog područja (Slika 10).



Slika 11. Radijus 10 NM od vrha većeg od 900m

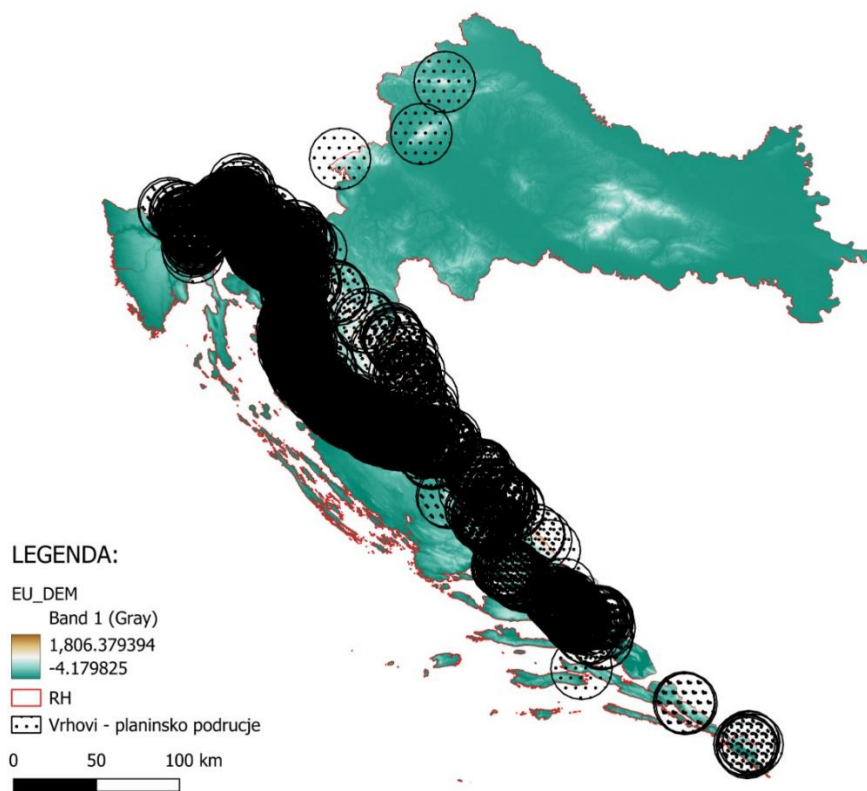
Nakon što je prethodni korak završen, sa službene stranice Copernicus preuzet je DEM sloj Europske Unije (engl. *Digital Elevation Model over Europe*) te je izrezan s obzirom na granice Republike Hrvatske, prebačen u referentni koordinatni sustav Republike Hrvatske (EPSG:3765 - HTRS96 / Croatia TM) (Karta 2).



Karta 2. DEM sloj izrezan s obzirom na granice Republike Hrvatske

Kada je ubačen raster sa terenom bilo je potrebno vidjeti kolika je visinska razlika unutar radijusa između vrha i najniže točke terena. Za navedenu analizu preuzet je plug in Zonal Statistics u programu QGIS. Koristeći navedeni algoritam izračunat je minimum i maksimum terena u zadanom krugu. Uvjet je bio za svaki posebni radijus od visine vrha oduzeti visinu minimalne točke terena, koja je izračunata pomoću alata Zonal Statistics te potom odrediti gdje je visinska razlika 900m ili više.

Nakon što je postupak proveden, svi vrhovi za koje je zadovoljen uvjet posebno su izdvojeni te su radi vizualnog prikaza spojeni u jednu cjelinu kako bi se izbjeglo preklapanje područja (Karta 3). Završni vektorski sloj učitani je na TK podlogu te je prikazan u poglavlju rezultati.



Karta 3. Vrhovi koji ispunjavaju uvjet spojeni u jednu cjelinu te izrezani u granice RH

5 REZULTATI



Karta 4. Planinsko područje Republike Hrvatske

Nakon provedene digitalne obrade planinskog područja Republike Hrvatske napravljena je karta (Karta 4) iz koje je vidljivo da se najveći dio planinskih područja nalazi u zapadnom i južnom dijelu države, odnosno da obuhvaća obalno područje i otoke Jadranskog mora, uključujući Dinaride, Gorski kotar i Liku, te unutrašnjost južne Dalmacije. Od ukupno 6.632 vrhova u prvoj je fazi u obzir uzeto njih 1.187, odnosno

17,90%. Uzevši u obzir definiciju Europske agencije za sigurnost zračnog prometa (EASA), prema kojoj se planinski teren za nadvisivanje prepreka definira kao područje gdje visinske razlike između najviše točke terena i najniže točke u krugu od 10 nautičkih milja iznose više od 3000 stopa daljnjom analizom izdvojena su 935 vrha (14,10%). Vrhovi koji su uzeti u obzir posebno su izdvojeni te su prikazani Tablicom 2.

Iako je u uvodnom poglavlju definirano planinsko područje te je navedena njegova površina od 11.818,12 km² odnosno 20,96% ukupnog teritorija Republike Hrvatske jasno je da je s ciljem osiguranja sigurnosti zračnog prometa i planiranja letova bilo potrebno slijediti regulativu Europske agencije za sigurnost zračnog prometa. Nakon što su izdvojeni vrhovi koji čine planinsko područje određena je njihova površina koja iznosi 21.263,92 km² što čini 37,57% ukupne površine kopnenog dijela Republike Hrvatske.

Korištenjem sloja Digitalnog modela visina (DEM) i algoritma Zonal Statistics, utvrđeno je da svi planinski vrhovi imaju utjecaj, međutim u planinskom području posebni su uvjeti za nadvisivanje terena stoga su za potrebe izrade završnog rada u obzir uzeti samo planinski vrhovi koji zadovoljavaju visinsku razliku od najmanje 900 metara unutar radijusa od 10 NM imaju utjecaj na zračni promet prema definiciji minimuma za nadvisivanje terena prema EASA-i. Ova analiza osigurava točno identificiranje područja koja predstavljaju značajne prepreke za zrakoplovne operacije i treba ih uzeti u obzir kod planiranja letova. Izdvojeni vrhovi koji ispunjavaju navedene uvjete spojeni su u jedinstveno planinsko područje, kako bi se osigurala precizna vizualizacija i minimiziralo preklapanje područja.

NAZIV VRHA	VISINA	NAZIV VRHA	VISINA	NAZIV VRHA	VISINA	NAZIV VRHA	VISINA	NAZIV VRHA	VISINA	NAZIV VRHA	VISINA	NAZIV VRHA	VISINA	NAZIV VRHA	VISINA	NAZIV VRHA	VISINA	NAZIV VRHA	VISINA	NAZIV VRHA	VISINA
Kuk za podinor	911	Vršci	952	Krog	996	Veliki Tisovac	1037	Ljutež	1082	Mirkača	1130,7	Vidaj	1184	Karaula	1251	Budakovo brdo	1317	Jadičeva plan	1416	Kitavac	1559
Mali Oštrac	911	Jazvina	953	Velika Prisika	996	Kokuļjevica	1039	Gumanačka	1083	Crni vrh	1132	Božurača	1185	Mala Bucala	1251	Gornik	1318	Katića greda	1417	Piljiševica	1560
Debela kosa	913	Papuk	953	Lisac	997	Pećinski vrh	1039	Javorov vrh	1083	Pogoreli vrh	1132	Copin vrh	1186	Cigelj	1252	Sv. Jure	1319	Buljma	1418	Crni vrh	1562
Ivačka glava	913	Samogred	953	Sjenca	997	Seganovac	1039	Kita	1083	Ravne staje	1132	Oklinak	1186	Stari breg	1252	Ljubičko brdo	1320	Bukov vrh	1420	Sedmina	1563
Vrlosjedina	913	Konjski vrh	953,6	Suvovrh (Sovar)	997,4	Tisovac	1039	Badališće	1084	Ravno bilo	1132	Zagradski vrh	1187	Stražbenica	1252	Sleme	1327	Vošac	1421	Mali Kuk	1565
Čelina	914	Jovinov kuk	954	Kupjački vrh	997,7	Kamena glavica	1039,2	Borovi vrh	1084	Opakić vrh	1132,6	Gicijev vrh	1189	Visoko bilo	1252	Velika Kurja	1328	Stipkovac	1423	Kapljuv	1570
Veliki rok	914	Klašnica	954	Gorubac	999	Veliki Vucjak	1040	Čelimbaša	1084	Križ	1133	Stara Levurdica	1189	Mali Borovac	1253	Oklinak	1329	Zeleni vrh	1423	Veliki Golić	1570
Kozji vrh	916	Kobeljak	954	Jablanaša	1000	Gologlav	1041	Karmiški vrhov	1085	Gomanska gora	1134	Vršić	1189	Bliznac	1254	Ljubima	1330	Golić	1424	Kozjak	1572
Runjeva glavica	916	Oštri Barjak	954	Vrbnički vrh	1000	Istarska glavica	1041	Matejina glavica	1085	Cardak	1136	Dnič	1190	Opaljeni vršak	1254	akleno sjever (H	1331	Planina	1425	Mikurilja	1572
Utihovalo	916	Vrh Plase	954	Petnjakuša	1001	Stup	1041	Turmin	1085	Jelvina	1136	Kameniti vrh	1191,3	Pločati kuk	1254	Veliko Pakleno	1331	Poštak	1425	Kita	1573
Vojak	916	Cavinka	955	Prasica	1001	Velika Vrbica	1041	Veliki Kik	1085	Vršak	1136	Visoka Stijena	1193	Vrši	1255	Visibaba	1331	Tavan	1425	Corin Lacman	1574
Duševlaka	916,7	Šije brig	955	Ravna gora	1001	Veliki Rujnik	1042	Čelišnik	1086	Kameniti vrh	1137	Mali Kozjak	1194	Panos	1258	Grleš	1332	Mirnjak	1426	Mala Plješevica	1576
Neglinov vrh	917	Sveta Ana	955,1	Torenički vrh	1001	Razvala	1043	Crni vrh	1087	Mali Orljak	1137	Botajna	1196	Mali Planik	1259	Oštruljak	1332	Viševica	1428	Mali Golić	1577
Vjeterica	917,3	Bilac	955,8	Kupinovac	1001,9	Skradski vrh	1043	Kuk	1087	Orlove stine	1139	Križ	1196	Opaljenik	1260	Šutvid	1332	Runjava glavica	1429	Zec	1578
Plitvine	917,4	Kuk	956	Busovača	1002	Debelo brdo	1044	Kuk Rasojati	1088	Ruja	1139	Mali Golić	1196	Lipov vrh	1262	Divov brig	1333	Cunj	1430	Corlina	1583
Gradina	918	Šuljba	956	Golić	1002	Dvokića brdo	1044	Basača	1089	Javorov vrh	1140,4	Cremušnjak	1197	Ljubljan	1262	Ilovnjak	1333	Babin kuk	1431	Golovrhe	1584
Meded	918	Dvojačka glavica	957	Grabovica	1002	Mali Panos	1045	Bazlov vrh	1089	Debeljak	1141	Crna gora	1197	Bukovac	1262,2	Crni vrh	1335	Bukova gora I	1431	Jančija glavica	1585
Paletina	919	Slatki vrh	957	Kom	1002	Rošin vrh	1045	Kalić	1089	Konečki vrh	1141	Crni vrh	1197	Oštrac	1263	Lisac	1335	evrni Mali Risn	1434	Vučjak	1586
Sapašnik	919	Špičasti vrh	957	Redaš	1002	Skodovnik	1048	Lipovača	1089	Vela Pliš	1141	Grabar	1197	Sljeme	1263	Sinjal	1335	Lađena	1435	Robinac	1587
Zagon	920	V. Ščrbac	957	Vranjin Vršak	1003	Debeli vrh	1049	Stojbina	1089	Glogovik	1142	Veliki gologlav	1197	Mali Bukovac	1263,1	Suhi vrh	1335	Malo bilo	1435	Ledenica	1589
Čardatišće	922	Gradina	958	Kapljuv	1003,3	Kačar	1049	jonikova glavica	1089	Veliki Lisac	1142	Veliki vrh	1197	Rapavički vrh	1264	rh Bijelih stijer	1335	Zvitovac	1436	Runjavac	1589
Planinica	922	Vrncjev vrh	958	Vršina	1003,8	Omarić	1049	Brajkov vrh	1090	Gradina	1143	Žuti kuk	1197	Golić	1265	Crni vrh	1336	Pale	1438	Ošljak	1589,3
Vela Peša	922	Mala Pliš	959	Lepi vrh	1004	Gicijev vrh	1050	Brajkov vrh	1091	Štimčev vrh	1143	Oštri vrh	1199	Prikinuto brdo	1265	Debeli krug	1336	Andića vrh	1439	Kremen	1591
Veli Tič	922	Vršak	959	Lipov vrh	1004	Jelinov vršak	1050	blovratske stijer	1091	Velika Runjavica	1143,2	Saljev kuk	1199	Rajčetina kosa	1265	Konjska glava	1336	Bobički Kuk	1439	Štirovac	1596
Veliki Hrzić	923	Zapadac	960	Strašilovac	1004	Junka	1050	Zečja glavica	1091	Mahen	1144	Velika Vranovač	1200	Tovarnica	1265	k od Karline pla	1336	Velika Mačka	1440	Debelo brdo	1597
Tavani	923,9	Medvedak	961	Smečak	1004,8	Ljutovac	1050	Ravan glavica	1091,2	Mali Seginšček	1144	Orlovac	1201	Mali Kik	1266	Troua	1336	Debelo Brdo	1441	Čelavac	1601
Antin vrh	924	Militar	961	Križina	1005	Veliki Oštri vrh	1050	Gradec	1092	Vodička griza	1144	Preslo	1201	Mali Urļaj	1266	Visibaba	1336	Jelenc	1441	Balinovac	1602
Velika glavica	924	Sv. Ilija	961	M. Kik	1005	Gradina	1050,3	Kosmač	1092	Šolobanica	1145	Čelavac	1202	Veliki Bukovac	1266,5	Pakleno (H7)	1337	Kadulja	1441	Trovrh	1602
Lipovača	925	Osoje	961,4	Hranilovičev vrh	1006	Kalivret	1051	Brložnik	1093	Veliki Seginšček	1145	Budim	1203	Golo trlo	1267	Jasenovica	1338	Kučina kosa	1441	Crni vrh	1604
Meduvak glavica	925	Petičev vrh	962	Sapan	1006	Vrh jelovi	1051,5	Ivanov vrh	1093,7	Mali Šija	1145,4	Krivi Javor	1204	Maj vrh	1268	Osoje	1338	Štopac	1444	Ogradenik	1604
Ugljevarica	925	Stražica	962	Visibaba	1006	Đakovac	1052	Mijatov vršak	1094	Šolobanica	1146	Kurozeč	1204	Nikina plasa	1268	Štrbina	1338	Bijeli vrh	1445	Goljak	1605
Jelenska pećina	927	Vrncjev vrh	962	Vela Strana	1007	Gologuz	1052	Plosnjak	1094	Čubrin vrh	1146,2	Malo brdašće	1205	Crni vrh	1269	Podrašac	1339	Trošeļev Vrh	1445	Rudi Lisac	1608
Okruglica	927	Kuk od Rujice	963	Billig	1008	Javornik	1052	Babina glava	1094,8	Veliki vrh	1147	Bat	1206	Debeli kuk	1269	Veliki Kabal	1339	užni Mali Risnja	1448	Snježnik	1608
Jurin vrh	928	Perlinski vrh	963	Komić	1008	Rudnik	1052	Gobov vrh	1096	Vršak	1147	Panos	1206	Polica	1269	Turjača	1340	Visibaba	1448	Alancić	1611
Klekovac	928	Triješnikov Vrh	963	Prolog	1008	Rudnik	1052	Jelovac	1097	Crni vrh	1148	Trstenik	1206	Grabar	1270	Krug	1342	Goli vrh	1449	Matijević brijeg	1611
Opaljenik	928	Lipova glavica	964	Stražište	1008	Glavica	1053	Mala Kapela	1097	Čavnovka	1148	Ljuti Ogradak	1208	Javorska	1270	Velika Bucala	1342	Lisac	1449	Tabla	1613
Žalac	928	Plana	964	Miškovica	1009,9	Nedrug	1053	Munižabin vrh	1098	Dana	1148	asovački ograd	1209	Privija	1271	Zdenac	1344	Šijevača	1449	Rapavac	1617
Praprot	929	Brikvičko brdo	964,6	Kosa	1010	Plišivac	1053	Ober	1098	Mariknac	1148	Primorski Klek	1210	Sklopina	1272	Jasikovac	1345	Šijevača	1449	Šćirovac	1619
Praprot	929	Katića glavica	965	Malo Pogledalč	1010	Šena	1053	Strgamica	1098	Umac	1148	Razvršje	1210	Veliki Planik	1272	Veliki Prinovac	1345	Lisac	1450	Visočica	1619
Plan	930	Oštrc	965	Špičasti Vrh	1010	Limar	1054	Plasine	1099	Dedov vrh	1149	Zdravačka Kosa	1210	Jadičevac	1274	Gomirkovica	1346	Buljma	1451	Veliki Kozjak	1620
Gredelj	931	Veliki vrh	965	Monte Paca	1011,7	Kobila	1055	Komesač	1099,9	Špičasti vrh	1150	Široka glavica	1211	Kiza	1274	Porobljenik	1346	Šijevača	1451	Velika kosa	1622
Ogradenica	931	Velinac	965	uževačka glavica	1012	Golić	1055,3	Kavrga	1100	Strgarje	1151	Lugarski vrh	1212	uk od Crnušiš	1275	Debeli vrh	1347	Javorov vrh	1452	Zečjak	1622
Gostuša	931,1	Široki kuk	966	Crna ljut	1013	Medvejak	1056	Crkveni vrh	1101	Zabljak	1151	Štulac	1212	Janjčerica	1278	Ravna Vlaška	1350	Brankov vrh	1455	Šatorina	1624
Mali Ščrbac	931,5	Oštra glavica	967	Gornje razvršje	1013	Veliki Vučjak	1056	Kalun	1101	Janjina kosa	1152	Vršelji	1212	Jasenov vrh	1278	Velike vršine	1350	Magļaj mali	1455	Badanjski Vrh	1625
Stremušni vrh	932	Okrugla	967,1	Osinjak	1013	Zasićeni kuk	1056	Korenski vrh	1101	Kašljevac	1152	Klobučaren vrh	1213	Ljuljačka	1278	Vrh Čajtige	1351	Vitrenik	1457	Višerujna	1632
Čelinka	933	Konjska glava	967,3	Žigina Palerija	1013	Donji Štulac	1057	Prvog vrh	1101,3	Mali Drgomaj	1153	Orlov kamen	1214	Visibaba	1278	Črimušļjavo bik	1352	Meduvrh	1460	Badanj	1637
Mala Peša	933	Crni vrh	967,5	Zapušnik	1014	Klečice	1058	Trnovac	1102	Veliki Drgomaj	1154	Plančica	1217	Jarebinjak	1279	Miljković vrh	1352	Gornji Medveļci	1461	Rožanski vrh	1638
Pliš	933	Neprobić	968	Zbevnica	1014	Sedlo	1058	Agin kuk	1103	Mladonjin vrh	1155	Sešeljevac	1217	Kuk od vrata	1279	Fratar	1353	Lastve	1464	Crikvena	1641
Pliševica	933	Zvirjak	968	Stojač	1015,3	Stegoša	1058	Šjeme	1103	Biace	1156	Mali Rteševo	1218	Seliški vrh	1279	Male vršine	1354	Mali Kozjak	1466	Sv. Ilija	1642
Torine	933	Rašac	969	Javorova Kosa	1016	Mala Panoga	1059	Bijela greda	1104	Kapela	1157	Beljak	1219	Veliki Smolnik	1279,1	Mala Mačka	1356	Vršina	1466	Vučjak	1645
Vetveni vrh	933	Maj	969,5	Golubovac	1017	Paripovac	1059	Črnuž	1104	Oštri vrh	1157	Lepušje	1219	Mali Bat	1280	Bačić vrh	1358	Veliki Šibenik	1467	Gola Plješevica	1646
Crni vrh	934	Vrh Prdļjevice	970	Kravarški vrh	1018	Kuci Marunića	1060	Kadički vrh	1104	Velika Kapela	1157,6	Veliko brdašće	1219	Mirkovac	1280	Medvjedak	1359	Cecļje	1470	Hajdučki kuk	1649
Kota 934	934	Visoka Glava	971	Visovača	1018	Mocvil	1060	Crni vrh	1104,2	Čunina glava	1158	Ivova glava	1220	Suhi vrh	1280	Przenovac	1363	Kovaruša	1470	Golubić	1650
Samar	934	Kruševo	971,6	Bijela kosa	1018,2	Dedinski vrh	1061	Marković Rudin	1105	Vršine	1158	Gomila	1221	Badanj	1281	Radeševo	1363	Motika	1472	Plješevica	1653

6 ZAKLJUČAK

Analizom planinskih vrhova Republike Hrvatske u kontekstu pravila letenja za nadvisivanje terena, postignuti su ključni rezultati koji omogućuju preciznije određivanje područja s posebnim uvjetima za zrakoplovstvo.

Korištenjem vektorskih slojeva, Digitalnog modela visina (DEM) i algoritma Zonal Statistics programa QGIS uspješno su identificirani svi vrhovi s nadmorskom visinom iznad 900 metara oko kojih su ucrtani radijusi od 10 nautičkih milja (NM) kako bi se analizirala visinska razlika unutar tih područja. Rezultati su pokazali da od ukupno 6.632 vrhova, njih 1.197 (18,05%) ispunjavaju kriterij visinske razlike od najmanje 900 metara između vrha i najniže točke u radijusu od 10 NM.

Ova analiza omogućila je izradu jedinstvene karte koja vizualno prikazuje sva planinska područja Hrvatske relevantna za zrakoplovne operacije. Karta precizno prikazuje područja koja predstavljaju potencijalne prepreke za siguran zračni promet, posebice u dijelovima Dinarida, Gorskog kotara, Like, Dalmatinske zagore te obalnih i otočnih dijelova Jadranskog mora. Ovakav prostorni prikaz osigurava značajan doprinos u planiranju zračnog prometa, jer omogućava identifikaciju kritičnih točaka i pomaže u optimizaciji sigurnosnih mjera.

Ovaj pristup i rezultati mogu poslužiti kao temelj za buduće analize u zrakoplovstvu te unaprijediti razumijevanje terena u Republici Hrvatskoj u svrhu povećanja sigurnosti zračnog prometa.

Korištenje digitalnih alata i geoinformacijskih sustava (GIS) pokazalo se ne samo kao učinkovito, nego i kao nužno u preciznom definiranju i vizualizaciji složenih terenskih podataka. Time su postavljeni temelji za daljnje istraživanje i implementaciju u zrakoplovne standarde, čime se poboljšava operativna učinkovitost i sigurnost zračnog prometa u planinskim područjima Hrvatske.

LITERATURA

- [1] Annex 2 to the Convention on International Civil Aviation, Rules of the Air, ICAO 2005
Preuzeto s:
https://www.icao.int/Meetings/anconf12/Document%20Archive/an02_cons%5B1%5D.pdf , [Pristupljeno 12. rujna 2024.]
- [2] Barković Đ., Zrinjski M. Terenska mjerenja, sveučilišni priručnik, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb. 2020
- [3] Benčić D., Solarić N. Mjerni instrumenti i sustavi u geodeziji i geoinformatici, Školska knjiga, Zagreb. 2008.
- [4] Biondić B., Biondić R. Hidrogeologija dinarskog krša u Hrvatskoj. 2014.
- [5] Bishop M. P., Shroder J. F. Remote sensing and geomorphometric assessment of topographic complexity and erosion dynamics in the Nanga Parbat massif, u: Tectonics of the Nanga Parbat Syntaxis and the Western Himalaya (ur. Khan, M. A. i dr.), Geological Society London, London. 2000; 181-199.
- [6] Bognar A. Geomorfološke osobine Republike Hrvatske. Geografski horizont. 1992;38(2): 16-25.
- [7] Bognar A. Croatia – the land and natural features. GeoJournal 1996;38(4): 407–416.
- [8] Bognar A. Geomorfologija i njezin razvoj u Hrvatskoj. In 2. Hrvatski geografski kongres, 2000. pp. 43-52.
- [9] Čaplar A. *Planinarski vodič po Hrvatskoj*. Mozaik knjiga. 2011. pp. 46-50
- [10] Dikau R., Brabb E. E., Mark R. K., Pike R. J. Morphometric landform analysis of New Mexico, Zeitschrift für Geomorphologie, N.F. Suppl.-Bd. 1995;101, 109-126.
- [11] Easy Access Rules for Standardised European Rules of the Air (SERA), European Union Aviation Safety Agency
Preuzeto s:
[file:///C:/Users/petra.krtalic/Downloads/Easy%20Access%20Rules%20for%20SERA%20-%20February%202023%20\(pdf\)%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/petra.krtalic/Downloads/Easy%20Access%20Rules%20for%20SERA%20-%20February%202023%20(pdf)%20(2).pdf) [Pristupljeno 12. rujna 2024.]

- [12] Filipčić A. Klimatska regionalizacija Hrvatske po W. Köppenu za standardno razdoblje 1961. – 1990. u odnosu na razdoblje 1931. – 1960. *Acta Geographica Croatica*. 1998; 33, 7-14
- [13] Frančula N., Lapaine M. Geodetsko-geoinformatički rječnik, Državna geodetska uprava, Zagreb. 2008
- [14] Garašić M. Hidrogeologija i morfogeneza speleoloških objekata u kršu Hrvatske (Doctoral dissertation, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb; Rudarsko-geološko-naftni fakultet). 1986.
- [15] Geoinformacijski sustav. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2013. – 2024. Preuzeto s: <https://www.enciklopedija.hr/clanak/geoinformacijski-sustav>, [Pristupljeno 17.8.2024.]
- [16] Geomorfologija. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2013. – 2024. Preuzeto s: <https://www.enciklopedija.hr/clanak/geomorfologija>, [Pristupljeno 30. srpnja 2024.]
- [17] Grgić, I., lučić, M., trifković, M. Visinski sustavi u nekim europskim zemljama. *Geodetski list*. 2015:69.2: 79-96.
- [18] Hengel T., Gruber S., Shrestha D. P. Digital terrain analysis in ILWIS: lecture notes and user guide, International Institute for Geo-information Science and Earth Observation (ITC), Enschede, Netherlands. 2003
- [19] Hofmann-Wellenhof B., Herbert L., Elmar W. GNSS–global navigation satellite systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more. Springer Science & Business Media, 2007.
- [20] Kaplan E.D., Hegarty C. (ed.). Understanding GPS/GNSS: principles and applications. Artech house, 2017. aplan.
- [21] Miller C., Laflamme R. The digital terrain model — theory and applications, *Photogrammetric Engineering*. 1958;24, 433-442
- [22] Nacionalne infrastrukture prostornih podataka, Geoportal Preuzeto s: <https://registri.nipp.hr/>
- [23] Narodne novine (2004a): Odluka o utvrđivanju službenih geodetskih datuma i ravninskih kartografskih projekcija Republike Hrvatske, Narodne novine br. 110, Zagreb.

- [24] Narodne novine (2004b): Ispravak Odluke o utvrđivanju službenih geodetskih datuma i ravninskih kartografskih projekcija Republike Hrvatske, Narodne novine br. 117, Zagreb.
- [25] Novak, D. Zrakoplovna računska navigacija. 2012.
- [26] Pamić, J., Gušić, I., Jelaska, V. Geodynamic evolution of the Central Dinarides. *Tectonophysics*. 1998;297, 251–268.
- [27] Pernar R. Primjena rezultata interpretacije snimaka i GIS-a za planiranje u šumarstvu. 1996.
- [28] Pernar N. Tlo; nastanak, značajke, gospodarenje. 2017.
- [29] Peterca M., Radošević N., Milosavljević S., Racetin F. Kartografija, Vojnogeografski institut, Beograd, 1974; 745 str.
- [30] Pike R. J. Geomorphometry - progress, practice and prospect, *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementband*. 1995;101, 221-238.
- [31] Pike R. J. Geomorphometry - diversity in quantitative surface analysis, *Progress in Physical Geography*. 2000;24 (1), 1-20.
- [32] Pokupić M. Analiza točnosti globalnih digitalnih modela reljefa i geomorfometrijski modeli planinskih područja Republike Hrvatske. 2018
- [33] Posavec K. EGPV–evidencija i gospodarenje podzemnim vodama Hrvatske. In *Festival znanosti*. 2008.
- [34] Rožić, N. Hrvatski visinski referentni sustav. 2019.
- [35] Sabolović M., Šiljeg A., Zdilarm S. Značajke digitalnih modela reljefa u vojnogeografskim analizama na primjeru vojno-redarstvene operacije Maslenica. *Polemos: časopis za interdisciplinarna istraživanja rata i mira*. 2015;18(36), 29-54.
- [36] Statistički ljetopis Republike Hrvatske. Državni zavod za statistiku Republike Hrvatske. Zagreb. 2018.
Preuzeto s: https://www.dzs.hr/Hrv_Eng/ljetopis/2018/sljh2018.pdf,
[Pristupljeno 30. srpnja 2024.]
- [37] Šiljeg A. Digitalni model reljefa u analizi geomorfometrijskih parametara – primjer PP Vransko jezero, disertacija, PMF – Geografski odsjek, Sveučilište u Zagrebu. 2013.
- [38] Šubat R., Semren, S. Potreba razvoja sposobnosti provedbe operacija u planinama u Oružanim snagama Republike Hrvatske–razmatranja. *Strategos*:

Znanstveni časopis Hrvatskog vojnog učilišta "Dr. Franjo Tuđman", 2021;5(2): 175-194.

- [39] Tutić D., Vučetić N., Lapaine M. Uvod u GIS, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet, Zagreb; 2002. [Pristupljeno 12. kolovoza 2024.]
Preuzeto s: ww.kartografija.hr/old_hkd/obrazovanje/prirucnici/Uvod_u_GIS.pdf
- [40] Vidović T. Mogućnosti bespilotnih letjelica u svrhu prikupljanja prostornih podataka i usporedba s klasičnim geodetskim metodama [Završni rad]. Čakovec: Polytechnic of Međimurje in Čakovec; 2017 [Pristupljeno 10. kolovoza 2024.]
Preuzeto s: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:110:087511>
- [41] Vlahović I., Tišljar J., Velić I., Matičec D. Evolution of the Adriatic carbonate platform: palaeogeography, main events and depositional dynamics. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2005;(220) 333–360.
- [42] Wilson J. Digital terrain modeling, *Geomorphology*. 2011;137(1), 269-297.
- [43] Zeiler M. *Modeling our World - The ESRI Guide to Geodatabase Design*, Environmental Systems Research Institute, New York Street, Redlands, California, 1999.

POPIS KRATICA

DEM – Digitalni model visina (engl. *Digital Elevation Model over Europe*)

DGU - Državna geodetska uprava

DMR – Digitalni model reljefa

DTM - Digital terrain model

EASA - Europskoj agenciji za sigurnost zračnog prometa (engl. *European Aviation Safety Agency*)

GIS - Geografski Informacijski Sustav

GLONASS - Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema

GNSS - globalni navigacijski satelitski sustavi

GPS - Global Positioning System

GRS80 - Geodetskog referentnog sustava iz 1980. godine

HTRS96-TM – projekcijski referentni sustav Republike Hrvatske

HVRS71 - Hrvatski visinski referentni sustav za epohu 1971,5

m.n.v. - metara nadmorske visine

MSL - Mean Sea Level

NIPP - Nacionalna infrastruktura prostornih podataka

NM – nautička milja

RH – Republika Hrvatska

shp - Shapefile

UTM projekcija - Univerzalna transverzalna Merkatorova projekcija

POPIS SLIKA

Slika 1 Karta najistaknutijih orografskih elementa reljefa Republike Hrvatske. Reljefna kategorizacija prema Bognar (1996) i Bognar i dr. (2012).	4
Slika 2. Tipovi klime u Hrvatskoj (izvor: Statistički ljetopis, 2018).....	6
Slika 3. Srednja temperatura zraka u siječnju (izvor: Statistički ljetopis, 2018.).....	7
Slika 4. Srednja godišnja količina padalina (izvor: Statistički ljetopis, 2018.)	8
Slika 5 Određivanje visine leta prema tlaku zraka.....	10
Slika 6 Visinska razlika (izvor: Vidović, 2017)	11
Slika 7 Prostorni i neprostorni podaci (izvor: Tutić i dr., 2002.).....	15
Slika 8. Službena internetska stranica Geoportala, WMS sloj.....	19
Slika 9. Učitavanje WMS-a u program QGIS	20
Slika 10. Prikaz shapefile-a svih planinskih vrhova Republike Hrvatske	21
Slika 11. Radijus 10 NM od vrha većeg od 900m.....	22

POPIS TABLICA

Tablica 1. Površina RH po visinskim zonama (izrađeno prema: Statistički ljetopis DZS-a, 2018.).....	3
Tablica 2. Prikaz svih planinskih vrhova viših od 900 m.....	27

POPIS KARTI

Karta 1. Karta vrhova čija je nadmorska visina viša od 900 m	21
Karta 2. DEM sloj izrezan s obzirom na granice Republike Hrvatske	23
Karta 3. Vrhovi koji ispunjavaju uvjet spojeni u jednu cjelinu te izrezani u granice RH	24
Karta 4. Planinsko područje Republike Hrvatske	25

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad isključivo rezultat mogega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/diplomskog rada pod naslovom *Određivanje planinskog područja u Republici Hrvatskoj za sigurno nadvisivanje terena*, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

U Zagrebu, 16. rujna 2024. godine

Student:

Stipe Lulić

Stipe Lulić