

Usporedba digitalnog modela terena izrađenog na temelju topografske karte i produkata daljinskih istraživanja

Komšić, Robert

Master's thesis / Diplomski rad

2023

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:108:524440>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-25**



Repository / Repozitorij:

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE
TEHNOLOGIJE
ŠUMARSKI ODSJEK
SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ
ŠUMARSTVO**

ROBERT KOMŠIĆ

**USPOREDBA DIGITALNOG MODELA TERENA NA
TEMELJU TOPOGRAFSKE KARTE I PRODUKATA
DALJINSKIH ISTRAŽIVANJA**

DIPLOMSKI RAD

ZAGREB, 2023.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE
TEHNOLOGIJE
ŠUMARSKI ODSJEK**

**USPOREDBA DIGITALNOG MODELA TERENA NA
TEMELJU TOPOGRAFSKE KARTE I PRODUKATA
DALJINSKIH ISTRAŽIVANJA**

DIPLOMSKI RAD

Diplomski studij: Šumarstvo

Smjer: Tehnika, tehnologija i menadžment u šumarstvu

Predmet: Digitalna kartografija u šumarstvu

Ispitno povjerenstvo:

izv. prof. dr. sc. Mario Ančić

prof. dr. sc. Renata Pernar

doc. dr. sc. Jelena Kolić

Student: Robert Komšić

JMBAG: 0068228986

Broj indeksa:

Datum odobrenja teme: 25.04.2022.

Datum predaje rada: 17.05.2023.

Datum odbrane rada: 26.05.2023.

Zagreb, 2023.

DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Naslov	Usporedba digitalnog modela terena izrađenog na temelju topografske karte i produkata daljinskih istraživanja
Title	Comparison of digital terrain model made on the basis of topographic map and remote sensing products
Autor	Robert Komšić
Adresa autora	Dr. Ivana Ribara 14 Glamoč, Bosna i Hercegovina
Mjesto izrade	Fakultet šumarstva i drvne tehnologije
Vrsta objave	Diplomski rad
Mentor	izv. prof. dr. sc. Mario Ančić
Godina objave	2023.
Obujam	9 poglavlja, 55 stranice, 49 slika, 1 tablica, 43 navoda literature
Ključne riječi	Digitalni model terena, slojnice, LiDAR, ASTER, ArcGIS
Key words	Digital terrain model, contours, LiDAR, ASTER, ArcGIS
Sažetak	<p>Postoje različite metode prikupljanja podataka za izradu digitalnog modela terena poput terenske izmjere, digitalizacije slojnica s topografskih karata te metode daljinskih istraživanja (pasivni i aktivni sustavi). U ovome diplomskom radu provesti će se usporedba točnosti digitalnih modela terena izrađenih prikupljanjem podataka iz različitih izvora: topografske karte 1:25000, Hrvatske osnovne karte 1:5000, satelitske snimke (ASTER) i LiDAR-a. Digitalni modeli terena (četiri različite metode) biti će izrađeni za područje jednog dijela Medvednice. Za izrađene digitalne modele terena provesti će se usporedba točnosti i ukazati na primjenu u šumarstvu.</p>



**IZJAVA
O AKADEMSKOJ
ČESTITOSTI**

OB FŠDT 05 07

Revizija: 2

Datum: 29.04.2021.

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

U Zagrebu, 2023. godine

Robert Komšić

Zahvaljujem mentoru izv.prof.dr.sc. Mariju Ančiću na ukazanom povjerenju, trudu, stručnoj pomoći i savjetima tijekom izrade ovog diplomskog rada. Također, zahvaljujem prof. dr. sc. Renati Pernar na komentarima, pomoći i susretljivosti za obranu diplomskog rada.

Neizmjerne hvala mojoj obitelji, djevojci i prijateljima na podršci tijekom svih godina studiranja.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. DIGITALNI MODEL TERENA	2
2.1. Definicija	2
2.2. Povezani pojmovi	2
2.3. Izrada DMT-a	5
2.4. Točnost digitalnog modela reljefa	8
3. DETALJNI OPIS KORIŠTENIH IZVORA PRIKUPLJANJA PODATAKA ZA IZRADU DMT-A.....	9
3.1. Topografska karta	9
3.2. Hrvatska osnovna karta	10
3.3. Satelitska snimka (ASTER).....	11
3.4. LiDAR	13
3.5. ArcGIS 10.....	15
4. CILJ RADA.....	16
5. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA	17
6. METODE ISTRAŽIVANJA.....	18
6.1. Vektorizacija slojnica na topografskoj karti	18
6.2. Vektorizacija slojnica na Hrvatskoj osnovnoj karti.....	19
6.3. Preuzimanje i obrada ASTER DEM podataka u rasterskom obliku	20
6.4. Obrada podataka snimljenih LiDAR-om.....	22
6.5. Usporedba slojnica iz različitih izvora	26
7. REZULTATI.....	27
7.1. Digitalni modeli terena izrađeni iz TK25	27
7.2. Digitalni modeli terena izrađeni iz Hrvatske osnovne karte.....	31
7.3. Digitalni modeli terena iz ASTER DEM podataka	34
7.4. Digitalni modeli terena iz LiDAR podataka.....	37
7.5. Rezultati usporedbe izrađenih DMT-a i slojnica iz različitih izvora podataka	40
8. ZAKLJUČAK	49
9. LITERATURA.....	50
Popis URL-a:.....	52
Popis slika:	53
Popis tablica:	55
Popis korištenih softvera:	55

1. UVOD

Digitalni model terena (DMT) je skup položajno (i visinski) određenih točaka i geometrijskih elemenata (prijelomnica, linija oblika i površina isključenja) potrebnih za prikaz Zemljine površine. Sastoji se od niza točaka koje su povezane linijama koje označavaju razinu visine. Slojnice na DMT-u omogućuju vizualizaciju topografije te olakšavaju razumijevanje reljefa. DMT se koristi pri proizvodnji izohipsa na TK25, kao osnova za rektifikaciju DOF5, za izradu kalkulacija vezanih za idejni dio projekta te može biti korišten i u svrhe analiza reljefa, sjenčanje nagiba, izračun ekspozicije itd. DMT treba biti korišten s posebnom pažnjom kod projekata s iznimno visokim zahtjevima u pogledu točnosti, vodeći računa o mjerilu snimanja iz zraka.

U ovom radu usporediti će se četiri različite metode prikupljanja podataka za izradu DMT-a: topografska karta, Hrvatska osnovna karta, ASTER satelitska snimka i LiDAR. Topografska karta i Hrvatska osnovna karta su tradicionalne metode prikupljanja podataka. Osnovni izvornik za izradu TK25 je aerofotogrametrijsko snimanje, topografski podaci i DMT (Katalog podataka DGU, 2018). ASTER satelitska snimka je satelitska snimka koja koristi stereo-vizualizacijsku tehniku za izradu DMR-a (www 1). LiDAR (Light Detection and Ranging) je napredna tehnologija koja koristi laser za prikupljanje podataka visoke točnosti (Ghimire 2019).

Korištenje različitih metoda prikupljanja podataka za izradu DMT-a može rezultirati različitim preciznostima i detaljima u prikazu topografije. Ovaj rad ima za cilj utvrditi koja od navedenih metoda prikupljanja podataka daje najbolje rezultate za izradu DMT-a. Za obradu i analizu podataka koristiti će se računalni program ArcGIS 10.

Kroz detaljnu analizu korištenih sustava istraživanja, područja istraživanja, metode istraživanja i rezultate, u ovom radu usporediti će se preciznost i kvaliteta DMT-a dobivenog svakom od navedenih metoda prikupljanja podataka. Konačni cilj ovog istraživanja je dati preporuku o najboljoj metodi prikupljanja podataka za izradu DMT-a.

2. DIGITALNI MODEL TERENA

2.1. Definicija

1958. godine Charles Leslie Miller i Robert Arthur Laflamme definirali su pojam DMT-a (eng. DTM – Digital Terrain Model). Prema njima DMT je statistički prikaz kontinuiranih površina reljefa pomoću velikog broja odabranih točaka sa poznatim x, y i z koordinatama u određenom koordinatnom sustavu.

Zbog lakšeg razumijevanja tematike opisati će se definicije drugih autora u kronološkom slijedu:

- digitalni model terena je digitalni prikaz površine Zemlje pogodan za računsku obradu, a koji se sastoji od skupa točaka te iste površine određenih pomoću X, Y i Z koordinata i prikladnim programom za njihovu obradu (Stefanovic i dr. 1977.).
- digitalni model terena je dio velikog informacijskog sustava koji uključuje pojam, modele, metode i način sakupljanja, procesiranja i prezentacije informacija o reljefu (Sharif & Makarovic 1989).
- digitalni model terena je topografski prikaz terena izrađen u obliku mreže obrojčanih četverokuta, kod kojeg svaka točka mreže predstavlja koordinate terena X, Y, Z (Durrstein 1992).
- digitalni model terena (DMT) je skup točaka nekog dijela površine Zemlje čije su koordinate uređene i spremljene na medij koji omogućava računsku obradu (Kušan 1994).
- digitalni model terena (DMT) je digitalni prikaz površine terena koji daje visine kao osnovni podatak preko pravokutne rešetke točaka (Hunter i Goodchild 1997; Wechsler 2003).
- složeniji koncept koji uz visinske podatke uključuje i druge GIS objekte poput rijeka i prijelomnica, a može uključivati i izvedene oblike poput nagiba, ekspozicije i vidljivosti. U užem smislu predstavlja reljef terena. Obično se DTM odnosi na visinu samog terena (El-Sheimy i dr. 2005).
- skup položajno (i visinski) određenih točaka i geometrijskih elemenata (prijelomnica, linija oblika i površina isključenja) potrebnih za prikaz Zemljine površine (Frančula i Lapaine 2008).
- digitalni opis površine terena pomoću skupa visina iznad 2D točaka koje se nalaze na referentnoj površini (Hirt 2014).

Svi navedeni autori dijele slična stajališta, iz čega se može izvući zaključak koji govori da je DMT prikaz određene površine terena, određen pomoću 3 koordinate (X,Y,Z), pohranjen digitalno te pogodan za računsku obradu.

2.2. Povezani pojmovi

Pojmovi koji se često pojavljuju te u određenom stupnju miješaju s digitalnim modelom reljefa

(eng. Digital terrain model - DTM) su:

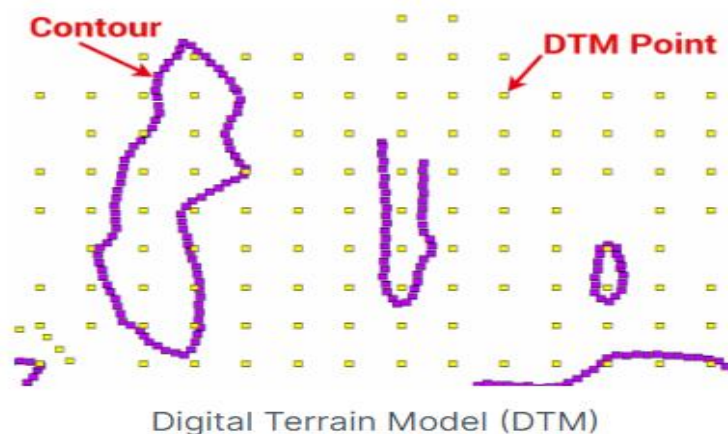
1. DMV – digitalni model visina (eng. Digital elevation model – DEM)
2. DMP – digitalni model površina (eng. Digital surface model – DSM)

Iako su pojmovi slični i imaju zajedničke karakteristike, bitno ih je razlikovati te objasniti njihove posebnosti.

DMT u nekim zemljama poistovjećuje se s digitalnim modelom visina. S tog stajališta DMT predstavlja određenu visinsku površinu „gole“ Zemljine površine. U SAD-u i drugim svjetskim državama postoji druga definicija DMT-a. Prema drugoj definiciji DMT je skup vektorskih podataka načinjen od skupa jednako udaljenih točaka i prirodnih svojstava kao što su grebani i rijeke (slika 1) (www 2, 2022).

Tipične upotrebe Digitalnog modela reljefa su (www 3):

- Praćenje i modeliranje toka vode ili zemljane mase (npr. klizišta)
- Izrada reljefnih karata
- Izrada fizičkih modela
- Analize terena u geomorfologiji
- Rektifikacija fotografija iz zraka ili satelitskih snimaka
- Izdvajanje parametara terena



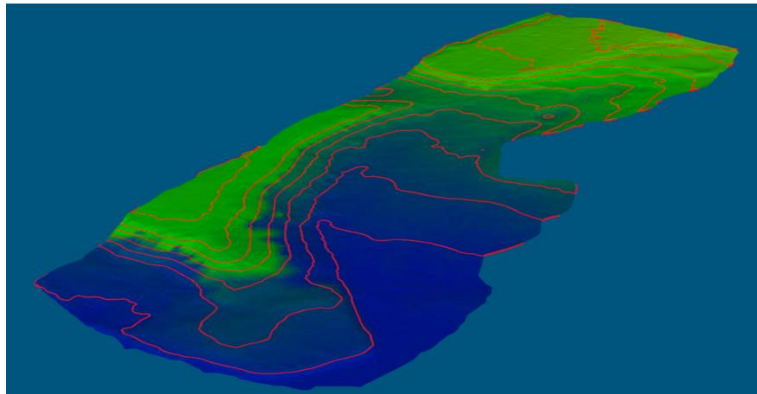
Slika 1. Prikaz Digitalnog modela reljefa pomoću slojnica (Izvor: GISGeography, DEM, DSM & DTM Differences – A Look at Elevation Models in GIS <https://gisgeography.com/dem-dsm-dtm-differences/> (Pristupljeno 5.4.2023.))

Digitalni model visina je rasterski oblik Zemljine površine koji isključuje sve ono što je izgrađeno (građevine, ceste, mostove,...), također i ono što je prirodno (drveće i drugi oblici vegetacije) (slika 2) (www 2, 2022).

Digitalni model visina opisali su mnogi internacionalni autori, a u ovom radu istaknut će se nekoliko definicija različitih autora:

- podskup DMT-a i njegova najosnovnija komponenta, a obično predstavlja visinske podatke organizirane u obliku matrice (Li i dr. 2005).
- model koji uključuje sve maksimalne visine, uključujući krovove zgrada i krošnje drveća (El-Sheimy i dr. 2005).
- model koji se odnosi na takozvanu topografsku površinu odnosno голу površinu Zemlje bez zgrada i vegetacije (Förstner i Wrobel 2016).

- općeniti naziv koji se upotrebljava za modele izrađene digitalnim modeliranjem terena (DSM i DTM) (Dowman i dr. 2012).



Slika 2. Prikaz Digitalnog modela visina (Izvor: Aevex aerospace, DEM, DSM & DTM: DIGITAL ELEVATION MODEL – WHY IT’S IMPORTANT <https://geodetics.com/dem-dsm-dtm-digital-elevation-models/> (Pristupljeno 12.4.2023.)

Za razliku od DMT-a koji uključuje rijeke, grebene i lomne linije, DMV isključuje sve navedene značajke (slika 2), a posebnu primjenu ima u hidrologiji, mapiranju tla i stabilnosti terena. Koristi se za izradu različitih vrsta karata (topografskih, batimerijskih, geoloških,...) (Singh 2013) (Llames 2022).

Digitalni model površine uključuje u obzir sve ono što je izgrađeno, ali i sve prirodne značajke terena (slika 3) (www 2, 2022).

Model koji sadrži visinske vrijednosti objekata smještenih na terenu. Opisuje prave visine svih objekata (terena, kuća, drveća,...) (Linder 2016).



Slika 3. Prikaz Digitalnog modela površina (Izvor: GIS Resources (Saurabh Singh), Confused Between DEM, DTM and DSM! <https://gisresources.com/confused-dem-dtm-dsm/> (Pristupljeno 16.4.2023.)

Digitalni model površina značajan je za proučavanje vegetacije, detekciju nepoželjnih objekata na avionskim pistama, urbanom planiranju građevina (kako bi nova građevina utjecala na vidno polje stanara), telekomunikacijama (www 2, 2022).

2.3. Izrada DMT-a

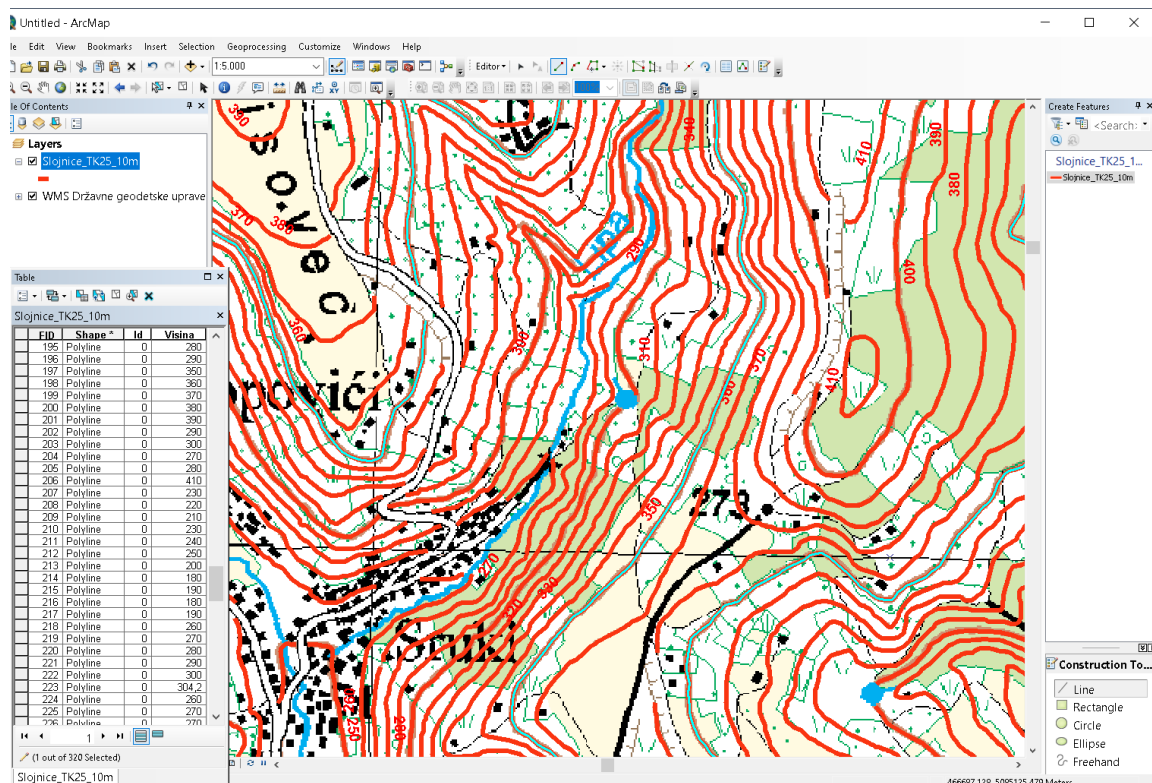
Kompletna izrada DMT-a uključuje 5 faza:

1. prikupljanje podataka
2. upravljanje
3. interpretacija
4. vizualizacija
5. primjena

Prva faza izrade DMT-a, prikupljanje podataka, uključuje tri metode prikupljanja podataka:

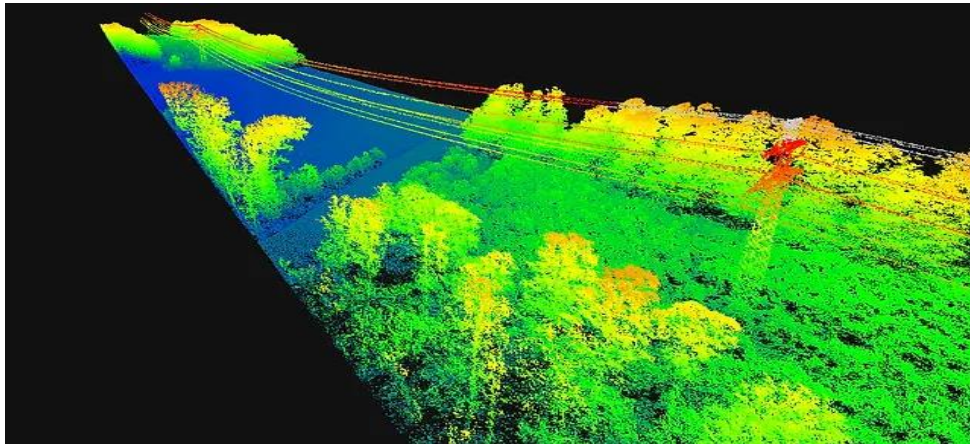
- digitalizaciju i vektorizaciju slojnica (slika 4) na kartama,
- fotogrametriju (aerosnimke, satelitske snimke, radar, LiDAR)
- terensku izmjeru koja uključuje tahimetriju i GPS.

Svaka od navedenih metoda prikupljanja podataka sadrži negativne i pozitivne karakteristike. Metoda digitalizacije i vektorizacije slojnica na topografskim kartama (slika 4) odvija se pomoću topografskih karata prethodno prevedenih u digitalni oblik procesom skeniranja, a zatim se u računalu nakon georeferenciranja i rektifikacije provodi postupak vektorizacije slojnica u programu za vektorizaciju. Pozitivna strana je što su karte široko dostupne svima u različitim mjerilima, a negativna strana je smanjena točnost kao i nemogućnost prikaza većih ili manjih površinskih anomalija između slojnica koje imaju zadanu ekvidistantu ovisno o mjerilu karte. Dvije karte koje će se koristiti u ovom diplomskom radu su topografska karta mjerila 1:25000 (TK25) i Hrvatska osnovna karta (HOK) (Pernar, R., 2022).



Slika 4. Primjer postupka vektorizacije slojnica na računalu

LiDAR (*Light Detection and Ranging*) uređaje ubrajamo u aktivne senzore u daljinskim istraživanjima, a možemo ih podijeliti prema nosaču uređaja na terestričke lidare, lidare na zračnim platformama (bespilotne letjelice, helikopteri, avioni,...) i lidare na svemirskim platformama (Berta 2014). LiDAR kao izvor svjetla koristi laser u ultraljubičastom, vidljivom ili infracrvenom području (www 9). Karakterizira ga visoka preciznost i automatski način rada (slika 5), a točnost mu ovisi o raznim čimbenicima poput kalibracije pojedinih komponenti, gustoći točaka, parametrima leta (za zračne platforme), te o metodama obrade podataka (veliki broj točaka, način filtriranja podataka, i dr.) (www 10).



Slika 5. Rezultat rada LiDAR-a (Izvor: RED DRONE SERVICES (Ruben Ebersold), LiDAR: Was es ist und wie es für die Photogrammetrie genutzt werden kann <https://www.red-services.de/post/lidar> (Pristupljeno 16.4.2023.)

Metode prikupljanja podataka na terenu (nivelir, teodolit, GPS, totalna stanica,...) imaju najveću točnost (nivelman oko 1 mm, tahimetrija 1 mm – 1 m, GPS < 1 m), ali i znatno manji broj izmjerenih podataka, dugo vrijeme prikupljanja podataka i velike troškove.

Druga faza (upravljanje) sastoji se od uređivanja podataka, filtracije, smanjivanja količine podataka, i na kraju se obavlja spajanja više DMT-a.

Treća faza obuhvaća automatski postupak korištenja DMT podataka kroz razne kvantitativne analize reljefa i interpretaciju.

Četvrta faza je vizualizacija koju definiramo kao grafički prikaz DMT-a i svih povezanih informacija. Postoje dva podtipa ove faze: statična i interaktivna.

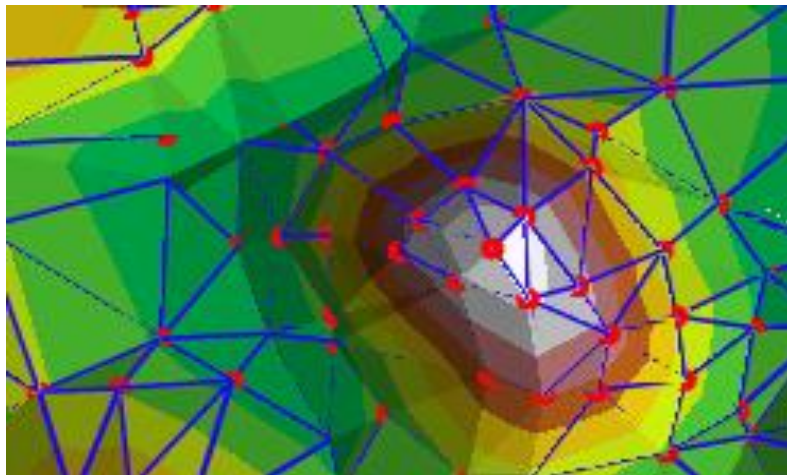
Petu fazu predstavlja značaj i primjena. U petoj fazi se uvodi treća dimenzija što omogućuje prostorno modeliranje i analize. Produkti prostorne analize su sveobuhvatni (neki od produkata su: nagib, ekspozicija, profil terena, zasjenjenost, vidljivost). Grane primjene DMT-a su: biološke, tehničke, građevinarske, geoznanstvenene, vojne, geodetske (Pernar, R., 2022).

Digitalni model terena može se izraditi i uređivati na 3 načina:

1. TIN (Triangular Irregular Network) – nepravilna mreža trokuta
2. GRID – pravilna mreža
3. hibridni model koji objedinjuje značajke TIN-a i GRID-a

TIN (Triangular Irregular Network) je mreža nepravilnih trokuta te predstavlja vektorski oblik podatka. Svaki pojedini trokut sastoji se od bridova i čvorova (x, y, z) koji se ne preklapaju (slika 6). Pozitivno je što ne zahtjeva veliku količinu mjesta za pohranu, prilagodljiv je, pokazuje reljef u različitim rezolucijama, a ovisno o terenu omogućeno je gušće uzimanje

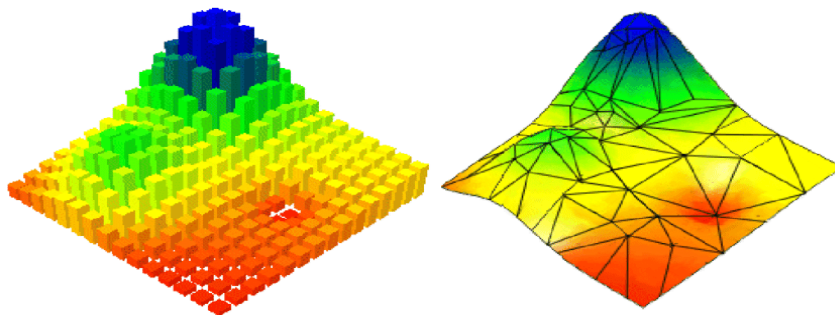
uzoraka mjerenja. Negativne strane TIN-a su da zahtijeva kontrolu i nadzor pri izradi, te snažnija računala zbog veće količine vremena zbog zahtjevnijih matematičkih operacija pri obradi podatka.



Slika 6. Prikaz TIN-a (Izvor: Esri, What is a TIN surface?

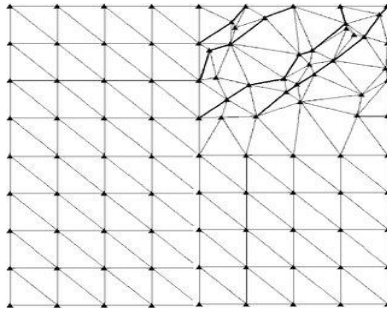
<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/manage-data/tin/fundamentals-of-tin-surfaces.htm>
(Pristupljeno 17.4.2023.)

GRID predstavlja rasterski oblik podatka gdje su podaci spremljeni u obliku pravilne četverokutne mreže, tj. matrice. Matrica se sastoji od mnoštva piksela, a samo je početni piksel određen je x i y koordinatama, dok su ostali pikseli određeni visinama z (slika 7). Ne zahtjeva izuzetno jaka računala. Negativna karakteristika se ogleda u nepostojanju najviše i najniže točke terena (gubi se unutar pravilne mreže), te zahtijeva veći prostor za pohranu ovisno o prostornoj rezoluciji područja koje predstavlja. Postoje dva oblika prikaza: kategorički GRID i GRID u obliku mreže.



Slika 7. Usporedba GRID-a i TIN-a (Izvor: GeoComputation (David Kidner, Mark Dorey & Derek Smith), What's the point? Interpolation and extrapolation with a regular grid DEM
https://www.geog.leeds.ac.uk/groups/geocomp/1999/082/gc_082.htm (Pristupljeno 17.4.2023.)

Hibridni model kao osnovu koristi GRID koji se nadopunjuje TIN-om. Objedinjavanjem obje značajke omogućena je lakša obrada i analiza podataka (slika 8) (Pernar, R., 2022).



Slika 8. Hibridni model (Izvor: ResearchGate (Bisheng Yang, John Wenzhong Shi, Qingquan Li) What's the point? Interpolation and extrapolation with a regular grid DEM <https://www.researchgate.net/publication/220649970> An integrated TIN and Grid method for constructing multi-resolution digital terrain models (Pristupljeno 18.4.2023.)

Konkretno, hibrid struktura čini mogućim i praktičnim za pročišćavanje postojeći GRID, dodavanjem potrebnih pojedinosti regijama od interesa, bez zahtjeva za povećanjem rezolucije cijele mreže ili pretvaranje cijelog modela terena u prikaz temeljen na TIN-u. (Xie, Xiao i dr. 2013).

2.4. Točnost digitalnog modela reljefa

Kao i većina modela, tako i digitalni model terena podliježe raznim pogreškama od kojih su najvažnija vertikalna (visinska) i horizontalna (pozicijska) točnost. Greške se mogu javljati prilikom prikupljanja podataka, budući da se koriste različiti sustavi s različitom točnosti metode prikupljanja. Moguća su i odstupanja od referentnog modela s kojim se uspoređuje izrađeni DMT. Oba modela moraju biti identične prostorne rezolucije, istog geodetskog datuma. Relevantne visinske podatke za Republiku Hrvatsku ima Hrvatska geodetska uprava (Pokupić 2018).

Kontrola kvalitete i točnosti Digitalnog modela reljefa izrazito je bitan faktor cjelokupnog postupka izrade DMT-a. Važno je razumjeti u kojim dijelovima se javljaju pogreške te ih eliminirati na najefikasniji način. Pri većim pogreškama moguće je stvoriti određene algoritme koji će automatski eliminirati pogreške (Krtalić i dr. 2019).

3. DETALJNI OPIS KORIŠTENIH IZVORA PRIKUPLJANJA PODATAKA ZA IZRADU DMT-A

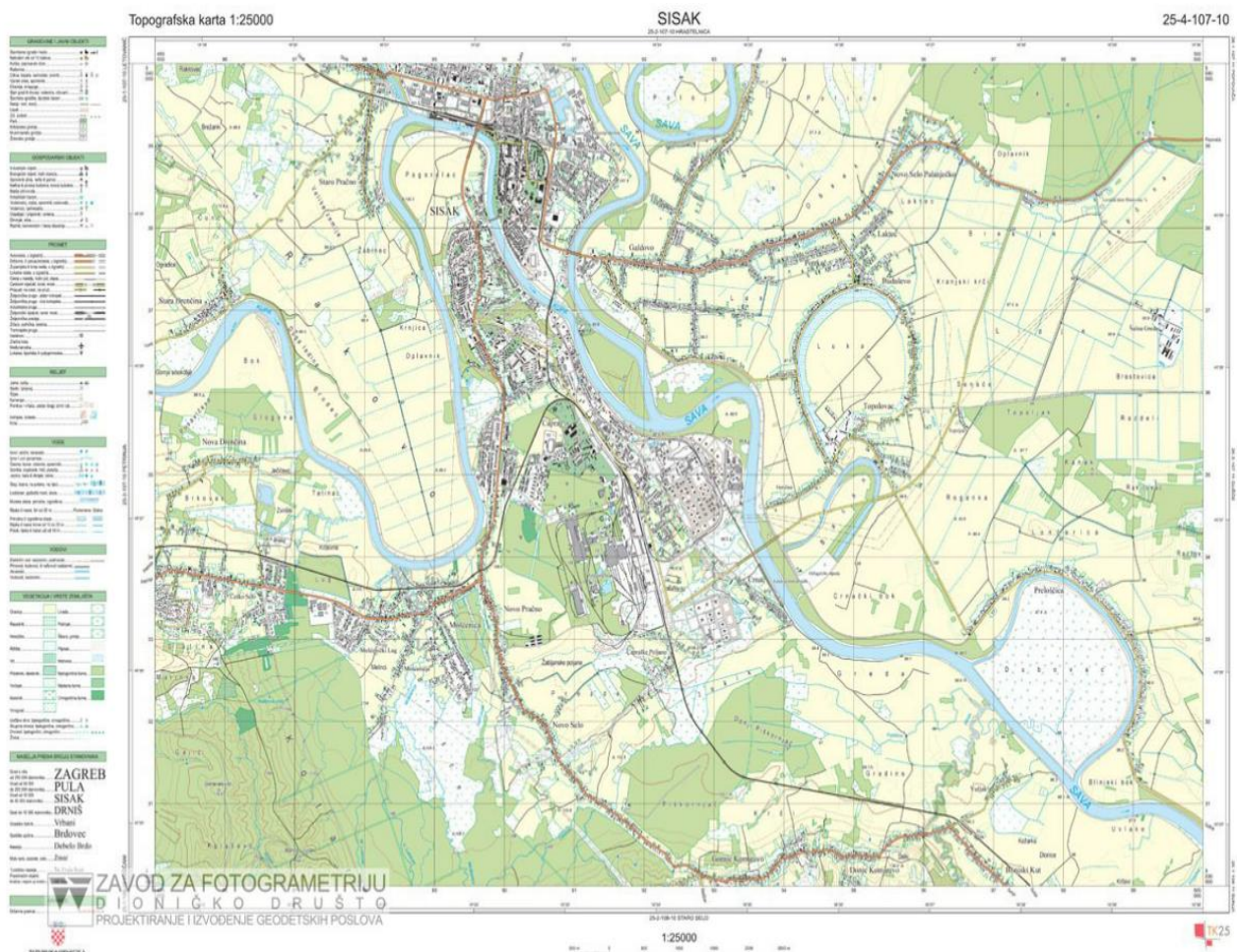
Za potrebe izrade ovog diplomskog rada korištena su četiri izvora podataka:

1. Topografska karta (1:25 000)
2. Hrvatska osnovna karta
3. Satelitska snimka (ASTER)
4. LiDAR

Svaki izvor definiraju posebne karakteristike te će se u sljedećim poglavljima opisati svaki pojedinačno.

3.1. Topografska karta

Topografska karta je vrsta geografske karte koja sadrži mnoštvo informacija o prikazanom području kao što su: oblici reljefa Zemlje, vegetacija, prometnice, naselja, granice, vode. Izrađuje se za područje cijele Hrvatske, a svi objekti na karti prikazani su s jednakom važnosti (slika 9).



Slika 9. Topografska karta mjerila 1:25 000 (Izvor: Zavod za fotogrametriju d.d., Topografske karte <https://zzf.hr/karte/topografske-karte> (Pristupljeno 19.4.2023.))

Kroz određeni vremenski period mijenjale su se kartografske projekcije u kojima su pravljene topografske karte. 1996.-2010. topografska karta izrađivala se u petoj i šestoj zoni Gauss-Krügerove projekcije na Besselovom elipsoidu 1841. Od 2011. godine koristi se nova kartografska projekcija HTRS96/TM na elipsoidu GRS80 (podjela na listove). Bitno je naglasiti da sadrži izohipse, izobate i kote terena. Može se izrađivati u različitim mjerilima: 1:25 000 (slika 10), 1:100 000, 1:250 000, 1:500 000 (Katalog podataka DGU, 2018). U ovom diplomskom radu koristiti će se karta mjerila 1:25 000.

3.2. Hrvatska osnovna karta

Hrvatska osnovna karta je službena karta Republike Hrvatske. Izrađuje se u mjerilu 1:5000. Na karti su prikazani prirodni, ali i izgrađeni objekti zemljine površine (slika 10).



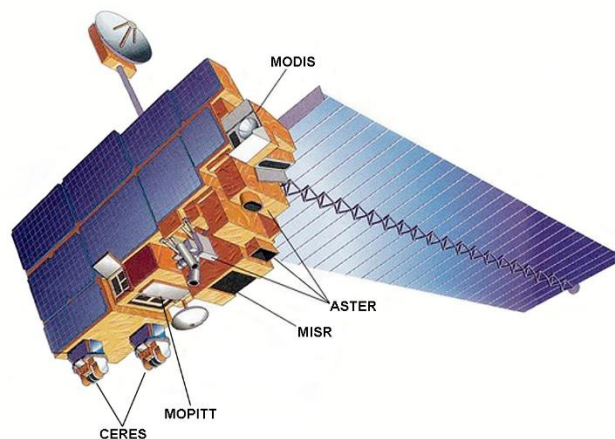
Slika 10. Izgled jednog lista HOK-a Izvor: Geodetska škola, Pregled topografskih karata u RH https://www.geoskola.hr/~gsurina/12_karte%20u%20rh.pdf (Pristupljeno 19.4.2023.)

HOK Republike Hrvatske sastoji se od 9802 listova koji prekrivaju kompletno područje. Površina jednog lista iznosi 675 ha. Bazu izrade HOK-a predstavlja aerofotogrametrijsko snimanje krupnijeg mjerila. Kao i kod topografske karte i Hrvatska osnovna karta prvobitno se izrađivala u Gauss-Krügerovom koordinatnom sustavu, ali je s vremenom prebačena u HTRS96 koordinatni sustav.

Mnoge su primjene HOK-a, od kojih vrijedi istaknuti detaljno prostorno planiranje, infrastrukturna planiranja, stručne uporabe i sl (Katalog podataka DGU, 2018).

3.3. Satelitska snimka (ASTER)

ASTER (Advance Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) je uređaj visoke prostorne razlučivosti izrađen u Japanu i postavljen na NASA-in satelit Terra 1999. godine (slika 11) (www 1).



Slika 11. Grafički prikaz Terra satelit (Izvor: NASA, Terra Spacecraft https://www.nasa.gov/mission_pages/terra/spacecraft/index.html (Pristupljeno 25.3.2023.)

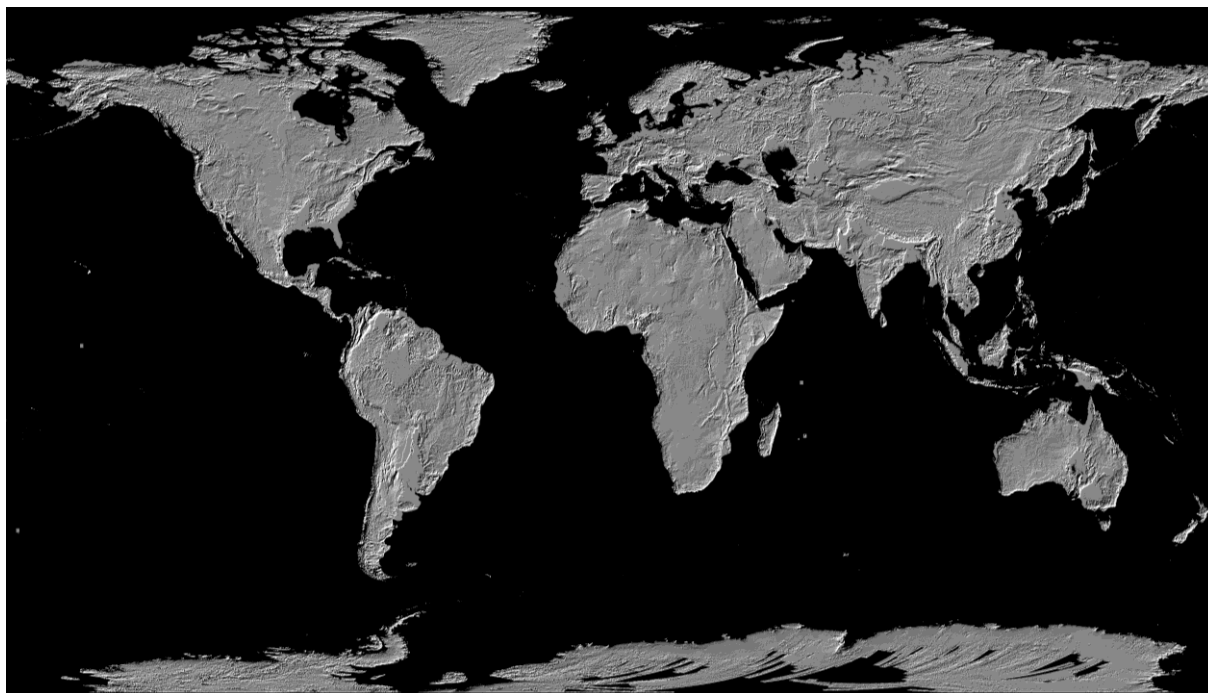
Jedan je od nekoliko instrumenata na satelitu Terra za potrebe proučavanja biogeokemijskih i energetskih sustava na Zemlji. Radi u četrnaest spektralnih kanala elektromagnetskog spektra (od vidljivog do termalnog infracrvenog područja) a prostorna rezolucija se kreće od 15-90m po pikselu (slika 12). ASTER ne skuplja podatke kontinuirano nego osam minuta po orbiti. Glavnu primjenu nalazi u izradi karata površinske temperature kopna, refleksije, nadmorske visine i emisivnosti (www 4).

Band	Reflected Range (μm)	Spatial Resolution (m)	Band Explanation/Uses
1	0.52 - 0.60	15 m	Visible and Near-Infrared
2	0.63 - 0.69	15 m	Visible and Near-Infrared
3N	0.78 - 0.86	15 m	Visible and Near-Infrared
3B	0.78 - 0.86	15 m	Visible and Near-Infrared
4	1.600 - 1.700	30 m	Shortwave Infrared
5	2.145 - 2.185	30 m	Shortwave Infrared
6	2.185 - 2.225	30 m	Shortwave Infrared
7	2.235 - 2.285	30 m	Shortwave Infrared
8	2.295 - 2.365	30 m	Shortwave Infrared
9	2.360 - 2.430	30 m	Shortwave Infrared
10	8.125 - 8.475	90 m	Thermal Infrared
11	8.475 - 8.825	90 m	Thermal Infrared
12	8.925 - 9.275	90 m	Thermal Infrared
13	10.25 - 10.95	90 m	Thermal Infrared
14	10.95 - 11.65	90 m	Thermal Infrared

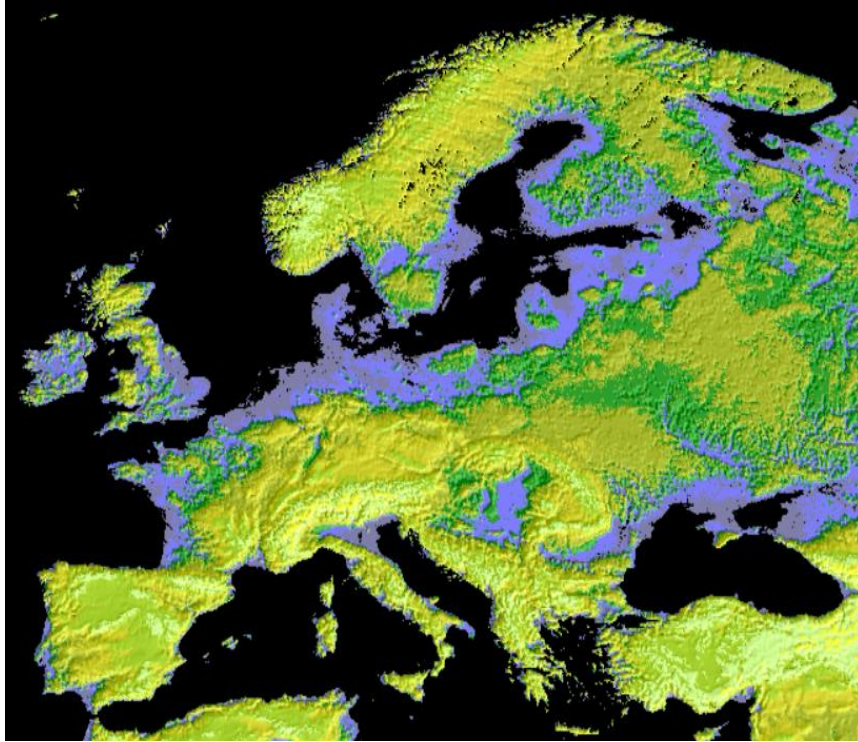
Slika 12. ASTER spektralni kanali (Izvor: Wikipedia, Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

https://en.wikipedia.org/wiki/Advanced_Spaceborne_Thermal_Emission_and_Reflection_Radiometer (Pristupljeno 29.3.2023.)

ASTER uređaj visoke razlučivosti sposoban je proizvesti stereo slike za izradu detaljnih digitalnih modela terena (slike 13 i 14). Rezolucija ASTER DMT-a iznosi 30 m (www 5).



Slika 13. Svjetska DEM karta nastala snimanjem ASTER satelita (Izvor: NASA Jet Propulsion Laboratory, GDEM <https://asterweb.jpl.nasa.gov/images/GDEM-10km-BW.png> (Pristupljeno 28.4.2023.)

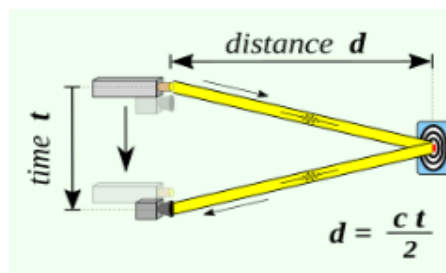


Slika 14. DMT prikazan u boji za područje Europe nastao snimanjem ASTER satelitom (Izvor: NASA Jet Propulsion Laboratory, GDEM <https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp> (Pristupljeno 28.4.2023.))

ASTER globalni digitalni elevacijski model objavljen je 2009. godine. Pokrio je 99% Zemljine površine te se smatra najcjelovitijim mapiranjem Zemlje. Nastao je spajanjem 1,3 milijuna snimki u vidljivom i bližem infracrvenom području uporabom posebne metode stereoskopskih korelacijskih tehnika. (www 4) (www 5).

3.4. LiDAR

LiDAR (Light Detection and Ranging) je aktivni senzor koji se koristi u daljinskim istraživanjima. Radi na principu odašiljanja laserskih zraka (ultraljubičasto, vidljivo ili blisko infracrveno svjetlo) do objekata, pri čemu se mjeri vrijeme koje je potrebno reflektiranoj svjetlosti da se vrati do prijammnika (slika 15) (Ghimire 2019).



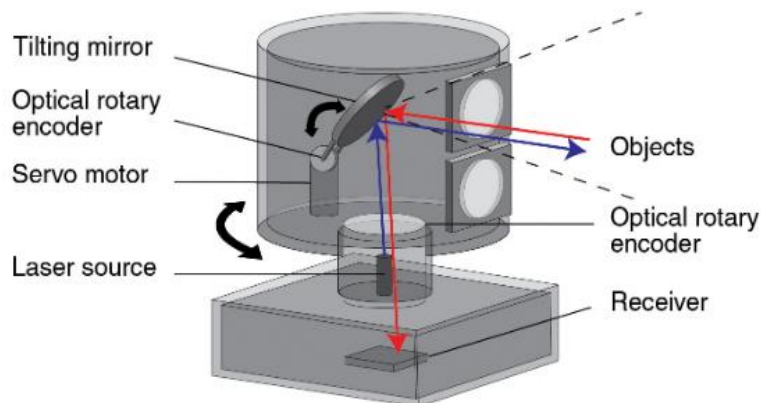
Slika 15. Način rada LiDAR-a uređaja (Izvor: Wikipedia, Time-of-flight camera https://en.wikipedia.org/wiki/Time-of-flight_camera (Pristupljeno 15.4.2023.))

Laserska zraka se odbija od prepreka na koje naiđe (vegetacija, objekti, tlo...) pri čemu se reflektirana povratna zraka bilježi na senzoru. Iz tako prikupljenih podataka dobiva se oblak prostornih točaka koji prezentiraju površinu snimanog prostora. Zbog velikog broja laserskih zraka koje se emitiraju u sekundi (u konkretnom slučaju korištenog LiDAR-a ovog diplomskog rada, broj zraka iznosi 150.000), zajamčena je visoka kvaliteta dobivenog DMT-a zbog činjenice, da će mnoštvo zraka doći do tla i registrirati visinu (Berta 2017).

Može se reći da se prva primjena LiDAR-a za kartiranje kroz povijest dogodila 1971. godine, gdje su astronauti tijekom misije Apollo 15 koristili laser za kartiranje površine mjeseca kada je šira javnost bila upoznata sa mogućnostima LiDAR-a. Prvobitna namjena lidara je bila u meteorologiji za mjerenje oblaka i onečišćenja.

LiDAR se sastoji od nekoliko komponenti (slika 16) (LiDAR, Wikipedia):

1. Laser
2. Fazni nizovi
3. Mikro elektromehanički strojevi
4. Skener i optika
5. Elektronika foto detektora i prijemnika
6. Pozicijski i navigacijski sustav
7. Senzor

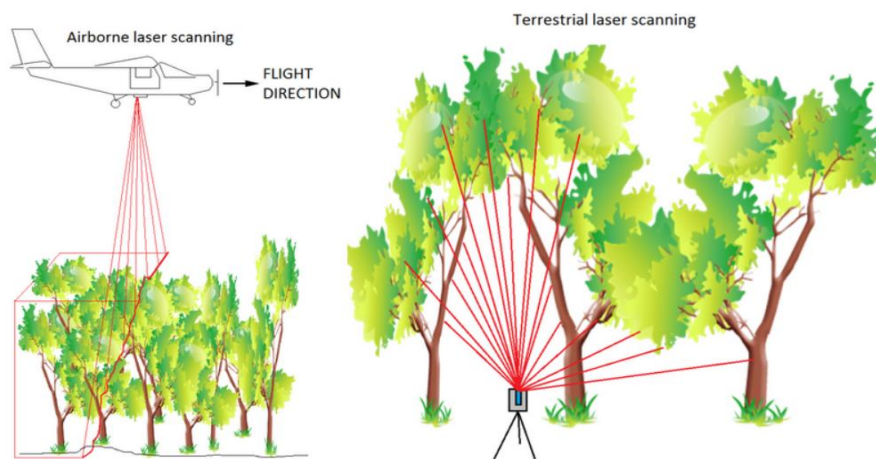


Slika 16. Dijagram LiDAR optike i kodera (Izvor: 50 RENISHAW apply inovacion, Optical encoders and LiDAR scanning <https://www.renishaw.com/en/optical-encoders-and-lidar-scanning--39244> (Pristupljeno 1.5.2023.)

S obzirom na položaj LiDAR-a, tj. na mjesto montaže, može se izvesti sljedeća podjela (Berta 2017):

1. SLS (Spaceborn Laser Scanning) – lasersko skeniranje iz svemira
2. ALS (Airborne Laser Scanning) – lasersko skeniranje iz zraka
3. TLS (Terrestrial Laser Scanning) – lasersko skeniranje sa zemlje

Terestrički Lidar se koristi za manja područja sa velikim brojem prikupljenih podataka, dok zračni pokriva veće površine uz manji broj prikupljenih podataka (slika 17). (www 6).



Slika 17. Razlika rada terestričkog i zračnog LiDAR-a (Izvor: AWF-WIKI [Forest Inventory Remote Sensing], 3D- Terrestrial laser scanning http://wiki.awf.forst.uni-goettingen.de/wiki/index.php/3D-Terrestrial_laser_scanning (Pristupljeno 5.5.2023.)

LiDAR nalazi primjenu u mnogim različitim granama: geodezija, nadzor, seizmologija, šumarstvo, geomorfologija, geografija, lasersko kartiranje i sl. (www 7). Za ovaj diplomski rad bitna je primjena LiDAR-a u šumarstvu za potrebe gospodarenja (izmjera visina stabala, prsnih promjera, visine i promjera krošanja, volumena krošanja, pokrovnosti , i dr.), za potrebe kartiranja površina pod erozijom, požarom, i dr. (Ghimire 2019).

LiDAR, čiji podaci su korišteni u ovom diplomskog radu, bio je postavljen na avion Cessna, a snimanje je provedeno 2012 godine za potrebe tvrtke GDi. Visina leta snimanja je iznosila 2000 m, a snimanje je obavljeno Leica ALS-50 II LiDAR-om. Glavne karakteristike snimanja su poprečni preklap koje je iznosio 20% i minimalna gustoća snimanja od 0,5 točaka/m². Snimljeno je 1.500.000.000 točaka na području grada Zagreba (Berta 2017).

3.5. ArcGIS 10

ArcGIS je računalni softver koji se koristi za uređivanje, pregled, upravljanje i analizu geografskih podataka. U vlasništvu je američke tvrtke Esri. Tijekom godina mijenjale su se i nadograđivale korištene verzije. Prva verzija nosila je ime PC ARC/INFO (1987.) i temeljila se na naredbenom retku. Nakon nje, dolaze razne verzije pod imenom ArcView, a 1999. službeno dolazi ArcGIS.

ArcGIS je skup softvera koji se sastoji od:

- ArcMap
- ArcCatalog
- ArcScene
- ArcGlobe
- ArcGIS Pro

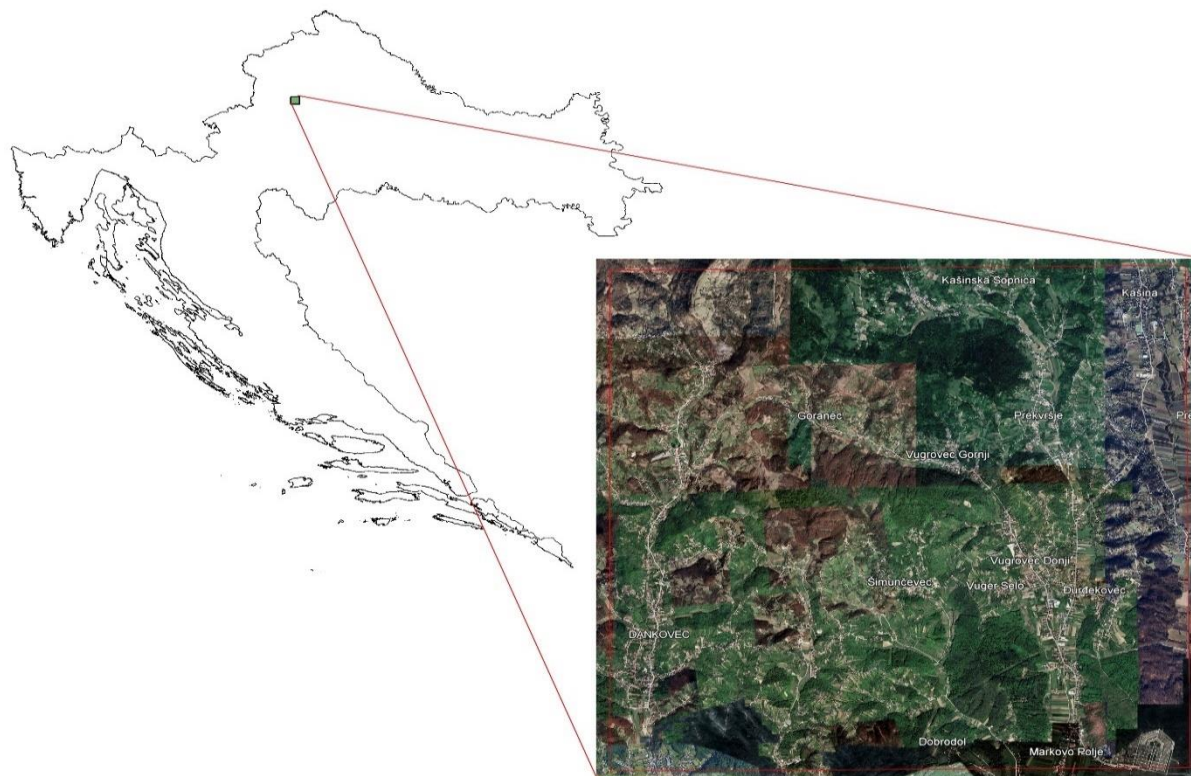
U budućnosti, planirano je stavljanje potpunog primata na ArcGIS Pro koji sadrži najmodernije i nadograđene opcije kao i različite mogućnosti (www 8).

4. CILJ RADA

Cilj ovog diplomskog rada je na jednom manjem segmentu Medvednice, pomoću četiri različita načina iz četiri različita izvora podataka napraviti digitalni model terena (DMT). Korišteni izvori podataka za izradu digitalnog modela reljefa su topografska karta 1:25 000, Hrvatska osnovna karta, DMT dobiven snimanjem ASTER senzora i u konačnici podaci prikupljeni snimanjem LiDAR-om. Objasnit će se postupak izrade svakog pojedinog modela te evaluirati dobiveni rezultati. Također, ukazati će se na sve primjene izrađenih DMT-a iz različitih izvora u šumarstvu. Problematika ove teme ogleda se u činjenici da DMT-ovi nisu u potpunosti precizni. Pogreške su najčešće razdvojene na dva dijela: horizontalnu (pozicijsku) i vertikalnu (visinsku), a razlike u rezultatima nastaju uporabom podataka iz različitih izvora, zbog načina prikupljanja podataka i zbog uporabe različitih računalnih programa. U ovom diplomskom radu za obradu svih podataka korišten je računalni program ArcGIS 10.

5. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Područje istraživanja ovog diplomskog rada uključuje jedan segment obronaka Medvednice (Zagrebačke gore) (slika 18).



Slika 18. Prikaz područja istraživanja

Zagrebačka gora ili Medvednica je planina koja se proteže kroz 3 županije: Grad Zagreb, Zagrebačku županiju i Krapinsko-zagorsku županiju. Proteže se u dužini 42 km, smjer sjeveroistok – jugozapad. Najveći vrh ove planine je Sljeme (1033m), koji je ujedno i najpoznatiji po utrci svjetskog skijaškog kupa „Snježna kraljica“. Park prirode Medvednica poznata je po raznolikoj flori i fauni. Osim bogatih i raznolikih šuma koje prekrivaju planinu, također postoji 91 strogo zaštićena biljna vrsta. Uočeno je postojanje dvanaest šumskih zajednica te osam posebnih rezervata šumske vegetacije (Medvednica, Park prirode).

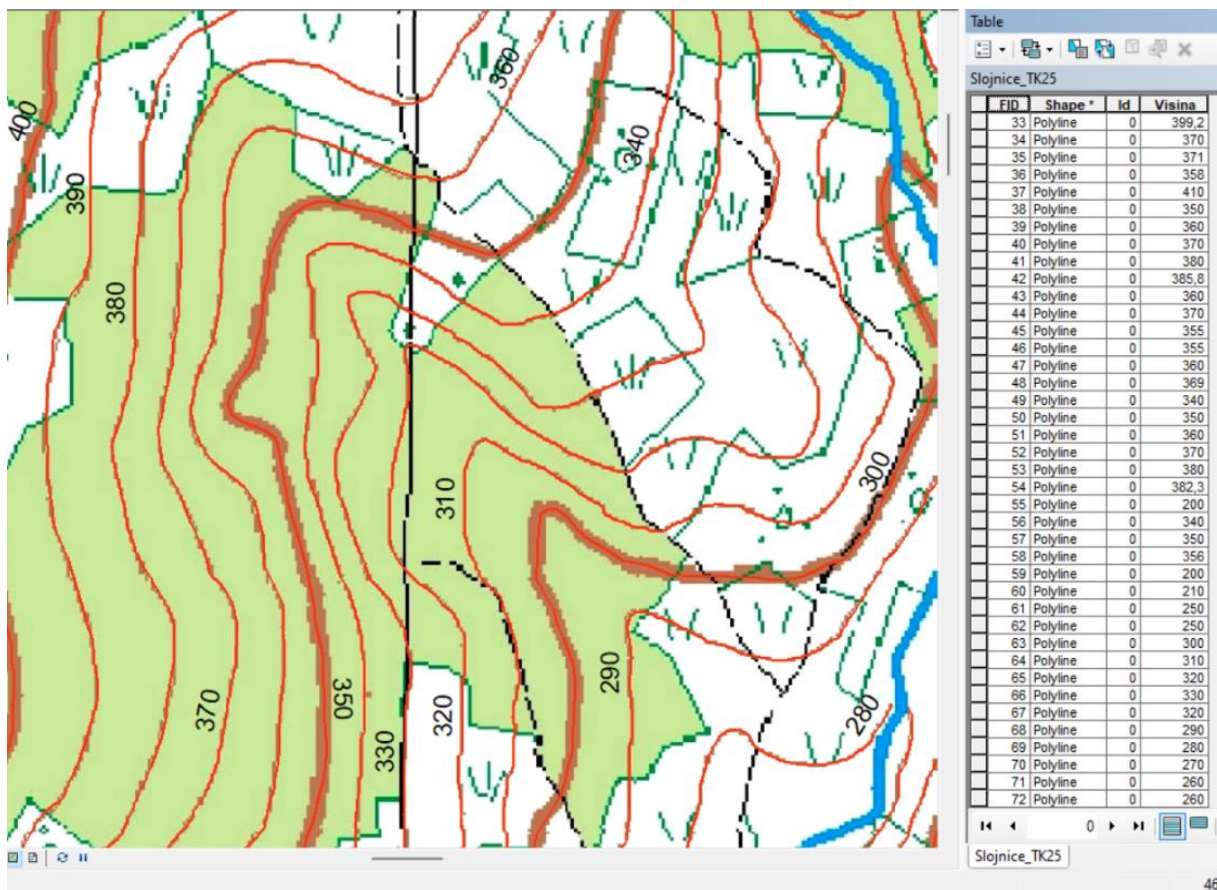
Naselja koja se nalaze na području istraživanja Đurđekovec, Gornji i Donji Vugrovec, Čučerje, Prekvršje i Šimunčevac.

6. METODE ISTRAŽIVANJA

Kao što je već ranije definirano, korištena su četiri različita izvora podataka: topografska karta, Hrvatska osnovna karta, ASTER DEM i LiDAR. Zbog toga, metode istraživanja biti će podijeljene u četiri različita potpoglavlja. Opisati će se cjelokupni proces dobivanja digitalnog modela reljefa. Također, prije nego što se opiše svaka pojedina metoda, nužno je objasniti princip rada računalnog softvera u kojem je napravljen DMT.

6.1. Vektorizacija slojnice na topografskoj karti

Proces kreiranja digitalnog modela reljefa pomoću topografske karte započeo je učitavanjem topografske karte mjerila 1:25000 u računalnom softveru ArcGIS 10 u službeni koordinatni sustav HTRS96/TM koji se upotrebljava za Republiku Hrvatsku. Proces je otpočeo kreiranjem vektorskog oblika podatka pomoću vektorizacije slojnice (slika19). Ekvidistantna je iznosila 10m te su se podaci o visinama unosili u kreiranu atributnu tablicu te na taj način pridružili podatak o visini za svaku vektoriziranu slojnicu.



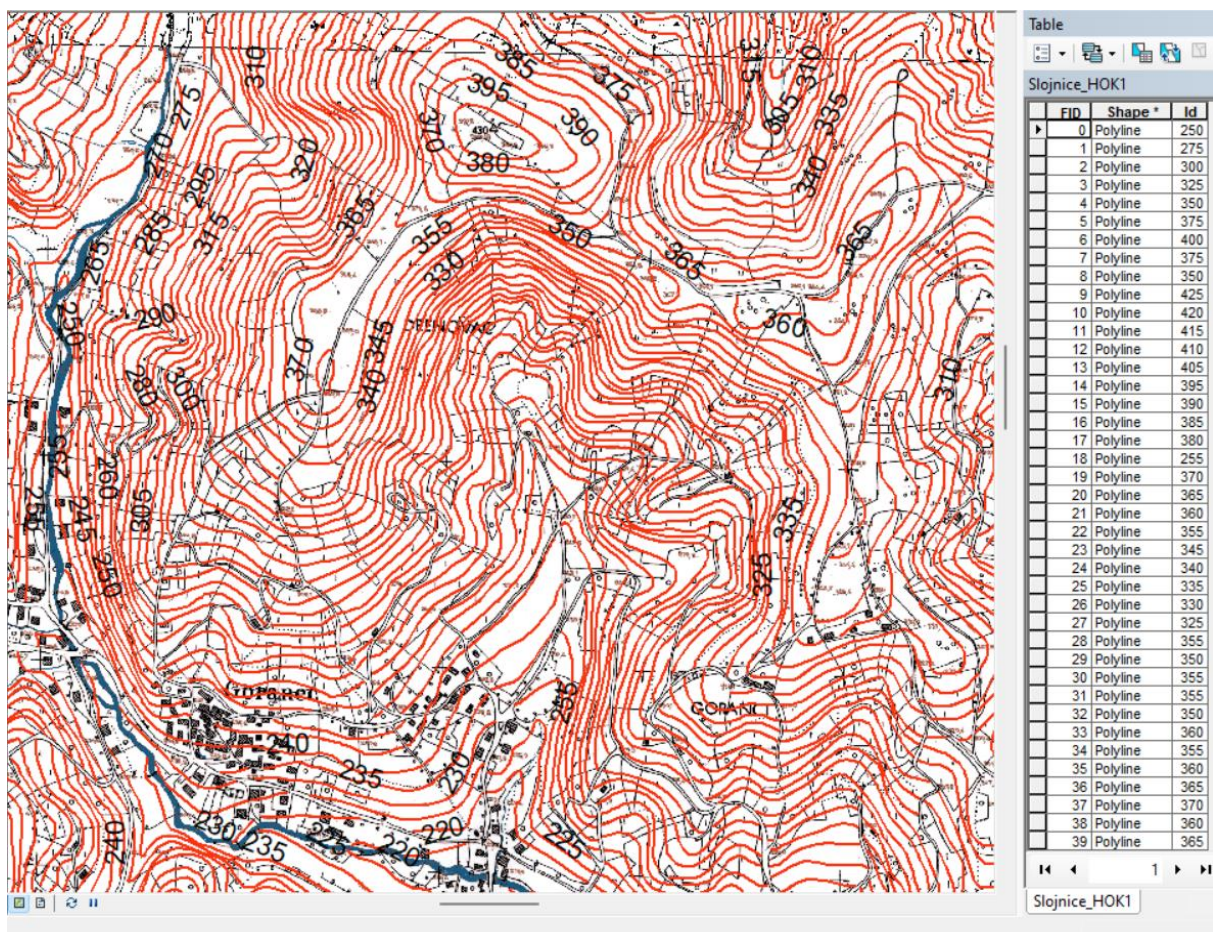
Slika 19. Prikaz postupka vektorizacije na TK25 i atributna tablica sa popunjenim podacima o visinama za svaku pojedinu slojnicu

Izdvojene slojnice i podaci o njihovim nadmorskim visinama ulazni su podaci za izradu DMR-a. Nakon što su se sve slojnice vektorizirane, dolazi zadnji dio procesa, tj. izrada DMR-a. Prvi način predstavlja kreiranje digitalnog modela reljefa u vektorskom TIN modelu u programu

ArcMap pomoću opcije 3D Analyst/Create TIN iz slojnica kreira TIN model terena. Sljedeći korak nakon izrade TIN modela predstavlja kreiranje GRID modela opcijom 3D Analyst/Conversion/TIN to Raster, čime je proces kreiranja DMT-a na oba načina kompletan.

6.2. Vektorizacija slojnica na Hrvatskoj osnovnoj karti

Proces kreiranja DMR-a iz HOK-a započeo je na istom principu kao iz TK25. Glavna razlika bila je u mjerilu karte (1:5000) i činjenici da je ekvidista iznosila 5m, čime je cjelokupni proces izvlačenja slojnica postao vremenski dugotrajniji i tehnički zahtjevniji.



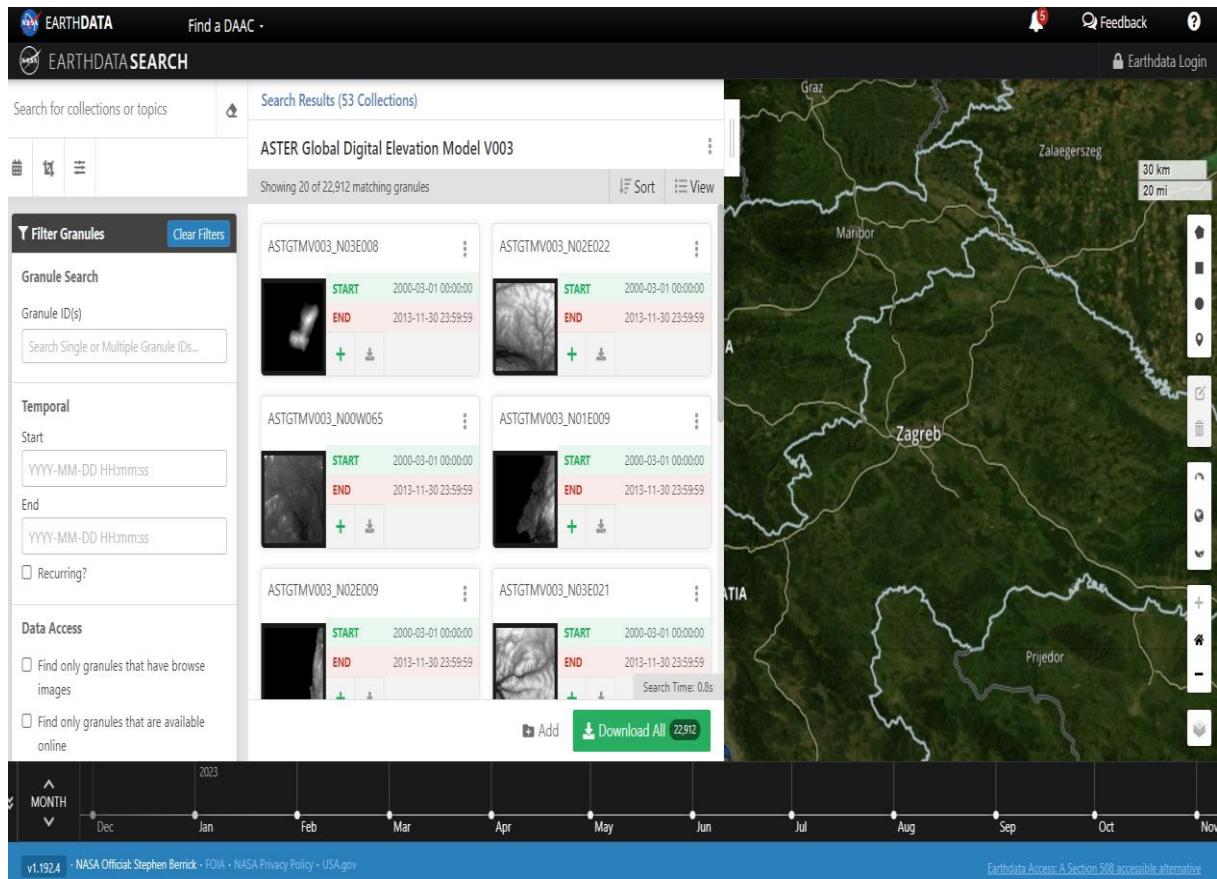
Slika 20. Prikaz vektorizacije slojnica na HOK-u sa atributnom tablicom

Atributna tablica sadržavala je veću količinu podataka, a slojnice su detaljnije prikazivale razvedenost reljefa (slika 20).

Daljnem postupku pristupa se identično kao i kod TK25 te se također dobije pregledna karta vektoriziranih slojnica HOK, a postupak izrade TIN-a i GRID-a identičan je kao i kod prethodne metode izrade.

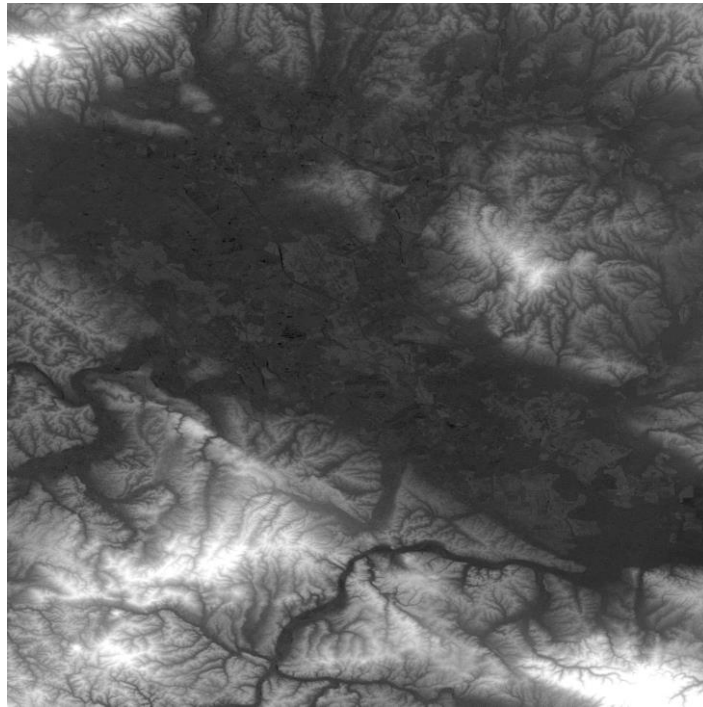
6.3. Preuzimanje i obrada ASTER DEM podataka u rasterskom obliku

Za razliku od ostalih metoda kod ASTERA već postoji GRID nastao kao rezultat snimanja, tako da je postupak išao obrnutim putem. Taj GRID je dostupan za preuzimanje sa web stranica NASA-e (slika 21).



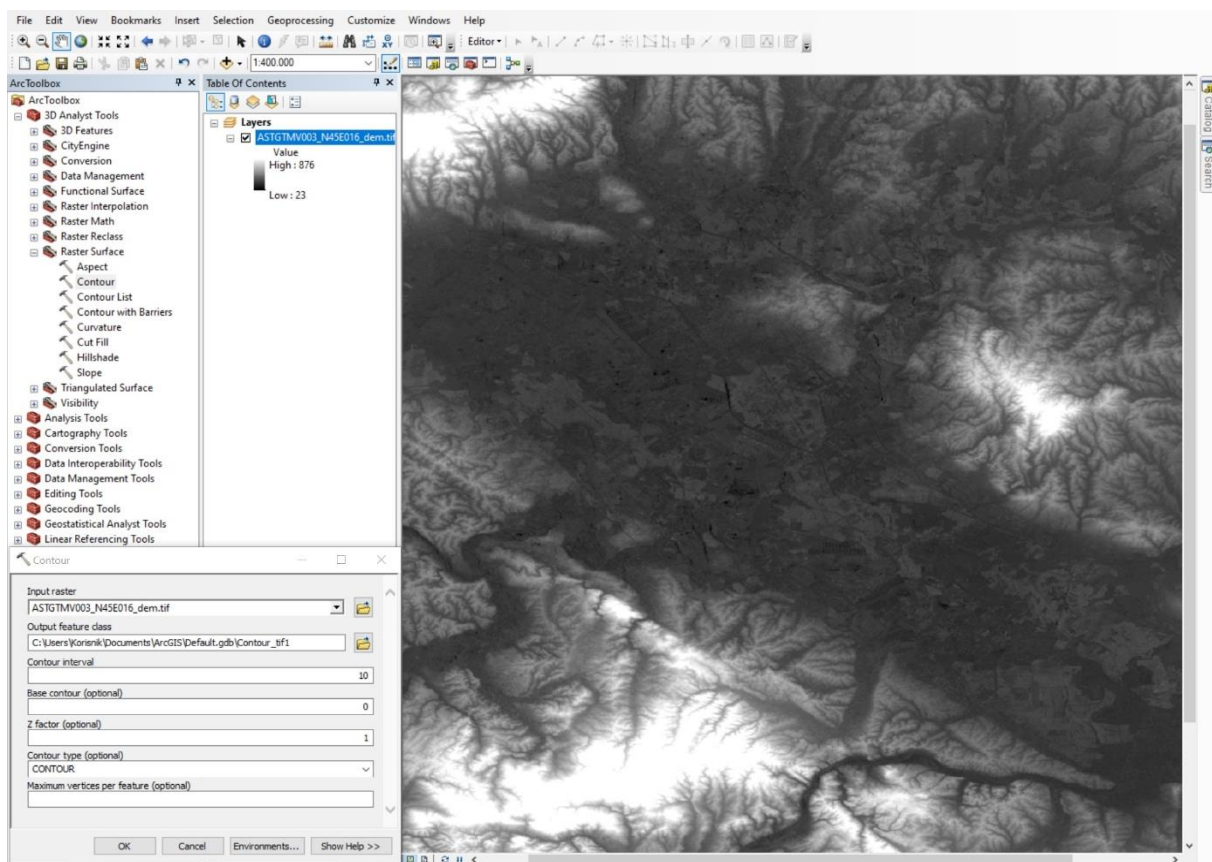
Slika 21. Stranica na kojoj se mogu preuzeti ASTER DEM podaci za odabrano područje
(Izvor: NASA EARTH DATA, ASTER Global Digital Elevation Model
[https://search.earthdata.nasa.gov/search/granules?p=C1711961296-LPCLOUD&pg\[0\]\[v\]=f&pg\[0\]\[gsk\]=-start_date&fi=ASTER&tl=1683665271.049!3!!&fpb0=Space-based+Platforms&lat=45.67455098141608&long=14.295387612731815&zoom=7](https://search.earthdata.nasa.gov/search/granules?p=C1711961296-LPCLOUD&pg[0][v]=f&pg[0][gsk]=-start_date&fi=ASTER&tl=1683665271.049!3!!&fpb0=Space-based+Platforms&lat=45.67455098141608&long=14.295387612731815&zoom=7)
(Pristupljeno 28.4.2023.)

Jedan segment ASTER snimke zauzima površinu od $1^{\circ} \times 1^{\circ}$. Prostorna rezolucija iznosi 30x30m. Za potrebe izrade ovog diplomskog rada korišten je segment imenovan ASTGTMV003_N45E016_dem.tif veličine 17,5MB koji je pokrivaio područje istraživanja (slika 22).



Slika 22. Segment ASTER DEM snimke korišten u izradi diplomskog rada

Iz GRID-a je izdvojen prikaz slojnica pomoću opcije 3D Analyst / Contour. Izdvojene slojnice imaju ekvidistantu od 10m koja je zadana pri ekstrakciji slojnica u programu ArcMap (slika 23).



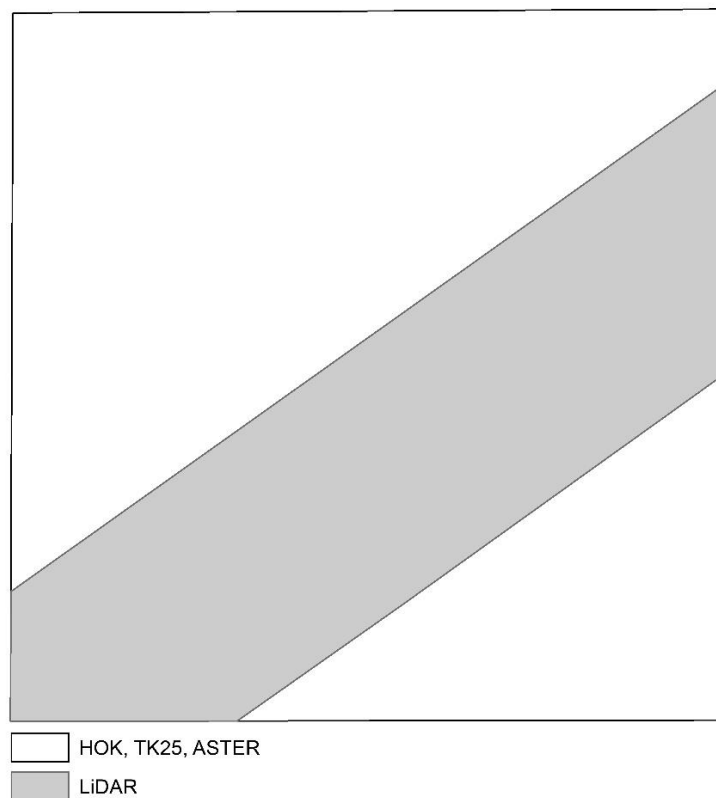
Slika 23. Postupak ekstrakcije slojnica iz ASTER DEM sa zadanom ekvidistantom od 10m

Dobivene slojnice zatim su korištene za usporedbu sa slojnicama dobivenim vektorizacijom na TK25 i HOK, kao i za izradu TIN modela.

TIN model kao i kod prethodnih metoda, izrađen je u programu ArcMap pomoću opcije 3D Analyst / Create TIN, gdje se iz slojnice kreira TIN model terena.

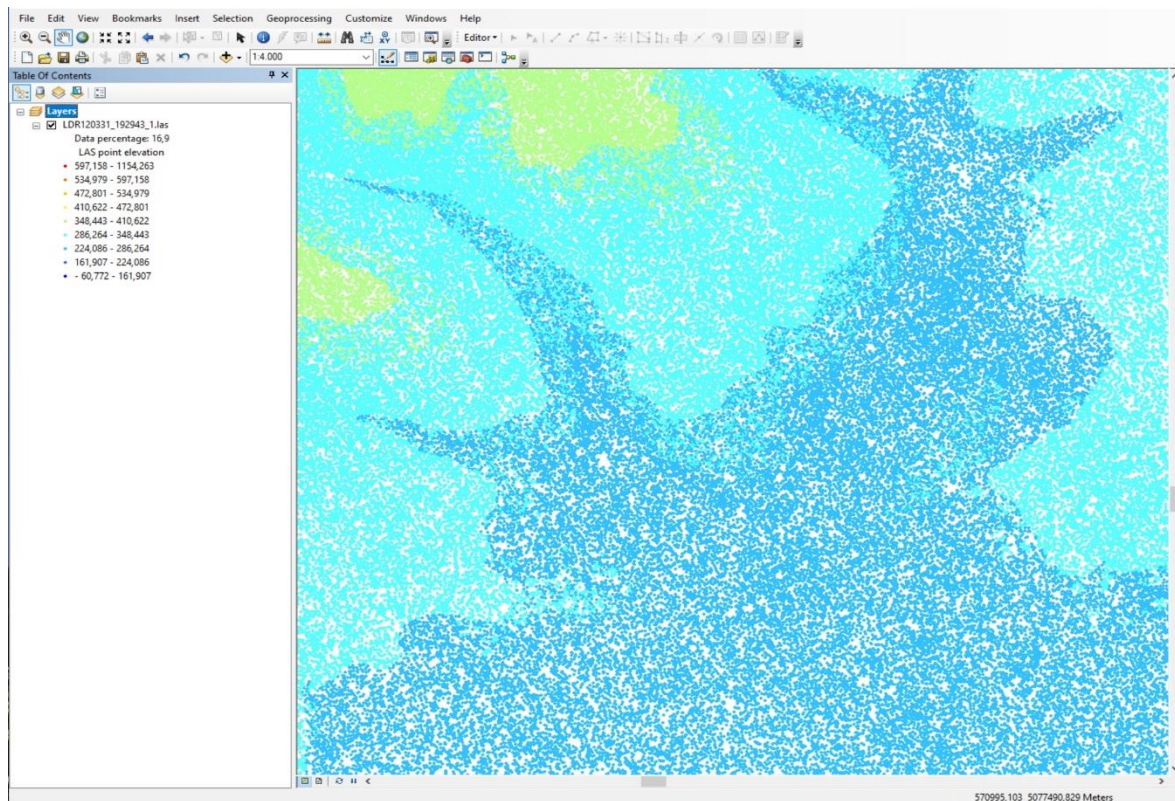
6.4. Obrada podataka snimljenih LiDAR-om

Podaci snimljeni LiDAR-om su imali oblik linije koja se proteže u smjeru sjeverozapad – jugoistok, a snimljeni su u WGS 84 koordinatnom sustavu. Snimljeni podaci preuzeti su iz istraživanja u okviru doktorskog rada (Berta, 2017), a sadržavali su veliki broj točaka i znatno su svojom duljinom premašivali područje od interesa koje se obrađuje u okviru ovog diplomskog rada, no samo su pokrivali dio istraživanog područja u širinu, te su radi toga prikazani kao pruga koja prolazi kroz istraživano područje (slika 24).



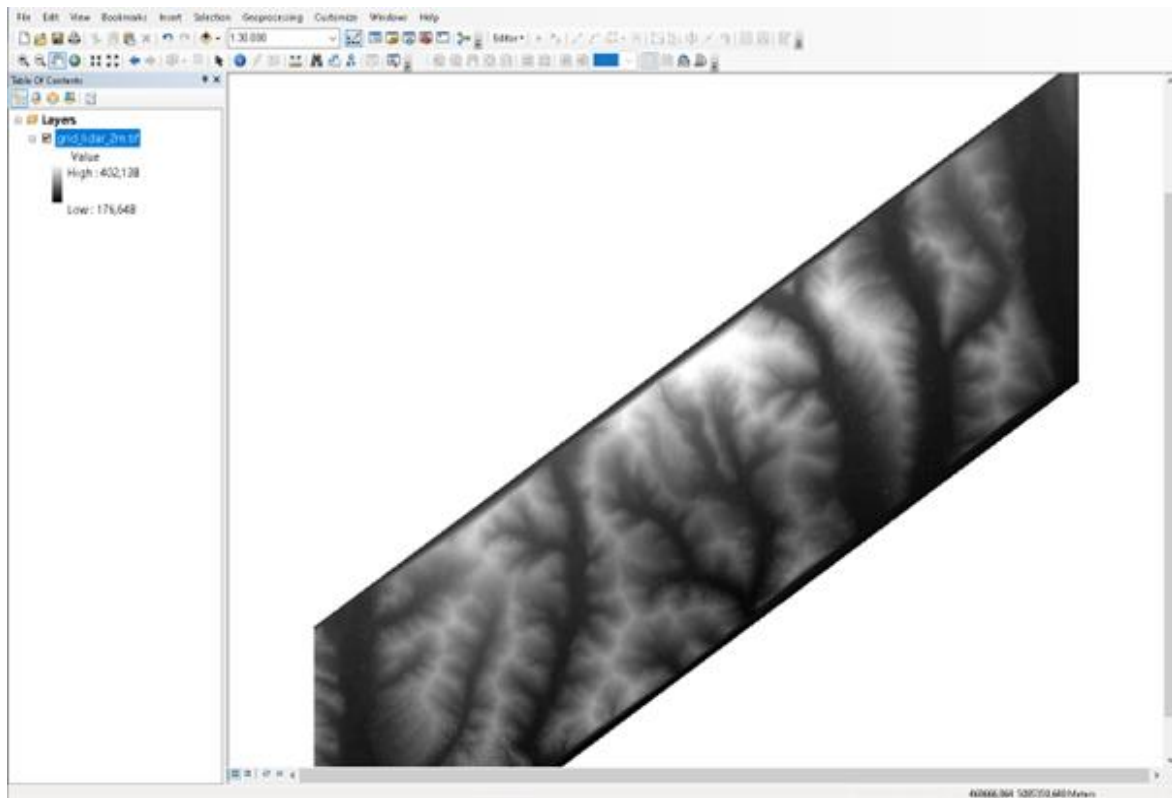
Slika 24. Obuhvat područja istraživanja za TK25, HOK, ASTER i LiDAR

Prilikom učitavanja u ArcMap program za LiDAR podatke prvo je podešen koordinatni sustav na HTRS96/TM (slika 25), a tek nakon toga se pristupilo daljnjoj selekciji i obradi podataka iz oblaka točaka.



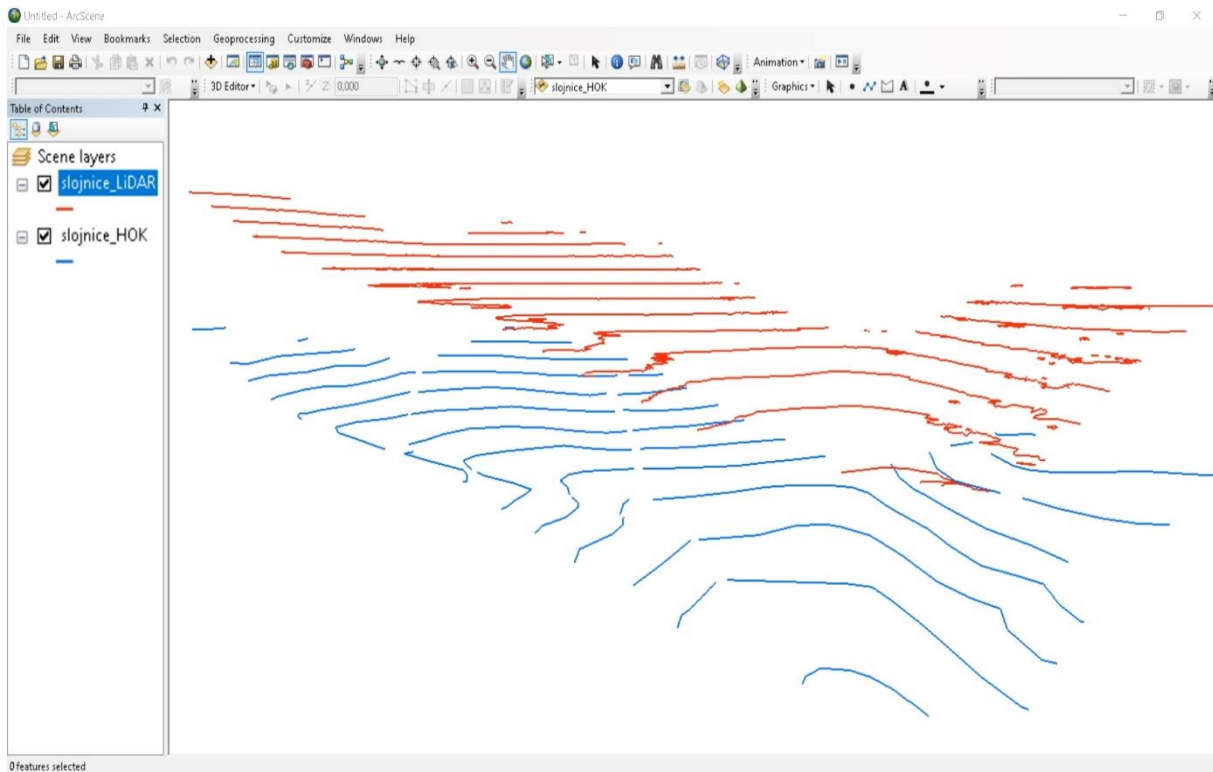
Slika 25. Oblak točaka snimljenih LiDAR-om za dio istraživnog područja

Iz učitanoj oblaku točaka pristupilo se izdvajanju podataka za izradu DMT pomoću opcije Ground koja izdvaja samo točke u razini tla, a sve ostale uklanja. Nakon izdvajanja točaka za tlo iste su transformirane iz točkastog zapisa u rasterski DMT (slika 26).



Slika 26. GRID dobiven iz izdvojenih LiDAR podataka za tlo

Rasterski DMT je pohranjen u prostornoj rezoluciji 2x2 m po pikselu kako bi iz njega ekstrahirali (izdvojili) slojnice na osnovu kojih izrađujemo TIN DMT. TIN digitalni model terena je izrađen na isti način kao i za prethodne metode pomoću opcije 3D Analyst / Create TIN u programu ArcMap. Kvaliteta izdvajanja slojnica iz rasterskog DMT ovisi o rezoluciji piksela rastera iz kojeg se slojnice izdvajaju. Ukoliko je piksel manji, automatskim izdvajanjem možemo dobiti kvalitetniji prikaz slojnicama, te slojnice će imati manju ekvidistantu, a ujedno će i bolje reprezentirati teren.

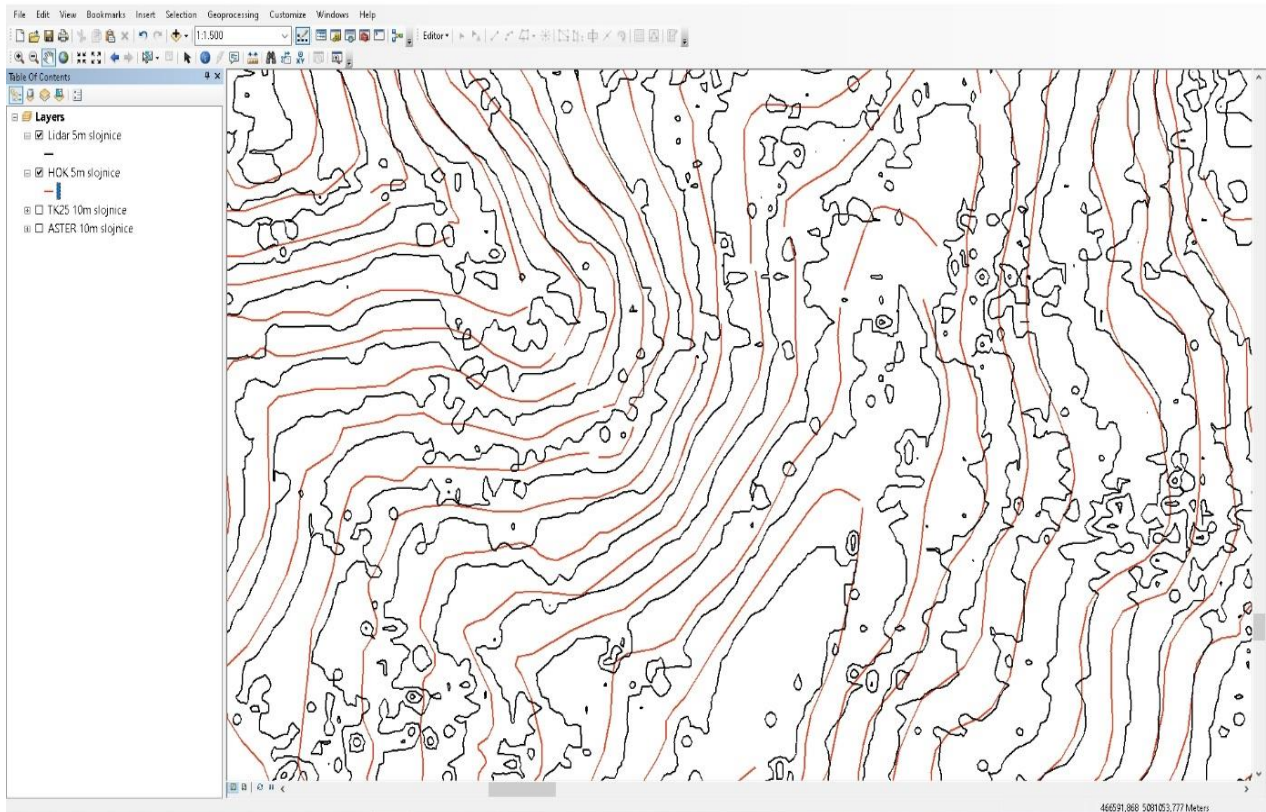


Slika 27. Usporedba slojnica LiDAR- HOK u programu ArcScene

LiDAR pri prikupljanju podataka ima najveću točnost no u ovome je slučaju pokazao veće odstupanje visina u odnosu na ostale metode, a direktno je povezano s drugačijim geodetskim datumom u kojem je obavljeno snimanje te je vidljivo u usporedbi slojnica na slici 27, kao i u kasnijim usporedbama sa ostalim modelima terena prikazanima u rezultatima.

6.5. Usporedba slojnica iz različitih izvora

Dodatno su još uspoređene slojnice dobivene iz različitih izvora (HOK, TK25, ASTER, LiDAR). S obzirom na činjenicu da se metode razlikuju po načinu dobivanja vektoriziranih slojnica, vidljive su razlike među njima, posebno uzimajući u obzir da je za dvije metode presudan ljudski čimbenik, dok su druge dvije metode automatizirane.



Slika 28. Usporedbe slojnica HOK-LiDAR u programu ArcMap

Kao osnova za usporedbu slojnica uzet će se HOK i usporediti će se sa tri preostale metode te izvući zaključci (slika 28).

U softveru ArcGIS, pomoću opcije 3D Analyst/Cut Fill načinjena je usporedba DMT za sve metode izrade reljefa.

7. REZULTATI

U ovom poglavlju predstavljani su rezultati diplomskog rada koji uključuju izrađen digitalni model terena prikazan na dva načina: vektorski u obliku TIN (Triangulated irregular network – nepravilna mreža trokuta) i rasterski u obliku GRID-a. Za rasterski model uspoređeni su podaci za minimalne i maksimalne nadmorske visine i prikazani u tablici 1.

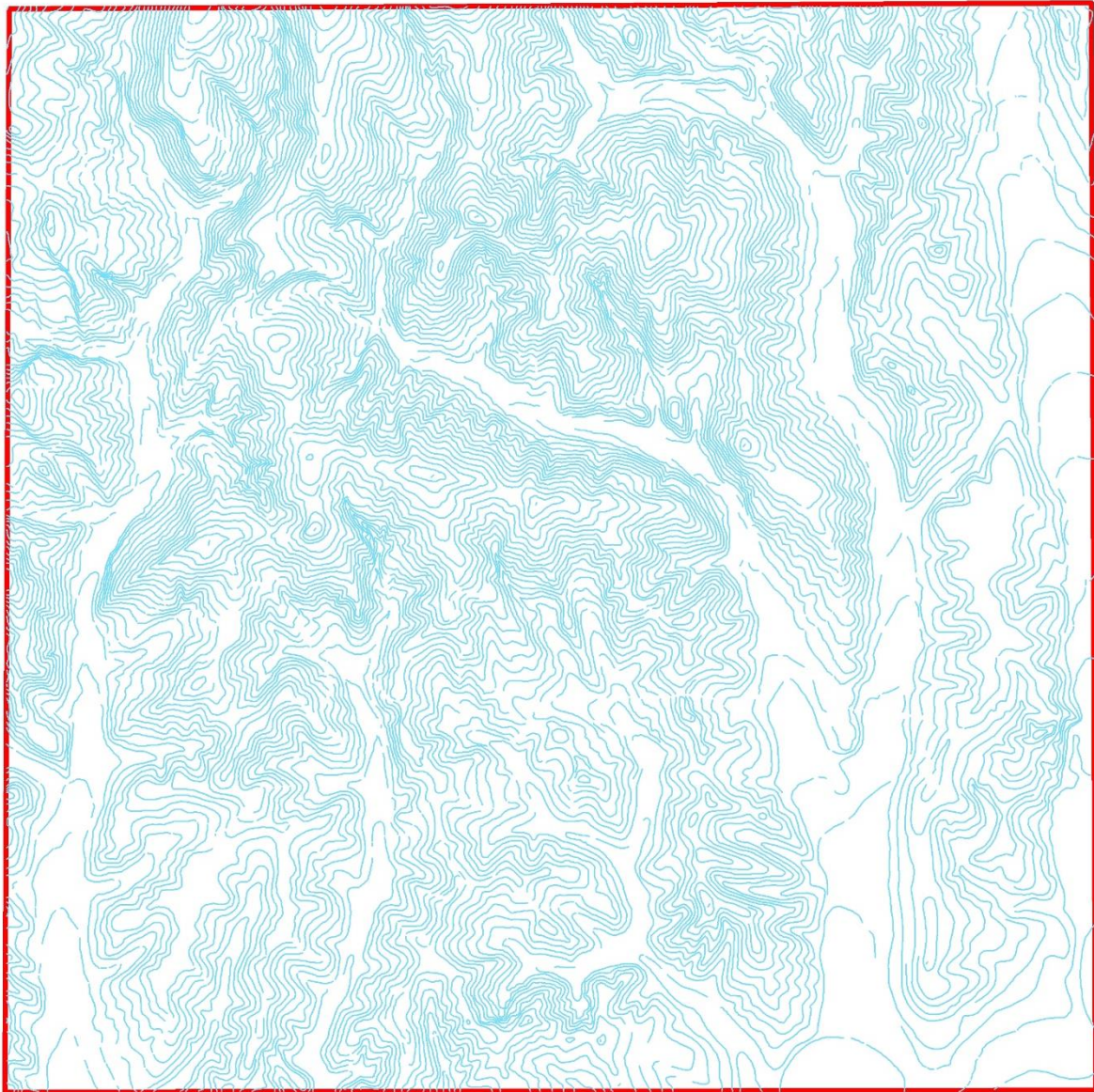
Tablica 1. Prikaz visina za četiri metode prikupljanja podataka

	TK25	HOK	ASTER	LiDAR
Minimalna vrijednost	120 m	135 m	107 m	176 m
Maksimalna vrijednost	450 m	450 m	466 m	402 m

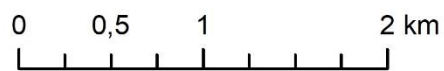
Prikazati će se usporedbe između modela reljefa dobivenih iz različitih izvora pomoću opcije Cut/Fill u ArcMap programu kako bi se ukazalo na dijelove koji pokazuju promjenu u odnosu na drugi način izrade reljefa, te nekoliko primjera usporedbe slojnica iz različitih izvora.

7.1. Digitalni modeli terena izrađeni iz TK25

Kao što je već ranije navedeno u metodama istraživanja, tako će se i u ovom poglavlju prikazati izrađeni modeli iz različitih metoda prikupljanja podataka. Na samom početku prikazat će se grafički prikaz vektoriziranih slojnica, zatim TIN izrađeni model topografske karte i na kraju dolazi GRID model.



— TK25 10m ekvidistanta



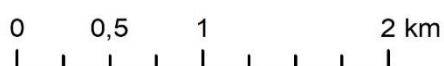
Slika 29. Kartografski prikaz vektoriziranih slojnica na TK25

Za uspjeh vektorizacije slojnica u softveru ArcGIS ljudski faktor je odlučujući. U ovome slučaju slojnice su relativno dobro vektorizirane te daju vjeran prikaz reljefa (slika 29).



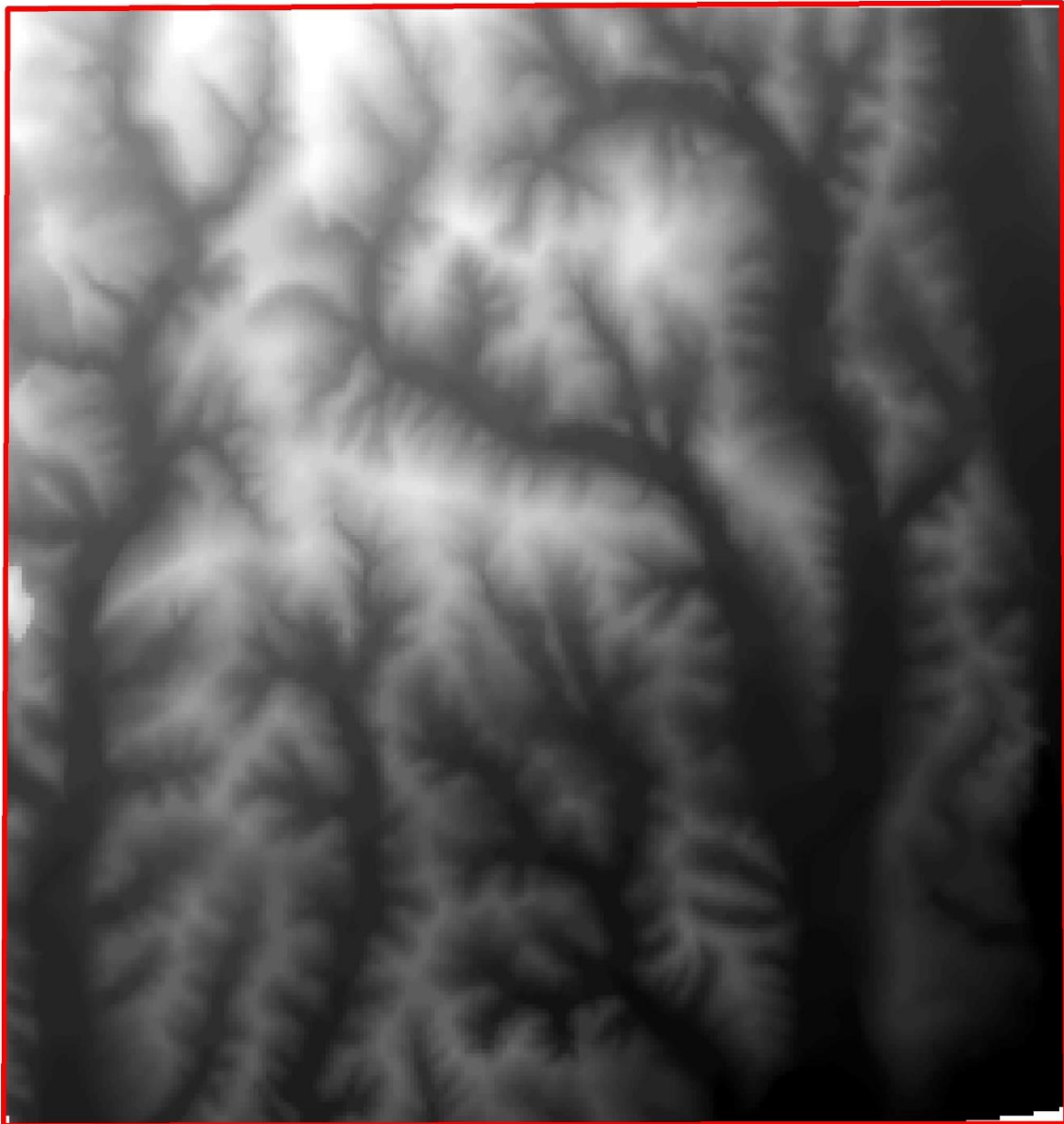
TK25

	413 - 450
	377 - 413
	340 - 377
	303 - 340
	267 - 303
	230 - 267
	193 - 230
	157 - 193
	120 - 157



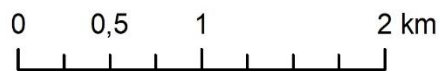
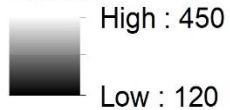
Slika 30. TIN model dobiven iz vektoriziranih slojnica na TK25

TIN model ovisi o kvaliteti vektoriziranih slojnica. Raspon visina podijeljen je u devet kategorija. Maksimalna visina prema klasifikaciji iznosi 450m, dok minimalna iznosi 120m. Grafički prikaz vjerno prikazuje razvijanje reljefa i jasno su odjeljene kategorija visina različitim bojama (slika 30).



TK25

visine



Slika 31. GRID model dobiven iz vektoriziranih slojnica na TK25

GRID model jasno prikazuje razvijanje terena. Područja viših nadmorskih visina poprimaju svjetliju nijansu, dok ona područja koja imaju manje vrijednosti poprimaju tamniju (crnu) nijansu. Usporedbom vidimo da se TIN model i GRID model podudaraju te daju dobre rezultate (slika 31).

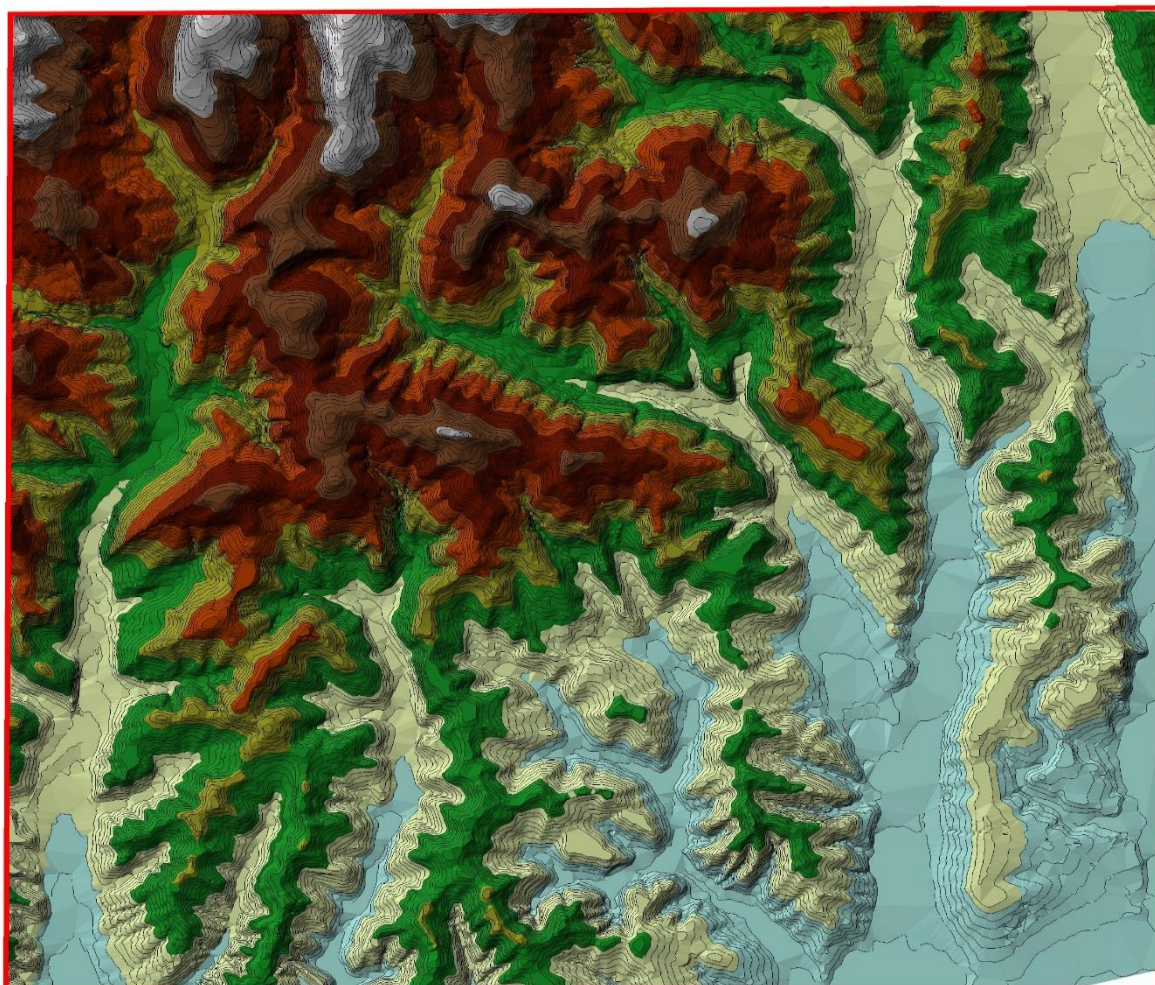
7.2. Digitalni modeli terena izrađeni iz Hrvatske osnovne karte

Za razliku od TK25, HOK karta vektoriziranih slojnica ima više slojnica zbog razlike u ekvidistanti (TK25 10m, HOK 5m).



Slika 32. Pregledna karta vektoriziranih slojnica HOK-a

Zbog istog načina rada, gdje je glavni čimbenik dobrog prikaza sam čovjek, može se reći da vektorizirane slojnice HOK-a u većoj mjeri pokazuju dobre rezultate, tj. prate razvijanje terena (slika 32).



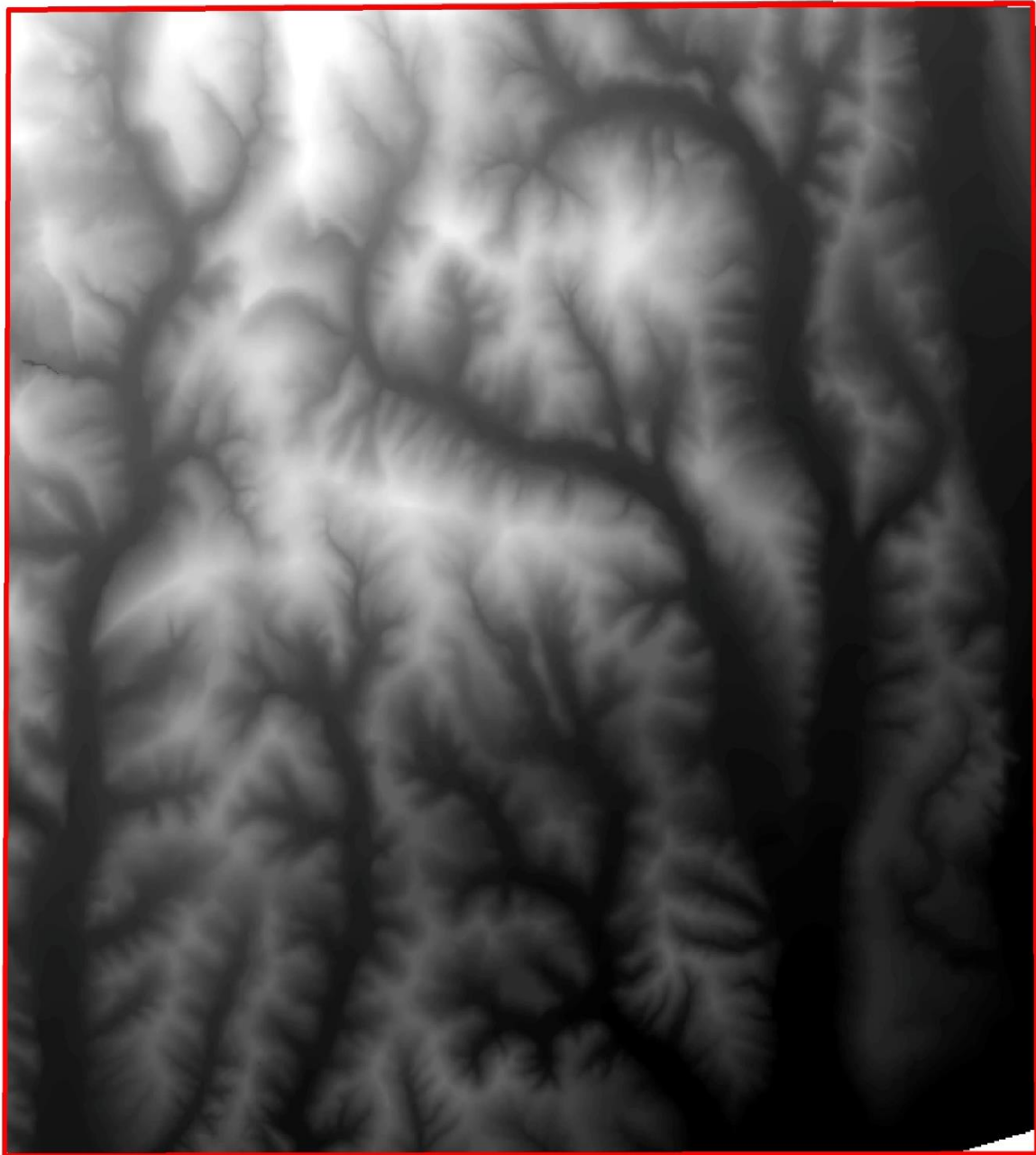
HOK

	415 - 450
	380 - 415
	345 - 380
	310 - 345
	275 - 310
	240 - 275
	205 - 240
	170 - 205
	135 - 170



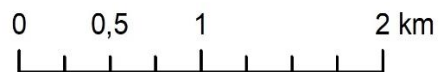
Slika 33. TIN model dobiven iz vektoriziranih slojnica na HOK

Usporedbom izrađenog TIN modela TK25 i HOK-a, vidljivo je da HOK sadrži devet kategorija, a raspon unutar jedne kategorije iznosi 35 m. Minimalna vrijednost HOK-a nešto je veća u odnosu na TK25 te ovdje iznosi 135 m. Maksimalni raspon kreće se između 415-450 m. TIN model se ne razlikuje značajno od TIN-a TK25 osim u određenim manjim dijelovima. Iako se ekvidista razlikuje, pažljivom vektorizacijom slojnica moguće je dobiti u većoj mjeri identičan TIN model (slika 33).



HOK

visine



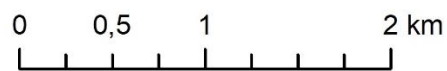
Slika 34. GRID model dobiven vektorizacijom slojnica na HOK

Vrijednost GRID-a kreće se od 135-450 m kao i kod TIN-a. Grafički prikaz razlikuje se u minimalnom dijelu u odnosu na GRID TK25, što pokazuje isti trend kao i TIN (slika 34).

7.3. Digitalni modeli terena iz ASTER DEM podataka

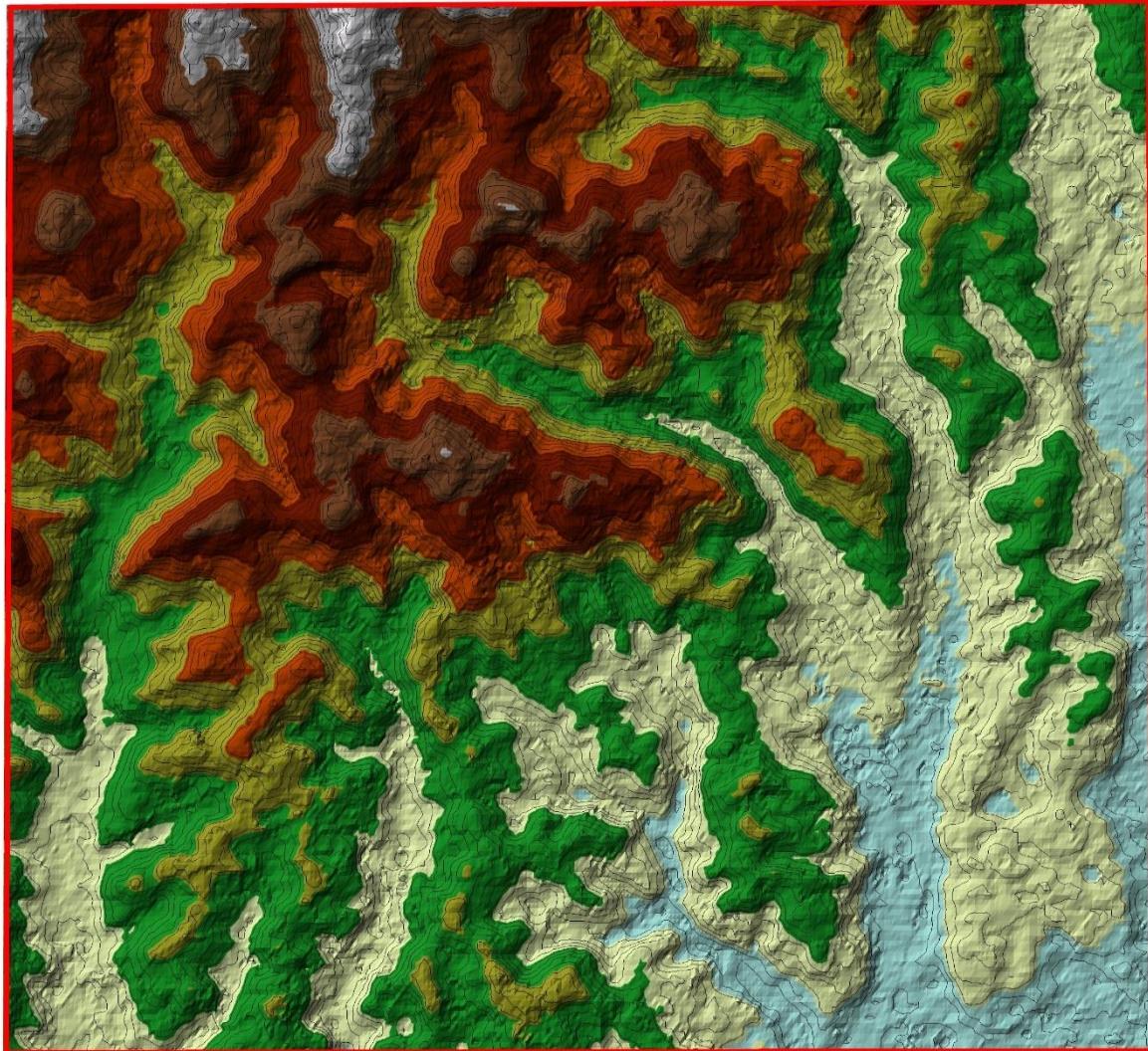


— ASTER 10m ekvidistanta



Slika 35. Kartografski prikaz slojnica ekstrahiranih (izdvojenih) iz ASTER DEM podataka

Jasno je vidljivo kako slojnice u slučaju kada softver automatski radi ekstrakciju (izdvajanje), izgledaju bolje što je i vidljivo na kartografskom prikazu slojnica (slika 35). Kvaliteta izdvajanja slojnica uvjetovana je kvalitetom GRID-a, a što su izdvojene slojnice bolje kvalitete to će i TIN DMT biti kvalitetniji i detaljniji (slika 36).



ASTER

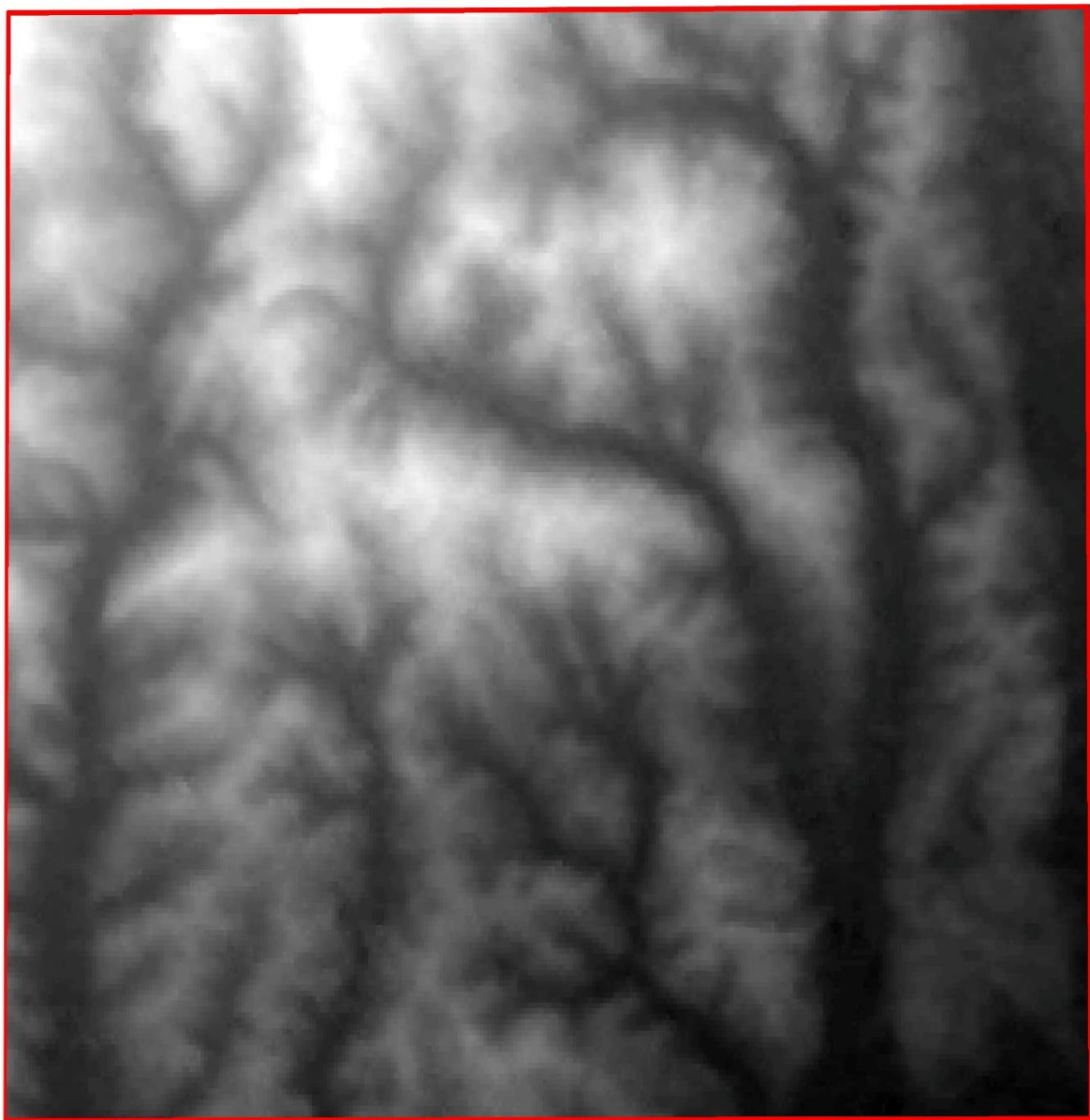
	426 - 466
	386 - 426
	346 - 386
	306 - 346
	267 - 306
	227 - 267
	187 - 227
	147 - 187
	107 - 147



Slika 36. TIN model dobiven iz ekstrahiranih slojnica sa ASTER- DEM

Kategorija visina ASTER-a razlikuje se od prethodne dvije metode. Minimalna vrijednost iznosi 107 m dok maksimalna vrijednost iznosi 466 m. Grafički prikaz razlikuje se od prethodnih metoda. Kod ASTER-a primjetan je trend smanjivanja visina na cijeloj karti. Može se izvesti zaključak da ASTER u ovom konkretnom slučaju daje niže vrijednosti nego

prethodna dva sustava (slika 36).



ASTER

visine

High : 466

Low : 107

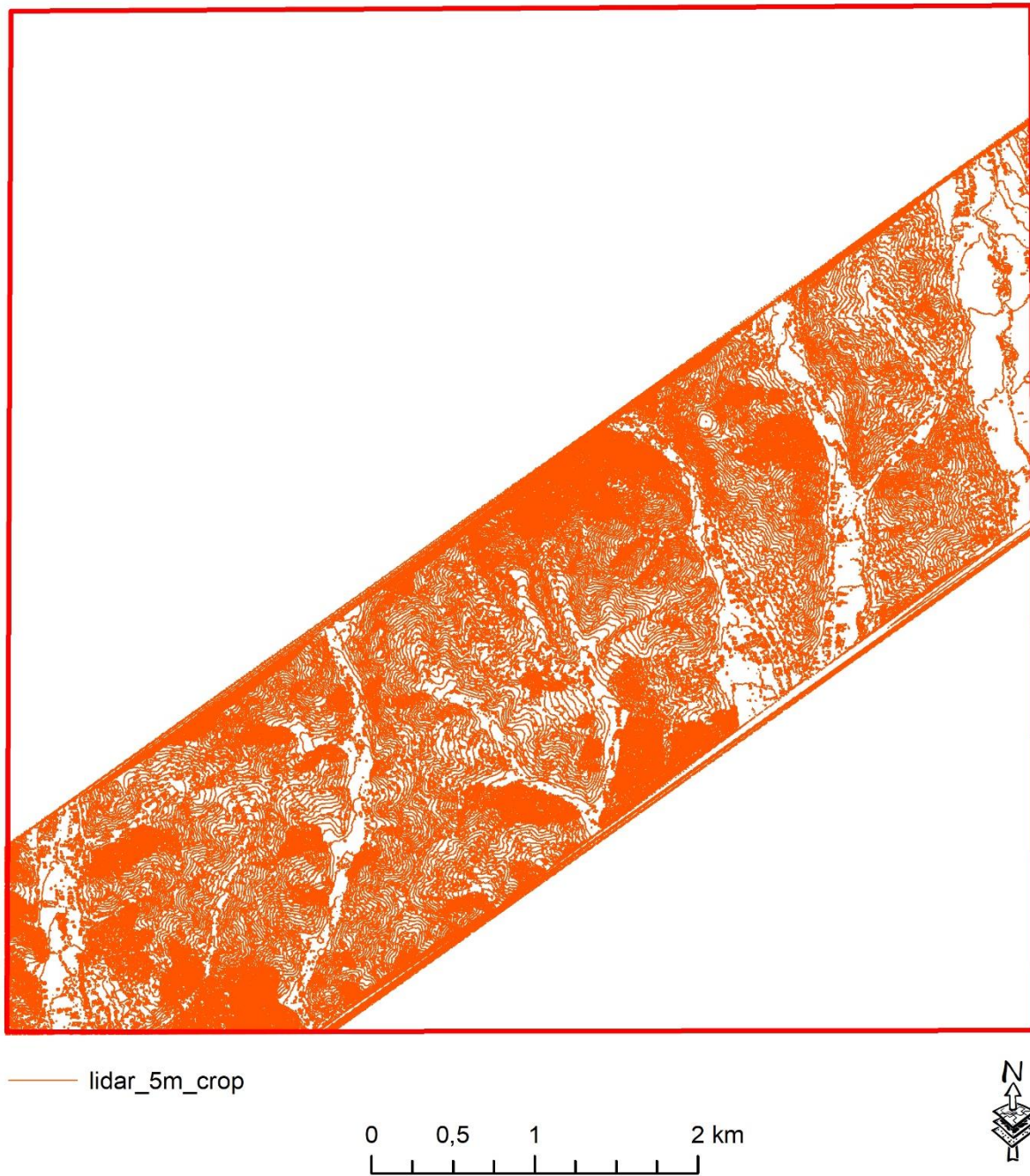
0 0,5 1 2 km



Slika 37. GRID model ASTER-a

Za razliku od prethodne dvije metode, kod kojih su zone tamnih i svijetlih nijansi bile jasno odjeljene, kod ASTER GRID-a nema naglih prekida zona, nego na određenim dijelovima izmjena nijansi teče postepeno (slika 37).

7.4. Digitalni modeli terena iz LiDAR podataka



Slika 38. Pregledna karta ekstrahiranih slojnica iz LiDAR podataka


S obzirom na automatiziranost ekstrakcije slojnica te na ogromnu količinu podataka koju prikuplja LiDAR, ali i na ekvidistantu koja iznosi 5m, dobiju se vektorizirane slojnice kojih ima jako veliki broj. Slojnice su gusto raspoređene, a prikaz je detaljan (slika 38).



LiDAR

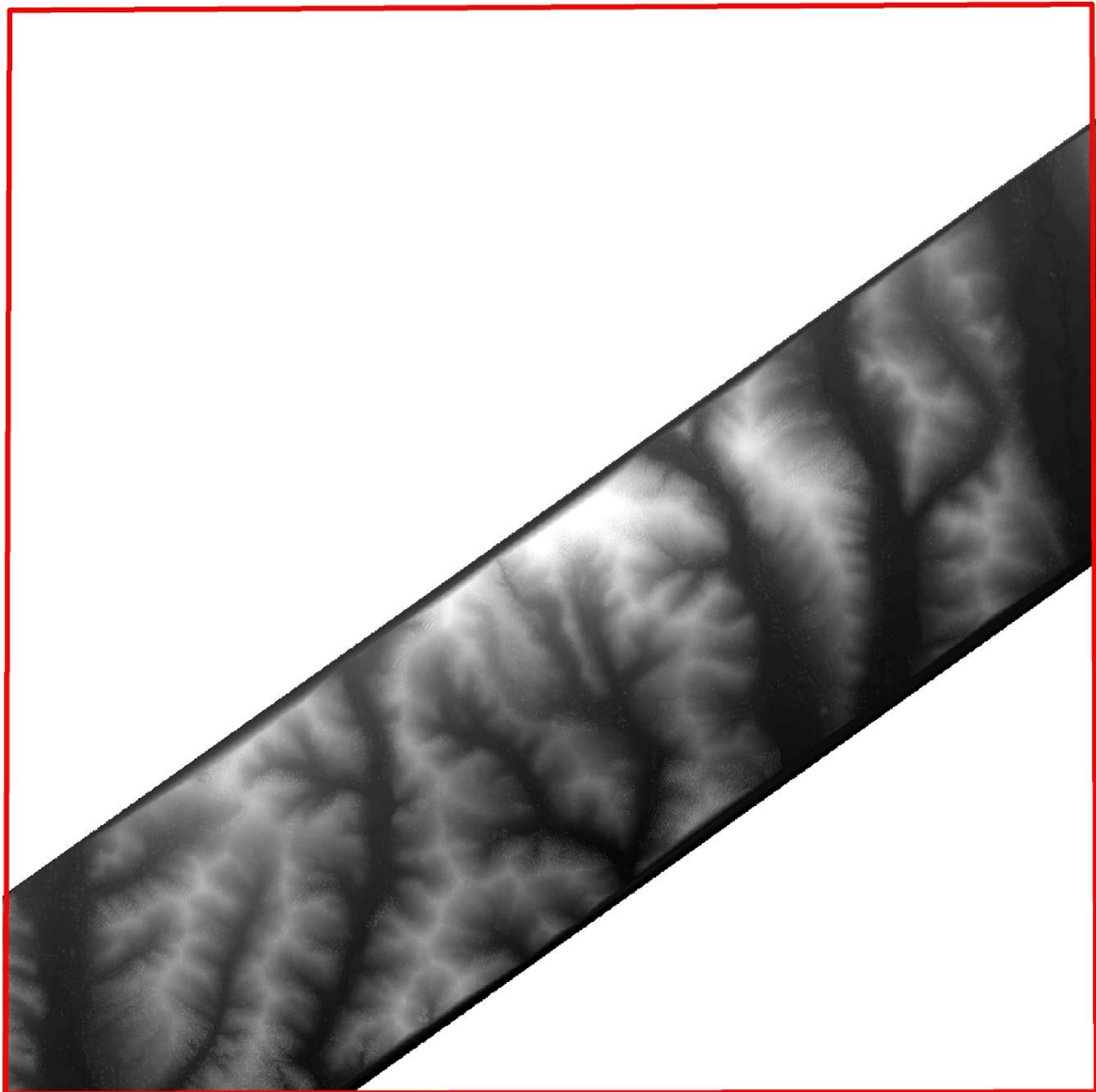
	376 - 400
	351 - 376
	327 - 351
	302 - 327
	278 - 302
	253 - 278
	229 - 253
	204 - 229
	180 - 204

0 0,5 1 2 km




Slika 39. TIN model dobiven iz ekstrahiranih slojnica LiDAR podataka

Za razliku od prethodne tri metode, TIN model LiDAR-a ima znatno manji raspon visina u svojim kategorijama podjele zato što obuhvaća i manju površinu. Minimalna vrijednost iznosi 180m dok maksimalna iznosi 400m (slika 39).



LiDAR

visine



High : 402,138

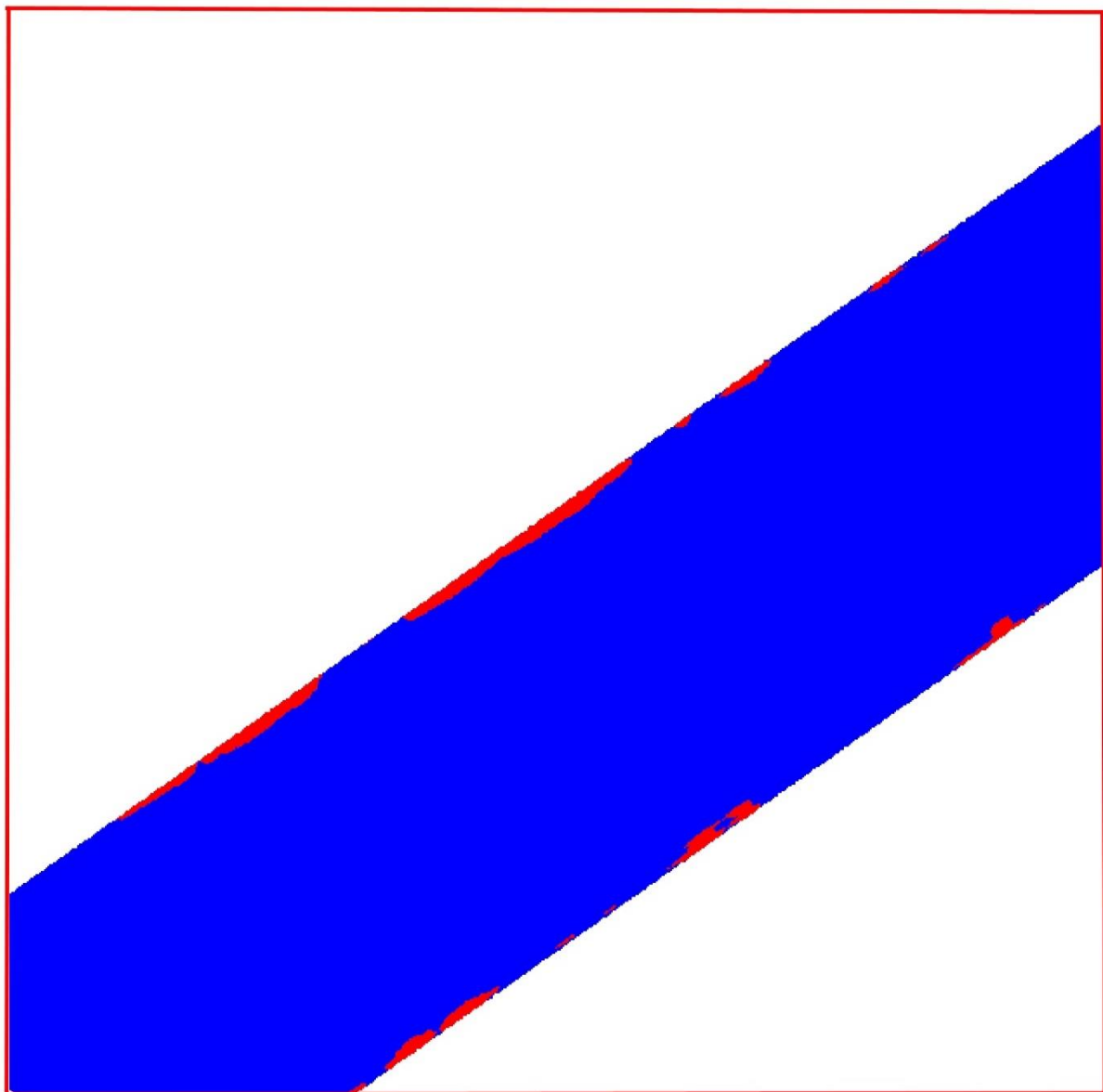
Low : 176,648



Slika 40. GRID model LiDAR-a

GRID model kao minimalnu visinu uzima vrijednost od 176,648m; maksimalna vrijednost iznosi 402,138m. Za razliku od ASTER, GRID LiDAR-a kao i kod prve dvije metode ima jasno odijeljene zone i grube prijelaze između nijansi (slika 40).

7.5. Rezultati usporedbe izrađenih DMT-a i slojnica iz različitih izvora podataka



Razlika

- viši dijelovi
- nepromijenjeno
- niži dijelovi

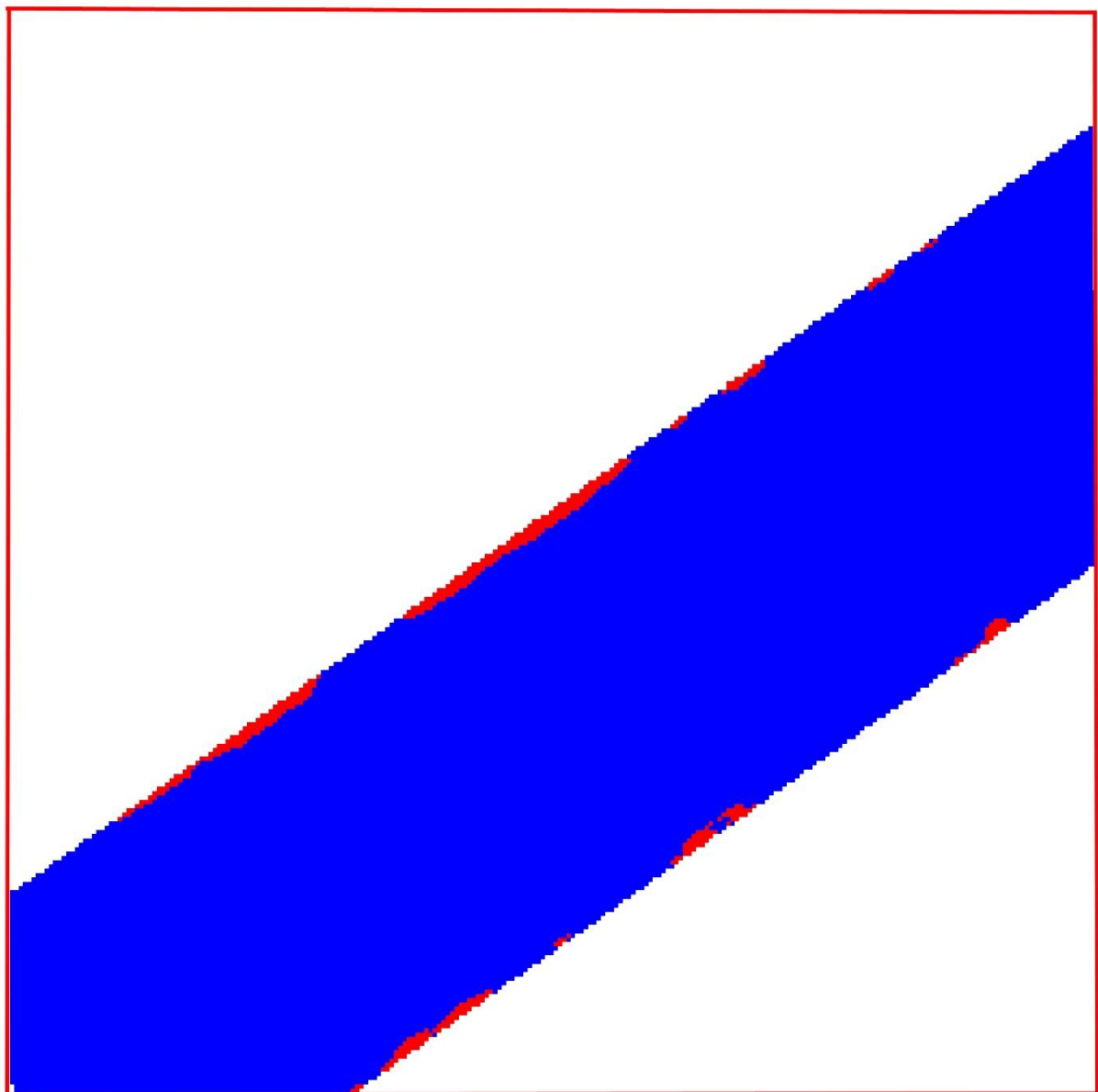
0 0,5 1 2 km



Slika 41. Kartografski prikaz razlike DMT-a izrađenih iz LiDAR i HOK podataka

Na slici 41 jasno je vidljivo da LiDAR ima veće vrijednosti visina od ostalih prikupljenih podataka. Plava boja, tj. oznaka niži dijelovi je pokazatelj da postoji razlika visina po cijeloj površini koju pokriva LiDAR u odnosu na DMT iz HOK-a i ostale modele reljefa. Razlog tome je činjenica da su LiDAR podaci snimani u WGS84 koordinatnom sustavu. Zbog toga što je DMT iz lidara iznad DMT-a iz HOK-a podatak koji dobivamo u Cut/Fill softverskom alatu unutar ArcGIS-a prikazuje da je na cijeloj površini došlo do razlike u visinama, tj. HOK ima

niže vrijednosti visina od LiDAR-a.



Razlika

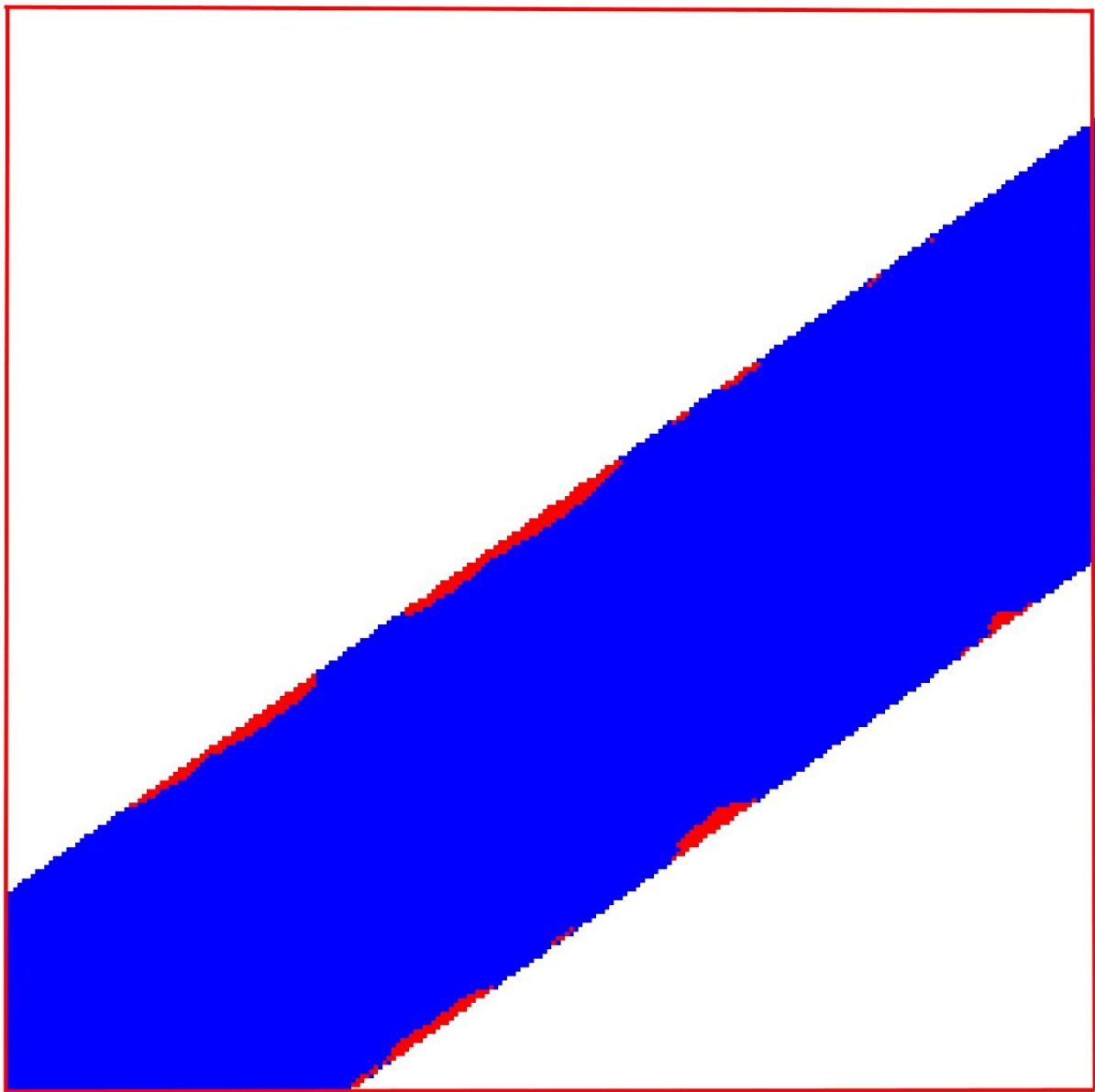
- viši dijelovi
- nepromijenjeno
- niži dijelovi

0 0,5 1 2 km



Slika 42. Kartografski prikaz razlike DMT-a izrađenih iz LiDAR i TK25 podataka

Na slici 42 vidljiv je skoro identičan omjer razlike visina, ovoga puta između LiDAR-a i TK25. Vrijede iste zakonitosti kao i kod HOK-a, gdje LiDAR daje drugačije podatke zbog koordinatnog sustava u kojem je smješten. Također, po cijeloj površini vidljiva je razlika visina, gdje TK25 ima niže visine u odnosu na LiDAR.



Razlika

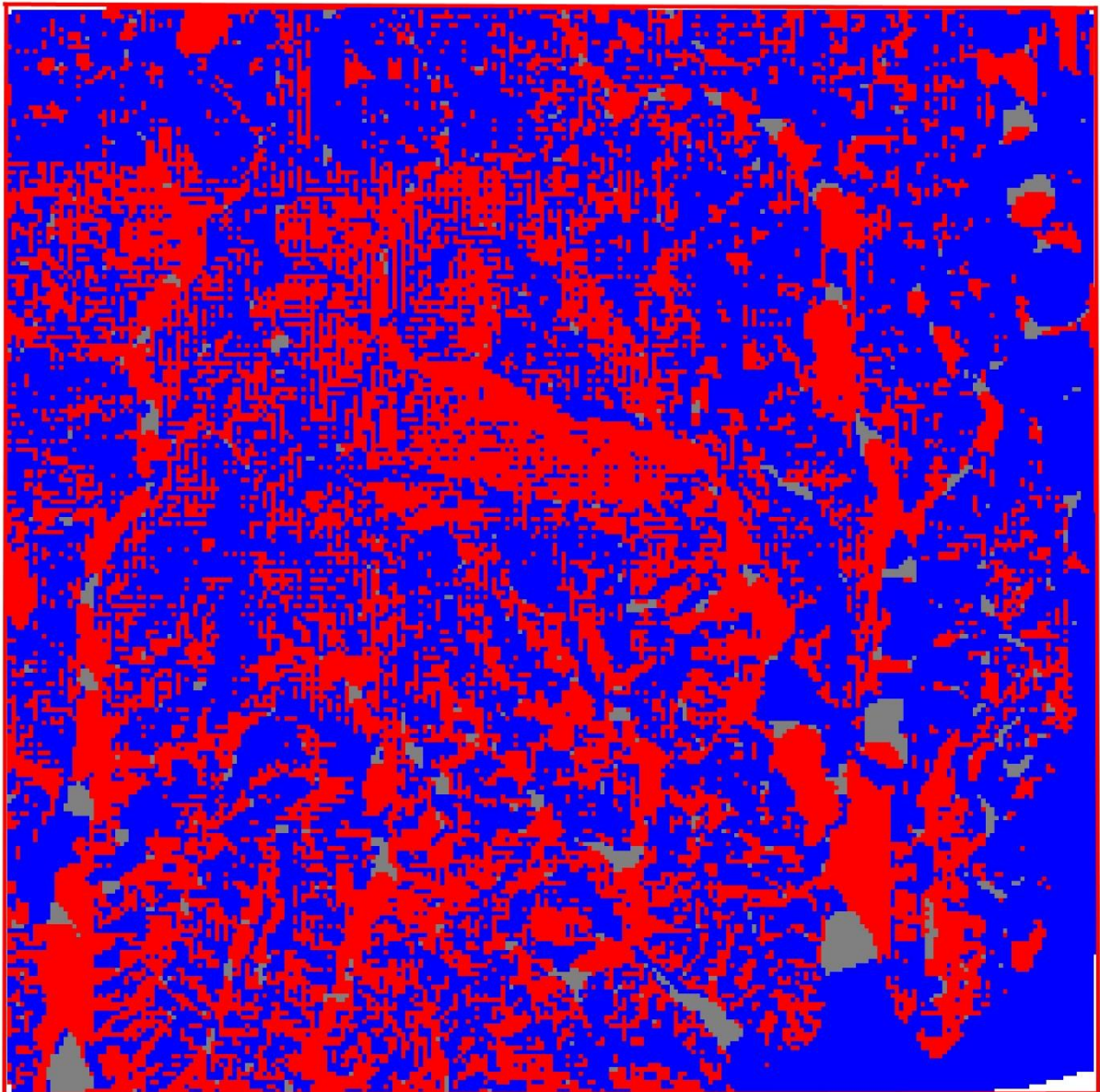
- viši dijelovi
- nepromijenjeno
- niži dijelovi

0 0,5 1 2 km



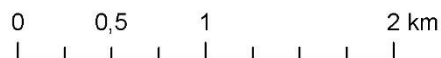
Slika 43. Kartografski prikaz razlike DMT-a izrađenih iz LiDAR i ASTER podataka

Na slici 43 nasuprot LiDAR-u stoji ASTER satelitska snimka. I u ovome slučaju situacija je ista kao i u prethodna dva, odnosno da su visinske vrijednosti veće u korist LiDAR podataka na cijeloj površini za razliku od ASTER podatka zbog razlike pri snimanju u geodetskim datumima.



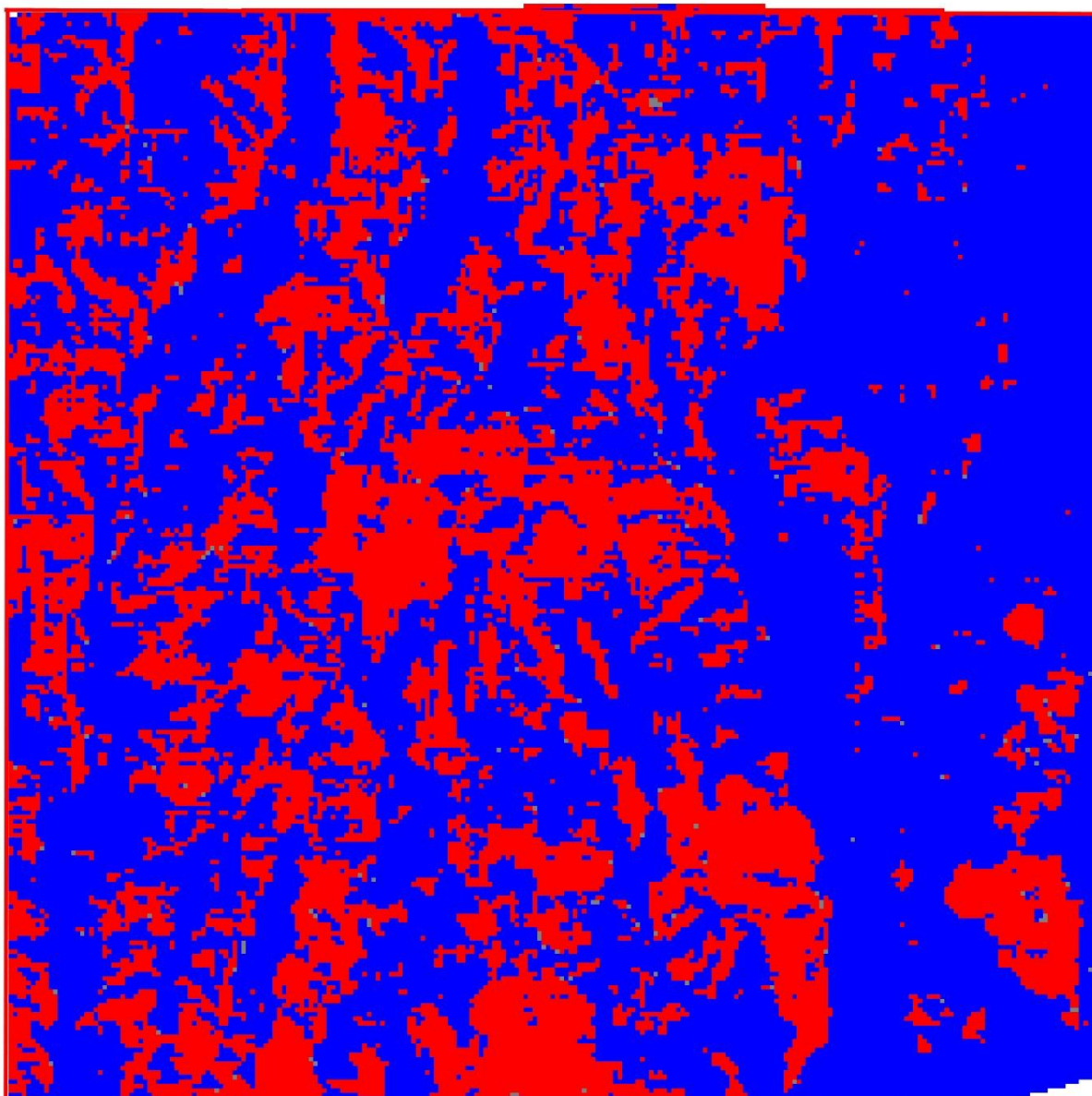
Razlika

- viši dijelovi
- nepromijenjeno
- niži dijelovi



Slika 44. Kartografski prikaz razlike DMT-a izrađenih iz HOK i TK25 podataka

Slika 44 predstavlja razliku visina između HOK-a i TK25. Sa te slike se može izvući zaključak da su kategorije nižih i viših dijelova otprilike u balansu. Također, postoje određene zone koje su ostale nepromijenjene. Iako je način prikupljanja identičan, razlike se pojavljuju zbog različitih ekvidistanti (HOK 5m i TK25 10m). Ekvidistanta HOK iznosi 5m i ona bolje opisuje teren zbog gušćih slojnica za razliku od TK25 na kojoj su slojnice ekvidistante 10m. Povećani broj slojnica i mjerilo u kojem su prikazane, plastičnije i detaljnije opisuju teren. Iz vektoriziranih slojnica izrađen je DMT za HOK čija razlučivost piksela iznosi 10x10m te za TK25 čija razlučivost piksela iznosi 25x25m. Iz ovoga je vidljivo da HOK bolje predstavlja digitalni model terena jer je razlučivost njenog piksela 10x10m, odnosno 100m² dok je razlučivost piksela kod TK25 25x25m odnosno 625m².



Razlika

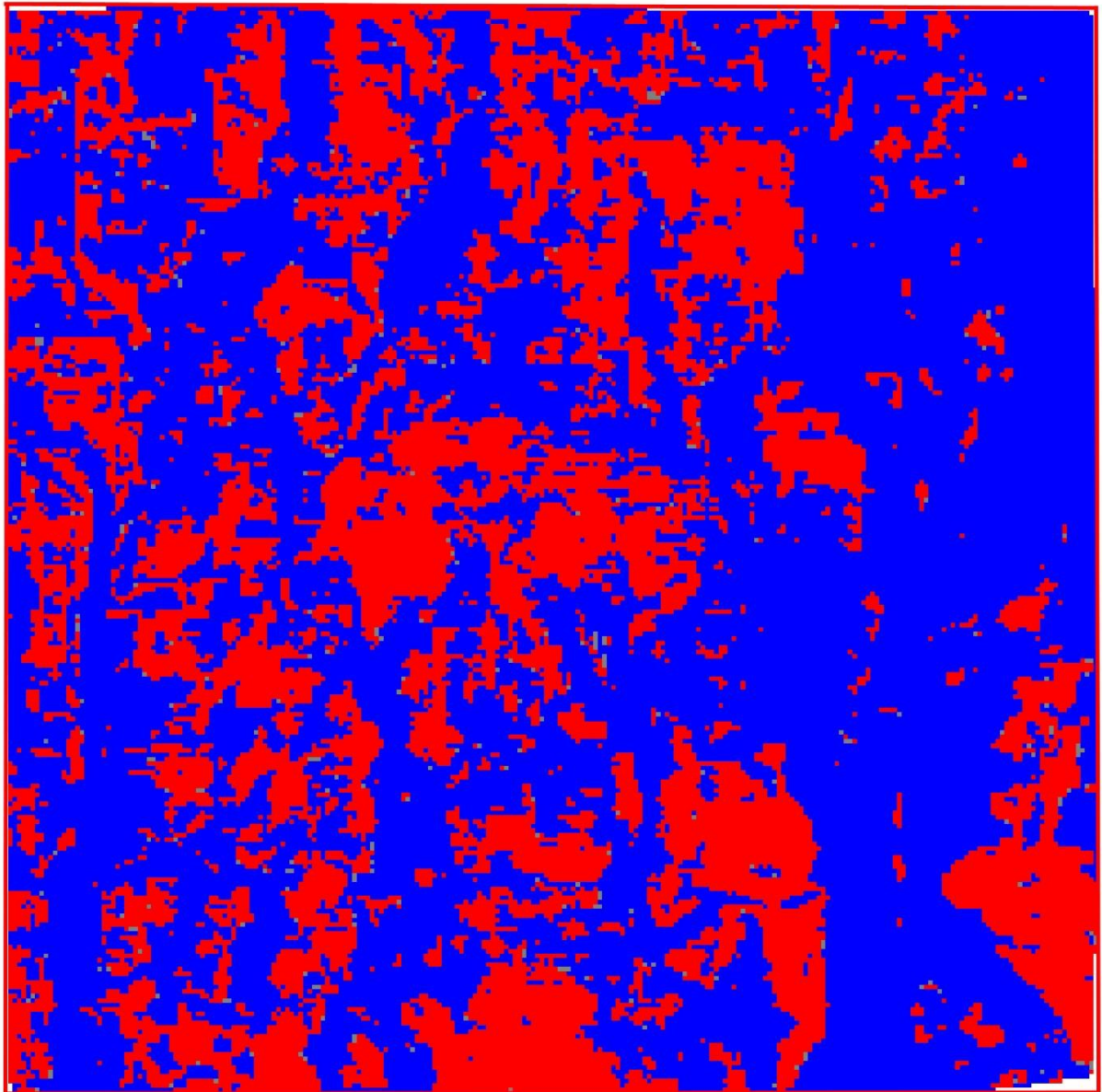
- viši dijelovi
- nepromijenjeno
- niži dijelovi

0 0,5 1 2 km



Slika 45. Kartografski prikaz razlike DMT-a izrađenih iz HOK i ASTER podataka

Slika 45 daje pregled razlike visina HOK-a i ASTER-a, gdje je vidljivo da su kategorije viših i nižih dijelova otprilike u balansu, sa više izraženim neprekinutim zonama, za razliku od HOK-TK25. Nepromijenjene zone pojavljuju se samo u tragovima. Kod ASTER-a jedan piksel iznosi 30x30m u DEM GRID-u te kod njega DEM za razliku od TK25 i HOK-a nije rađen iz slojnica nego je on takav snimljen satelitom. Veličina piksela utječe na kvalitetu i razlučivost na terenu, kao i na prikazivanje detalja. Ukoliko je piksel sitniji (recimo 10x10m ili čak još detaljniji 5x5m) on će bolje i detaljnije prikazati razvijenost reljefa jer pokriva manju površinu.



Razlika

- viši dijelovi
- nepromijenjeno
- niži dijelovi

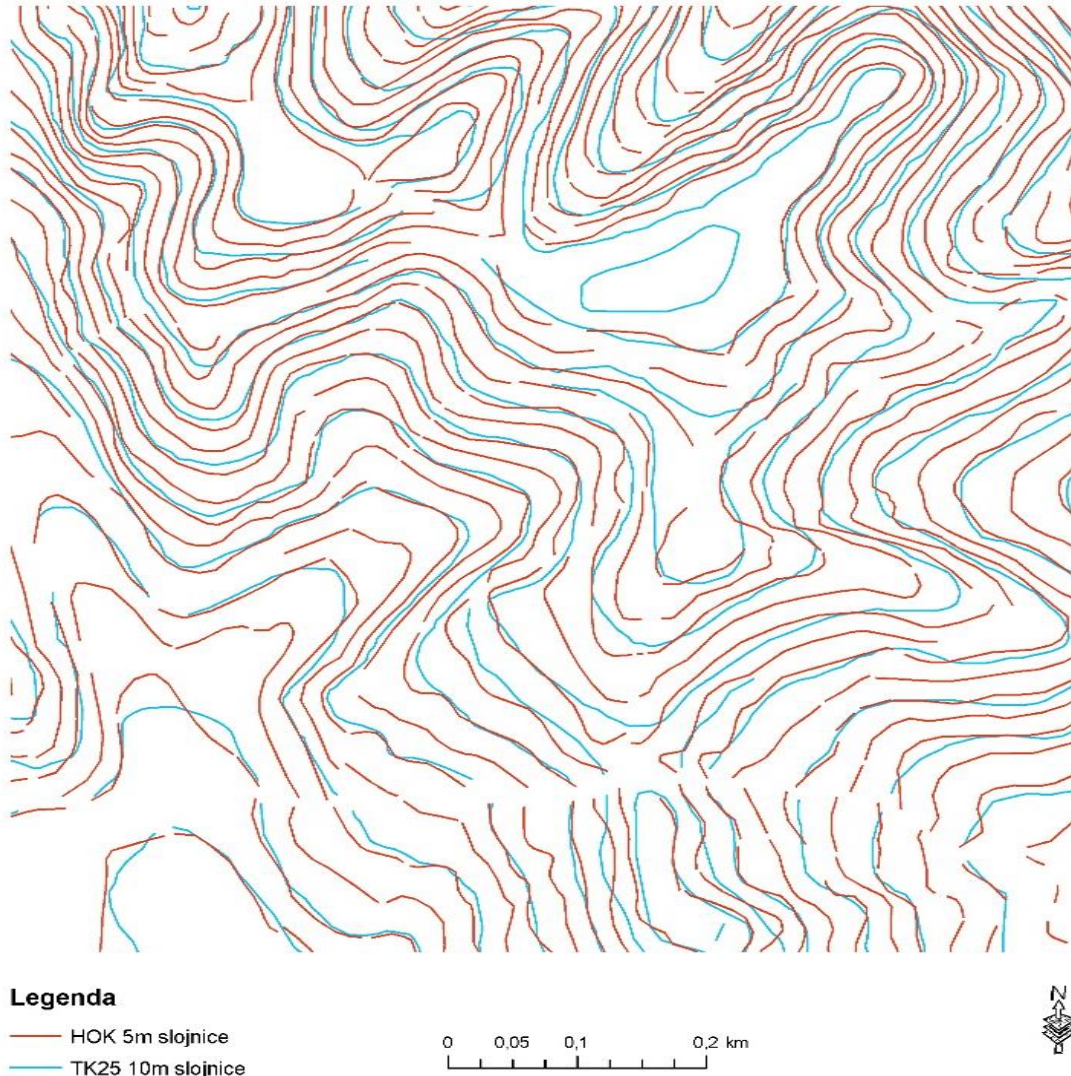
0 0,5 1 2 km



Slika 46. Kartografski prikaz razlike DMT-a izrađenih iz TK25 i ASTER podataka

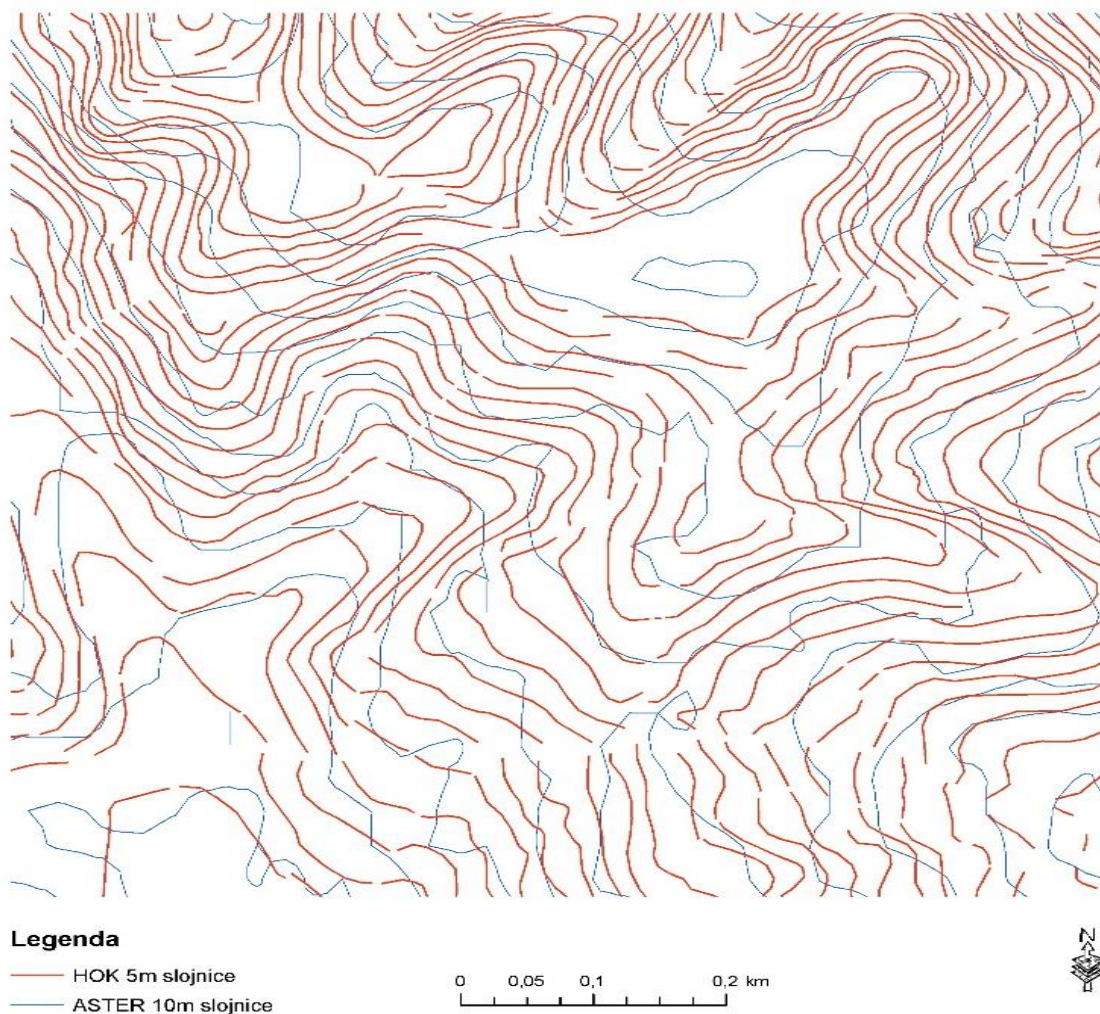
Slika 46 predstavlja razliku visina između topografske karte i ASTER-a. Grafički, karta se u većem dijelu podudara s usporedbom između HOK-a i ASTER-a, stoga vrijede iste zakonitosti kao i na ovom grafičkom prikazu.

Kao osnova za usporedbu slojnica obrađena četiri izvora podataka uporabljena je najtočnija karta – HOK. Na osnovu nje biti će vizualizirane vidljive razlike između različitih metoda prikupljanja podataka. Kao što je već ranije definirano, ljudski čimbenik ima značajnu ulogu u ovom konkretnom slučaju (nedostatak određenih slojnica HOK-a).



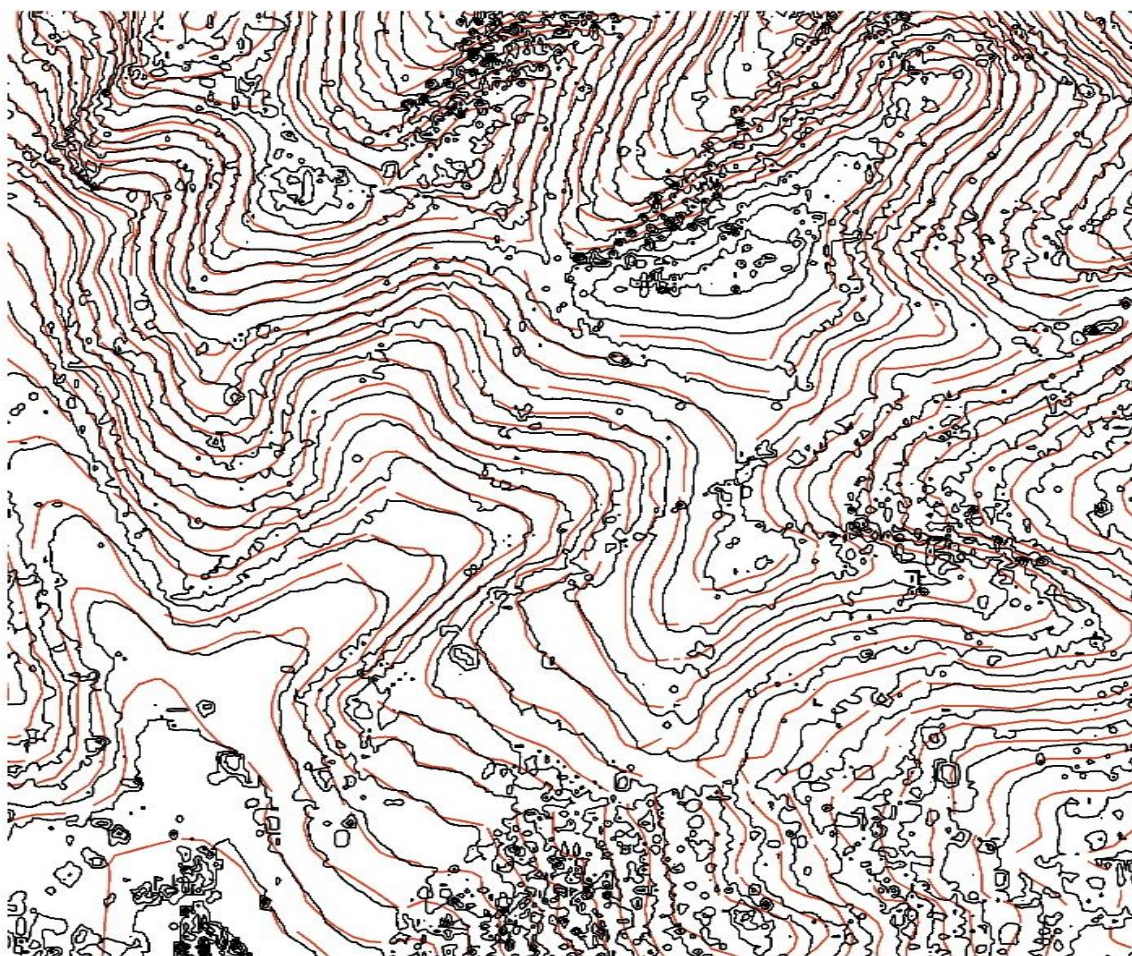
Slika 47. Kartografski prikaz (isječak) usporedbe slojnica HOK-TK25

Iz slike 47 vidljivo je da se slojnice dvije različite metode u dosta dijelova podudaraju. Temeljna razlika je ekvidistanta, koja kod HOK-a iznosi 5m, što automatski znači da je broj slojnica HOK-a dvostruko veći od broja slojnica topografske karte. Budući da se metode baziraju na zajedničkom nazivniku, slojnicama, grafički prikazi su veoma slični.



Slika 48. Kartografski prikaz (isječak) usporedbe slojnica HOK-ASTER

Iz usporedbe slojnica HOK-ASTER primjetno je, da se za razliku od topografske karte, slojnice ASTER-a u većoj mjeri razlikuju od slojnica HOK-a. To se događa isključivo zbog činjenice da se radi o dva različita sustava dobivanja slojnica, od kojih je jedan automatiziran (ASTER), a drugi se dobiva digitalizacijom (HOK) (slika 48).



Legenda

- Lidar 5m slojnice
- HOK 5m slojnice

0 0,05 0,1 0,2 km



Slika 49. Kartografski prikaz (isječak) usporedbe slojnica LiDAR-HOK

Posljednja usporedba uključuje relaciju LiDAR-HOK. Radi iste vrijednosti ekvidistante (5m) vidljivo je da se putanje slojnica u većoj mjeri poklapaju. Do grešaka dolazi zbog ranije navedenog problema kod LiDARA (drugi geografski datum). Također jasno se vidi količina podataka koju LiDAR u svom procesu prikuplja. Za razliku od ostalih metoda, LiDAR skuplja i sve one podatke među slojnicama gdje ostale metode nemaju tu mogućnost. Količina podataka može biti velika prednost, ali i mana budući da je filtracija podataka otežana, a i samo čitanje karte je otežano (slika 49).

8. ZAKLJUČAK

Na temelju dobivenih rezultata uspoređujući četiri različite metode prikupljanja podataka za izradu digitalnog modela terena (DMT), možemo zaključiti da je LiDAR tehnologija najdetaljnija, veoma efikasna metoda za prikupljanje podataka visoke točnosti u izradi DMT-a. ASTER DMT ne daje najpreciznije podatke budući da ima rezoluciju 30m po pikselu. HOK karta daje bolje rezultate od ASTER-a, zbog svoga mjerila (1:5000, 1mm na karti iznosi 5m u prirodi) i veličine piksela, koji za HOK iznosi 10x10. Topografska karta ima najmanju pouzdanost u prikupljanju podataka za izradu DMT-a zbog mjerila u kojem je izrađena (1:25000, 1mm na karti predstavlja 25m u prirodi). TK25 izrađuje se iz HOK-a.

LiDAR tehnologija omogućuje izradu vrlo detaljnih i preciznih DMT-a, čime se dobivaju vrlo precizne informacije o topografiji.. ASTER koristi senzore za prikupljanje podataka s velike udaljenosti, što ograničava njezinu sposobnost prikupljanja podataka na maloj prostornoj razini. Topografska karta ima ograničenja u detaljnosti zbog načina prikupljanja podataka. Na preciznost i točnost vektorizacije slojnice sa HOK-a utječe osoba koja obrađuje i vektorizira podatke.

Ovisno o potrebama istraživanja, odabir metode prikupljanja podataka za izradu DMT-a može se prilagoditi specifičnim zahtjevima, kao što su troškovi, vrijeme izrade i potrebna razina detaljnosti. Bitno je razmisliti s jedne strane s čime se raspolaže u datom trenutku, a s druge strane što se želi dobiti te za koju svrhu će se upotrijebiti dobiveni podaci. U ovom konkretnom slučaju glavno pitanje glasi koja je namjena digitalnog modela reljefa, kako bi se mogli uzeti u obzir svi drugi čimbenici.

U ovom diplomskom radu izrađeni su DMT-i primjenjivi u različitim aspektima šumarstva. DMT-ovi manje preciznosti svoju primjenu nalaze npr. u ekološkim modeliranjima i planiranjima (nagib, ekspozicija, pogled s određene točke, osunčanost, i dr.), a precizniji DMT-ovi koriste se za projektiranje prometnica, pri sječi i izradi (izbor mehanizacije, izrada vlaka, odabir pozicije stovarišta, i dr.), planiranje pošumljavanja, inventura šuma, predikcija erozije i sl.

9. LITERATURA

1. Berta, A., 2017: Procjena šumske biomase pomoću LIDAR tehnologije u degradiranim šumama brežuljkastog i nizinskoga vegetacijskoga pojasa u središnjoj Hrvatskoj. Doktorski rad, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet.
2. Dong, P., Chen, Q., 2017: LiDAR Remote Sensing and Applications (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.4324/9781351233354>.
3. Donoghue, D., Warr, P., Cox, N., Wilson, J., 2007: Remote sensing of species mixtures in conifer plantations using LIDAR height and intensity data. *Remote Sensing of Environment*, 110(4), 509-522.
4. Dowman, I., Jacobsen, K., Konecny, G., Sandau, R., 2012: High Resolution Optical Satellite Imagery. Whittles Publishing, Dunbeath, UK.
5. Dürrstein, H., 1992: Detailed road planning using microcomputers. Proceedings IUFRO Workshop on Computer Supported Planning of Roads and Harvesting. Feldafing, Germany, pp. 57-66.
6. El-Sheimy, N., Valeo, C., Habib, A., 2005: Digital terrain modeling – acquisition, manipulation, and applications. Artech House Publishers.
7. Förstner, W., Wrobel, B., 2016: Photogrammetric Computer Vision – Statistics. Geometry Orientation and Reconstruction, Springer, Cham, Switzerland.
8. Frančula, N., Lapaine, M., 2008: Geodetsko-geoinformatički riječnik. Državna geodetska Uprava, Zagreb.
9. Goodchild, M., F., Hunter, G., 1997: A Simple Positional Accuracy Measure for Linear Features. *International Journal of Geographical Information Systems*, 11, 299-306.
10. Goodwin, N., Coops, N., Culvenor, D., 2006: Assessment of forest structure with airborne LIDAR and the effects of platform altitude. *Remote Sensing of Environment*, 103(2), 140-152.
11. Hirt, C., 2014: Digital Terrain Models. *Encyclopedia of Geodesy*, Springer International Publishing, Switzerland.
12. Hirt, C., 2014: Digital Terrain Models. In: Grafarend, E. (eds) *Encyclopedia of Geodesy*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-02370-0_31-1.
13. Konstantinos, N., Antonis, A., 2004: Creation of DTM with ASTER Data and Statistical Verification of the Accuracy of the Model (Western Peloponnese, Greece). *Geocarto International*, 19:1, 3-9. <https://doi.org/10.1080/10106040408542293>.

14. Krtalić, A., Gajski, D., Maltarski, M., 2019: Digitalni trodimenzionalni prikazi scene i satelitska stereogrametrija, *Geod. list*, 2, 147–164.
15. Kušan, V., 1994: Digitalni model reljefa i njegova primjena. *Mehanizacija šumarstva* 20, 2, Zagreb, s. 77-84.
16. Lakshmi, S., Yarrakula, K., 2019: Review and critical analysis on digital elevation models. *Geofizika*, 35, 129-157. <https://doi.org/10.15233/gfz.2018.35.7>.
17. Li, Z., Zhu, C., Gold, C., 2005: *Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780203357132>.
18. Linder, W., 2016: *Digital Photogrammetry*. Springer, Netherlands.
19. Miller, C., L., Laflamme, R., A., 1958: *The digital terrain model - theory & application*. M.I.T. Photogrammetry Laboratory.
20. Pernar, R., 2022: *Predavanja iz kolegija „Digitalna kartografija“*. Zagreb, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije.
21. Pokupić, M., 2018: *Analiza točnosti globalnih digitalnih modela reljefa i geomorfometrijski modeli planinskih područja Republike Hrvatske*. Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Geodetski fakultet.
22. Seletković, A., Perić, M., Balenović, I., 2016: Fotogrametrijska procjena srednjih sastojinskih visina odvojeno po vrstama drveća u mješovitim sastojinama središnje Hrvatske. *Nova meh. Šumar*, 37, 15-23.
23. Sharif, M., Makarovic, B., 1989: Optimizing progressive and composite sampling for DTMs. *ITC Journal (Enschede, Neth.)*, no. 1989-2, p. 104-111.
24. Stefanović, P., Radwan, M., M., Tempfli, K., 1977: Digital terrain models: data acquisition, processing and applications. *ITC Journal*, No: 1, p. 61-67.
25. Stipančić, L., 2018: *Digitalni ortofoto (DOF) – izrada i mogućnost primjene u zaštiti šuma*. Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije.
26. Vecchiotti, F., Tilch, N., Kociu, A., 2021: The Use of TERRA-ASTER Satellite for Landslide Detection. *Geosciences*. 11, 258. <https://doi.org/10.3390/geosciences11060258>.
27. Višnjić, R., 1997: Digitalni model reljefa. *Vojnotehnički glasnik*, 45(6), 733-742. <https://doi.org/10.5937/VojTehG9706733V>.
28. Wechsler, S., P., 2003: Perceptions of digital elevation model uncertainty by DEM users. *URISA Journal*, 15, 2, 57-64.
29. Xie, Xiao & Xu, Weiping & Zhu, Qing & Zhang, Yeting & Du, Zhiqiang. (2013). Integration Method of TINs and Grids for Multi-resolution Surface Modeling. *Geo-spatial Information Science*. 16. 61-68. DOI:10.1080/10095020.2013.774109.

Popis URL-a:

1. Ghimire, S., 2019: Applications of LiDAR in Forestry. <https://towardsdatascience.com/applications-of-lidar-in-forestry-13686e1b15a7> (Pristupljeno 13.4.2023.)
2. Katalog podataka (ver. 1.11.), 2018: https://dgu.gov.hr/UserDocsImages//dokumenti/Pristup%20informacijama/Zakoni%20i%20ostali%20propisi/Ostalo//Katalog_podataka_DGU_2018_v11.pdf (Pristupljeno 19.4.2023.)
3. Llames, H. G., 2022: Elevation Modeling – the differences between DTM, DSM & DEM. <https://support.plexearth.com/hc/en-us/articles/4642425453201-Elevation-Modeling-the-differences-between-DTM-DSM-DEM> (Pristupljeno 20.4.2023.)
4. Singh, S., 2013: Confused Between DEM, DTM and DSM!. <https://gisresources.com/confused-dem-dtm-dsm/> (Pristupljeno 16.4.2023.)
5. www 1: ASTER <https://terra.nasa.gov/about/terra-instruments/aster> (Pristupljeno 25.3.2023.)
6. www 2: DEM, DSM & DTM Differences – A Look at Elevation Models in GIS, GISGeography <https://gisgeography.com/dem-dsm-dtm-differences/> (Pristupljeno 5.4.2023.)
7. www 3: DEM, DSM & DTM: Digital Elevation Model – Why It`s Important <https://geodetics.com/dem-dsm-dtm-digital-elevation-models/> (Pristupljeno 12.4.2023.)
8. www 4: Advance Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer https://en.wikipedia.org/wiki/Advanced_Spaceborne_Thermal_Emission_and_Reflection_Radiometer (Pristupljeno 1.4.2023.)
9. www 5: ASTER <https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp> (Pristupljeno 1.4.2023.)
10. www 6: 3D – Terrestrial laser scanning http://wiki.awf.forst.uni-goettingen.de/wiki/index.php/3D-Terrestrial_laser_scanning (Pristupljeno 9.4.2023.)
11. www 7: 15 LiDAR Uses and Applications <https://gisgeography.com/lidar-uses-applications/> (Pristupljeno 15.4.2023.)
12. www 8: What is ArcGIS <https://gisgeography.com/what-is-arcgis/> (Pristupljeno 27.3.2023.)
13. www 9: LiDAR <https://en.wikipedia.org/wiki/Lidar> (Pristupljeno 17.4.2023.)

14. [www 10: Photogrammetry vs. LIDAR: what sensor to choose for a given application](https://wingtra.com/drone-photogrammetry-vs-lidar/)
<https://wingtra.com/drone-photogrammetry-vs-lidar/> (Pristupljeno 15.4.2023.)

Popis slika:

- Slika 1. Prikaz Digitalnog modela reljefa pomoću slojnica (Izvor: GISGeography, DEM, DSM & DTM Differences – A Look at Elevation Models in GIS <https://gisgeography.com/dem-dsm-dtm-differences/> (Pristupljeno 5.4.2023.) 3
- Slika 2. Prikaz Digitalnog modela visina (Izvor: Aevex aerospace, DEM, DSM & DTM: DIGITAL ELEVATION MODEL – WHY IT’S IMPORTANT <https://geodetics.com/dem-dsm-dtm-digital-elevation-models/> (Pristupljeno 12.4.2023.) 4
- Slika 3. Prikaz Digitalnog modela površina (Izvor: GIS Resources (Saurabh Singh), Confused Between DEM, DTM and DSM! <https://gisresources.com/confused-dem-dtm-dsm/> (Pristupljeno 16.4.2023.) 4
- Slika 4. Primjer postupka vektorizacije slojnica na računalu 5
- Slika 5. Rezultat rada LiDAR-a (Izvor: RED DRONE SERVICES (Ruben Ebersold), LiDAR: Was es ist und wie es für die Photogrammetrie genutzt werden kann <https://www.red-services.de/post/lidar> (Pristupljeno 16.4.2023.) 6
- Slika 6. Prikaz TIN-a (Izvor: Esri, What is a TIN surface? <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/manage-data/tin/fundamentals-of-tin-surfaces.htm> (Pristupljeno 17.4.2023.) 7
- Slika 7. Usporedba GRID-a i TIN-a (Izvor: GeoComputation (David Kidner, Mark Dorey & Derek Smith), What's the point? Interpolation and extrapolation with a regular grid DEM https://www.geog.leeds.ac.uk/groups/geocomp/1999/082/gc_082.htm (Pristupljeno 17.4.2023) 7
- Slika 8. Hibridni model (Izvor: ResearchGate (Bisheng Yang, John Wenzhong Shi, Qingquan Li) What's the point? Interpolation and extrapolation with a regular grid DEM https://www.researchgate.net/publication/220649970_An_integrated_TIN_and_Grid_method_for_constrcting_multi-resolution_digital_terrain_models (Pristupljeno 18.4.2023.) 8
- Slika 9. Topografska karta mjerila 1:25 000 (Izvor: Zavod za fotogrametriju d.d., Topografske karte <https://zzf.hr/karte/topografske-karte> (Pristupljeno 19.4.2023.) 9
- Slika 10. Izgled jednog lista HOK-a Izvor: Geodetska škola, Pregled topografskih karata u RH https://www.geoskola.hr/~gsurina/12_karte%20u%20rh.pdf (Pristupljeno 19.4.2023.) 10

Slika 11. Grafički prikaz Terra satelit (Izvor: NASA, Terra Spacecraft https://www.nasa.gov/mission_pages/terra/spacecraft/index.html (Pristupljeno 25.3.2023.) .	11
Slika 12. ASTER spektralni kanali (Izvor: Wikipedia, Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer https://en.wikipedia.org/wiki/Advanced_Spaceborne_Thermal_Emission_and_Reflection_Radiometer (Pristupljeno 29.3.2023.).....	12
Slika 13. Svjetska DEM karta nastala snimanjem ASTER satelita (Izvor: NASA Jet Propulsion Laboratory, GDEM https://asterweb.jpl.nasa.gov/images/GDEM-10km-BW.png (Pristupljeno 28.4.2023.).....	12
Slika 14. DMT prikazan u boji za područje Europe nastao snimanjem ASTER satelitom (Izvor: NASA Jet Propulsion Laboratory, GDEM https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp (Pristupljeno 28.4.2023.).....	13
Slika 15. Način rada LiDAR-a uređaja (Izvor: Wikipedia, Time-of-flight camera https://en.wikipedia.org/wiki/Time-of-flight_camera (Pristupljeno 15.4.2023.).....	13
Slika 16. Dijagram LiDAR optike i koda (Izvor: 50 RENISHAW apply inovation, Optical encoders and LiDAR scanning https://www.renishaw.com/en/optical-encoders-and-lidar-scanning--39244 (Pristupljeno 1.5.2023.).....	14
Slika 17. Razlika rada terestričkog i zračnog LiDAR-a (Izvor: AWF-WIKI [Forest Inventory Remote Sensing], 3D- Terrestrial laser scanning http://wiki.awf.forst.uni-goettingen.de/wiki/index.php/3D-_Terrestrial_laser_scanning (Pristupljeno 5.5.2023.)	15
Slika 18. Prikaz područja istraživanja	17
Slika 19. Prikaz postupka vektorizacije na TK25 i atributna tablica sa popunjenim podacima o visinama za svaku pojedinu slojnicu	18
Slika 20. Prikaz vektorizacije slojnica na HOK-u sa atributnom tablicom.....	19
Slika 21. Stranica na kojoj se mogu preuzeti ASTER DEM podaci za odabrano područje (Izvor: NASA EARTH DATA, ASTER Global Digital Elevation Model https://search.earthdata.nasa.gov/search/granules?p=C1711961296-LPCLOUD&pg[0][v]=f&pg[0][gsk]=-start_date&fi=ASTER&tl=1683665271.049!3!!&fpb0=Space-based+Platforms&lat=45.67455098141608&long=14.295387612731815&zoom=7 (Pristupljeno 28.4.2023.).....	20
Slika 22. Segment ASTER DEM snimke korišten u izradi diplomskog rada.....	21
Slika 23. Postupak ekstrakcije slojnica iz ASTER DEM sa zadanom ekvidistantom od 10m	21
Slika 24. Obuhvat područja istraživanja za TK25, HOK, ASTER i LiDAR	22

Slika 25. Oblak točaka snimljenih LiDAR-om za dio istraživnog područja	23
Slika 26. GRID dobiven iz izdvojenih LiDAR podataka za tlo	24
Slika 27. Usporedba slojnica LiDAR- HOK u programu ArcScene	25
Slika 28. Usporedbe slojnica HOK-LiDAR u programu ArcMap	26
Slika 29. Kartografski prikaz vektoriziranih slojnica na TK25.....	28
Slika 30. TIN model dobiven iz vektoriziranih slojnica na TK25	29
Slika 31. GRID model dobiven iz vektoriziranih slojnica na TK25	30
Slika 32. Pregledna karta vektoriziranih slojnica HOK-a	31
Slika 33. TIN model dobiven iz vektoriziranih slojnica na HOK	32
Slika 34. GRID model dobiven vektorizacijom slojnica na HOK	33
Slika 35. Kartografski prikaz slojnica ekstrahiranih (izdvojenih) iz ASTER DEM podataka.	34
Slika 36. TIN model dobiven iz ekstrahiranih slojnica sa ASTER- DEM.....	35
Slika 37. GRID model ASTER-a	36
Slika 38. Pregledna karta ekstrahiranih slojnica iz LiDAR podataka	37
Slika 39. TIN model dobiven iz ekstrahiranih slojnica LiDAR podataka	38
Slika 40. GRID model LiDAR-a.....	39
Slika 41. Kartografski prikaz razlike DMT-a izrađenih iz LiDAR i HOK podataka.....	40
Slika 42. Kartografski prikaz razlike DMT-a izrađenih iz LiDAR i TK25 podataka	41
Slika 43. Kartografski prikaz razlike DMT-a izrađenih iz LiDAR i ASTER podataka.....	42
Slika 44. Kartografski prikaz razlike DMT-a izrađenih iz HOK iTK25 podataka	43
Slika 45. Kartografski prikaz razlike DMT-a izrađenih iz HOK i ASTER podataka	44
Slika 46. Kartografski prikaz razlike DMT-a izrađenih iz TK25 i ASTER podataka	45
Slika 47. Kartografski prikaz (isječak) usporedbe slojnica HOK-TK25.....	46
Slika 48. Kartografski prikaz (isječak) usporedbe slojnica HOK-ASTER	47
Slika 49. Kartografski prikaz (isječak) usporedbe slojnica LiDAR-HOK.....	48

Popis tablica:

Tablica 1. Prikaz visina za četiri metode prikupljanja podataka.....	27
--	----

Popis korištenih softvera:

1. ArcGIS 10