

# Određivanje srednje udaljenosti privlačenja drva na nagnutim terenima pomoću aerofotogrametrijskih snimaka

---

**Aščić, Antonio**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2024**

*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:108:942818>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-07**



*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  
TEHNIKA, TEHNOLOGIJA I MANAGEMENT U ŠUMARSTVU**

**ANTONIO AŠČIĆ**

**ODREĐIVANJE SREDNJE UDALJENOSTI PRIVLAČENJA  
DRVA NA NAGNUTIM TERENIMA POMOĆU  
AEROFOTOGRAMETRIJSKIH SNIMAKA**

**DIPLOMSKI RAD**

**ZAGREB, 2024.**

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

**ODREĐIVANJE SREDNJE UDALJENOSTI PRIVLAČENJA**  
**DRVA NA NAGNUTIM TERENIMA POMOĆU**  
**AEROFOTOGRAMETRIJSKIH SNIMAKA**

**DIPLOMSKI RAD**

Diplomski studij Šumarstvo, smjer: Tehnika, tehnologija i management u šumarstvu

Predmet: Otvaranje šuma

Ispitno povjerenstvo:

1. izv. prof. dr. sc. Andreja Đuka

2. izv. prof. dr. sc. Ivica Papa

3. prof. dr. sc. Tibor Pentek

prof. dr. sc. Tomislav Poršinsky (zamjenski član)

Student: Antonio Aščić

JMBAG: 0068234462

Datum odobrenja teme: 26. travnja 2024.

Datum predaje rada: 10.7.2024.

Datum obrane rada: 12.7.2024.

Zagreb, srpanj 2024.

## DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Naslov:	Određivanje srednje udaljenosti privlačenja drva na nagnutim terenima pomoću aerofotogrametrijskih snimaka
Title:	Determining average skidding distance on slope terrain using aerial photogrammetry
Autor:	Antonio Aščić
Adresa autora:	Klajner brdo 9, Vrbovsko
Mjesto izrade:	Sveučilište u Zagrebu Fakultet šumarstva i drvne tehnologije
Vrste objava:	Diplomski rad
Mentor:	izv. prof. dr. sc. Andreja Đuka
Izradi rada pomogao:	izv. prof. dr. sc. Ivica Papa, mag.ing.silv. Mihael Lovrinčević
Godina objave:	2024.
Obujam:	poglavlja: 7, stranica: 77, slika: 39, tablica 32, navoda literature: 80
Ključne riječi:	Bespilotne letjelice, digitalni model terena, prostorne analize u GIS-u, primjena bespilotnih letjelica u šumarstvu, planiranje, veličina piksela, stvarna udaljenost privlačenja drva
Key words:	Unmanned aerial vehicles, digital terrain model, spatial analysis in GIS, application of unmanned aerial vehicles in forestry, pixel size, real skidding distance
Sažetak:	<p>S ciljem što efikasnijeg planiranja i gospodarenja šumskim ekosustavima imajući u vidu smanjenje troškova rada pridobivanja drva neophodno je postojanje što točnijih i preciznijih izvora podataka. Srednja stvarna udaljenost privlačenja drva jedan je od parametara koji daju uvid u troškove budućih radova. Istraživano područje obuhvaćeno diplomskim radom nalazi se u Upravi šuma podružnica (UŠP) Delnice, konkretno šumariji Vrbovsko, gospodarske jedinice (GJ) Cetin, odsjek 11a i Gložac, odsjeci 19b i 20b te u šumariji Skrad, gospodarske jedinice (GJ) Jasle, odsjeci 33a i 58a. Glavni ciljevi rada su: odrediti optimalnu veličinu piksela izrađenih digitalnih modela terena (DMT) na temelju aerofotografija snimljenih bespilotnom letjelicom pri kojoj ne dolazi do statistički značajne razlike u računanju stvarne udaljenosti privlačenja drva za analizirane izvozne pravce istraživanog područja, pritom imajući na umu da izrađeni DMT sadržavaju što manju količinu podataka potrebnih za pohranu; utvrditi postoji li statistički značajna razlika pri izračunu stvarne udaljenosti privlačenja drva izvoznih pravaca na temelju postojećeg digitalnog modela terena veličine piksela 15 x 15 m dostupnog za kompletno područje Republike Hrvatske i digitalnog modela terena dobivenim aerofotogrametrijskim snimanjem istraživanog područja.</p>
Summary:	<p>For the purpose of more efficient planning and management of forest ecosystems, with an emphasis on reducing wood harvesting costs, it is essential to have highly accurate and precise data sources. The average actual skidding distance is one of the parameters that provide insight into the costs of future operations. The study area covered by this thesis is located in the Forestry Administration (FA) Delnice, specifically the</p>

---

<p>Vrbovsko forestry office (FO), management units (MU) Cetin, subcompartment 11a, and Gložac, subcompartments 19b and 20b, as well as the Skrad forestry office (FO), management units (MU) Jasle, subcompartments 33a and 58a. The main objectives of the study are: to determine the optimal pixel size of the created digital terrain models (DTM) based on aerial photographs taken by an unmanned aerial vehicle, at which there is no statistically significant difference in calculating the actual skidding distance for the analyzed extraction routes of the study area, while keeping in mind that the created DTMs contain the minimal amount of data needed for storage; to determine whether there is a statistically significant difference in the calculation of the actual skidding distance of extraction routes based on the existing digital terrain model with a pixel size of 15 x 15 m available for the entire area of the Republic of Croatia and the digital terrain model obtained by aerial photogrammetry of the study area.</p>
--

---

	<b>IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI</b>	<b>OB FŠDT D8 01</b>
		Revizija: 3
		Datum: 29.04.2021.

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

---

*vlastoručni potpis*

**Antonio Aščić**

U Zagrebu, 10. srpnja 2024. godine

## ***Predgovor***

*Zahvaljujem svojoj mentorici izv. prof. dr. sc. Andreji Đuki na svojoj pomoći i vodstvu prilikom izrade ovog diplomskog rada. Posebno zahvaljujem izv. prof. dr. sc. Ivici Papi, mag. ing. silv. Mihaelu Lovrinčeviću te dr. sc. Davidu Janešu na svojoj pomoći i znanju koje su mi prenijeli tijekom studiranja i izrade diplomskog rada.*

*Ipak, najviše zahvaljujem svojoj obitelji na svom strpljenju i podršci tijekom studiranja.*

# KAZALO SADRŽAJA

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>1.1. PLANIRANJE U ŠUMARSTVU</b> .....	3
1.1.1. Planiranje pridobivanja drva.....	3
1.1.2. Planiranje šumskih prometnica.....	4
<b>1.2. ULOGA I PODJELA ŠUMSKE PROMETNE INFRASTRUKTURE</b> .....	5
1.2.1. Primarne šumske prometnice .....	5
1.2.2. Sekundarne šumske prometnice .....	6
<b>1.3. PARAMETRI PROCJENE KVALITETE I KVANTITETE MREŽE ŠUMSKE PROMETNE INFRASTRUKTURE</b> .....	6
1.3.1. Klasična otvorenost šuma.....	6
1.3.2. Relativna otvorenost šuma .....	6
1.3.3. Primarna i sekundarna relativna otvorenost šuma.....	7
1.3.4. Srednja udaljenost privlačenja.....	9
1.3.5. Međusobni razmak između šumskih cesta .....	11
<b>1.4. ZNAČAJKE RELJEFA ZA POTREBE PRIDOBIVANJA DRVA I OTVARANJA ŠUMA</b> .....	12
1.4.1. Nagib terena .....	12
1.4.2. Površinske prepreke.....	13
1.4.3. Nosivost podloge.....	13
1.4.4. Razredba terena za potrebe pridobivanja drva .....	14
<b>1.5. GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI SUSTAV</b> .....	16
1.5.1. Digitalni model terena naspram digitalnog modela površine.....	17
1.5.2. Bepilotne letjelice s osvrtnom na planiranje šumske infrastrukture .....	18
<b>1.6. SUSTAVI PRIDOBIVANJA DRVA U REPUBLICI HRVATSKOJ</b> .....	19
1.6.1. Karakterističan sustav pridobivanja drva istraživanog područja (Motorna pila – Skider s vitlom) .....	20
<b>1.7. OBLICI MREŽE ŠUMSKE PROMETNE INFRASTRUKTURE</b> .....	22
<b>1.8. SREDNJA UDALJENOST PRIVLAČENJA DRVA (VRSTE I NAČIN IZRAČUNA)</b> .....	23
1.8.1. Teorijska srednja udaljenost privlačenja drva .....	24
1.8.2. Geometrijska srednja udaljenost privlačenja drva.....	25
1.8.3. Stvarna srednja udaljenost privlačenja drva .....	25
<b>2. CILJ DIPLOMSKOGA RADA</b> .....	27
<b>3. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA</b> .....	28



<b>3.1. GEOLOŠKA PODLOGA I TLO</b> .....	29
<b>3.2. KLIMA</b> .....	29
<b>3.3. ŠUMSKE ZAJEDNICE</b> .....	29
<b>3.4. PRIDOBIVANJE DRVA</b> .....	30
<b>3.5. POSTOJEĆA PROMETNA INFRASTRUKTURA ISTRAŽIVANIH G.J.</b> .....	30
3.5.1. Šumarija Vrbovsko .....	30
3.5.2. Šumarija Skrad .....	31
<b>4. METODE ISTRAŽIVANJA</b> .....	32
<b>4.1. AEROFOTGRAMETRIJSKO SNIMANJE</b> .....	32
<b>4.2. IZRADA DIGITALNOG MODELA TERENA</b> .....	33
<b>4.3. POVEĆAVANJE VELIČINE PIKSELA IZVORNOG DMT-A</b> .....	33
<b>4.4. ANALIZA IZVOZNIH PUTEVA</b> .....	34
<b>4.5. IZRAČUNAVANJE STVARNE SREDNJE UDALJENOSTI PRIVLAČENJA DRVA     TEMELJENE NA RAZLIČITOJ VELIČINI PIKSELA</b> .....	35
<b>5. REZULTATI</b> .....	38
<b>5.1. DMT ISTRAŽIVANOG PODRUČJA</b> .....	38
5.1.1. Šumarija Vrbovsko .....	38
5.1.2. Šumarija Skrad .....	42
<b>5.2. ODREĐIVANJE IZVOZNIH PRAVACA</b> .....	44
5.2.1. Šumarija Vrbovsko .....	44
5.2.2. Šumarija Skrad .....	47
<b>5.3. SREDNJA STVARNA UDALJENOST PRIVLAČENJA DRVA TEMELJENA NA     RAZLIČITOJ VELIČINI PIKSELA</b> .....	49
5.3.1. Šumarija Vrbovsko .....	50
5.3.2. Šumarija Skrad .....	56
<b>5.4. STATISTIČKA OBRADA PODATAKA</b> .....	60
<b>6. ZAKLJUČCI</b> .....	71
<b>7. LITERATURA</b> .....	73

## KAZALO SLIKA

<b>Slika 1.</b> Karta nagiba terena u Republici Hrvatskoj prema Poršinsky i dr. (2014) .....	1
<b>Slika 2.</b> Razredba šumske prometne infrastrukture (Pentek i dr. 2014).....	5
<b>Slika 3.</b> Grafički prikaz relativne otvorenosti šuma (Pentek 2012) .....	8
<b>Slika 4.</b> Grafički prikaz učinkovitih i neučinkovitih zona (Pentek 2012).....	8
<b>Slika 5.</b> Shematski prikaz centralnog i paralelnog privlačenja drva (Pentek 2012).....	9
<b>Slika 6.</b> Grafički prikaz prekretnice troškova (Dietz i dr.(1984), Sunberg i Silversides (1988), Akay i Sessions (2001)).....	11
<b>Slika 7.</b> Bygdenova razredba nosivosti tla Poršinsky i dr. (2014) .....	14
<b>Slika 8.</b> Prikaz izračuna trodimenzionalne duljine između sredine centralnog rastera i središta okolnih rastera (Jennes 2004) .....	17
<b>Slika 9.</b> Primjer bespilotne letjelice ( <a href="https://www.dji.com/hr/mavic-3-classic">https://www.dji.com/hr/mavic-3-classic</a> ).....	18
<b>Slika 10.</b> Prikaz tehnologije rada motorna pila i skider (Vusić 2022) .....	21
<b>Slika 11.</b> Raspored mreže sekundarnih šumskih prometnica (Pentek 2012).....	22
<b>Slika 12.</b> Karta područja istraživanja .....	28
<b>Slika 13.</b> Bespilotna letjelica DJI Mavic 3 Enerprise .....	32
<b>Slika 14.</b> PIX4Dmapper, verzija 4.8.4. Klasifikacija po grupama.....	33
<b>Slika 15.</b> Opcija Resample u ArcToolbox-u programa ArcMap 10.8. ....	34
<b>Slika 16.</b> Traktorski putevi u odsjeku 11a, G.J. Cetin, šumarije Vrbovsko.....	34
<b>Slika 17.</b> Pojedini izvozni pravci u odsjeku 11a, G.J. Cetin, šumarije Vrbovsko .....	35
<b>Slika 18.</b> Izvozni pravci u rasterskom obliku, G.J. Cetin, šumarije Vrbovsko.....	36
<b>Slika 19.</b> Alat Path Distance u ArcToolbox-u programa ArcMap 10.8.....	36
<b>Slika 20.</b> ModelBuilder ( <a href="https://desktop.arcgis.com/">https://desktop.arcgis.com/</a> ) .....	37
<b>Slika 21.</b> Model Builder stvarne udaljenosti privlačenja .....	37
<b>Slika 22.</b> Digitalni model terena odsjeka 11a, G.J. Cetin, šumarije Vrbovsko .....	39
<b>Slika 23.</b> Digitalni model terena odsjeka 19b i 20b, G.J. Gložac, šumarije Vrbovsko.....	41
<b>Slika 24.</b> Digitalni model terena odsjeka 33a i 58a, G.J. Jasle, šumarije Skrad .....	43
<b>Slika 25.</b> Karta izvoznih pravaca odsjeka 11a, G.J. Cetin, šumarije Vrbovsko .....	44
<b>Slika 26.</b> Karta izvoznih pravaca odsjeka 19b, G.J. Gložac, šumarije Vrbovsko.....	45
<b>Slika 27.</b> Karta izvoznih pravaca odsjeka 20b, G.J. Gložac, šumarije Vrbovsko.....	46
<b>Slika 28.</b> Karta izvoznih pravaca odsjeka 33a, G.J. Jasle, šumarije Skrad.....	47
<b>Slika 29.</b> Karta izvoznih pravaca odsjeka 58a, G.J. Jasle, šumarije Skrad.....	48
<b>Slika 30.</b> Model Builder korišten pri izračunu stvarne udaljenosti privlačenja .....	49
<b>Slika 31.</b> Karta srednje stvarne udaljenosti privlačenja odsjeka 11a, G.J. Cetin, šumarije Vrbovsko .....	51
<b>Slika 32.</b> Karta srednje stvarne udaljenosti privlačenja odsjeka 19b, G.J. Gložac, šumarije Vrbovsko.....	53
<b>Slika 33.</b> Karta srednje stvarne udaljenosti privlačenja odsjeka 19b, G.J. Gložac, šumarije Vrbovsko.....	55
<b>Slika 34.</b> Karta srednje stvarne udaljenosti privlačenja drva odsjeka 33a, G.J. Jasle, šumarije Skrad.....	57
<b>Slika 35.</b> Karta srednje stvarne udaljenosti privlačenja odsjeka 58a, G.J. Jasle, šumarije Skrad .....	59
<b>Slika 36.</b> Kolmogorov-Smirnof i Lilliefors-ovim test normalnosti razlika u stvarnim udaljenosti privlačenja drva za sve izvozne pravce istraživanog područja.....	63
<b>Slika 37.</b> Grafički prikaz razlike u srednjim stvarnim udaljenosti privlačenja drva izvoznih pravaca istraživanoga područja za digitalne modele terena različitih veličina piksela (box plot) .....	64
<b>Slika 38.</b> Kolmogorov-Smirnof i Lilliefors-ovim test normalnosti razlika u srednjim stvarnim udaljenosti privlačenja drva za sve izvozne pravce i sve izrađene digitalne modele terena istraživanog područja.....	68

**Slika 39.** Grafički prikaz razlike u srednjim stvarnim udaljenosti privlačenja izvoznih pravaca istraživanoga područja za sve izrađene digitalne modele terena različitih veličina piksela (box plot)..... 70

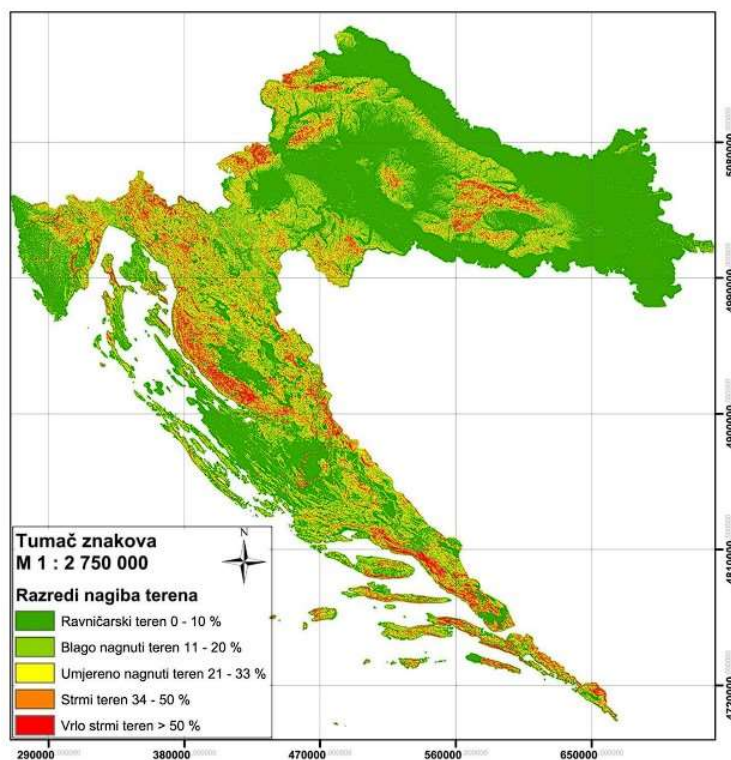
## KAZALO TABLICA

<b>Tablica 1.</b> Tabelirani prikaz raščlamba kuta, duljine te oblika nagiba terena (Löffler 1984).....	12
<b>Tablica 2.</b> Raščlamba površinskih prepreka prema Mellgrenu (1980).....	13
<b>Tablica 3.</b> Osnovna podjela terenskih čimbenika u pet razreda (Mellgren 1980).....	15
<b>Tablica 4.</b> Klasifikacija prikazanih sustava pridobivanja drva (Vusić i Horvat 2016).....	19
<b>Tablica 5.</b> Značajke MP – skidera s vitlom sustava pridobivanja drva (Poršinsky 2008).....	21
<b>Tablica 6.</b> Ukupna otvorenost gospodarske jedinice Cetin .....	30
<b>Tablica 7.</b> Ukupna otvorenost gospodarske jedinice Gložac.....	31
<b>Tablica 8.</b> Ukupna otvorenost gospodarske jedinice Jasle .....	31
<b>Tablica 9.</b> Podaci o digitalnim modelima terena odsjeka 11a, G.J. Cetin, šumarije Vrbovsko.....	39
<b>Tablica 10.</b> Podaci o digitalnim modelima terena odsjeka 19b, G.J. Gložac, šumarije Vrbovsko.....	40
<b>Tablica 11.</b> Podaci o digitalnim modelima terena odsjeka 20b, G.J. Gložac, šumarije Vrbovsko.....	41
<b>Tablica 12.</b> Podaci o digitalnim modelima terena odsjeka 33a, G.J. Jasle, šumarije Skrad.....	42
<b>Tablica 13.</b> Podaci o digitalnim modelima terena odsjeka 58a, G.J. Jasle, šumarije Skrad.....	43
<b>Tablica 14.</b> Srednja stvarna udaljenost privlačenja drva temeljena na različitoj veličini piksela odsjeka 11a, G.J. Cetin, šumarije Vrbovsko.....	50
<b>Tablica 15.</b> Srednja stvarna udaljenost privlačenja drva temeljena na različitoj veličini piksela odsjeka 19b, G.J. Gložac, šumarije Vrbovsko.....	52
<b>Tablica 16.</b> Srednja stvarna udaljenost privlačenja drva temeljena na različitoj veličini piksela odsjeka 20b, G.J. Gložac, šumarije Vrbovsko.....	54
<b>Tablica 17.</b> Srednja stvarna udaljenost privlačenja drva temeljena na različitoj veličini piksela odsjeka 33a, G.J. Jasle, šumarije Skrad.....	56
<b>Tablica 18.</b> Stvarna udaljenost privlačenja temeljena na različitoj veličini piksela odsjeka 58a, G.J. Jasle, šumarije Skrad.....	58
<b>Tablica 19.</b> Razlika u srednjim stvarnim udaljenostima privlačenja drva za izvozne pravce odsjeka 11a, gospodarske jedinice Cetin, šumarije Vrbovsko izračunate na temelju uspoređivanih DMT-ova.....	60
<b>Tablica 20.</b> Razlika u srednjim stvarnim udaljenostima privlačenja drva za izvozne pravce odsjeka 19b, gospodarske jedinice Gložac, šumarije Vrbovsko izračunate na temelju uspoređivanih DMT-ova.....	60
<b>Tablica 21.</b> Razlika u srednjim stvarnim udaljenostima privlačenja drva za izvozne pravce odsjeka 20b, gospodarske jedinice Gložac, šumarije Vrbovsko izračunate na temelju uspoređivanih DMT-ova.....	61
<b>Tablica 22.</b> Razlika u srednjim stvarnim udaljenostima privlačenja drva za izvozne pravce odsjeka 33a, gospodarske jedinice Jasle, šumarije Skrad izračunate na temelju uspoređivanih DMT-ova.....	61
<b>Tablica 23.</b> Razlika u srednjim stvarnim udaljenostima privlačenja drva za izvozne pravce odsjeka 58a, gospodarske jedinice Jasle, šumarije Skrad izračunate na temelju uspoređivanih DMT-ova.....	62
<b>Tablica 24.</b> Prosječnih vrijednosti razlika u srednjim stvarnim udaljenostima privlačenja drva istraživanog područja.....	63
<b>Tablica 25.</b> Statistički značajne razlike u srednjim stvarnim udaljenostima privlačenja drva izvoznih pravaca istraživanoga područja za digitalne modele terena različitih veličina piksela.....	64
<b>Tablica 26.</b> Razlika u srednjim stvarnim udaljenostima privlačenja drva za izvozne pravce odsjeka 11a, gospodarske jedinice Cetin, šumarije Vrbovsko izračunate na temelju novo deriviranih DMT-ova u odnosu na izvorni .....	65
<b>Tablica 27.</b> Razlika u srednjim stvarnim udaljenostima privlačenja drva za izvozne pravce odsjeka 19b, gospodarske jedinice Gložac, šumarije Vrbovsko izračunate na temelju novo deriviranih DMT-ova u odnosu na izvorni .....	65

<b>Tablica 28.</b> Razlika u srednjim stvarnim udaljenostima privlačenja drva za izvozne pravce odsjeka 20b, gospodarske jedinice Gložac, šumarije Vrbovsko izračunate na temelju novo deriviranih DMT-ova u odnosu na izvorni .....	66
<b>Tablica 29.</b> Razlika u srednjim stvarnim udaljenostima privlačenja drva za izvozne pravce odsjeka 33a, gospodarske jedinice Jasle, šumarije Skrad izračunate na temelju novo deriviranih DMT-ova u odnosu na izvorni.....	66
<b>Tablica 30.</b> Razlika u srednjim stvarnim udaljenostima privlačenja drva za izvozne pravce odsjeka 58a, gospodarske jedinice Jasle, šumarije Skrad izračunate na temelju novo deriviranih DMT-ova u odnosu na izvorni.....	66
<b>Tablica 31.</b> Prosječnih vrijednosti razlika u srednjim stvarnim udaljenostima privlačenja drva istraživanog područja.....	68
<b>Tablica 32.</b> Statistički značajne razlike u srednjim stvarnim udaljenosti privlačenja izvoznih pravaca istraživanoga područja za sve izrađene digitalne modele terena različitih veličina piksela.....	69

# 1. UVOD

U Republici Hrvatskoj ukupna površina šuma i šumskih zemljišta proteže se na 2,76 milijuna ha, što čini 49,3 % kopnene površine te kao takva Hrvatska spada u među najšumovitije europske zemlje (<http://portal.hrsume.hr/>). Šume u Hrvatskoj se prema namjeni dijele na : gospodarske, zaštitne i šume posebne namjene (Zakon o šumama, Narodne novine br. 68/18, 115/18, 98/19, 32/20, 145/20, 101/23). U ukupnoj površini šuma Republike Hrvatske najviše je gospodarskih šuma koje pridolaze na 52 % površine, dok najmanju površinu zauzimaju šume posebne namjene na svega 18 % ukupne površine. Šume i šumska zemljišta prema vlasništvu dijelimo na: državne šume 73 %, privatne šume 24 %, ostalo 3 %. Drvna zaliha šuma Republike Hrvatske iznosi 419 milijuna m<sup>3</sup>. Većina drvene zalihe, točnije, 335 milijuna m<sup>3</sup> nalazi se u državnim šumama, dok drvna zaliha u šumama privatnih šumoposjednika iznosi 84 milijuna m<sup>3</sup> (Anon. 2017). Najdominantnije metode rada pridobivanja drva u Republici Hrvatskoj su sortimentna i poludeblovna metoda za koje se podrazumijeva upotreba djelomično mehaniziranog sustava pridobivanja drva. Djelomično mehanizirani sustav pridobivanja drva podrazumijeva da se sječa i izrada obavljaju motornom pilom, a drvo se iz sječine do pomoćnog stovarišta privlači skiderima odnosno prevozi upotrebom forvardera i adaptiranih poljoprivrednih traktora (Vusić 2013). Međutim potrebno je naglasiti kako je zbog nagiba terena koji premašuje 10 % na 60 % terena Republike Hrvatske (slika 1) dominantno sredstvo rada skider s opremljenim vitlom. Osim nagiba terena za svaku razredbu terena kao najvažniji element podjele ističu se još i nosivost tla te površinske prepreke (Đuka 2014) upravo ti čimbenici utječu na uzdužnu i poprečnu stabilnost vozila prilikom privlačenja drva, proizvodnost i sigurnost vozila prilikom rada (Visser i Stampfer 2015).



Slika 1. Karta nagiba terena u Republici Hrvatskoj prema Poršinsky i dr. (2014)

Sve intenzivnije upravljanje šumskim resursima rezultiralo je većom potrebom za gušćom mrežom primarne i sekundarne šumske prometne infrastrukture. Izgradnjom i uspostavom šumske prometne infrastrukture smanjuje se srednja udaljenost privlačenja drva čime se ujedno smanjuju i troškovi u procesu pridobivanja drva (Pentek i dr. 2010). Srednja udaljenost privlačenja drva prema Dietz i dr. (1984) dijeli se na: teorijsku srednju udaljenost privlačenja, geometrijsku srednju udaljenost privlačenja i stvarnu srednju udaljenost privlačenja drva. Đuka (2014) srednju stvarnu udaljenost privlačenja drva definira kao aritmetičku sredinu ostvarenih udaljenosti privlačenja drva od beskonačnog broja točaka jednoliko raspoređenih po površini, do mjesta na šumskoj cesti gdje se sabire drvo. Korigirana je s čimbenicima vertikalne korekcije terena i zaobilazanjem horizontalnih prepreka (Pentek 2002).

Sastavnice sekundarne šumske prometne infrastrukture su sekundarne šumske prometnice odnosno traktorski putevi, traktorske vlake i žične linije. Namjena sekundarnih šumskih prometnica u prvom je redu za privlačenje drva od mjesta sakupljanja drva do pomoćnog stovarišta (primarni transport drva) te povremeno služe za izvršavanje zadataka predviđenih planom gospodarenja (Pentek i dr. 2014).

Traktorski putevi su građevinski objekti trajnog karaktera koji su izgrađeni samo od donjeg ustroja. Povezani su uz nagnute terene, teže građevinske kategorije materijala i prisutnost površinskih prepreka (Pentek i dr. 2014).

Traktorske vlake su sekundarne šumske prometnice privremenog karaktera, nastaju prosijecanjem trase kroz šumu, eventualnim vađenjem panjeva te uzastopnim prolaskom stroja za privlačenje drva (skider, forvarder) istim tragom. Karakteristične su za ravne terene, lakše građevinske kategorije materijala i odsutnosti površinskih prepreka (Pentek i dr. 2014).

Potencijalni način smanjenja troškova rada određivanja optimalnog prostornog razmještaja primarne i sekundarne šumske prometne infrastrukture te daljnja analiza izgrađene primarne i sekundarne šumske infrastrukture omogućuje primjena snimki snimljenih bespilotnim letjelicama u kombinaciji s upotrebom geografskih informacijskih sustava.

## 1.1. PLANIRANJE U ŠUMARSTVU

Planiranje je proces definiranja određenih ciljeva, strategija i akcija koje su neophodne za postizanje zadanih ciljeva. Planiranje gospodarenja šumom (uređivanje šuma) označava proces prostorno-vremenskoga određivanja (propisivanja) vrste, količine i načina provedbe postupaka u šumi (Čavlović 2013). Planiranje u šumarstvu uključuje različite aspekte planiranja koji se prema Weintraub i Bare (1996), Martell i dr. (1998), dijeli na strategijsko, taktičko i operativno planiranje. Strategijsko planiranje podrazumijeva osiguravanje potrajnog gospodarenja uz uvećanje trenutnih prihoda. Taktičko planiranje za razliku od strategijskog planiranja obuhvaća puno kraći vremenski period, a za cilj ima pronaći načine pomoću kojih će se postići ciljevi na razini strategijskog planiranja. Operativno planiranje je najniža razina planiranja, a opisuje načine na koje će aktivnosti propisane na razini taktičkog planiranja biti provedene (Boylend 2003). Vrlo često ova razina planiranja se susreće s nepredvidljivim i nenadanim situacijama koje ujedno predstavljaju granicu između planiranja i samog izvršenja.

### 1.1.1. Planiranje pridobivanja drva

Postupak proizvodnje drvnih sortimenata nazivamo pridobivanje drva. Pod drvnim sortimentima se pritom podrazumijeva tehničko drvo (tehnička oblovinna, tesano i cijepano), drvo za kemijsko iskorištavanje (kemijska prerada drva) i ogrjevno drvo (Đuka 2021). Cilj i svrha pridobivanja drva je obavljanje radova sječe i izrade, privlačenja i daljinskog prijevoza drvnih sortimenata na ekološki pogodan i društveno-ekonomski prihvatljiv način, odnosno planiranjem se želi umanjiti negativan utjecaj radova pridobivanja drva na stanište i biocenozu te ostvariti potrajnost proizvodnje uz minimalne troškove rada.

Prema Penteku (2021) kod planiranja pridobivanja drva razlikujemo sljedeće razine:

- ❖ Strategijsko planiranje – odnosi se na razdoblje od najmanje jedne ophodnje te kao takvo je dugoročnog karaktera.
- ❖ Taktičko planiranje – obuhvaća razdoblje od 10 godina te kao takvo je srednjoročnog karaktera.
- ❖ Godišnje planiranje – kratkoročnog je karaktera te kao glavni cilj je provođenje smjernica pripisanih taktičkim planiranjem, npr. doznaka i izrada plana sječa.
- ❖ Operativno planiranje – odnosi se na izradu elaborata radilišta za kraće vremensko razdoblje odnosno do 1 godine.

Pridobivanje drva je složen postupak koji zahtjeva opsežno planiranje i operativnu pripremu rada (Oberholzer 2010, Sessions 2007). Neizostavan proces pridobivanja drva je i sam transport od mjesta sječe do šumske ceste ili pomoćnog stovarišta (primarni transport) te od šumske ceste do krajnjeg korisnika (sekundarni transport). Sam transport drvnih sortimenata odvija se po mreži primarnih i sekundarnih šumskih prometnica, koje također zahtijevaju planiranje kako bi se što učinkovitije i kvalitetnije otvorilo neko šumsko područje uz što manji negativan utjecaj na okoliš. Tako planirane šumske prometnice značajan su faktor pri planiranju samog procesa pridobivanja drva.



## 1.1.2. Planiranje šumskih prometnica

Jedan od važnijih aspekata gospodarenja šumama je planiranje primarnih i sekundarnih šumskih prometnica koje omogućavaju pristup šumskim resursima i olakšavaju transport drvnih sortimenata. Dobro planirane primarne i sekundarne šumske prometnice pridonose smanjenju negativnih utjecaja na okoliš, smanjenju troškova te povećanju same sigurnosti transporta drva.

Za postojanje kvalitetne mreže šumskih prometnica neophodno je prije projektiranja i izgradnje šumskih cesta provesti opsežni postupak planiranja, odnosno odlučivanja gdje će se buduća šumska cesta najbolje uklopiti u prostor te na taj način omogućiti obavljanje radnih zadataka predviđenih planom gospodarenja (Janeš 2021 prema Picchio i dr. 2018).

Prema složenosti Forsberg i dr. 2005, Karlsson i Rönnqvist 2005, D' Amorus i dr. 2008, Pentek i dr. 2014. planiranje šumskih prometnica dijele na tri razine:

- ❖ Strategijsko ili globalno – podrazumijeva planiranje šumskih prometnica odnosno otvaranje šumskih prometnica na razini države pri čemu je neophodno odrediti ukupnu dužinu šumskih prometnica koju želimo postići i ciljanu gustoću šumskih prometnica.
- ❖ Taktičko ili generalno – predstavlja svojevrsan nastavak strategijskog planiranja s detaljnim uvažavanjem stanišnih i sastojinskih prilika (Andersson 2005). Predstavlja planiranje detaljnijih postupaka i radova na razini gospodarske jedinice. Rezultat ove razine planiranja je studija otvaranja šuma (Pentek i dr. 2014) koja se odnosi na primarne i/ili sekundarne šumske prometnice pojedine gospodarske jedinice.
- ❖ Operativno ili lokalno – je najniža razina planiranja kojom se kao rezultat stvara više inačica nultih linija koje se nakon rekognosciranja terena prevode u operativni odnosno osovinski poligon buduće šumske ceste.

Učinkovito planiranje započinje uspostavom GIS-a (geografsko informacijski sustav) istraživanog područja uz stvaranje atributnih bazi podataka prikupljenih iz digitalnih zemljovida, terenskih mjerenja, aerofotogrametrijskih snimaka i slično. Nakon početne faze formiranja baze podataka s pripadajućim registrom primarne šumske prometne infrastrukture, pristupa se analizom postojećeg stanja istraživanog područja (Pentek i dr. 2016). Analizom postojeće mreže šumskih prometnica utvrđuje se kvaliteta, kvantiteta te eventualni nedostaci temeljem gustoće prometnica (klasične otvorenosti), srednje udaljenosti privlačenja, postotku dostupne površine (relativna otvorenost) te međusobni razmak šumskih cesta, shodno tome na temelju rezultata dobivenih analizom postojeće mreže šumskih prometnica određujemo ima li potrebe za daljnjim otvaranjem nekog šumskog područja s ciljem postizanja što optimalnijeg rasporeda šumskih prometnica.

## 1.2. ULOGA I PODJELA ŠUMSKE PROMETNE INFRASTRUKTURE

Prema Zakonu o šumama (Narodne novine br. 68/18, 115/18, 98/19, 32/20, 145/20, 101/23), šumska infrastruktura je sastavni dio šume i šumskog zemljišta, a obuhvaća prometnu infrastrukturu i druge građevine u šumama i na šumskom zemljištu namijenjene njihovom gospodarenju. Šikić i dr. (1989) prema vrsti prometa šumsku prometnu infrastrukturu dijeli na:

- ❖ Primarne šumske prometnice – šumske ceste odnosno trajni građevinski objekti koji omogućavaju stalan promet motornih vozila i izvođenje zadataka predviđenih planom gospodarenja.
- ❖ Sekundarne šumske prometnice – traktorski putovi ili traktorske vlake čija je svrha pomicanje drva od mjesta sječe do pomoćnog stovarišta, tj. primarni transport drva.



Slika 2. Razredba šumske prometne infrastrukture (Pentek i dr. 2014)

### 1.2.1. Primarne šumske prometnice

To su trajni građevinski objekti koji omogućavaju neprekidan promet motornim vozilima radi obavljanja zadataka predviđenim šumskogospodarskim planom. Primarne šumske prometnice izgrađene su od donjeg i gornjeg ustroja sa svim tehničkim značajkama ceste.

Prema pravilniku o provedbi mjere M04»Ulaganje u fizičku imovinu« podmjere 4.3.»Potpora za ulaganja u infrastrukturu vezano za razvoj, modernizaciju i prilagodbu poljoprivrede i šumarstva«, tipa operacije 4.3.3.»Ulaganje u šumsku infrastrukturu« iz Programa ruralnog razvoja Republike Hrvatske za razdoblje 2014. – 2020. (NN 106/2015, 65/17, 77/17), primarne šumske prometnice dijele se na:

- ❖ spojne ceste (ŠC)
- ❖ glavne šumske ceste (GŠC)
- ❖ sporedne šumske ceste (SŠC)
- ❖ prilazne šumske ceste A (PŠCA)
- ❖ prilazne šumske ceste B (PŠCB)

## 1.2.2. Sekundarne šumske prometnice

Pod sekundarnim šumskim prometnicama smatraju se traktorski putovi (TP), traktorske vlake (TV) i žične linije (ŽL) (Pentek 2012). Sekundarne šumske prometnice su građevinski objekti koji prvenstveno služe za povremeno izvršavanje zadataka predviđenih šumskogospodarskim planom. U prvom redu namijenjene su za privlačenje drva skiderima, izvoženje drva forvarderima i iznošenje drva šumskim žičarama.

Traktorski putovi sastoje se od donjeg ustroja te ih smatramo građevinskim objektima, za razliku od traktorskih vlaka koje dobijemo uzastopnim prolaskom stroja (skidera, forvardera) istim tragom te ih smatramo privremenim građevinskim objektima (Pentek i dr. 2010). Nakon što traktorske vlake izvrše svoju ulogu ponovo postaju proizvodno šumsko zemljište.

## 1.3. PARAMETRI PROCJENE KVALITETE I KVANTITETE MREŽE ŠUMSKE PROMETNE INFRASTRUKTURE

Glavni cilj otvaranja šuma je omogućiti izvršavanje svih zadataka predviđenih planom gospodarenja određenog šumskog područja odnosno na terenu uspostaviti prostorno što bolje položenu mrežu šumskih prometnica. Osnovna procjena kvalitete i kvantitete mreže šumskih prometnica očituje se kroz četiri osnovna parametra prema Penteku (2012):

- ❖ klasična otvorenost šuma,
- ❖ relativna otvorenost šuma,
- ❖ srednja udaljenost privlačenja,
- ❖ međusobni razmak između šumskih cesta.

### 1.3.1. Klasična otvorenost šuma

Klasična otvorenost šuma dijeli se na primarnu i sekundarnu otvorenost šuma. Kao takva klasična otvorenost šuma je kvantitativni pokazatelj po jedinici površine (m/ha ili km/1000ha) te nam ne prikazuje kvalitetu rasporeda mreže šumskih prometnica na nekom šumskom području. Iz tog razloga, klasičnu otvorenost šuma odnosno gustoću mreže primarnih šumskih prometnica prikazuje se zajedno s podacima o srednjoj udaljenosti privlačenja drva, čime se ostvaruje vizija o kvaliteti prostornog položaja i oblika mreže šumskih prometnica u prostoru.

### 1.3.2. Relativna otvorenost šuma

Relativna otvorenost šuma je istovremeno kvantitativni i kvalitativni parametar koji nam (vizualizacijom) daje dobar uvid u prostorni razmještaj šumskih prometnica, a iskazuje omjer površine šumskog područja otvorenog šumskim prometnicama i ukupne površine šume (u %) (Papa i Pentek 2022). Kao takva ima vrlo važnu ulogu u utvrđivanju neotvorenih šumskih područja, te je jednako važna pri

provedbi budućeg gospodarenja. Relativna otvorenost šuma utvrđuje se metodom omeđenih površina oko šumske prometne infrastrukture. Širina omeđenih površina ovisi o samom sustavu pridobivanja drva te razini šumskog transportnog sustava (primarni ili sekundarni transport).

Primarna relativna otvorenost šuma izračunava se formulom:

$$O_R = \frac{P_O}{P_U} \times 100$$

Gdje je :

$O_R$  – primarna relativna otvorenost, %

$P_O$  – otvorena površina za ciljanu geometrijsku udaljenost privlačenja drva (sukladno Pravilniku provedbi mjere M04 (NN 106/15, 65/17, 77/17, 84/18)), ha

$P_U$  – ukupna površina otvaranog područja, ha

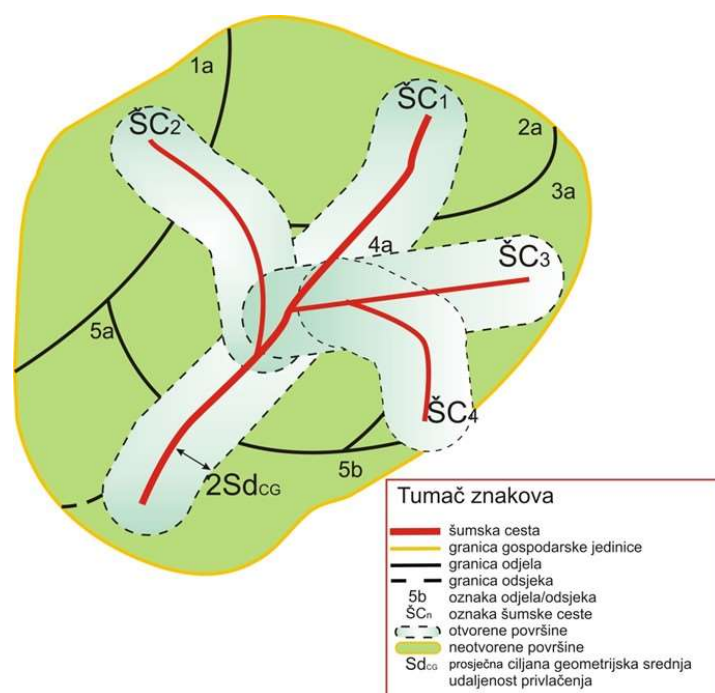
### 1.3.3. Primarna i sekundarna relativna otvorenost šuma

Primarna relativna otvorenost se prema Pravilniku o provedbi mjere M04, klasificira u sljedeće razrede stupnja otvorenosti:

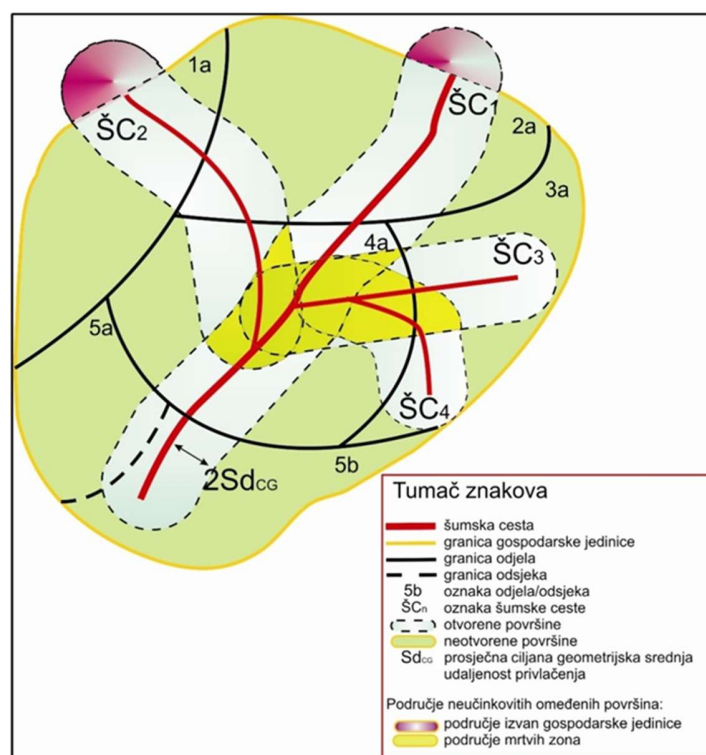
- ❖ nedovoljna (dostupno < 55% šumske površine),
- ❖ slaba (dostupno od 55 do 65% šumske površine),
- ❖ dobra (dostupno od 65 do 75% šumske površine),
- ❖ jako dobra (dostupno od 75 do 85% šumske površine),
- ❖ izvrsna (dostupno > 85% šumske površine).

Pravilnik o provedbi mjere M04 Ulaganja u fizičku imovinu, podmjere 4.3. Potpora za ulaganje u infrastrukturu vezano uz razvoj, modernizaciju i prilagodbu poljoprivrede i šumarstva, tipa operacije 4.3.3. Ulaganje u šumarsku infrastrukturu iz programa ruralnog razvoja Republike Hrvatske za razdoblje 2014. – 2020. (NN 106/15, 65/17, 77/17) propisuje razine pojasa omeđenih površina oko primarne šumske prometne infrastrukture koji odgovara vrijednosti srednje udaljenosti privlačenja drva i po pojedinim reljefnim područjima iznosi:

1. nizinsko područje – 330 m,
2. brdsko (prigorsko) reljefno područje – 250 m,
3. planinsko (gorsko) reljefno područje – 200 m,
4. krško reljefno područje – 330 m.



Slika 3. Grafički prikaz relativne otvorenosti šuma (Pentek 2012)



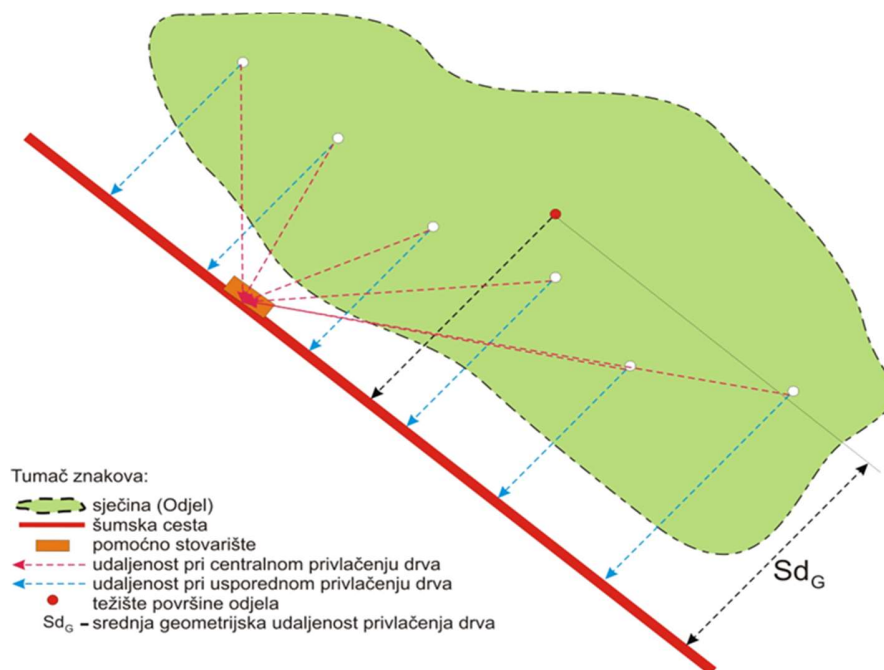
Slika 4. Grafički prikaz učinkovitih i neučinkovitih zona (Pentek 2012)

Sekundarna relativna otvorenost daje podatak o količini i prostornom rasporedu sekundarne mreže šumskih prometnica (traktorskih putova, traktorskih vlaka, i žičnih linija) (Pentek 2012). Postupak određivanja sekundarne relativne otvorenosti vrlo je sličan određivanju primarne relativne otvorenosti šuma, to jest za izračun širine omeđene površine uokolo sekundarnih šumskih površina koristi se doseg naprave za prihvat drva i to su:

- ❖ duljina vučnog užeta vitla kod skidera (kod izgrađenih traktorskih putova i trasiranih traktorskih vlaka),
- ❖ doseg dizalice forvardera (kod izgrađenih traktorskih putova, trasiranih traktorskih vlaka i uzgojne stazice),
- ❖ duljina uža žičare (kod upotrebe žičnih linija te primjene žičare za iznošenje drva).

### 1.3.4. Srednja udaljenost privlačenja

Prema Penteku (2002), srednja udaljenost privlačenja na određenom šumskom području (sječini, odsjeku, odjelu) opisuje prosječnu udaljenost na kojoj se drvo privlači od mjesta sječe (panja) do mjesta gdje se drvo sabire (pomoćnog stovarišta). Ovisno o prostornom rasporedu linija, odnosno prema načinu kretanja šumskih strojeva postoje dvije vrste privlačenja drva, centralno privlačenje i paralelno privlačenje drva. Pod centralnim privlačenjem drva podrazumijeva se pomicanje drva s mjesta sječe (panja) do određenog središta odnosno pomoćnog stovarišta, dok se paralelnim privlačenjem drva smatra privlačenje u usporednim pravcima na šumsku cestu (više lokacija).



**Slika 5.** Shematski prikaz centralnog i paralelnog privlačenja drva (Pentek 2012)

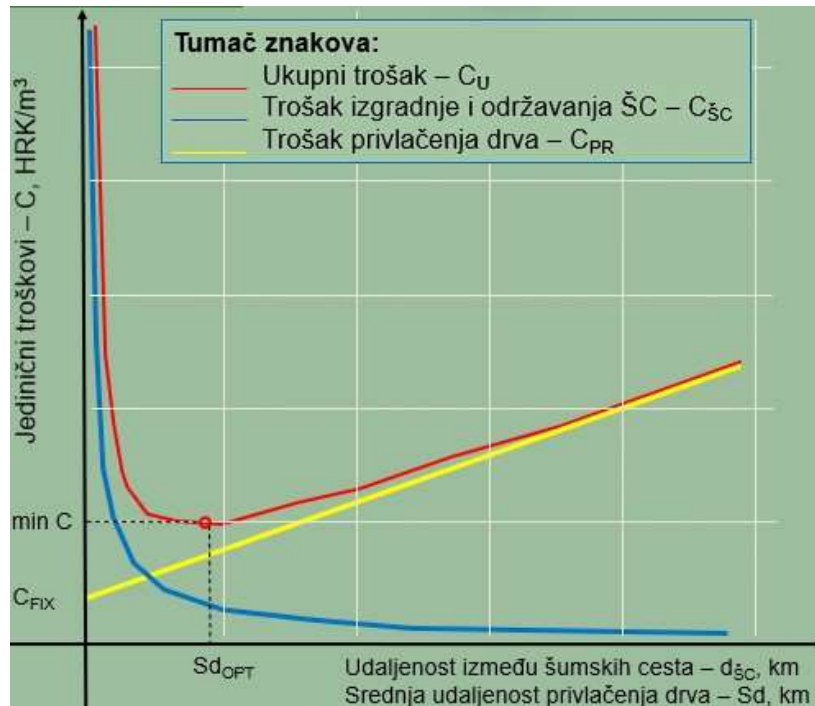
Razvojem tehnologije i računalnih programa raste i broj istraživanja srednjih udaljenosti privlačenja temeljenih na GIS analizama (Kluender i dr. 2000, Tucek i Pacola 2005, Bumber 2011, Đuka 2014, Lepoglavec 2014). Na osnovu toga Bumber (2011) navodi da je Euklidska udaljenost izuzetno dobar alat za određivanje prosječne geometrijske udaljenosti privlačenja drva na razini gospodarske jedinice, tj. određivanje srednjih geometrijskih udaljenosti privlačenja na razini odjela/odsjeka. Izračun euklidske udaljenosti računa se u programu ArcGIS, alat *Euclidean distance* unutar alata *Spatial Analyst*.

Većina autora smatra da oblik mreže šumskih cesta te položaj pomoćnih stovarišta najznačajnije utječu na vrijednost srednje udaljenosti privlačenja drva (Liu i Corcoran 1993, Kluender i dr. 2000, Contreras i Chung 2007).

Kako bi se pojednostavio izračun srednje udaljenosti privlačenja drva, mnogi autori koriste pretvorbene faktore za različita područja. Tako, Dietz i dr. (1984) navode da se vrijednosti faktora mreže prometnica kreću od 1,2 (nizina) do 2,0 (brdsko-planinsko područje). Faktor mreže šumskih prometnica koristi se za pretvorbu srednje teorijske udaljenosti u srednju geometrijsku udaljenost privlačenja te se najčešće iskazuje na razini gospodarske jedinice. Dok s druge strane, odnos srednje stvarne udaljenosti privlačenja i srednje geometrijske udaljenosti privlačenja drva predstavlja faktor korekcije privlačenja drva. Faktor privlačenja drva uvažava odstupanje privlačenja drva u odnosu na najkraću udaljenost do pomoćnog stovarišta uslijed djelovanja prema Janešu (2021): 1. terenskih čimbenika te oblika i rasporeda sekundarne mreže šumskih prometnica, 2. mogućnosti prihvata drva korištenog sredstva rada (skider – duljina vučnog užeta, forvarder – doseg hidraulične dizalice), 3. način kretanja drva do pomoćnog stovarišta (paralelno ili centralno privlačenje drva). Prema Dietz i dr. (1984), Segebaden (1964), Backmund (1966), Enache (2013), Lepoglavec (2014) faktor privlačenja drva kreće se u rasponu od 1,2 do 2,5 ovisno o reljefnom području, obliku mreže prometnica, nadzoru i organizaciji radova privlačenja drva te metodi i sredstvu rada. Sveukupni faktor korekcije teorijske srednje udaljenosti privlačenja predstavlja odnos faktora mreže prometnica i faktora privlačenja drva, a služi za pretvaranje teorijske srednje udaljenosti privlačenja u stvarnu srednju udaljenost privlačenja drva. Sveukupni faktor korekcije kreće se u rasponu od 1,6 (nizina) do 3,6 (brdsko-planinsko područje) (Dietz i dr. (1984). No, Đuka (2014) dolazi do zaključka da na operativnoj razini planiranja privlačenja drva nije ispravno poopćavanje privlačenja drva ni na jednoj razini podjele gospodarskih šuma, a niti reljefnog područja zbog prevelikog odstupanje njihovih vrijednosti.

### 1.3.5. Međusobni razmak između šumskih cesta

Za što optimalniji razmak šumskih cesta zadužen je onaj međusobni razmak šumskih cesta kod kojih su troškovi transporta drva i troškovi vezani uz postojanje šumskih cesta najmanji (prekretnica troškova) (Papa i Pentek (2022) prema Dietz i dr. 1988 i Sundberg i Silversides 1988).



**Slika 6.** Grafički prikaz prekretnice troškova (Dietz i dr.(1984), Sunberg i Silversides (1988), Akay i Sessions (2001))

Naravno međusobni razmak šumskih cesta ovisi i o sredstvu s kojim se drvo privlači iz šume. Ukoliko se privlačenje drva vrši skiderom tada je gustoća šumskih prometnica određena prosječnim razmakom dvostruke duljine vučnog užeta vitla skidera (Pentek i dr. 2004), dok kod forvardera gustoća šumskih prometnica određena je dvostrukom udaljenošću hidraulične dizalice.



## 1.4. ZNAČAJKE RELJEFA ZA POTREBE PRIDOBIVANJA DRVA I OTVARANJA ŠUMA

Jedna od najznačajnijih prepreka u šumarstvu koju treba savladati prilikom planiranja, projektiranja i izgradnje šumskih prometnica, kao i pri samim radovima pridobivanja drva jest reljef. Upravo terenski čimbenici određuju položaje gdje će se postaviti trasa buduće šumske prometnice te pobliže određuju primjenjive sustave pridobivanja drva odnosno mehanizirana sredstva rada.

Razredba terena za šumarstvo podrazumijeva podjelu šumskih površina, za koje vrijedi isti ili sličan stupanj poteškoća sa stajališta izvođenja bilo koje vrste šumskih radova (Đuka 2014).






### 1.4.1. Nagib terena

Šiljeg (2013) smatra da je najvažniji morfometrijski parametar za provedbu učinkovitih analiza i opisivanje reljefa upravo nagib terena. Poršinsky i dr. (2014) nagib terena svrstavaju u grupu makrotopografskih značajki terena koje utječu na kretanje vozila. Među iste značajke terena isti autori ubrajaju i:

- ❖ Inklinaciju terena ili kut nagiba – iskazuje se kao postotak nagiba ( $100 \times tga$ ),
- ❖ Duljina nagiba određene inklinacije,
- ❖ Smjer nagiba terena – predstavlja uzdužni nagib terena u smjeru kretanja vozila, može biti pozitivan (kretanje uz nagib) ili negativan (kretanje niz nagib),
- ❖ Oblik nagiba terena – može biti konkavan, konveksan i terasast,
- ❖ Ekspozicija terena – predstavlja izloženost nagnute površine stranama svijeta.

S obzirom na inklinaciju terena, duljinu te oblik terene Löffler (1984) raščlanjuje nagib terena u pet razreda (Tablica 1). Jednako tako autor navodi da značenje duljine nagiba terena treba poimati kroz slučajeve neprekinute i prekinute duljine nagiba, dok za oblike nagiba terena smatra da su pogodni za **opis manjih** površina terena.

**Tablica 1.** Tabelirani prikaz raščlamba kuta, duljine te oblika nagiba terena (Löffler 1984)

Razredi kuta nagiba terena	Opis terena	Raspon vrijednosti		Razredi duljine nagiba terena	Raspon vrijednosti
		%	°		
1	Ravničasti teren	0 – 10	0 – 6	1	25 – 100 m
2	Blago nagnuti teren	10 – 20	6 – 11	2	100 – 200 m
3	Umjereno nagnuti teren	20 – 33	11 – 18	3	200 – 300 m
4	Strmi teren	33 – 50	18 – 27	4	300 – 700 m
5	Vrlo strmi teren	> 50	> 27	5	> 700 m
Razredba oblika nagiba terena					
Oblici nagiba terena	Pravilan nagib (R)	Terasast nagib (T)	Valoviti nagib (U)	Konkavni nagib (V)	Konveksni nagib (X)
Izgled nagiba terena					

## 1.4.2. Površinske prepreke

Površinske prepreke terena spadaju u grupu mikrotopografskih značajki terena te su neovisne o makrotopografiji terena, a obuhvaćaju sve neravnosti terena, odnosno površinske prepreke koje utječu na kretanje jednog ili više kotača vozila (Poršinsky i dr. 2014). Površinske prepreke terena svojom veličinom i učestalosti mogu utjecati na operativno planiranje i upravljanje (Terlesk 1983). Isti autor razlikuje stijene, kamenje, džombe te ulegnuća u koje spadaju vodotoci, vrtače, jarci, dubeća stabla, panjeve posjećenih stabala te šumski ostatak.

Mellgren (1980) raščlanjuje površinske prepreke zasnovane s obzirom na visinu i međusobnu udaljenost površinskih prepreka (Tablica 2)

**Tablica 2.** Raščlamba površinskih prepreka prema Mellgrenu (1980)

(Ne)ravnost terena (površinske prepreke)		Visina ili dubina prepreke	Površinska učestalost prepreka
Razred	Opis	cm	No./100 m <sup>2</sup>
1	Vrlo ravan teren	10 – 30	0 – 4
2	Djelomično ravan teren	10 – 30	> 4
		30 – 50	1 – 4
3	Djelomično neravan teren	10 – 30	> 4
		30 – 50	5 – 40
		50 – 70	1 – 4
4	Neravan teren	10 – 30	> 4
		30 – 50	5 – 40
		50 – 70	1 – 4
		70 – 90	1 – 4
5	Vrlo neravan teren	10 – 30	> 4
		30 – 50	> 40
		50 – 70	> 4
		70 – 90	> 4
		> 90	> 0

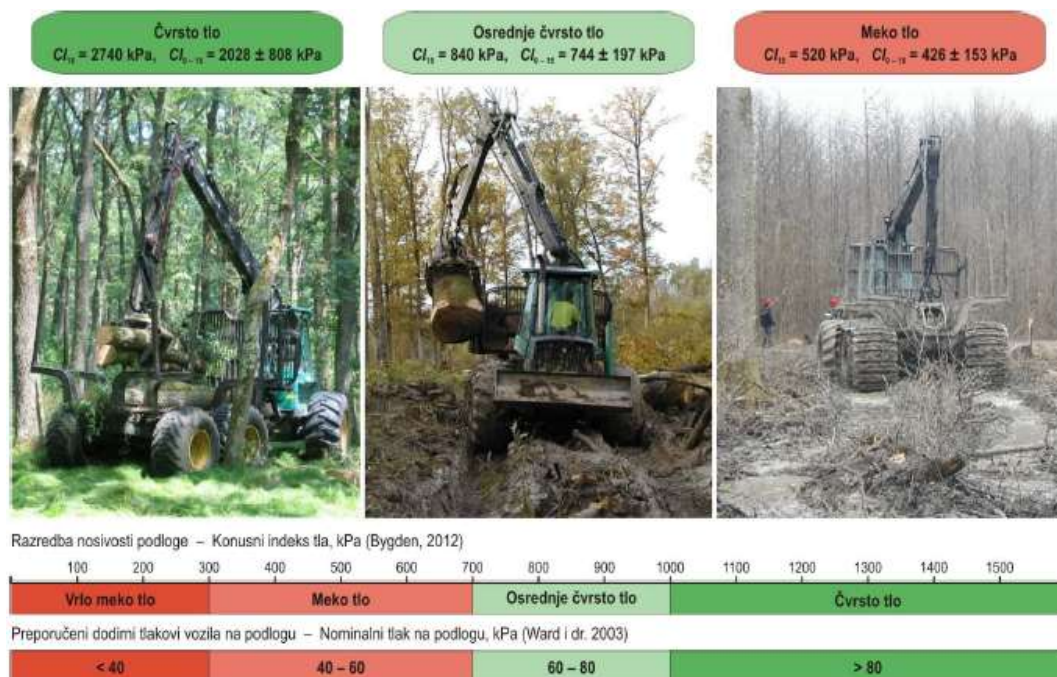
Sa stajališta pridobivanja drva posebna pažnja posvećuje se vodnim tijelima, odnosno prirodnim ili izgrađenim vodotocima koje mehanizacija pridobivanja drva ne može savladati osim ako se ne izgrade privremeni prelazi. Privremeni prijelazi se izgrađuju kao jedan od postupaka mjera zaštite od onečišćenja vodnih tijela. Jedan od najčešćih načina sprječavanja onečišćenja pri radovima pridobivanja drva očituje se kroz uspostavljanje zaštitnih zona oko vodnih tijela. Kako bi očuvali vodna tijela poduzimamo jednu ili više mjera: ostavljanje pričuvaka uz korita vodotoka, zabrana kretanja vozila, zabrana odlaganja šumskog ostatka u korita, korištenje biorazgradivih ulja i dr. (Đuka 2014).

## 1.4.3. Nosivost podloge

Nosivost tla jest sposobnost tla odupiranju vanjskim silama (djelovanju kotača ili gusjenica vozila), a određena je slijeganjem tla (dubina kolotruga) pod vanjskim opterećenjem (Poršinsky i dr. 2011). Mjerna jedinica za nosivost tla je *kilopaskal* – kPa. Nosivost tla predstavlja najveći dopušteni tlak kotača ili gusjenice na podlogu bez značajnog oštećivanja tla, što prvenstveno ovisi o teksturi i gustoći tla po kojem se mehanizacija pridobivanja drva kreće. Pouzdana metoda koja se koristi za dobivanje informacija o čvrstoći tla je WES (*Waterways Experimentation station, US Army Engineering Corps*) metoda. WES

metoda je razvijena u laboratoriju za ispitivanje kretnosti vojnih vozila, te glavne značajke tla opisuje putem konusnog indeksa. Đuka (2014) navodi da se u šumarstvu koristi standardna vrijednost mjerenja otpora prodiranja konusa na dubini od 15 cm nazvana konusni indeks (CI).

Mnogi autori bavili su se problematikom razredbe nosivosti tla, međutim za područje Republike Hrvatske Poršinsky i dr. (2014) utvrđuju da je najbolja Bygdenova metoda razredbe nosivosti tla (Slika 7).



Slika 7. Bygdenova razredba nosivosti tla Poršinsky i dr. (2014)

Nosivost podloge kao čimbenik pridobivanja drva i projektiranja šumskih prometnica najviše vežemo uz nizinske šume, odnosno tla nizinskih šuma. Zbog njihove odlike teškog mehaničkog sastava koja je u kombinaciji sa izloženošću cjelogodišnjem vlaženju smanjuje se nosivost tla (Poršinsky i dr. 2011).

#### 1.4.4. Razredba terena za potrebe pridobivanja drva

Pod razredbom terena podrazumijeva se označavanje i razvrstavanje šumskog zemljišta u ovisnosti o njegovoj pristupačnosti ili ovisno o stupnju težine izvođenja šumskih radova (Löffler 1984). Razredba terena za šumarstvo je podjela šumskih površina u jedinice, za koje vrijedi isti ili barem sličan stupanj poteškoća sa stajališta obavljanja bilo koje vrste šumskih radova (Owende i dr. 2002). Prve razredbe terena za potrebe šumarstva izrađuju se u Norveškoj, zbog potrebe da ostanu u korak s razvojem tehnologije pridobivanja drva, odnosno tehnologije privlačenja drva, tj. pojavom i razvojem forvardera (Löffler 1984). Mnogi autori navode kako među terenske čimbenike koji utječu na stupanj težine, mogućnosti i ograničenja izvođenja mehaniziranih šumskih radova navode sljedeće: nagib terena, površinske prepreke te nosivost podloge ((Conway 1976, Terlesk 1983, Staff i Wiksten 1984, Löffler 1984, Silverside i Sundberg 1988, Ahlvin i Haley 1992, Saarilahti 2002A). U navedene tvrdnje mogu se uvrstiti i planiranje, projektiranje i izgradnja šumskih prometnica jer kriteriji nagiba terena te površinske prepreke (vodotoci) imaju značajan

utjecaj na povećanje troškova uspostave optimalne mreže šumskih prometnica (Chung i dr. 2004, Anderson i Nelson 2004). Jednako tako terenski čimbenici imaju velik utjecaj na odabir mehaniziranih sredstva rada kao i na njihovu učinkovitost. (Bojanin 1980, Kulušić 1990, Poršinsky 2005).

Sarilahti (2002B) razredbu terena dijeli na dvije razine pristupa:

- ❖ Prva razina – opisna (deskriptivna, primarna) razredba terena koja opisuje i raščlanjuje teren u razrede prema mjerljivim značajkama neovisno o primijenjenim tehnologijama (Mellgren 1980, Berg 1992).
- ❖ Druga razina – namjenska (funkcionalna ili sekundarna) razredba koja povezuje mogućnost primjene određenih tehnologija pridobivanja drva s razredima terenskih čimbenika (MacDonald 1999, Rowan 1995, Owende i dr. 2002).

Prednost opisne razredbe terena je njena utemeljenost na razrednim čimbenicima te neovisnost o vrsti i tipu strojeva. Takvim načinom izbjegnuta je potreba za ponovnom razredbom terena pri uvođenju novih tehnologija u rad (Davis i Reisinger 1990).

Svi autori neovisno o geografskom mjestu nastanka pojedine opisne razredbe terena temelje se na tri najvažnija terenska čimbenika (nosivost tla, površinske prepreke, nagib terena), koji su razvrstani u pet razreda (Tablica 3)

**Tablica 3.** Osnovna podjela terenskih čimbenika u pet razreda (Mellgren 1980)

Nosivost (Čvrstoća) tla		Površinske prepreke		Nagib terena	
1	Vrlo čvrsto tlo	1	Vrlo ravan teren	1	Ravničarski teren
2	Čvrsto tlo	2	Djelomično ravan teren	2	Blago nagnut teren
3	Osrednje čvrsto tlo	3	Djelomično neravan teren	3	Umjereno nagnut teren
4	Meko tlo	4	Neravan teren	4	Strmi teren
5	Vrlo meko tlo	5	Vrlo neravan teren	5	Vrlo strmi teren

Mellgrenova (1980) kanadska razredba terena temelji se na norveškim i švedskim razredbama terena koje uz tri glavna terenska čimbenika koja utječu na kretnost vozila u obzir uzimaju i vegetacijske indikatore te daje preporuke za dopuštene dodirne tlakove vozila na tlo (NGP).

## 1.5. GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI SUSTAV

Geografski informacijski sustavi (GIS) služe za stvaranje, upravljanje, kartiranje i analizu svih vrsta podataka. Glavni zadatak GIS tehnologije je steći zaključke iz različitih vrsta analiziranih podataka.

Lusch (1999), Chiang i dr. (2014) navode da geografski informacijski sustav generalno funkcionira s dva različita modela geografskih podataka: vektorski model i rasterski model podataka.

U vektorskom modelu podataka, informacije o točkama, linijama i poligonima su spremljene kao skup sastavljen od x i y koordinata (<https://www.esri.com/en-us/what-is-gis/overview> 2020). Koordinate x i y prikazuju podatke o lokaciji točke. Linijski podaci (ceste i rijeke) uglavnom su spremljeni kao skup točaka s pripadajućim koordinatama (Perković 2010). Poligonski oblik podataka, poput jezera, katastarskih čestica, teritorija, itd., spremljen je kao petlja koordinata, odnosno sadrži podatke o svim linijama i čvorovima od kojih je sastavljen (Čekolj 1999).

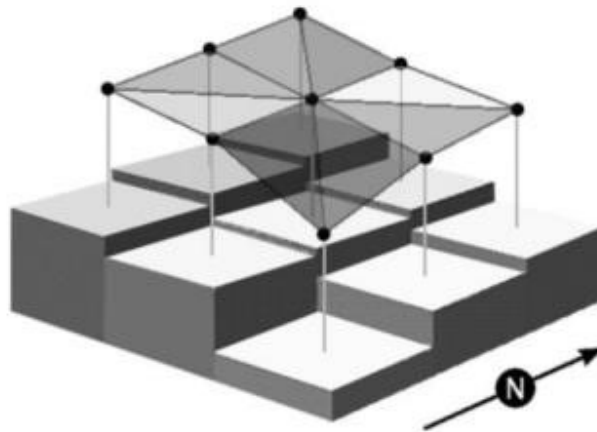
Rasterski model podataka prikazuje prostor pravilno raspodijeljen u stupce i retke kvadratnog oblika koje nazivamo pikselima. Piksel je najmanja jedinica slike kojom se mjeri rezolucija, a položaj svakog piksela je određen redom i stupcem u slikovnoj matrici (Frančula 2004). Kao izvor rasterskih podataka uzimaju se karte i planovi te zračne i satelitske snimke.

Najvažnija komponenta GIS-a su izvori podataka te njihova točnost. Anon. (2011), navodi da se geografski podaci i s njima povezani tabelirani prikaz može prikupiti kroz sljedeće faze:

1. Primarno prikupljanje geografskih podataka (satelitske snimke, aerofotografije, lidarski snimci),
2. Sekundarno prikupljanje geografskih podataka (skeniranje postojećih karata),
3. Vanjski izvori (prijenos podataka),
4. Prikupljanje atributnih podataka (etat, SPP),
5. Prikupljanje podataka dijeljenih od strane građana (Google Maps),
6. Prikupljanje podataka kroz upravljanje projektom (različite suradnje).

### 1.5.1. Digitalni model terena naspram digitalnog modela površine

Digitalni model terena (DMT) je prikaz terena izrađen u obliku mreže obrojčanih četverokuta, kod kojih svaka točka mreže predstavlja koordinate terena (x, y, z) (Dürstein 1992). Digitalni model reljefa prikazuje se u rasterskom obliku specifične rezolucije te je nastao obradom prikupljenih podataka i naknadno odabranom i znanstveno utemeljenom metodom interpolacije (Šiljeg 2013). Vrlo često digitalni model reljefa poistovjećuje se s pojmovima poput, digitalni model površine (DMP). No, unatoč uskoj povezanosti digitalni model površina prikazuje visinu vegetacije (npr. stablo, grm), objekata i itd. Vrlo važno znati koje visinske podatke autor uključuje u izradu modela, te shodno tome odabrati i najprimjereniji naziv modela.



**Slika 8.** Prikaz izračuna trodimenzionalne duljine između sredine centralnog rastera i središta okolnih rastera (Jennes 2004)

Kvaliteta DMT-a ovisi o točnosti visina u pikselu odnosno apsolutna točnost te o točnosti predstavljanja morfologije odnosno relativne točnosti (Šiljeg 2013). Isti autor navodi 5 metoda prikupljanja podataka za izradu digitalnog modela reljefa:

1. Terenska izmjera,
2. Fotogrametrijsko prikupljanje podataka,
3. Lasersko snimanje (skeniranje),
4. Radarsko prikupljanje podataka,
5. Metoda vektorizacije s postojećih topografskih karata.

Kvaliteta izrađenog digitalnog modela reljefa ovisi o metodama, tehnikama i procesima prikupljanja, obrade i analize podataka, vertikalnoj raščlanjenosti, prostornoj rezoluciji i korištenim metodama interpolacije (Janeš 2021). U većini hrvatskih znanstvenih radova DMT se odnosi na model koje je nastao interpolacijom izohipsi s osnovnih karata 1:5000 i topografskih karata 1:25000, gdje izohipse predstavljaju reljef, odnosno čvrsti dio Zemljine površine (Šiljeg 2013).

### 1.5.2. Беспilотне летјеліце s osvrtom na planiranje šumske инфраструктуре

Bеспilотне летјеліце u raznoj literaturi vrlo često još se nazivaju imenima poput UAV (Unmanned Aerial Vehicles ili беспilотне летјеліце), UAS (Unmanned Aircraft System ili sustav беспilотних летјеліца) ili nešto rјеđe RPV (Remotely Piloted Vehicales ili dalјinski pilotirana vozila) (Paneque-Galvez i dr. 2014). Standardni naziv „dron“ potječe od amerіcke vojske koja ga je prva aplicirala kao combat drone (беспilотно борбено средство за напад),UCAV (Unmanned combat aerial vehicle ili беспilотна борбена летјеліца) ili samo drone (dron) (Dowd 2014). Miller i dr. (2005) navode da je беспilотна летјеліца зрачна летјеліца тежа од зрака, погонјена властитим погоном или зракоплов без посаде, који се може надзирати далјински или летјети самостално употребом унапријед програмiranог плана лета, односно помоу сложеніх аутономних динамичких sustava.

U posljednjih nekoliko godina šumarstvo Republike Hrvatske razvilo je veliki interes za dalјинска истраживања и употребу беспilотних летјеліца jer iste predstavljaju рјешенје сакупљања поузданих информација са жељених површина u kratkom vremenskom roku. Takva metoda сакупљања информација омогућава значајну уштеду u vremenu i novcu. Беспilотне летјеліце могу бит опремљене различитим сензорима попут GPS, multispektralne kamere, RTK-a i LIDAR-a. Iz podataka dobivenih помоу тih senzora могуће је изградити низ производа као што су digitalni ortofoto, digitalni model visine krošanja, digitalni model површине, digitalni model reljefa itd. Navedene производе попут digitalnog modela reljefa касније је могуће користит u planiranju šumske prometne инфраструктуре jer pruža drugačiju perspektivu terena te smanjuje količinu vremena koja је potrebna da bi се провела на samom terenu.



Slika 9. Primjer беспilотне летјеліце (<https://www.dji.com/hr/mavic-3-classic>)

## 1.6. SUSTAVI PRIDOBIVANJA DRVA U REPUBLICI HRVATSKOJ

Sustav pridobivanja drva određen je postupcima, metodom izradbe drva i sredstvima rada te ranom opremom koja se koristi pri sjeći i izradbi te privlačenja drva na šumskom radilištu (Poršinsky i dr. 2014). Sam izbor sredstva privlačenja drva u svjetlu djelovanja terenskih čimbenika odnosno razine primarne i sekundarne otvorenosti šuma, najbitnija je odrednica cijelog pridobivanja drva (Đuka 2014). Poršinsky (2008) sistematizira značajke i ograničenja sedam sustava pridobivanja drva koji se koriste u hrvatskom šumarstvu:

1. Sjekač – ATP (adaptirani poljoprivredni traktor)
2. Sjekač – Skider s vitlom
3. Sjekač – Traktorska ekipaža
4. Sjekač – Forvarder
5. Harvester – Forvarder
6. Sjekač – Vučena žičara
7. Sjekač – Kamionska žičara

Navedeni materijal u izvornom obliku ugrađen je u Pravilnik o provedbi mjere M04»Ulaganje u fizičku imovinu« podmjere 4.3.»Potpora za ulaganja u infrastrukturu vezano za razvoj, modernizaciju i prilagodbu poljoprivrede i šumarstva«, tipa operacije 4.3.3.»Ulaganje u šumsku infrastrukturu« iz Programa ruralnog razvoja Republike Hrvatske za razdoblje 2014. – 2020. (NN 106/2015). Vusić (2013) navodi kako se u Republici Hrvatskoj najčešće primjenjuje sortimentna i deblovna metoda rada (u verziji poludeblovne metode), a rjeđe se koristi stablovna metoda rada koja se koristi u vidu pridobivanja nadzemne biomase. Na princip navedenog Vusić i Horvat (2016) izrađuju tabelirani prikaz klasifikacije sustava pridobivanja drva (Tablica 4).

**Tablica 4.** Klasifikacija prikazanih sustava pridobivanja drva (Vusić i Horvat 2016)

Stupanj mehaniziranosti	Metoda rada	Sredstvo rada			Proizvod
		Sječa	Izrada	Primarni transport	
<b>1. Djelomično mehaniziran</b>	1. Sortimentna	Motorna pila	Motorna pila	1. Traktorska ekipaža	Oblo drvo
				2. Forvarder	
				3. Vučena žičara	
				4. Kamionska žičara	
	-	-	5. Poljoprivredni traktor	1-m ogrjevno drvo	
2. Poludeblovna	Motorna pila			6. Adaptirani poljoprivredni traktor	Oblo drvo
				7. Skider mase < 5 t	
				8. Skider mase > 5 t	
<b>2. Visoko mehaniziran</b>	3. Stablovna			4. Kamionska žičara	Oblo drvo
	4. Polustablovna	-	Iverač	2. Forvarder	Drvena sječka
<b>Potpuno mehaniziran</b>	1. Sortimentna	Harvester		2. Forvarder	Oblo drvo
		Harvester s vitlom		9. Forvarder s vitlom	



Kako je navedeno u Republici Hrvatskoj se najčešće koristi sortimentna i poludeblovna metoda rada koja podrazumijeva djelomično mehanizirani stupanj mehaniziranosti. Motornom pilom se vrši sječa i izrada, a skiderima ili adaptiranim poljoprivrednim traktorima drvo se privlači odnosno forvarderima prevozi do pomoćnog stovarišta. Rjeđe od opisanog sustava pridobivanja drva koristi se potpuno mehanizirani sustav pridobivanja drva koji podrazumijeva upotrebu harvesteri koji vrši sječi i forvardera koji prevozi sortimente do pomoćnog stovarišta iz razloga što se strojna sječa najčešće upotrebljava kako je i zamišljena u šumskim plantažama i kulturama, dok je u hrvatskim šumama koje obiluju prirodnim šumama motorna pila i dalje glavno sredstvo rada (Vusić 2013). Krpan i Poršinsky (2001) navode kako je u šumama Republike Hrvatske ograničena primjena harvesteri zbog šuma prirodnog podrijetla, vrste drveća, dimenzija stabla, makro i mikropografijom te metodama uređivanja i uzgajanje šuma. No, u posljednje vrijeme prirodne nepogode u obliku ledoloma, vjetrolova i vjetroizvala poharale su Hrvatske šume te ih dovele do sve intenzivnije upotrebe potpuno mehaniziranog sustava pridobivanja drva s ciljem smanjenja vremena i povećanja učinkovitosti rada koji je potreban kako bi se sanirale pogođene površine odnosno pogođene sastojine. Jednako tako Vusić i Horvat (2016) navode kako s današnjim nedostatkom radne snage za izvođenje radova pridobivanja drva u Hrvatskoj, za očekivati je da će visoko i potpuno mehanizirani sustavi pridobivanja drva imati sve veću ulogu u našem šumarstvu.

U daljnjem tekstu prikazan je karakterističan sustav pridobivanja drva istraživanog područja.

### 1.6.1. Karakterističan sustav pridobivanja drva istraživanog područja (Motorna pila – Skider s vitlom)

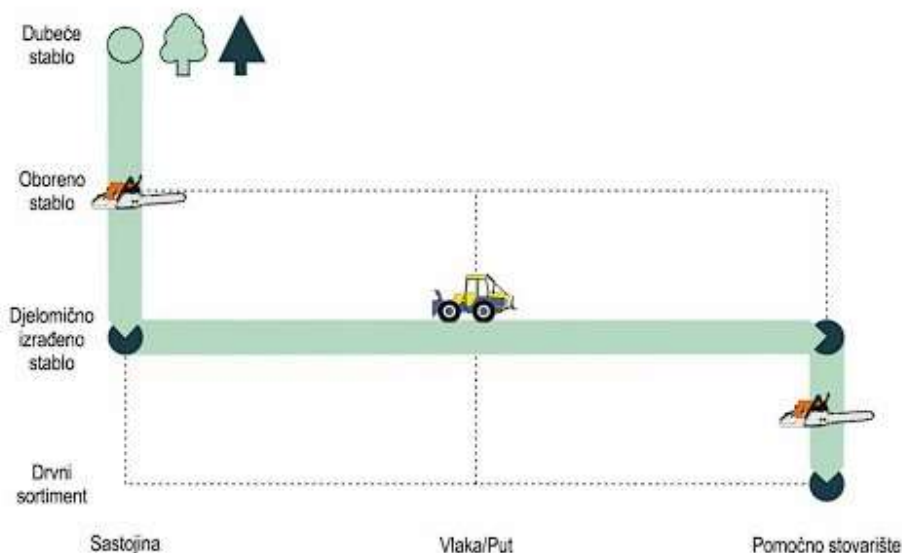
Skideri su definirani kao samohodni, specijalni, zglobno upravljani šumski strojevi, konstruirani za privlačenje dijelova stabla (ISO 6814, 2009). S obzirom na prihvat drva Kellogg i dr. (1992) razlikuju:

- ❖ Skider opremljen vitlom (engl. cable skidder), koje može biti jednobubanjsko ili dvobubanjsko
- ❖ Skider s hvatalom (engl. grapple skidder)
- ❖ Skider opremljen hvatalom usmjerenim prema gore te dizalicom za utovar drva u hvatalo (engl. clam bunk skidder).

Svim skiderima bez obzira na podjelu je zajednički način privlačenja drva odnosno tovar je jednim krajem odignut od tla. Nakon rušenja stabla i djelomične izradbe, sjekač je vrlo često i kopčaš, što je jedna od pretpostavki skupnog rada (Đuka 2014). Ovaj sustav karakterizira dio izradbe drva koji je prostorno odvojen od mjesta sječe (panja) tj. dio izradbe se obavlja na pomoćnom stovarištu zbog čega rastu zahtjevi za njihovom veličinom i prostranošću.

**Tablica 5.** Značajke MP – skidera s vitlom sustava pridobivanja drva (Poršinsky 2008)

Način kretanja drva	Vuča drva jednim krajem oslonjenim na tlo
Način prihvata drva	Vučnim užem vitla
Pogodna metoda izradbe drva	(polu) deblovna
Mjesto izradbe (dorade) drva	Pomoćno stovarište
Potreba za postranim stovarištima	Velika
Potreba za pomoćnim radnikom	Za prerezivačem na pom. Stovarištu i kopčaćem (osim u skupnom radu)
Prilagodljivost skupnome radu	Velika
Razina osposobljenosti radnika	Mala do srednja
Optimalna udaljenost privlačenja, m	200
Najveća udaljenost privlačenja, m	300
Uzdužni nagib terena, %	± 35
Osjetljivost na bočni nagib terena	Osrednja do velika
Prikladnost pridobivanja tankih stabala	Vrlo velika
Prikladnost pridobivanja debelih stabala	Velika
Prilagodljivost niskim sječnim gustoćama	Vrlo velika
Prikladnost za male sječine	Velika
Mogućnost oštećenja šumskog tla	Vrlo velika pri ograničenoj nosivosti tla
Mogućnost oštećenja dubećih stabala	Velika
Tipično područje pogodnosti primjene sustava pridobivanja drva	Sve vrste prihoda bez obzira na područje šume
Tipični oblici sekundarnih šumskih prometnica	Riblja kost



**Slika 10.** Prikaz tehnologije rada motorna pila i skider (Vusić 2022)

## 1.7. OBLICI MREŽE ŠUMSKE PROMETNE INFRASTRUKTURE

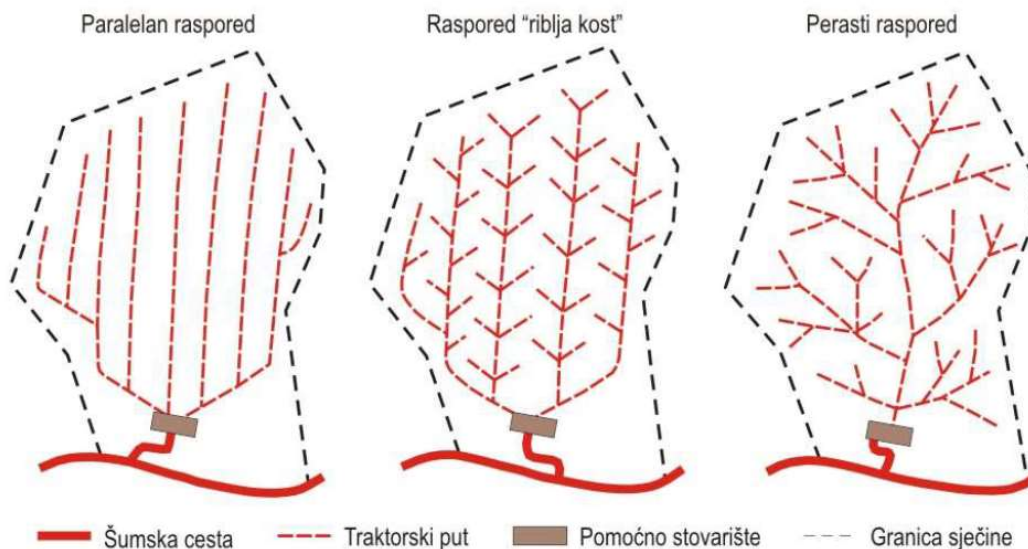
Sekundarna mreža šumskih prometnica predstavlja nastavak primarne mreže šumskih prometnica, koja svojim prostornim pružanjem ulazi najdublje u odjele i odsjeke (Pičman 2007). Sekundarne šumske prometnice dijele se na traktorske vlake, traktorske putove i žične linije. Traktorske vlake su privremenog karaktera i nastaju uzastopnim prolaskom vozila istim tragom kako bi se smanjila udaljenost privlačenja i ukupnih troškova. Traktorski putovi su glavne sekundarne prometnice odnosno trajni građevinski objekti koji su izgrađeni od donjeg ustroja te omogućavaju kretanje vozila pri privlačenju drva u težim terenskim uvjetima gdje dominiraju veći nagibi i površinske prepreke. Pri projektiranju traktorskih putova potrebno je voditi računa od sljedećim elementima (Pičman 2007):

1. Uzdužni nagib manji od 20 (25) %,
2. Širina planuma od 2,50 do 3,50 m,
3. Radijus horizontalnog luka koji je jednak duljini vozila i duljini vučenog tereta.

Rebula (1983) navodi kako je optimalna otvorenost sastojina mrežom traktorskih putova iznosi između 100 i 200 m/ha. Oblik mreže sekundarne šumske prometne infrastrukture ovisi o orografskim prilikama i o mogućnosti prihvata drva sredstava koji se koriste za privlačenje drva. Otvaranje brdsko-planinskih područja mrežom traktorskih putova omogućuje se skiderima najbrži i najkraći put od posječenog stabla ili izrađenog sortimenta do pomoćnog stovarišta.

Ovisno o orografiji prostora raspored mreže sekundarne šumske prometne infrastrukture može biti:

- ❖ Paralelan raspored,
- ❖ Raspored „riblja kost“,
- ❖ Perasti raspored.



Slika 11. Raspored mreže sekundarnih šumskih prometnica (Pentek 2012)

Paralelan raspored karakterističan je za ravnije terene nizinskih šuma kod kojih se mehanizacija može kretati u svim smjerovima. Od primarne šumske infrastrukture sekundarna prometna infrastruktura odvaja se pod kutom od 90° kao i sastavnice nižeg reda sekundarne šumske prometne infrastrukture od onih višeg reda. Kod ovakvog rasporeda sekundarne prometne infrastrukture ne izvode se nikakvi zemljani radovi te je sustav predstavljen traktorskim vlakama (Pentek 2012). Na brdskim terenima razvedenog reljefa ispresijecanog uvalama i jarcima te razvijene hidrografske mreže, vidljivi su traktorski putovi i vlake koje prate konfiguraciju terena, dok se na gorskom području kojeg karakteriziraju veliki nagibi terena razvijaju po padinama te slijede nagibe terena u dozvoljenom uzdužnom nagibu. Za ovakve terene karakteristični su perast raspored mreže sekundarnih šumskih prometnica i raspored riblja kost (Pentek 2012).

## 1.8. SREDNJA UDALJENOST PRIVLAČENJA DRVA (VRSTE I NAČIN IZRAČUNA)

Srednja udaljenost privlačenja drva je parametar koji na određenoj šumskoj površini opisuje udaljenost na kojoj se privlači drvo odnosno udaljenost od panja do pomoćnog stovarišta (MacDonald 1999, Petković i dr. 2017). Kako je već navedeno ovisno o rasporedu linija privlačenja drva razlikuje se centralno i paralelno privlačenje (Slika 5).

Dietz i dr. (1984), prema Mathews (1942), Segebaden (1964, 1969), Backmund (1966), Samseta (1975) i Abegga (1978), dijele srednju udaljenost privlačenja u tri glavne grupe:

- ❖ Teorijska srednja udaljenost privlačenja drva – izračunava se iz teorijskog modela mreže šumskih cesta odnosno iz teorijskog razmaka između cesta,
- ❖ Geometrijska srednja udaljenost privlačenja drva – predstavlja udaljenost od čvorišta mreže pravilnih četverokuta do stvarno ucertane najbliže šumske ceste,
- ❖ Stvarna srednja udaljenost privlačenja drva – predstavlja udaljenost od čvorišta mreže pravilnih četverokuta do stvarne šumske ceste onim pravcem kojim se privlačenje stvarno obavlja.

Za međusobno pretvaranje vrijednosti srednje udaljenosti privlačenja drva koriste se tri glavna korekcijska faktora:

1. Mrežni faktor – koristi se za pretvaranje teorijske srednje udaljenosti privlačenja drva u geometrijsku udaljenost privlačenja drva.

$$k_M = \frac{SD_g}{SD_t}$$

$k_M$  – mrežni faktor,

$SD_g$  – geometrijska srednja udaljenost privlačenja drva (m),

$SD_t$  – teorijska srednja udaljenost privlačenja drva (m).

2. Faktor korekcije privlačenja drva – koristi se za pretvaranje geometrijske srednje udaljenosti privlačenja drva u stvarnu srednju udaljenost privlačenja drva.

$$k_p = \frac{SD_s}{SD_g}$$

$k_p$  – faktor korekcije privlačenja drva,

$SD_s$  – stvarna srednja udaljenost privlačenja drva (m),

$SD_g$  – geometrijska srednja udaljenost privlačenja drva (m).

3. Sveukupni faktor korekcije – predstavlja kombinaciju prethodna dva faktora te se koristi se za pretvaranje teorijske srednje udaljenosti privlačenja drva u stvarnu srednju udaljenost privlačenja drva.

$$k_s = \frac{SD_s}{SD_t}$$

$k_s$  – sveukupni faktor korekcije,

$SD_s$  – stvarna srednja udaljenost privlačenja drva (m),

$SD_t$  – teorijska srednja udaljenost privlačenja drva (m).

### 1.8.1. Teorijska srednja udaljenost privlačenja drva

Segebaden (1964) navodi kako uslijed različitosti orografije terena te nepravilnosti šumskih površina i mreže šumskih prometnica, opće primjenjiva i matematički točna ovisnost udaljenosti privlačenja drva i gustoće mreže šumskih cesta ne postoji.

Isti autor navodi kako se teorijska srednja udaljenost privlačenja drva zasniva na:

- ❖ Većim šumskim kompleksima,
- ❖ Pravilnom obliku šumske površine koja se poistovjećuje s oblikom pravilnog geometrijskog lika,
- ❖ Položaju šumske ceste u odnosu na šumsku površinu,
- ❖ Jednostranom ili dvostranom privlačenju.

Za izračun teorijske srednje udaljenosti privlačenja drva, ako se privlačenje odvija s obje strane šumske ceste koristi se formula:

$$Sd_T = \frac{d_T}{4}$$

$Sd_T$  - teorijska srednja udaljenost privlačenja drva (m),

$d_T$  – teorijska udaljenost između šumskih cesta (m).

Za izračun teorijske srednje udaljenosti privlačenja drva, ako se privlačenje odvija s jedne strane šumske ceste koristi se formula:

$$Sd_T = \frac{d_T}{2}$$

$Sd_T$  - teorijska srednja udaljenost privlačenja drva (m),

$d_T$  – teorijska udaljenost između šumskih cesta (m).

### 1.8.2. Geometrijska srednja udaljenost privlačenja drva

Srednja geometrijska udaljenost privlačenja drva određene šumske površine je aritmetička sredina geometrijskih udaljenosti privlačenja drva beskonačnog broja točaka jednoliko raspoređenih analiziranom površinom, pri čemu svaka površina predstavlja beskonačnu malu površinu (Đuka 2014).

Za izračun srednje geometrijske udaljenosti privlačenja drva odnosno pretvorbe iz teorijske u geometrijsku udaljenosti privlačenja drva koristi se formula:

$$Sd_G = Sd_T \times k_M$$

$Sd_G$  – geometrijska srednja udaljenost privlačenja drva (m),

$Sd_T$  – teorijska srednja udaljenost privlačenja drva (m),

$k_M$  – mrežni čimbenik korekcije.

### 1.8.3. Stvarna srednja udaljenost privlačenja drva

Srednja stvarna udaljenost privlačenja drva je aritmetička sredina ostvarenih udaljenosti privlačenja drva od beskonačnog broja točaka jednoliko raspoređenih po površini, do mjesta na šumskoj cesti gdje se sabire drvo (Đuka 2014).

Za izračun stvarne srednje udaljenosti privlačenja iz geometrijske srednje udaljenosti koristi se formula:

$$Sd_S = Sd_G \times k_P$$

$Sd_S$  – stvarna srednja udaljenost privlačenja drva (m),

$Sd_G$  – geometrijska srednja udaljenost privlačenja drva (m),

$k_p$  – čimbenik korekcije privlačenja drvnih sortimenata.

Za izračun stvarne srednje udaljenosti privlačenja drva iz teorijske srednje udaljenosti privlačenja drva koristi se formula:

$$Sd_S = Sd_T \times k_S$$

$Sd_S$  – stvarna srednja udaljenost privlačenja drva (m),

$Sd_T$  – teorijska srednja udaljenost privlačenja drva (m),

$k_S$  – sveukupni faktor korekcije srednje udaljenosti privlačenja drva.

## 2. CILJ DIPLOMSKOGA RADA

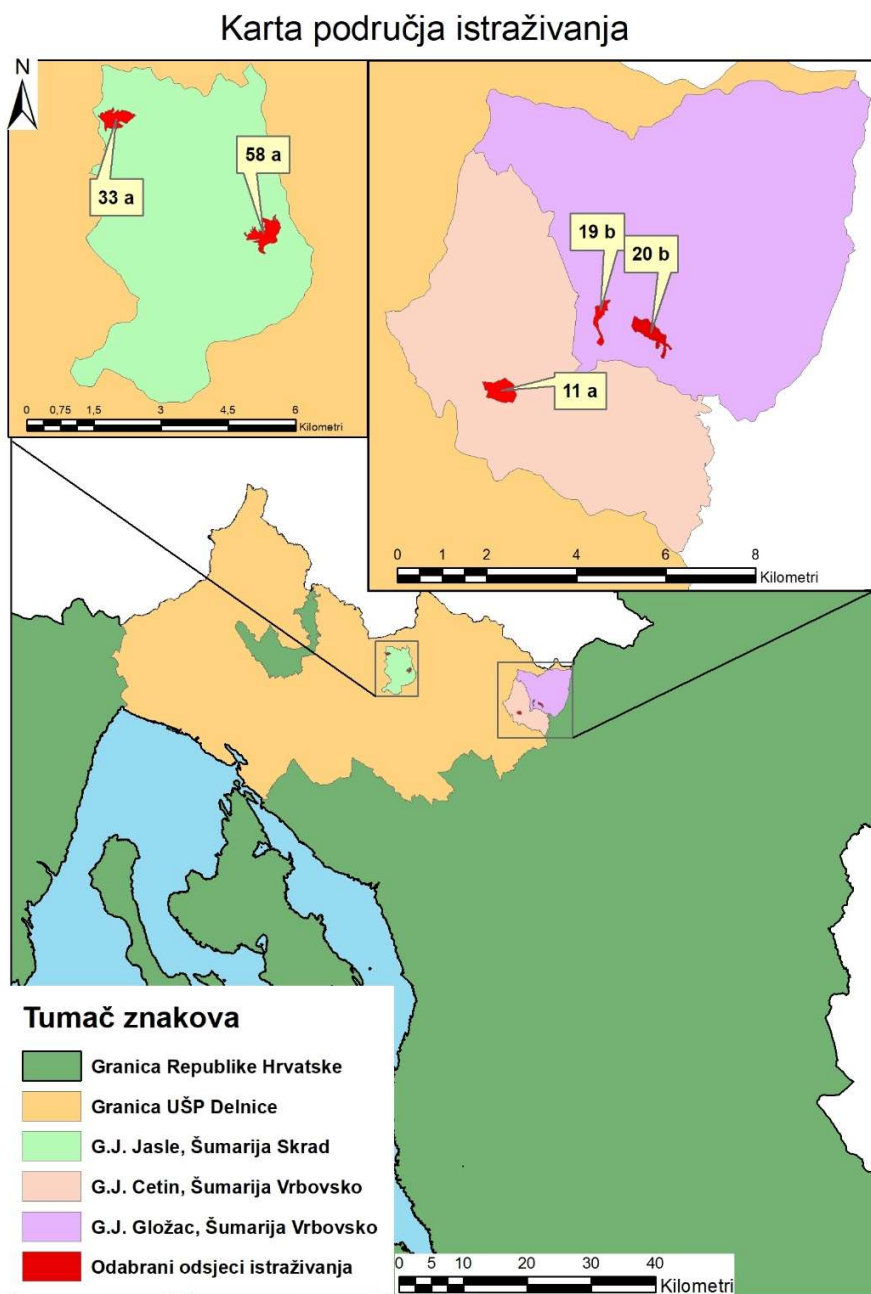
Pri izradi diplomskog rada definirani su sljedeći ciljevi istraživanja:

- ❖ Odrediti veličinu piksela izrađenih digitalnih modela terena na temelju aerofotografija snimljenih bespilotnom letjelicom koji ne daju statistički značajnu pogrešku pri izračunu stvarne udaljenosti privlačenja drva uz što manju količinu podataka za pohranu.
- ❖ Utvrditi postoji li značajna razlika prilikom izračuna stvarne udaljenosti privlačenja drva na temelju postojećeg digitalnog modela terena veličine piksela 15 x 15 m i digitalnog modela terena dobivenim aerofotogrametrijskim snimanjem.



### 3. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Područje istraživanja odvijalo se na 5 odsjeka u 3 gospodarske jedinice unutar državnih šuma kojima gospodari tvrtka Hrvatske šume d.o.o., konkretno u UŠP Delnice, šumarija Vrbovsko, GJ; Cetin, odsjek 11a te GJ; Gložac, odsjeci 19b i 20b te šumarija Skrad, GJ; Jasle, odsjeci 33a i 58a.



Slika 12. Karta područja istraživanja

### 3.1. GEOLOŠKA PODLOGA I TLO

U geološkom pogledu istraživane gospodarske jedinice nalaze se vapnenačkoj podlozi iz formacije trijasa. Prevladava vapnenac s mjestimičnim ulošcima dolomitnih zona, podloga izbija na površinu te tvori mjestimično škrape i blokove. Čistine su okružene kršjem, valuticama i pijeskom iz diluvija. Smeđe ilimerizirano tlo koje omogućava život šumske vegetacije nastaje rastvorbom kamena i humifikacijom otpadaka. Dubina tla uvelike ovisi o nagnutosti terena te je tako u vrtačama i manje položenijim mjestima duboka, a na grebenima plitka.

Tip tla koji je prisutan su istraživanim gospodarskim jedinicama je smeđe tlo na vapnencu i dolomitu (kalcikambisol).

### 3.2. KLIMA

Odabrane gospodarske jedinice nalaze se u zoni srednjoeuropske klime, koju karakteriziraju dugačke i snježne zime, niska prosječna godišnja temperatura velika zračna vlaga, dosta kratka vegetacijska perioda te obilje oborina popraćenih jakim vjetrovima sa sjeveroistoka (bura) i jugozapada (jugo). Prema Köppenovoj klasifikaciji gospodarske jedinice nalaze se u klimatskoj zoni C (snježna šumska klima) oznake Cfsbx koja znači: C – umjerena topla klima, srednja temperatura najhladnijeg mjeseca je između -2 °C i 18 °C; fs – nema izrazito suhog razdoblja, ali najsuši dio godine je ljeti; b – srednja temperatura najtoplijeg mjeseca niža je od 22°C, a temperatura je viša od 10°C najmanje 4 mjeseca; x – u godišnjem tijeku oborina pojavljuju se proljetni i jesenski maksimum.

### 3.3. ŠUMSKE ZAJEDNICE

Prema podacima iz osnove gospodarenja šumske zajednice koje se nalaze u odabranim odsjecima su:

1. Šumarija Vrbovsko, gospodarska jedinica Cetin, odsjek 11a – Dinarska bukovo - jelova šuma (*Omphalodo – Fagetum* /Tregubov, 1957)
2. Šumarija Vrbovsko, gospodarska jedinica Gložac, odsjek 19b – Brdska bukova šuma s mrtvom koprivom (*Lamio orvale – Fagetum*/ Horvat, 1938.)
3. Šumarija Vrbovsko, gospodarska jedinica Gložac, odsjek 20b – Brdska bukova šuma s mrtvom koprivom (*Lamio orvale – Fagetum*/ Horvat, 1938.)
4. Šumarija Skrad, gospodarska jedinica Jasle, odsjek 33a – Bukova šuma s rebračom (*Blechno – Fagetum*/ Horvat, 1950.)
5. Šumarija Skrad, gospodarska jedinica Jasle, odsjek 58a – Šuma jele s rebračom (*Blechno – Abietetum*/ Horvat, 1938.)

### 3.4. PRIDOBIVANJE DRVA

Sustavi pridobivanja drva koji prevladavaju na područjima istraživanja su motorna pila – skider, Nagibi terena i površinske prepreke uvelike definiraju tehnologiju rada na gorskom području tako i na odabranim odsjecima. Poludeblovna metoda rada je najčešća metoda rada, no ukoliko se privlačenje drvnih sortimenata odvija forvarderom tada se primjenjuje sortimentna metoda rada.

Prosječni nagibi terena svakog odsjeka prema klasifikaciji Mellgren (1980):

1. Šumarija Vrbovsko, gospodarska jedinica Cetin, odsjek 11a – 28 % (umjereno nagnuti teren),
2. Šumarija Vrbovsko, gospodarska jedinica Gložac, odsjek 19b – 27, % (umjereno nagnuti teren),
3. Šumarija Vrbovsko, gospodarska jedinica Gložac, odsjek 20b – 31 % (umjereno nagnuti teren),
4. Šumarija Skrad, gospodarska jedinica Jasle, odsjek 33a – 46 % (strmi teren),
5. Šumarija Skrad, gospodarska jedinica Jasle, odsjek 58 – 35 % ( strmi teren).

### 3.5. POSTOJEĆA PROMETNA INFRASTRUKTURA ISTRAŽIVANIH G.J.

#### 3.5.1.Šumarija Vrbovsko

##### 3.5.1.1. Gospodarska jedinica Cetin

Područjem gospodarske jedinice Cetin trenutno prolazi 13,3 km javnih odnosno u analiziranoj g.j. izgrađeno je ukupno 16,52 km šumskih cesta što u konačnici predstavlja trenutnu klasičnu otvorenost u iznosu od 17,71 m/ha.

Tablica 6. Ukupna otvorenost gospodarske jedinice Cetin

	Ukupna dužina prometnica km	KOLNIK IZGRADEN		Bez kolničke konstrukcije	Prolazi kroz šumu	Prolazi rubom šume	Uzima se u otvorenost (4+5)	Čini otvoren. G.J.
		Asfalt	Tucanik					
		Km						
	1	2	3	4	5	6	7	
JAVNE PROMETNICE	13,2	12	0	1,2	8,1	5,1	10,65	7,04
ŠUMSKE PROMETNICE	16,52	0	16,52	0	15,72	0,8	16,12	10,66
G.J. CETIN	29,72	12	16,52	1,2	23,82	5,9	26,77	17,71

### 3.5.1.2. Gospodarska jedinica Gložac

Područjem gospodarske jedinice Gložac trenutno prolazi 0 km javnih odnosno u analiziranoj g.j. izgrađeno je ukupno 19,4 km šumskih cesta što u konačnici predstavlja trenutnu klasičnu otvorenost u iznosu od 23,82 m/ha.

**Tablica 7.** Ukupna otvorenost gospodarske jedinice Gložac

	Ukupna dužina prometnica km	KOLNIK IZGRAĐEN		Bez kolničke konstrukcije	Prolazi kroz šumu	Prolazi rubom šume	Uzima se Otvorenost (4+5)	Čini otvoren. G.J.
		Asfalt	Tucanik					
		Km						
	1	2	3	4	5	6	7	
<b>JAVNE PROMETNICE</b>	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>ŠUMSKE PROMETNICE</b>	19,4	0	19,4	0	12,8	6,6	16,1	23,82
<b>GLOŽAC</b>	19,4	0	19,4	0	12,8	6,6	16,1	23,82

### 3.5.2. Šumarija Skrad

#### 3.5.2.1. Gospodarska jedinica Jasle

Područjem gospodarske jedinice Jasle trenutno prolazi 8,5 km javnih odnosno u analiziranoj g.j. izgrađeno je ukupno 21,2 km šumskih cesta što u konačnici predstavlja trenutnu klasičnu otvorenost u iznosu od 22,16 m/ha.

**Tablica 8.** Ukupna otvorenost gospodarske jedinice Jasle

	Ukupna dužina prometnica km	KOLNIK IZGRAĐEN		Bez kolničke konstrukcije	Prolazi kroz šumu	Prolazi rubom šume	Uzima se Otvorenost (4+5)	Čini otvoren. G.J.
		Asfalt	Tucanik					
		Km						
	1	2	3	4	5	6	7	
<b>JAVNE PROMETNICE</b>	8,5	5,5	3	0	7	1,5	7,75	6,48
<b>ŠUMSKE PROMETNICE</b>	21,2	0	21,2	0	16,3	4,9	18,75	15,68
<b>JASLE</b>	29,7	5,5	24,2	0	23,3	6,4	26,5	22,16

## 4. METODE ISTRAŽIVANJA

Pri izvođenju terenskoga dijela istraživanja odnosno prikupljanju terenskih podataka korištena je bespilotna letjelica DJI Mavic 3 Enterprise a daljnja obrada prikupljenih terenskih podataka provodila se u računalnim programima Pix4Dmapper 4.8.8., ArcMap 10.8., Excel 2016 i TIBCO Statistica verzija 14.0.0.15. Samo istraživanje odvijalo se kroz nekoliko cjelina:

1. Aerofotogrametrijsko snimanje bespilotnom letjelicom
2. Izrada DMT-a iz snimljenih aerofotografija
3. Povećavanje veličine piksela izvornog DMT-a
4. Analiza izvoznih pravaca
5. Izračunavanje stvarne srednje udaljenosti privlačenja temeljene na različitoj veličini piksela
6. Obrada dobivenih podataka u microsoft excel-u 2016
7. Analiza obrađenih podataka u programskom paketu TIBCO Statistica inačica 14.0.0.15.

### 4.1. AEROFOTGRAMETRIJSKO SNIMANJE

Snimanje odsjeka obavljeno je na području UŠP Delnice, konkretno na području šumarije Vrbovsko i šumarije Skrad. Odabrani odsjeci 11a g.j. Cetin, 19b i 20b g.j. Gložac te 33a i 58a g.j. Jasle snimljeni su bespilotnom letjelicom DJI Mavic 3 Enterprise u dva dana, konkretnije 21. ožujka 2024. i 5. travnja 2024. Ukupno vrijeme snimanja iznosilo je 120 minuta te u tom vremenskom razdoblju je snimljeno 4235 fotografija. Visina leta od 100 metara definirana je za sve odsjeke zajedno s 80% preklapanja. Daljnja analiza aerofotografija obavljala se u programu PIX4Dmapper 4.8.4.

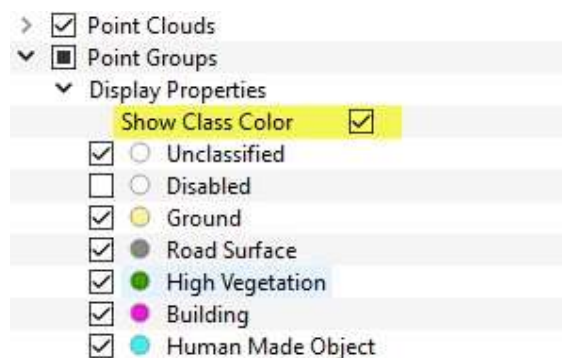


**Slika 13.** Bespilotna letjelica DJI Mavic 3 Enterprise

## 4.2. IZRADA DIGITALNOG MODELA TERENA

Za izradu digitalnog modela terena koristio se program PIX4Dmapper, verzija 4.8.4. koji je prikupljene aerofotografije pretvorio u georeferencirane digitalne modele. Kako bi PIX4Dmapper stvorio digitalni model terena morali su se obaviti osnovni koraci kao što su stvaranje novog projekta, odabir naziva projekta i odabir mjesta gdje će se projekt pohraniti. Nakon provedenih osnovnih koraka učitane su aerofotografije u program PIX4Dmapper te je odabrana projekcija (WGS 84) i sam oblik izlaznih podataka (DMT).

Vrlo korisna opcija programa bila je automatska klasifikacija rastera tijekom izrade digitalnog modela terena (slika 14) što je omogućeno odabirom alata *Classify Point Clouds*.



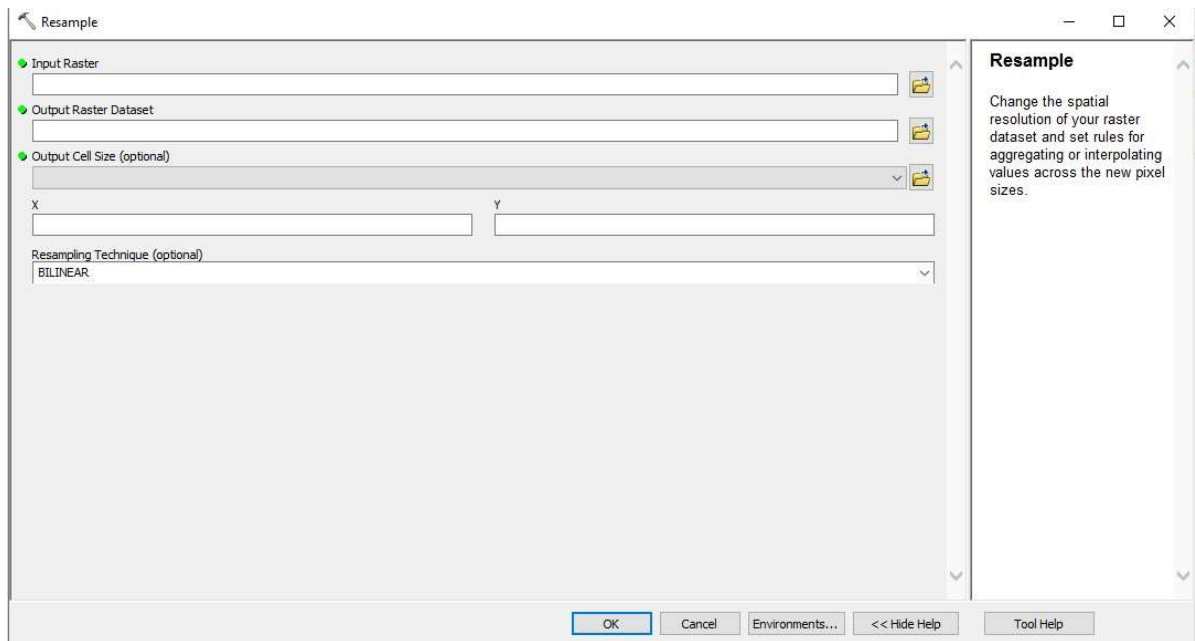
Slika 14. PIX4Dmapper, verzija 4.8.4. Klasifikacija po grupama

Analizom prikupljenih aerofotografija uz pomoć navedenog programa dobiveni su digitalni modeli terena istraživanih odsjeka u željenom rasterskom obliku.

## 4.3. POVEĆAVANJE VELIČINE PIKSELA IZVORNOG DMT-A

Veličina piksela digitalnih modela terena dobiveni obradom u programu PIX4Dmapper iznosila je od 0,16 x 0,16 m do 0,17 x 0,17 m te smo u svrhu istraživanja povećali veličine piksela na unaprijed definirane vrijednosti 0,5 x 0,5 m, 1 x 1 m, 2 x 2 m, 3 x 3 m, 4 x 4 m, 5 x 5 m, 10 x 10 m. Povećanjem veličine piksela odnosno njihove površine smanjivala se i količina pohrane podataka koju pojedini DMT-ovi u rasterskom obliku zauzimaju.

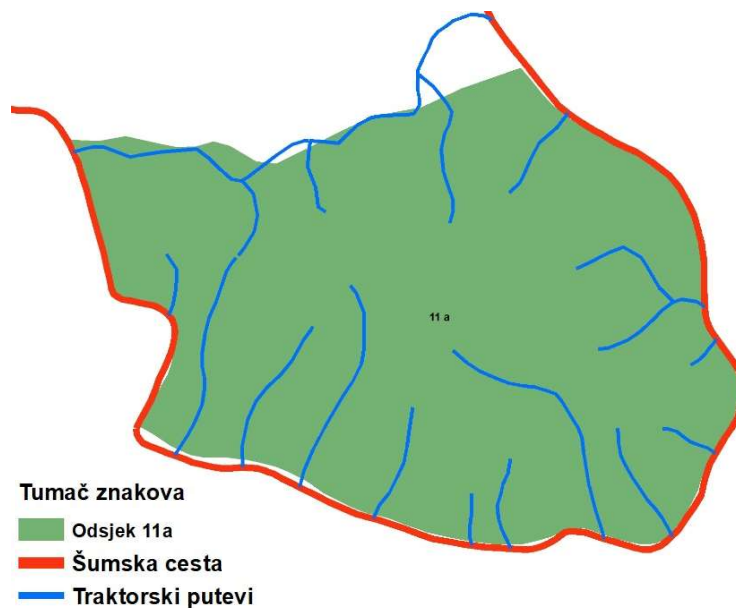
Postupak povećanja piksela provodi se u programu ArcMap 10.8.1. pomoću alata *Resample* (Slika 15). Alat *Resample* nalazi se ArcToolbox-u → Data Management Tools → Raster → Raster Processing → Resample. Kao ulazni parametar (Input raster) učitava se izvorni DMT dobiven obradom u PIX4Dmapper-u, nadalje potrebno je odrediti gdje će se DMT s povećanom veličinom piksela pohraniti. Duljina stranice piksela upisuje se u kolone x i y (0,5 x 0,5 m, 1 x 1 m...) te je nakon upisane duljine stranica piksela potrebno odabrati tehniku računanja položaja piksela (Resampling Technique). Za potrebe istraživanja koristiti će se BILINEARNA INTERPOLACIJA koja izračunava vrijednosti svakog piksela prosječnim vrijednostima okolnih četiri piksela.



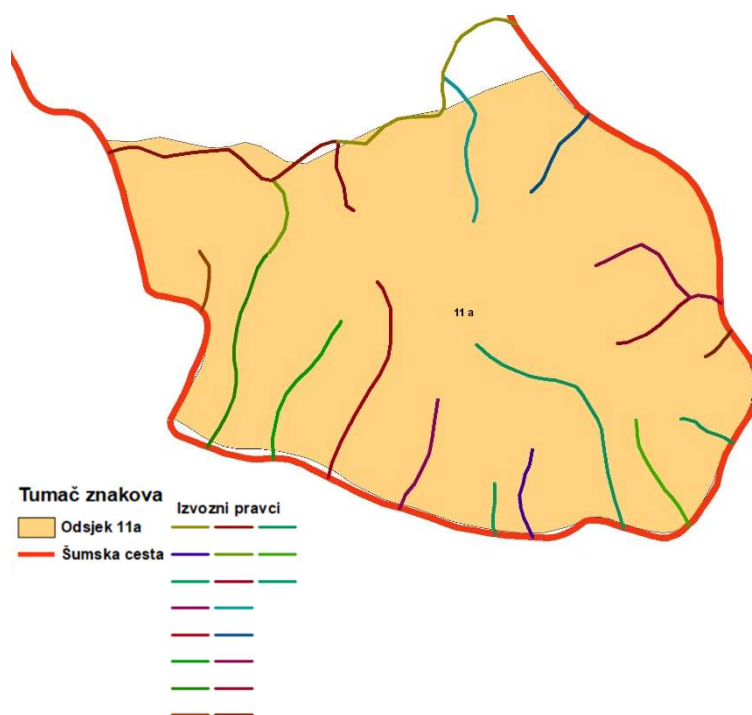
Slika 15. Opcija Resample u ArcToolbox-u programa ArcMap 10.8.

#### 4.4. ANALIZA IZVOZNIH PUTEVA

Izvozne pravce potrebno je odrediti iz snimljenih traktorskih puteva u vektorskom obliku (slika 16). Nakon definiranja pojedinih izvoznih pravaca u vektorskom obliku (Slika 17) iste je potrebno pretvoriti u rasterski oblik pomoću alata *Polyline to Raster* kako bi alat *Path distance* mogao izračunati stvarnu udaljenost privlačenja za svaki izvozni pravac zasebno. Prilikom pretvaranja izvoznih pravaca iz vektorskog oblika u rasterski definirana je veličina piksela od 1 x 1 m.



Slika 16. Traktorski putevi u odsjeku 11a, G.J. Cetin, šumarije Vrbovsko

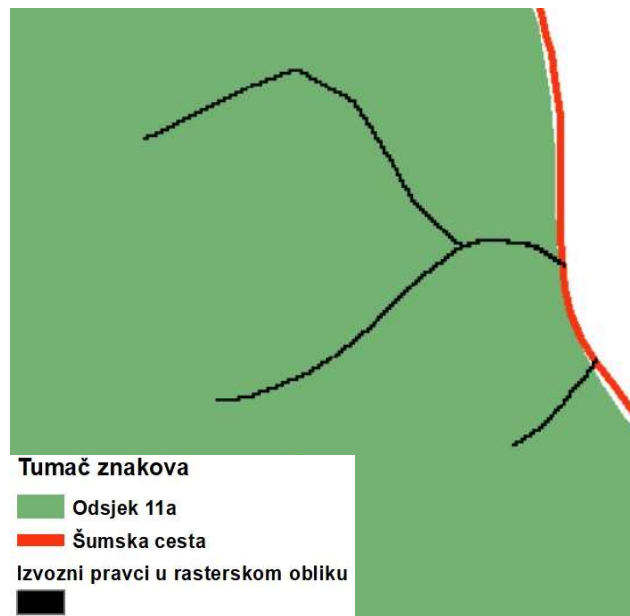


Slika 17. Pojedini izvozni pravci u odsjeku 11a, G.J. Cetin, šumarije Vrbovsko

#### 4.5. IZRAČUNAVANJE STVARNE SREDNJE UDALJENOSTI PRIVLAČENJA DRVA TEMELJENE NA RAZLIČITOJ VELIČINI PIKSELA

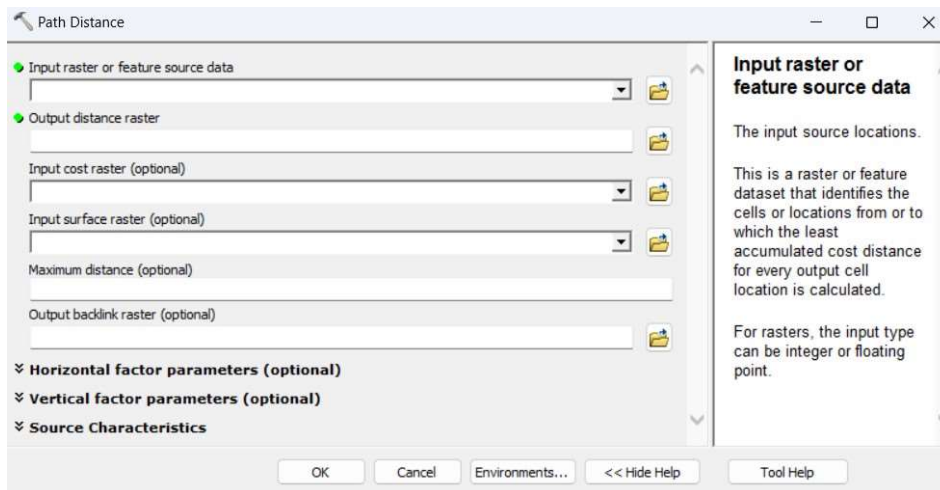
Stvarna srednja udaljenost privlačenja drva izračunavala se koristeći alata *Path Distance* u programu ArcMap. No, kako bi se izračun stvarne srednje udaljenosti privlačenja mogao obaviti, potrebno je obaviti predradnje poput definiranja traktorskih pravaca te iste iz vektorskog oblika pretvoriti u rasterski oblik veličine piksela 1 x 1 m (slika 18).





**Slika 18.** Izvozni pravci u rasterskom obliku, G.J. Cetin, šumarije Vrbovsko

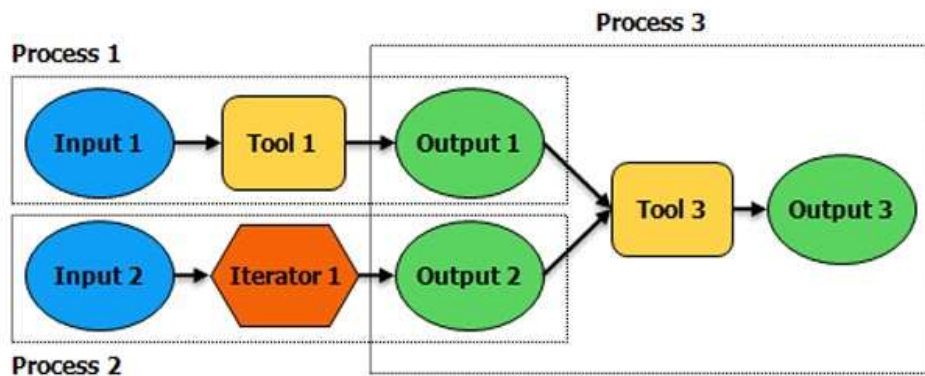
Alat *Path Distance* (slika 19) nalazi se u ArcToolbox-u → *Spatial Analyst Tools* → *Distance* → *Path Distance* te služi za određivanje najkraće udaljenosti od željene točke do početne odnosno izračunava najkraću udaljenost susjednih piksela uzimajući u obzir horizontalne i vertikalne komponente susjednih piksela.



**Slika 19.** Alat Path Distance u ArcToolbox-u programa ArcMap 10.8

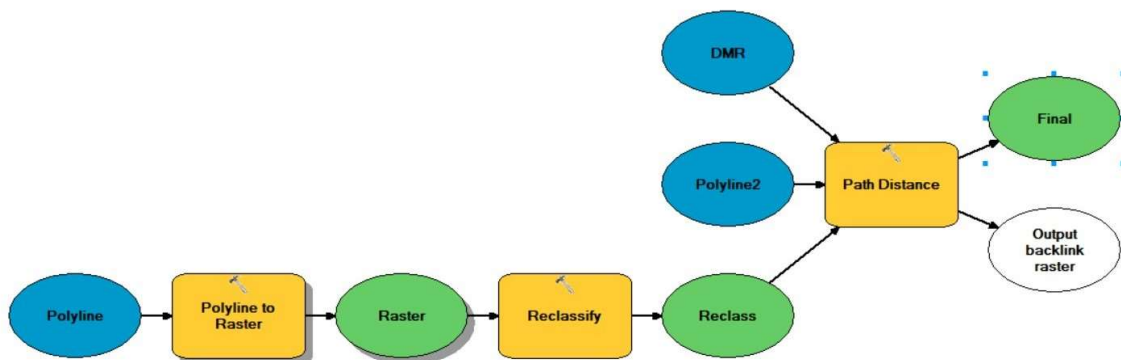
Kako bi alat *Path Distance* mogao izračunati stvarnu udaljenost privlačenja potrebno mu je učitati parametre na osnovu kojih izračunava stvarnu srednju udaljenost privlačenja poput INPUT COST RASTER OR FEATURE SOURCE DATA (šumske ili javne ceste) , INPUT COST RASTER (izvozni pravac u rasterskom obliku), INPUT SURFACE RASTER (digitalni model terena) te mu odrediti lokaciju na kojoj će spremiti finalni raster koji pokazuje stvarnu srednju udaljenost privlačenja u koloni OUTPUT DISTANCE RASTER.

Kako bi se cijeli proces ubrzao i pojednostavio moguće ga je automatizirati izradom ModelBuilder-a. Prema Anon. (2020), ModelBuilder je aplikacija unutar ArcMap računalnog programa koja se koristi za stvaranje, upravljanje i uređenje modela. Isti autor navodi kako modeli predstavljaju tokove podataka povezanih nizom alata za obradu, načinjenih tako da rezultat jednog alata (eng. *Output*) predstavlja ulaz (eng. *Input*) za sljedeći alat u nizu (Slika 20).



Slika 20. ModelBuilder (<https://desktop.arcgis.com/>)

Postupak izrade modela će uključivati: 1. pretvaranje vektorskog oblika podataka u rasterski, 2. razredba rasterskih podataka u jednu klasu, 3. izračunavanje srednje stvarne udaljenosti privlačenja drva (Slika 21).



Slika 21. Model Builder stvarne udaljenosti privlačenja

## 5. REZULTATI

Rezultati rada očituju se kroz:

1. Izrađene digitalne modele terena iz aerofotogrametrijskih snimaka prikupljenih bespilotnom letjelicom DJI Mavic 3 Enterprise
2. Određivanje izvoznih pravaca istraživanih područja
3. Izračun stvarne srednje udaljenosti privlačenja drva temeljene za različite veličine piksela DMT-a
4. Statističku obradu stvarnih udaljenosti privlačenja u programskom paketu TIBCO Statistica verzija 14.0.0.15 uz određivanje optimalne veličine piksela za ovakvu vrstu analiza.

### 5.1. DMT ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

Dobiveni digitalni modeli terena produkt su aerofotogrametrijskog snimanja prikupljenih 21. ožujka 2024. godine i 5. travnja 2024. Za aerofotogrametrijsko snimanje koristila se bespilotna letjelica DJI Mavic 3 Enterprise. Prije samog snimanja kako bi snimke bilo što kvalitetnije potrebno je bilo napraviti plan leta odnosno odrediti površinu snimanja, visinu s koje će bespilotna letjelica snimati aerofotografije, definirati brzinu leta, kvalitetu i postotni udio preklapanja aerofotografija. Plan leta izrađen je pojedinačno za svaki odabrani odsjek te je ukupno iznosio 120 minuta snimanja pri visini leta od 100 metara s 80 % preklapanja aerofotografija. Nakon prikupljanja terenskih podataka uslijedila je obrada snimljenih aerofotografija u programu PIX4Dmapper, verzija 4.8.4. sukladno opisanome u poglavlju Materijali i metode istraživanja. Ukupna količina snimljenih aerofotografija iznosila je 4235 za sve odabrane odsjeke. Kao proizvod analize aerofotografija dobiveni su digitalni modeli terena veličine piksela od 0,16 x 0,16 m do 0,17 x 0,17 m. Kako bi odredili idealnu veličinu piksela koja s jedne strane statistički značajno ne utječe na točnost dobivenih vrijednosti stvarnih udaljenosti privlačenja te kako bi s druge strane dobili što manju količinu podataka koju digitalni model terena zauzima na računalo proveden je postupak povećanja površine piksela opisan je u poglavlju Materijali i metode istraživanja.

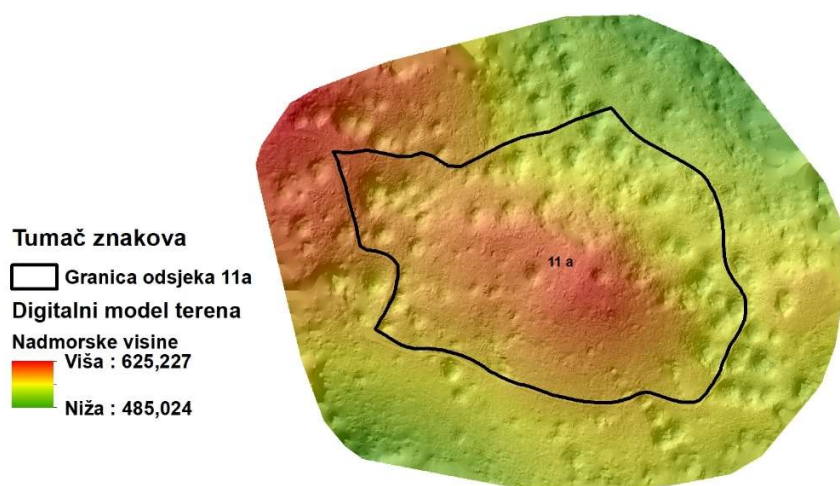
#### 5.1.1. Šumarija Vrbovsko

##### 5.1.1.1. *Gospodarska jedinica Cetin, odsjek 11a*

Površina odsjeka 11a prema podacima iz osnove gospodarenja iznosi 28,6 ha. No, kako bi analiza stvarne udaljenosti privlačenja obuhvatila sve izvozne pravce odnosno sve šumske ceste i traktorske puteve koji utječu na otvorenost istraživanog odsjeka snimala se veća površina od same površine odsjeka koja je prema izrađenom digitalnom modelu terena veličine piksela 0,17 x 0,17 m iznosila 76,45 ha (Slika 22). Ukupno za analizu odsjeka 11a prikupljeno je 613 aerofotografija. Na osnovu snimljenih aerofotografija izrađeni su digitalni modeli terena a podaci o veličini (površini) piksela, broju piksela te količini pohrane podataka koju pojedini digitalni model terena sadrži s obzirom na veličinu piksela prikazani su u tablici 9.

**Tablica 9.** Podaci o digitalnim modelima terena odsjeka 11a, G.J. Cetin, šumarije Vrbovsko

Veličina piksela, m	Količina piksela, N	Razlika u količini piksela, N	Smanjenje količine piksela, %	Veličina pohrane podataka, MB	Razlika u veličini pohrane podataka, MB	Smanjenje veličine pohrane podataka, %
0,17x0,17	26455941	–	–	123,36	–	–
0,5x0,5	3058214	23397727	88,44%	14,87	108,49	87,95%
1x1	764497	25691444	97,11%	3,72	119,64	96,98%
2x2	191120	26264821	99,28%	0,95091	122,41	99,23%
2,25x2,25	151019	26304922	99,43%	0,75184	122,61	99,39%
<b>2,50x2,50</b>	122309	26333632	99,54%	0,60948	122,75	99,51%
2,75x2,75	101073	26354868	99,62%	0,50407	122,86	99,59%
3x3	84920	26371021	99,68%	0,42263	122,94	99,66%
4x4	47773	26408168	99,82%	0,23827	123,12	99,81%
5x5	30569	26425372	99,88%	0,15194	123,21	99,88%
10x10	7643	26448298	99,97%	0,03781	123,32	99,97%
15x15	3401	26452540	99,99%	0,01811	123,34	99,99%



**Slika 22.** Digitalni model terena odsjeka 11a, G.J. Cetin, šumarije Vrbovsko

### 5.1.1.2. Gospodarska jedinica Gložac, odsjeci 19b, 20b

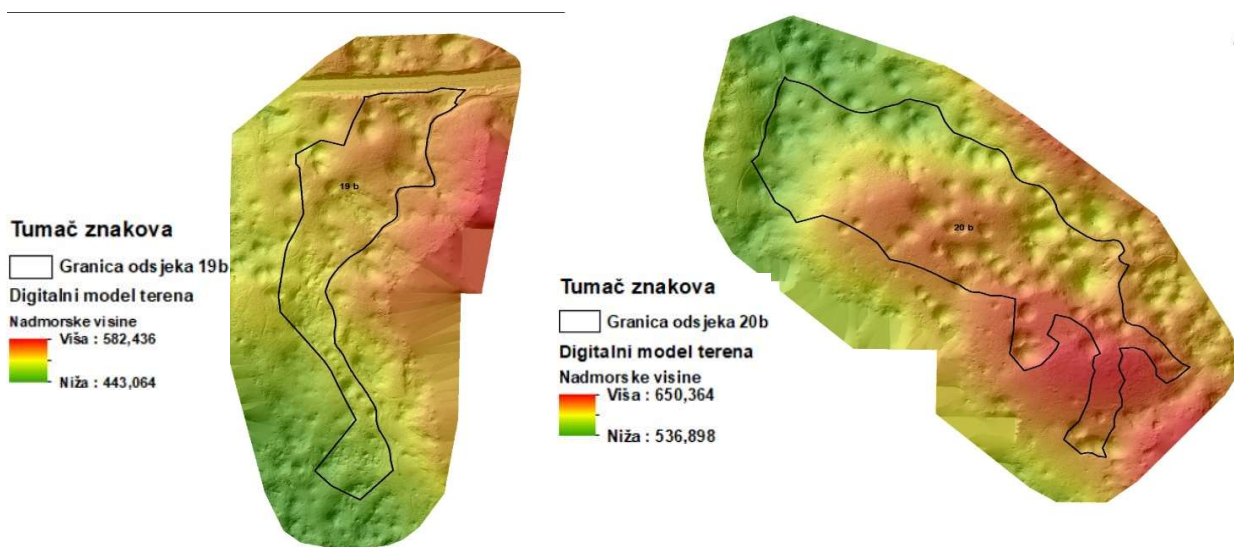
Površina odsjeka 19b prema podacima iz osnove gospodarenja iznosi 13,6 ha, a površina odsjeka 20b, 28,2ha. No, kako bi analiza stvarne udaljenosti privlačenja obuhvatila sve izvozne pravce odnosno sve šumske ceste i traktorske puteve koji utječu na otvorenost istraživanog odsjeka snimala se veća površina od same površine odsjeka koja je prema izrađenom digitalnom modelu terena veličine piksela 0,16 x 0,16 m iznosila 60,31 ha, a za odsjek 20b 78,14 ha (Slika 23). Ukupno za analizu odsjeka 19b i 20b prikupljeno je 1568 aerofotografija, od kojih na odsjek 19b otpada 650, a odsjek 20b 918 aerofotografija. Na osnovu snimljenih aerofotografija izrađeni su digitalni modeli terena a podaci o veličini (površini) piksela, broju piksela te količini pohrane podataka koju pojedini digitalni model terena sadrži s obzirom na veličinu piksela (Tablica 10 i Tablica 11).

**Tablica 10.** Podaci o digitalnim modelima terena odsjeka 19b, G.J. Gložac, šumarije Vrbovsko

Veličina piksela, m	Količina piksela, N	Razlika u količini piksela, N	Smanjenje količine piksela, %	Veličina pohrane podataka, MB	Razlika u veličini pohrane podataka, MB	Smanjenje veličine pohrane podataka, %
0,16x0,16	23561325	-	-	113,08	-	-
0,5x0,5	2412578	21148747	89,76%	11,99	101,09	89,40%
1x1	603007	22958318	97,44%	3	110,08	97,35%
2x2	150742	23410583	99,36%	0,76798	112,312	99,32%
2,25x2,25	119090	23442235	99,49%	0,60509	112,4749	99,46%
2,50x2,50	96436	23464889	99,59%	0,49156	112,5884	99,57%
2,75x2,75	79789	23481536	99,66%	0,40648	112,6735	99,64%
3x3	67028	23494297	99,72%	0,34076	112,7392	99,70%
4x4	37707	23523618	99,84%	0,1917	112,8883	99,83%
5x5	24164	23537161	99,90%	0,12289	112,9571	99,89%
10x10	6039	23555286	99,97%	0,03047	113,0495	99,97%
15x15	2680	23558645	99,99%	0,01478	113,0652	99,99%3

**Tablica 11.** Podaci o digitalnim modelima terena odsjeka 20b, G.J. Gložac, šumarije Vrbovsko

Veličina piksela, m	Količina piksela, N	Razlika u količini piksela, N	Smanjenje količine piksela, %	Veličina pohrane podataka, MB	Razlika u veličini pohrane podataka, MB	Smanjenje veličine pohrane podataka, %
0,16x0,16	30525774	-	-	190,86	-	-
0,5x0,5	3125832	27399942	89,76%	21,13	169,73	88,93%
1x1	781438	29744336	97,44%	5,29	185,57	97,23%
2x2	195277	30330496	99,36%	1,32	189,54	99,31%
<b>2,25x2,25</b>	<b>154324</b>	<b>30371449</b>	<b>99,49%</b>	<b>1,04</b>	<b>189,82</b>	<b>99,46%</b>
2,50x2,50	124968	30400806	99,59%	0,86591	189,9941	99,55%
2,75x2,75	103286	30422487	99,66%	0,71672	190,1433	99,62%
3x3	86810	30438964	99,72%	0,60135	190,2587	99,68%
4x4	48811	30476962	99,84%	0,33739	190,5226	99,82%
5x5	31232	30494542	99,90%	0,21648	190,6435	99,89%
10x10	7809	30517965	99,97%	0,05436	190,8056	99,97%
15x15	3515	30522259	99,99%	0,02561	190,8344	99,99%



**Slika 23.** Digitalni model terena odsjeka 19b i 20b, G.J. Gložac, šumarije Vrbovsko

## 5.1.2.Šumarija Skrad

### 5.1.2.1. Gospodarska jedinica Jasle, odsjeci 33a, 58a

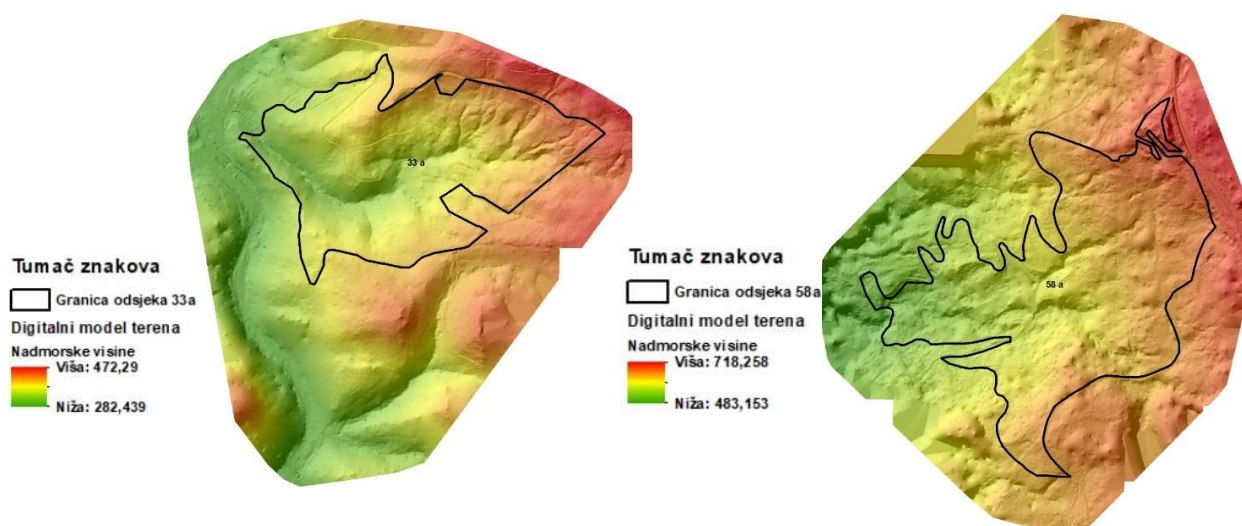
Površina odsjeka 33a prema podacima iz osnove gospodarenja iznosi 22,8 ha, a površina odsjeka 58a 29,4 ha. No, kako bi analiza stvarne udaljenosti privlačenja obuhvatila sve izvozne pravce odnosno sve šumske ceste i traktorske puteve koji utječu na otvorenost istraživanog odsjeka snimala se veća površina od same površine odsjeka koja je prema izrađenom digitalnom modelu terena veličine piksela 0,17 x 0,17 m iznosila 78,34 ha, a za odsjek 58a 78,14 ha (Slika 24). Ukupno za analizu odsjeka 33a i 58a prikupljeno je 2054 aerofotografija, od kojih na odsjek 33a otpada 962, a odsjek 58a 1092 aerofotografija. Na osnovu snimljenih aerofotografija izrađeni su digitalni modeli terena a podaci o veličini (površini) piksela, broju piksela te količini pohrane podataka koju pojedini digitalni model terena sadrži s obzirom na veličinu piksela (Tablica 12 i Tablica 13).

**Tablica 12.** Podaci o digitalnim modelima terena odsjeka 33a, G.J. Jasle, šumarije Skrad

Veličina piksela, m	Količina piksela, N	Razlika u količini piksela, N	Smanjenje količine piksela, %	Veličina pohrane podataka, MB	Razlika u veličini pohrane podataka, MB	Smanjenje veličine pohrane podataka, %
0,17x0,17	27109891	-	-	144,75	-	-
0,5x0,5	3133642	23976249	88,44%	17,4	127,35	87,98%
1x1	783388	26326503	97,11%	4,35	140,4	96,99%
2x2	195857	26914034	99,28%	1,09	143,66	99,25%
2,25x2,25	154723	26955168	99,43%	0,87933	143,8707	99,39%
2,50x2,50	125327	26984564	99,54%	0,71208	144,0379	99,51%
2,75x2,75	103569	27006322	99,62%	0,58946	144,1605	99,59%
3x3	87027	27022864	99,68%	0,49496	144,255	99,66%
4x4	48960	27060931	99,82%	0,27841	144,4716	99,81%
5x5	31333	27078558	99,88%	0,17886	144,5711	99,88%
10x10	7833	27102058	99,97%	0,0443	144,7057	99,97%
15x15	3510	27106381	99,99%	0,02139	144,7286	99,99%

**Tablica 13.** Podaci o digitalnim modelima terena odsjeka 58a, G.J. Jasle, šumarije Skrad

Veličina piksela, m	Količina piksela, N	Razlika u količini piksela, N	Smanjenje količine piksela, %	Veličina pohrane podataka, MB	Razlika u veličini pohrane podataka, MB	Smanjenje veličine pohrane podataka, %
0,17x0,17	28244481			143,83		
0,5x0,5	3264992	24979489	88,44%	18,56	125,27	87,10%
1x1	816154	27428328	97,11%	4,64	139,19	96,77%
2x2	203999	28040482	99,28%	1,16	142,67	99,19%
2,25x2,25	161182	28083299	99,43%	0,93867	142,89133	99,35%
2,50x2,50	130552	28113929	99,54%	0,76096	143,06904	99,47%
2,75x2,75	107930	28136551	99,62%	0,62819	143,20181	99,56%
3x3	90647	28153835	99,68%	0,52788	143,30212	99,63%
4x4	50983	28193499	99,82%	0,29648	143,53352	99,79%
5x5	32650	28211831	99,88%	0,18938	143,64062	99,87%
10x10	8164	28236318	99,97%	0,04734	143,78266	99,97%
15x15	3674	28240807	99,99%	0,02242	143,80758	99,98%



**Slika 24.** Digitalni model terena odsjeka 33a i 58a, G.J. Jasle, šumarije Skrad



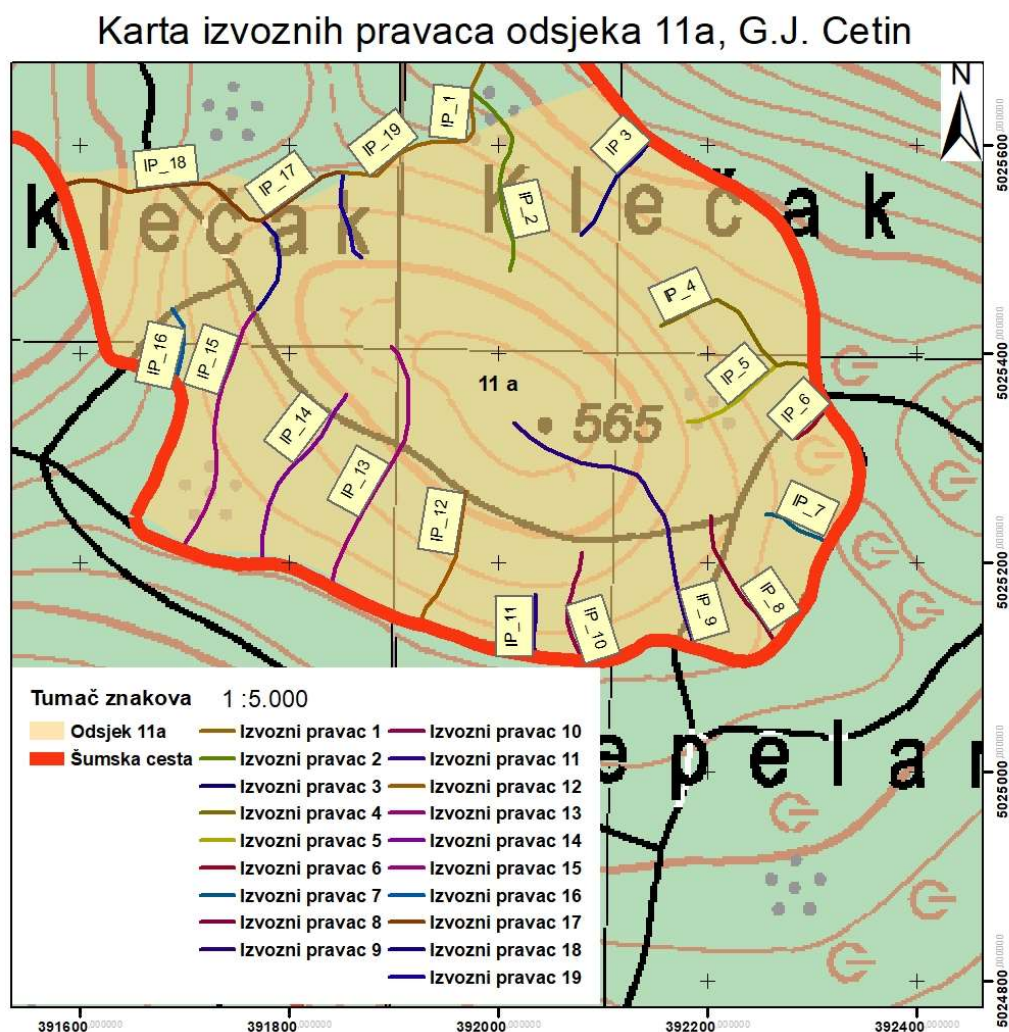
## 5.2. ODREĐIVANJE IZVOZNIH PRAVACA

Na osnovu snimaka traktorskih puteva u .shp obliku (*Shape file.*) dobivenih od strane Hrvatskih šuma d.o.o. Zagreb definirani su pojedinačni izvozni pravci na osnovu kojih se vršila daljnja analiza. Izvozni pravac predstavlja putanju prolaska stroja od mjesta formiranja optimalnog tovara do najbliže šumske ceste, a može se sastojati od jednog ili više traktorskih puteva.

### 5.2.1. Šumarija Vrbovsko

#### 5.2.1.1. Gospodarska jedinica Cetin, odsjek 11a

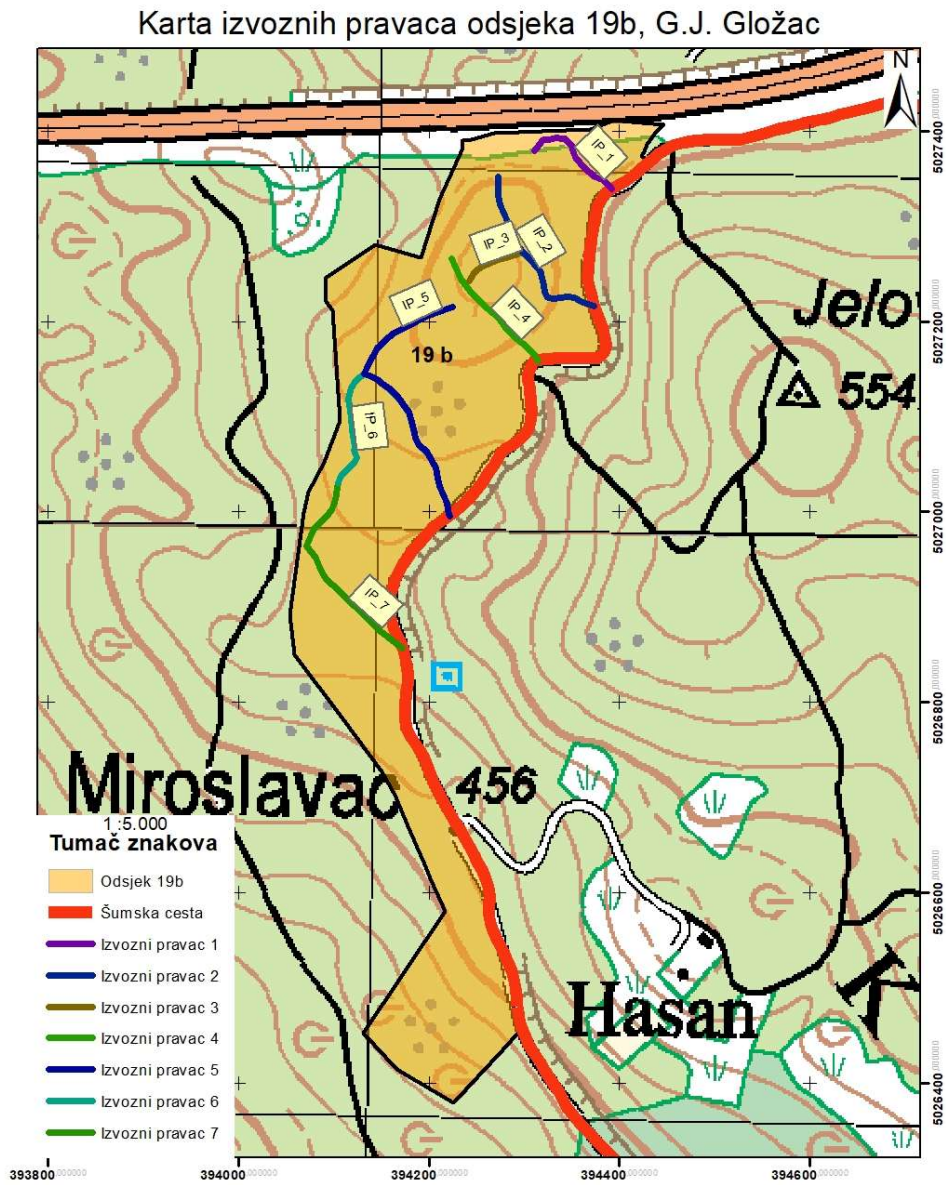
U odsjeku 11a, gospodarske jedinice Cetin na osnovu dobivenih podataka o količini traktorskih puteva izdvojeno je 19 izvoznih pravaca ukupne dužine 3680,65 m izračunatih u ArcMap 10.8. aplikaciji (Slika 25).



Slika 25. Karta izvoznih pravaca odsjeka 11a, G.J. Cetin, šumarije Vrbovsko

### 5.2.1.2. Gospodarska jedinica Gložac, odsjek 19b

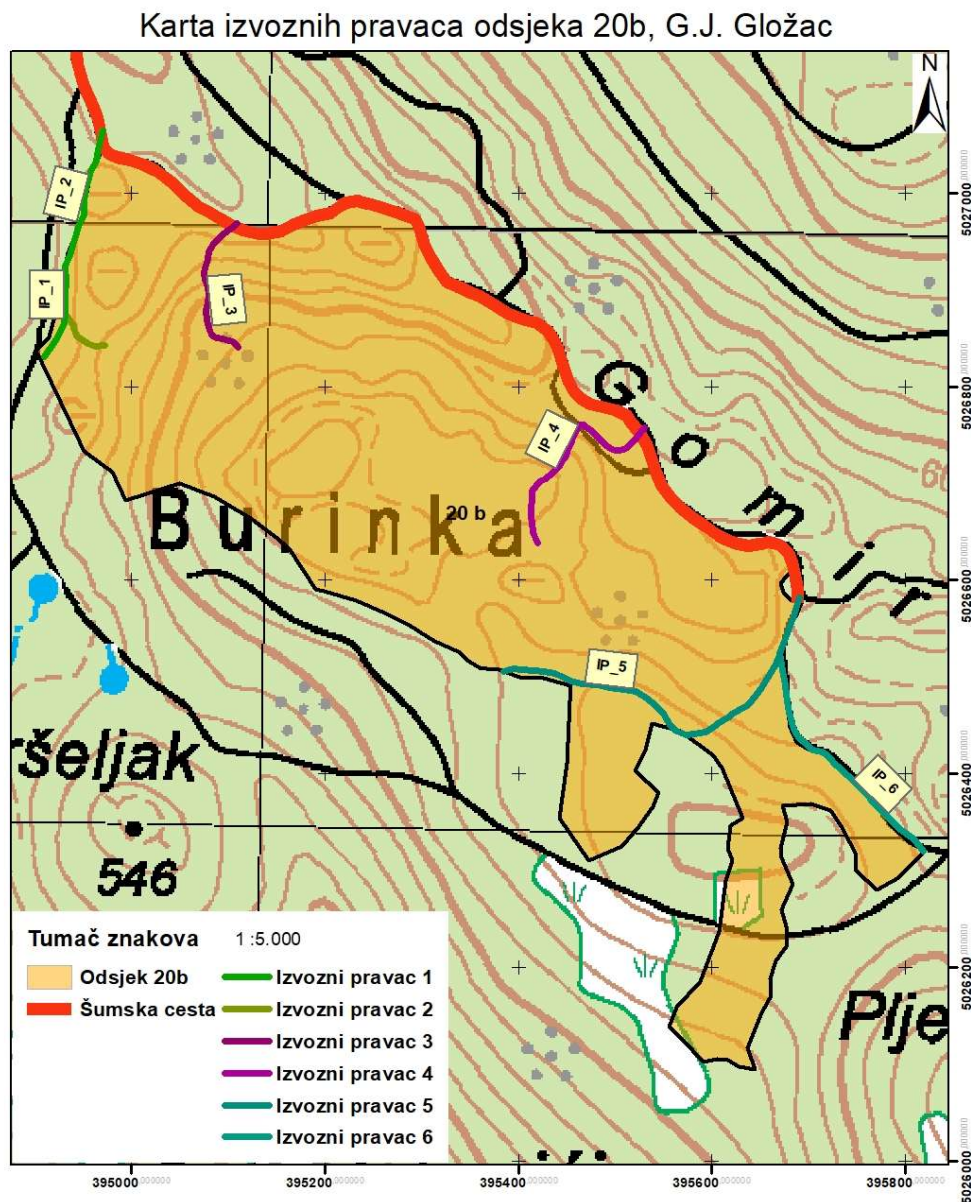
U odsjeku 19b, gospodarske jedinice Gložac na osnovu dobivenih podataka o količini traktorskih putova izdvojeno je 7 izvoznih pravaca ukupne dužine 1457,49 m izračunatih u ArcMap 10.8. aplikaciji (Slika 26).



Slika 26. Karta izvoznih pravaca odsjeka 19b, G.J. Gložac, šumarije Vrbovsko

### 5.2.1.3. Gospodarska jedinica Gložac, odsjek 20b

U odsjeku 20b, gospodarske jedinice Gložac na osnovu dobivenih podataka o količini traktorskih putova izdvojeno je 6 izvoznih pravaca ukupne dužine 1613,8 m izračunatih u ArcMap 10.8. aplikaciji (Slika 27).

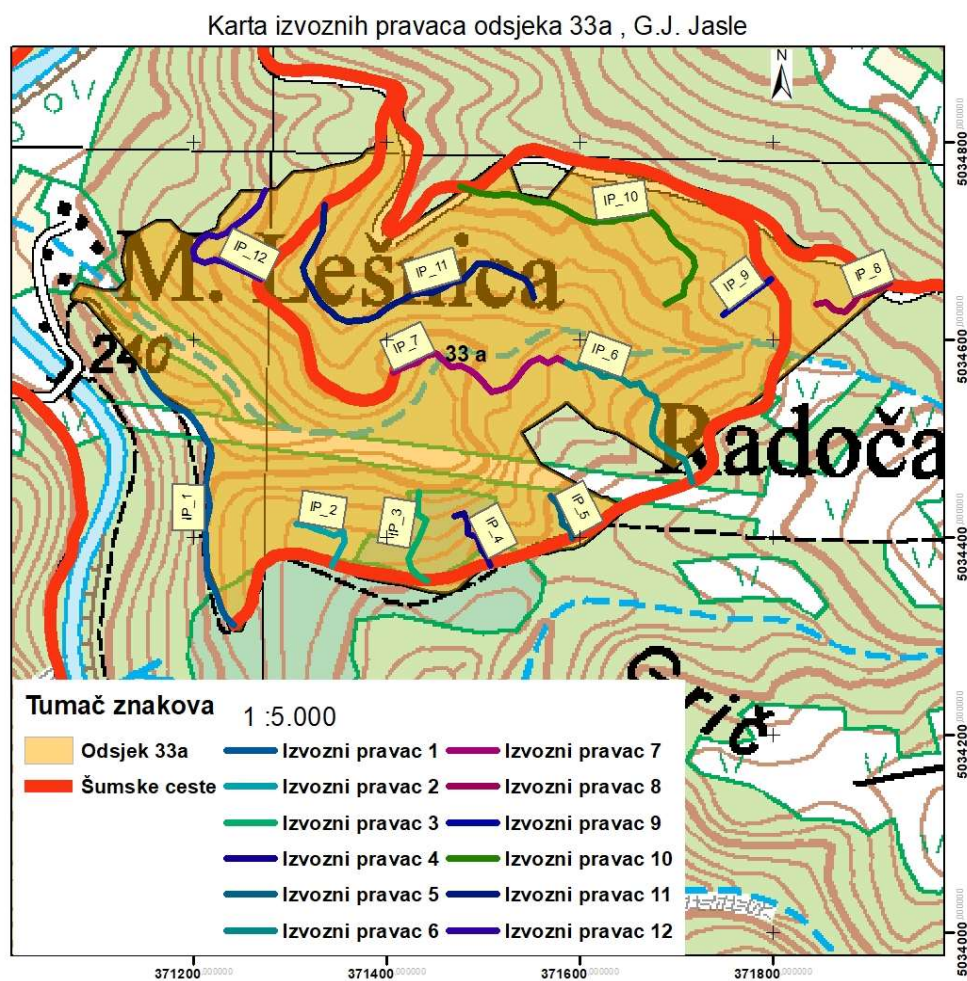


Slika 27. Karta izvoznih pravaca odsjeka 20b, G.J. Gložac, šumarije Vrbovsko

## 5.2.2. Šumarija Skrad

### 5.2.2.1. Gospodarska jedinica Jasle, odsjek 33a

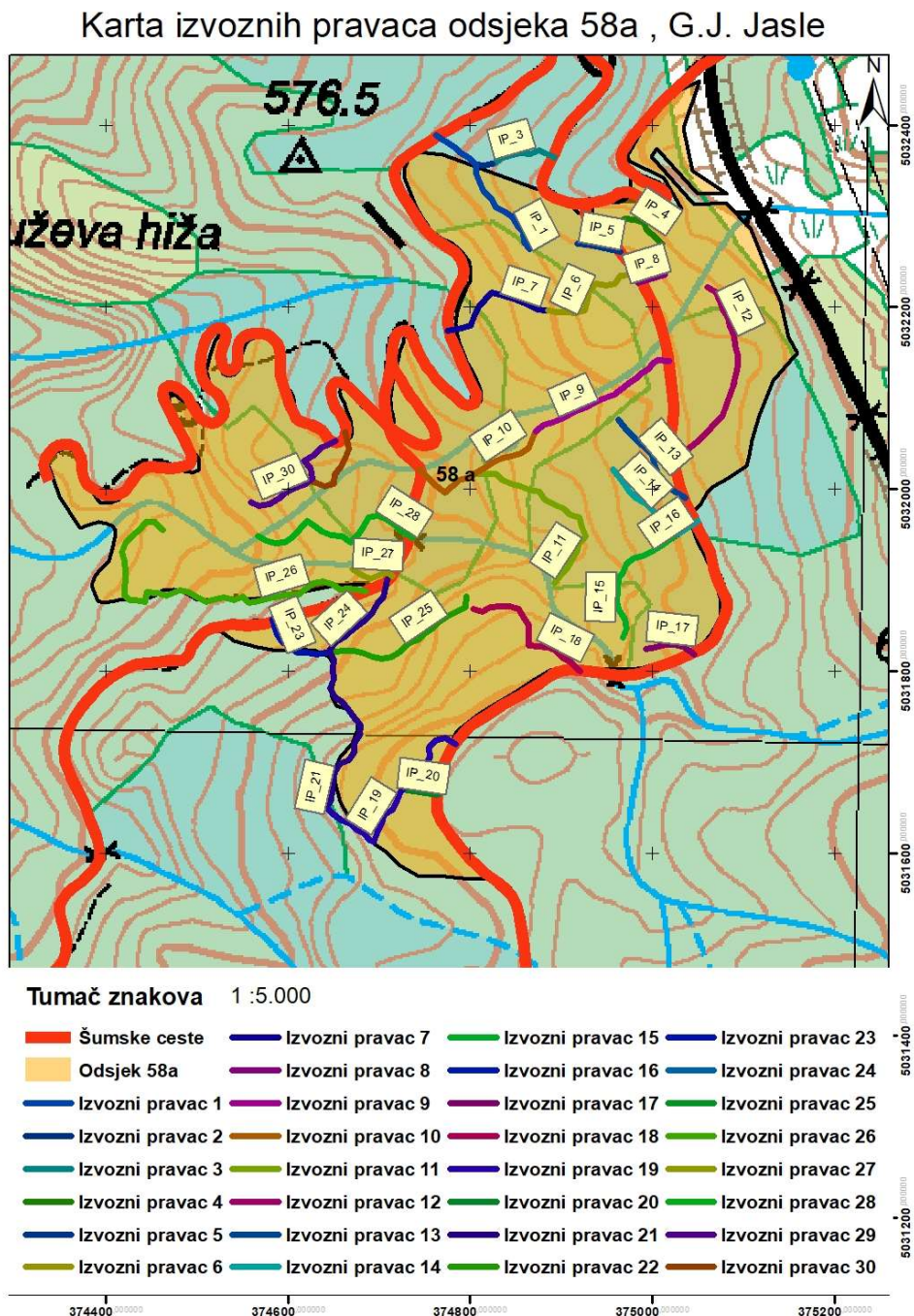
U odsjeku 33a, gospodarske jedinice Jasle na osnovu dobivenih podataka o količini traktorskih putova izdvojeno je 12 izvoznih pravaca ukupne dužine 2084,69 m izračunatih u ArcMap 10.8. aplikaciji (Slika 28).



Slika 28. Karta izvoznih pravaca odsjeka 33a, G.J. Jasle, šumarije Skrad

### 5.2.2.2. Gospodarska jedinica Jasle, odsjek 58a

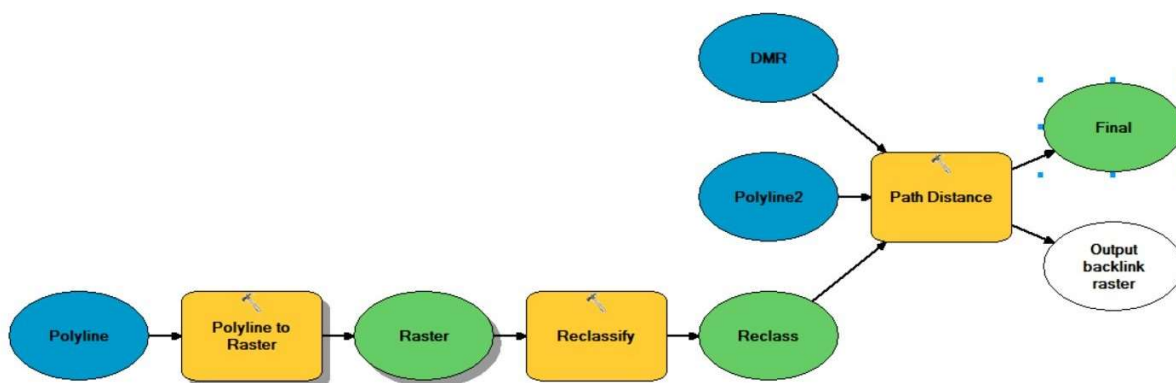
U odsjeku 58a, gospodarske jedinice Jasle na osnovu dobivenih podataka o količini traktorskih putova izdvojeno je 30 izvoznih pravaca ukupne dužine 4644,1 m izračunatih u ArcMap 10.8. aplikaciji (Slika 29).



Slika 29. Karta izvoznih pravaca odsjeka 58a, G.J. Jasle, šumarije Skrad

### 5.3. SREDNJA STVARNA UDALJENOST PRIVLAČENJA DRVA TEMELJENA NA RAZLIČITOJ VELIČINI PIKSELA

Kako bi se proces računanja srednje stvarne udaljenosti privlačenja drva ubrzao i olakšao izrađen je automatizirani *Model Builder* (Slika 30) u ArcGIS programskom paketu. Model uključuje: 1. pretvaranje izvoznih pravaca iz vektorskog oblika u rasterski oblik (*Polyline to raster*), 2. klasificiranje rastera u jednu klasu (*Reclassify*), 3. računanje stvarne udaljenosti privlačenja (*Path Distance*). Kako bi sam alat *Path Distance* funkcionirao potrebno je dodati digitalni model terena i šumsku ili javnu cestu do koje će alat *PathDistance* računati najkraću udaljenost.



Slika 30. Model Builder korišten pri izračunu stvarne udaljenosti privlačenja

### 5.3.1. Šumarija Vrbovsko

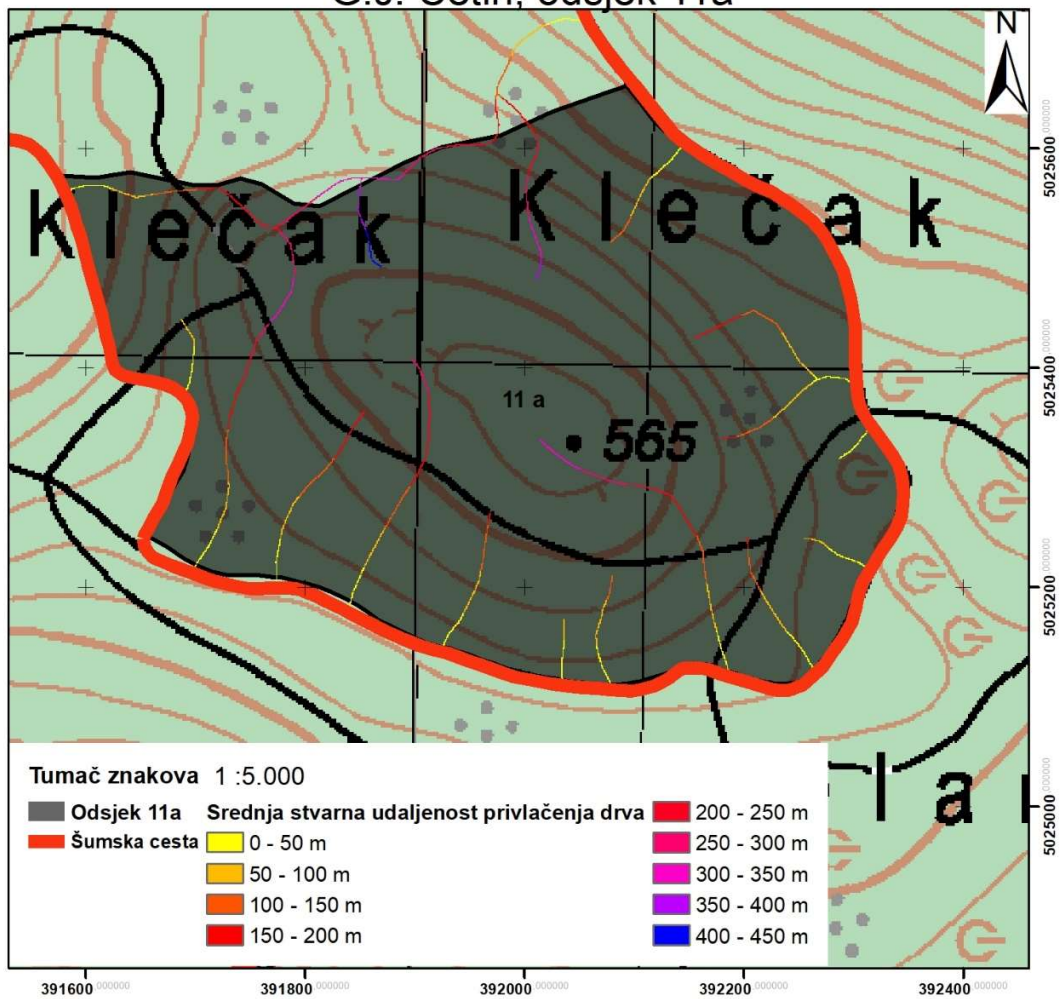
#### 5.3.1.1. Gospodarska jedinica Cetin, odsjek 11a

Korištenjem *Model Builder-a (ArcGIS 10.8.)* utvrđena je stvarna udaljenost privlačenja drva svakog izvoznog pravca temeljena na različitoj veličini piksela digitalnog modela terena za odsjek 11a. Izračun je u obzir uzimao nagib terena te duljinu traktorskih putova do najbliže šumske ceste. Na ukupno 19 izvoznih pravaca definiranih u odsjeku 11a G.J. Cetin, šumarije Vrbovsko na originalnom DMT-u 0,17 x 0,17 m ustanovljeno je da prosječna stvarna udaljenost privlačenja drva iznosi 205,33 m sa najvećom vrijednosti udaljenosti privlačenja drva zamijećene u izvoznom pravcu 19 odnosno najkraće udaljenosti privlačenja drva koja je evidentirana za izvozni pravac 6 i iznosi 43,12 m.

**Tablica 14.** Srednja stvarna udaljenost privlačenja drva temeljena na različitoj veličini piksela odsjeka 11a, G.J. Cetin, šumarije Vrbovsko

Izvozni pravci	Veličine piksela DMT-a, m											
	0,17x0,17	0,5x0,5	1x1	2x2	2,25x2,25	2,50x2,50	2,75x2,75	3x3	4x4	5x5	10x10	15x15
	Stvarne udaljenosti privlačenja, m											
1.	317,59	317,33	317,24	319,93	321,03	321,40	322,48	322,75	325,58	327,66	336,55	342,17
2.	334,29	334,05	334,08	338,34	339,22	341,61	341,90	344,65	347,16	350,73	366,64	371,37
3.	124,01	124,31	124,03	126,12	127,67	129,57	131,60	128,55	134,44	136,87	145,86	139,86
4.	193,89	193,84	193,79	194,36	194,38	194,54	194,93	195,02	194,91	196,25	196,99	206,18
5.	150,52	150,46	150,43	151,94	152,69	153,11	153,85	153,83	155,25	156,50	158,78	165,43
6.	43,12	43,07	43,11	43,26	43,34	43,33	43,27	43,27	43,58	43,62	44,07	44,47
7.	72,22	72,60	72,59	73,28	73,53	73,38	73,74	74,03	74,40	74,55	76,93	78,93
8.	151,11	151,01	151,02	151,69	151,82	152,03	152,31	152,58	153,26	153,74	155,82	157,46
9.	331,44	331,05	331,09	333,24	333,95	334,72	335,29	335,92	337,71	340,61	348,77	349,11
10.	117,24	117,14	117,11	118,21	118,57	118,76	119,43	119,61	120,49	121,59	126,45	129,55
11.	62,27	62,15	62,12	62,99	63,31	63,44	63,55	63,74	64,60	64,99	66,47	70,01
12.	149,55	149,38	149,32	150,75	151,42	151,72	152,02	152,48	153,68	155,12	160,44	164,32
13.	270,66	270,61	270,63	272,29	272,64	272,98	273,79	274,32	275,65	276,77	283,12	288,63
14.	197,76	197,45	197,48	199,23	199,85	200,18	201,34	201,04	202,34	204,40	207,53	209,62
15.	260,78	260,65	260,64	262,86	262,71	263,79	264,63	264,90	266,24	269,05	270,46	266,25
16.	79,23	79,13	79,18	79,44	79,72	79,55	79,76	79,67	79,83	80,06	80,89	78,70
17.	316,03	315,81	315,79	317,65	318,59	318,30	319,19	320,03	320,74	322,55	327,02	349,15
18.	322,03	321,88	321,85	323,63	324,73	325,19	325,41	325,73	327,39	329,93	335,47	350,29
19.	407,51	407,18	407,13	411,12	411,94	412,84	413,43	414,08	418,48	420,19	435,08	442,58

Karta srednje stvarne udaljenosti privlačenja drva  
G.J. Cetin, odsjek 11a



Slika 31. Karta srednje stvarne udaljenosti privlačenja odsjeka 11a, G.J. Cetin, šumarije Vrbovsko



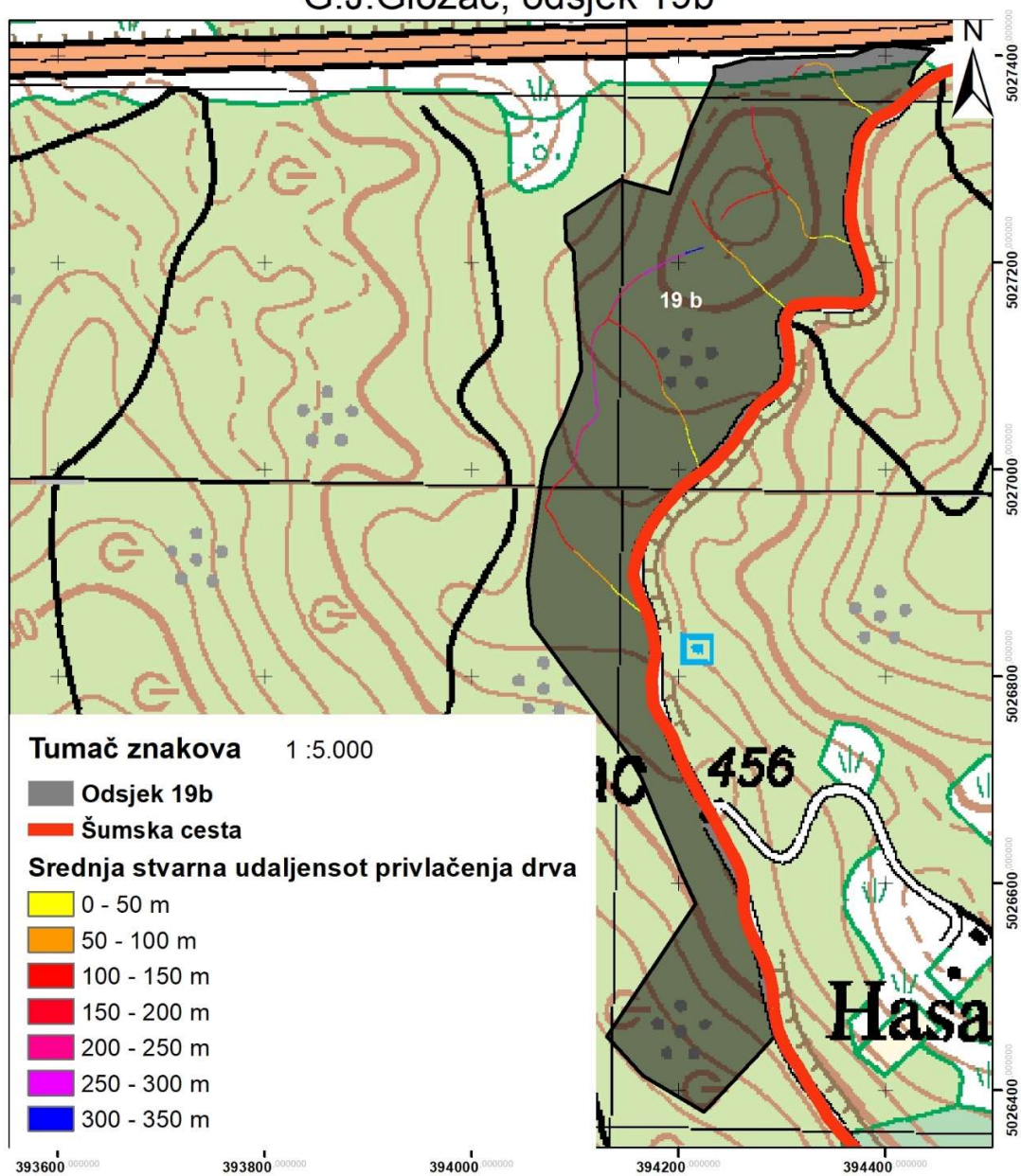
### 5.3.1.2. Gospodarska jedinica Gložac, odsjek 19b

Korištenjem *Model Builder-a (ArcGIS 10.8.)* utvrđena je stvarna udaljenost privlačenja drva svakog izvoznog pravca temeljena na različitoj veličini piksela digitalnog modela terena za odsjek 19b. Izračun je u obzir uzimao nagib terena te duljinu traktorskih putova do najbliže šumske ceste. Na ukupno 7 izvoznih pravaca definiranih u odsjeku 19b G.J. Gložac, šumarije Vrbovsko na originalnom DMT-u 0,16 x 0,16 m ustanovljeno je da prosječna stvarna udaljenost privlačenja drva iznosi 218,83 m sa najvećom vrijednosti udaljenosti privlačenja drva zamijećene u izvoznom pravcu 6 odnosno najkraće udaljenosti privlačenja drva koja je evidentirana za izvozni pravac 1 i iznosi 117,64 m.

**Tablica 15.** Srednja stvarna udaljenost privlačenja drva temeljena na različitoj veličini piksela odsjeka 19b, G.J. Gložac, šumarije Vrbovsko

Izvozni pravci	Veličina piksela DMT-a											
	0,16x0,16	0,5x0,5	1x1	2x2	2,25x2,25	2,50x2,50	$\frac{2,75x2,75}{5}$	3x3	4x4	5x5	10x10	15x15
	Stvarna udaljenost privlačenja, m											
1.	117,64	117,72	117,72	118,04	181,25	118,48	118,59	118,48	119,15	120,07	121,69	122,85
2.	202,52	202,46	202,46	203,35	203,42	203,84	204,06	204,33	205,64	206,17	209,39	217,37
3.	184,50	184,48	184,48	185,32	185,18	185,48	185,66	186,05	186,95	187,44	189,51	189,70
4.	147,24	147,17	147,16	147,56	148,11	147,98	149,09	148,22	149,85	149,66	151,82	152,80
5.	323,49	323,41	323,45	324,36	322,26	322,59	323,12	325,76	326,81	327,68	332,98	338,56
6.	324,98	324,89	324,88	326,02	326,29	326,65	326,94	327,11	328,31	329,09	333,48	340,67
7.	231,42	231,32	231,34	233,10	233,33	233,62	234,04	234,05	239,28	239,22	247,92	240,95

Karta srednje stvarne udaljenosti privlačenja drva  
G.J.Gložac, odsjek 19b



Slika 32. Karta srednje stvarne udaljenosti privlačenja odsjeka 19b, G.J. Gložac, šumarije Vrbovsko

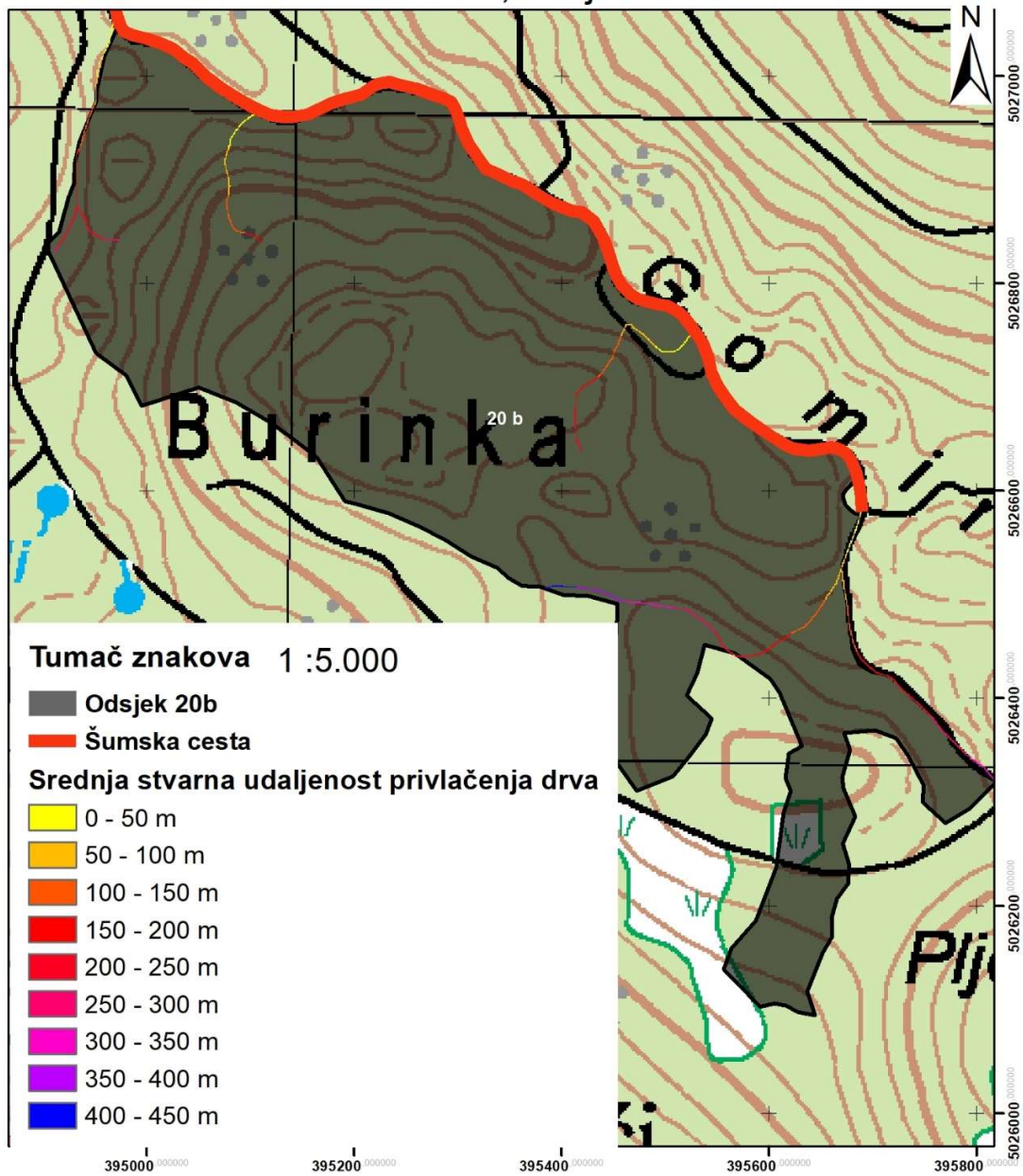
### 5.3.1.3. Gospodarska jedinica Gložac, odsjek 20b

Korištenjem *Model Builder-a (ArcGIS 10.8.)* utvrđena je stvarna udaljenost privlačenja drva svakog izvoznog pravca temeljena na različitoj veličini piksela digitalnog modela terena za odsjek 20b. Izračun je u obzir uzimao nagib terena te duljinu traktorskih putova do najbliže šumske ceste. Na ukupno 6 izvoznih pravaca definiranih u odsjeku 20b G.J. Gložac, šumarije Vrbovsko na originalnom DMT-u 0,16 x 0,16 m ustanovljeno je da prosječna stvarna udaljenost privlačenja drva iznosi 282,30 m sa najvećom vrijednosti udaljenosti privlačenja drva zamijećene u izvoznom pravcu 5 odnosno najkraće udaljenosti privlačenja drva koja je evidentirana za izvozni pravac 3 i iznosi 170,22 m.

**Tablica 16.** Srednja stvarna udaljenost privlačenja drva temeljena na različitoj veličini piksela odsjeka 20b, G.J. Gložac, šumarije Vrbovsko

Veličine piksela DMT-a												
Izvozni pravci	0,16x0,16	0,5x0,5	1x1	2x2	2,25x2,25	2,50x2,50	2,75x2,75	3x3	4x4	5x5	10x10	15x15
Stvarne udaljenosti privlačenja, m												
1.	258,66	258,31	258,42	260,07	261,98	262,33	263,98	263,54	265,67	268,91	271,68	271,83
2.	260,65	260,49	260,51	260,51	270,44	271,06	272,13	261,84	262,80	264,10	269,05	279,31
3.	170,22	169,96	170,02	173,06	174,94	175,56	176,18	176,28	178,66	180,20	187,49	199,89
4.	234,24	234,18	234,21	235,65	235,99	236,41	236,50	237,35	238,59	240,37	245,45	250,60
5.	430,08	429,56	429,82	432,15	432,70	433,59	433,97	434,29	437,41	439,81	444,79	458,81
6.	339,97	339,82	339,78	341,33	342,09	342,40	342,99	343,34	344,71	347,53	358,03	374,99

Karta srednje stvarne udaljenosti privlačenja drva  
G.J.Gložac, odsjek 20b



Slika 33. Karta srednje stvarne udaljenosti privlačenja odsjeka 19b, G.J. Gložac, šumarije Vrbovsko

## 5.3.2. Šumarija Skrad

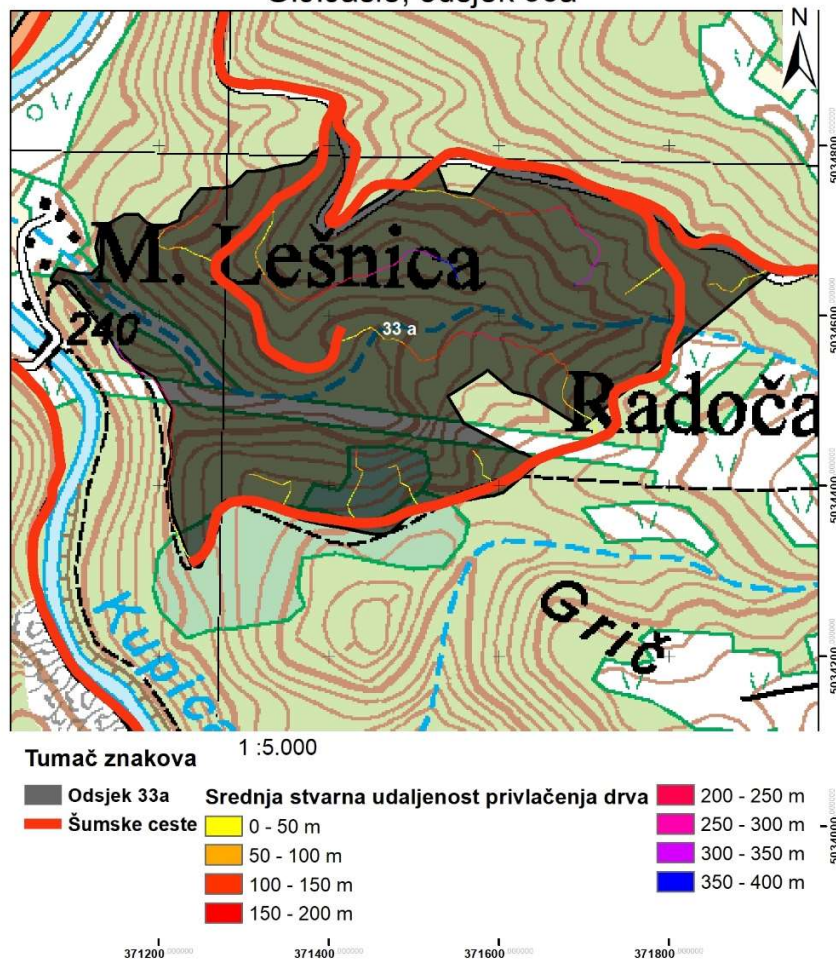
### 5.3.2.1. Gospodarska jedinica Jasle, odsjek 33a

Korištenjem *Model Builder-a (ArcGIS 10.8.)* utvrđena je stvarna udaljenost privlačenja drva svakog izvoznog pravca temeljena na različitoj veličini piksela digitalnog modela terena za odsjek 33a. Izračun je u obzir uzimao nagib terena te duljinu traktorskih putova do najbliže šumske ceste. Na ukupno 12 izvoznih pravaca definiranih u odsjeku 33a G.J. Jasle, šumarije Skrad na originalnom DMT-u 0,17 x 0,17 m ustanovljeno je da prosječna stvarna udaljenost privlačenja drva iznosi 184,38 m sa najvećom vrijednosti udaljenosti privlačenja drva zamijećene u izvoznom pravcu 11 odnosno najkraće udaljenosti privlačenja drva koja je evidentirana za izvozni pravac 5 i iznosi 53,52 m.

**Tablica 17.** Srednja stvarna udaljenost privlačenja drva temeljena na različitoj veličini piksela odsjeka 33a, G.J. Jasle, šumarije Skrad

Izvozni pravci	Veličine piksela DMT-a											
	0,17x0,17	0,5x0,5	1x1	2x2	2,25x2,25	2,50x2,50	2,75x2,75	3x3	4x4	5x5	10x10	15x15
	Stvarne udaljenosti privlačenja, m											
1.	318,55	318,03	318,05	322,64	324,66	325,19	329,60	329,95	335,89	340,70	346,04	358,85
2.	96,37	96,24	96,22	98,76	99,48	100,35	100,41	101,55	102,57	105,65	105,82	96,72
3.	110,24	110,15	110,13	112,56	112,89	113,74	114,31	114,66	117,74	117,55	127,75	148,00
4.	75,20	74,94	74,92	75,70	76,11	76,75	77,08	77,01	77,68	78,60	80,44	99,69
5.	53,52	53,49	53,41	53,86	54,18	54,97	55,91	55,39	54,91	56,10	56,64	60,76
6.	228,42	228,23	228,13	232,09	232,55	233,91	234,68	236,98	237,90	239,55	253,28	258,32
7.	229,65	229,41	229,38	232,95	233,99	235,38	236,50	239,02	242,01	244,48	254,06	268,86
8.	93,03	92,96	92,97	93,82	93,96	94,23	94,42	94,51	95,72	96,23	98,25	103,89
9.	65,91	65,80	65,80	66,41	66,68	66,83	67,38	67,50	68,52	69,08	72,51	76,21
10.	355,48	355,07	355,28	361,05	363,35	368,20	367,95	368,03	375,19	379,76	387,51	390,99
11.	390,83	391,10	391,22	395,62	396,52	398,67	400,20	402,93	408,25	410,12	424,80	455,66
12.	195,37	195,17	195,18	198,83	200,25	201,00	202,06	203,08	207,51	210,18	223,28	226,49

Karta srednje stvarne udaljenosti privlačenja drva  
G.J.Jasle, odsjek 33a



Slika 34. Karta srednje stvarne udaljenosti privlačenja drva odsjeka 33a, G.J. Jasle, šumarije Skrad

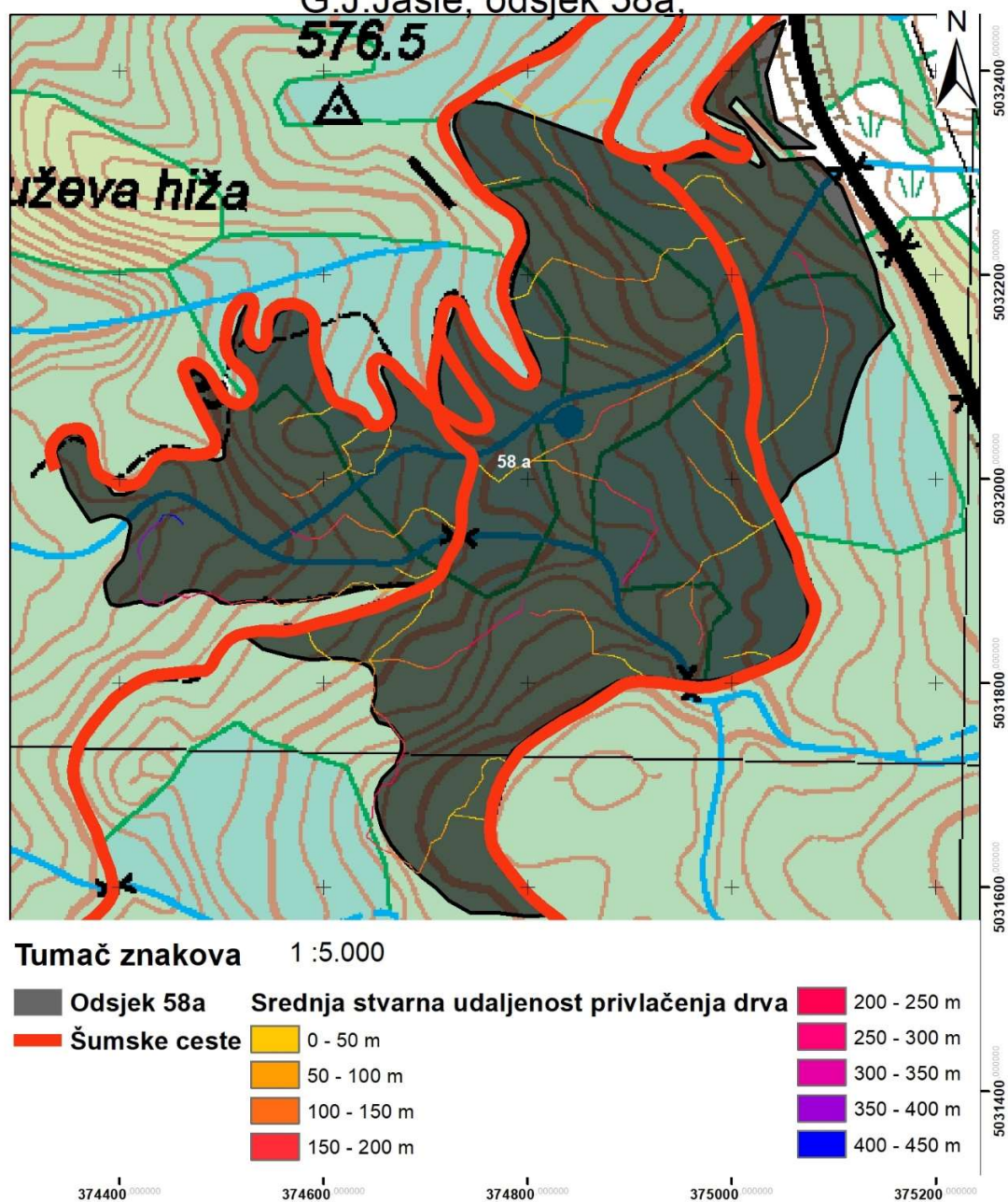
### 5.3.2.2. Gospodarska jedinica Jasle, odsjek 58a

Korištenjem *Model Builder-a (ArcGIS 10.8.)* utvrđena je stvarna udaljenost privlačenja drva svakog izvoznog pravca temeljena na različitoj veličini piksela digitalnog modela terena za odsjek 58a. Izračun je u obzir uzimao nagib terena te duljinu traktorskih putova do najbliže šumske ceste. Na ukupno 30 izvoznih pravaca definiranih u odsjeku 58a G.J. Jasle, šumarije Skrad na originalnom DMT-u 0,17 x 0,17 m ustanovljeno je da prosječna stvarna udaljenost privlačenja drva iznosi 163,23 m sa najvećom vrijednosti udaljenosti privlačenja drva zamijećene u izvoznom pravcu 26 odnosno najkraće udaljenosti privlačenja drva koja je evidentirana za izvozni pravac 8 i iznosi 28,22 m.

**Tablica 18.** Stvarna udaljenost privlačenja temeljena na različitoj veličini piksela odsjeka 58a, G.J. Jasle, šumarije Skrad

Izvojni pravci	Veličina piksela DMT-a											
	0,17x0,17	0,5x0,5	1x1	2x2	2,25x2,25	2,50x2,50	2,75x2,75	3x3	4x4	5x5	10x10	15x15
	Stvarna udaljenost privlačenja, m											
1.	179,22	179,11	179,03	180,28	181,61	183,14	182,20	183,80	185,66	189,80	196,99	201,39
2.	75,80	75,74	75,74	76,31	76,59	76,79	76,91	77,26	77,63	78,32	81,73	85,01
3.	74,79	74,86	74,82	75,94	76,13	76,47	76,75	77,22	78,17	78,86	82,63	84,10
4.	82,39	82,27	82,27	82,73	83,18	83,11	83,16	83,46	83,69	85,18	85,31	94,29
5.	47,58	47,57	47,58	47,80	48,32	47,91	48,05	48,29	48,32	48,09	48,05	48,53
6.	128,47	128,39	128,42	129,70	130,01	130,17	130,46	130,94	132,02	132,79	134,91	146,33
7.	143,99	143,63	143,62	145,60	146,18	146,98	148,17	146,98	148,82	149,91	154,65	162,35
8.	28,22	28,27	28,20	28,44	28,45	28,36	28,47	28,44	28,52	29,11	29,83	32,35
9.	181,43	181,31	181,43	193,46	183,85	185,30	186,29	186,16	187,61	191,30	196,46	198,33
10.	171,43	170,96	171,07	173,40	174,58	174,84	175,33	176,55	179,21	182,04	189,42	193,70
11.	306,96	306,92	306,81	309,66	310,53	311,66	312,58	313,56	318,63	321,02	337,91	347,70
12.	240,64	240,67	240,59	242,28	242,45	243,69	243,76	244,20	245,82	246,48	254,17	255,15
13.	117,30	117,31	117,29	117,93	118,09	118,32	118,35	118,49	119,88	120,11	123,72	123,32
14.	132,91	132,78	132,71	135,28	135,18	137,84	137,12	138,49	140,89	143,08	147,87	142,88
15.	187,38	187,63	187,48	189,40	190,02	190,73	191,69	193,08	194,15	195,55	202,04	207,95
16.	149,43	149,25	149,32	151,32	151,50	152,47	152,59	154,64	155,87	158,20	165,35	165,52
17.	58,54	58,41	58,29	59,17	59,29	59,75	59,31	59,37	60,93	61,55	65,10	60,52
18.	171,10	171,28	171,18	175,61	176,42	178,35	177,76	185,13	182,73	189,45	192,90	187,49
19.	238,52	238,23	238,21	240,07	240,81	240,59	241,76	241,96	244,80	244,41	252,90	258,41
20.	40,93	40,77	40,80	42,05	42,31	42,62	42,99	43,07	44,08	44,43	46,23	41,91
21.	324,98	324,60	324,78	329,87	330,98	332,72	333,83	334,72	337,61	342,89	360,46	387,56
22.	299,44	299,12	299,09	302,68	303,33	305,32	306,45	307,38	308,71	314,18	330,59	364,04
23.	91,11	90,90	90,80	93,05	93,65	94,19	94,20	95,16	96,60	98,08	102,19	106,27
24.	109,40	109,49	109,51	110,93	111,62	111,99	113,27	113,85	113,79	118,16	125,52	125,49
25.	280,56	280,17	279,98	284,88	284,89	285,87	287,66	288,70	293,52	294,65	306,98	332,99
26.	429,91	428,97	428,74	435,93	438,40	441,24	442,23	445,45	452,10	455,65	469,53	491,94
27.	53,32	53,25	53,22	53,88	54,03	54,24	54,69	55,46	55,08	55,57	57,24	58,34
28.	233,46	223,53	233,55	228,61	231,78	231,76	235,87	238,66	243,11	244,94	249,18	243,15
29.	146,67	146,36	146,18	148,21	148,93	149,74	150,45	151,39	152,31	154,05	157,05	168,85
30.	171,15	171,00	170,74	173,24	174,10	174,84	175,56	176,23	177,12	179,39	183,07	195,70

Karta srednje stvarne udaljenosti privlačenja drva  
G.J.Jasle, odsjek 58a.



Slika 35. Karta srednje stvarne udaljenosti privlačenja odsjeka 58a, G.J. Jasle, šumarije Skrad



## 5.4. STATISTIČKA OBRADA PODATAKA

Prije same statističke obrade podataka u programu Statistica 14 (StatSoft Inc., Tulsa, OK, USA) bilo je potrebno definirati razlike u stvarnim udaljenosti privlačenja drva za digitalne modele terena različitih veličina piksela (0,5 x 0,5 m, 1 x 1 m, 2 x 2 m, 3 x 3 m, 4 x 4 m, 5 x 5 m, 10 x 10 m) deriviranih iz izvorno dobivenih digitalnih modela terena veličine 0,16 x 0,16 m do 0,17 x 0,17 m te za digitalni model terena veličine piksela 15 x 15 m koji je trenutno dostupan za cijelo područje Republike Hrvatske. Rezultati razlike u stvarnim udaljenosti privlačenja drva za izvozne pravce istraživanog područja prikazani su u tablicama 19-23.

**Tablica 19.** Razlika u srednjim stvarnim udaljenostima privlačenja drva za izvozne pravce odsjeka 11a, gospodarske jedinice Cetin, šumarije Vrbovsko izračunate na temelju uspoređivanih DMT-ova

Izvozni pravci	Veličina DMT, m							
	0,5x0,5	1x1	2x2	3x3	4x4	5x5	10x10	15x15
	Razlika u stvarnim udaljenostima privlačenja deriviranih DMT-ova u odnosu na izvorni, m							
1.	-0,25	-0,35	2,34	5,16	8,00	10,07	18,96	24,59
2.	-0,24	-0,21	4,05	10,36	12,87	16,44	32,35	37,08
3.	0,30	0,03	2,11	4,54	10,43	12,86	21,86	15,86
4.	-0,06	-0,10	0,47	1,12	1,02	2,36	3,10	12,28
5.	-0,06	-0,09	1,42	3,31	4,73	5,98	8,26	14,91
6.	-0,05	-0,01	0,15	0,15	0,47	0,50	0,95	1,35
7.	0,37	0,37	1,05	1,81	2,18	2,33	4,71	6,70
8.	-0,09	-0,08	0,59	1,48	2,16	2,64	4,72	6,35
9.	-0,39	-0,35	1,80	4,48	6,27	9,17	17,33	17,68
10.	-0,10	-0,13	0,97	2,37	3,25	4,35	9,21	12,31
11.	-0,12	-0,15	0,72	1,47	2,33	2,72	4,20	7,74
12.	-0,18	-0,23	1,19	2,93	4,13	5,57	10,89	14,76
13.	-0,05	-0,03	1,63	3,65	4,99	6,11	12,46	17,97
14.	-0,31	-0,28	1,47	3,28	4,58	6,64	9,77	11,85
15.	-0,13	-0,13	2,08	4,12	5,46	8,27	9,68	5,48
16.	-0,09	-0,05	0,21	0,44	0,60	0,83	1,66	-0,53
17.	-0,22	-0,23	1,63	4,01	4,72	6,53	10,99	33,12
18.	-0,15	-0,18	1,60	3,70	5,36	7,90	13,44	28,27
19.	-0,33	-0,38	3,60	6,56	10,97	12,68	27,57	35,07

**Tablica 20.** Razlika u srednjim stvarnim udaljenostima privlačenja drva za izvozne pravce odsjeka 19b, gospodarske jedinice Gložac, šumarije Vrbovsko izračunate na temelju uspoređivanih DMT-ova

Izvozni pravci	Veličina DMT, m							
	0,5x0,5	1x1	2x2	3x3	4x4	5x5	10x10	15x15
	Razlika u stvarnim udaljenostima privlačenja deriviranih DMT-ova u odnosu na izvorni, m							
1.	0,08	0,08	0,40	0,84	1,51	2,43	4,05	5,21
2.	-0,06	-0,07	0,83	1,80	3,12	3,65	6,87	14,85
3.	-0,02	-0,02	0,82	1,55	2,45	2,94	5,01	5,20
4.	-0,07	-0,08	0,32	0,98	2,61	2,42	4,58	5,56
5.	-0,08	-0,04	0,87	2,27	3,32	4,19	9,50	15,07
6.	-0,10	-0,11	1,03	2,12	3,33	4,11	8,50	15,69
7.	-0,10	-0,08	1,68	2,63	7,86	7,80	16,50	9,53

**Tablica 21.** Razlika u srednjim stvarnim udaljenostima privlačenja drva za izvozne pravce odsjeka 20b, gospodarske jedinice Gložac, šumarije Vrbovsko izračunate na temelju uspoređivanih DMT-ova

Izvozni pravci	Veličina DMT, m							
	0,5x0,5	1x1	2x2	3x3	4x4	5x5	10x10	15x15
	Razlika u stvarnim udaljenostima privlačenja deriviranih DMT-ova u odnosu na izvorni, m							
1.	-0,35	-0,24	1,41	4,88	7,01	10,26	13,02	13,18
2.	-0,17	-0,14	-0,14	1,19	2,15	3,45	8,40	18,66
3.	-0,26	-0,20	2,84	6,06	8,44	9,98	17,27	29,68
4.	-0,06	-0,03	1,41	3,11	4,35	6,13	11,22	16,36
5.	-0,52	-0,26	2,07	4,21	7,34	9,73	14,72	28,73
6.	-0,14	-0,19	1,36	3,37	4,74	7,56	18,07	35,03

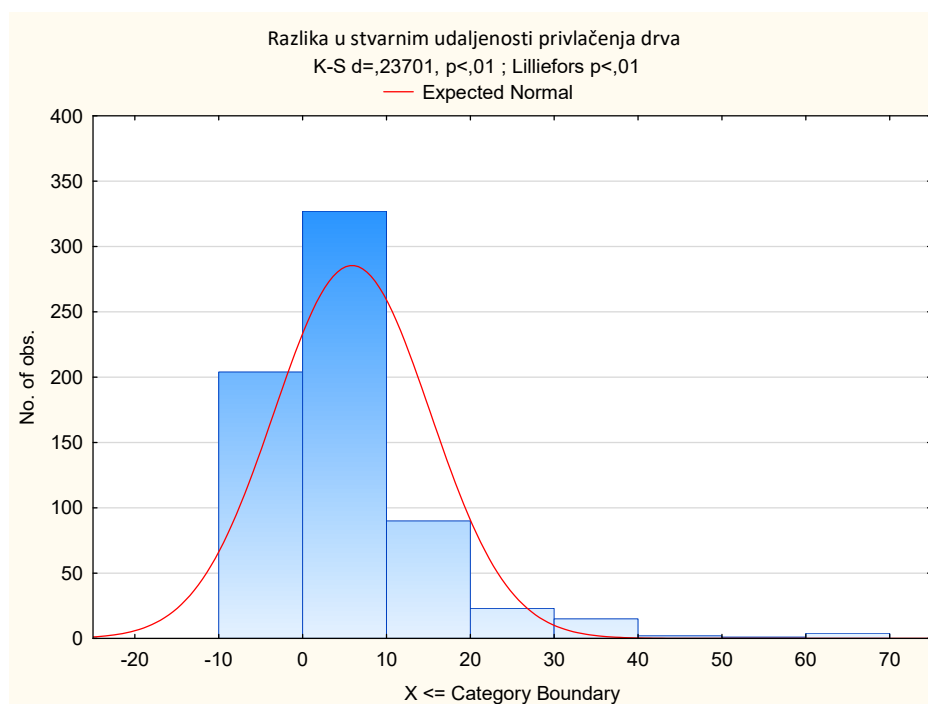
**Tablica 22.** Razlika u srednjim stvarnim udaljenostima privlačenja drva za izvozne pravce odsjeka 33a, gospodarske jedinice Jasle, šumarije Skrad izračunate na temelju uspoređivanih DMT-ova

Izvozni pravci	Veličina DMT, m							
	0,5x0,5	1x1	2x2	3x3	4x4	5x5	10x10	15x15
	Razlika u stvarnim udaljenostima privlačenja deriviranih DMT-ova u odnosu na izvorni, m							
1.	-0,52	-0,50	4,09	11,40	17,34	22,16	27,49	40,30
2.	-0,14	-0,16	2,38	5,18	6,19	9,28	9,44	0,35
3.	-0,08	-0,10	2,32	4,42	7,50	7,31	17,51	37,77
4.	-0,26	-0,28	0,50	1,81	2,49	3,40	5,24	24,49
5.	-0,03	-0,11	0,34	1,87	1,39	2,58	3,13	7,24
6.	-0,19	-0,30	3,67	8,55	9,48	11,13	24,86	29,90
7.	-0,25	-0,27	3,30	9,37	12,36	14,83	24,41	39,21
8.	-0,07	-0,06	0,79	1,48	2,69	3,20	5,22	10,86
9.	-0,11	-0,10	0,50	1,59	2,61	3,18	6,60	10,31
10.	-0,40	-0,19	5,57	12,55	19,71	24,28	32,03	35,51
11.	0,27	0,39	4,79	12,10	17,42	19,30	33,97	64,84
12.	-0,20	-0,19	3,47	7,71	12,14	14,81	27,91	31,12

**Tablica 23.** Razlika u srednjim stvarnim udaljenostima privlačenja drva za izvozne pravce odsjeka 58a, gospodarske jedinice Jasle, šumarije Skrad izračunate na temelju uspoređivanih DMT-ova

Izvozni pravci	Veličina DMT, m							
	0,5x0,5	1x1	2x2	3x3	4x4	5x5	10x10	15x15
	Razlika u stvarnim udaljenostima privlačenja deriviranih DMT-ova u odnosu na izvorni, m							
1.	-0,11	-0,19	1,06	4,58	6,44	10,58	17,77	22,17
2.	-0,06	-0,06	0,51	1,46	1,83	2,52	5,93	9,21
3.	0,06	0,03	1,15	2,43	3,37	4,07	7,83	9,30
4.	-0,12	-0,12	0,34	1,07	1,30	2,79	2,92	11,90
5.	-0,01	0,01	0,22	0,71	0,74	0,51	0,47	0,95
6.	-0,08	-0,04	1,23	2,47	3,55	4,32	6,45	17,86
7.	-0,35	-0,37	1,61	3,00	4,83	5,92	10,67	18,36
8.	0,05	-0,02	0,21	0,22	0,30	0,89	1,61	4,13
9.	-0,12	0,00	12,04	4,73	6,19	9,87	15,04	16,90
10.	-0,47	-0,35	1,98	5,12	7,78	10,61	17,99	22,28
11.	-0,03	-0,15	2,70	6,61	11,67	14,07	30,96	40,75
12.	0,02	-0,05	1,64	3,56	5,18	5,84	13,53	14,51
13.	0,00	-0,01	0,63	1,19	2,57	2,81	6,42	6,02
14.	-0,13	-0,20	2,37	5,58	7,98	10,17	14,96	9,97
15.	0,25	0,10	2,02	5,70	6,77	8,18	14,66	20,58
16.	-0,18	-0,12	1,89	5,20	6,44	8,76	15,92	16,09
17.	-0,13	-0,25	0,63	0,83	2,40	3,01	6,56	1,98
18.	0,18	0,08	4,51	14,03	11,63	18,35	21,80	16,39
19.	-0,29	-0,31	1,55	3,44	6,29	5,90	14,38	19,89
20.	-0,16	-0,13	1,12	2,14	3,15	3,50	5,30	0,98
21.	-0,38	-0,20	4,89	9,74	12,63	17,91	35,48	62,59
22.	-0,32	-0,35	3,24	7,94	9,26	14,74	31,14	64,60
23.	-0,21	-0,31	1,94	4,05	5,49	6,97	11,08	15,16
24.	0,09	0,11	1,53	4,45	4,38	8,76	16,12	16,09
25.	-0,39	-0,58	4,32	8,13	12,96	14,09	26,42	52,43
26.	-0,94	-1,17	6,01	15,54	22,19	25,74	39,62	62,03
27.	-0,07	-0,10	0,56	2,14	1,76	2,25	3,93	5,02
28.	-9,92	0,10	-4,85	5,21	9,65	11,49	15,72	9,70
29.	-0,30	-0,49	1,54	4,72	5,64	7,39	10,39	22,18
30.	-0,16	-0,41	2,09	5,08	5,97	8,24	11,92	24,55

Temeljem izračunatih razlika u stvarnim udaljenosti privlačenja drva za sve izvozne pravce istraživanog područja izrađena je provjera normalnosti podataka koja je provedena je Kolmogorov-Smirnof i Lilliefors-ovim testom normalnosti (slika 36) kojim je dokazana normalnost distribucije analiziranih podataka.



**Slika 36.** Kolmogorov-Smirnov i Lilliefors-ovim test normalnosti razlika u stvarnim udaljenosti privlačenja drva za sve izvozne pravce istraživanog područja

Deskriptivna statistička analiza, odnosno utvrđivanje prosječnih vrijednosti razlika u stvarnim udaljenostima privlačenja drva za sve izvozne pravce istraživanog područja i njihovi pripadajućih standardnih devijacija provedena je u sklopu „Descriptive Statistics“ u korištenom programu Statistica.

**Tablica 24.** Prosječnih vrijednosti razlika u srednjim stvarnim udaljenostima privlačenja drva istraživanog područja

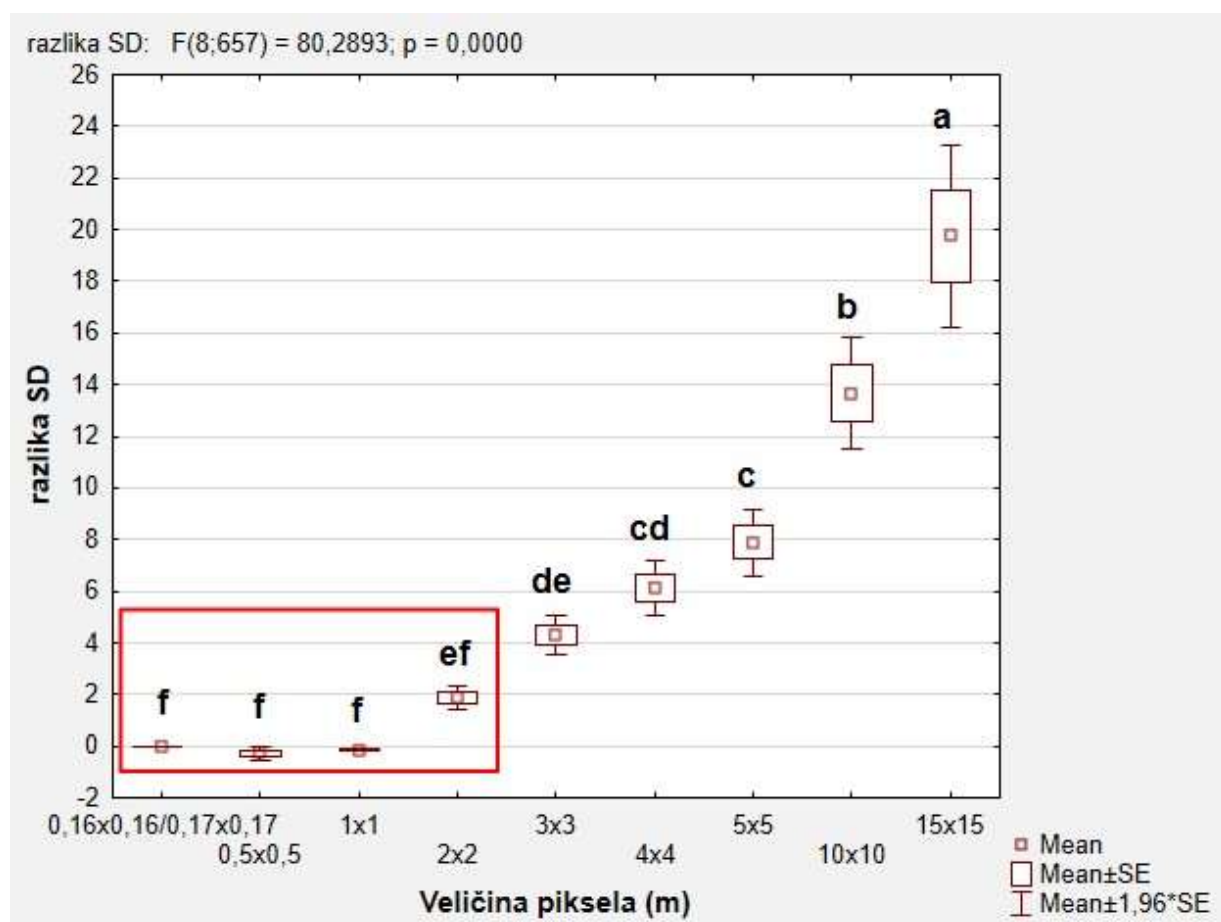
Varijabela	Deskriptivna statistika				
	Veličina uzorka N	Aritmetička sredina M	Minimalna vrijednost m	Maksimalna vrijednost m	Standardna devijacija m
Prosječna vrijednosti razlika u stvarnim udaljenostima privlačenja drva	666	5,91	-9,92	64,84	9,31

Naposljetku, provedena je analiza varijance (ANOVA) na temelju razlike u stvarnim udaljenosti privlačenja drva za digitalne modele terena različitih veličina piksela (0,5 x 0,5 m, 1 x 1 m, 2 x 2 m, 3 x 3 m, 4 x 4 m, 5 x 5 m, 10 x 10 m, 15 x 15 m) deriviranih iz izvorno dobivenih digitalnih modela terena veličine 0,16 x 0,16 m do 0,17 x 0,17 m te za digitalni model terena veličine piksela 15 x 15 m koji je trenutno dostupan za cijelo područje Republike Hrvatske. Izračunate su komponente varijance i statistička značajnost izvora varijabilnosti.

Za utvrđivanje statistički značajnih razlika parametara koristio se *post hoc* Tukey Honest Significant Difference test (HSD). Tukey-ev test uspoređuje istovremeno skup svih srednjih vrijednosti određenih parametara po parovima, te identificira svaku razliku između dvije srednje vrijednosti koja je veća od očekivane standardne pogreške tablica 25 i slika 37. Statistička značajnost određuje se za  $p < 0,05$ .

**Tablica 25.** Statistički značajne razlike u srednjim stvarnim udaljenosti privlačenja drva izvoznih pravaca istraživanoga područja za digitalne modele terena različitih veličina piksela

Cell No.	Tukey HSD test; variable razlika SD (Sheet1 in Razlika stvarne udaljenosti privlačenja - STATISTICA) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 44,329, df = 657,00										
	Veličina piksela, m		0,5 x 0,5 m	1 x 1 m	0,16 x 0,16 0,17 x 0,17 m	2 x 2 m	3 x 3 m	4 x 4 m	5 x 5 m	10 x 10 m	15 x 15 m
			-0,2735	-0,1542	0	1,8434	4,3115	6,141	7,8959	13,656	19,757
2	0,5 x 0,5 m	-0,2735	f	1	1	0,58987	0,000955	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
3	1 x 1 m	-0,1542	1	F	1	0,665495	0,001502	0,000011	0,00001	0,00001	0,00001
1	0,16x0,16 0,17x 0,17 m	0	1	1	f	0,756518	0,002658	0,000011	0,00001	0,00001	0,00001
4	2 x 2 m	1,8434	0,58987	0,665495	0,756518	f	0,370019	0,002797	0,000011	0,00001	0,00001
5	3 x 3 m	4,3115	0,000955	0,001502	0,002658	0,370019	e	0,764219	0,029297	0,00001	0,00001
6	4 x 4 m	6,141	0,00001	0,000011	0,000011	0,002797	0,764219	d	0,80339	0,00001	0,00001
7	5 x 5 m	7,8959	0,00001	0,00001	0,00001	0,000011	0,029297	0,80339	c	0,000015	0,00001
8	10 x 10 m	13,656	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,000015	b	0,000011
9	15 x 15 m	19,757	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001	0,000011	a



**Slika 37.** Grafički prikaz razlike u srednjim stvarnim udaljenosti privlačenja drva izvoznih pravaca istraživanoga područja za digitalne modele terena različitih veličina piksela (box plot)

Podaci su prikazani kao kutijasti dijagram (box plot) (Slika 39). Kvadratić prikazuje aritmetičku sredinu, pravokutnik ar.sredina  $\pm$  std. pogreška (mean $\pm$ SE), vertikalne linije (wiskers) ar. sredinu  $\pm$  1,96 standardne pogreške sredine (mean $\pm$ 1,96SE). Slova označavaju statističku razliku između veličina piksela digitalnih modela terena za razlike u stvarnim udaljenosti privlačenja izvoznih pravaca (Tukey HSD), pri  $p < 0,05$ .

Temeljem prikazanog uočeno je da do statistički značajne razlike dolazi u stvarnim udaljenosti privlačenja izvoznih pravaca istraživanoga područja pri digitalnim modelima terena veličina piksela 3 x 3 m pa su daljnje analize uključivale izradu novih digitalnih modela terena veličine piksela 2,25 x 2,25 m; 2,50 x 2,50 m i 2,75 x 2,75 m kako bi ustanovili točniju veličinu piksela kod koje dolazi do statistički značajne razlike u stvarnim udaljenosti privlačenja izvoznih pravaca. Metodologija izrade novih digitalnih modela terena (2,25 x 2,25, m; 2,50 x 2,50, m i 2,75 x 2,75 m) bila je identična je izradi digitalnih modela terena (0,5 x 0,5 m, 1 x 1 m, 2 x 2 m, 3 x 3 m, 4 x 4 m, 5 x 5 m, 10 x 10 m) opisana u poglavlju metoda istraživanja.

**Tablica 26.** Razlika u srednjim stvarnim udaljenostima privlačenja drva za izvozne pravce odsjeka 11a, gospodarske jedinice Cetin, šumarije Vrbovsko izračunate na temelju novo deriviranih DMT-ova u odnosu na izvorni

Izvozni pravci	Veličina DMT, m		
	2,25x2,25	2,50x2,50	2,75x2,75
	Razlika u stvarnim udaljenostima privlačenja novo deriviranih DMT-ova u odnosu na izvorni, m		
1.	3,44	3,81	4,89
2.	4,93	7,32	7,61
3.	3,66	5,56	7,59
4.	0,49	0,64	1,04
5.	2,17	2,59	3,33
6.	0,22	0,21	0,15
7.	1,31	1,16	1,52
8.	0,71	0,92	1,20
9.	2,51	3,28	3,85
10.	1,33	1,52	2,19
11.	1,04	1,17	1,28
12.	1,87	2,17	2,47
13.	1,98	2,32	3,13
14.	2,09	2,42	3,58
15.	1,93	3,01	3,85
16.	0,49	0,32	0,53
17.	2,57	2,28	3,16
18.	2,70	3,16	3,38
19.	4,43	5,33	5,92

**Tablica 27.** Razlika u srednjim stvarnim udaljenostima privlačenja drva za izvozne pravce odsjeka 19b, gospodarske jedinice Gložac, šumarije Vrbovsko izračunate na temelju novo deriviranih DMT-ova u odnosu na izvorni

Izvozni pravci	Veličina DMT, m		
	2,25x2,25	2,50x2,50	2,75x2,75
	Razlika u stvarnim udaljenostima privlačenja novo deriviranih DMT-ova u odnosu na izvorni, m		
1.	0,61	0,85	0,95
2.	0,89	1,32	1,53
3.	0,68	0,98	1,16
4.	0,87	0,74	1,85

Izvozni pravci	Veličina DMT, m		
	2,25x2,25	2,50x2,50	2,75x2,75
	Razlika u stvarnim udaljenostima privlačenja novo deriviranih DMT-ova u odnosu na izvorni, m		
5.	-1,23	-0,90	-0,37
6.	1,31	1,67	1,96
7.	1,91	2,20	2,62

**Tablica 28.** Razlika u srednjim stvarnim udaljenostima privlačenja drva za izvozne pravce odsjeka 20b, gospodarske jedinice Gložac, šumarije Vrbovsko izračunate na temelju novo deriviranih DMT-ova u odnosu na izvorni

Izvozni pravci	Veličina DMT, m		
	2,25x2,25	2,50x2,50	2,75x2,75
	Razlika u stvarnim udaljenostima privlačenja novo deriviranih DMT-ova u odnosu na izvorni, m		
1.	3,32	3,68	5,32
2.	9,78	10,41	11,48
3.	4,72	5,34	5,96
4.	1,75	2,17	2,26
5.	2,63	3,51	3,90
6.	2,13	2,44	3,03

**Tablica 29.** Razlika u srednjim stvarnim udaljenostima privlačenja drva za izvozne pravce odsjeka 33a, gospodarske jedinice Jasle, šumarije Skrad izračunate na temelju novo deriviranih DMT-ova u odnosu na izvorni

Izvozni pravci	Veličina DMT, m		
	2,25x2,25	2,50x2,50	2,75x2,75
	Razlika u stvarnim udaljenostima privlačenja novo deriviranih DMT-ova u odnosu na izvorni, m		
1.	6,11	6,64	11,05
2.	3,11	3,98	4,04
3.	2,65	3,50	4,08
4.	0,91	1,55	1,88
5.	0,66	1,46	2,40
6.	4,13	5,49	6,25
7.	4,33	5,73	6,84
8.	0,93	1,20	1,39
9.	0,78	0,92	1,48
10.	7,87	12,72	12,47
11.	5,69	7,84	9,37
12.	4,88	5,63	6,69

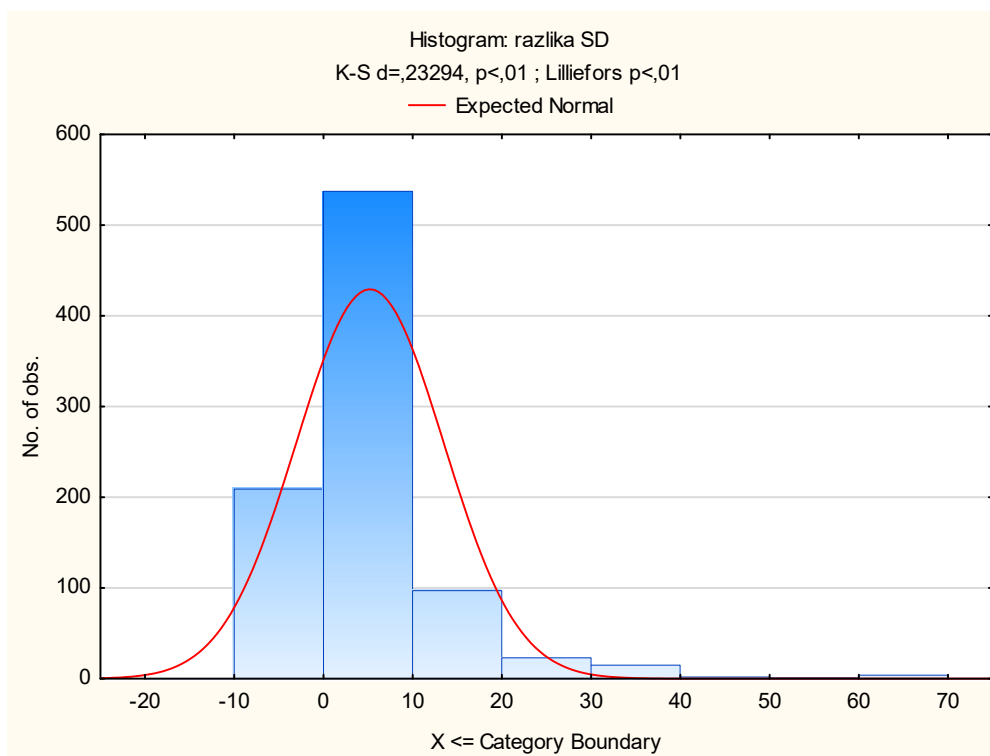
**Tablica 30.** Razlika u srednjim stvarnim udaljenostima privlačenja drva za izvozne pravce odsjeka 58a, gospodarske jedinice Jasle, šumarije Skrad izračunate na temelju novo deriviranih DMT-ova u odnosu na izvorni

Izvozni pravci	Veličina DMT, m		
	2,25x2,25	2,50x2,50	2,75x2,75
	Razlika u stvarnim udaljenostima privlačenja novo deriviranih DMT-ova u odnosu na izvorni, m		
1.	2,39	3,92	2,98
2.	0,78	0,99	1,10
3.	1,33	1,67	1,96
4.	0,79	0,72	0,77
5.	0,74	0,33	0,48

Izvozni pravci	Veličina DMT, m		
	2,25x2,25	2,50x2,50	2,75x2,75
	Razlika u stvarnim udaljenostima privlačenja novo deriviranih DMT-ova u odnosu na izvorni, m		
6.	1,54	1,70	1,99
7.	2,19	3,00	4,18
8.	0,23	0,14	0,25
9.	2,43	3,87	4,87
10.	3,16	3,41	3,90
11.	3,58	4,71	5,63
12.	1,81	3,05	3,12
13.	0,79	1,02	1,05
14.	2,27	4,94	4,21
15.	2,64	3,36	4,31
16.	2,07	3,03	3,16
17.	0,76	1,21	0,77
18.	5,32	7,26	6,66
19.	2,29	2,08	3,24
20.	1,38	1,69	2,06
21.	6,00	7,74	8,85
22.	3,89	5,88	7,01
23.	2,54	3,07	3,09
24.	2,22	2,58	3,87
25.	4,33	5,31	7,10
26.	8,49	11,33	12,31
27.	0,72	0,92	1,37
28.	-1,68	-1,69	2,41
29.	2,26	3,08	3,79
30.	2,95	3,69	4,41

Temeljem izračunatih razlika u stvarnim udaljenosti privlačenja drva za sve izvozne pravce istraživanog područja koja je uključivala i stvarne srednje udaljenosti privlačenja drva izračunate na temelju novo deriviranih DMT-ova (2,25 x 2,25, m; 2,50 x 2,50, m i 2,75 x 2,75, m) izrađena je provjera normalnosti podataka koja je provedena je Kolmogorov-Smirnov i Lilliefors-ovim testom normalnosti (slika 38) kojim je dokazana normalnost distribucije analiziranih podataka.





**Slika 38.** Kolmogorov-Smirnov i Lilliefors-ovim test normalnosti razlika u srednjim stvarnim udaljenosti privlačenja drva za sve izvozne pravce i sve izrađene digitalne modele terena istraživanog područja

Deskriptivna statistička analiza, odnosno utvrđivanje prosječnih vrijednosti razlika u stvarnim udaljenostima privlačenja drva za sve izvozne pravce i sve izrađene digitalne modele terena istraživanog područja i njihovi pripadajućih standardnih devijacija provedena je u sklopu „Descriptive Statistics“ u korištenom programu Statistica.

**Tablica 31.** Prosječnih vrijednosti razlika u srednjim stvarnim udaljenostima privlačenja drva istraživanog područja

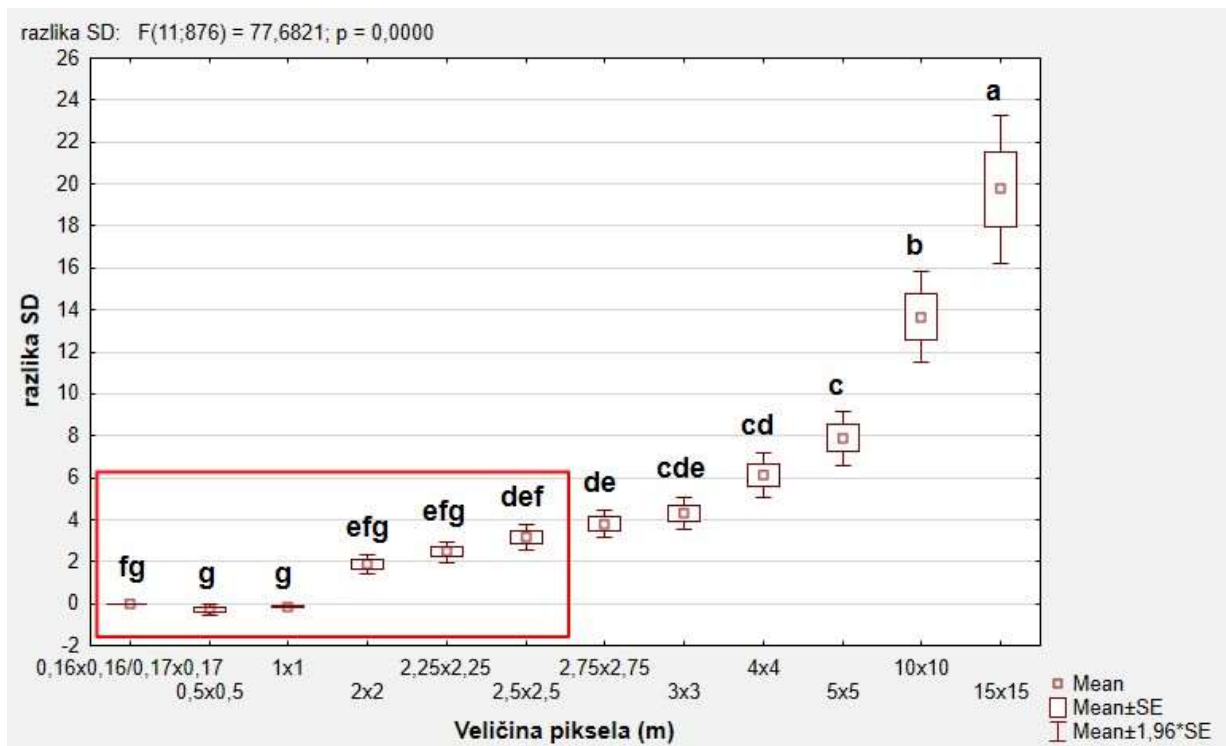
Varijabla	Deskriptivna statistika				
	Veličina uzorka N	Aritmetička sredina m	Minimalna vrijednost m	Maksimalna vrijednost m	Standardna devijacija m
Prosječna vrijednosti razlika u stvarnim udaljenostima privlačenja drva	888	5,22	-9,92	64,84	8,25

Naposljetku, provedena je nova analiza varijance (ANOVA) na temelju razlike u stvarnim udaljenosti privlačenja drva za sve digitalne modele terena različitih veličina piksela (0,5 x 0,5 m, 1 x 1 m, 2 x 2 m, 2,25 x 2,25, m; 2,50 x 2,50, m; 2,75 x 2,75, m 3 x 3 m, 4 x 4 m, 5 x 5 m, 10 x 10 m) deriviranih iz izvorno dobivenih digitalnih modela terena veličine 0,16 x 0,16 m do 0,17 x 0,17 m te za digitalni model terena veličine piksela 15 x 15 m koji je trenutno dostupan za cijelo područje Republike Hrvatske. Izračunate su komponente varijance i statistička značajnost izvora varijabilnosti.

Za utvrđivanje statistički značajnih razlika parametara koristio se post hoc Tukey Honest Significant Difference test (HSD). Tukey-ev test uspoređuje istovremeno skup svih srednjih vrijednosti određenih parametara po parovima, te identificira svaku razliku između dvije srednje vrijednosti koja je veća od očekivane standardne pogreške tablica 32 i slika 39. Statistička značajnost određuje se za  $p < 0,05$ .

**Tablica 32.** Statistički značajne razlike u srednjim stvarnim udaljenosti privlačenja izvoznih pravaca istraživanoga područja za sve izrađene digitalne modele terena različitih veličina piksela

Cell No.		Tukey HSD test; variable razlika SD (Sheet1 in Razlika stvarne udaljenosti privlačenja ALL - STATISTICA) Approximate Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 34,894, df = 876,00													
		Veličina piksela (m)	0,5 x 0,5 m	1 x 1 m	0,16 x 1,6 0,17 x 0,17 m	2 x 2 m	2,25 x 2,25 m	2,5 x 2,5 m	2,75 x 2,75 m	3 x 3 m	4 x 4 m	5 x 5 m	10 x 10 m	15 x 15 m	
			-0,2735	-0,1542	0	1,8434	2,4526	3,1656	3,7992	4,3115	6,141	7,8959	13,656	19,757	
2	0,5 x 0,5 m	-0,2735	g	1	1	0,564385	0,176725	0,020451	0,001661	0,00016	0,000018	0,000018	0,000018	0,000018	
3	1 x 1 m	-0,1542	1	G	1	0,653752	0,233936	0,030954	0,002758	0,000276	0,000018	0,000018	0,000018	0,000018	
1	0,16 x 0,16 0,17 x 0,17 m	0	1	1	fg	0,760695	0,323719	0,051287	0,005202	0,000563	0,000018	0,000018	0,000018	0,000018	
4	2 x 2 m	1,8434	0,564385	0,653752	0,760695	g	0,999975	0,970583	0,684033	0,313906	0,0006	0,000018	0,000018	0,000018	
5	2,25 x 2,25 m	2,4526	0,176725	0,233936	0,323719	0,999975	g	0,999879	0,9663	0,750599	0,00807	0,000019	0,000018	0,000018	
6	2,5 x 2,5 m	3,1656	0,020451	0,030954	0,051287	0,970583	0,999879	f	0,999963	0,990505	0,09103	0,000084	0,000018	0,000018	
7	2,75 x 2,75 m	3,7992	0,001661	0,002758	0,005202	0,684033	0,9663	0,999963	e	0,999996	0,39805	0,001498	0,000018	0,000018	
8	3 x 3 m	4,3115	0,00016	0,000276	0,000563	0,313906	0,750599	0,990505	0,999996	e	0,769624	0,012014	0,000018	0,000018	
9	4 x 4 m	6,141	0,000018	0,000018	0,000018	0,0006	0,00807	0,09103	0,39805	0,769624	d	0,814537	0,000018	0,000018	
10	5 x 5 m	7,8959	0,000018	0,000018	0,000018	0,000018	0,000019	0,000084	0,001498	0,012014	0,814537	c	0,000018	0,000018	
11	10 x 10 m	13,656	0,000018	0,000018	0,000018	0,000018	0,000018	0,000018	0,000018	0,000018	0,000018	0,000018	b	0,000018	
12	15 x 15 m	19,757	0,000018	0,000018	0,000018	0,000018	0,000018	0,000018	0,000018	0,000018	0,000018	0,000018	0,000018	a	



**Slika 39.** Grafički prikaz razlike u srednjim stvarnim udaljenosti privlačenja izvoznih pravaca istraživanoga područja za sve izrađene digitalne modele terena različitih veličina piksela (box plot)

Podaci su prikazani kao kutijasti dijagram (box plot) (Slika 41). Kvadratić prikazuje aritmetičku sredinu, pravokutnik ar.sredina ± std. pogreška (mean±SE), vertikalne linije (wiskers) ar. sredinu ± 1,96 standardne pogreške sredine (mean±1,96SE). Slova označavaju statističku razliku između veličina piksela digitalnih modela terena za razlike u stvarnim udaljenosti privlačenja izvoznih pravaca (Tukey HSD), pri  $p < 0,05$ .

## 6. ZAKLJUČCI

Na temelju postavljenih ciljeva diplomskog rada, može se doći do nekoliko zaključaka:

Korištena oprema bespilotnih letjelica u svrhu prikupljanja aerofotografija s ciljem izrade digitalnog modela terena istraživanih područja pokazala se pouzdanom metodom a dobiveni su podaci visoke točnosti sa veličinama piksela izvornih digitalnih modela terena koji su iznosili od 0,16 x 0,16 m do 0,17 x 0,17 m. Valja naglasiti kao je navedena oprema korištena tijekom mirovanja vegetacije (kraj ožujka, početak travnja). Navedena oprema ukoliko bi se prikupljanje podataka izvodilo tijekom vegetacijskog perioda zbog zastrtog sklopa krošnja ne bi dala zadovoljavajuće rezultate.

Temeljem izvornih digitalnih modela terena visoke točnosti moguće je izračunati srednje stvarne udaljenosti privlačenja drva svakog izvoznog pravca u istraživanom području dok je kao glavni nedostatak navedene visoke točnosti dobivenih digitalnih modela terena zamijećena potreba za velikom količinom mjesta za pohranu podataka, u prosjeku 143,18 MB za svaki DMT. Kako se sa gledišta šumarstva, radi o relativno maloj površini istraživanih područja koja je u prosjeku iznosila 74,98 ha vidljivo je kao je, za ovakvu vrstu analiza ukoliko se radi o većoj šumskoj površini, primjerice o površini gospodarske jedinice koja u gospodarenju šumama u RH predstavlja zaokruženu gospodarsku cjelinu za koju se posebno izrađuje šumskogospodarski plan, potrebno izraditi optimizaciju u vidu smanjivanja prostorne rezolucije piksela do granice koja neće utjecati na točnost određivanja stvarne udaljenosti privlačenja istraživanih izvoznih pravaca. Isto je tako potrebno istaknuti kako prosječna veličina gospodarske jedinice na području državnih šuma kojima gospodari tvrtka Hrvatske šume d.o.o. iznosi oko 3000 ha.

Upravo zbog navedenih razloga daljnja analiza uključivala je povećanje veličine piksela sa izvornih 0,16 x 0,16 m odnosno 0,17 x 0,17 m na unaprijed određene vrijednosti piksela (0,5 x 0,5 m, 1 x 1 m, 2 x 2 m, 3 x 3 m, 4 x 4 m, 5 x 5 m, 10 x 10 m) čime je dokazano da do statistički značajne razlike pri izračunu srednje stvarne udaljenosti privlačenja drva analiziranih izvoznih pravaca dolazi kod prostorne veličine piksela od 3 x 3 m. Kasnije, izrađenom sitnijom podjelom veličina piksela između 2 x 2 m i 3 x 3 m (2,25 x 2,25 m, 2,5 x 2,5 m i 2,75 x 2,75 m) ustanovljeno je da veličina prostornog podatka do veličine piksela 2,5 x 2,5 m statistički značajno ne utječe na točnost određivanja srednje stvarne udaljenosti privlačenja drva izvoznim pravcima istraživanih područja čime zaključujemo kako je upravo veličina piksela 2,5 x 2,5 m optimalna za izradu ovakvih analiza jer s jedne strane statistički značajno ne utječe na točnost dok s druge strane drastično utječe na smanjenje količine podataka potrebnih za analizu u pohranu. Navedeno znači da je za sve odabrane odsjeke pri veličini piksela 2,5 x 2,5 m prosječna količina podataka za pohranu iznosila 0,688 MB što je predstavljalo 99,52 % manju količinu podataka za pohranu u odnosu na izvorni DMT. Ovakva vrste optimizacije uz minimalne zahtjeve za pohranom podataka ne utječe na točnost izračuna srednje stvarne udaljenosti privlačenja drva izvoznih pravaca istraživanih područja.

Usporedbom izvorno deriviranih DMT-a temeljem snimljenih aerofotografija istraživanih područja sa DMT-om veličine piksela 15 x 15 m koji je trenutno dostupan za cijelo područje Republike Hrvatske utvrđeno je kao DMT prostorne rezolucije 15 x 15 m statistički značajno utječe na točnost određivanja srednje stvarne udaljenosti privlačenja drva izvoznih pravaca istraživanih područja temeljem čega zaključujemo kao se navedeni DMT veličine piksela 15 x 15 m zbog veće varijabilnosti podataka ne bi trebao koristiti kod izrade ovakvih vrsta analiza.

Naposljetku, rezultati istraživanja ukazuju na značajnu prednost korištenja DMT-a dobivenih temeljem aerofotografija prikupljenih pomoću bespilotnih letjelica za istraživanje i planiranje radova u

šumarstvu. Upravo nam korištenjem DMT-a optimalne veličine piksela omogućava značajno smanjenje podataka potrebnih za pohranu te unaprijeđene učinkovitosti planiranja i izrade ovakvih vrsta analiza.

Slijedom navedenoga zaključujem kako su svi definirani ciljevi diplomskoga rada dostignuti, a postavljene hipoteze su potvrđene.

## 7. LITERATURA

1. Ahlvin, R.B., Haley, P.W., 1992: Nato Reference Mobility Model: Edition II. NRMM User's Guide; US Army Engineer Waterways Experiment Station: Vicksburg, MS, USA.
2. Anderson, A.E., Nelson, J., 2004: Projecting vector-based road networks with a shortest path algorithm. *Can. J. For. Res.* 34: 1444–1457.
3. Anon., 2011: "Clickable" Lectures, Readings, & Web Resources, Winter 2011, On-Campus. GEO 465/565 Geographic Information Systems and Science.
4. Anon., 2017: Šumskogospodarska osnova područja Republike Hrvatske 2016. - 2025., 2016, Hrvatske šume d.o.o., 927 str.
5. Backmund, F., 1966: Kennzahlen für den Grad der Erschließung von Forstbetrieben durchautofahrbare Wege. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 85(11), 342-354.
6. Berg, S., 1992: Terrain Classification System for Forestry Work. *Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Kolding Lyntryk, Denmark*, 1–28.
7. Bojanin, S., 1980: Problemi klasifikacije šumskih terena. *Mehanizacija šumarstva* 5(5 6):179–187.
8. Boyland, M. (2003). Hierarchical planning in forestry. Vancouver, BC, University of British Columbia, Canada, 7, 1-7.
9. Bumber, Z., 2011: Primjena GIS-a pri analizi otvorenosti GJ Šiljakovačka dubrava II kroz strukturu prihoda drva u prostoru i vremenu. Magistarski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–139.
10. Chung, W., Sessions, J., Heinemann, H.R., 2004: An application of a heuristic network algorithm to cable logging layout design. *Int. J. For. Eng.* 15: 11–24.
11. Contreras, M., Chung, W., 2007: Computer approach to finding an optimal log landing location and analyzing influencing factors for ground-based timber harvesting. *Canadian Journal of Forest Research*, 37(2): 276–292.
12. Conway, S., 1976: Logging practices. *Principles of timber harvesting systems*. Miller Freeman Publications, 1–432.
13. Čavlović, J., 2013: Osnove uređivanja šuma. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
14. Čekolj, T., 1999: Obrada katastarskih planova ARC/INFO-m. Diplomski rad, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
15. Davis, C. J., Reisinger, T. W., 1990: Evaluating Terrain for Harvesting Equipment Selection. *Journal of Forest Engineering*, 2(1), 9–16.
16. Dietz, P., Knigge, W., Löffler, Walderschließung, H., 1984: Ein Lehrbuch für Studium und Praxis unter Besonderer Berücksichtigung des Waldwegebaus; Parey: Hamburg/Berlin, Germany, p. 426.
17. Dinko Vusić 2022: Predavanje iz kolegija Sustavi pridobivanja drva Sveučilište u Zagrebu, fakultet šumarstva i drvna tehnologije
18. Dowd, A., 2014: "Drone wars: risks and warnings". Retrieved 4
19. Đuka A., 2014: Razvoj modela prometnosti terena za planiranje privlačenja drva skiderom. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–303.
20. Đuka, A., Bumber, Z., Poršinsky, T., Papa, I., Pentek, T., 2021: The Influence of Increased Salvage Felling on Forwarding Distance and the Removal—A Case Study from Croatia. *Forests*, 12(1), 7.
21. Enache, A., 2013: Decision support system for locating forest roads in Romanian mountain forests. PhD Thesis, Transilvania University of Braşov, Romania, 1-230.

22. Esri (2024.): Službena stranica tvrtke Esri. <https://www.esri.com/>.
23. Forsberg, M., Frisk, M., Rönnqvist, M., 2005: FlowOpt—a decision support tool for strategic and tactical transportation planning in forestry. *International Journal of Forest Engineering*, 16(2), 101-114.
24. Frančula N., 2004.: Digitalna kartografija, 3 izdanje, 209 str
25. Horvat, D., T. Poršinsky, A. Krpan, T. Pentek, M. Šušnjar, 2004: Ocjena pogodnosti forvardera morfološkom raščlambom. *Strojarstvo*, 46(4–6), 149–160.
26. <https://enterprise.dji.com/mavic-3-enterprise>
27. <https://www.dji.com/hr/mavic-3-classic>
28. <https://www.esri.com/en-us/what-is-gis/overview>, 2020.
29. ISO 6814:2009 (E): International standard: Machinery for forestry — Mobile and selfpropelled machinery — Terms, definitions and classification.
30. Janeš D., 2021.: Planiranje primarnih šumskih prometnica u gospodarskim šumama na strateškoj i taktičkoj razini, Disertacija, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije, Sveučilišta u Zagrebu
31. Jenness, J., 2004: Calculating Landscape Surface Area from Digital Elevation Models. *Wildlife Society Bulletin (1973-2006)*, 32(3), p. 829-839.
32. Katalog sustava pridobivanja drva, Šumarski fakultet, Zavod za šumarske tehnike i tehnologije (Projekt Optimizacija sustava pridobivanja drva i šumske prometne infrastrukture na strateško-taktičkoj razini planiranja, 2016 – 2018., Dubravko Horvat / Dinko Vusić, naručitelj Ministarstvo poljoprivrede Republike Hrvatske)
33. Kellogg, L., Bettinger, P., Robe, S., Steffert, A., 1992: Mechanized Harvesting: A Compendium of Research. College of Forestry, Oregon State University, 1 – 401.
34. Kluender, R., Weih, R., Corrigan, M., Pickett, J., 2000: The use of a geographic information system in harvest landing location for ground-based skidding operations. *Forest products journal*, 50(3): 87–92.
35. Krpan, A. P. B., Poršinsky. T., 2004: Djelotvornost strojne sječe i izrade u sastojinama tvrdih i mekih listača – 1. Dio: Promišljanje struke o strojnoj sječi i izradbi drva. *Šumarski list*, 128 (5-6): 128-130.
36. Krpan, A. P. B., T. Poršinsky, 2001: Harvester Timberjack 1070 u Hrvatskoj. *Šumarski list* 125(11-12): 619–624.
37. Kulušić B., 1990. Karakteristike šumskih terena kao indikatora izbora tehnologije privlačenja drveta. *Šumarski list*, 11-12: 463- 473.
38. Lahtinen, M., 2017: Ergonomics evaluation of Cut-To-Length forest harvesters. Master's thesis June 2017, Tampere University of Applied Sciences, Management and Economy in the International Forest Sector.
39. Lepoglavec, K., 2014: Optimizacija primarne i sekundarne šumske prometne infrastrukture nagnutih terena. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, s. 1-341.
40. Liu, S., Corcoran, T.J., 1993: Road and landing spacing under the consideration of surface dimension of road and landings. *Journal of Forest Engineering*, 5(1): 49–53.
41. MacDonald, A. J., 1999: Harvesting Systems and Equipment in British Columbia. Forest Engineering Research Institute of Canada. FERIC, Handbook No., HB-12, 1 – 197.
42. Martell, D. L., Gunn, E. A., Weintraub, A., 1998: Forest management challenges for operational researchers. *European journal of operational research*, 104(1), 1-17.

43. Mellgren, P.G., 1980: Terrain Classification for Canadian Forestry. FERIC, 1–13
44. Miller, J., Minear, P., Niessner, A., 2005: Intelligent Unmanned Air Vehicle Flight Systems. The Pennsylvania State University, U.S.A
45. Möller, J., Arlinger, J., Hannrup, B., Larsson, W., Barth, A., 2011: Harvester Data as a Base for Management of Forest Operations and Feedback to Forest Owners. Paper presented at the 4th Forest Engineering Conference 'Innovation in Forest Engineering: Adapting to Structural Change', White River, South Africa.
46. Oberholzer, F., 2010: Harvest Planning. In: South African Ground Based Harvesting Handbook, FESA, 123–135.
47. Olivera, A., Visser, R., 2016: Using the harvester on-board computer capability to move towards precision forestry. NZJ For, 60, 3-7.
48. Owende, P. M. O., J. Lyons, R. Haarlaa, A. Peltola, R. Spinelli, J. Molano, S. M. Ward, 2002: Operations protocol for Eco-efficient Wood Harvesting on Sensitive Sites. Project ECOWOOD, Funded under the EU 5th Framework Project (Quality of Life and Management of Living Resources). Contract No. QLK5-1999-00991 (1999–2002), 1–74.
49. Paneque-Gálvez, J., McCall, M. K., Napoletano, B. M., Wich, S. A., Koh, L. P., 2014: Small Drones for Community-Based Forest Monitoring: An Assessment of Their Feasibility and Potential in Tropical Areas. Forests, 5: 1481-1507.
50. Papa I., Pentek T., 2022: Predavanja iz kolegija Otvaranje šuma Sveučilište u Zagrebu, fakultet šumarstva i drvna tehnologije
51. Pentek, T., 2002: Računalni modeli optimizacije mreže šumskih cesta s obzirom na dominantne utjecajne čimbenike. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–271.
52. Pentek, T., Đuka, A., Papa, I., Damić, D. i Poršinsky, T., 2016: Elaborat učinkovitosti primarne šumske prometne infrastrukture – alternativa studiji primarnog otvaranja šuma ili samo prijelazno rješenje?. Šumarski list, 140 (9-10), 435-452.
53. Pentek, T., Nevečerel, H., Poršinsky, T., Dasović, K., Šušnjar, M., Potočnik, I., 2010: Analiza sekundarne otvorenosti šuma gorskog područja kao podloga za odabir duljine uža vitla. Šumarski list, 134 (5-6), str. 241-248.
54. Pentek, T., Poršinsky, T., Šušnjar, M., Stankić, I., Nevečerel, H., Šporčić, M., 2008: Environmentally sound harvesting technologies in commercial forests in the area of Northern Velebit – functional terrain classification. Periodicum biologorum, 110(2), 127-135.
55. Pentek, T., Nevečerel, H., Ecimović, T., Lepoglavec, K., Papa, I. i Tomašić, Ž. (2014). Strategijsko planiranje šumskih prometnica u Republici Hrvatskoj – raščlamba postojećega stanja kao podloga za buduće aktivnosti. Nova mehanizacija šumarstva, 35 (1), 63-78
56. Perković, D., 2010: Osnove geoinformatike. Kartografija u GIS-u (predavanje). Rudarsko geološko naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1-40.
57. Petković, V., Marčeta, D., Ljubojević, D., Kuburić, J., 2017: Determination of Average Skidding Distance Using GIS. Nova mehanizacija šumarstva: Časopis za teoriju i praksu šumarskoga inženjerstva, 38(1), 33-42.
58. Pičman, D., 2007: Šumske prometnice. Zagreb, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 460 str
59. Poršinsky T., Pentek T., Đuka A., 2014: Opisna i namjenska klasifikacija terena za pridobivanje drva i otvaranje šuma, Studija, Šumarski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 1 – 64



60. Poršinsky, T., 2005: Djelotvornost i ekološka pogodnost forvardera Timberjack 1710B pri izvoženju oblovine iz nizinskih šuma Hrvatske. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–170.
61. Poršinsky, T., Stankić. I., Bosner, A., 2011: Ecoefficient Timber Forwarding Based on Nominal Ground Pressure Analysis. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 32 (1), 345 – 356.
62. Poršinsky, T., Stankić. I., Bosner, A., 2011: Ecoefficient Timber Forwarding Based on Nominal Ground Pressure Analysis. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 32 (1), 345 – 356.
63. Pravilnik o provedbi mjere 4 »Ulaganja u fizičku imovinu«, podmjere 4.3. »Potpora za ulaganja u infrastrukturu vezano uz razvoj, modernizaciju i prilagodbu poljoprivrede i šumarstva«, tipa operacije 4.3.3. »Ulaganje u šumsku infrastrukturu« iz programa ruralnog razvoja Republike Hrvatske za razdoblje 2014. – 2020. (NN 65/2017, NN 84/2018).
64. Rebula, E., 1983: Optimalna gustoća traktorskih vlaka. *Mehanizacija šumarstva*, 8 (3–4): 317-321.
65. Rowan, A. A., 1995: Terrain Classification. British Forestry Commission. Forest Research–Technical Note, 16(95), 1-6.
66. Saarilahti, M., 2002A: Dynamic terrain classification – Modelling of the seasonal variation of the trafficability on forest sites. Soil interaction model. Development of a protocol forecoefficient wood harvesting on sensitive sites (Ecowood), Appendix report no. 1, 1–22.
67. Saarilahti, M., 2002B: Modelling of the wheel and soil. Soil interaction model. Development of a protocol for ecoefficient wood harvesting on sensitive sites (Ecowood), Appendix report no 8, 1–37.
68. Samset, I., 1975: The accessibility of forest terrain and its influence on forestry conditions in Norway. Reports of the Norwegian Forest Research Institute 32.1, 1–92.
69. Segebaden Von G., 1964: Studies of cross-country transport distances and road netextension. *Studia Forestalia Suecica* 18, p. 67.
70. Sessions, J., 2007: Harvesting operations in the tropics. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 1–170.
71. Spinelli, R., Magagnotti, N., Picchi, G., 2011: Annual use, economic life and residual value of cut-to-length harvesting machines. *Journal of Forest Economics*, 17(4), 378-387.
72. Staff, K. A., Wiksten, N. A., 1984: Tree harvesting techniques: Planning of tree harvesting. Kluwer Academic Publisher. MTP Press Limited. 1–371.
73. Sundberg, U., Silversides, C. R., 1988: Operational Efficiency in Forestry – Analysis. Kluwer Academic Publishers – Forest Sciences, Dordrecht/Boston/Lancaster, 1–219.
74. Šikić, D., Babić, B., Topolnik, D., Knežević, I., Božičević, D., Švabe, Ž., Piria, I., Sever, S., 1989: Tehnički uvjeti za gospodarske ceste, Znanstveni savjet za promet Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti, Zagreb, 78 str
75. Šiljeg, A., 2013,: Digitalni model reljefa u analizi geomorfometrijskih parametara – primjer PP Vransko jezero., Doktorski rad., Geografski odsjek Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu
76. Tavankar, F., Nkkooy, M., Venanzi, R., Lo Monaco, A., Picchio, R., 2018: Study of forest road effect on tree community and stand structure in three Italian and 1 Iranian temperateforests. *Croat. J. For. Eng.*, 39, 57–70.
77. Terlesk, C. J., 1983: A proposed terrain classification for harvesting in New Zealand. *N.Z. Journal of forestry*, 43-57.

78. Tucek, J., Pacola, R., 2005: Spatial decision support system for laying out forest roads on the basis of skidding distances modeling. *Nova Mehanizacija Šumarstva*, 26(2): 97–102.
79. Visser, R., Stampfer, K., 2015: Expanding ground-based harvesting onto steep terrain: a review. *Croatian journal of forest engineering*, 36(2):321–31.
80. Weintraub, A., Bare, B. B., 1996: New issues in forest land management from an operations research perspective. *Interfaces*, 26(5), 9-25.