



Sedmo međunarodno savjetovanje
»Šumarsko inženjerstvo jugoistočne Europe – stanje i izazovi«
14. – 16. rujna 2022. godine, Zalesina, Hrvatska
Fakultet šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu
Zavod za šumarske tehnike i tehnologije



Utjecaj poprečnog nagiba terena na volumen zemljanih radova pri izgradnji šumskih cesta na strmim terenima

The impact of transverse cross terrain slope on the volume of earthworks in construction of forest roads on steep terrain

Mihael Lovrinčević, Ivica Papa, Andreja Đuka, David Janeš, Dino Validžić, Tibor Pentek



Sedmo međunarodno savjetovanje
»Šumarsko inženjerstvo jugoistočne Europe – stanje i izazovi«
14. – 16. rujna 2022. godine, Zalesina, Hrvatska
Fakultet šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu
Zavod za šumarske tehnike i tehnologije



Sadržaj

- **Uvod**
- **Materijali i metode istraživanja**
- **Rezultati istraživanja**
- **Zaključak**



Sedmo međunarodno savjetovanje
»Šumarsko inženjerstvo jugoistočne Europe – stanje i izazovi«
14. – 16. rujna 2022. godine, Zalesina, Hrvatska
Fakultet šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu
Zavod za šumarske tehnike i tehnologije



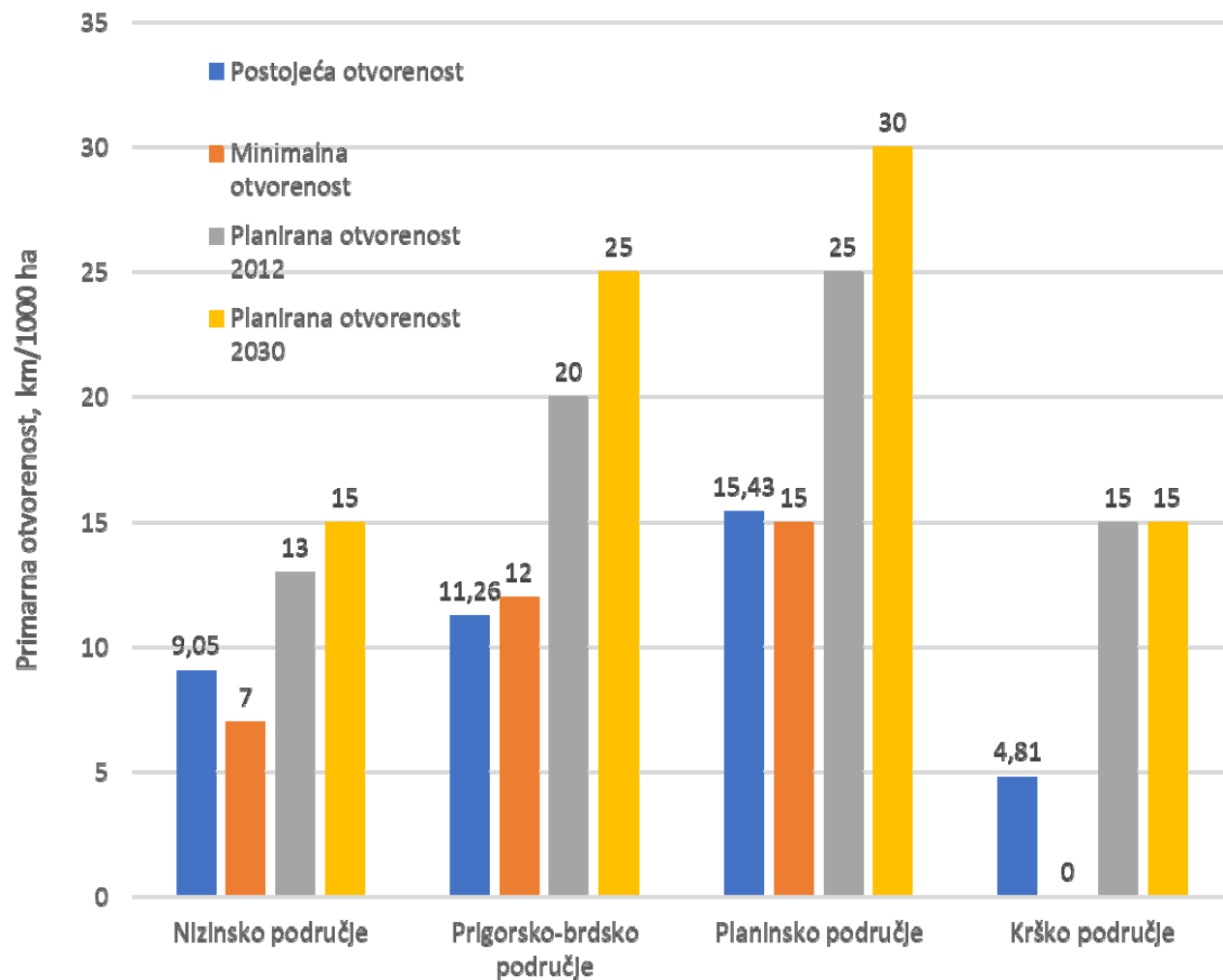
Uvod

- Šikić i dr. (1989) prema vrsti prometa šumsku prometnu infrastrukturu dijeli na
 - Primarne šumske prometnice
 - Sekundarne šumske prometnice

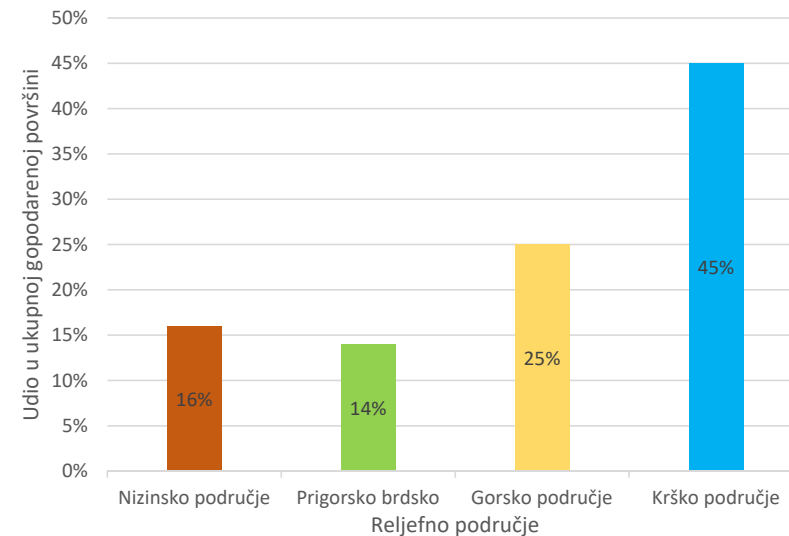
- Parametri procjene kvantitete i kvalitete mreže šumskih prometnica
 - gustoća mreže šumskih prometnica (klasična otvorenost)
 - postotak dostupne površine (relativna otvorenost)
 - srednja udaljenost privlačenja drva
 - međusobni razmak šumskih cesta.

Mjera 4.3.3.

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



Slika 1. Minimalna, planirana i ciljana (konačna) otvorenost različitih šumskih (reljefnih) područja u Republici Hrvatskoj (2012. godina)



Slika 2. Udio pojedinog reljefnog područja u ukupnoj površini kojom gospodare HŠ d.o.o. Zagreb

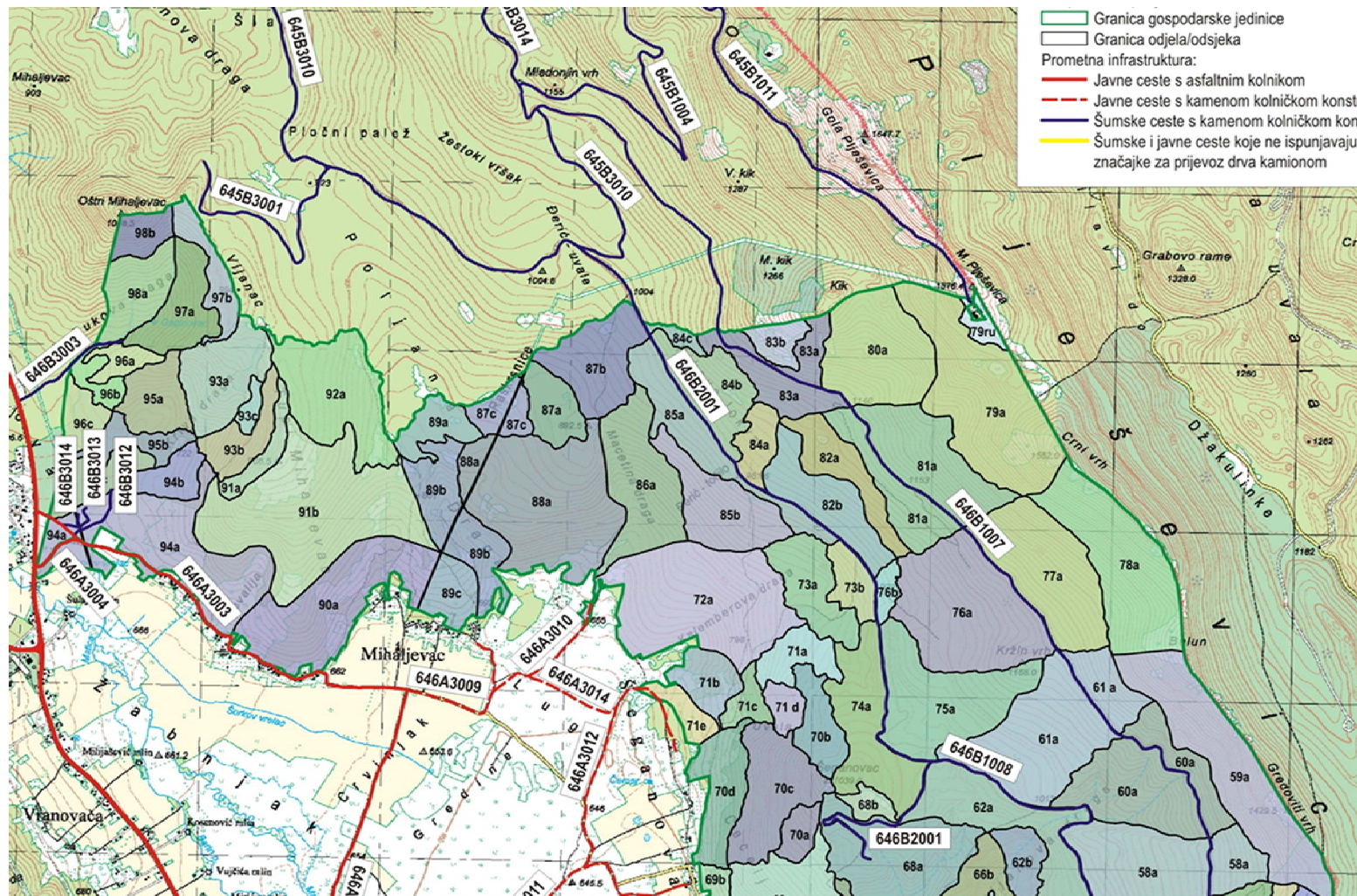


Sedmo međunarodno savjetovanje
»Šumarsko inženjerstvo jugoistočne Europe – stanje i izazovi«
14. – 16. rujna 2022. godine, Zalesina, Hrvatska
Fakultet šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu
Zavod za šumarske tehnike i tehnologije



Materijali i metode istraživanja

- Analizirani dostupni podaci glavnih projekata šumskih cesta izrađenih od strane Fakultet Šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu
- Gospodarska jedinica Trovrh – Kik
- Postojeća primarna otvorenost 10,713 km/1000 ha
- Primarna relativna otvorenost gospodarske jedinice za postojeću primarnu šumsku prometnu infrastrukturu - 37,11 % (nedovoljna)
- Postojeća srednja geometrijska udaljenost privlačenja drva - 346 ± 281 m
- Unaprijeđeno stanje - 12,987 km/1000 ha
- Primarna relativna otvorenost za unaprijeđenu primarnu šumsku prometnu infrastrukturu - 46,54 % (nedovoljna)
- Srednja geometrijska udaljenost privlačenja drva za unaprijeđenu primarnu šumsku prometnu infrastrukturu - 285 ± 252 m



Slika 3. Slojnička karta gospodarske jedinice Trovrh – Kik – 1. dio (postojeće stanje)

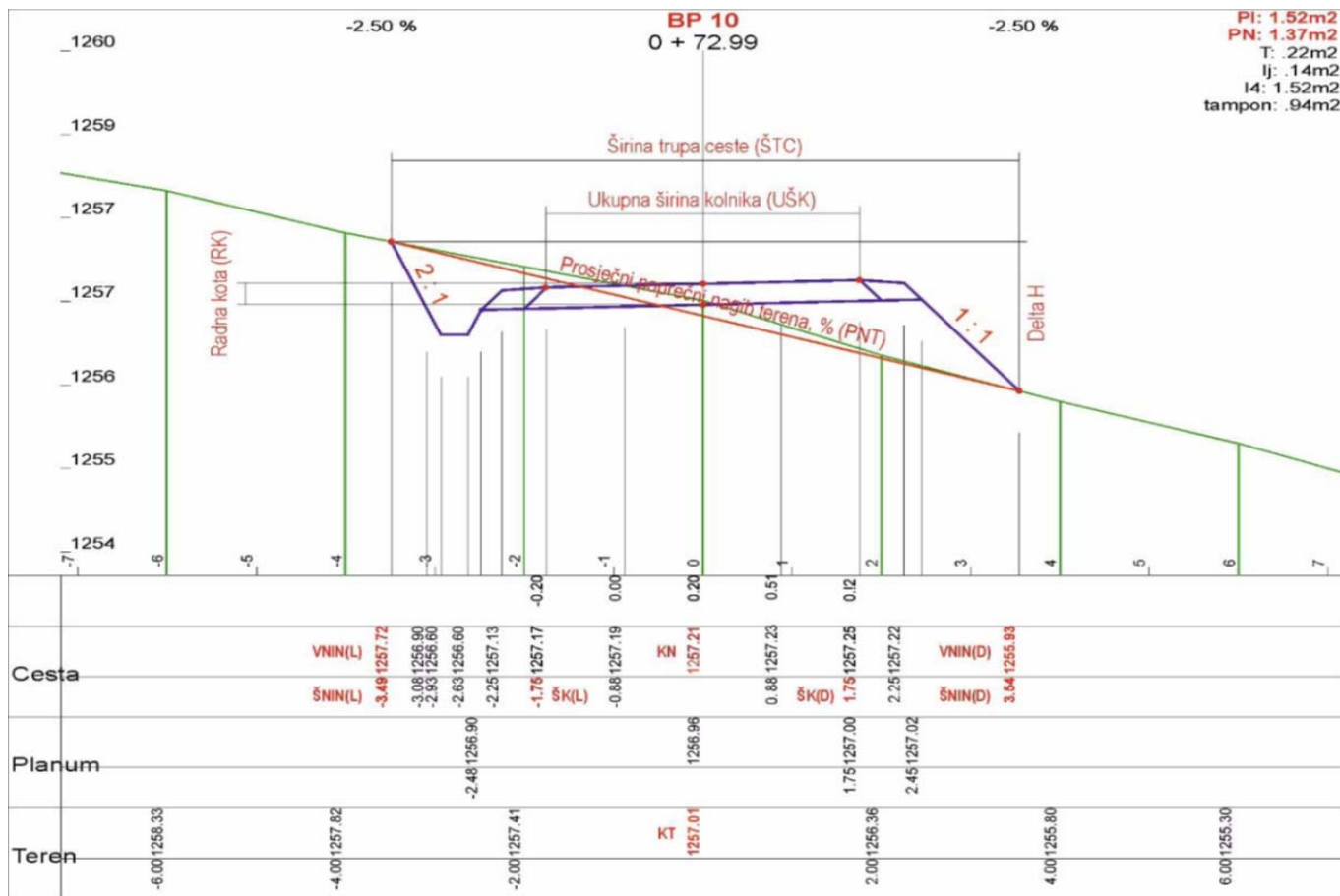


Sedmo međunarodno savjetovanje
»Šumarsko inženjerstvo jugoistočne Europe – stanje i izazovi«
14. – 16. rujna 2022. godine, Zalesina, Hrvatska
Fakultet šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu
Zavod za šumarske tehnike i tehnologije



Materijali i metode istraživanja

- Analizom obuhvaćeno ukupno 1546 normalnih poprečnih profila
- Izuzeti svi profili kod kojih je zamijećena širina kolnika veća od 3,5 m – 1153 profila
- računalni program »Cesta«
- računalni program Microsoft Excel 2016
- računalni program Statistica verzija 14.0.0. 15
- računalni program AutoCAD verzija T.53.0.0
- računalni program ArcMap verzija 10.1.



Tumač kratica:

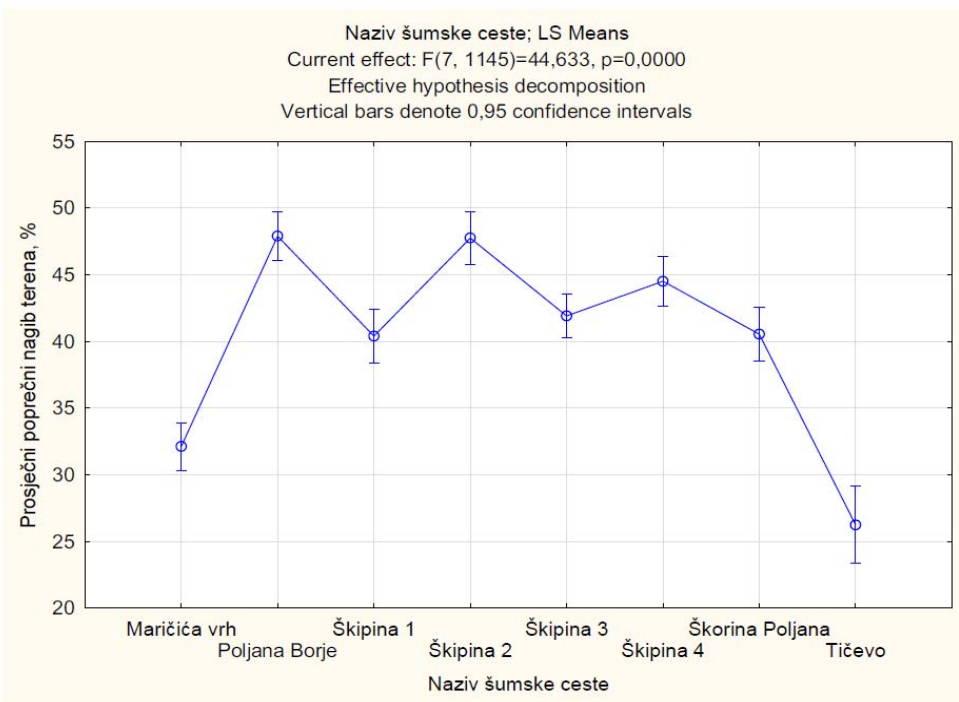
- broj profila (**BP**),
- širina nožice iskopa/nasipa lijevo (**ŠNIN(L)**),
- visina nožice iskopa/nasipa lijevo (**VNIN(L)**),
- širina nožice iskopa/nasipa desno (**ŠNIN(D)**),
- visina nožice iskopa/nasipa desno (**VNIN(D)**),
- širina kolnika lijevo (**ŠK(L)**),
- širina kolnika desno (**ŠK(D)**),
- kota nivelete (**KN**),
- kota terena (**KT**),
- nagib planirane kosine iskopa (**NPKI**),
- nagib planirane kosine nasipa (**NPKN**),
- površina iskopa (**PI**),
- površina nasipa (**PN**),
- širina trupa ceste (**ŠTC**),
- prosječni poprečni nagib terena (**PNT**)
- ukupna širina kolnika (**UŠK**)
- radna kota (**RK**)

Širina trupa ceste (ŠTC) = ŠNIN(L) + ŠNIN(D) = 3,49 m + 3,54 m = 7,03 m
Delta H = VNIN(L) - VNIN(D) = 1257,72 m - 1255,93 m = 1,79 m
PNT = (Delta H/ŠTC) * 100 = (1,79 m / 7,03 m) * 100 = 25,46 %
UŠK = ŠK(L) + ŠK(D) = 1,75 m + 1,75 m = 3,50 m
RK = KN - KT = 1257,21 m - 1257,01 m = 0,20 m

Slika 5. Ulazni / izračunati parametri na primjeru podataka sa crtanog poprečnog profila 10 šumske ceste „Maričića vrh“



Rezultati istraživanja



Tablica 2. Rezultati LSD testa prosječnih poprečnih nagib terena s obzirom na analiziranu šumsku cestu

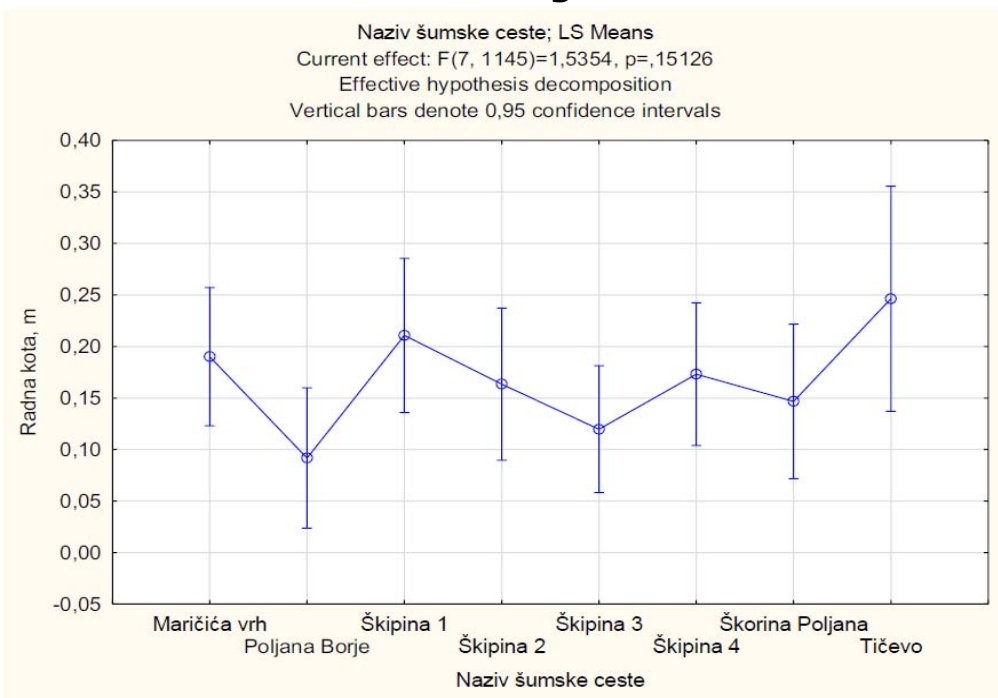
LSD test; variable Prosječni poprečni nagib terena, % (Spreadsheet 1) Probabilities for Post Hoc Tests Error Between MS = 137,77, df = 1145,0									
Cell No.	Naziv šumske ceste	(1) 32,116	(2) 47,897	(3) 40,393	(4) 47,751	(5) 41,908	(6) 44,518	(7) 40,545	(8) 26,238
1	Maričića vrh		0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000731
2	Poljana Borje	0,000000		0,000000	0,914448	0,000002	0,010284	0,000000	0,000000
3	Škipina 1	0,000000	0,000000		0,000000	0,248802	0,002868	0,915973	0,000000
4	Škipina 2	0,000000	0,914448	0,000000		0,000008	0,018427	0,000000	0,000000
5	Škipina 3	0,000000	0,000002	0,248802	0,000008		0,037685	0,299212	0,000000
6	Škipina 4	0,000000	0,010284	0,002868	0,018427	0,037685		0,004071	0,000000
7	Škorina Poljana	0,000000	0,000000	0,915973	0,000000	0,299212	0,004071		0,000000
8	Tičevo	0,000731	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	

- Jaka naboranost terena – velika varijabilnost
- Prosječni poprečni nagib terena 40,17 %
- „Tičevo“ – najveći raspon podataka

Slika 6. Grafički prikaz LSD testa prosječnih poprečnih nagib terena s obzirom na analiziranu šumsku cestu



Rezultati istraživanja



Slika 7. Grafički prikaz razlika u vrijednostima visina radnih kota

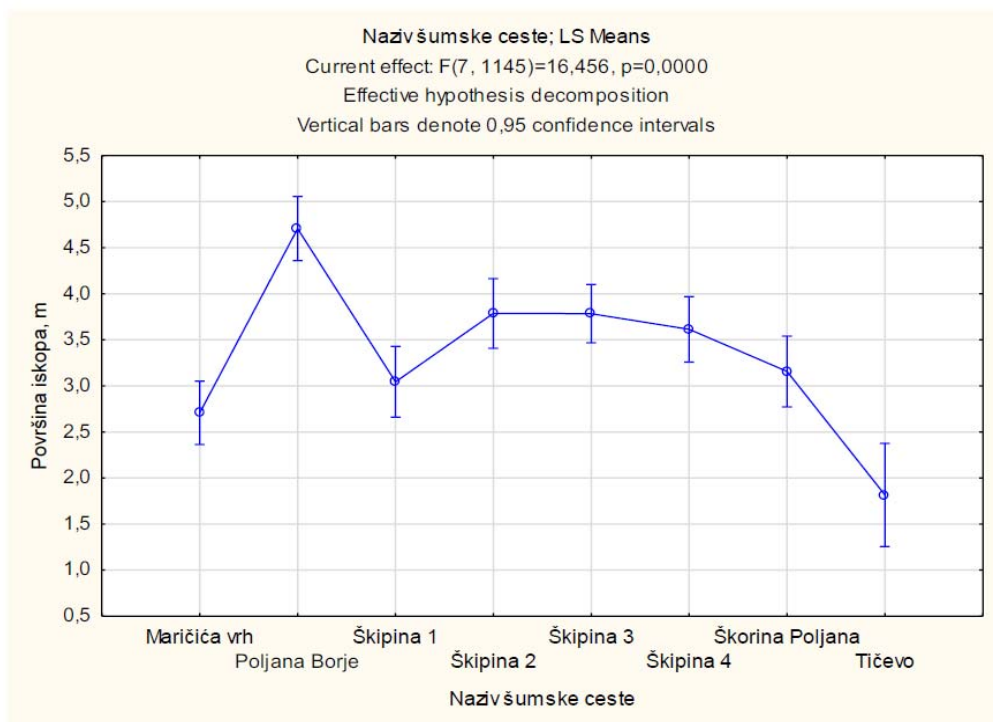
Tablica 3. Rezultati LSD testa visina radne kote s obzirom na analiziranu šumsku cestu

LSD test; variable Radna kota, m (Spreadsheet) Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = ,19501, df = 1145,0									
Cell No.	Naziv šumske ceste	(1) ,19006	(2) ,09167	(3) ,21075	(4) ,16341	(5) ,11965	(6) ,17306	(7) ,14664	(8) ,24635
1	Maričića vrh		0,043564	0,686352	0,599912	0,129374	0,729137	0,396747	0,388802
2	Poljana Borje	0,043564		0,021105	0,161070	0,549904	0,100090	0,286593	0,018484
3	Škipine 1	0,686352	0,021105		0,376921	0,065411	0,468182	0,234987	0,597755
4	Škipine 2	0,599912	0,161070	0,376921		0,371716	0,851454	0,754328	0,216975
5	Škipine 3	0,129374	0,549904	0,065411	0,371716		0,257950	0,584837	0,047543
6	Škipine 4	0,729137	0,100090	0,468182	0,851454	0,257950		0,611118	0,266001
7	Škorina Poljana	0,396747	0,286593	0,234987	0,754328	0,584837	0,611118		0,139665
8	Tičevo	0,388802	0,018484	0,597755	0,216975	0,047543	0,266001	0,139665	

- Isti projektant – manja varijabilnost?
- Prosječna vrijednost radne kote 17 cm
- Na svim analiziranim šumskim cestama ima radna kota ima pozitivan predznak
- maksimalne prosječne vrijednosti (25 cm) - „Tičevo“
- „Poljana - Borje“ minimalna prosječna vrijednost 9 cm.



Rezultati istraživanja



Slika 8. Grafički prikaz LSD testa površina iskopa s obzirom na analiziranu šumsku cestu

Tablica 4. Rezultati LSD tersta površina iskopa s obzirom na analiziranu šumsku cestu

Cell No.	Naziv šumske ceste	LSD test; variable Površina iskopa, m (Spreadsheet1) Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 5,1350, df = 1145,0							
		{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}
1	Maričića vrh		0,000000	0,201554	0,000037	0,000007	0,000334	0,087422	0,007956
2	Poljana Borje	0,000000		0,000000	0,000473	0,000126	0,000018	0,000000	0,000000
3	Škipina 1	0,201554	0,000000		0,006902	0,003550	0,032498	0,681286	0,000411
4	Škipina 2	0,000037	0,000473	0,006902		0,989844	0,512462	0,022051	0,000000
5	Škipina 3	0,000007	0,000126	0,003550	0,989844		0,482681	0,013542	0,000000
6	Škipina 4	0,000334	0,000018	0,032498	0,512462	0,482681		0,086782	0,000000
7	Škorina Poljana	0,087422	0,000000	0,681286	0,022051	0,013542	0,086782		0,000114
8	Tičevo	0,007956	0,000000	0,000411	0,000000	0,000000	0,000000	0,000114	

- Maksimalna vrijednost površine iskopa 17,12 m² zabilježena na šumskoj cesti „Škipina 3“
- „Škipina 2“, „Škipina 3“, „Škipina 4“ – nema statistički značajna razlike površina iskopa – statistički značajna razlika prosječnih poprečnih nagiba ?!

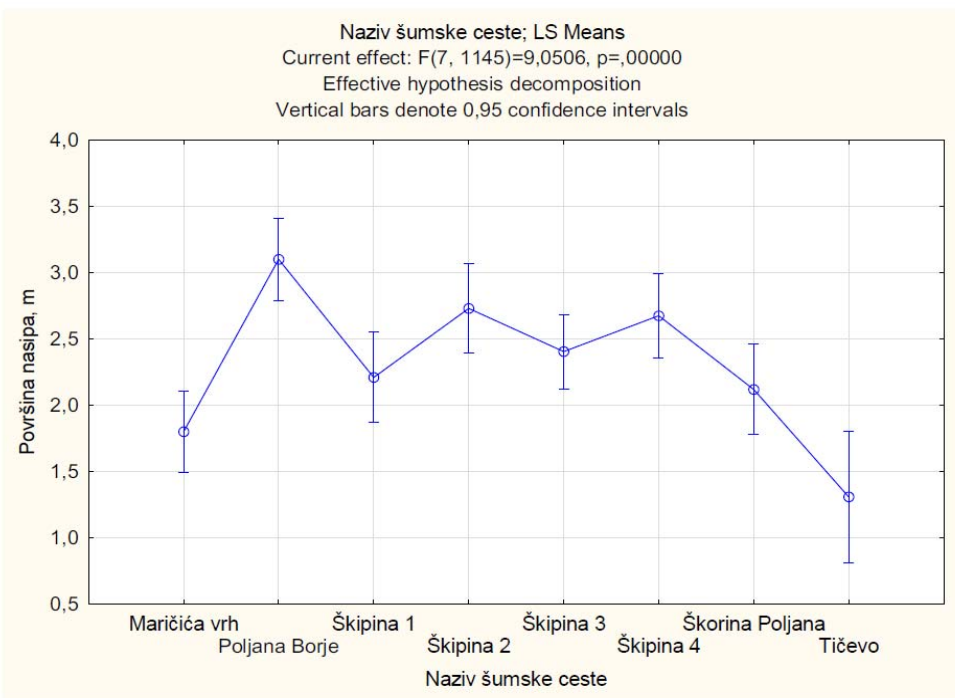


Rezultati istraživanja

Tablica 5. Rezultati LSD testa površina nasipa s obzirom na analiziranu šumsku cestu

Cell No.	Naziv šumske ceste	LSD test, variable Površina nasipa, m (Spreadsheet1) Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 4.0417, df = 1145,0							
		{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}
1	Maričića vrh	1,7988	0,000000	0,080307	0,000063	0,004376	0,000098	0,173801	0,097636
2	Poljana Borje	0,000000		0,000155	0,111979	0,001115	0,059080	0,000031	0,000000
3	Škipina 1	0,080307	0,000155		0,032961	0,386121	0,049169	0,711616	0,003418
4	Škipina 2	0,000063	0,111979	0,032961		0,144403	0,814712	0,012292	0,000004
5	Škipina 3	0,004376	0,001115	0,386121	0,144403		0,208042	0,204039	0,000173
6	Škipina 4	0,000098	0,059080	0,049169	0,814712	0,208042		0,018775	0,000006
7	Škorina Poljana	0,173801	0,000031	0,711616	0,012292	0,204039	0,018775		0,008458
8	Tičevo	0,097636	0,000000	0,003418	0,000004	0,000173	0,000006	0,008458	

- Prosječna vrijednost površine nasipa 2,29 m²
- Minimalna zabilježena vrijednost na 54 promatrana profila bila jednaka 0
- Maksimalna vrijednost površine nasipa 14,15 m² - „Škipina 4



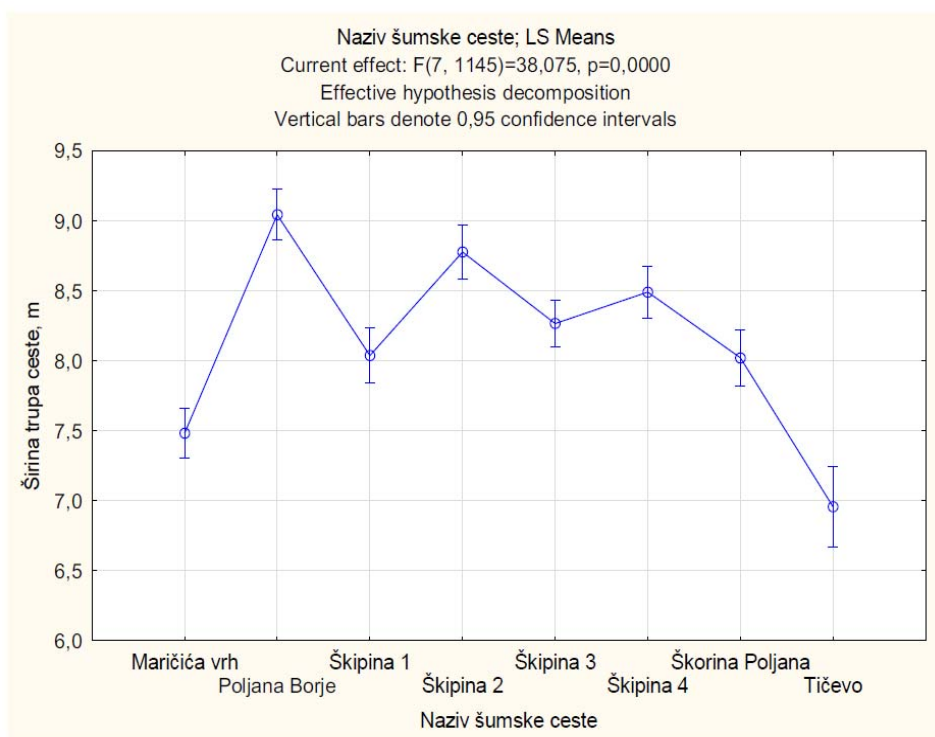
Slika 9. Grafički prikaz LSD testa površina nasipa s obzirom na analiziranu šumsku cestu



Sedmo međunarodno savjetovanje
 »Šumarsko inženjerstvo jugoistočne Europe – stanje i izazovi«
 14. – 16. rujna 2022. godine, Zalesina, Hrvatska
 Fakultet šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu
 Zavod za šumarske tehnike i tehnologije



Rezultati istraživanja



Slika 10. Grafički prikaz LSD testa širine trupa ceste s obzirom na analiziranu šumsku cestu

Tablica 6. Rezultati LSD testa širine trupa ceste s obzirom na analiziranu šumsku cestu

LSD test, variable Širina trupa ceste, m (Spreadsheet1) Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 1,3725, df = 1145,0									
Cell No.	Naziv šumske ceste	{1} 7,4846	{2} 9,0454	{3} 8,0390	{4} 8,7796	{5} 8,2682	{6} 8,4926	{7} 8,0229	{8} 6,9584
1	Maričića vrh		0,000000	0,000048	0,000000	0,000000	0,000000	0,000079	0,002440
2	Poljana Borje	0,000000		0,000000	0,050469	0,000000	0,000027	0,000000	0,000000
3	Škipina 1	0,000048	0,000000		0,000000	0,080539	0,001023	0,910763	0,000000
4	Škipina 2	0,000000	0,050469	0,000000		0,000088	0,035982	0,000000	0,000000
5	Škipina 3	0,000000	0,000000	0,080539	0,000088		0,073299	0,061524	0,000000
6	Škipina 4	0,000000	0,000027	0,001023	0,035982	0,073299		0,000675	0,000000
7	Škorina Poljana	0,000079	0,000000	0,910763	0,000000	0,061524	0,000675		0,000000
8	Tičevo	0,002440	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	

- šumska cesta "Poljana Borje" - najveći prosječni poprečni nagib terena - najveća srednja vrijednost širine trupa
- Prosječna vrijednost širine trupa za sve analizirane profile iznosi 8,14 m
- „Poljana Borje“ – najveća prosječna vrijednost
- „Tičevo“ – najmanja prosječna vrijednost
- maksimalna vrijednost širine trupa (13,24m) i minimalna vrijednost (5,04 m) zabilježene na sumskoj cesti „Poljana Borje“



Sedmo međunarodno savjetovanje
 »Šumarsko inženjerstvo jugoistočne Europe – stanje i izazovi«
 14. – 16. rujna 2022. godine, Zalesina, Hrvatska
 Fakultet šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu
 Zavod za šumarske tehnike i tehnologije



Rezultati istraživanja

Tablica 7. Ovisnost površine iskopa o vrijednostima prosječnog poprečnog nagiba terena odnosno visinama radne kote

N=1153	Regression Summary for Dependent Variable: Površina iskopa, m (Spreadsheet1) R= ,89218619 R2= ,79599620 Adjusted R2= ,79564141 F(2,1150)=2243,6 p					
	b*	Std.Err. of b*	b	Std.Err. of b	t(1150)	p-value
Intercept			0,81801	0,105917	7,7231	0,000000
Prosječni poprečni nagib terena, %	0,442098	0,013408	0,07937	0,002407	32,9735	0,000000
Radna kota, m	-0,725836	0,013408	-3,88932	0,071844	-54,1359	0,000000

$$PI = 0,81801 + 0,07937 \times PAPNT + (-3,88932 \times RK)$$

- Površine iskopa i nasipa zavisne varijable
- Prosječni poprečni nagib terena i vrijednost radne kote - nezavisne varijable
- Obje nezavisne varijable statistički značajno utječu na obje zavisne varijable
- Nezavisne varijable dobro opisuju pojavnost površina iskopa i nasipa

Tablica 3. Ovisnost površine nasipa o vrijednostima prosječnog poprečnog nagiba terena odnosno visinama radne kote

N=1153	Regression Summary for Dependent Variable: Površina nasipa, m (Spreadsheet1) R= ,84458505 R2= ,71332391 Adjusted R2= ,71282535 F(2,1150)=1430,7 p					
	b*	Std.Err. of b*	b	Std.Err. of b	t(1150)	p-value
Intercept			-1,49605	0,109076	-13,7157	0,00
Prosječni poprečni nagib terena, %	0,518084	0,015894	0,08080	0,002479	32,5965	0,00
Radna kota, m	0,729167	0,015894	3,39431	0,073987	45,8772	0,00

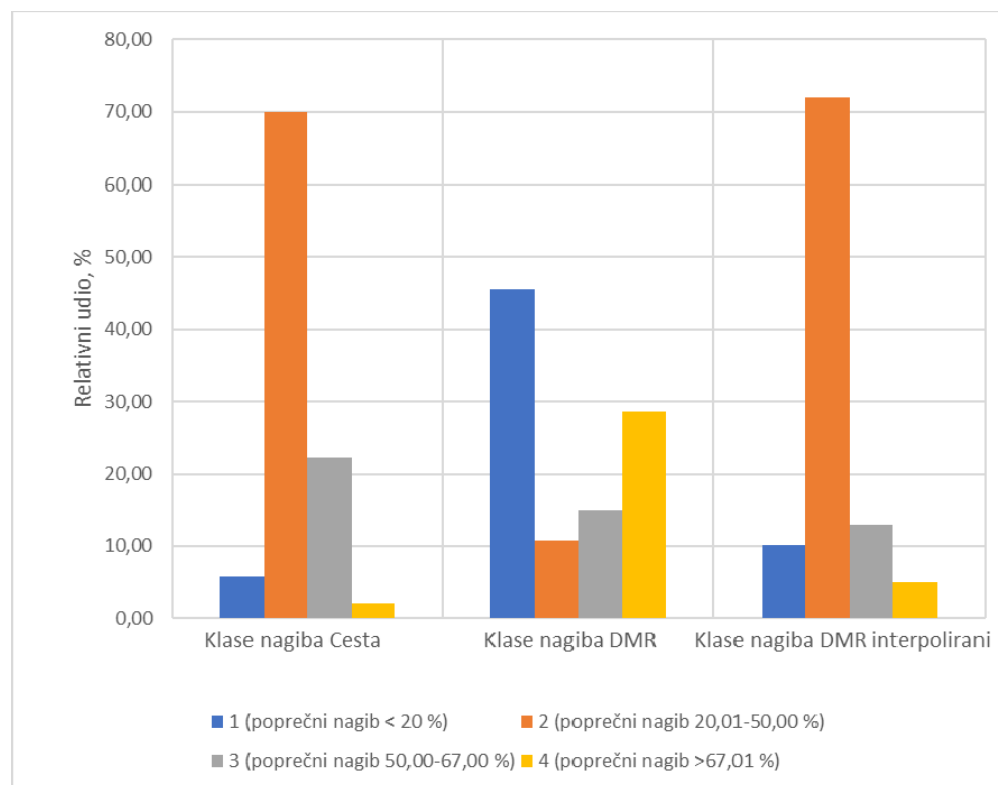
$$PN = -1,49605 + 0,08080 \times PAPNT + 3,39431 \times RK$$



Sedmo međunarodno savjetovanje
»Šumarsko inženjerstvo jugoistočne Europe – stanje i izazovi«
14. – 16. rujna 2022. godine, Zalesina, Hrvatska
Fakultet šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu
Zavod za šumarske tehnike i tehnologije



Rezultati istraživanja



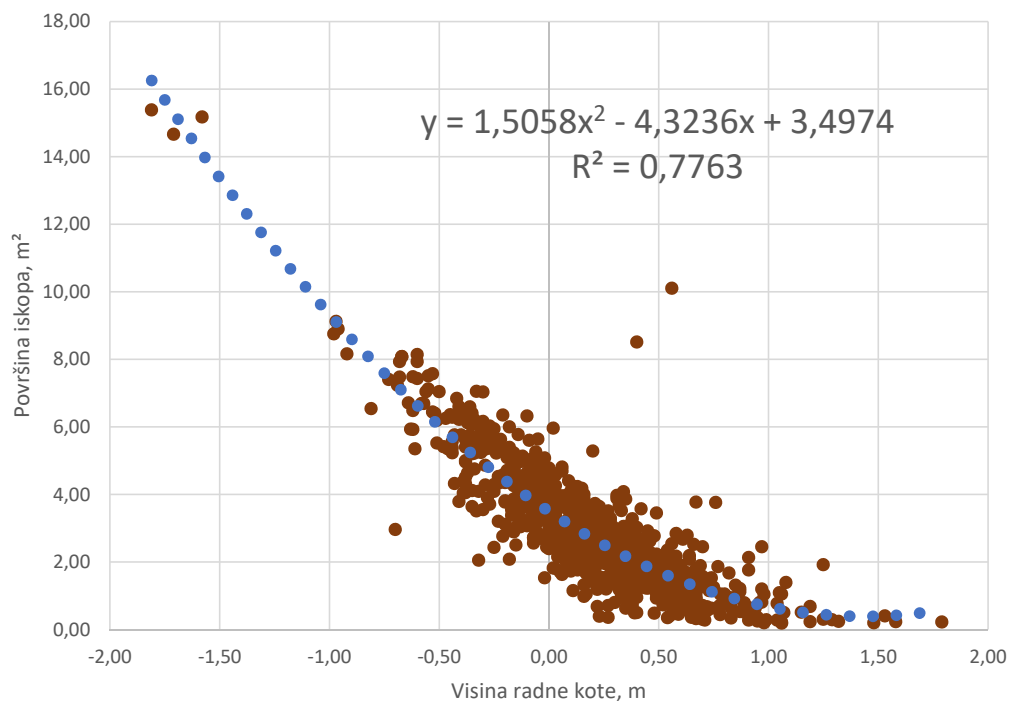
Slika 11. Relativni udio pojedine klase nagiba



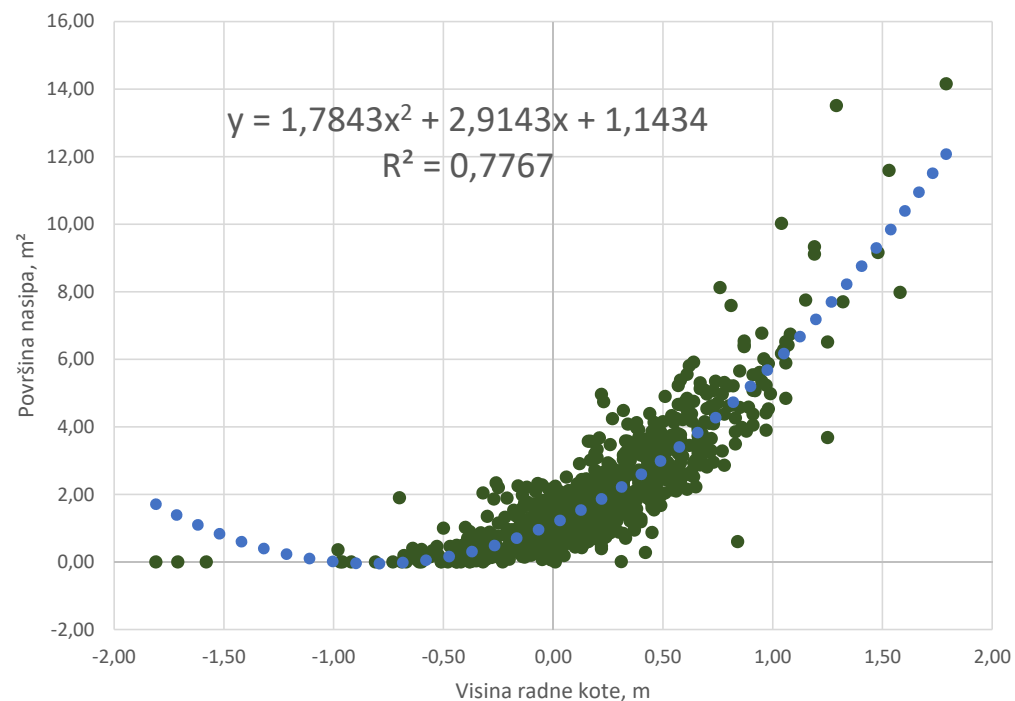
Sedmo međunarodno savjetovanje
»Šumarsko inženjerstvo jugoistočne Europe – stanje i izazovi«
14. – 16. rujna 2022. godine, Zalesina, Hrvatska
Fakultet šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu
Zavod za šumarske tehnike i tehnologije



Rezultati istraživanja



Slika 12. Ovisnost površine iskopa o visini radne kote kod klase nagiba II (20,01 - 50,00 %)



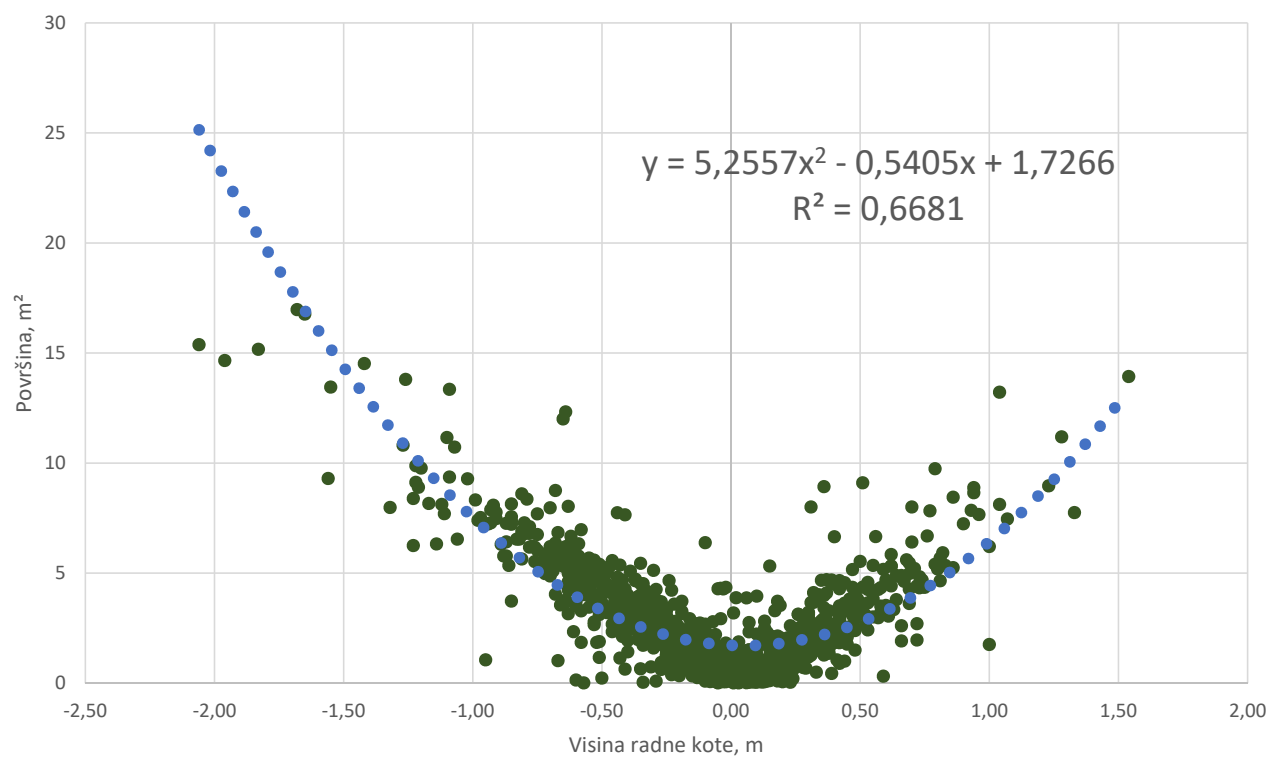
Slika 13. Ovisnost površine nasipa o visini radne kote kod klase nagiba II (20,01 - 50,00 %)



Sedmo međunarodno savjetovanje
»Šumarsko inženjerstvo jugoistočne Europe – stanje i izazovi«
14. – 16. rujna 2022. godine, Zalesina, Hrvatska
Fakultet šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu
Zavod za šumarske tehnike i tehnologije



Rezultati istraživanja



Slika 14. Ovisnost razlike površine iskopa i nasipa o visini radne kote



Sedmo međunarodno savjetovanje
»Šumarsko inženjerstvo jugoistočne Europe – stanje i izazovi«
14. – 16. rujna 2022. godine, Zalesina, Hrvatska
Fakultet šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu
Zavod za šumarske tehnike i tehnologije



Zaključak

- Naboranost terena gorskog reljefnog područja - veliki rasponi prosječnog poprečnog nagiba terena
- Najmanja varijabilnost radne kote – isti projektant
- Porastom prosječnog poprečnog nagiba terena i visina radne kote povećavaju se površine iskopa/nasipa i širina trupa šumskih cesta
- Optimalna visina radne kote 5,05 cm



Sedmo međunarodno savjetovanje
»Šumarsko inženjerstvo jugoistočne Europe – stanje i izazovi«
14. – 16. rujna 2022. godine, Zalesina, Hrvatska
Fakultet šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu
Zavod za šumarske tehnike i tehnologije



Hvala na pažnji!