

# Volumen zemljanih radova pri izgradnji šumskih cesta na strmim terenima

Dževada Sokolović, Muhamed Bajrić

## Nacrtač – Abstract

Osnovni su oblici tipskih ili normalnih poprečnih presjeka primarne šumske prometne infrastrukture nasip, usjek i zasjek. Gradnja šumske ceste s normalnim poprečnim presjekom u obliku zasjeka ekonomski je i ekološki najprihvatljivija zbog minimalnoga opsega zemljanih radova odnosno bočnoga nadomještanja zemljanih masa. Međutim, na strmim je terenima onemogućeno izvođenje normalnoga poprečnoga presjeka tipa zasjek zbog vrlo zahtjevne, a na nekim terenima i nemoguće stabilizacije dijela šumske ceste koja se nalazi u strani nasipa. Zbog toga se na takvim dijelovima terena os šumske ceste sve više približava samoniklonu terenu, a normalni poprečni presjeci poprimaju oblik zasjeka u punom presjeku ili usjeka. Normalne poprečne presjeka tipa zasjek u punom presjeku i usjeka karakterizira negativna radna kota u središnjoj osi šumske ceste, tj. prisutan je iskop zemlje. S povećanjem vrijednosti radne kote u iskopu se povećava količina iskopanoga materijala koji se uzdužnim transportom odvozi do dijela ceste u nasipu ili se odlaže (deponira) u za to unaprijed predviđena mjesta, tzv. deponije. Kako su troškovi izgradnje šumske ceste proporcionalni količini zemljanih radova, cilj je svakoga projektanta te količine svesti na minimum. Točnu je količinu zemljanih radova moguće utvrditi tek nakon obavljenoga prikupljanja terenskih podataka te izrade generalnoga projekta šumske ceste. Idejni projekt šumske ceste sadrži tehničku i ekonomsku studiju gdje se na osnovi idejne trase šumske ceste i poprečnoga nagiba terena iz postojećih tablica i grafikona očitava količina zemljanih radova. Navedene su tablice i grafikon izrađeni na temelju matematičkih zakona uz pretpostavku da je poprečni nagib terena jednolik, a iz razloga što na terenu u većini slučajeva to nije slučaj pa ovako dobiveni podaci nisu u potpunosti točni.

Cilj je ovoga rada bio na temelju empirijskih podataka, s crtanih poprečnih presjeka, ustanoviti postoji li veza između poprečnoga nagiba terena, radne kote i površine iskopa. Analiza je rađena za dvije različite kategorije materijala (Anon 2001):

⇒ tereni s materijalom kategorije C nagiba kosine usjeka 1:1

⇒ tereni s materijalom kategorije A nagiba kosine usjeka 4:1.

Provedenim statističkim analizama dobivene su jednadžbe višestrukih regresijskih analiza kojima je prikazana međusobna ovisnost analiziranih veličina, dok visoki koeficijenti korelacije upućuju na vrlo visoku međusobnu ovisnost analiziranih veličina.

Pri regresijskoj analizi međusobne ovisnosti poprečnoga nagiba terena i radne kote te površine iskopa korištene su metode neto regresije. Rezultati regresijske analize pokazuju rast površine iskopa s povećanjem poprečnoga nagiba terena. Nema statistički značajne razlike u površinama iskopa pri stalnoj radnoj koti kod nižih poprečnih nagiba terena, dok su na većim poprečnim nagibima terena razlike u površini iskopa vrlo izražene. Na poprečnom nagibu terena od 73,7 % izmjerena površina iskopa za materijal kategorije A iznosi 8,89 m<sup>2</sup>, dok za materijal kategorije C pri navedenom poprečnom nagibu terena površina iskopa iznosi 20,62 m<sup>2</sup>.

Dobiveni rezultati neto regresije između površine iskopa i radne kote za materijal kategorije C pokazuju da se povećanjem visine radne kote povećava i površina iskopa od vrijednosti 6,87 m<sup>2</sup> do 37,65 m<sup>2</sup> pri prosječnom poprečnom nagibu terena 54,1 %.

Rezultati višestruke neto regresije između površine iskopa i radne kote za materijal kategorije A uz prosječan poprečni nagib terena od 54,10 % pokazuju povećanje površine iskopa od 4,59 m<sup>2</sup>, koliko iznosi za radnu kotu 0,00 m, do 12,88 m<sup>2</sup>, koliko iznosi pri radnoj koti 2,35 m.

Ključne riječi: šumska cesta, radna kota, poprečni nagib terena, kategorija materijala

## 1. Uvod i problematika istraživanja

### *Introduction and scope of research*

Volumen zemljanih radova pri izgradnji šumske kamionske ceste ovisan je o poprečnom nagibu terena, kategoriji materijala te širini planuma šumske ceste. Na temelju količine zemljanih radova te troškova njihova iskopa i transporta izračunava se trošak izgradnje donjega ustroja šumske ceste. Troškovi izgradnje šumskih cesta u FBiH variraju u prilično širokom intervalu od 70 000 do 200 000 KM/km (Sokolović i dr. 2009).

Prema Penteku (2002) kvalitetno izvođenje zemljanih radova izravno utječe na dimenzije elemenata gornjega ustroja. Pri izgradnji šumskih cesta teži se izjednačenju mase i u slučajevima kada to konfiguracija terena dopušta, moguće je postići kompenzaciju iskopa u nasip. Na višim nagibima terena nije moguća kompenzacija iskopa u nasip jer se javlja velika količina viška iskopa. Zbog toga su troškovi gradnje šumskih cesta na strmim terenima mnogo viši od troškova izgradnje na ravnim terenima (tablica 1).

Zemljani su radovi (radovi na donjem ustroju) najveći trošak pri izgradnji šumskih cesta maloga prometnoga opterećenja i čine oko 80 % ukupnih troškova izgradnje (Contreras i dr. 2012).

Na strmim nagibima terena smanjenje troškova izgradnje šumskih cesta i negativnoga utjecaja na šumski ekosustav moguće je postići pravilnim izborom strojeva za gradnju (Winkler 1998). Za izbor strojeva koji se koriste za zemljane radove pri gradnji šumskih cesta potrebno je utvrditi čimbenike koji utječu na produktivnost te ekološke posljedice upotrebe stroja (Parsahoo i Hosseini 2013). Za iskop materijala pri gradnji šumskih cesta na strmim terenima preporučuju se bageri (Bayoglu 1986, Erdas 1986, Öztürk i İnan 2010, Turk 2014).

Kronologija aktivnosti i radova koji se odnose na planiranje i projektiranje šumskih cesta uvijek započi-

nje analizom prostornoga položaja trase u koju su uključeni svi utjecajni čimbenici te se analizira veći broj različitih varijanti idejnih trasa. Nakon izbora najpovoljnije idejne trase kreće se u izradu idejnoga projekta, u okviru kojega se daje tehnička i ekonomska studija trase. S obzirom na to da troškovi izgradnje šumskih cesta u velikoj mjeri ovise o količini zemljanih radova, odnosno o površinama iskopa, neobično je važno ustanoviti koji su to najutjecajnijih čimbenici koji utječu na spomenutu vrstu radova. Prema Jeličiću (1983) i Pičmanu (2007) izračun površina poprečnih presjeka moguće je obaviti dvjema metodama:

- ⇒ metoda izračuna površina bez crtanja poprečnih presjeka (matematičkim formulama, grafikoni-ma)
- ⇒ metoda izračuna površina pomoću crtanih poprečnih presjeka.

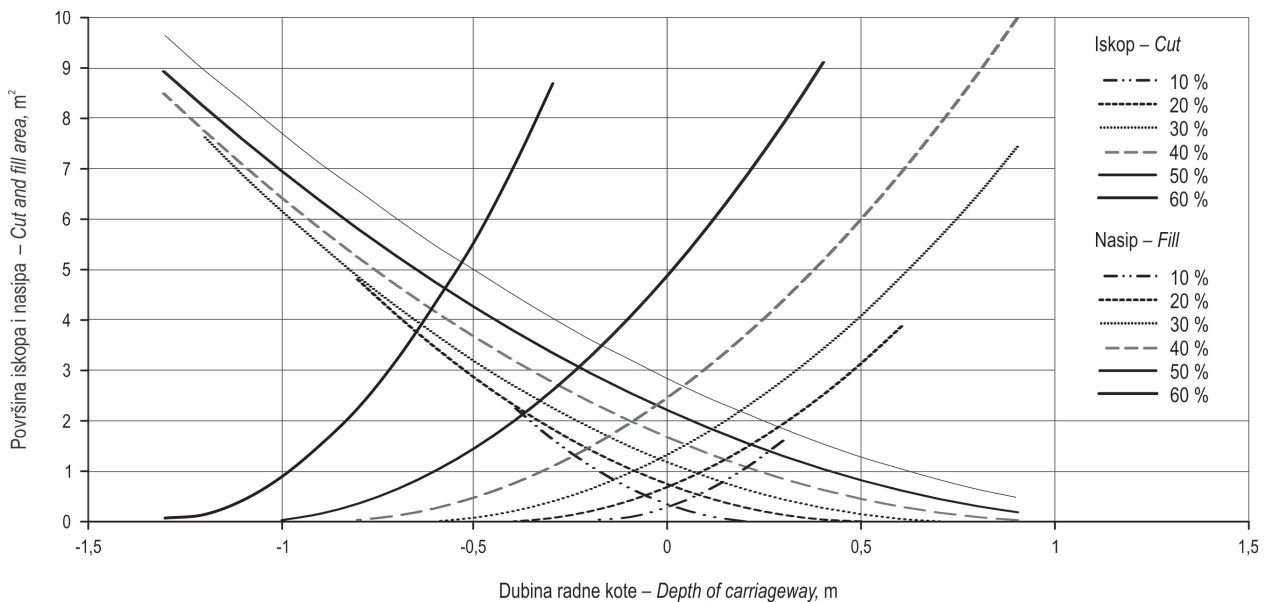
Jeličić (1975) računa površine poprečnih presjeka izmjenom poprečnoga nagiba terena, uz pomoć radne kote, širine kolnika i kategorije materijala na temelju matematičkih zakona između analiziranih veličina. Isti autor pomoću matematičke funkcije izračunava površinu iskopa i nasipa, kao što je prikazano na slici 1. Osnovna pretpostavka za ovakvu vrstu analize bila je da je nagib terena jednolik.

Potočnik (2005) analizira potrebnu dubinu radne kote na strmim terenima. Analizu provodi na prosječnom normalnom poprečnom presjeku šumske ceste. To istraživanje pretpostavlja da su poprečni nagib terena, nagib kosine iskopa i dubina radne kote poznate vrijednosti. Poprečni nagib terena kreće se u intervalu od 0 % do 75 %, a nagibi kosine iskopa od 1:1 do 2:1. Veći poprečni nagib terena traži veću dimenziju radne kote radi omogućavanja vožnje vozila (kami-onskoga skupa) na tvrdoj površini sa svim kotačima. Autor zaključuje da se pri planiranju šumskih cesta na strmim terenima količina iskopa povećava.

**Tablica 1.** Količina iskopa i troškovi zemljanih radova ovisno o nagibu terena za III. kategoriju (kategoriju C) terena za dužinu od 1000 m (Pentek 2002)

**Table 1** The amount of cut and earthwork costs depending on cross terrain slope for the third category of materials (category C) for 1000 m length (Pentek 2002)

Poprečni nagib terena, ° Cross terrain slope, °	2,5	7,5	12,5	17,5	22,5	27,5	32,5	37,5	42,5
Širina planuma 4,00 m Width of driving road surface, 4.00 m									
Količina iskopa, m <sup>3</sup> Cut volumes, m <sup>3</sup>	70	240	450	710	1050	1520	2190	3290	5660
Cijena iskopa, kn Costs of excavation, kn	260	893	1674	2641	3906	5654	8147	12.239	21.055



**Slika 1.** Površina iskopa i nasipa određena matematičkim funkcijama (Jeličić 1975)

**Fig. 1** Cut and fill areas determined by mathematical functions (Jeličić 1975)

Contreras i dr. (2012) ističu da je točnost procjene opsega zemljanih radova prijeko potrebna pri procjeni troškova izgradnje šumskih cesta, racionalizaciji i kontroli troškovne sastavnice te pri izgradnji i uspostavi ekonomski učinkovite primarne šumske prometne infrastrukture. U tom cilju razvili su računalni model za procjenu volumena zemljanih radova na šumskim cestama pomoću visoko razlučiva digitalnoga modela terena. Razlike u procjeni volumena zemljanih radova između modela koji predlažu navedeni autori i klasičnih metoda kreću se u rasponu od 2 % na jednolikim terenima do 21 % na nejednolikim poprečnim nagibima terena.

Imajući na umu da nagib terena nije jednolik, da kategorije materijala variraju duž trase šumske ceste, da se smjenjuju tehnički elementi šumske ceste u pravcima i krivinama različitih radijusa s proširenjima itd., konačna količina zemljanih radova, a samim tim i troškovi gradnje šumske ceste mogu se odrediti tek nakon terenskih mjerenja i snimanja poprečnoga nagiba terena u svim profilima i duž cijele osovine šumske ceste.

## 2. Cilj i metode istraživanja – Aim and methods of research

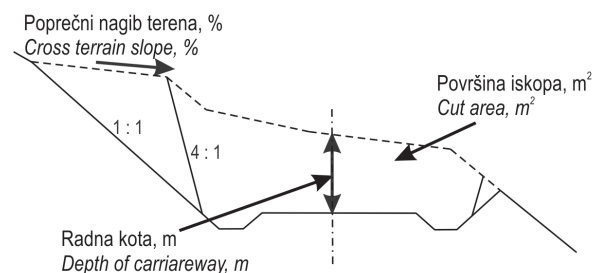
Cilj je ovoga rada na temelju empirijskih podataka iz generalnih projekata, odnosno iz podataka koji su prikupljeni u svakom profilu duž trase šumske ceste, ustanoviti međusobni odnos između poprečnoga

nagiba terena, radne kote i kategorije materijala te njihov utjecaj na površinu iskopa.

Analizirani su podaci iz generalnih projekata šumskih cesta koje su građene na području FBiH u razdoblju od 1980. do 1990. godine. U svakom profilu na trasi šumske ceste mjereni su poprečni nagib terena, radna kota i površina iskopa za dvije varijante kategorije materijala (slika 2):

- ⇒ III. kategorija materijala (materijal kategorije C) nagiba kosine usjeka 1:1
- ⇒ VII. kategorija materijala (materijal kategorije A) nagiba kosine usjeka 4:1.

Širina planuma šumske ceste na svim mjerenim poprečnim presjecima iznosi 4 m, što je ujedno širina koja je najčešća na šumskim cestama projektiranim u BiH u navedenom razdoblju.



**Slika 2.** Shematski prikaz mjerenih elemenata na poprečnim presjecima

**Fig. 2** Schematic illustration of measured elements on cross sections

## 2.1 Deskriptivna statistika utjecajnih čimbenika: radna kota, poprečni nagib terena i površina iskopa – *Descriptive statistics of influential factors: depth of carriageway, cross terrain slope, cut area*

Statistički parametri podataka mjerenih na poprečnim presjecima prikazani su u tablici 2.

Iz navedene je tablice vidljivo:

- ⇒ Interval radne kote kreće se u rasponu od 0 do –2,35 m. Najčešća je vrijednost radne kote –0,2, dok srednja vrijednost radne kote iznosi –0,59.
- ⇒ Poprečni nagib terena kreće se u rasponu od 24,7 % do 73,7 %. Srednja vrijednost poprečnoga nagiba terena iznosi 54,1 %.
- ⇒ Površina iskopa za materijal kategorije C kreća se u rasponu od 2,9 m<sup>2</sup> do 46,6 m<sup>2</sup>, dok za materijal kategorije A varira u rasponu od 0,9 m<sup>2</sup> do 15,9 m<sup>2</sup>. Srednja vrijednost površine iskopa za materijal kategorije C iznosi 14,72 m<sup>2</sup>, dok za materijal kategorije A navedena vrijednost iznosi 6,71 m<sup>2</sup>.

Da bi se utvrdilo kakav je utjecaj poprečnoga nagiba terena, radne kote i kategorije materijala na površinu iskopa primijenjene su metode korelacije i regresijska analiza.

Metode korelacije i regresijska analiza omogućuje utvrđivanje povezanosti zavisne varijable (površine iskopa) i jedne ili više nezavisnih varijabli (poprečni nagib terena, radna kota). Konačni su rezultat regresijske analize jednadžbe na temelju kojih bi se mogla procjenjivati površina iskopa na šumskim cestama prije njihove izgradnje.

U radu su za ispitivanje utjecaja nezavisnih varijabli i zavisne varijable analizirana dva modela:

**I. model višestruke regresije** – u kojem se na temelju provedene višestruke regresijske analize utvrđivao utjecaj odabranih nezavisnih varijabli na zavisnu varijablu

**II. model višestruke regresije** – u kojem su analizirani pojedinačni »neto« utjecaji nezavisnih varijabli na zavisnu varijablu.

## 3. Područje istraživanja – *Area of research*

Utjecajni čimbenici: poprečni nagib terena, radna kota i površina iskopa očitavani su s poprečnih presjeka generalnih projekata šumskih cesta čiji su nazivi i duljina prikazani u tablici 3. Metodom slučajnoga uzorka odabrani su poprečni presjeci na kojima su provedena mjerenja. Uzeti su samo poprečni presjeci koji imaju radnu kotu u iskopu.

## 4. Rezultati istraživanja – *Results of research*

### 4.1 I. model višestruke regresije – *I Multiple regression model*

#### 4.1.1 Utjecaj radne kote i nagiba terena na površinu iskopa – *Impact of depth of carriageway and cross terrain slope on the cut area*

Za računanje površine iskopa na temelju poprečnoga nagiba terena i radne kote metodom višestruke regresijske analize dobiveno je više modela, a tijekom testi-

**Tablica 2.** Statistički parametri mjerenih podataka

**Table 2** Statistical parameters of measurement data

Statistički parametri <i>Statistical parameters</i>	Radna kota <i>Depth of carriageway</i>	Poprečni nagib <i>Cross terrain slope</i>	Površina iskopa – <i>Cut areas</i>	
			Materijal kategorije C <i>C category materials</i>	Materijal kategorije A <i>A category materials</i>
	m	%	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
Aritmetička sredina – <i>Arithmetic mean</i>	–0,59	54,10	14,72	6,71
Standardna pogreška – <i>Standard error</i>	0,06	1,64	1,25	0,41
Medijana – <i>Median</i>	–0,44	55,80	12,00	5,90
Mod ili najčešća vrijednost – <i>Mode or the most frequent value</i>	–0,20	–	7,70	6,70
Standardna devijacija – <i>Standard deviation</i>	–0,50	12,82	9,77	3,19
Varijanca uzorka – <i>Sample variance</i>	–0,25	164,44	95,37	10,14
Minimum – <i>Minimum</i>	0,00	24,70	2,90	0,90
Maksimum – <i>Maximum</i>	–2,35	73,70	46,60	15,90
Veličina uzorka – <i>Size of the sample</i>	61,00	61,00	61,00	61,00



**Tablica 3.** Pregled projekata šumskih cesta iz kojih su mjereni podaci za analizu

**Table 3** Overview projects of forest roads from which data for analysis was measured

Naziv šumske ceste <i>Name of forest roads</i>	Duljina, km <i>Length, km</i>
Odjel 56 – Odjel 61	1,11
Suhi jarak–Lučevac – produžetak	0,56
Rogačić – produžetak	0,38
Grad – Odjel 163	3,70
Lauf – Odjel 153	2,63
Mala ravan–Pridolci	4,09
Pecka–lijevo	4,58

ranja izabran je model koji ima najbolje statističke pokazatelje. Regresijska jednadžba na temelju koje se može relativno pouzdano procijeniti površina iskopa na šumskim cestama pomoću radne kote i poprečnoga nagiba terena za materijal kategorije C jest:

$$\hat{P}_O = -9,74 + 13,10 \cdot RK + 30,71 \cdot NT$$

*materijal kategorije C* (1)

Veličine parametara jednadžbe prikazane su u tablici 4.

Statistički pokazatelji snage korelacijske veze između zavisne i nezavisnih varijabli u jednadžbi modela su:

- ⇒ koeficijent višestruke korelacije  $R=0,98$  pokazuje da je korelacijska povezanost između nezavisnih varijabli (radna kota i poprečni nagib terena) i zavisne varijable (površina iskopa) veoma velika
- ⇒ koeficijent determinacije  $R^2=0,96$  pokazuje da se 96 % promjene površine iskopa može objasniti

**Tablica 4.** Parametri regresije i njihove statističke veličine regresije varijabli za jednadžbu regresije kojom se iskazuje utjecaj nagiba terena i radne kote na površinu iskopa – materijal kategorije C

**Table 4** Parameters of regression and their statistical variables used in regression equation which show the impact of cross terrain slope and depth of carriageway on the cut area – C category materials

Varijabla <i>Variable</i>	Vrijednosti parametara <i>Values of parameters</i>	Standardna pogreška procjene parametara <i>Standard error of estimation of parameters</i>	$t$ (50)	$p$	Parcijalni koeficijenti korelacije <i>Partial coefficients of correlation</i>
Slobodni član <i>Free element</i>	-9,74	1,22	-8,00	0,000	–
Radna kota <i>Depth of carriageway</i>	13,10	0,67	19,58	0,000	0,93
Poprečni nagib terena <i>Cross terrain slope</i>	30,71	2,61	11,78	0,000	0,84

promjenom poprečnoga nagiba terena i radne kote, dok se ostalo pripisuje drugim utjecajnim čimbenicima koji nisu obuhvaćeni ovim modelom.

Nakon provedene višestruke regresijske analize odabrana jednadžba regresije za procjenu količine iskopa ovisno o radnoj koti i poprečnom nagibu terena za materijal kategorije A glasi:

$$\hat{P}_O = -2,03 + 3,53 \cdot RK + 12,25 \cdot NT$$
 (2)

Gdje je:

$P_O$  površina iskopa,  $m^2$

$RK$  radna kota,  $m$

$NT$  poprečni nagib terena, %.

Veličine parametara jednadžbe prikazane su u tablici 5.

Statistički pokazatelji snage korelacijske veze između zavisne i nezavisnih varijabli u jednadžbi modela su:

- ⇒ koeficijent višestruke korelacije  $R=0,95$  pokazuje visok stupanj korelacijske zavisnosti analiziranih elemenata
- ⇒ koeficijentom determinacije  $R^2=0,90$  objašnjeno je čak 90,2 % površina iskopa uz pomoć poprečnoga nagiba terena i radne kote, dok se 9,8 % površina iskopa pripisuje ostalim utjecajnim čimbenicima koji nisu obuhvaćeni modelom regresije.

## 4.2 II. model višestruke regresije – II Multiple regression model

### 4.2.1 Neto korelacija između površine iskopa i radne kote – Net correlation between the cut area and depth of carriageway

Jednadžba neto regresije dobivena je pomoću jednadžbe višestruke regresije gdje nezavisna varijabla za koju se traži jednadžba neto regresije varira,

**Tablica 5.** Parametri regresije i njihove statističke veličine za jednadžbu regresije kojom se iskazuje utjecaj poprečnoga nagiba terena i radne kote na površinu iskopa – materijal kategorije A

**Table 5** Parameters of regression and their statistical variables used in regression equation which show the impact of cross terrain slope and depth of carriageway on the cut area – A category materials

Varijabla Variable	Vrijednosti parametara Values of parameters	Standardna pogreška procjene parametara Standard error of estimation of parameters	$t$ (50)	$p$	Parcijalni koeficijenti korelacije Partial coefficients of correlation
Slobodni član Free element	-2,03	0,63	-3,25	0,002	–
Radna kota Depth of carriageway	3,53	0,34	10,28	0,000	0,80
Poprečni nagib terena Cross terrain slope	12,25	1,34	9,16	0,000	0,77

dok su ostale nezavisne varijable nepromijenjene, tj. uzima se njihov prosjek (Koprivica 1997).

Jednadžbom neto korelacije ispitivan je utjecaj nezavisne varijable na zavisnu varijablu, npr. utjecaj radne kote na površinu iskopa pri čemu je druga nezavisna varijabla u višestrukoj jednadžbi regresije bila predstavljena svojom prosječnom vrijednošću.

Uvrštavanjem prosječne veličine poprečnoga nagiba terena (54,10 %) u jednadžbi višestruke regresije (1):

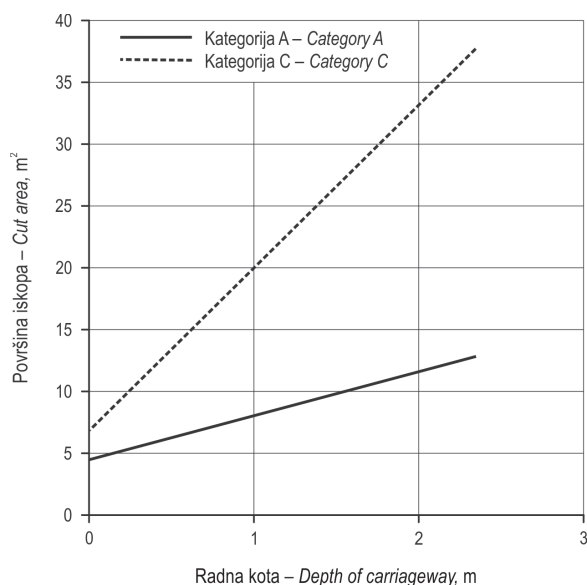
$$\begin{aligned}\hat{P}_O &= -9,74 + 13,10 \cdot RK + 30,71 \cdot NT = \\ &= -9,74 + 13,10 \cdot RK + 30,71 \cdot 0,541\end{aligned}$$

dobivena je jednadžba neto regresije između površine iskopa i radne kote za materijal kategorije C:

$$\hat{P}_O = 6,87 + 13,10 \cdot RK \quad (3)$$

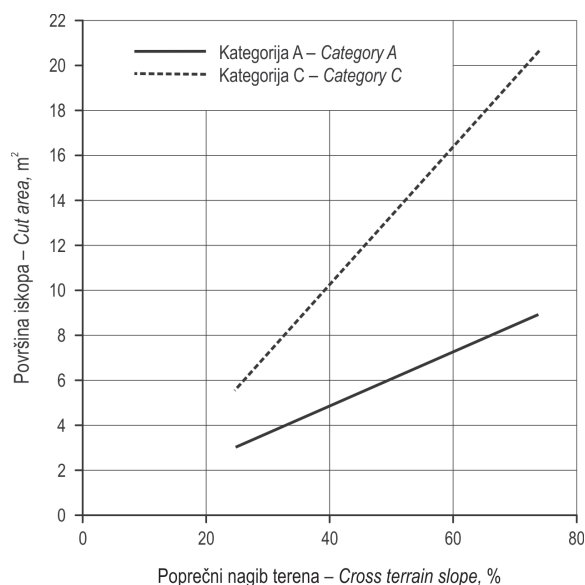
Analiza dobivenih rezultata neto regresije između površine iskopa i radne kote za materijal kategorije C pokazuje da se s povećanjem visine radne kote povećava i površina iskopa (slika 3). Za radnu kotu 0,00 m dobivena je površina iskopa 6,87 m<sup>2</sup>, dok za radnu kotu -2,35 m površina iskopa iznosi 37,65 m<sup>2</sup> pri prosječnom poprečnom nagibu terena 54,1 %.

Ako se poprečni nagib terena u jednadžbi višestruke regresije (2) uzima kao prosječna veličina,



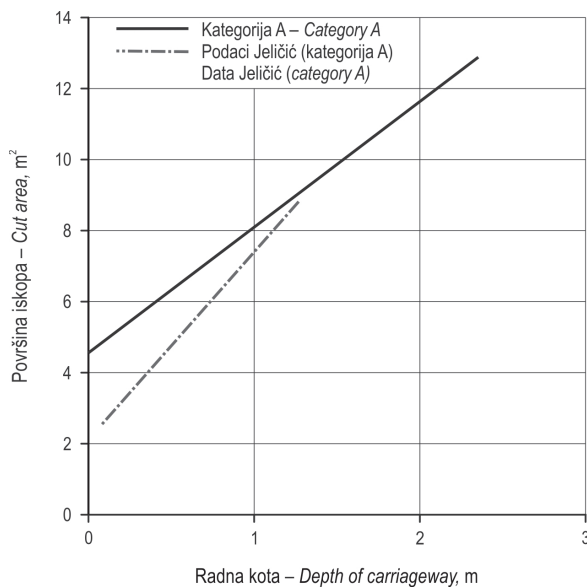
**Slika 3.** Neto korelacija između površine iskopa i radne kote – materijali kategorija A i C

**Fig. 3** Net correlation between the cut area and depth of carriageway – A and C category materials



**Slika 4.** Neto korelacija između površine iskopa i poprečnoga nagiba terena – materijali kategorija A i C

**Fig. 4** Net correlation between the cut area and cross terrain slope – A and C category materials



**Slika 5.** Usporedba utjecaja radne kote na površinu iskopa za materijal kategorije A – empirijski podaci i prema Jeličićevim (1975) podacima

**Fig. 5** Comparison of the impact of depth of carriageway on the cut area for A category materials – empirical data and data according to Jeličić (1975)

a veličina radne kote varira, dobije se jednadžba neto korelacije koja pokazuje kako se mijenja površina iskopa s promjenom radne kote.

Jednadžba neto korelacije između površine iskopa i radne kote za materijal kategorije A:

$$\hat{P}_O = 4,59 + 3,53 \cdot RK \quad (4)$$

Rezultati višestruke neto regresije između površine iskopa i radne kote za materijal kategorije A uz prosječan poprečni nagib terena od 54,10 % upućuje na povećanje površine iskopa od 4,59 m<sup>2</sup>, koliko iznosi za radnu kotu 0,00 m, do 12,88 m<sup>2</sup>, koliko iznosi pri radnoj koti 2,35 m (slika 3).

#### 4.2.2 Neto korelacija između površine iskopa i poprečnoga nagiba terena – Net correlation between the cut area and cross terrain slope

Ako se radna kota u jednadžbi višestruke regresije (1) uzima kao prosječna veličina, a veličina poprečnoga nagiba terena varira, dobije se jednadžba neto korelacije koja pokazuje kako se mijenja površina iskopa s promjenom poprečnoga nagiba terena.

Jednadžba neto korelacije između površine iskopa i poprečnoga nagiba terena za materijal kategorije C:

$$\hat{P}_O = -2,014 + 30,71 \cdot NT \quad (5)$$

Primjenom jednadžbe neto korelacije kojom se iskazuje utjecaj poprečnoga nagiba terena na površinu iskopa za prosječnu vrijednost radne kote (−0,59 m) dobiveni su rezultati koji pokazuju povećanje površine iskopa od 5,57 m<sup>2</sup> za nagib terena 24,7 % do 20,62 m<sup>2</sup> za nagib terena 73,7 % (slika 4).

Ako se radna kota u jednadžbi višestruke regresije (2) uzima kao prosječna veličina, a veličina poprečnoga nagiba terena varira, dobije se jednadžba neto korelacije koja pokazuje kako se mijenja površina iskopa s promjenom poprečnoga nagiba terena.

Jednadžba neto korelacije između površine iskopa i poprečnoga nagiba terena za materijal kategorije A:

$$\hat{P}_O = 0,05 + 12,25 \cdot NT \quad (6)$$

Na slici 4 vidljivo je da pri poprečnom nagibu terena 24,7 % površina iskopa iznosi 3,01 m<sup>2</sup>, dok pri poprečnom nagibu terena od 73,7 % površina iskopa iznosi 8,89 m<sup>2</sup>.

## 5. Rasprava – Discussion

### 5.1 Utjecaj radne kote na površinu iskopa – Influence of depth of carriageway on the cut area

Uspoređivanjem neto korelacije između površine iskopa i radne kote za materijal kategorijâ C i A (slika 3) dolazi se do ovih zaključaka:

Površina iskopa u zavisnosti od radne kote za materijal kategorije C u prosjeku je viša od površine iskopa koja je dobivena za materijal kategorije A jer je nagib kosine iskopa za materijal kategorije C 1:1, dok za materijal kategorije A on iznosi 4:1.

Povećavanjem radne kote površina iskopa za materijal kategorije C višestruko je veća od površine iskopa za materijal kategorije A. Dobiveni rezultati govore o utjecaju kategorije materijala na količinu zemljanih radova. U materijalu kategorije A povećanje dubine radne kote neće imati za posljedicu veliko povećanje površine iskopa, kao što je to slučaj u kategoriji materijala kategorije C.

Na slici 5 prikazan je utjecaj radne kote na površinu iskopa za materijal kategorije A koji je dobiven na osnovi empirijskih podataka i prema Jeličićevim (1975) podacima.

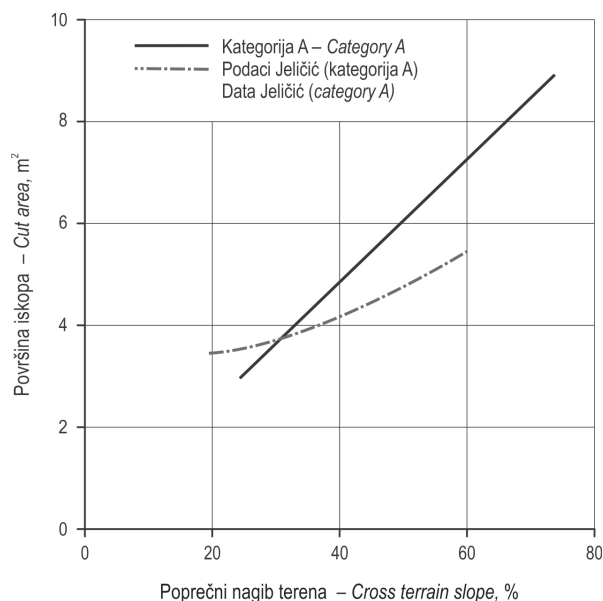
Pomoću *t*-testa (u softveru »Statgraphics«) uspoređen je koeficijent između funkcije koja je dobivena provedenom regresijskom analizom s funkcijom dobivenom prema Jeličićevim (1975) podacima za materijal kategorije A. Dobiveni rezultati upućuju na statistički značajnu razliku između navedenih funkcija. Razlog tomu mogla bi biti matematička zavisnost

između funkcija. Kako se prema Jelčićevim (1975) podacima mogu dobiti orijentacijski podaci o površini otkopa, zaključuje se da i funkcija dobivena u ovom radu može također poslužiti za dobivanje orijentacijskih količina za površinu iskopa. Točne se količine iskopa mogu dobiti isključivo terenskim mjerenjima na konkretnim poprečnim presjecima.

## 5.2 Utjecaj poprečnoga nagiba terena na površinu iskopa – Influence of the cross terrain slope on the cut area

Usporedbom rezultata utjecaja poprečnoga nagiba terena na površinu iskopa za materijal kategorijâ C i A (slika 6) dolazi se do ovih zaključaka:

Promjenom poprečnoga nagiba terena s 24,7 % na 73,7 % površina iskopa raste od 3,01 m<sup>2</sup> do 8,89 m<sup>2</sup> u kategoriji materijala kategorije A, dok za materijal kategorije C raste od 5,57 m<sup>2</sup> do 20,62 m<sup>2</sup>. Rezultati se odnose za konstantnu prosječnu vrijednost radne kote –0,59 m. Dobiveni rezultati pokazuju da povećanje poprečnoga nagiba terena nema za posljedicu veliko povećanje površine iskopa pri konstantnoj radnoj koti. Međutim, problem je u projektiranju nivelete šumske ceste na strmim poprečnim nagibima terena što manje vrijednosti radne kote nisu održive na prirodnom



**Slika 6.** Usporedba utjecaja poprečnoga nagiba terena na površinu iskopa za materijal kategorije A – empirijski podaci i prema Jelčićevim (1975) podacima

**Fig. 6** Comparison of the impact of cross terrain slope on the cut area for A category materials – empirical data and data according to Jelčić (1975)

terenu zbog mogućnosti klizanja kosine nasipa niz prirodni teren pa se na takvim terenima pribjegava projektiranju većih vrijednosti radne kote.

Usporedbom funkcije koja je dobivena prema Jelčićevim (1975) podacima s funkcijom dobivenom provedenom neto regresijom pomoću *t*-testa, dobiveni su rezultati koji upućuju na statistički značajnu razliku između koeficijenata tih dviju funkcija te na njihovu matematičku ovisnost. Usporedbom međusobnoga položaja tih funkcija na grafiku može se zaključiti da se pomoću funkcije dobivene u ovom radu dobivaju nešto veće površine iskopa nego prema Jelčićevim (1975) podacima (slika 6). Kako je ta funkcija nastala na osnovi empirijskih podataka iz konkretnih projekata, može se zaključiti da u određenoj mjeri i sam projektant utječe na količinu površine iskopa.

## 6. Zaključci – Conclusions

Najveći dio troškova gradnje šumske ceste čine zemljani radovi. Točna količina zemljanih radova može se izračunati samo na osnovi obavljenih terenskih mjerenja i crtanih poprečnih presjeka. Orijetacijska količina zemljanih radova vidljiva je iz tablica i grafikona koji su dobiveni na temelju matematičkih funkcija.

U ovom su radu empirijski podaci dobiveni mjerenjem s crtanih poprečnih presjeka obrađeni statističkim metodama višestruke korelacije i metodom neto korelacije. Analizom dobivenih rezultata može se zaključiti da se povećanjem poprečnoga nagiba terena i radne kote (negativna vrijednost) povećava površina iskopa. Ovisnost površine iskopa o poprečnom nagibu terena i radnoj koti mnogo su veće u slučaju kad se radi o kategoriji materijala kategorije C nego kad se radi o kategoriji materijala kategorije A, što je vrlo značajno kad se radi o planiranju uzdužnoga transporta materijala i distribuciji zemljanih masa. Uzrok su za dobivanje velike površine iskopa materijala kategorije C kosine iskopa koje se izvode u nagibu od 45° odnosno u odnosu 1:1. Izravna posljedica tako izvedenih kosina iskopa, osim velike površine iskopa, jest i smanjenje produktivne šumske površine, što treba imati na umu pri donošenju odluka u planiranju i projektiranju šumske ceste.

Usporedbom dobivenih rezultata s rezultatima dobivenim na osnovi matematičkih formula može se zaključiti da su dobiveni slični rezultati. Kontrola rezultata dobivenih u radu na crtanim poprečnim presjecima pokazuje određena odstupanja slično kao i prema matematičkim formulama, što upućuje na zaključak da dobivene jednadžbe mogu služiti samo kao okvirni pokazatelji.



## 7. Literatura – References

- Anon., 2001: Opći tehnički uvjeti za radove na cestama. Knjiga II – zemljani radovi, odvodnja, potporni i obložni zidovi, 156 str.
- Bayoglu, S., 1986: Mechanization in Forest and Progress. Mechanization and Productivity at Forestry. 1. National Symposium, MPM Proceeding, Ankara, str. 38–67.
- Contreras, M., P. Aracena, W. Chung, 2012: Improving Accuracy in Earthwork Volume Estimation for Proposed Forest Roads Using a High-Resolution Digital Elevation Model. Journal of Forest Engineering, 33(1): 125–142.
- Erdas, O., 1986: The rationale use of cut and transport machines connected with project and construction technique on forest roads. Mechanization and productivity at forestry, 1. National Symposium, MPM Proceeding, Ankara, str. 110–128.
- Winkler, N., 1998: A manual for the planning, design and construction of forest roads in steep terrain. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Forest Harvesting Case Study, 10 str.
- Haanshus, S., 1998: Environmentally sound construction methods on use of appropriate equipment. Proceeding of Seminar on Environmentally Sound Forest Roads and Wood Transport, Romania, str. 215–229.
- Jeličić, V., 1975: Korištenje dozera na izgradnji šumskih puteva. Doktorska disertacija, Šumarski fakultet Univerziteta u Sarajevu.
- Jeličić, V., 1983: Šumske ceste i putevi. SIZ i usmjerenog obrazovanja šumarstva i drvne industrije SRH, Zagreb, 193 str.
- Koprivica, M., 1997: Šumarska biometrika. Institut za šumarstvo, Beograd.
- Öztürk, T., M. İnan, 2010: Comparisons of environmental effects and productivity by road construction machines in forest areas in Turkey. African Journal of Biotechnology, 9(31): 4918–4925.
- Parsakhoo, A., S. A. Hosseini, 2013: Analytical hierarchy process to choose the best earthwork machine in northern forests of Iran. Journal of Forest Science, 59(12): 487–492.
- Pičman, D., 2007: Šumske prometnice. Udžbenik, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 460 str.
- Pentek, T., 2002: Računalni modeli optimizacije mreže šumskih cesta s obzirom na dominantne utjecajne čimbenike. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 271 str.
- Potočnik, I., 2005: Depth of carriageway and cut slopes on forest roads. Zesz. Nauk. Akad. Rol. im. H. Kołłątaja Krak., Ses. Nauk., No. 419: 67–73.
- Sokolović, Dž., 2008: Uticaji nagiba terena na pravilan izbor vrste šumskog transportnog sredstva. Doktorska disertacija, Šumarski fakultet Univerziteta u Sarajevu, 124 str.
- Sokolović, Dž., A. Lojo, M. Bajrić, V. Halilović, 2009: Uticajni faktori na izbor područja pogodnih za gradnju šumskih kamionskih puteva. Radovi Šumarskog fakulteta Univerziteta u Sarajevu, 1: 43–57.
- Turk, Y., 2014: Construction method of forest roads in Turkey. 5th Forest Engineering Conference, FORMEC, France, 2–6 str.

---

### Abstract

---

#### *Volume of Earthworks in Construction of Forest Roads on Steep Terrain*

*The aim of this article was to determine statistical relation between the cut area, cross terrain slope and the depth of carriageway by statistical processing of data obtained from forest road designs. Statistical analysis has been done based on data measured for cross-section profiles. The analysis has been done for two models of multiple-regression:*

- ⇒ I model of multiple-regression, where the impact of transverse cross terrain slope and depth of carriageway on cut area has been determined,*
- ⇒ II model of multiple-regression, where individual »net« impacts of one independent variable on dependent variables was analyzed by using the average value of the second independent variable. Both models were calculated for fine grained (coherent) soils (Category C) and hard stones (Category A).*

*The equations of multiple-regression, which define mutual impact of analyzed factors, have been derived by the statistical analysis. High quotas of correlation, which have been obtained, assure that mutual impact of analyzed factors is significant.*

*The analysis carried out by net regression of influencing factors has shown as follows:*

- ⇒ cut area increases when cross terrain slope increases for fine grained (coherent) soils (Category C) and hard stones (Category A),*
- ⇒ when depth of carriageway increases, cut area increases several times,*

⇒ *t*-test has been used to make comparison of the results obtained with the results on the basis of table data Jeličić 1975. Based on the comparison, it can be concluded that equations obtained by analysis give approximate data. Accurate cut area could only be obtained by measurement at each cross-section.

*Keywords: forest roads, depth of carriageway, cross terrain slope, category of materials*

---

Adresa autorâ – Authors' addresses:

Izv. prof. dr. sc. Dževada Sokolović \*

e-pošta: dzsokolovic@yahoo.com

Doc. dr. sc. Muhamed Bajrić

e-pošta: bajric\_muhamed@yahoo.com

Katedra za iskorišćavanje šuma, projektovanje  
i građenje u šumarstvu i hortikulturi

Šumarski fakultet Univerziteta u Sarajevu

Zagrebačka br. 20

71000 Sarajevo

BOSNA I HERCEGOVINA

\* Glavni autor – *Corresponding author*

Primljeno (*Received*): 11.03.2015.

Prihvaćeno (*Accepted*): 07.10.2015.