

RAŠČLAMBA NORMALNOG POPREČNOG PROFILA ŠUMSKE PROTUPOŽARNE CESTE I IZNALAŽENJE TROŠKOVNO POVOLJNIJIH MODELA

A CROSS SECTION OF A NORMAL SIDE VIEW OF A FOREST FIRE PREVENTION ROAD
AND FINDING EXPENDITURE FAVORABLE MODELS

Dragutin PIČMAN* & Tibor PENTEK**

SAŽETAK: S intenzivnijom gradnjom šumskih protupožarnih cesta na području Republike Hrvatske započelo se 1990. godine, da bi danas ovo bila jedina kategorija šumskih cesta koja se izvodi u značajnijoj količini. Proučavanjem strukture troškova s posebnim naglaskom na troškove zemljanih radova, a polazeći od normalnog propisanog poprečnog profila ŠPPC, željelo se utvrditi je li momentalno važeći normalni poprečni profil ŠPPC uistinu najpogodniji za područje krša, te je li primijenjena tehnologija gradnje najekonomičnija. Dobiveni rezultati su u najmanju ruku diskutabilni. U radu je predložena nova tehnologija gradnje tzv. bočnom kompenzacijom zemljanih masa, izvedeni su matematski izrazi kojima se omogućuje dosta točan izračun troškova zemljanih radova pojedine inačice ŠPPC, te odabir najpovoljnije. Cjelokupna metoda bazirana je osobnim računalom i temelji se na digitaliziranim kartama i na njima položenim nul-linijama koje predstavljaju inačice pojedinih ŠPPC, te na izrađenim digitalnim modelima terena. Izrađen je kompjutorski program TROŠAK, koji se pak temelji na izvedenim matematskim izrazima.

Ključne riječi: šumske protupožarne ceste, troškovi zemljanih radova, normalni poprečni profil, bočna kompenzacija zemljanih masa.

UVOD – Introduction

Šumske protupožarne ceste (ŠPPC) su posebna kategorija šumskih cesta, koje su izravno vezane uz mediteransko i submediteransko područje pridolaska naših obalnih i priobalnih šuma. Primarna im je zadaća preventivna zaštita šuma od šumskih požara, a u slučaju izbijanja šumskog požara one moraju pružiti najpovoljnije uvjete za njegovo lokaliziranje te konačno suzbijanje. Važnost im se može se potkrijepiti rječima Androić (1971.): "Zato... između najvažnijih problema zaštite šuma na kršu, u mediteranskoj zoni, šumske požare, bez ikakve dileme, stavljam na prvo mjesto kao stalnu opasnost za kulture i za šume ovoga područja".

Kao takove šumske se protupožarne ceste odlikuju nizom svojih posebnosti, koje su prije svega povezane s postupkom njihova planiranja, projektiranja i izvedbe. Jedan od osnovnih zahtjeva pri dizajniranju mreže ŠPPC je minimaliziranje troškova njihove izvedbe s ciljem izgradnje što veće količine kilometara cesta, otvaranje što većih površina neotvorenih ploština uz poštivanje zahtjeva za kakvoćom izvedenih cestovnih objekata. U strukturi troškova izgradnje šumskih cesta, najveći se upliv može izvršiti na troškove zemljanih radova koji u pravilu najviše opterećuju ukupnu cijenu ŠPPC na krškom području. Zbog navedenog, prišlo se raščlambi normalnog poprečnog profila ŠPPC, njegovih osnovnih sastavnica i njihova utjecaja na troškove zemljanih radova. Istražene su prednosti i nedostaci trenutno važećeg normalnog poprečnog profila, te je predložena mogućnost uklanjanja nedostataka.

*Doc. dr. sc. Dragutin Pičman, Šumarski fakultet Zagreb

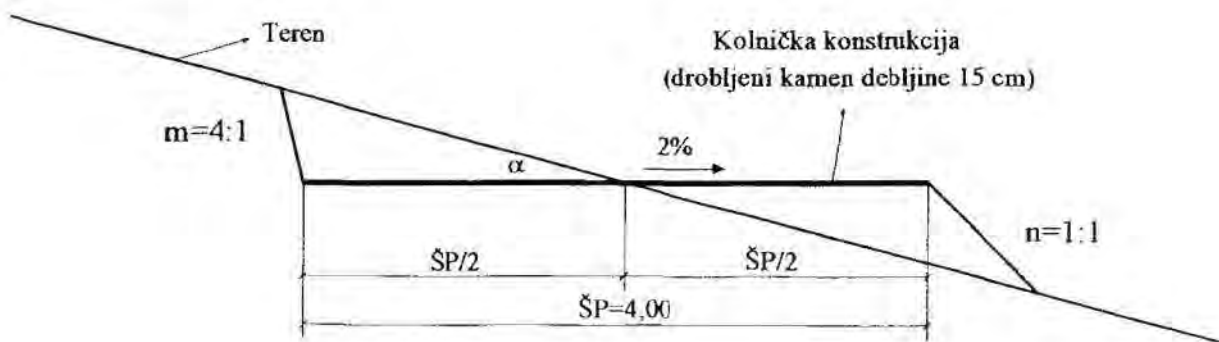
**Mr. sc. Tibor Pentek, Šumarski fakultet Zagreb

PROBLEMATIKA I REZULTATI ISTRAŽIVANJA – The problems and results of the research

Pri izboru određene inačice šumske protupožarne ceste, veliku ulogu ima konačna cijena izvedbe. Troškovi zemljanih radova predstavljaju glavni izvor troškova na koje se pri planiranju buduće trase protupožarne ceste može utjecati. Položaj šumskih protupožarnih cesta u postupku njihova planiranja moguće je na digitaliziranoj šumsko-gospodarskoj karti dovoljno krupnoga mjerila i sa prihvatljivom gustoćom ucrtanih slojnicama, predstaviti nul-linijama različitoga nagiba, ovisno o nagibu terena. Značajka je svake nul-linije da je kota nivelete u osi buduće ceste jednaka koti terena u točkama dobivenim projektiranjem nul-linije na digitaliziranoj karti (točkama koje leže na slojnicama).

Budući da je poznat normalni poprečni profil šumske protupožarne ceste i da je položena nul-linija koja aproksimira buduću situaciju na terenu, moguće je u vrlo kratkom vremenu odrediti i usporedne cijene više inačica budućih trasa šumskih protupožarnih cesta. Teoretske pretpostavke su da je poprečan nagib terena (nagib terena okomit na nul-liniju) stalan za čitavu širinu planuma ŠPPC, za određeni segment nul-linije, koja kod normalnog poprečnog profila iznosi 4.00 m.

Izgled normalnog poprečnog profila šumske protupožarne ceste prikazan je na slici 1.



Slika 1: Normalni poprečni profil šumske protupožarne ceste
Figure 1: A regular cross profile of a forest fire prevention road

gdje je:

ŠP - širina planuma, m,

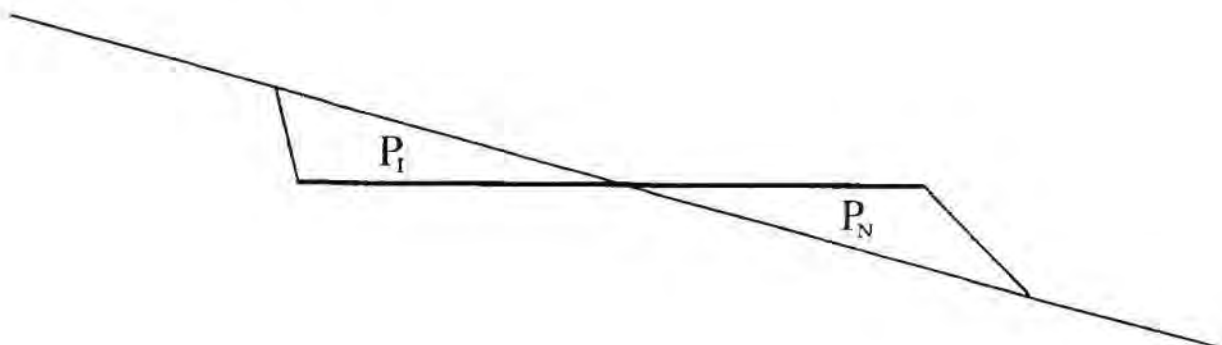
b - pola širine planuma, m,

α - kut nagiba terena okomito na nul liniju, °,

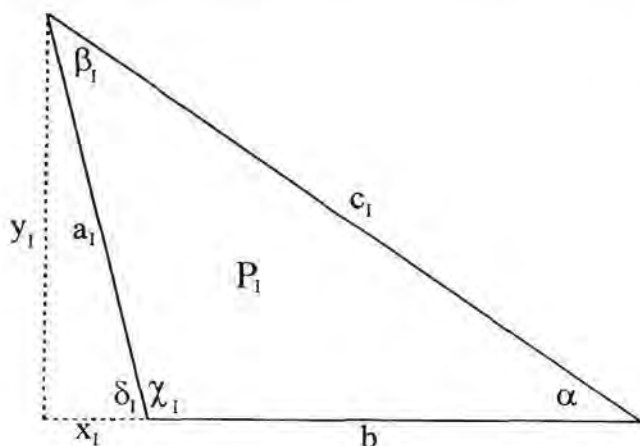
$m = 4:1$ - projektirani nagib kosine zasjeka,

$n = 1:1$ - projektirani nagib kosine nasipa.

Pri izvođenju matematičkih izraza za izračun površina iskopa i nasipa koji su nam potrebni za dobivanje volumena zemljorada i u konačnici za dobivanje približnih troškova zemljorada, uporabiti ćemo trokute površina P_I i P_N .



Slika 2: Trokuti P_I i P_N iz kojih računamo površine iskopa i nasipa
Figure 2: Triangles P_I and P_N of which we calculate the surface to be excavated and dumped on



Slika 3: Prikaz osnovnih sastavnica za izračun površine iskopa
Figure 3: A view of basic components for the calculation of the surface to be excavated

Kut α je kut nagiba terena kojeg očitamo s digitalnoga modela terena. Veličinu b izračunamo iz poznate ukupne širine planuma ŠPPC:

$$b = \frac{P}{2}$$

Iz planirane kosine zasjeka označene s m , izračunat ćemo manji kut između kosine zasjeka i horizontale (δ_1):

$$\delta_1 = \arctg(m)$$

Iz slike 3 vidimo da vrijedi odnos:

$$\chi_1 + \delta_1 = 180^\circ \Rightarrow \chi_1 = 180^\circ - \delta_1$$

Suma kuteva u bilo kojem trokutu iznosi 180° , pa možemo pisati:

$$\alpha + \beta_1 + \chi_1 = 180^\circ \Rightarrow \beta_1 = 180^\circ - \alpha - \chi_1$$

Vrijede i matematički izrazi:

$$\frac{\sin \alpha}{a_1} = \frac{\sin \beta_1}{b} = \frac{\sin \chi_1}{c_1}$$

$$\frac{\sin \alpha}{a_1} = \frac{\sin \beta_1}{b} \Rightarrow a_1 = \frac{\sin \alpha \cdot b}{\sin \beta_1}$$

Ako uporabimo pravilo da je površina trokuta jednaka umnošku duljina dviju stranica trokuta podijeljenim s dva i pomnoženim sa sinusom kuta između njih, imamo sve poznate elemente pomoću kojih možemo izračunati površinu trokuta P_1 :

$$P_1 = \frac{a_1 \cdot b}{2} \cdot \sin \chi_1$$

gdje je:

α - kut nagiba terena okomito na nul liniju, $^\circ$.

β_1 - kut između kosine zasjeka i terena, $^\circ$.

χ_1 - veći kut između kosine zasjeka i horizontale, $^\circ$.

δ_1 - manji kut između kosine zasjeka i horizontale, $^\circ$.

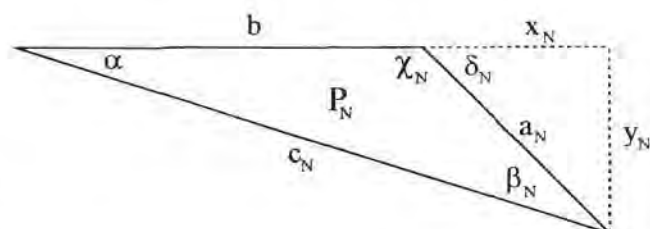
P_p - širina planuma, m.

b - pola širine planuma, m.

m - projektirani nagib kosine zasjeka,

a_1 - duljina kosine iskopa, m.

P_1 - površina iskopa, m^2 .



Slika 4: Prikaz osnovnih sastavnica za izračun površine nasipa
Figure 4: A view of basic components for the calculation of the surface to be dumped on

Postupak izvoda potrebitih obrazaca za izračun površine nasipa isti je kao i kod izvoda formula za izračun površine iskopa. Dobivene formule razlikuju se samo u indeksima uz oznake i veličine. Konačni izrazi su:

$$b = \frac{P}{2}$$

$$\delta_N = \arctg(n)$$

$$\chi_N = 180 - \delta_N$$

$$\beta_N = 180 - \alpha - \chi_N$$

$$\frac{\sin \alpha}{a_N} = \frac{\sin \beta_N}{b} = \frac{\sin \chi_N}{c_N} \Rightarrow a_N = \frac{\sin \alpha \cdot b}{\sin \beta_N}$$

$$P_N = \frac{a_N \cdot b}{2} \cdot \sin \chi_N$$

gdje je:

α - kut nagiba terena okomito na nul liniju, °,

β_N - kut između kosine nasipa i terena, °,

χ_N - veći kut između kosine nasipa i horizontale, °,

δ_N - manji kut između kosine nasipa i horizontale, °,

P - širina planuma, m,

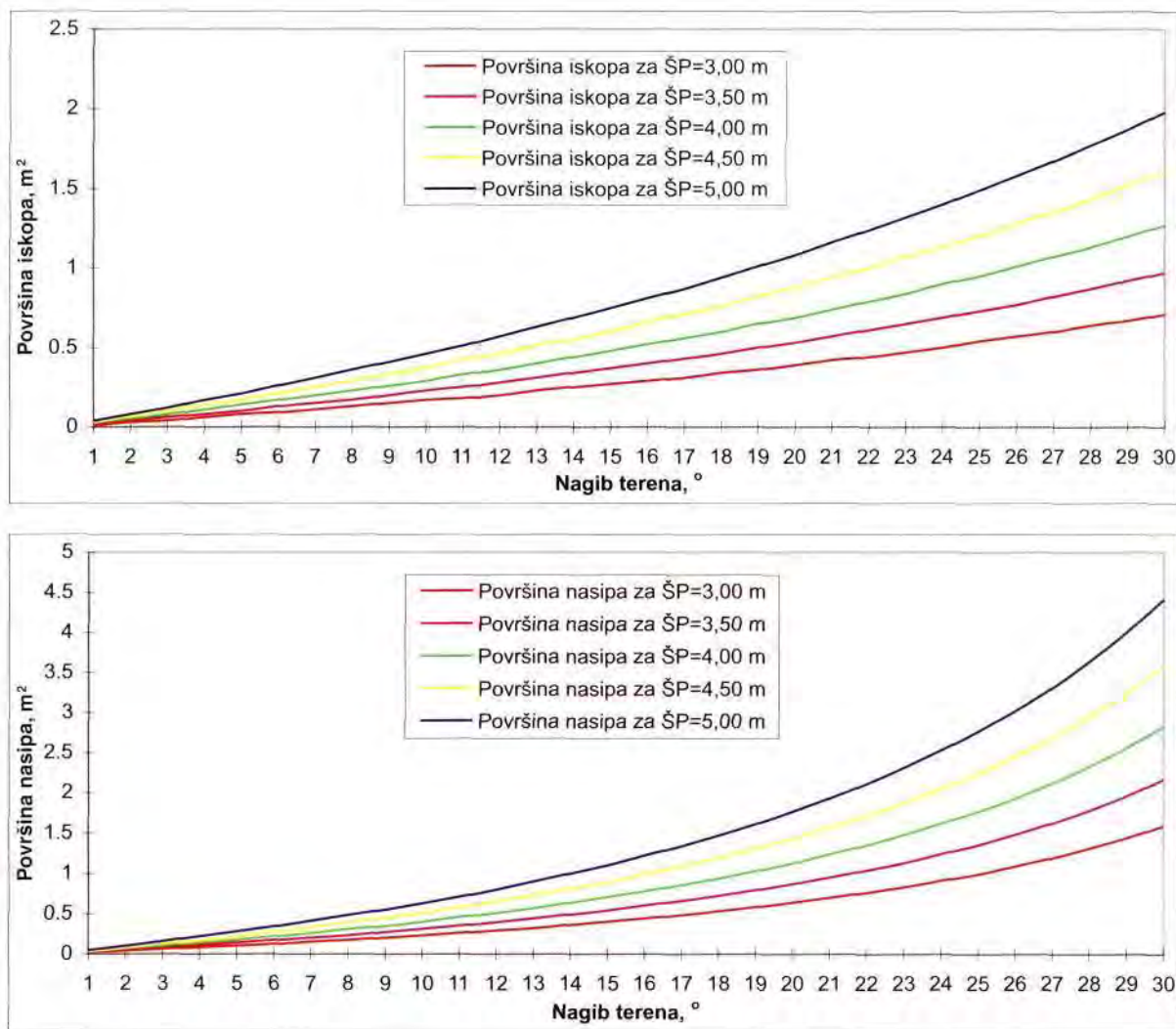
b - pola širine planuma, m,

n - projektirani nagib kosine nasipa,

a_N - duljina kosine nasipa, m,

P_N - površina nasipa, m².

Pomoću dobivenih matematskih formula, a za različite širine planuma ŠPPC, izračunate su površine iskopa i površine nasipa na normalnom poprečnom profilu. Kao promjenjiva veličina uzet je i poprečni nagib terena, a dobiveni rezultati prikazani su na slici 5.

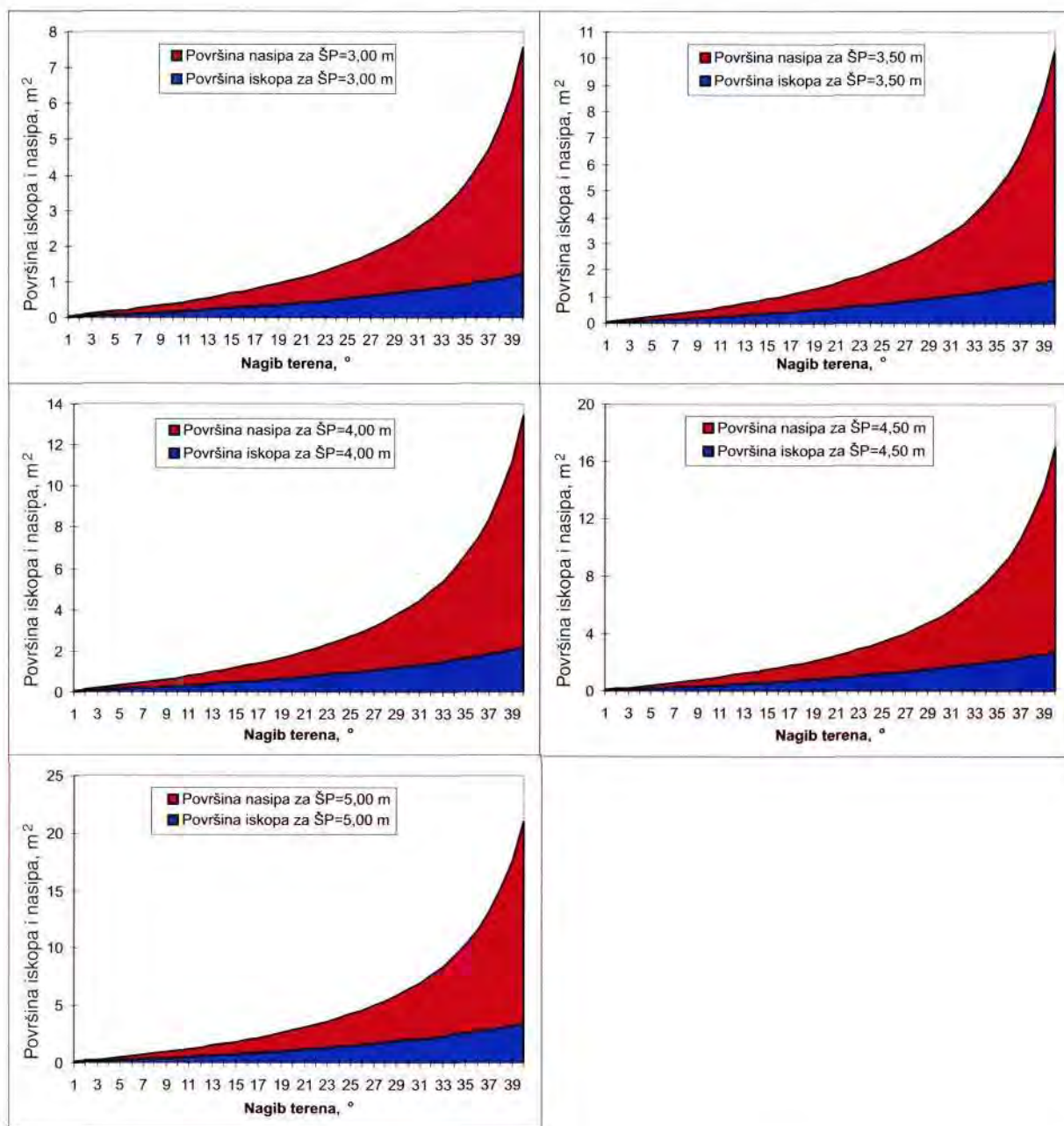


Slika 5: Odnosi površine iskopa i površina nasipa ŠPPC kod različitih poprečnih nagiba terena

Figure 5: The relation between the surface to be excavated and the dumped surface of a FFPR at various diagonal gradients of a site.

Površine iskopa kao i površine nasipa za šumsku protupožarnu cestu stalne širine planuma povećavaju se proporcionalno s povećanjem poprečnoga nagiba terena. (slika 5). Postavlja se pitanje što se dešava s povr-

šinom iskopa u odnosu na površinu nasipa kod stalne širine planuma ali kod promjene poprečnog nagiba terena ?

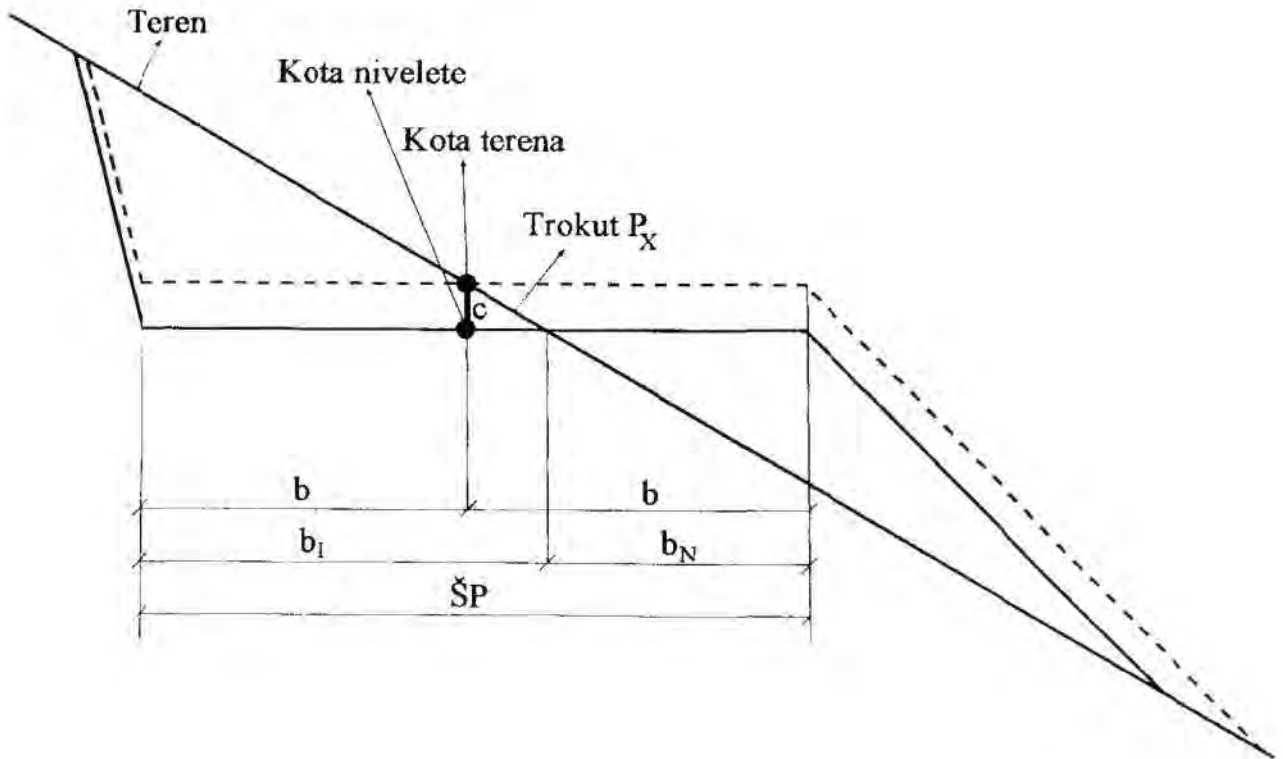


Slika 6: Grafički prikaz ovisnosti površine iskopa i nasipa na karakterističnom poprečnom profilu ŠPPC pri različitom poprečnom nagibu terena i širini planuma

Figure 6: A graphical view of the dependence of the surface to be excavated and dumped on, on a characteristic cross profile of a FPFR at various cross gradients of a site and the width of the project

Iz slike 6 uočljiv je manjak zemlje za izradbu nasipa (crvena boja) kod propisanih planiranih kosina nasipa i zasjeka. Manjak zemlje za izradbu nasipa u odnosu na raspoloživu zemlju iskopanu pri izvedbi zasjeka proporcionalno raste s povećanjem poprečnoga nagiba terena i povećanjem širine planuma. To je u suprotnosti sa zahtjevom da ŠPPC budu što jeftinije, kako bismo mogli izvesti što više kilometara ŠPPC uz jednaka financijska ulaganja. To znači da bi manjak materijala za izradbu nasipa trebalo riješiti na najekonomičniji način.

Ideja o tomu kako riješiti ovaj problem bila je u primjeni tehnologije gradnje tzv. bočnom kompenzacijom zemljanih masa. Drugim riječima, sva zemlja koja se iskopa kod izvedbe zasjeka, ugrađuje se u nasip ŠPPC, pa je nepotrebno otvarati pozajmišta (ako postoji mogućnost) ili dovoziti materijal. Radi osiguranja potrebite količine zemlje, a na najekonomičniji način, neophodno je bilo pronaći visinu c , za koju je kotu nivelete trebalo spustiti ispod kote terena.



Slika 7: Spuštanje kote nivelete normalnoga poprečnoga profila ŠPPC ispod kote terena

Figure 7: Lowering the elevation (final height) of a normal cross profile of a FFPR below the determined elevation (height)

gdje je:

šP - širina planuma, m,

b - pola širine planuma, m,

 b_I - širina planuma u iskopu za koju je površina iskopa jednaka površini nasipa, m, b_N - širina planuma u nasipu za koju je površina iskopa jednaka površini nasipa, m,

c - razlika između kote terena i kote nivelete, m.

Treba zamijetiti dvije promjene što nastaju pri pomicanju kote nivelete ispod kote terena, a koje su važne za daljnji tijek rada:

1. sadašnja površina iskopa jednaka je površini nasipa,
2. odnos širine planuma u zasjeku i širine planuma u nasipu više nije 1:1.

Radi novonastalih promjena, bilo je nužno pronaći novi omjer širina planuma ŠPPC u iskopu i u nasipu:

$$\frac{b_I}{b_N} = ?$$

Površine iskopa i nasipa iskazane su u ovisnosti o b_I i b_N , i u ovisnosti o poprečnome nagibu terena mogu se iskazati ovim izrazima.

$$P_I = \frac{\sin \chi_I \cdot b_I^2 \cdot \sin \alpha}{2 \cdot \sin \beta_I}$$

$$P_N = \frac{\sin \chi_N \cdot b_N^2 \cdot \sin \alpha}{2 \cdot \sin \beta_N}$$

Za planiranu kosinu iskopa $m = 4:1$ i planiranu kosinu nasipa $n = 1:1$, uvrštavanjem u gornje formule dobit ćemo:

$$P_I = \frac{0,970 \cdot b_I^2 \cdot \sin \alpha}{2 \cdot \sin(75,95 - \alpha)}$$

$$P_N = \frac{0,707 \cdot b_N^2 \cdot \sin \alpha}{2 \cdot \sin(45 - \alpha)}$$

Budući se radi o bočnoj kompenzaciji, mora biti zadovoljen uvjet da je površina iskopa jednaka površini nasipa:

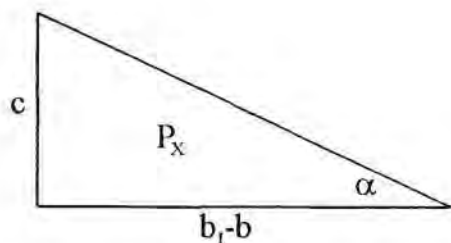
$$P_I = P_N \Rightarrow \frac{b_I}{b_N} = \sqrt{\frac{0,707 \cdot \sin(75,95 - \alpha)}{0,970 \cdot \sin(45 - \alpha)}}$$

Označimo li izraz pod korijenom sa k i ako znamo ukupnu širinu planuma, vrijedi:

$$b_I + b_N = P$$

$$b_N = \frac{P}{k+1}$$

Rješavanjem dvije jednačbe s dvije nepoznanice (b_I i b_N), jednostavno ćemo izračunati širinu planuma u zasjeku i širinu planuma u nasipu.



Slika 8: Prikaz trokuta P_X iz kojega računamo kotu nivelete
Figure 8: A view of triangle P_X from which we calculate the final layer

Iz trokuta PX izračunat će se razlika kote terena i kote nivelete (c):

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{c}{b_I - b} \Rightarrow c = \operatorname{tg} \alpha \cdot (b_I - b)$$

Kad znamo površine iskopa i nasipa koje vrijede za svaki segment nul-linije, a određuju se na sredini segmenta, moguće je, budući da je svaki segment nul-linije jednake duljine (duljina je jednaka izračunatom koraku šestara za određeni nagib), odrediti i volumen zemljorada iskopa i nasipa za svaki segment nul-linije i to ovim izrazima:

$$V_I = P_I \cdot l$$

$$V_N = P_N \cdot l$$

dok će se za čitavu protupožarnu cestu, volumen potrebitih iskopa i nasipa izračunati prema formulama:

$$V_{IUK} = \sum_{i=1}^n V_{I_i}$$

$$V_{NUK} = \sum_{i=1}^n V_{N_i}$$

a želimo li doći do ukupnoga troška izvedbe iskopa i nasipa na protupožarnoj cesti, uporabiti ćemo ove obrasce:

$$T_{IUK} = V_{IUK} \cdot C_I$$

$$T_{NUK} = V_{NUK} \cdot C_N$$

gdje je:

V_I - volumen iskopa pojedinog segmenta nul linije, m^3 ,

V_N - volumen nasipa pojedinog segmenta nul linije, m^3 ,

P_I - površina iskopa izračunata na pola segmenta nul linije, m^2 ,

P_N - površina nasipa izračunata na pola segmenta nul linije, m^2 ,

l - duljina segmenata nul linije, m ,

V_{IUK} - ukupni volumen zemljorada iskopa za cijelu ŠPPC, m^3 ,

V_{NUK} - ukupni volumen zemljorada nasipa za cijelu ŠPPC, m^3 ,

i - redni broj segmenta nul linije,

T_{IUK} - ukupni troškovi zemljorada iskopa za cijelu ŠPPC, kn ,

T_{NUK} - ukupni troškovi zemljorada nasipa za cijelu ŠPPC, kn ,

C_I - cijena izradbe $1 m^3$ iskopa, kn ,

C_N - cijena izradbe $1 m^3$ nasipa, kn .

ZAKLJUČAK – Conclusion

Kod normalnog poprečnog profila šumskih protupožarnih cesta javlja se znatan manjak zemlje potrebite za izradbu nasipa u odnosu na raspoloživu zemlju iskopanu pri izradi zasjeka. To pretpostavlja dopremu materijala ili otvaranje pozajmišta ukoliko to terenske prilike dozvoljavaju. Oba navedena rješenja znatno poskupljuju konačnu cijenu izgrađene ŠPPC, što je u potpunoj suprotnosti s osnovnim zahtjevom za izgradnjom što više kilometara šumskih cesta uz što manja ulaganja. Detaljnija raščlamba normalnog poprečnog profila ŠPPC pokazala je da se treba nešto mijenjati promijeniti u svezi s konačnom zadaćom rješavanja navedenih problema.

Jedan od mogućih puteva kojim treba krenuti je primjena tehnologije bočne kompenzacije zemljanih masa iskopa i nasipa na određenoj duljini ŠPPC. Izvedeni su matematski izrazi koji za propisani normalni poprečni profil ŠPPC omogućuju izračun veličine potrebitog spuštavanja kote nivelete ispod kote terena (veličina c). Daljnjim postupkom uvođenja duljine segmenta nul-linije dobije se nužna količina iskopa i nasipa iskazana u m^3 , a kada uvedemo važeće cijene koje imaju upliv na zemljane radove dobit ćemo trošak zemljanih radova pojedinog segmenta nul-linije buduće šumske protupožarne ceste. Sumiranjem troškova zemljanih radova za svaki segment nul-linije dobiju se ukupni troškovi ove kategorije troškova za sveukupnu duljinu ŠPPC.

Što sve navedeno znači u postupku planiranja ŠPPC, moći će se egzaktno odgovoriti tek po značajnijoj primjeni predložene metode u privredi. Na osnovi izvedenih matematskih izraza izrađen je u programskom jeziku C++ kompjutorski program, koji u vrlo kratkom vremenu na osnovu temeljnih sastavnica normalnoga poprečnog profila ŠPPC i poprečnoga nagiba terena očitano na sredini svakog segmenta nul-linije, daje dovoljno točne podatke za vrlo brz i precizan odabir troškovno najpovoljnije inačice ŠPPC, u ovoj fazi planiranja predstavljene nul-linijom, sa stajališta najmanjih troškova zemljanih radova. Program bi uz doradu i uključivanje ostalih vrsta troškova koji se javljaju pri izgradnji šumskih cesta mogao biti još djelotvorniji.

Uz navedena unapređenja na području pojeftinjenja izgrađenog kilometra ŠPPC, u daljnjim bi istraživanjima posebnu pozornost trebalo obratiti na planiranu kosinu nasipa i zasjeka, budući se ŠPPC na području krša većinom izvode u materijalu IV i V, a nešto rjeđe III i VI kategorije. Isto tako treba ispitati nosivost nasipa za veće poprečne nagibe terena i male širine planuma, jer dolazi do produljenja nožice nasipa, pa eventualno treba predvidjeti tehničke mjere osiguranja kosine nasipa, što dakako poskupljuje cijenu ŠPPC pa su stoga nužne detaljnije kalkulacije.

LITERATURA – References

- Androić, M., 1971: Zaštita šuma na kršu. Simpozij o zaštiti prirode u našem kršu, s. 93-107, Zagreb.
- Pentek, T., 1995: Protupožarne ceste u Upravi šuma Buzet i njihova uloga pri sprječavanju požara, Diplomski rad, šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, s. 1-73.
- Pentek, T. 1998: Šumske protupožarne ceste kao posebna kategorija šumskih cesta i čimbenici koji utječu na njihov razmještaj u prostoru, Magistarski rad, šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1998., s. 1-119.
- Pičman, D., Pentek, T. 1996: Fire-prevention roads in the area of the Forest enterprise Buzet, Zbornik gozdarstva in lesarstva 49, Ljubljana, Slovenija, 1996., s. 187-203.
- Pičman, D., Pentek, T., 1997: Forest fire prevention roads on the Karst area of Republic of Croatia, International Scientific Conference FOREST-WOOD-ENVIRONMENT 1997., Working Group 1: Forest Ecology and Integrated Forest Protection, 8-11. September 1997, Zvolen (Slovakia), Zbornik, s. 287-295.
- Pičman, D., Pentek, T. & B. Mikić, 1997: Planiranje i projektiranje šumskih prometnica primjenom osobnog računala, šumarski list CXXI (11-12), Zagreb, Hrvatska, 1997., s. 609-616.
- Potočnik, I., 1989: Odvisnost širine cestnega telesa od naklona terena in vrste kamnine. Gozdarski Vestnik, 19, Ljubljana, s. 439-441.
- Spinelli, R., 1996: A literature review of the environmental impacts of forest road construction, Seminar on "Environmentally sound forest roads and wood transport", Sinaia (Romania), 17-22 June 1996., voluntary paper, p. 1-15.
- ***** 1995: Prijedlog izgradnje protupožarnih prometnica na području krša od 1995. do 1999. godine, J.P. Hrvatske šume, Zagreb, s. 1-5.
- ***** 1997: Izvješće o problematici gradnje i održa-

vanja šumskih i protupožarnih prometnica i stanju otvorenosti šuma, J.P. Hrvatske šume, Zagreb, s. 1-11.

***** 1997: Prijedlog metodologije izrade katastra šumskih i protupožarnih prometnica na području J. P. Hrvatske šume, Zagreb, s. 1-14.

SUMMARY: A more intensive road construction of forest fire prevention roads has been started in 1990 in the Republic of Croatia, leaving this the only category of forest roads being built extensively today. By studying the structure of the expenditures with a special accent on the costs of the excavation process, with initial reference to the regular prescribed cross profile of a forest fire prevention road (from here on referred to as a FFPR), it was intended to determine whether the cross profile of a FFPR, valid at this moment, is really the most appropriate for a rocky ground area, and whether or not the applied construction technology is the most affordable. The results acquired are quite debatable. A new technology of work has been recommended, a so called side compensation of large ground loads. Within it, mathematical expressions have been traced out which enable a quite accurate calculation of the costs for the excavation process of individual versions of a FFPR and the choice of the most favorable. The whole method is supported by personal computers and is based on digitized cards, and on the ground centre lines set on them that represent versions of specific FFPRs and on constructed digitized models of the site. There is a computer program named "Trošak" ("Cost") that is based on derived mathematical expressions.

Keywords: forest fire prevention roads, side compensation of large ground loads, a regular cross profile.