

INSTITUT ZA ŠUMARSTVO • INSTITUTE OF FORESTRY • BEOGRAD

ZBORNIK RADOVA

COLLECTION
TOM 46-47

Yu ISSN 0351-9147



BEOGRAD
2002.

INSTITUT ZA ŠUMARSTVO • INSTITUTE OF FORESTRY • BEOGRAD

ZBORNİK RADOVA

**COLLECTION
TOM 46-47**

Yu ISSN 0351-9147



**BEOGRAD
2002.**

INSTITUT ZA ŠUMARSTVO – BEOGRAD

Za izdavača:

Dr MILOŠ KOPRIVICA

•

Redakcioni odbor:

Dr ZORAN TOMOVIĆ

Dr VLADIMIR LAZAREV

Dr MILOŠ KOPRIVICA

Dr SLAVKO VLATKOVIĆ

Dr SRĐAN BOJOVIĆ

Dr MIHAILO RATKNIĆ

Dr RADOVAN NEVENIĆ

Dr LJUBINKO RAKONJAC

Dr MARA TABAKOVIĆ-TOŠIĆ

•

Glavni i odgovorni urednik

Dr MARA TABAKOVIĆ-TOŠIĆ

•

Urednik-lektor

MILUTIN VUJOVIĆ, novinar

•

Prevod na engleski:

Mr ANA TONIĆ

•

Svi radovi su recenzirani

•

Unos, priprema i računarski slog:

BOJANA SAVIĆ

•

Tiraž:

300 primeraka

•

Štampa: "Želnid", Beograd, Nemanjina 8

SARDŽAJ • CONTENTS

Zoran Miletić, Miloš Koprivica, Nenad Marković

ZAVISNOST PROIZVODNOSTI KULTURA CRNOG I BELOG BORA
OD NEKIH SVOJSTAVA ZEMJIŠTA NA PEŠTERSKOJ VISORAVNI

• Dependence of austrian pine and scots pine plantation productivity
on some soil properties at Pešterska visoravan1

Ljubinko Rakonjac, Milić Matović, Mihailo Ratknić, Vlado Čokeša

NEKE ZAJEDNICE ŽBUNASTE VEGETACIJE NA PODRUČJU
JUGOZAPADNE SRBIJE • Some communities of shrub vegetation

in the area of the Southwest Serbia13

Milorad Veselinović

UTICAJ VAZDUŠNIH POLUTANATA NA PROMENE ASIMILACIONIH
ORGANA ČETINARA • Effect of air pollutants on the changes

of assimilation organs in conifers23

Vera Lavadinović, Vasilije Isajev

GENETSKI POTENCIJAL SEMENSKIH OBJEKATA BUKVE U SRBIJI
- OSNOVA ZA OPLEMENJIVANJE VRSTE • Genetic potential of beech

seed sources in Serbia - the base for species improvement32

Pero Radonja, Miloš Koprivica, Vera Lavadinović

MODELI VISINSKOG RASTA KULTURA DUGLAZIJE NA RAZLIČITIM
STANIŠTIMA U SRBIJI • Height increment models of Duoglas-fir culture

on different sites in Serbia.....40

Milun Krstić, Snežana Stajić, Vlado Čokeša, Bratislav Matović

PRILOG POZNAVANJU KVALITETA IZDANAČKIH BUKOVIH
ŠUMA ISTOČNE SRBIJE • A contribution to the study of coppice beech forest

quality in East Serbia53

Miroslava Marković, Mara Tabaković-Tošić

PRILOG POZNAVANJU EPIKSILNIH GLJIVA U IZDANAČKIM BUKOVIM
ŠUMAMA NA PODRUČJU CRNOG VRHA I DUBAŠNICE KOD BORA

• A contribution to the study of epixylous fungi in coppice beech forests
in the region of Crni vrh and Dubašnica near Bor67

Mara Tabaković-Tošić, Miroslava Marković

PRILOG POZNAVANJU ŠTETNE ENTOMOFAUNE IZDANAČKIH
BUKOVIH ŠUMA CRNOG VRHA I DUBAŠNICE KOD BORA • A contribution
to the study of harmful entomofauna in coppice beech forests of Crni vrh

and Dubašnica near Bor78

Mara Tabaković-Tošić

- HRASTOVI DEFOLIJATORI IZ REDA LEPIDOPTERA I DEFOLIJACIJA
U ŠUMAMA PODRUČJA ŠUMSKOG GAZDINSTVA "RASINA" KRŠEVAC
• Oak defoliators in the order Lepidoptera and defoliation in the forest region
of the Forest estate "Rasina" Krševac91

Mara Tabaković-Tošić, Slobodan Milanović, Katarina Babović

- EFIKASNOST MIKROBIOLOŠKOG PREPARATA D-STOP U BORBI PROTIV
DUDOVCA (*Hyphantria cunea* Drury) • Efficiency of the microbiological
preparation D-stop In the control of the fall webworm (*Hyphantria cunea* Drury)101

Milić Matović, Mihailo Ratknić, Ljubinko Rakonjac

- PLODOVI, ZAČINI I LEKOVITO BILJE ŠUMSKIH PODRUČJA SRBIJE
I NJIHOVA PRERADA • Fruits, spices and medicinal plants in the forest
regions of Serbia and their processing111

Milorad Zlatanović, Bogdan Stefanović

- OPTIMIZACIJA RASPOREDA ZEMLJANIH MASA PRI GRADNJI ŠUMSKIH
PUTEVA • Optimisation of earth mass distribution in forest road construction117

Sonja Braunović, Svetlana Bilibajkić, Tomislav Stefanović

- DEFINISANJE EROZIVNOSTI PADAVINA NA PODRUČJU BEOGRADA
• Definition of rainfall erosivity in Belgrade region.....130

Miljan Veljić, Tomislav Stefanović

- ANALIZA ZAPLAVA PREGRADE br. 1 U KUSOVRAANSKOJ RECI • Analysis
and effect of the first dam siltation in the Kusovranska reka.....139

Radovan Nevenić, Nenad Marković, Tomislav Stefanović

- METODOLOŠKI PRISTUP MANIPULACIJE PODACIMA U ŠUMARSTVU
GIS ALATOM • Spatial relation in hunting domain researched
by GIS methodology149

Radovan Nevenić, Nenad Marković, Dušan Petrović

- ISTRAŽIVANJE PROSTORNIH RELACIJA GIS METODOLOGIJOM
U DOMENU LOVSTVA • Spatial relation in hunting domain researched
Data manipulation in forestry by GIS tool - methodological approachby
GIS methodology158

Vladimir Lazarev, Miljan Veljić, Ljiljana Brašanac,

Katarina Babović, Slobodan Milanović

- MODEL PROCENE POTENCIJALA I PRINOSA JESTIVIH GLJIVA
• Assessment model of edible mushroom potential and yield166

Vladimir Lazarev, Dragan Karadžić

- ULOGA HERBICIDA I FUNGICIDA U SISTEMU INTEGRALNE ZAŠTITE
BILJAKA U ŠUMSKIM RASADNICIMA • The role of herbicides and fungicides
in the system of integral protection of plants in forest nurseries180

Milanka Batinić

- PROJEKTOVANJE NAUČNOISTRAŽIVAČKE ORGANIZACIJE • Design
of scientific research organisations186

UDK 630*383

Originalan naučni rad

OPTIMIZACIJA RASPOREDA ZEMLJANIH MASA PRI GRADNJI ŠUMSKIH PUTEVA

Milorad Zlatanović, Bogdan Stefanović

Iz v o d: U radu je predstavljen jedan od načina rešavanja transportnog problema pri iskupu, premeštanju i deponovanju zemljanog materijala u toku gradnji šumskih puteva. Izrada optimalnog plana rasporeda zemljanog materijala se postiže minimiziranjem ukupnih troškova transporta rešavanjem transportnog problema linearnog programiranja. Dobijanje optimalnog rešenja transporta zemljanog materijala iz useka ili pozajmišta i njihov raspored u odgovarajuće nasipe ili deponije, jednostavnost primene i postojanje softvera koji podržava predstavljenu metodologiju zahteva napuštanje do sada korišćenog metoda grafičkog nivelanja masa primenom metode optimizacije.

K l j u č n e r e č i: šumski putevi, gradnja šumskih puteva, linearno programiranje, transportni problem, optimizacija.

OPTIMISATION OF EARTH MASS DISTRIBUTION IN FOREST ROAD CONSTRUCTION

A b s t r a c t: One of the methods of resolving the transport problem in cutting, transfer and deposition of earth material during forest road construction was presented. The optimal plan of earth material distribution is achieved by minimising the total transport costs, solving the transport problem by linear programming.

Now it is necessary to abandon the previously used method of graphical levelling of masses by the method of optimisation. The presented method is the optimal solution of earth material transport from the cut or borrow pit and its distribution into the fills or stockpiles, with simple application and with the software which supports the methodology.

K l j u č n e r e č i: forest roads, forest road construction, linear programming, transport problem, optimisation.

Prof. dr Milorad Zlatanović, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu; mr Bogdan Stefanović, istraživač saradnik, Institut za šumarstvo - JP "Srbijašume", asistent, Šumarski fakultet Univerziteta u Beogradu.

1. UVOD

Sastavni deo procesa proizvodnje je transport sredstava za rad, radne snage i predmeta rada u prostoru. Troškovi transporta značajno učestvuju u ukupnim troškovima proizvodnje, zbog čega se, kroz optimizaciju postiže organizaciono poboljšanje, smanjenje troškova i tehnološko unapređenje transportnog procesa. Problem transporta se rešava primenom transportne metode linearnog programiranja. Veliki doprinos izučavanju i primeni ove metode dali su L.V. Kantorovič i F.L. Hitchcock. Međutim, neka specifična pitanja transporta, kao što je raspoređivanje zemljanih masa pri gradnji puteva, nisu još uvek rešena, pa su, zbog toga, predmet naučnih istraživanja.

Pri gradnji šumskih puteva transportuje se različit materijal, pri čemu dominantno mesto zauzima transport zemljanog materijala. Iskop, premeštanje i deponovanje, odnosno, raspored zemljanog materijala utiče na srednju transportnu distancu, broj angažovanih mašina u transportnom sistemu, vreme izvršenja transporta i ukupne troškove izgradnje šumskih puteva. Transportni problem podrazumeva određivanje najekonomičnijeg plana transporta proizvoda, poluproizvoda ili sirovina (zemljani materijal), od mesta proizvodnje (mesta iskopa zemlje) do mesta potrošnje (mesta ugrađivanja zemlje).

Do rešenja složenog problema rasporeda zemljanih masa pri gradnji šumskih puteva moguće je doći na više načina, ali se optimalno rešenje može dobiti transportnom metodom linearnog programiranja. Ova numeričko-analitička metoda daje optimalan plan transporta, odnosno, optimalan raspored zemljanih masa pri gradnji šumskih puteva. Određivanje optimalnog plana transporta postiže se minimiziranjem njegovih troškova za određeni putni pravac. Funkcija cilja se, dakle, postiže minimiziranjem ukupnih transportnih troškova ili ukupnih transportnih momenata, pri čemu se ograničenja odnose na raspoloživu mehanizaciju, radnu snagu, finansijska sredstva i karakteristike terena u kojima se gradi šumski put.

Primenjen metod optimizacije rasporeda zemljanih masa bio je osnov za izradu originalnog programskog paketa *TranS*, autora ovog rada, kojim se rešava transportni problem. U radu je za rešavanje optimizacije zemljanih masa korišćen pomenuti softver.

2. PROBLEM ISTRAŽIVANJA

Transportni problem se sastoji u određivanju količine proizvoda x_{ij} (zemljanog materijala) koji treba transportovati iz proizvodnog punkta A_i (mesta iskopa zemlje) u potrošački punkt B_j (mesta ugrađivanja zemlje), a da ukupni transportni troškovi budu minimalni.

Ako se sa A_i obeleži i -ti punkt proizvodnje i pretpostavi da ih ima m , a da je poznata proizvodnja i -tog punkta koja iznosi a_i i sa B_j se obeleži j -ti punkt

potrošnje uz pretpostavku da ih ima n i da je poznata količina potrošnje j -tog punkta koja iznosi b_j dobija se osnova za postavku problema. S obzirom da su poznati: mreža saobraćajnica na radilištu i raspoloživa transportna sredstva, može se odrediti cena transporta iz proizvodnog punkta A_i u potrošački punkt B_j koja se obeležava sa c_{ij} .

U zavisnosti od toga koliko proizvodni punktovi pokrivaju potrošačke punktove, postoje zatvoreni i otvoreni model transportnog problema.

2.1 Zatvoreni model transportnog problema

Funkcija cilja transportnog problema po troškovima transporta ima oblik:

$$F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

a skup ograničenja, kojih ukupno ima $m+n$, prema šemi transportnog problema (slika 1), može se napisati u obliku:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

gde su: c_{ij} - jedinična cena transporta iz i -tog iskopa u j -ti nasip
 x_{ij} - količina zemlje koja se transportuje iz i -tog iskopa u j -ti nasip
 a_i - količina zemlje u i -tom iskopu
 b_j - količina zemlje u j -tom nasipu
 m - broj iskopa
 n - broj nasipa.

Sumirajući leve i desne strane sistema ograničenja (2), odnosno (3), dobiće se:

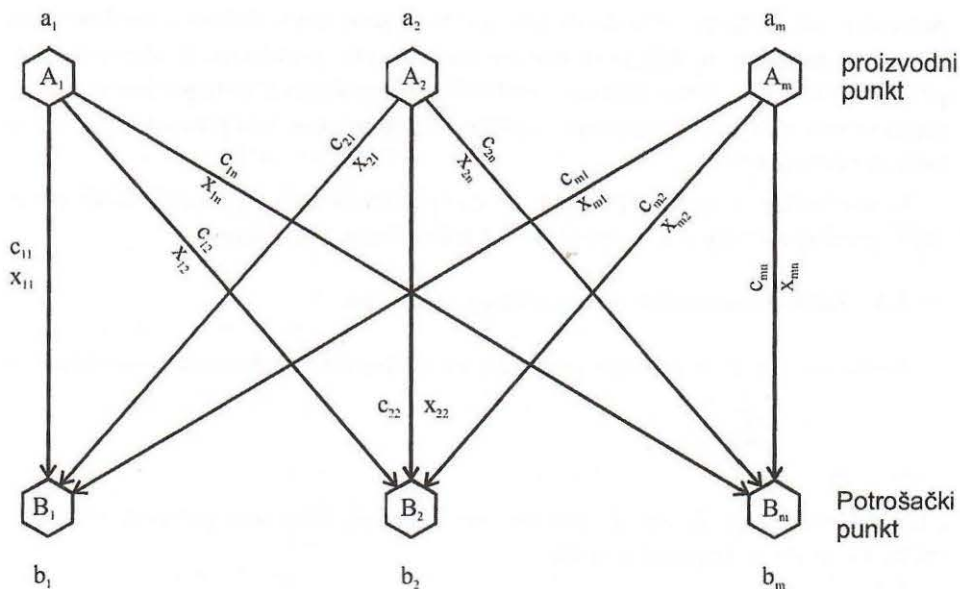
$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} = \sum_{i=1}^m a_i \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m x_{ij} = \sum_{j=1}^n b_j \quad (5)$$

Ukoliko je ukupna količina proizvoda (iskopa zemlje) jednaka ukupnoj količini potrošnje (deponovanju zemlje), dobija se odnos oblika:

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j \quad (6)$$

što predstavlja zatvoreni model transportnog problema.



Slika 1.- Šema transportnog problema

Jednačinama (4) i (5), a imajući u vidu ravnotežu proizvodnje i potrošnje (6), pokazana je linearna zavisnost sistema jednačina (2) i (3). Njihov rang je $r=m+n-1$, odnosno, broj nezavisnih ograničenja je za jedan manji od ukupnog broja jednačina (2) i (3).

Matematička formulacija postavljenog problema sastoji se u određivanju minimuma funkcije cilja (1), pri skupu ograničenja (2) i (3), a da bude zadovoljeno i dopunsko ograničenje (7):

$$x_{ij} \geq 0 \quad (7)$$

odnosno, da rešenja x_{ij} moraju biti nenegativna.

2.2 Otvoreni model transportnog problema

U praksi nije uvek zadovoljen uslov ravnoteže proizvodnje i potrošnje (6), često se javlja slučaj da je proizvodnja veća od potrošnje, što se može izraziti u sledećem obliku:

$$\sum_{i=1}^m a_i > \sum_{j=1}^n b_j \quad (8)$$

U ovom slučaju, skup ograničenja (2) i (3) imaju sledeći oblik:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq a_i \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

Matematički model transportnog problema definisan funkcijom cilja (1) i skupom ograničenja (7), (9) i (10) naziva se *otvoreni model*.

Kod otvorenog modela transportnog problema (8), pored određivanja količine x_{ij} koje treba transportovati iz punktova proizvodnje A_i u punktove potrošnje B_j , treba odrediti i količine koje ostaju ili nedostaju u pojedinim punktovima proizvodnje. Sa aspekta rasporeda zemljanih masa, u praksi se često dešava da je količina iskopanog zemljanog materijala iz useka veća ili manja od potreba za zemljanim materijalom u nasipu.

Otvoreni model transportnog problema se, pri proračunu, svodi na transportni problem zatvorenog modela tako što se uvodi fiktivni punkt potrošnje B_{n+1} , čije su potrebe:

$$b_{n+1} = \sum_{i=1}^m a_i - \sum_{j=1}^n b_j \quad (11)$$

a cena transporta iz bilo kog punkta proizvodnje u punkt potrošnje B_{n+1} je jednaka nuli. Na ovaj način dobijaju se količine x_{ij} koje treba transportovati iz punktova proizvodnje u punktove potrošnje, ali i količine koje treba da ostanu u pojedinim punktovima proizvodnje.

Druga mogućnost kod otvorenog modela transportnog problema je slučaj kada je proizvodnja manja od potrošnje. U tom slučaju se odnos količina proizvodnje i potrošnje može izraziti u sledećem obliku:

$$\sum_{i=1}^m a_i < \sum_{j=1}^n b_j \quad (12)$$

U ovom slučaju, skup ograničenja (2) i (3) imaju sledeći oblik:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (14)$$

Ovaj tip otvorenog modela transportnog problema je definisan funkcijom cilja (1) i skupom ograničenja (7), (13) i (14).

Kod tipa otvorenog modela transportnog problema (12), pored određivanja količina x_{ij} koje treba transportovati iz punkta proizvodnje A_i , u punkt potrošnje

B_j , treba odrediti i kolika je količina nedostajućeg proizvoda po pojedinim punktovima potrošnje.

Ovakav otvoreni model transportnog problema svodi se na transportni model zatvorenog tipa tako što se uvodi fiktivni punkt proizvodnje A_{m+1} , čija se količina proizvodnje može izračunati iz odnosa:

$$a_{m+1} = \sum_{j=1}^n b_j - \sum_{i=1}^m a_i \quad (15)$$

a cena transporta iz punkta proizvodnje A_{m+1} , u bilo koji punkt potrošnje jednaka je nuli.

Formalno gledano otvoreni model transportnog problema uvek može da se svede na zatvoreni model transportnog problema. Međutim, u praksi ipak treba biti obazriv i detaljno razmotriti konkretan problem. Ponekad se usvaja da su cene transporta od proizvodnog punkta do fiktivnog potrošačkog punkta jednake nuli, što formalno gledano i jeste tačno, jer se višak materijala ne transportuje, već ostaje u proizvodnom punktu. Količinu materijala koji je ostao u proizvodnom punktu treba odložiti, pa će nastati troškovi odlaganja materijala koji moraju da figurišu i u funkciji cilja.

Pri konstrukciji matematičkog modela mogu da se pojave i drugi problemi. Na primer, slučaj kada neki proizvodni punkt ne može da uskladišti višak materijala. To praktično znači, da treba formirati model transporta sa nedopustivim trasama od tog proizvodnog punkta do fiktivnog prijemnog punkta.

Kao što se iz navedenog vidi, otvoreni model transportnog problema se ne sme formalno svesti na zatvoreni model, već se mora posmatrati suština problema i njegovo praktično razrešenje.

Primer zatvorenog modela transportnog problema u šumarstvu je transport drveta u brigadnom sistemu seče i izrade bez zadržavanja drvnih sortimenata u šumi, a klasičan primer otvorenog modela transportnog problema je transport zemljanog materijala pri izvođenju zemljanih radova na gradnji šumskih puteva.

3. MATERIJAL I METOD RADA

Transportni problem rasporeda zemljanog materijala pri gradnji šumskih puteva se rešava tabelarnim proračunavanjem, gde se iteracijom dolazi do optimalnog rešenja. Postupak rešavanja se sastoji iz dve etape. U prvoj etapi se iznalazi početno, bazisno, rešenje metodom severozapadnog ugla (*North-West Corner Rule*), dok se u drugoj etapi poboljšavanjem početnog rešenja kroz konačan broj iteracija dobija optimalno rešenje - modifikovanom metodom distribucije (*Modified Distribution Method*), tzv. MODI metodom.

U radu je obrađen konkretan primer određivanja optimalnog plana transporta zemlje, odnosno, rešavanja transportnog problema pri izgradnji putnog pravca

Kamenica–Brezna. Ovaj put se nalazi na obroncima planine Goč u centralnoj Srbiji i povezuje Nastavnu bazu Šumarskog fakulteta Univerziteta u Beogradu sa gradom Kraljevom. Za ilustraciju rešavanja transportnog problema, odnosno optimizacije zemljanih masa uzeto je pet nasipa u koje će se transportovati zemlja iz sedam useka. Količina zemlje koja se kopa iz pojedinih useka a_i , količina zemlje koju mogu da prime pojedini nasipi b_j i jedinične cene transporta c_{ij} unapred su određene i date u tabeli 1.

Tabela 1.

$i \backslash j$	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	a_i
A_1	10	55	131	198	237	4445.84
A_2	39	17	108	171	206	2535.17
A_3	77	20	64	128	165	2754.31
A_4	168	108	28	42	78	11796.43
A_5	181	124	42	26	64	8524.58
A_6	194	136	55	18	55	5191.33
A_7	222	164	86	23	20	24211.76
b_j	6100	7425	18150	9790	21620	59469.42 63085.00

Izvor: original

4. REZULTATI RADA I ANALIZA

Optimizacija rasporeda zemljanog materijala primenom transportne metode postiže se određivanjem bazisnog rešenja, i na osnovu njega, daljom iteracijom rešenja dobijenih tabelarnim proračunavanjem postiže se optimalno rešenje. Radi ilustracije optimizacije rasporeda zemljanih masa pri gradnji šumskih puteva u ovom radu je predstavljen primer rešavanja problema transporta pri malim dimenzijama po broju useka i nasipa, količini i distanci s ciljem da se predstavi izračunavanje i iteracija na klasičan način.

Raspored zemljanog materijala pri gradnji šumskih puteva je transportni problem otvorenog tipa, jer je $\sum a_i < \sum b_j$, koji treba svesti na transportni problem zatvorenog tipa uvođenjem fiktivnog iskopa A_8 , gde je $a_8 = 63085,00 - 59469,42 = 3615,58 \text{ m}^3$. Cena transporta iz fiktivnog iskopa A_8 u bilo koju deponiju je jednaka nuli.

4.1 Određivanje bazisnog rešenja

Nalaženje početnog rešenja metodom severozapadnog ugla predstavljena je u tabeli 2.

Tabela 2.

i \ j	j	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	a _i
		$\beta_1=10$	$\beta_2=-12$	$\beta_3=-92$	$\beta_4=-129$	$\beta_5=-132$	
A ₁	$\alpha_1=0$	10 ; 10 4455,84	-12 ; 55	-92 ; 198	-129 ; 198	-132 ; 237	4455,84
A ₂	$\alpha_2=29$	39 ; 39 1644,16	17 ; 17 891,01	-63 ; 108	-100 ; 171	-103 ; 206	2535,17
A ₃	$\alpha_3=32$	42 ; 77	20 ; 20 2754,31	-60 ; 64	-97 ; 128	-100 ; 165	2754,31
A ₄	$\alpha_4=120$	130 ; 168	108 ; 108 3779,68	28 ; 28 8016,75	-9 ; 42	-12 ; 78	11796,43
A ₅	$\alpha_5=134$	144 ; 181	122 ; 124	42 ; 42 8524,58	5 ; 26	2 ; 64	8524,58
A ₆	$\alpha_6=147$	157 ; 194	135 ; 136	55 ; 55 1608,67	18 ; 18 3582,66	15 ; 55	5191,33
A ₇	$\alpha_7=152$	162 ; 222	140 ; 164	60 ; 86	23 ; 23 6207,34	20 ; 20 18004,42	24211,76
A ₈	$\alpha_8=132$	142 ; 0	120 ; 0	40 ; 0	3 ; 0	0 ; 0 3615,58	3615,58
b _j		6100	7425	18150	9790	21620	63085,00

Izvor: original

Ukupan broj promenljivih je: $m \cdot n = 8 \cdot 5 = 40$, pri čemu je usvojena vrednost $\alpha_1 = 0$.

Broj bazisnih promenljivih je: $m+n-1 = 8+5-1 = 12$ (rešenje nije degenerisano) i bazisne promenljive su:

$$\begin{aligned}
 x_{11} &= 4455,84 \text{ m}^3 & x_{32} &= 2754,31 \text{ m}^3 & x_{53} &= 8524,58 \text{ m}^3 & x_{74} &= 6207,34 \text{ m}^3 \\
 x_{21} &= 1694,16 \text{ m}^3 & x_{42} &= 3779,68 \text{ m}^3 & x_{63} &= 1608,67 \text{ m}^3 & x_{75} &= 18004,42 \text{ m}^3 \\
 x_{22} &= 891,1 \text{ m}^3 & x_{43} &= 8016,75 \text{ m}^3 & x_{64} &= 3582,66 \text{ m}^3 & x_{85} &= 3615,58 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Funkcija cilja tj. ukupni troškovi transporta iznose: $F = 1825442,87$ din.

4.2. Određivanje optimalnog rešenja

Za određivanje optimalnog rešenja korišćena je MODI metoda u kojoj se najpre izračuna maksimalna razlika ($R_{\max}$) pseudo cene i stvarne cene transporta zemljanog materijala: $R_{\max} = (c'_{ij} - c_{ij}) = c'_{81} - c_{81} = 142 - 0 = 142$, što znači da blok 81 postaje bazisni.

Kada se u bazisne blokove unese $c'_{ij} = c_{ij}$ i usvoji $\alpha_1=0$, iz uslova $c'_{ij} = \alpha_i + \beta_j$ se određuju ostale vrednosti α_i i β_j i računa pseudo cena u slobodnim blokovima prema $c'_{ij} = \alpha_i + \beta_j$.

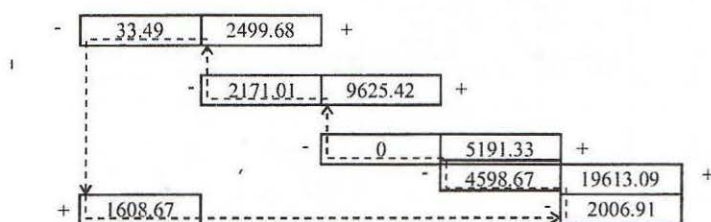
Ako se, na primer, posmatra blok 11, u kojem je $c'_{11} = c_{11} = 10$, uz usvojeno $\alpha_1=0$ i poznato $c'_{11} = c_{11} = \alpha_1 + \beta_1$, sledi: $\beta_1 = c_{11} - \alpha_1 = 10 - 0 = 10$.

Situacija na sledećem bazisnom polju ili bloku 21 je sledeća: $c'_{21} = c_{21} = 39$ a poznato je $\beta_1=10$, pa iz uslova $c'_{21} = c_{21} = \alpha_2 + \beta_1$, sledi da je $\alpha_2 = c_{21} - \beta_1 = 39 - 10 = 29$. Na analogan način se određuju i ostale vrednosti α_i i β_j .

Kada su određene vrednosti α_i i β_j iz uslova $c'_{ij} = \alpha_i + \beta_j$, računaju se pseudo cene u slobodnim blokovima. Ako se posmatra blok 31 u kome je $\alpha_3 = 32$ i $\beta_1 = 10$ računa se pseudo cena $c'_{31} = 32 + 10 = 42$. Analogno se računaju i ostale pseudo cene u slobodnim blokovima.

Kad se izračunaju sve pseudo cene, a stvarne cene transporta su poznate, nalazi se najveća razlika između njih tj. određuje se $R_{\max} = \max (c'_{ij} - c_{ij})$. U tabeli 2 najveća razlika je u bloku 81 i iznosi $R_{\max} = 142$, tako da on postaje bazisni blok, tj. promenljiva x_{81} postaje bazisna promenljiva. Slobodna promenljiva postaje ona koja ima najmanju vrednost količine za transport, a u lancu računanja dobija negativan predznak. U ovom slučaju to je $x_{63} = 1608,67$.

Optimizacija se vrši preko lanca: 81-85+75-74+64-63+43-42+22-21.



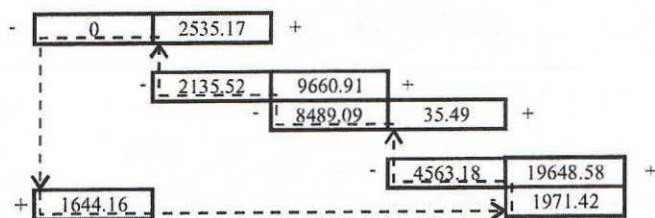
Kada se doda tj. oduzme vrednosti $x_{63} = 1608,67$ duž lanca, dobija se prethodna šema kojom popunjavamo tabelu 3. U ostala polja, koja se ne nalaze na lancu optimizacije, upisuju se iste vrednosti za promenljive x_{ij} koje se nalaze u tabeli 2. Kad ce upišu sve vrednosti x_{ij} u tabelu 3 se unose stvarne cene, koje su iste za sve tabele, a zatim određuju pseudo cene i vrši dalja optimizacija.

Posle prve iteracije ukupni transportni troškovi iznose: $F_1 = 1597011,62$ din.

U sve u bazisne blokove tabele 3 su, pored stvarnih cena, unete i pseudo cene $c'_{ij} = c_{ij}$ uz usvojeno $\alpha_8 = 0$, a zatim određene ostale vrednosti α_i i β_j jer za bazisna polja važi $c_{ij} = \alpha_i + \beta_j$ i određene pseudo cene u slobodnim blokovima, gde važi odnos $c'_{ij} = \alpha_i + \beta_j$.

U polju 54 tabele 3 je $R_{\max} = 121$, što znači da promenljiva x_{54} postaje bazisna promenljiva, a promenljiva koja ima najmanju vrednost u lancu dobija negativan predznak i postaje slobodna promenljiva.

Optimizacija se vrši preko lanca: 54-53+43-42+22-21+81-85+75-74.



Kada se doda tj. oduzme $x_{21} = 35,49$, kao najmanja vrednost bloka u kome se oduzimaju vrednosti količine zemlje duž lanca, dobija se prethodna šema na osnovu koje se popunjava tabela 4.

Ukupni transportni troškovi posle druge iteracije iznose: $F_2 = 1592717,20$ din.

Tabela 3.

i \ j		B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	α
		β ₁ =0	β ₂ =-22	β ₃ =-102	β ₄ =3	β ₅ =0	
A ₁	α ₁ =0	10 : 10 4455,84	-12 : 55	-92 : 131	13 : 198	10 : 237	4455,84
A ₂	α ₂ =39	39 : 39 35,49	17 : 17 2499,68	-63 : 108	42 : 171	39 : 206	2535,84
A ₃	α ₃ =42	42 : 77	20 : 20 2754,31	-60 : 64	45 : 128	42 : 165	2754,31
A ₄	α ₄ =130	130 : 168	108 : 108 2171,01	28 : 28 9625,42	133 : 42	130 : 78	11796,43
A ₅	α ₅ =144	144 : 181	122 : 124	42 : 42 8524,58	147 : 26	144 : 64	8524,58
A ₆	α ₆ =15	17 : 194	-7 : 136	-87 : 65 0	18 : 18 5191,33	17 : 55	5191,33
A ₇	α ₇ =20	20 : 222	-2 : 164	-82 : 86	23 : 23 4598,67	20 : 20 19613,09	24211,76
A ₈	α ₈ =0	0 : 0 1608,67	-22 : 0	-102 : 0	3 : 0	0 : 0 2006,91	3615,58
b _i		6100	7425	18150	9790	21620	63085,00

Izvor: original

Tabela 4.

i \ j		B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	α
		β ₁ =0	β ₂ =99	β ₃ =19	β ₄ =3	β ₅ =0	
A ₁	α ₁ =10	10 : 10 4455,84	109 : 55	29 : 131	13 : 198	10 : 237	4455,84
A ₂	α ₂ =-82	-82 : 39	17 : 17 2535,17	-63 : 108	-79 : 171	-62 : 206	2535,17
A ₃	α ₃ =-79	-79 : 77	20 : 20 2754,31	-60 : 64	-76 : 128	-79 : 165	2754,31
A ₄	α ₄ =9	9 : 168	108 : 108 2153,521	28 : 28 9660,91	12 : 42	9 : 78	11796,43
A ₅	α ₅ =23	23 : 181	122 : 124	42 : 42 8489,09	26 : 26 35,49	23 : 64	8524,58
A ₆	α ₆ =15	15 : 194	114 : 136	34 : 55	18 : 18 5191,33	15 : 55	5191,33
A ₇	α ₇ =20	20 : 222	119 : 164	39 : 86	23 : 23 4563,18	20 : 20 19648,58	24211,76
A ₈	α ₈ =0	0 : 0 1644,16	99 : 0	19 : 0	3 : 0	0 : 0 1971,42	3615,58
b _i		6100	7425	18150	9790	21620	63085,00

Izvor: original

U Tabeli 4 je usvojeno $\alpha_8 = 0$ i $R_{\max} = c'_{82} - c_{82} = 99$.

Bazisna promenljiva postaje x_{82} a slobodna promenljiva x_{85} jer je u bloku 85 najmanja količina zemlje od koje se oduzima vrednost koja vodi optimizaciji.

Lanac optimizacije je: 82-85+75-74+54-53+43-42.

Kada se vrednost $x_{85} = 1971,42$ doda tj. oduzme od odgovarajućih količina u lancu dobija se šema, na osnovu koje je popunjena tabela 5.

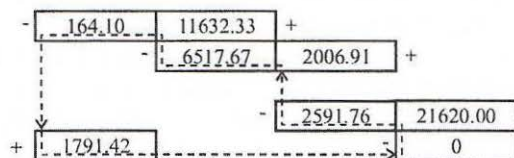


Tabela 5.

i \ j		B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	α_i
		$\beta_1=0$	$\beta_2=0$	$\beta_3=-80$	$\beta_4=-96$	$\beta_5=-99$	
A ₁	$\alpha_1=10$	10 ; 10 4455,84	10 ; 55	-70 ; 131	-86 ; 198	-89 ; 237	4455,84
A ₂	$\alpha_2=17$	17 ; 39	17 ; 17 2535,17	-63 ; 108	-79 ; 171	-82 ; 206	2535,17
A ₃	$\alpha_3=20$	20 ; 77	20 ; 20 2754,31	-60 ; 64	-76 ; 128	-79 ; 165	2754,31
A ₄	$\alpha_4=108$	108 ; 168	108 ; 108 164,10	28 ; 28 11632,33	12 ; 42	9 ; 78	11796,43
A ₅	$\alpha_5=122$	122 ; 181	122 ; 124	42 ; 42 6517,67	26 ; 26 2006,91	23 ; 64	8524,58
A ₆	$\alpha_6=114$	114 ; 194	114 ; 136	34 ; 55	18 ; 18 5191,33	15 ; 55	5191,33
A ₇	$\alpha_7=119$	119 ; 222	119 ; 164	39 ; 86	23 ; 23 2591,76	20 ; 20 21620,00	24211,76
A ₈	$\alpha_8=0$	0 ; 0 1644,16	0 ; 0 1971,42	-80 ; 0	-96 ; 0	-99 ; 0 0	3615,58
b _j		6100	7425	18150	9790	21620	63085,00

Izvor: original

S obzirom da u toku treće iteracije, u tabeli 5, ni jedna pseudo cena (c'_{ij}) nije veća od stvarne cene (c_{ij}) transporta zemljanog materijala, može se konstatovati da je optimalni plan određen. Minimalni troškovi transporta zemljanog materijala će se postići ako se transport vrši po planu predstavljenom u tabeli 5, pri čemu troškovi iznose: $F_3 = 1397547$ din.

Optimalni plan rasporeda zemljanog materijala ima sledeći oblik:

- iz prvog iskopa (A₁) kompletan zemljani materijal u količini od $x_{11} = 4455,84 \text{ m}^3$ treba transportovati u prvi nasip (B₁);
- u prvom nasipu (B₁) nedostaje $x_{81} = 1644,16 \text{ m}^3$ zemlje, što će se nadoknaditi iz pozajmišta;
- iz drugog iskopa (A₂) kompletan zemljani materijal u količini od $x_{22} = 2535,17 \text{ m}^3$ treba transportovati u drugi nasip (B₂);
- iz trećeg iskopa (A₃) kompletan zemljani materijal u količini od $x_{32} = 2754,31 \text{ m}^3$ treba transportovati u drugi nasip (B₂);

- iz četvrtog iskopa (A_4) deo zemljanog materijala u količini od $x_{42} = 64,10 \text{ m}^3$ treba transportovati u drugi nasip (B_2), a deo zemljanog materijala u količini od $x_{43} = 11632,22 \text{ m}^3$ treba transportovati u treći nasip (B_3);
- drugom nasipu (B_2) će nedostajati $x_{82} = 1971,42 \text{ m}^3$ zemljanog materijala, što će se nadoknaditi iz pozajmišta;
- iz petog iskopa (A_5) deo zemljanog materijala u količini od $x_{53} = 6517,67 \text{ m}^3$ treba transportovati u treći nasip (B_3), a deo zemljanog materijala u količini od $x_{54} = 2006,91 \text{ m}^3$ treba transportovati u četvrti nasip (B_4);
- iz šestog iskopa (A_6) kompletan zemljani materijal u količini od $x_{64} = 5191,33 \text{ m}^3$ treba transportovati u četvrti nasip (B_4);
- iz sedmog iskopa (A_7) deo zemljanog materijala u količini od $x_{74} = 2591,76 \text{ m}^3$ treba transportovati u četvrti nasip (B_4), a deo zemljanog materijala u količini od $x_{75} = 21620,00 \text{ m}^3$ treba transportovati u peti nasip (B_5);
- kapaciteti trećeg (B_3), četvrtog (B_4) i petog nasipa (B_5) su popunjeni.

5. ZAKLJUČAK

Izvršenje zemljanih radova pri gradnji šumskih puteva je neposredno povezano sa transportom zemljanog materijala. S obzirom na količinu i značajna finansijska sredstva koja se angažuju u transportu zemljanog materijala ovom problemu treba posvetiti posebnu pažnju. U okviru rešavanja transportnog procesa na izgradnji šumskih puteva, posebno mesto zauzima problem rasporeda zemljanih masa, odnosno njegova optimizacija.

Zahtevi koji se nameću u pogledu kvalitetnije, ekonomičnije i brže izgradnje šumskih puteva imaju uticaj i na formiranje modela za optimalno rešavanje transporta zemljanih masa pri izgradnji ovih objekata.

Primena savremenih rešenja kroz optimizaciju u okviru transportnog problema linearnog programiranja i na osnovu njih korišćenje programskih paketa koji podržavaju ovu metodologiju, kao što je program *TransS*, koga su realizovali autori ovog rada, zahteva napuštanje doskorašnjeg načina rešavanja ovog problema metodom grafičkog nivelanja masa povlačenjem uravnica i računanjem površina zemljanih masa.

LITERATURA

- Aldohin, I.P. (1970): Теория массового обслуживания в промышленности. Экономика, Москва.
- Анисимов, А.П., Юфин, В.К. (1980): Экономика, организация и планирование работы автомобильного транспорта. Транспорт, Москва.
- Ansoff, M.I. (1984): Strategic Management. The Macmillan Press, London.
- Cole, G.A. (1990): Management - Theory and Practice. DP Publication, London.
- Drücker, P. (1974): Management: Tasks, Responsibilities, Practices. Harper&Row, Publishers, New York.

- Drücker, P. (1981): Towards to the next Economy and other Essays. N.R., New York.
- Ferry, J.D., Brandon, S.B. (1991): Cost Planning of Buildings. BSP, Professional Books, Oxford, UK.
- Stefanović, B. (2000): Analiza faza planiranja gradnje šumskog puta. IV internacionalni simpozijum iz project managementa YUPMA 2000: "Upravljanje projektima u Jugoslaviji na početku novog milenijuma", Zlatibor, str. 258-263.
- Zlatanović, M. (1994): Osnovi saobraćajnica I. Udžbenik. Građevinski fakultet, Niš.
- Zlatanović, M. (1995): The optimal way of transporting ground with the construction of the lines of communication. Facta universitatis, Series Architecture and Civil Engineering, Niš, University of Niš, Vol. 1, No 2.
- Zlatanović, M., Stefanović, B. (2000): Numerical method for the disposition of soil masses in forest road engineering. XXI IUFRO World Congress 2000: "Forests and Society: The Role of Research", Theme: Forest operations under mountainous conditions, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Zlatanović, M., Trajković, D. (1997): Autotransport costs optimization on traffic ways building. Facta universitatis, Series Architecture and Civil Engineering, Niš, University of Niš, Vol. 1, No 4.
- ***** (1954): Glavni projekat puta Kamenica-Brezna. Šumarski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd.

OPTIMISATION OF EARTH MASS DISTRIBUTION IN FOREST ROAD CONSTRUCTION

*Milorad Zlatanović
Bogdan Stefanović*

Summary

In forest road construction, earth material is transported from the place of cutting to the place of deposition. The cut, transfer and deposition, i.e., the distribution of earth material affects the mean transport distance, number of machines engaged in the transport system, transport time and total costs of forest road construction. Transport costs of earth masses occupy a significant portion of the scope of works in forest road construction, and also by the size of engaged financial means. To reduce the financial investments in forest road construction, we propose the application of transport method linear programming. The above method achieves the optimal distribution of earth masses, by which transport costs are minimised. In addition, this method can also be used for optimising the transport of other types of material in forest road construction.

The optimisation of earth masses distribution in forest road construction is illustrated by the construction of the road section Kamenica-Brezna which is located on the slopes of the mountain Goč. In the first stage of the above section, the initial solution was determined by North-West Corner Rule, while in the second stage, by the improvement of the initial solution through the final number of iterations, we achieved the optimal solution by the Modified Distribution Method, i.e. MODI method.

The implementation of the presented method of optimisation of earth mass distribution imposes the need to completely abandon the previously applied methods of earth mass levelling by the graphical method.