

GDK 37__015.5:66

Prispelo / Received: 27. 03. 2000

Sprejeto / Accepted: 19. 04. 2000

Izvirni znanstveni članek
Original scientific paper

UPORABA GIS TEHNOLOGIJE PRI IZBIRI SMERI PREVOZA LESA

Janez KRČ¹

Izvleček

Prispevek predstavlja model, ki določa smer prevoza lesa na določenem območju, kjer lahko izbiramo med več enakovrednimi smermi z vidika nadaljnjega prevoza (od meje območja do ciljev prevoza lesa). Smer določi s primerjavo prevoznih stroškov, ki se spreminjajo v odvisnosti od dolžine vožnje in kakovosti cest. Kazalca kakovosti cest sta vrsta (asfalt, makadam) in podolžni naklon ceste. Pridobivanje podatkov o podolžnih naklonih cest zagotavlja nova metoda, ki uporablja podatke digitalnega modela reliefa in digitalno zbirko podatkov o cestnem omrežju. Vsi izračuni so narejeni v rastrskem GIS (geografski informacijski sistem) okolju, ki zahteva uporabo geokodiranih podatkov. Model razdeli območje (gozdove v območju) na predele z vnaprej izbranimi smermi prevoza lesa. Smeri prevoza pa določajo mejne kontrolne točke. Izbrane morajo biti na mestih, kjer izvozne ceste izstopajo iz območja. Model smo preizkusili na gozdnogospodarski enoti Jezersko, ki obsega 5100 ha gozdov.

Ključne besede: prevoz lesa, smer prevoza, računalniški model, GIS tehnologija, ekonomsko vrednotenje, strošek prevoza

SELECTING A WOOD TRANSPORTATION ROUTE WITH GIS TECHNOLOGY

Abstract

This article presents a model establishing the route for wood transportation. It is designed for areas where we can choose between several routes considered to be equivalent from the viewpoint of further transportation (from the border of the relevant area to the destinations of wood transports). The route is established by comparing transportation costs, which are subject to the transportation distance and road quality. The indicators of road quality are the road type (asphalt or macadam) and the longitudinal inclination of the road. The data on longitudinal road inclinations is obtained by a new method using the data of a digital relief model and a digital data bank on the road network. All calculations are done in a GIS (geographical information system) environment requiring the use of geo-coded data. The model divides the area (the forests in the area) into sections with routes of wood transportation selected in advance. The transportation routes delimit the border control points. They are set at the spots where the roads exit the area. The model has been tried on the forest management unit of Jezersko, which encompasses forests of 5100 ha.

Key words: wood transportation, transportation route, computer model, GIS technology, economic evaluation, transportation costs

¹ Asist. dr., Biotehniška fakulteta, Odd. za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Večna pot 83, 1000 Ljubljana, SI

**VSEBINA
CONTENTS**

1	UVOD	
	INTRODUCTION.....	51
2	METODA	
	METHOD.....	52
3	PRIMER	
	EXAMPLE.....	58
4	SKLEP	
	CONCLUSIONS.....	68
5	POVZETEK	69
6	SUMMARY	70
7	VIRI	
	REFERENCES.....	71

1 UVOD

INTRODUCTION

Transportni problemi so pogosta tema raziskav v gozdarstvu (WINKLER 1973, OTRIN 1974, KRAJČIČ 1996). V velikem deležu tovrstnih raziskav gre za optimizacijo določanja poti iz gozda do kupcev lesa, pri čemer je cilj minimalni prevozni strošek. Eden od konkretnih izračunov prihranka pri optimiranju prevoza lesa z uporabo metode linearnega programiranja je narejen za GG Nazarje (KRAJČIČ 1997). Rezultat linearne optimizacije primerja z dejanskimi stroški prevoza lesa za GG Nazarje v letu 1995 in ugotovi 11 % prihranek v korist optimizacije.

Pri pridobivanju lesa je veliko problemov povezanih z zagotavljanjem izboljšanja transporta lesa. Posekan les (sekundarna gozdna proizvodnja - primarna gozdna proizvodnja je usmerjena rast lesa) je potrebno dostaviti kupcem, kar opravimo v fazi spravila in prevoza lesa. Ti dve, sicer organizacijsko ločeni fazi, imata stično točko, to je skladišče lesa ob kamionski cesti. Kupci povečini zahtevajo les določene kakovosti in dimenzij, kar močno vpliva na organizacijo transporta lesa. Stroški prevoza lesa so praviloma ločeni od stroškov sečnje in spravila lesa. Ceno za les zato pogosto določamo na kamionski cesti. Če les dostavimo kupcu, ta nato plača višjo ceno, kot bi jo za les na kamionski cesti, saj dodamo stroške prevoza lesa (obračunska enota je ton kilometer (tkm)). V kalkulaciji cene prevoza lesa upoštevamo številne vplivne dejavnike, od katerih je večina vezana na vrsto kamiona oz. gozdarske transportne kompozicije (GTK), pomembna pa je tudi dolžina prevoza.

Predvidevamo, da imajo poleg izbire GTK in dolžine prevoza lesa pomembno vlogo stanje in lastnosti cest, po katerih prevažamo les. Povezanost teh vplivnih dejavnikov s stroški prevoza lesa je še dokaj neraziskana. Ugotoviti bi bilo potrebno, za koliko se razlikujejo stroški prevoza lesa na tkm pri različnih lastnostih cest. Če bi rezultati kazali značilne razlike, bi morali pri kalkulacijah upoštevati tudi lastnosti cest. Pri tem bi si lahko pomagali z orodji sodobnih geografskih informacijskih sistemov, kar bi izboljšalo možnosti variantnih izračunov stroškov prevoza lesa. Pri posameznih zaključenih sistemih delovnih enot (množica izvorov, ki jih predstavljajo skladišča lesa v gozdu in množica ponorov, ki jih predstavljajo kupci lesa), bi lahko uporabili podatke za konkretno cestno

omrežje in upoštevali tudi vpliv cest pri izračunu stroškovno optimalne organizacije prevoza.

Za svojo raziskavo smo določili naslednjo podmeno: stroški prevoza lesa so poleg vrste gozdarske transportne kompozicije odvisni predvsem od dolžine prevoza, kakovosti cest in podolžnega naklona cest. Na terenu se slednje tri postavke spreminjajo z vsakim skladiščem lesa ob kamionski cesti ter vsakim odjemalcem lesa oz. ciljem prevoza. Poleg cene za ton kilometer lahko pri izračunu ločeno upoštevamo tudi stroške, ki so odvisni od kakovosti in podolžnega naklona cest.

Kakovost ceste (makadam ali asfalt) lahko določimo že pri digitalizaciji cestnega omrežja, za model, ki izračuna podolžni naklon cest, pa smo uporabili predvsem možnosti programskih paketov za delo z rastrskim GIS-om. Uporabili smo program IDRISI (EASTMAN 1993), ki omogoča vrsto operacij s podatki, za katere je poleg vrednosti znana tudi lokacija na terenu. Program je zlasti orodje za geografske analize in ekološko modeliranje. Poleg vnosa (shranjevanje) podatkov omogoča vrsto geografskih analiz (poizvedovanje, kartno algebro, operacije na osnovi računanja razdalj, statistične izračune), obdelavo slik (izboljšavo kakovosti, različne transformacije, klasifikacije in ocene zanesljivosti le teh) ter nekaj že vgrajenih modulov za pomoč pri odločanju (decision support software), ki jih koristno uporabimo pri ekološkem modeliranju.

2 METODA

METHOD

Metoda je razdeljena na tri module, od katerih prva dva zagotovita potrebne vhodne podatke, tretji, osrednji modul, pa modelno določi porazdelitev prevoza lesa posameznim odjemalcem.

Za uporabo algoritma potrebujemo naslednje podatke in programska orodja:

- vektorsko ali rastrsko datoteko omrežja cest na analiziranem območju,
- digitalni model reliefa čim večje osnovne resolucije - to je ločljivosti zajemanja podatkov (gostote mreže podatkov o nadmorskih višinah),

- evidentirane točke cestnega omrežja, kjer bomo nadzorovali različice stroškov prevoza lesa v rastrski obliki računalniškega zapisa,
- programsko orodje IDRISI (EASTMAN 1993),
- paketne (macro) datoteke z ukazi za klicanje posameznih modulov v programskem okolju IDRISI, ki izračunajo podolžne naklone linijskih objektov (cest) ali že izdelano datoteko podolžnih naklonov cest.

Model je v veliki meri odvisen od točnosti potrebnih vhodnih podatkov. Potrebujemo podatke v digitalni obliki, in sicer (1) za potek, lego in (2) za nadmorske višine točk na cestnem omrežju. Kjer teh podatkov še nimamo v digitalni obliki, je zajemanje podatkov lahko časovno zelo obsežna naloga. Delo lahko olajša skeniranje kartnega materiala (TTN s plastnicami in cestnim omrežjem) v kombinaciji s programi za vektorizacijo rastrskih datotek.

2.1 ZAGOTOVITEV RAČUNALNIŠKE ZBIRKE PODATKOV O CESTNEM OMREŽJU (VEKTORSKA DATOTEKA CESTNEGA OMREŽJA)

COMPUTER DATA BANK ON ROAD NETWORK (VECTOR DATA BANK ON ROAD NETWORK)

Najprej moramo digitalizirati cestno omrežje (pri tem označevati ločeno asfaltne in makadamske ceste). Nato moramo dobiti podatke za digitalni model reliefa (DMR), ki pomaga izračunati podolžni naklon cest. Gozdarji pogosto uporabljamo računalniško zbirko DMR 100 x 100 m na državni ravni, ki je bila pridobljena z digitalizacijo temeljnih topografskih kart v merilu 1:10 000 in za nekatere predele 1:25 000.

2.2 EVIDENTIRANJE POTENCIALNIH ODJEMALCEV LESA

REGISTERING POTENTIAL WOOD PURCHASERS

Določiti moramo položaj (geografsko pozicijo) odjemalcev lesa. Pri večjem številu odjemalcev si pomagamo z digitalizacijo, za posamezne odjemalce pa le s pregledne karte odčitamo koordinate. Naredimo novo rastrsko datoteko, v kateri označimo mesta odjemalcev. Osnovni možnosti izdelave datoteke odjemalcev sta dve. (1) Rastrske točke,

ki označujejo mesto odjemalcev lesa, lahko označimo neposredno (modul UPDATE) z vnosom relativnih ali absolutnih koordinat. (2) Rastriramo točkovne vektorske datotek, ki smo jih zajeli z digitalizacijo mest odjemalcev (modul POINTRAS).

2.3 IZRAČUN PREVOZNIH STROŠKOV LESA V ODVISNOSTI OD DOLŽINE, KAKOVOSTI IN PODOLŽNEGA NAKLONA CEST CALCULATION OF WOOD TRANSPORTATION COSTS DEPENDING ON LENGTH, QUALITY AND LONGITUDINAL ROAD INCLINATION

Osrednji, tretji modul, se naprej deli na več korakov. Koraki so med seboj povezani. Vsak predhodni korak zagotovi vhodne podatke za naslednjega.

Najprej dobimo datoteko podolžnih naklonov cestnega omrežja. Postopek je prilagojen delu v rastrskem okolju. Obsega naslednje korake:

- a) Določitev nadmorskih višin za rastrske celice, skozi katere poteka cestno omrežje.
- b) Identifikacija sosednjih rastrskih celic.
- c) Izbor največje in najmanjše razlike med njimi v vzdolžni, prečni, diagonalni in »L« smeri.
- d) Določitev najmanjše izmed njih, ki je hkrati večja od nič. Dobljena višinska razlika je najbolj verjetna višina med zgornjo in spodnjo sosednjo točko na cesti.
- e) Razliko delimo s horizontalno razdaljo, ki jo odvisna od izbrane smeri ceste na posamezni točki izračuna (vzdolžna oz. prečna ter diagonalna in »L« smer).

Za ponazoritev korakov bomo skicirali predvidene situacije podatkov o cestnem omrežju v rastrskem GIS okolju.

Primer A / Example A

1	2	3
4	X	5
6	7	8

Primer C / Example C

1	2	3
4	X	5
6	7	8

Primer E / Example E

1	2	3
4	X	5
6	7	8

Primer B / Example B

1	2	3
4	X	5
6	7	8

Primer D / Example D

1	2	3
4	X	5
6	7	8

Slika 1: Osnovne različice možnih situacij odsekov cest, predstavljenih na rastrski sliki
 Picture 1: Basic alternative situations for road sections, as shown in the field pictures

1. Prečno / Transversal

1	2	3
4	X	5
6	7	8

$$\max_1 = \max(2, 4, 5, 7)$$

$$\min_1 = \min(2, 4, 5, 7)$$

2. Diagonalno / Diagonal

1	2	3
4	X	5
6	7	8

$$\max_2 = \max(1, 3, 6, 8)$$

$$\min_2 = \min(1, 3, 6, 8)$$

$$D1 = \max_1 - \min_1$$

$$D2 = \max_2 - \min_2$$

$$D3 = \max_1 - \min_2$$

$$D4 = \max_2 - \min_1$$

$$D = \min(D1, D2, D3, D4)$$

Slika 2: Algoritem iskanja višinske razlike sosednjih točk za rastrske datoteke cestnega omrežja

Picture 2: Algorithm for establishing difference in altitude of neighbouring points for road network databank in field pictures

Na sliki 1 je primer A zajet z izračunom D1, primer B z izračunom D3 ali D4, primera C in D z izračunom D2, primer E pa z izračunom D3 ali D4. Izbiro različice izračuna D3 oz. D4 v primerih B in E določa smer poteka podolžnega naklona cestišča.

Horizontalne razdalje med točkami izračunamo po naslednjih enačbah:

za različico D1 (vzdolžno in prečno) $L = 2 * A$

za različico D2 (diagonalno) $L = 2,82 * A$

za različici D3 in D4 (v smeri »L«) $L = 2,41 * A$

pri čemer je A velikost stranice, ki jo predstavlja rastrska celica v naravi. Približek dejanskega podolžnega naklona cestišča (i) je količnik med vertikalno (D) in horizontalno (L) razdaljo za sosednje rastrske točke na cesti.

$$i = D/L$$

Vse operacije iskanja razlike v nadmorski višini dveh sosednjih točk za vsako celico rastra na cestnem omrežju smo naredili z IDRISI-jevimi moduli FILTER, RECLASS in OVERLAY, ki smo jih združevali v paketne datoteke in s tem avtomatizirali model izračuna podolžnih naklonov cestnega omrežja.

V odvisnosti od kakovosti ter podolžnega naklona ceste smo nato določili ekvivalent za ceno prevoza lesa, s katerim smo vrednotili stroške prevoza lesa na posameznih delih cest. Ekvivalent določi razmerje stroškov prevoza lesa v odvisnosti od vrednosti vplivnih dejavnikov (kakovost in naklon cestišča), ki se spreminjajo na posameznih delih cest, po katerih prevažamo les. V odvisnosti od kakovosti in podolžnega naklona ceste nato priredimo vrednost vsaki točki rastra na cestnem omrežju.

Sledi izračun konkretnega koeficienta stroškov prevoza lesa za vsak del cestnega omrežja, ki ga predstavlja rastrska celica. Za izračun smo uporabili Idrisijev modul COST. Modul je namenjen stroškovno - distančnim analizam. Pogoj za uporabo analiz je oblikovanje rastrske datoteke, katere vrednosti predstavljajo modelno višino stroškov, ki nastanejo ob premagovanju sile, potrebne za potovanje skozi posamezno točko (enoto prostora, ki jo predstavlja rastrska celica). V danem primeru smo morali pot omejiti na cestno omrežje. Definiran mora biti izhodiščni minimalni strošek (npr. potovanje po ravnem in gladkem terenu). Glede na značilnosti obravnavanega površja (cest) in pojava (prevoz lesa) določimo mnogokratnike minimalnega stroška pripadajočim rastrskim celicam na cestnem omrežju. Modul COST (različica COSTPUSH) nato išče pot z najmanjšimi stroški med ciljem in vsako rastrsko celico, ki predstavlja odsek cestnega omrežja. Na voljo imamo

dve različici, ki ju loči možnost določanja popolnih omejitev (zapor predelov) pri iskanju poti do cilja. Možnost določitve popolne omejitve je prikladna za rabo pri kompleksnih vzorcih, kot je cestno omrežje, omrežje ulic, rečnih poti in drugo. Druga različica modula COST (COSTGROW) pa ne predvideva popolnih omejitev izbire poti, zato je prikladna za simulacije oz. reševanje problemov, ki lahko obsegajo vse območje (emisije, kalamitete, razlitja nevarnih snovi in podobno). V slednjem primeru lahko izbiro poti reguliramo le z višino (visokimi) stroškov za premagovanje poti na posameznih predelih, za katere predvidevamo neprehodnost ali zelo obsežno širitev pojava.

Dodatno stopnjo natančnosti modela bi zagotovili z upoštevanjem naklona ceste v smeri polne vožnje. Rešitev tovrstnih problemov je možna z uporabo anizotropnih stroškovno-distančnih analiz, ki upoštevajo različne stroške premagovanja razdalje glede na smer premikanja v prostoru, označenem z rastrsko celico. Če poenostavimo, gre pri anizotropnih analizah za obravnavanje smeri delovanja sile upora, ki ima lahko različno vrednost in predznak glede na kot med smerjo premikanja skozi prostor in smerjo delovanja največje sile upora (pri hoji proti severu nas severni veter zavira, v obratni smeri pa olajša premagovanje razdalje). Za reševanje tovrstnih problemov imamo na voljo modula VARCOST in DISPERSE (EASTMAN 1993), vendar ju žal ne moremo uporabiti v kombinaciji z določitvijo kompleksnih vzorcev, določenih s popolnimi omejitvami gibanja v prostoru, kot je to pri modulu COSTPUSH.

Za pravilnost modela je bistvena določitev osnovnega, t.j. minimalnega stroška za prevoz lesa po delu ceste, ki jo predstavlja rastrska celica, ter razmerja med osnovnimi in povečanimi stroški, v odvisnosti od vrednosti vplivnih dejavnikov na stroške prevoza lesa (kakovost in podolžni naklon cestišča). Datoteko modelnih stroškov prevoza lesa naredimo z modulom RECLASS, ki omogoča individualno pripisovanje vrednosti rastrskim celicam glede na vrednosti v vhodni referenčni datoteki. Za vhodno referenčno datoteko uporabimo datoteko podolžnih naklonov cestnega omrežja. Vsem rastrskim celicam z lastnostmi, ki opisujejo osnovno, najnižjo vrednost stroškov prevoza lesa (primer je lahko asfaltna cesta oz. ravna makadamska cesta) pripišemo najnižjo vrednost. Drugim rastrskim celicam, ki označujejo odseke cest z večjimi stroški prevoza lesa, pa določimo za izbrani odstotek večjo vrednost od osnove (preglednica 2).

Datoteka odjemalcev lesa in datoteka cestnega omrežja z vrednostmi stroškov prevoza lesa sta vhodni datoteki za modul COST. Ta naredi izhodno datoteko, v kateri so vrednosti rastrskih točk na cestnem omrežju izračunane iz vsot stroškov prevoza lesa od odseka ceste, ki ga predstavlja rastrska celica, do stroškovno najbolj ugodnega odjemalca lesa.

Dalje lahko določimo gozdovom oz. gozdnim površinam za prevoz lesa stroškovno najbolj ugodne odjemalce lesa. Modul ALLOCATE pripiše izhodne vrednosti rastrskim celicam, ki so enake modelno najbolj ugodnemu odjemalcu lesa. S to operacijo pridobimo datoteko, v kateri so vrednosti rastrskih celic na vsem cestnem omrežju porazdeljene med poprej določene odjemalce lesa. Pomagamo si z datotekami vrednosti in določitvijo gravitacijskih polj (KRČ 1995). Gravitacijska polja določijo za posamezne ceste pripadajoče gozdne površine oz. površine gozdov, ki jih cesta odpira.

Problem nastopi pri cestah, ki jim model določi na posameznih odsekih različne optimalne odjemalce glede na stroške prevoza lesa. Gre za primere, kjer sta možni dve smeri izvoza lesa in jim je hkrati model dodelil dva ali več različnih odjemalcev lesa. V takih, ne prav pogostih primerih, moramo problem rešiti z dodatnimi operacijami, ki omogočijo pravilno izbiro smeri prevoza lesa oz. izbiro odjemalca glede na optimalne stroške prevoza lesa.

3 PRIMER EXAMPLE

Za gozdnogospodarsko enoto (GGE) Jezersko imamo na voljo gozdarske podatke, ki omogočajo modelno razdelitev gozdov na predvidene odjemalce lesa. Pri Zavodu za gozdove Slovenije smo dobili datoteke z digitaliziranim cestnim omrežjem in datoteko gozdnih odsekov za GGE Jezersko.

Podatke za digitalni model reliefa smo vzeli iz zbirke DMR na mreži 100 x 100 m, ki so jo pridobili geodeti skupaj z gozdarji na državni ravni.

Zamislili smo si teoretično možnost in določili dve točki v GGE, kjer bi lahko bila mesta za odjemalce lesa. Jezersko je kotlina, skozi katero je speljana regionalna asfaltna cesta. Cesta povezuje kotlino s sosednjo Avstrijo na mejnem prehodu Jezerski vrh, drugi možni izhod pa je dolina reke Kokre. Obe skrajni točki asfaltne ceste v kotlini smo si tudi teoretično zamislili kot kontrolni mesti (točki) za odvoz lesa (priloga 1). Točki sta hkrati edina možna izhoda iz GGE Jezersko in naprej po asfaltnih cestah do odjemalcev lesa.

Izdelali smo rastrsko datoteko podolžnih naklonov cest (priloga 1). V postopku izdelave datoteke naklonov cest smo uporabili 50 metrsko ločljivost (rastrska celica predstavlja četrtno hektara). Podatke o nadmorskih višinah točk na cestnem omrežju smo dobili z linearno interpolacijo podatkov 100 x 100 m mreže DMR. Prostorska predstavitev podatkov omogoča vrsto analiz. Primer je izračun povprečnega podolžnega naklona za posamezno cesto (uporaba modula EXTRACT), ki jo kaže preglednica 1.

Preglednica 1: Izračunani povprečni podolžni nakloni cest v gozdnogospodarski enoti Jezersko

Table 1: Calculated average longitudinal road inclination in the forest management unit of Jezersko

Št. ceste Road no.	Povprečni naklon [%] Average slope [%]	Št. ceste Road no.	Povprečni naklon [%] Average slope [%]	Št. ceste Road no.	Povprečni naklon [%] Average slope [%]
25	11,13	39	11,84	53	11,80
26	6,85	40	4,44	54	11,94
27	7,27	41	1,89	55	10,42
28	7,00	42	2,00	56	12,19
29	9,92	43	2,33	57	9,76
30	7,14	44	3,60	58	10,43
31	8,40	45	2,29	59	9,50
32	5,25	46	4,17	60	5,00
33	10,31	47	4,00	61	8,77
34	10,33	48	10,08	62	6,83
35	8,16	49	8,60	63	4,36
36	3,00	50	8,06	64	10,72
37	4,00	51	11,20		
38	6,43	52	7,78		

Naslednji postopek je določitev razmerja med vrednostmi stroškov prevoza lesa po delih cestnega omrežja z različnimi vrednostmi vplivnih dejavnikov (naklon in kakovost cestišča). Če imamo konkretne podatke o ceni za ton kilometer (tkm), ločene za ceste posameznih lastnosti (asfalt, makadam, različni podolžni nakloni cest), jih lahko uporabimo pri nadaljnjem izračunu. Pri kalkulaciji kamionskega prevoza lahko analiziramo različice prevoznih razdalj, vrste gozdarskih transportnih kompozicij, amortizacijske dobe in podobno (WINKLER et al. 1994). V našem primeru smo izračun poenostavili in privzeli razmerje, kot ga prikazuje preglednica 2. Primerjalno osnovo velikosti stroškov prevoza lesa predstavlja strošek prevoza lesa po asfaltni cesti. Prevoz

po makadamski cesti smo diferencirano podražili za izbrani odstotek glede na podolžni naklon cestišča.

Preglednica 2: Modelno razmerje za stroške prevoza lesa po makadamski cesti pri različnih vrednostih podolžnega naklona cestišča glede na osnovni strošek, ki ga določajo prevoznimi stroški po asfaltni cesti

Table 2: Relation of wood transportation costs on gravel road for different longitudinal road inclinations, considering basic costs (transportation costs on asphalt roads)

Opis odseka ceste / Road inclination	Strošek / Costs [%]	Podolžni naklon ceste / Longitudinal Inclination [N%]
Ravni / Horizontal	100%	0 <= N > 5
Normalni naklon / Slight slope	120%	5 <= N > 10
Strm / Steep slope	160%	10 <= N > 15
Zelo strm / Very steep slope	180%	15 <= N > 20
Ekstremno strm / Extremely steep slope	200%	N >= 20

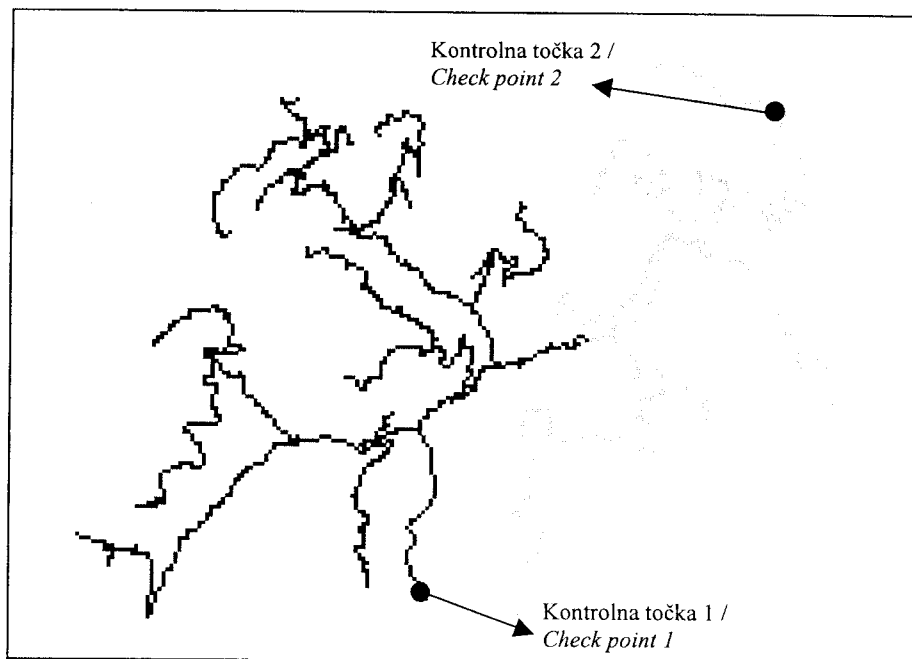
Datoteka cestnega omrežja s prirejenimi vrednostmi rastrskih celic, ki kažejo razmerje med stroški prevoza lesa, ter datoteka odjemalcev oz. kontrolnih točk sta vhodni datoteki za klasifikacijo površine gozdov GGE na modelni kontrolni točki po kriteriju optimalnih prevoznih stroškov. Z modulom COSTGROW (prva različica modula COST - poglavje 0) smo pridobili datoteko, katere vrednosti rastrskih celic na cestnem omrežju določa odvisnost od stroškov prevoza lesa do stroškovno najbolj ugodne kontrolne točke (priloga 2). Odtenci na sliki kažejo naraščanje prevoznih stroškov od zelene (majhni stroški) prek rumene, oranžne, rdeče, modre do črne (veliki stroški) barve rastrskih celic.

Kalkulacija za prevozne stroške je odvisna od prevozne razdalje, ki vpliva na dejansko življenjsko dobo kamiona, ter nakladalne naprave oz. izkoriščenost gozdarske transportne kompozicije. Posledica je različna višina stroška za amortizacijo ter postavk v kalkulaciji, ki so izračunane iz amortizacije (popravila in vzdrževanje, obresti na vloženi kapital, zavarovalne premije), kakor tudi pri rednih in občasnih nadomestnih delih in gorivu. Z daljšimi prevoznimi razdaljami se manjša število ciklusov, torej količina prepeljanega

lesa, vendar z nižjimi stroški po enoti (tkm), kar je pretežno posledica razmerja časov med prekladanjem in vožnjo lesa in večjim številom prevoženih kilometrov.

Model na tej stopnji razvoja ne upošteva različnih prevoznih stroškov lesa po enoti (tkm) pri različnih prevoznih razdaljah. Pravilna interpretacija modelnega izračuna zahteva pojasnilo, da kontrolna točka hkrati ni končna točka prevoza lesa. Problem bi lahko definirali kot transportni problem, ki odgovori na vprašanje: "*Katero smer (cesto) vožnje lesa uporabiti za izhod iz območja, če imamo na voljo več možnih različic izhodov, ki so enakovredni z vidika nadaljnjega prevoza lesa (od kontrolne točke do cilja prevoza).*" Upoštevamo samo razlike v stroških, ki nastanejo zaradi različnih značilnosti (kakovost, podolžni naklon) posameznih odsekov cestnega omrežja.

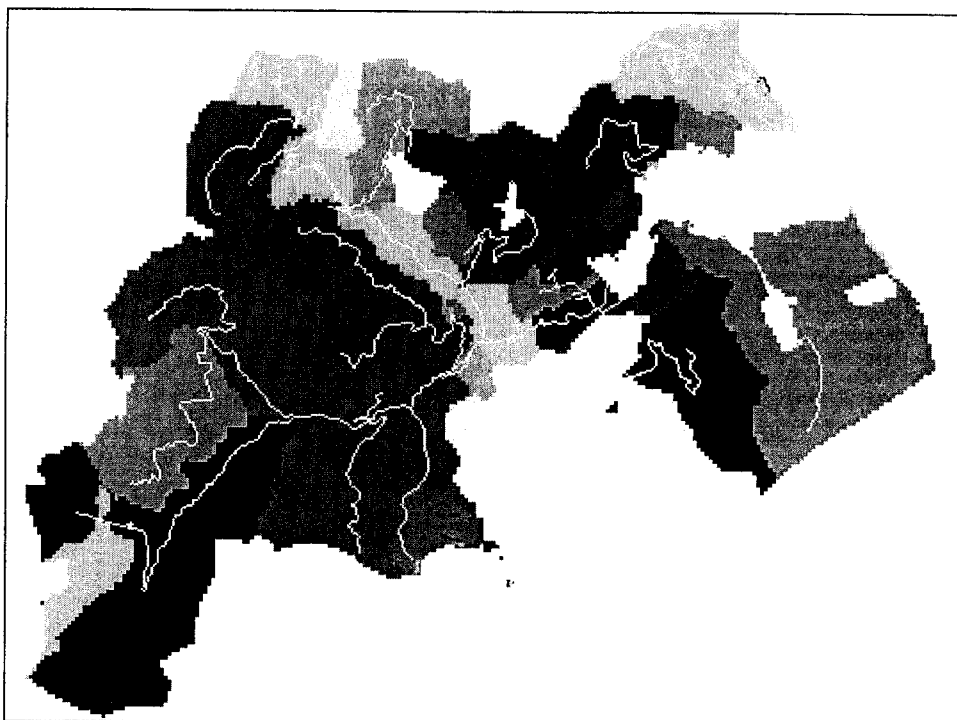
Sledi določanje pripadnosti rastrskih celic na cestnem omrežju posameznim kontrolnim točkam. Za rešitev uporabimo modul ALLOCATE, ki za vsako rastrsko celico poišče cilj (v našem primeru kontrolno točko), od katerega so bili vnaprej izračunani stroški z modulom COST. Celici nato pripiše vrednost, s katero je označen cilj (slika 3).



Slika 3: Grafični prikaz datoteke cestnega omrežja GGE Jezersko, ki je razdeljen po primernosti uporabe smeri izvoza lesa iz GGE glede na modelno izbrani kontrolni točki 1 in 2

Picture 3: Illustration of data bank of wood transportation costs optimised according to our model, from the road section represented by any individual ground cell to the selected checkpoints 1 and 2.

Rezultat ponuja vrsto analiz, s katerimi lahko analiziramo druge, geokodirane podatke (poleg vrednosti oz. atributa poznano tudi lokacijo podatka). Za pridobitev podatkov o gozdovih, ki jih odpirajo posamezne ceste, moramo določiti gravitacijska polja. Določili smo jih kot območja s skupno izvozno cesto. Uporabili smo algoritem, ki upošteva lego gozdnih cest, razdaljo do ceste, naklon terena in relief oz. položaj grebenskih točk (KRČ 1995). Postopek algoritma določanja gravitacijskih polj je podoben zgoraj opisanemu postopku določanja smeri izvoza lesa, rezultat pa vidimo na sliki 6.



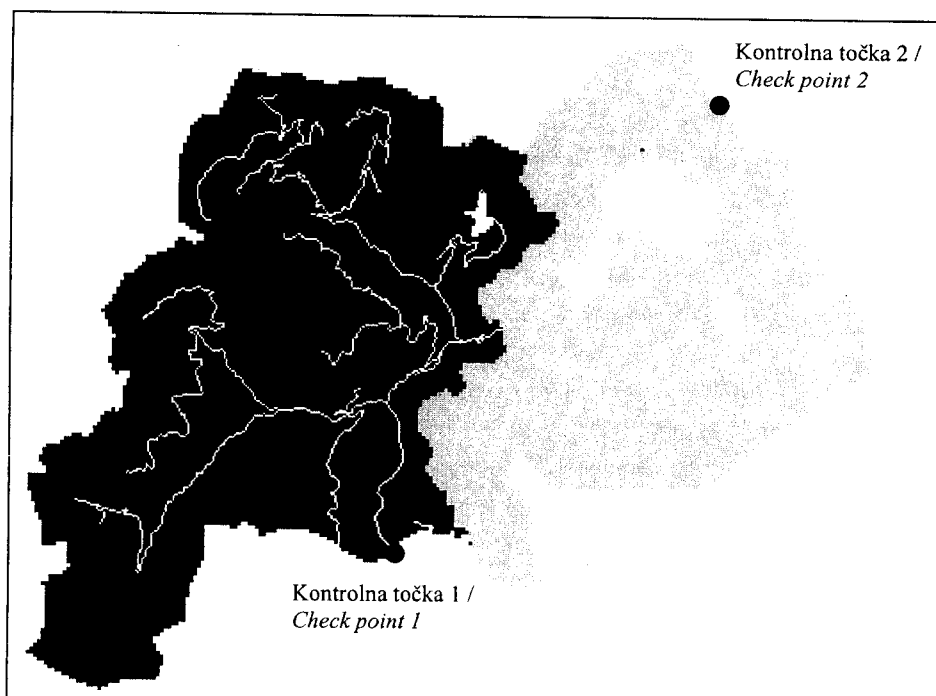
Slika 4: Modelna gravitacijska polja glede na odvoz lesa po gozdnih cestah v GGE Jezersko

Picture 4: Gravitational fields with respect to the removal of wood on forest roads in the forest management unit of Jezersko

Posameznim krakom cest, ki imajo svojo kontrolno številko, smo z algoritmom določili pripadajoče gozdne površine. S tem smo vsaki rastrski celici, ki predstavlja gozdno površino, določili cesto za izvoz lesa.

Določitev območij po kontrolnih točkah izvoza lesa zahteva naslednji korak, v katerem vsakemu gravitacijskemu polju pripišemo vrednost kontrolne točke, ki smo jo z modelom določili kot najbolj ugodno glede minimalnih prevoznih stroškov. Uporabimo možnost poizvedovanja (modul EXTRACT) in pripisovanja vrednosti (modul ASSIGN) v okolju programskega paketa IDRISI. Z vhodnima datotekama (slika 3 in slika 4) naredimo datoteko vrednosti (tekstovna datoteka (KRČ 1995)), ki vsakemu gravitacijskemu polju

določa kontrolno točko. Datoteko vrednosti nato uporabimo za določitev nove rastrske datoteke, v kateri vsakemu gravitacijskemu polju pripišemo vrednost kontrolne točke iz datoteke vrednosti (slika 5).



Slika 5: Razdelitev GGE Jezersko na območji kontrolnih točk 1 in 2, ki ju določa modelno optimalni strošek prevoza lesa

Picture 5: Division of the forest management unit of Jezerski into the regions of checkpoint and checkpoint 2, determined by optimum wood transportation costs according to our model

Izvoz lesa skozi kontrolno točko 1 je določen za 60 % gozdnih površin GGE Jezersko. Odstotek bi bil še večji, če bi v modelu upoštevali tudi vpliv smeri izvoza glede na naklon v smeri polne vožnje po asfaltni cesti (poglavje 2.3). Kontrolna točka 1 ima hkrati najnižjo nadmorsko višino GGE Jezersko (654 m) in je 562 m nižje od kontrolne točke 2 (mejni prehod Jezerski vrh 1216 m).

Poizvedovanja o količinah, kakovosti, časovnih uskladitvah in podobnem so odvisna od geokodiranih podatkov v digitalni obliki. S pomočjo rastrskih in vektorskih datotek opravimo analize osnovnih podatkov, povezanih s problemi prevoza lesa. Večina programskih paketov GIS ponuja možnosti geografskih in statističnih analiz, nekateri (IDRISI) pa imajo tudi module za pomoč pri odločanju.

Preglednica 3 vsebuje podatke o cestnem omrežju GGE Jezersko, kjer so za posamezno cesto izračunani podatki o modelnih stroških prevoza lesa. Enota je strošek, ekvivalenten strošku prevoza lesa po asfaltni cesti na razdalji, ki jo predstavlja posamezna rastrska celica (Ground Cell Equivalent - GCE). Izračunamo lahko tudi približek za dolžino cestnih odsekov, če število rastrskih celic posamezne ceste pomnožimo s povprečno razdaljo, ki jo pokriva rastrska celica.

Preglednica 3: Podatki za cestno omrežje GGE Jezersko, ki jih izračuna model stroškov prevoza lesa

Table 3: Data for road network of the forest management unit of Jezersko, calculated according to the model for wood transportation costs

Št. ceste <i>Road No.</i>	Dolžina ceste [št. rastrskih celic] <i>Road length</i> [No. of ground cells]	Strošek prevoza lesa [GCE]* <i>Wood transportation costs [GCE]*</i>		
		Min.	Max.	Povprečje <i>Average</i>
25	149	777	2355	1631
26	47	2197	2765	2479
27	15	1923	2091	2003
28	19	2021	2197	2114
29	66	1509	2241	1863
30	7	1906	1961	1928
31	10	1720	1854	1790
32	4	1535	1569	1552
33	74	968	1731	1346
34	6	1116	1157	1138
35	152	1015	2969	2001
36	5	1036	1086	1060
37	6	1065	1099	1078
38	7	1168	1228	1197
39	55	1259	1799	1558

Preglednica 3: Nadaljevanje

Table 3: continued

Št. ceste <i>Road</i> <i>No.</i>	Dolžina ceste [št. rastrskih celic] <i>Road length</i> <i>[No. of ground cells]</i>	Strošek prevoza lesa [GCE]* <i>Wood transportation costs [GCE]*</i>		
		Min.	Max.	Povprečje <i>Average</i>
40	89	640	1627	1074
41	27	686	1003	871
42	8	535	630	580
43	6	512	550	526
44	10	656	792	734
45	7	668	726	692
46	12	551	641	600
47	10	463	563	515
48	59	760	1369	1041
49	47	0	542	276
50	251	0	1048	493
53	69	489	1302	893
54	17	614	721	659
55	111	659	1964	1380
56	78	1457	2412	1930
57	106	951	2137	1561
58	81	589	2051	1178
59	2	880	896	888
60	2	874	885	879
61	62	1064	1708	1363
62	6	662	722	694
63	14	359	399	378
64	18	1007	1253	1155

*GCE = Ground Cell Equivalent (enota za strošek prevoza lesa po asfaltni cesti na razdalji, ki jo predstavlja rastrska celica) / unit for wood transportation costs on asphalt roads within the distance covered by a ground cell)

Višina modelnih prevoznih stroškov lesa za posamezno gozdno cesto je zlasti odvisna od oddaljenosti med cesto in kontrolno točko. Cesti št. 49 in 50 se končujeta v kontrolnih točkah, zato je njun modelni minimalni strošek prevoza lesa enak nič.

4 SKLEP

CONCLUSIONS

Prispevek opiše nov pripomoček za določanje smeri prevoza lesa, ki upošteva značilnosti cest na konkretnih poteh prevoza lesa. Novost postopka je upoštevanje kakovosti in podolžnega naklona cest, ki smo ga izračunali iz podatkov digitalnega modela reliefa. Pri analizi rastrskih podatkov o cestnem omrežju smo uporabili programska orodja za geografske informacijske sisteme. Algoritem je uporaben predvsem tam, kjer ceste variirajo po kakovosti in podolžnih naklonih cest. Točnost izračuna je boljša v manj razgibanih terenih, predvsem pa je pogojena s podrobnostjo zahtevanih vhodnih podatkov. Novejše tehnike pridobivanja podatkov o DMR, pri čemer si pomagamo s satelitskimi in aerofoto posnetki v stereo tehniki, omogočajo večjo resolucijo zajemanja terenskih podatkov o nadmorskih višinah, kar bi izboljšalo predvsem izračun približka za podolžni naklon cest.

Poznavanje prevoznih stroškov lesa po cestah različne kakovosti bi omogočilo neposredni izračun stroškov vožnje, ki mu je potrebno dodati še stroške prekladanja lesa. Zato bi bilo potrebno povezati kalkulacije kamionskih prevozov lesa (WINKLER et al. 1994) s konkretnimi podatki GIS za posamezne ceste in tako računati cene prevozov lesa iz gozda do posameznih kupcev. Poleg računanja prevoznih stroškov bi lahko sproti dopolnjevali zbirko podatkov o obremenjenosti gozdnih cest s prevozom lesa (vir podatkov je gozdnogospodarski načrt oz. možni posek lesa za popisne enote), kar bi bil koristen podatek za načrtovanje vzdrževalnih del ter določanje sistema porazdelitve državnih subvencij za vzdrževanje gozdnih cest. Računalniško podprt kataster gozdnih cest bi veliko prispeval k natančnosti modelnih izračunov, saj bi nadomestil izračunane približke, ki smo jih uporabili za vhodne podatke o dolžinah, kakovosti in podolžnem naklonu gozdnih cest. Prevoz lesa je sestavni del pridobivanja lesa, zato bi bilo smotno algoritem vključiti v kompleksne modele za načrtovanje gozdne proizvodnje. Tako bi vključili tudi vpliv, ki ga imajo lastnosti gozdnih cest na višino stroškov prevoza lesa.

5 POVZETEK

Prispevek sodi v skupino raziskav o optimizaciji izbire prevoza lesa iz gozda do kupcev, ki ima za cilj minimalne skupne stroške. Izvirnost prispevka je uporaba geografskega informacijskega sistema (GIS), ki omogoča točkovno določanje stroškov spravila lesa (točka je odsek ceste, ki jo predstavlja rastrska celica). Model uporablja vplivne dejavnike za izbiro smeri prevoza lesa podatke o lastnostih gozdnih cest (podolžni naklon, vrsta ceste). Zahteva vhodne podatke za podolžni naklon cest, ki smo ga izračunali po posebnem algoritmu (uporaba podatkov digitalnega modela reliefa). Postopek določitve optimalne smeri prevoza lesa pa smo opravili s pomočjo GIS programskega paketa IDRISI oz. njegovih modulov za stroškovno distančne analize. Privzeli smo podmeno, da izbiramo med več smermi prevoza lesa iz enote, vse pa so z vidika nadaljnega prevoza (od meje enote do končne točke prevoza) lesa enakovredne.

Model smo preizkusili na primeru gozdnogospodarske enote Jezersko, ki obsega 5100 ha gozdov. Za analizo smo izbrali dve kontrolni točki, na katerih smo analizirali prevozne stroške. Z vidika prevoza sta kontrolni točki tudi dejansko edina možna izhoda iz enote, ki ima obliko kotline, skozi katero vodi regionalna asfaltna cesta. Kontrolni točki sta točki vstopa oz. izstopa regionalne ceste v oz. iz GGE. Na regionalno cesto so priključene gozdne ceste, ki odpirajo gozdove v GGE. Algoritem modela izbire za vsako gozdno cesto smer izvoza lesa, ki je opredeljena s kontrolno točko. Vsaka gozdna cesta pa odpira konkretne gozdne površine, ki smo jih modelno določili z modelom določitve gravitacijskih polj (KRČ 1995). Posredno je zato mogoče z izbiro smeri izvoza lesa za gozdno cesto določiti tudi smer izvoza za vsako gozdno površino oz. popisno enoto. Če poznamo razmerja med prevoznimi stroški lesa za posamezne kakovosti cesti, pa je mogoče tudi predvideti približno vrednost višine stroškov prevoza lesa od konkretnega odseka gozdne ceste (npr. skladišča lesa ob gozdni cesti) do kontrolne točke. V primeru GGE Jezersko model določi razmerje 60 % : 40 % površin gozdov v korist izvoza lesa skozi kontrolno točko ena. Odstotek bi bil še večji, če bi v modelu upoštevali tudi vpliv smeri izvoza glede na naklon v smeri polne vožnje po asfaltni cesti, česar nam programska orodja zaenkrat še ne omogočajo. Kontrolni točki sta namreč tudi najnižji oz. najvišji točki regionalne asfaltne ceste v GGE.

Model je mogoče vključiti v informacijski sistem za načrtovanje gozdne proizvodnje, saj uporablja konkretne podatke, ki so lahko pomembni za načrtovanje, pripravo, izvedbo in nadzor v procesu pridobivanja lesa.

6 SUMMARY

This article belongs to the group of research work that deals with optimising the wood transportation route from forest to purchaser in pursuit of minimum costs. Its contribution to cutting costs is through the original use of a geographical information system (GIS) that enables us to calculate the costs of wood removal from a certain point (being a road section represented by a ground cell). The model uses factors for selecting a wood transportation route (data on the characteristics of forest roads, i.e. longitudinal inclination, road type). It requires input data on the longitudinal road incline, calculated according to a special algorithm (use of data of digital relief model). The process for determining the optimum route for wood transportation was performed by means of the GIS program package by IDRISI, and its program modules for performing cost analyses regarding distances. We assumed that we were choosing from several routes for wood removal from the unit, of which all were equal from the viewpoint of further transportation (from the cell border to the final transportation point).

We tested our model on the forest management unit of Jezersko, which comprises 5100 ha of forest. We chose two checkpoints for which we analysed transportation costs. These checkpoints are, in fact, the only transportation exits from this unit that is basin-shaped and has a regional asphalt road running through it. The checkpoints are the road's entry point to and exit point from the forest management unit of Jezersko. To this regional road are connected the forest roads that open up the forests in the forest management unit of Jezersko. The model algorithm chooses for each forest road the route for which wood should be removed with respect to the checkpoint. Each forest road opens up physical forest areas. These have been determined by the model for determining gravitational fields (KRC 1995). With choosing the route for wood removal, it is possible to indirectly determine the route for wood removal for any forest area. If we know the relationship between wood transportation costs for different road qualities, we may also anticipate the approximate value of transportation costs from a certain section of a forest road (e.g.

timber depots along the forest road) to the checkpoint. In the case of the forest management unit of Jezersko, the model determines a ratio of 60 % : 40 % of forests in favour of removing wood through checkpoint 1. This percentage would be even greater if the model were also to consider the influence of the removal route respecting the inclination in the route for full cargo transportation on asphalt roads. For the time being, our software does not enable us to do so, as the checkpoints are also the lowest and highest points of the regional asphalt road in the forest management unit.

It is possible to include the model into an information system for planning wood production, as physical data is used which may be relevant to preparing, planning, performing and surveying the process of wood exploitation.

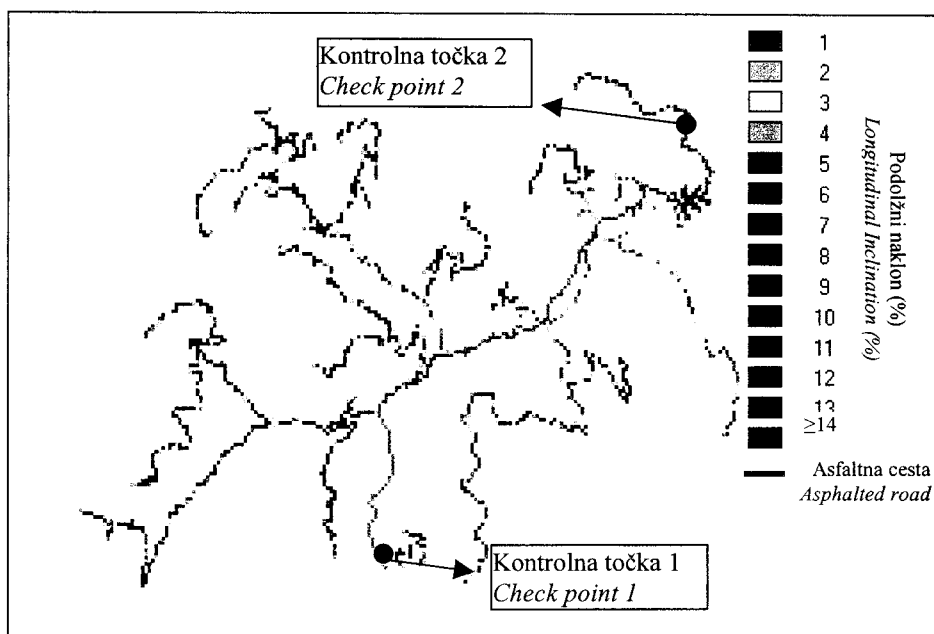
7 VIRI REFERENCES

- EASTMAN, J.R., 1993. Idrisi update Manual. Worcester, Clark University, 209 s.
- KRAJČIČ, D., 1996. Zakonitosti prevoza gozdnih lesnih sortimentov v GG Nazarje.- Zbornik gozdarstva in lesarstva, 48, s. 53-75.
- KRAJČIČ, D., 1997. Spremljava prevoza lesa po stroškovnih nosilcih kot vzvod zmanjševanja stroškov.- Zbornik gozdarstva in lesarstva, 53, s. 103-124.
- KRČ, J., 1995. Model napovedovanja oblik spravila lesa. -Magistrsko delo. -Ljubljana, Biotehniška fakulteta, 114 s.
- OTRIN, Z., 1974. Smotrna organizacija razdelitve oblovine iglavcev glavnim porabnikom glede na stroške prevoza s tovornjaki s sečišč na območju treh gozdnih obratov Gozdnega gospodarstva Nazarje.- Zbornik gozdarstva in lesarstva, 12, s. 167-210.
- WINKLER, I./KOŠIR, B./KRČ, J./MEDVED, M., 1994. Kalkulacije stroškov gozdarskih del. Ljubljana, Biotehniška fakulteta - Oddelek za gozdarstvo, 69 s.
- WINKLER, I., 1973. Uvajanje kvantitativnih metod v načrtovanje in vodenje gozdne proizvodnje. - GozdV. 31, 9-10, s. 336-345.

8 PRILOGE APPENDICES

Priloga 1: Slika podolžnih naklonov makadamskih cest ter regionalne asfaltne ceste, ki odpirajo gozdnogospodarsko enoto Jezersko

Appendix 1: Picture of longitudinal inclinations of asphalt roads and regional asphalt roads opening up the forest management unit of Jezersko



Priloga 2: Grafični prikaz datoteke modelno optimalnih prevoznih stroškov lesa od odseka ceste, ki jo predstavlja posamezna rastrska celica, do izbranih kontrolnih točk 1 oz. 2

Appendix 2: Illustration of data bank containing optimum wood transportation costs according to our model, calculated from the road section shown by individual ground cells to the selected checkpoints 1 and 2

