

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA GOZDARSTVO IN OBNOVLJIVE GOZDNE
VIRE

Samo ŠKRJANEC

**RAZŠIRITEV VOZIŠČA IN SVETLEGA PROFILA
CESTE V HORIZONTALNIH KRIVINAH NA
PRIMERU GOZDNE CESTE MALA VODA V GGE
DOBROVA**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

Ljubljana, 2016

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA GOZDARSTVO IN OBNOVLJIVE GOZDNE VIRE

Samo ŠKRJANEC

**RAZŠIRITEV VOZIŠČA IN SVETLEGA PROFILA CESTE V
HORIZONTALNIH KRIVINAH NA PRIMERU GOZDNE CESTE
MALA VODA V GGE DOBROVA**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

**ROAD WIDENING AND WIDENING OF CLEARANCE OF A ROAD
CROSS-SECTION IN HORIZONTAL CURVES ON THE EXAMPLE
OF MALA VODA FOREST ROAD IN FMU DOBROVA**

GRADUATION THESIS
University studies

Ljubljana, 2016

Diplomsko delo je zaključek univerzitetnega študija gozdarstva na Oddelku za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Opravljeno je bilo na Katedri za gozdno tehniko in ekonomiko.

Komisija za študijska in študentska vprašanja Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire BF je dne 13. 4. 2016 sprejela temo in za mentorja diplomskega dela imenovala prof. dr. Igorja Potočnika, za somentorja asist. dr. Antona Pojeta, za recenzenta pa doc. dr. Jurija Marenčeta.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Podpisani izjavljam, da je diplomsko delo rezultat lastnega dela. Izjavljam, da je elektronski izvod identičen tiskanemu. Na univerzo neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravici shranitve avtorskega dela v elektronski obliki in reproduciranja ter pravico omogočanja javnega dostopa do avtorskega dela na svetovnem spletu preko Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete

Samo Škrjanec

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dn
DK	GDK 383.1(043.2)=163.6
KG	gozdna cesta/horizontalna krivina/razširitev vozišča/razširitev svetlega profila
KK	
AV	ŠKRJANEC, Samo
SA	POTOČNIK, Igor (mentor)/POJE, Anton (somentor)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Večna pot 83
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire
LI	2016
IN	RAZŠIRITVE VOZIŠČA IN SVETLEGA PROFILA V HORIZONTALNIH KRIVINAH NA PRIMERU GOZDNE CESTE MALA VODA V GGE DOBROVA
TD	Diplomsko delo (univerzitetni študij)
OP	X, 53 str., 16 pregl., 23 sl., 2 pril., 22 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	

Razširitve vozišča in svetlega profila ceste v horizontalnih krivinah sta elementa, ki zagotavljata varen prevoz dolgega lesa po gozdni cesti. V diplomski nalogi se je želelo preveriti na konkretnem primeru gozdne ceste Mala voda ali ta dva elementa omogočata varno vožnjo različnih namenskih vozil, prevoz dolgega lesa z enoosno polprikolico in primerjati različne metode izračuna razširitev vozišča za kamion z enoosno polprikolico. Na terenu so bili izmerjeni potrebni geometrijski elementi za izračun horizontalnih radijev in središčnih kotov ter obeh razširitev gozdne ceste v horizontalnih krivinah. Pri analizah se je ugotovilo, da obstoječe razširitve vozišča ne dopuščajo vožnje nobenemu izmed kamionov za prevoz lesa. Razširitve svetlega profila gozdne ceste so zadostne za prevoz dolgega lesa z enoosno polprikolico po slovenski metodi, po avstrijski pa ne. Metode za določevanje razširitev vozišča so le delno primerljive. Izstopata slovenska in ameriška metoda, pri katerih so dobljene razširitve vozišča večje od ostalih. Predlaga se, da se metode določevanja velikosti razširitev vozišča gozdne ceste primerjajo s sodobnimi računalniškimi programi, in se po potrebi posodobijo. Razišče naj se dolžine lesa, ki se prevažajo po gozdnih cestah in na podlagi ugotovitev analizira potrebo po velikosti razširitev svetlega profila gozdne ceste in se ugotovi, katera metoda je bolj primerna.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN	Dn
DC	FDC 383.1(043.2)=163.6
CX	forest road/horizontal curve/road widening/widening of clearance of a road cross-section
CC	
AU	ŠKRJANEC, Samo
AA	POTOČNIK, Igor (supervisor)/POJE, Anton (co-supervisor)
PP	SI-1000 Ljubljana, Večna pot 83
PB	University of Ljubljana, Biotechnical faculty, Department of forestry and renewable forest resources
PY	2016
TI	ROAD WIDENING AND WIDENING OF CLEARANCE OF A ROAD CROSS-SECTION IN HORIZONTAL CURVES ON THE EXAMPLE OF MALA VODA FOREST ROAD IN GGE DOBROVA
DT	Graduation thesis (University studies)
NO	X, 53 p., 16 tab., 23 fig., 2 ann., 22 ref.
LA	sl
AL	sl/en
AB	

The two elements of forest road that ensure safe transportation of long wood are road widening and widening of clearance of a road cross-section in horizontal curves. In this graduation thesis it has been tested, whether these two road elements enable different log trucks to drive on the forest road Mala voda, whether it is possible to transport long wood with a stinger type log truck on it. Comparison between different methods for calculating road widening was made. With field work the needed geometrical elements for calculating radii and central angles of the curves as well as both widenings have been measured. Through analysis, it has been established, that the current elements of the road do not allow the passing through for any of the log trucks and trailer combinations, that regarding the widening of clearance of a road cross-section, it is possible to transport long wood by Slovenian method, but not by Austrian method, and that similarities between 4 different methods exist. The two methods, that give bigger road widenings than other methods are USA and Slovenian method. Comparison of methods with modern computer program methods for road widening in horizontal curves used in this thesis has been suggested, to determine if an update is needed. For widening of clearance of a forest road cross-section in horizontal curves, analysis of wood length, transported on forest roads is suggested to determine, which of the two methods is more appropriate, and if this widening is necessary at all.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA.....	III
KEY WORDS DOCUMENTATION.....	IV
KAZALO VSEBINE.....	V
KAZALO PREGLEDNIC.....	VII
KAZALO SLIK.....	VIII
KAZALO PRILOG.....	X
1 UVOD.....	1
1.1 HIPOTEZE	2
2 PREGLED LITERATURE.....	3
3 METODE DELA.....	9
3.1 OPIS OBJEKTA.....	9
3.2 TERENSKÉ MERITVE.....	10
3.2.1 Instrumenti.....	10
3.2.2 Meritve širine vozišča gozdne ceste v premi.....	11
3.2.3 Meritve širine vozišča gozdne ceste v horizontalnih krivinah.....	11
3.3 IZRAČUN OSNOVNIH PARAMETROV HORIZONTALNIH KRIVIN.....	13
3.4 METODE IZRAČUNA RAZŠIRITEV GOZDNE CESTE V HORIZONTALNIH KRIVINAH.....	13
3.4.1 Dimenzije vozil in omejitev hitrosti.....	14
3.4.2 Metode izračuna razširitev svetlega profila gozdne ceste.....	16
3.4.3 Razširitev vozišča gozdne ceste v horizontalnih krivinah.....	19
3.4.3.1 Slovenska metoda.....	19
3.4.3.2 FAO metoda.....	22
3.4.3.3 Švicarska metoda	24
3.4.3.4 Metoda JV Evrope	27
3.4.3.5 Avstrijska metoda	28
3.4.3.6 ZDA metoda.....	29
3.4.3.7 Metoda projekta GC Mala voda.....	31
3.4.4 Metode obdelave podatkov.....	31
4 REZULTATI	33
4.1 TEHNIČNI ELEMENTI GOZDNE CESTE.....	33
4.2 RAZŠIRITEV VOZIŠČA V HORIZONTALNIH KRIVINAH ZA RAZLIČNA NAMENSKA VOZILA.....	35

4.3	PRIMERJAVA VELIKOSTI RAZŠIRITEV VOZIŠČA V HORIZONTALNIH KRIVINAH GLEDE NA RAZLIČNE METODE.....	37
4.4	RAZŠIRITVE SVETLEGA PROFILA CESTE.....	41
5	RAZPRAVA.....	44
6	SKLEPI.....	48
7	POVZETEK.....	49
8	VIRI.....	41
	ZAHVALA.....	54
	PRILOGE.....	55

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Širina spodnjega ustroja gozdne ceste v odvisnosti od radija za dve vrsti vozil (Forest road..., 2002: 28)	6
Preglednica 2: Razširitve vozišča v horizontalnih krivinah gozdne ceste pri danem središčnem kotu v odvisnosti od radija (Ryan in sod., 2004: 154).....	7
Preglednica 3: Struktura prihodov v gozd na gozdni cesti Mala voda (Maček, 2002: 13) .	10
Preglednica 4: Struktura gozdarskega prometa na gozdni cesti Mala voda (Maček, 2002: 13).....	10
Preglednica 5: Dimenzije kamiona, prikolice in polprikolice (Dobre, 1977: 21, 23)	16
Preglednica 6: Koordinate razširitve svetlega profila gozdne ceste v horizontalnih krivinah pri vožnji kamiona z enoosno polprikolico(Dobre, 1977: 49).....	17
Preglednica 7: Dolžine prehodov glede na radij horizontalne krivine gozdne ceste (Schiess in Whitaker, 1986: 79).....	24
Preglednica 8: Širina vozišča gozdne ceste v premi v odvisnosti od hitrosti vožnje in širine vozila (Kuonen, 1983: 157).....	25
Preglednica 9: Razširitve vozišča gozdne ceste v odvisnosti od radija horizontalne krivine (Kuonen, 1983: 161).....	26
Preglednica 10: Razširitve vozišča gozdne ceste v horizontalnih krivinah za dve vozili v odvisnosti od radija horizontalne krivine (Trzesniowski, 1988: 79)	29
Preglednica 11: Razširitve vozišča gozdne ceste v krivinah pri vožnji kamiona s prikolic (Forest road manual, 2000: 27).....	30
Preglednica 12: Projektirane razširitve vozišča v krivinah (Beden, 1983).....	31
Preglednica 13: Parametri gozdne ceste Mala voda	33
Preglednica 14: Razširitve vozišča gozdne ceste v horizontalnih krivinah za namenska vozila po slov. metodi	36
Preglednica 15: Izračunane vrednosti razširitev vozišča (m) za kamion s polprikolico po različnih metodah	39
Preglednica 16: Rezultati meritev k in naklona odkopne brežine v točki ZL in izračun razširitev svetlega profila gozdne ceste v izbranih krivinah.....	42

KAZALO SLIK

Slika 1: Tlorisna shema razširitve vozišča gozdne ceste v horizontalni krivini (Dobre, 1977; 67).....	4
Slika 2: Gozdna cesta Mala voda (EGC, 2016).....	9
Slika 3: Širina vozišča gozdne ceste v prečnem profilu	11
Slika 4: Skica meritev v horizontalnih krivinah na gozdni cesti	12
Slika 5: Shema dvoosnega kamiona (Dobre, 1977: 19)	15
Slika 6: Shema enoosne polprikolice (Dobre, 1977: 20).....	15
Slika 7: Shema dvoosne prikolic (Dobre, 1977: 20).....	15
Slika 8: Shema razširitve svetlega profila gozdne ceste v horizontalnih krivinah za kamion z enoosno polprikolico (Dobre, 1977. 46).....	16
Slika 9: Prikaz razširitve svetlega profila gozdne ceste v horizontalni krivini v prečnem profilu točke ZL.....	18
Slika 10: : Razširitev vozišča gozdne ceste v odvisnosti od radija krivine in središčnega kota (Dobre, 1977: 63)	20
Slika 11: Shema razširitve vozišča gozdne ceste v horizontalni krivini pri vožnji s kamionsko polprikolico (Dobre. 1977: 61)	21
Slika 12: Shema razširitve vozišča gozdne ceste pri vožnji s kamionsko polprikolico (Dobre, 1977:61)	22
Slika 13: Metoda grafične simulacije iztiranja pri kamionu z enoosno polprikolico (Schiess in Whitaker, 1986: 77).....	23
Slika 14: Situacija razširitve vozišča v krivini (Schiess in Whitaker, 1986: 79).....	24
Slika 15: Graf razširitev vozišča gozdne ceste v odvisnosti velikosti horizontalnega radija (Kuonen, 1983: 160).....	26
Slika 16: Shema vožnje kamiona s polprikolico v horizontalni krivini gozdne ceste (Seminar., 2006: 46)	27
Slika 17: Porazdelitev kota v korelaciji s horizontalnim radijem krivine gozdne ceste.....	34
Slika 18: Odvisnost širine vozišča gozdne ceste v horizontalnih krivinah v korelaciji z naklonom odkopnih brežin	35
Slika 19: Rezultati parne primerjave razširitev vozišča iz programa SPSS	37

Slika 20: Razširitve vozišča gozdne ceste v horizontalnih krivinah v odvisnosti od radija krivine (izračunane po različnih metodah za kamion s polprikolico)	38
Slika 21: Rezultati analize varianc iz programa SPSS	40
Slika 22: Oznake metod v analizi varianc	41
Slika 23: Prikaz odvisnosti dolžine sortimentov od radija horizontalne krivine in razširitve svetlega profila gozdne ceste za dve polprikolici ($L = 10$ m, $L = 14$ m) (Dobre, 1977: 50). 43	

KAZALO PRILOG

PRILOGA A: REZULTATI TERENSKIH MERITEV	55
PRILOGA B: TEHNIČNI ELEMENTI GOZDNE CESTE	57

1 UVOD

Zakon o cestah (2010) opredeljuje gozdno cesto kot grajeno gozdno prometnico, ki je namenjena predvsem gospodarjenju z gozdom in omogočanju racionalnega prevoza gozdnih lesnih sortimentov, ter je vodena v evidenci gozdnih cest. Zakon o gozdovih (1993) uvršča gozdne ceste poleg vlak in stalnih žičnic med gozdne prometnice, ti pa skupaj z ostalimi gozdnimi objekti, namenjenimi predvsem gospodarjenju z gozdovi, tvorijo gozdno infrastrukturo. Gozdne ceste odpirajo gozdove za gospodarjenje, omogočajo transport gozdnih sortimentov iz gozda do končnega porabnika in transport delavcev do delovišč. Na posameznih področjih odpirajo posamezne kmetije, zaselke ali objekte javnega značaja. Na požarno ogroženih predelih (na primer nasadi črnega bora na Krasu) pa opravljajo funkcijo protipožarne gozdne ceste. Po podatkih Zavoda za gozdove Slovenije, je bilo konec leta 2014 v Sloveniji 12.086 km gozdnih cest in 489 km protipožarnih gozdnih cest (Poročilo..., 2015).

Za gradnjo nove gozdne ceste je potrebno izdelati projekt gozdne ceste. Vzdrževana gozdna cesta z pravilno načrtovanimi geometrijskimi elementi je dobro prevozna in varna. Geometrijske elemente (prečni in podolžni profil, situacija, krivine...) določimo glede na terenske razmere, vrsto vozil in dolžino lesa, ki ga bomo prevažali. Gozdna cesta se mora čimbolje prilagajati terenskim razmeram, zato so te bolj vertikalno in horizontalno razgibane, iz česar sledi, da je horizontalna krivina kot geometrijski element zelo pomembna. V osnovi je horizontalna krivina zasnovana kot del krožnice, torej krožni lok. Osnovni parametri pri oblikovanju horizontalnih krivin so dolžina krožnega loka, središčni kot in radij. Horizontalne krivine so oblikovane tako, da se prilagajajo terenu, in sočasno s svojimi dimenzijami omogočajo prehod namenskim vozilom za prevoz lesa (kamionom). Najpomembnejša faza prevoza je polna vožnja, takrat je najbolj neugoden prehod iz preme v horizontalno krivino, ker tedaj kolesa na zadnji osi kamiona še niso utirjena v kolesnico polnega kroga, zato zadnji del dolgega tovora odnaša proti zunanji strani horizontalne krivine. Pri prevozu dolgega lesa bo tovor najprej dosegel zunanji rob vozišča nekaj pred začetkom horizontalne krivine, in če izhajamo iz pogoja, da tovor ne sme segati čez rob vozišča, bo le-ta prav na tem mestu odločal o največji dolžini sortimentov, ki jih je mogoče

prepeljati po določeni horizontalni krivini. Na tem mestu zato naredimo razširitev svetlega profila gozdne ceste. Pri vožnji po ravni cesti kolesa na zadnji osi tečejo po sledih koles na prvi osi, v horizontalni krivini pa zadnja kolesa ne sledijo več prvim, ampak zarisujejo svojo kolesno sled v obliki krožnega loka, katerega polmer je vedno manjši od tistega, ki ga zarisujejo prednja kolesa. V tuji literaturi ta pojav imenujejo off-tracking (iztirjenje). Razlika med tema dvema radijema se večja z medosno razdaljo. Iz tega sledi, da bi v primeru, da je širina vozišča enaka tako v horizontalni krivini, kot v premii, zadnje kolo na notranji strani horizontalne krivine zapeljalo iz utrjenega vozišča. V najslabšem primeru to vodi v prevrnitev ali zdrs vozila, kar je nevarno zlasti pri polni vožnji, bolj pogosto pa se na neutrjeni bankini začne erozija, ki vodi v destabilizacijo utrjenega dela vozišča. Zaradi slednjega se mora širina vozišča prilagajati razlikam v radijih, ki jih opisujejo prednja in zadnja kolesa, kar je rešeno z razširitvami vozišča v horizontalnih krivinah.

Vse našteje lastnosti gozdnih cest veljajo za nove kakor tudi obstoječe gozdne ceste, saj le tako lahko uspešno opravljajo svojo funkcijo. Namen naše naloge je, da na konkretnem primeru gozdne ceste Mala voda proučimo razširitve vozišča in svetlega profila gozdne ceste glede na horizontalni radij krivine in na podlagi rezultatov ugotovimo, ali je gozdna cesta primerna za vožnjo različnih kamionskih kompozicij, ter primerjamo različne metode določevanja velikosti obeh razširitev, ki so v uporabi v različnih državah.

1.1 HIPOTEZE

Na osnovi poznavanja problema in proučene literature smo postavili sledeče delovne hipoteze:

1. širina vozišča v horizontalnih krivinah na objektu zadošča varni vožnji namenskih vozil, ne glede na radij;
2. razširitve svetlega profila gozdne ceste omogočajo vožnjo dolgega lesa, razen v primerih konkavnih krivin s koritnico in strmo odkopno brežino (naklon večji od 3:1);
3. pri izračunu razširitev vozišča dajejo različne metode podobne rezultate.

2 PREGLED LITERATURE

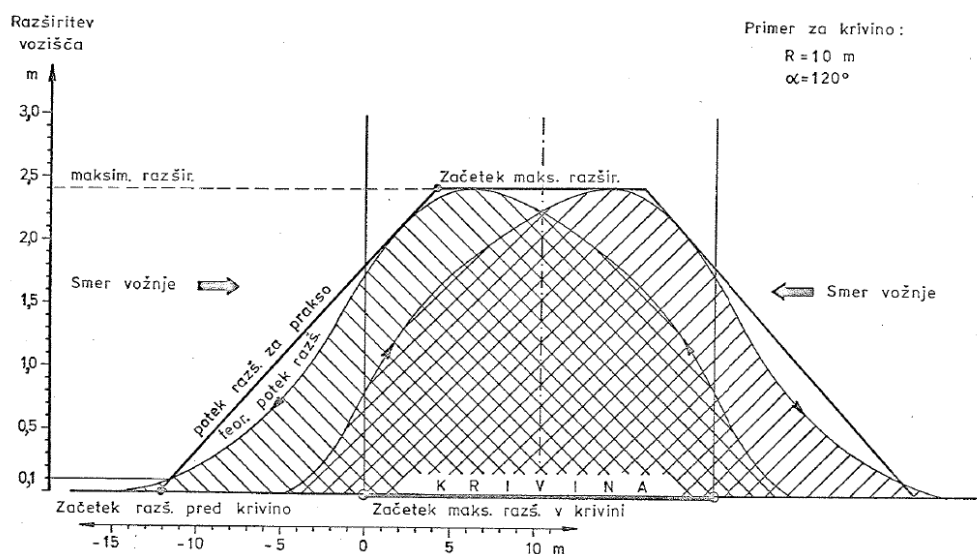
Tehnični elementi gozdne ceste so oblikovani tako, da po dimenzijah ustrezajo zahtevam dimenzij namenskih vozil za prevoz lesa in dimenzijam tovora, ki ga vozijo. Med prej omenjene tehnične elemente spadata tudi razširitev svetlega profila in razširitev vozišča v horizontalnih krivinah. Metode za določevanje velikosti in pozicije obeh razširitev v horizontalnih krivinah se po državah razlikujejo.

Slovenski avtorji omenjajo, da se minimalni radij horizontalne krivine povečuje z dolžino lesa, ki se prevaža, zato je mnogo bolj učinkovito od povečevanja radija horizontalne krivine širjenje svetlega profila gozdne ceste na prehodu v horizontalno krivino. Razširitev svetlega profila lahko sega le do višine, ki ustreza višini spodnjega roba tovora, to je približno en meter od vozišča. Rešitev je enostavna in poceni, v poštev pride v konkavnih horizontalnih krivinah (vbočenih v teren), na strmih terenih, kjer so odkopne brežine strme (naklon večji od 1:1). Potrebna je samo v smeri polne vožnje, ki praviloma poteka le v eno smer in je asimetrična glede na horizontalno krivino, če pa polna vožnja poteka v obe smeri je simetrična. Razširitev svetlega profila gozdne ceste je narejena vzdolž zunanega roba vozišča, njena tlorisna oblika je odvisna od maksimalne razširitve svetlega profila, radija horizontalne krivine, njenega središčnega kota in od vrste vozila (Dobre, 1977).

Razširitev svetlega profila gozdne ceste (horizontaler Freiraum für Stammenden) omenjajo avstrijski avtorji, vendar brez teorije, le kot element preglednice, ki je praktični pripomoček za delo projektantov (Trzesniowski, 1988).

Razširitev zaradi prednje (ne zadnje) skrajne točke vozila (der Überhang) omenjajo v švicarski literaturi, vendar gre za razširitev vozišča v horizontalnih krivinah pri prevozu dolgega lesa pri skalnatih pobočjih in podpornih zidovih na zgornji strani gozdne ceste v strmih terenih. Njeno velikost prištejemo že izračunani razširitvi vozišča in je dodana po celotnem zunanem obodu horizontalne krivine, kjer je naklon odkopnih brežin večji od 45°. Pri prevozu dolgega lesa pa ne razširjajo svetlega profila gozdne ceste, ampak povečujejo horizontalni radij, kjer je to možno, ali pa prevažajo krajši les (Kuonen, 1983).

Pri razširitvah vozišča v horizontalnih krivinah v Sloveniji uporabljamo metodo, ki jo je podrobno opisal in utemeljil magister Andrej Dobre (1977). Širina vozišča v premi je najmanj 3 m in največ 3,5 m, kjer je to mogoče. Minimalni radij horizontalne krivine je 20 m, njen središčni kot α se giblje med 5° in 100° , razen v serpentinah in obračališčih, kjer je minimalni radij 8 m, središčni kot pa lahko znaša tudi 220° . Izračun razširitev vozišča temelji na predpostavki, da vse osi vozila peljejo okoli središčne točke krožnega loka, ki predstavlja horizontalno krivino. Njena velikost je odvisna od vrste vozila, torej od vrste kamiona. Po gozdnih cestah se vozijo v večini 3 vrste vozil, za katere je smiselno računati velikost potrebne razširitve vozišča: kamioni solo, torej brez priklopnikov, kamioni s polprikolico in kamioni s prikolico. Osnova za izračune so grafične ponazoritve situacije kamiona pri vožnji skozi horizontalno krivino, razširitev se izračuna kot geometrijski problem. Poleg velikosti je pomembna tudi tlorisna oblika razširitve vozišča, torej, kje se le- ta začne, konča in kje doseže svoj maksimum. Teoretični potek razširitve vozišča je zvonaste, nesimetrične oblike. Na začetku horizontalne krivine se razširitev vozišča povečuje počasneje, kot ob izteku, kjer je zmanjševanje razširitve vozišča hitrejše. Tlorisni sliki (slika 1) iz različnih smeri vožnje se ne prekrivata, ampak je njun maksimum razmaknjen, kar pomeni, da je začetek razširitve vozišča pogojen z odmikom koloteka nasproti vozečega vozila. Za praktično uporabo pa ima razširitev vozišča obliko trapeza.



Slika 1: Tlorisna shema razširitve vozišča gozdne ceste v horizontalni krivini (Dobre, 1977; 67)

Umeščena je na notranjo stran horizontalne krivine, koliko pred njo se začne razširitev vozišča in na katerem mestu v njej doseže svoj maksimum, je odvisno od radija in središčnega kota horizontalne krivine (α). Čim manjši so horizontalni radiji in večji so središčni koti, tem prej se razširitev vozišča začne, hkrati pa večji horizontalni radij in večji središčni kot pomenita kasnejši maksimum razširitve vozišča (Dobre, 1977). Podobno obravnavajo razširitve vozišča tudi v jugovzhodni Evropi (države nekdanje SFRJ), z nekaterimi razlikami, ki bodo razložene v nadaljevanju.

Švicarji določajo širino gozdne ceste v premi glede na hitrost vožnje. Tako je pri širini vozila 2,5 m in hitrosti vožnje 20 km/h širina vozišča 3,2 m, pri 40 km/h pa 3,6 m. Tudi oni se razširitve vozišča lotevajo z grafičnimi ponazoritvami, pri čimer poudarjajo, da je pri vozilih pomembna medosna razdalja in število osi vozila, saj več osi pomeni večjo medosno razdaljo in posledično večjo razširitev vozišča. Slednje so razporejene po celi dolžini horizontalne krivine, in sicer polovica izračunane na zunanji in polovica na notranji strani normalne širine ceste. Prehod iz širine v premi na širino v horizontalni krivini in obratno, torej na vhodu in izhodu iz nje, je dolg približno 10 m oziroma do naslednjega profila, konča pa se na njenih skrajnih točkah, torej na začetku in koncu krožnega loka (Kuonen, 1983).

Razširitve vozišča obravnava priročnik FAO o projektiranju cest na območju občutljivih povodij, predvsem z vidika zmanjševanja posegov v prostor in preprečevanja erozije. Izračunane so za štiri tipe vozil, poleg treh, ki jih omenjajo že slovenski in švicarski avtorji še kamion s prikolico za prevoz težke mehanizacije (truck/trailer lowboy combination). Slednja se uporablja za transport sečnih in spravilnih strojev (harvester, forwarder) do delovišč. Poleg vrste vozil in radija horizontalne krivine pa uporabljajo kot pomemben kriterij za določanje potrebne razširitve vozišča središčni kot horizontalne krivine α . Največje iztirjenje nastopi, ko vozilo zapušča horizontalno krivino. Glede na dejstvo da vozila vozijo v obe smeri, mora biti potrebna razširitev vozišča s hodnikom vred (0,5-0,6 m) dodana na celi dolžini horizontalne krivine, in sicer kot pri Švicarjih, polovica na notranji strani in polovica na zunanji strani vozišča gozdne ceste. Širina vozišča v premi znaša 3 m (Schiess in Whitaker, 1986).

V Severni Ameriki so pogoji za gospodarjenje z gozdovi in tehnologije drugačne kot v Evropi. V priročnikih tako govorijo o širini planuma in ne o širini vozišča, saj se ta spreminja glede na material, ki je uporabljen pri izdelavi vozišča. Uporabljajo oceno »preko palca«, kljub temu, da ni natančna, zagotavlja zadostne razširitve vozišča v krivinah za namenska vozila. Najmanjša širina planuma je 3,7 m in minimalni radij horizontalne krivine 15,3 m za ceste z malo prometa, za ceste z veliko prometa pa je planum širok najmanj 6,7 m in radij horizontalne krivine najmanj 21,3 m. Gozdne ceste v državnih gozdovih so načrtovane kot namenske ceste za prevoz lesa in ne javne ceste, zato ne upoštevajo vseh parametrov pri računanju razširitev vozišča. Razširitev vozišča je dodana na notranji strani le-tega. Pri gozdni cestah, katerih širina je manjša od minimalne širine 16 čevljev (~4,9 m), je razširitvi vozišča treba dodati še razliko, ki manjka do minimalne širine. V ZDA poleg kamiona s polprikolico in prikolice za prevoz težke mehanizacije računajo še razširitve horizontalnih krivin za žični žerjav na lastni prikolic in za žerjav, montiran na kamion. Razširitve vozišča so podobne kot pri kamionu s polprikolico zaradi previsa čez zadnjo točko, ko je žerjav zložen (Forest road manual, 2000). V Kanadi uporabljajo preglednico 1, ki prikazuje odvisnosti širine spodnjega ustroja cestišča (Dsp) od vrste vozila in velikosti radija v horizontalni krivini (preglednica 1). Dsp je odvisna od širine vozišča in debeline zgornjega ustroja ceste. Za vsakih 0,3 m debeline zgornjega ustroja ceste se širina spodnjega poveča za 1 m. Za primer vzemimo širino vozišča 4 m in debelino zgornjega ustroja 0,3 m, v tem primeru je širina spodnjega ustroja 5 m.

Preglednica 1: Širina spodnjega ustroja gozdne ceste v odvisnosti od radija za dve vrsti vozil (Forest road..., 2002: 28)

Radij (m)	Polpriklopniki in priklopniki s tremi osmi	Prikolice za prevoz mehanizacije (lowbed vehicles)
	minimalna Dsp (m)	minimalna Dsp (m)
180	4	4,3
90	4,5	5,3
60	5	5,8
45	5	6
35	5,5	6,5
25	6	7,5
20	7	8
15	8	9

Ta metoda ne dovoljuje visenja dolgih debel čez skrajno zadnjo točko vozila, in prav tako ne drsenja vozila zaradi slabih cestnih razmer. Razširitev vozišča je predvidena na notranji strani horizontalne krivine, razen če ima le-ta 60 m dolg prehod na obeh straneh. Za razširitve vozišča na notranji strani vozišča je potrebno zagotoviti 10 metrski prehod na obeh koncih horizontalne krivine. Na nepreglednih horizontalnih krivinah je treba zagotoviti dvosmerno vozišče ali ustrezno signalizacijo (Forest road..., 2002).

Na Irskem navajajo minimalen standardni horizontalni radij 20 m, oziroma večje, kjer je fizično mogoče in ekonomsko upravičeno. Kadar se ni mogoče izogniti načrtovanju ostrih horizontalnih krivin oziroma serpentin, znaša absolutno minimalni radij 12 m. Minimalna širina gozdne ceste v premi meri 3,4 m. Razširitve vozišča so odvisne od središčnega kota in radija horizontalne krivine, njihove velikosti se razberejo iz preglednic. V njih je podana največja dodatna razširitev vozišča, njen začetek in konec v stopinjah, razširitev tangente (prehodnice) in njena dolžina. Primer takšne je preglednica 2, za središčni kot 90° (Ryan in sod., 2004).

Preglednica 2: Razširitve vozišča v horizontalnih krivinah gozdne ceste pri danem središčnem kotu v odvisnosti od radija (Ryan in sod., 2004: 154)

Središčni kot 90°				
Radij krivine (m)	Max. dodatna razširitev (m)	Kot za max. razširitev ($^\circ$)	Max. razširitev tangente (m)	Dolžina tangente (m)
10,7	3,7	25° do 65°	3,1	33,5
12,2	3,3	20° do 70°	2,9	30,5
13,7	3,1	20° do 70°	2,5	27,4
15,2	2,7	15° do 75°	2,3	27,4
18,3	2,4	15° do 75°	2,0	24,4
22,9	1,9	15° do 75°	1,6	21,3
30,5	1,4	10° do 80°	1,1	18,3

Zgoraj opisane metode temeljijo na dejanskih ali grafičnih simulacijah vožnje vozil skozi horizontalno krivino, v sodobnem času pa se uporabljajo za simulacije računalniški programi. Slednji lahko v kratkem času opravijo veliko število operacij, zato uporabljajo kompleksne metode. Primer programa za izračunavanje razširitev vozišča v horizontalnih krivinah je OFFTRACK (Erkert, 1989). Program s pomočjo simulacije vožnje izračuna širino vozišča v horizontalnih krivinah za šest različnih gozdarskih kompozicij za prevoz lesa, pri čemer upošteva tudi previs tovora čez zadnjo os. Krivulja, ki opisuje pot vozil

skozi horizontalno krivino ni del krožnice, ampak traktrisa. Traktrisa (tudi vlčnica) (iz latinske besede trahere, kar pomeni vleči) je transcendentna ravninska krivulja po kateri bi se gibalo majhno telo pod vplivom trenja, če bi ga vlekli po vodoravni ravnini z drogom, ki bi imel nespremenljivo dolžino (Wikipedia, 2016). Krivuljo opisuje diferencialna enačba. Dolžina krivulje, ki jo opiše vozilo v vožnji skozi horizontalno krivino se razdeli na več majhnih odsekov. Empirično dokazano je, da so rezultati dovolj natančni, če posamezen odsek meri en čevelj (30,5 cm). Položaj vozila v dani točki se določa glede na koordinate prejšnje točke, prav tako trenutni radij in prevožena razdalja ter smerni koti. Vhodni podatki za program OFFTRACK so:

- definirane dimenzije odsekov gozdne ceste (horizontalni radij, dolžina);
- dimenzije vozila (dolžine enot, lokacije spojev, previs);
- začetne koordinate in smer (Erkert, 1989).

Sodobna orodja za projektiranje gozdnih cest so skupek takšnih programov, saj omogočajo celovito načrtovanje gozdne ceste, od priprave projektne dokumentacije do predračuna. V svetovnem merilu je najbolj uporabljan programski paket RoadEng forest engineer, ki so ga razvili v podjetju Softree ob pomoči kanadskih strokovnjakov. Deluje v programskem okolju Windows in izhaja iz CAD platforme (programi za tehnično risanje, na primer AutoCAD). Namenjen je izdelavi kompletne projektne dokumentacije za gozdno cesto. Sestavljen je iz treh modulov, od katerih ima vsak svojo nalogo pri končnem izdelku. Prvi modul je Survey/Map, ki služi za vnos podatkov, pridobljenih na terenu, drugi modul Terrain, ki definira značilnosti terena iz terenskih posnetkov in tretji modul Location, ki povezuje vse prej vnesene podatke. Projektant tako lahko spremlja vse tri projekcije v enem oknu in rešuje probleme hitro in učinkovito. Program vsebuje tudi posebno orodje Horizontal curve, s katerim lahko parametre horizontalne krivine, tudi razširitve vozišča, vnesemo ročno, ali pa nam program na podlagi vnesenih podatkov poda svoj predlog (Lepoglavec in sod., 2011). Na Hrvaškem uporabljajo program Cesta, ki ga je razvilo slovensko podjetje Softdata, ki je sicer uporaben, vendar na dolgi rok neprimeren za projektante gozdnih cest (Nevečerel in sod., 2011).

3 METODE DELA

3.1 OPIS OBJEKTA

Predmet naše analize je gozdna cesta Mala voda (slika 2), ki se nahaja na desnem bregu istoimenskega potoka v gozdnogospodarski enoti Dobrova na gozdnogospodarskem območju Ljubljana, sicer pa spada v katastrsko občino Vrzenec v občini Horjul. Je 100 % v zasebni lasti. Zgrajena je bila v letu 1983, njena dolžina znaša 3945 m, širina pasu, ki ga odpira je 500-600 m. Povprečni naklon terena je 60 %, lega S- SZ, površina odprtih gozdov je 144 ha. Kamninska podlaga je apnenec z dolomitiziranim apnencem. Širina cestišča je 4 m, vozišča 3 m, bankina in koritnica merita 0,5 m. Največji vzpon je 11 %, povprečni 4,5 %, minimalen horizontalen radij 20 m (Beden, 1983). Teren je zaradi načina spravila lesa v preteklosti (zemeljske drče) prepreden z jarki. Poraščen je s pretežno kvalitetnimi mešani bukovo smrekovi sestoji na rastišču Hacquetio-Fagetum, manjše površine smrekovih kultur. Klasificira se v gospodarski razred acidofilnih bukovij. Večina prometa je sicer negozdarskega, saj cesta odpira zasebni kamnolom (Maček, 2002). Polna vožnja lahko poteka v obe smeri, saj se na vzhodu navezuje na gozdno cesto Mala voda-Prevalca- Grdadolnik, na zahodu pa na lokalno cesto Pil- Samotorica.



Slika 2: Gozdna cesta Mala voda (EGC, 2016)

Preglednica 3: Struktura prihodov v gozd na gozdni cesti Mala voda (Maček, 2002: 13)

Raba	Skupno število prihodov	Prihodov na leto	Delež (%)
Gosp z gozdom	1914	120	9
Kamnlom	10000	625	49
Kmetije	2880	180	14
Lovci, gobarji...	5760	360	28
Skupaj	20554	1285	100

Iz preglednice 3 lahko razberemo, da je delež prometa povezanega z gospodarjenjem z gozdom le 9 %, prihodi v kamnlom pa znašajo kar 49 % oziroma slabo polovico prometa. Od 9 % prometa za gospodarjenje z gozdom pa znaša 45 % prometa transport lesa, kar je razvidno iz preglednice 4.

Preglednica 4: Struktura gozdarskega prometa na gozdni cesti Mala voda (Maček, 2002: 13)

Kategorija	Št prihodov	Prihodov na leto	Delež (%)
Prevoz lesa	863	53	45
Goj in var dela	619	39	32
Revirni gozdar, delavci	432	28	23
Skupaj	1914	120	100

3.2 TERENSKÉ MERITVE

Meritve so potekale med novembrom 2013 in aprilom 2016 na gozdni cesti Mala voda v smeri od zahoda, torej od odcepa na lokalno cesto Pil- Samotorica do vzhoda, torej do odcepa na gozdno cesto Mala voda- Prevalca- Grdadolnik.

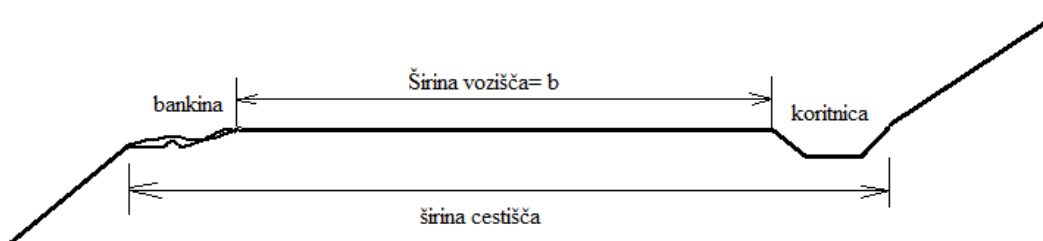
3.2.1 Instrumenti

Za meritve smo uporabljali naslednje orodje:

- tračna metra dolžine 50 m in 8 m;
- padomer;
- 2 trasirki;
- klini za označevanje točk.

3. 2. 2 Meritve širine vozišča gozdne ceste v premi

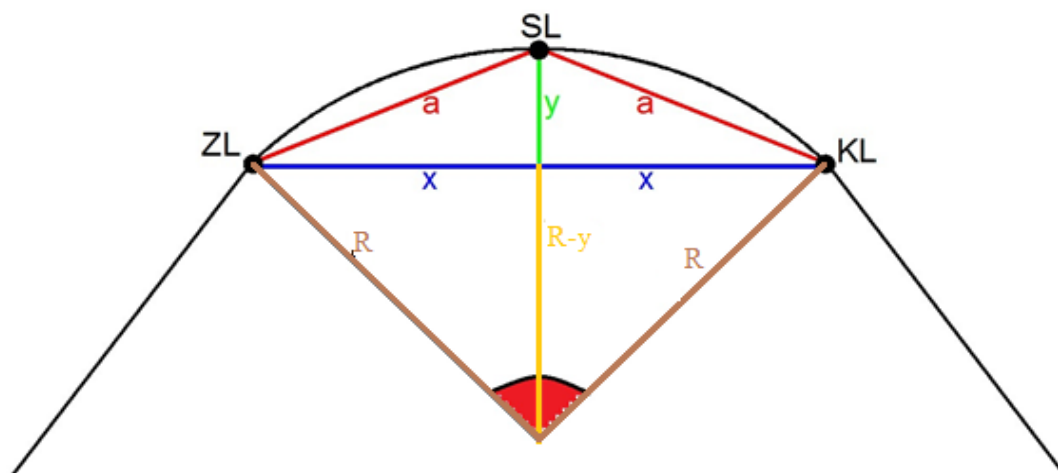
Širino vozišča gozdne ceste smo merili od roba telesa za odvodnjavanje (koritnica, jarek) na eni strani, do roba bankine na drugi strani. Meritve v premi so bile opravljene sproti, vzdolž celotne trase gozdne ceste, in sicer je bila v vsaki premi opravljena vsaj ena meritev. Povprečje vseh meritev je iskana širina vozišča gozdne ceste v premi. Meritve v premi, kot tudi vse ostale meritve, so bile opravljene na decimeter natančno s tračnima metroma.



Slika 3: Širina vozišča gozdne ceste v prečnem profilu

3. 2. 3 Meritve širine vozišča gozdne ceste v horizontalnih krivinah

Skica meritev v horizontalnih krivinah je podana na sliki 4. Črna črta predstavlja potek osi ceste, točke predstavljajo začetek krožnega loka (ZL), sredino loka (SL) in konec loka (KL), rdeča črta označuje razdaljo a med točko SL in obema skrajnima točkama horizontalne krivine (ZL, KL), modra črta tetivo $2x$ med točkama ZL in KL, zelena črta y pa pravokotno razdaljo med tetivo $2x$ in točko SL. Rjavi črti označujeta radij horizontalne krivine R , rumena razliko med R in y . Rdeče polje med obema rjavima črtama označuje sredinski kot α .



Slika 4: Skica meritev v horizontalnih krivinah na gozdni cesti

Meritve so potekale po naslednjem postopku:

1. Določili smo sredino horizontalnih krivin, oziroma sredinsko točko krožnega loka (teme- SL). V praksi smo to izvedli tako, da smo iz osi gozdne ceste v obeh premah potegnili tračni meter in pod sečiščem, na osi krivine določili točko SL.
2. Iz točke SL smo potegnili tračni meter po osi do začetka horizontalne krivine in tam določili točko začetka krožnega loka (ZL) ter dobili razdaljo a . Isto razdaljo smo nato po osi ceste odmerili še proti koncu horizontalne krivine in tam določili točko konca krožnega loka (KL). Tako smo dobili glavne tri točke krožnega loka ter jih označili s klini za lažje nadaljnje delo. Pazili smo, da so vse tri točke ležale na osi ceste.
3. Izmerili smo razdaljo od točk ZL do KL (tetiva- $2x$). Tračni meter smo pustili napet na tej razdalji.
4. Izmerili smo pravokotno razdaljo (y) od točke SL do tetive.
5. V isti osi smo s tračnim metrom izmerili še širino vozišča (b), širino koritnice oziroma jarka in naklon odkopne in nasipne brežine s padomerom.
6. Naknadno smo po določitvi horizontalnih krivin, v katerih so potrebne razširitve svetlega profila, pri teh v točki ZL s tračnim metrom izmerili še širino koritnice k in s padomerom naklon odkopne brežine v točki ZL.

3.3 IZRAČUN OSNOVNIH PARAMETROV HORIZONTALNE KRIVINE

Sami rezultati meritev, pridobljeni na terenu, nam ne povedo veliko o horizontalnih krivinah, zato smo iz njih najprej izračunali parametra, potrebna za analizo in nadaljnjo primerjavo. Za analizo potrebujemo horizontalni radij in središčni kot, ki sta osnovna parametra za določanje velikosti razširitev v horizontalnih krivinah.

Spodaj je prikazana izpeljava enačbe (1) za horizontalni radij (Seminar..., 2006):

$$\begin{aligned}
 x^2 &= R^2 - (R - y)^2 \\
 x^2 &= a^2 - y^2 \\
 R^2 - (R - y)^2 &= a^2 - y^2 \\
 R^2 - R^2 + 2Ry - y^2 &= a^2 - y^2 \\
 a^2 &= 2Ry \\
 R &= a^2 / 2y
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Enačbe (2), (3) in (4) prikazujejo različne možnosti izračuna središčnega kota:

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{x}{R}\right) * 2 \tag{2}$$

$$\alpha = \arctan\left(\frac{a}{R}\right) * 2 \tag{3}$$

$$\alpha = \arccos\left(1 - \frac{a^2}{2R^2}\right) * 2 \tag{4}$$

3.4 METODE IZRAČUNA RAZŠIRITEV GOZDNE CESTE V HORIZONTALNIH KRIVINAH

V vsaki horizontalni krivini ni potrebno dodajati razširitev vozišča in svetlega profila gozdne ceste, ampak le tam, kjer je horizontalni radij manjši od določene meje. Mejni radij se po metodah razlikuje. Pri 3,5 m široki gozdni cesti, prilagojeni za prevoz 12 m dolgega lesa je ta meja pri horizontalnem radiju 40 m, pri širini vozišča 3 m pa se ta meja pomakne

celo do horizontalnega radija 100 m (Dobre, 1977). Tudi Švicarji praviloma ne razširjajo vozišča pri horizontalnih radijih večjih od 100 m (Kuonen, 1983), Avstrijci pa končajo z razširitvami pri horizontalnem radiju 60 m (Trzesniowski, 1988). V projektu za GC Mala voda so razširitve predvidene za horizontalne radije manjše od 50 m (Beden, 1983). Pravilnik o gozdnih prometnicah (2008) v 9. členu določa, da je potrebno v horizontalnih krivinah, katerih radij je manjši od 50 m, projektirati razširitve vozišča. Za Slovenijo je to merodajen dokument, zato smo tudi mi upoštevali to navodilo in izločili horizontalne krivine katerih radij je manjši od 50 m.

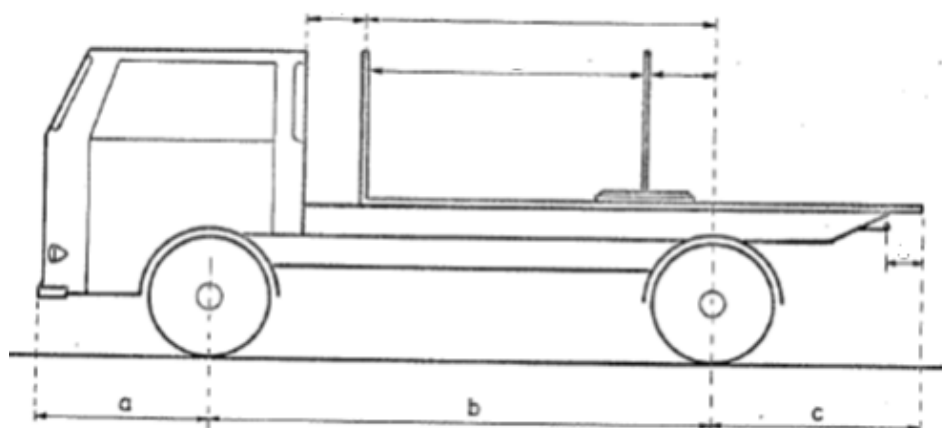
3. 4. 1 Dimenzije vozil in omejitev hitrosti

Pravilnik o delih in opremi vozil (2013) določa naslednje največje dovoljene dimenzije:

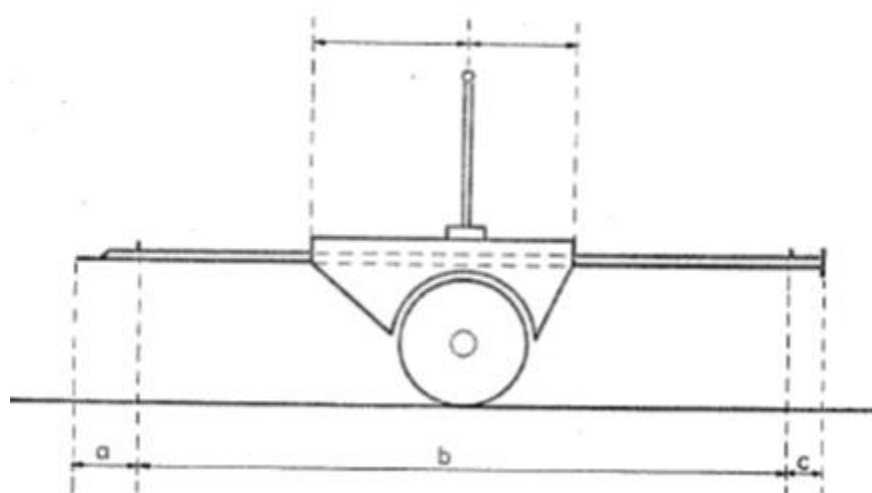
- dolžina vozila razen avtobusa 12 m;
- dolžina vozila s polpriklopnikom 16,5 m;
- dolžina vozila s priklopnikom 18,75 m;
- širina 2,55 m;
- višina 4,2 m.

Zakon o pravilih cestnega prometa v členu (2010) 74/ 4 določa da tovor lahko sega največ 1,5 m preko zadnjega dela vozila oziroma skupine vozil, razen pri izrednih prevozi, ki se opravljajo na podlagi dovoljenja pristojnega organa. Na tovornem ali priklopnem vozilu mora biti tovor oprt na najmanj 5/6 svoje dolžine.

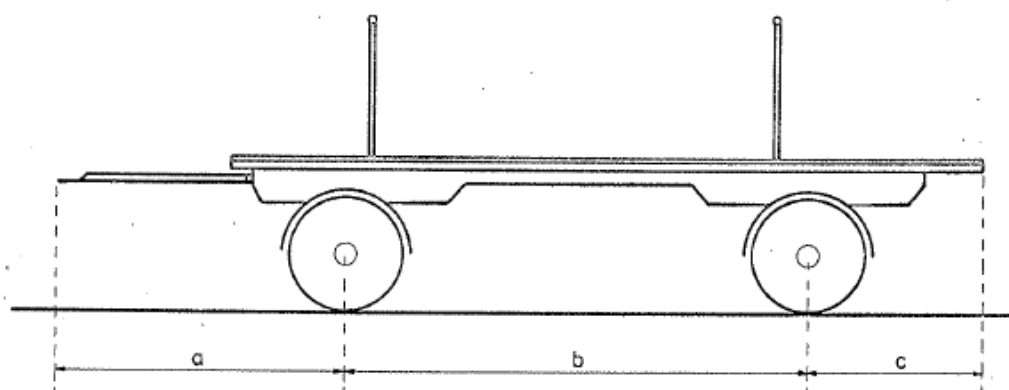
Za oblikovanje horizontalnih krivin na gozdni cesti glede na sedanji in predvideni način prevoza lesa je treba upoštevati zahteve prevoza lesa dolžine 12 m z enoosno polprikolico, ki je odločujoče in najbolj zahtevno vozilo (Potočnik, 2007). Dimenzije so prikazane na slikah 5 in 6, na sliki 7 je dodana še shema prikolice, njihove vrednosti v metrih pa v preglednici 5.



Slika 5: Shema dvoosnega kamiona (Dobre, 1977: 19)



Slika 6: Shema enoosne polprikolice (Dobre, 1977: 20)



Slika 7: Shema dvoosne prikolice (Dobre, 1977: 20)

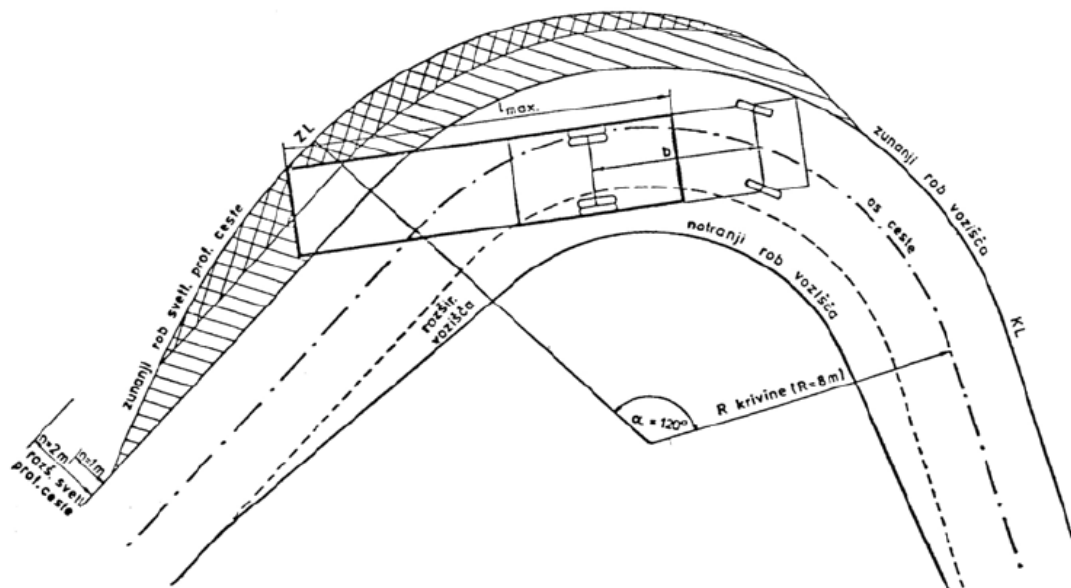
Preglednica 5: Dimenzije kamiona, prikolice in polprikolice (Dobre, 1977: 21, 23)

	a (m)	b (m)	c (m)
Dvoosni kamion	1,5	4,1	1,1
Enoosna polprikolica	0,3	6,2	0
Dvoosna prikolica	3,0	4,1	1,7

Pravilnik o gozdnih prometnicah (2009) v 19. členu določa, da je največja dovoljena hitrost na gozdni cesti 40 km/h.

3. 4. 2 Metode izračuna razširitve svetlega profila gozdne ceste

Začetek in konec razširitve svetlega profila je postavljen glede na točko začetka loka (ZL). Začne se malo pred to točko, torej še v premi, kjer se lahko tudi konča, lahko pa seže v samo horizontalno krivino (slika 8). Njen položaj je odvisen od radija horizontalne krivine, njenega središčnega kota in velikosti same razširitve. Večji kot je horizontalni radij, kasneje se razširitev svetlega profila zaključi. Na njen zaključek pa nima vpliva, medtem ko se z manjšim središčnim kotom razširitev svetlega profila prej začne in konča.



Slika 8: Shema razširitve svetlega profila gozdne ceste v horizontalnih krivinah za kamion z enoosno polprikolico (Dobre, 1977. 46)

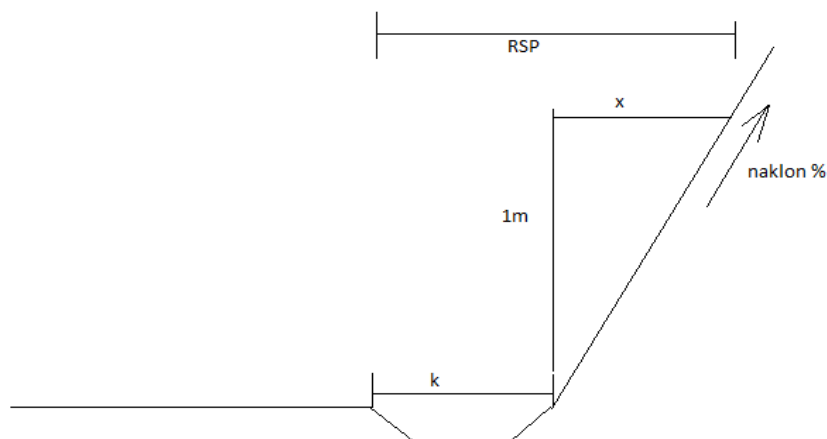
Okvirna tlorisna oblika je v preglednici 4 podana z osnovnimi koordinatami in sicer velikostjo razširitve svetlega profila in položajem glede na točko ZL, pri katerem predznak minus pomeni, da se točka nahaja pred ZL, plus pa za njo. Koordinate so podane v odvisnosti od središčnega kota in velikosti horizontalnega radija krivine. Enote so v metrih. Dolžina in širina razširitve svetlega profila je odvisna od dolžine tovara, radija horizontalne krivine in njenega sredinskega kota (Dobre, 1977).

Preglednica 6: Koordinate razširitve svetlega profila gozdne ceste v horizontalnih krivinah pri vožnji kamiona z enosno polprikolico (Dobre, 1977: 49)

Velikost RSP*	Središčni kot 60°						Središčni kot 120°						R
	Začetek (m)			Konec (m)			Začetek (m)			Konec (m)			
2,0	-6,4 -9,0 -10,8 -9,0 -5,9			-4,6 -2,1 -4,6 -2,1 -1,5 -1,5			-3,5 -1,5 -7,1 -3,8 -9,3 -7,7 -4,3			-1,8 +1,0 -2,3 +1,0 +2,5			8
1,5													
1,0													
2,0	-4,0 -7,3 -3,9 -9,7 -8,2 -3,9			-2,4 +0,3 -2,1 +0,6 +1,9			-3,2 -7,5 -3,5 -9,8 -8,2 -4,0			-1,2 +3,2 -2,0 +3,2 +9,8			12
1,5													
1,0													
2,0	-2,1 -7,4 -3,2 -10,2 -8,0 -3,1			-0,9 +5,2 -1,5 +5,5 +8,3			-2,5 -7,4 -2,9 -10,2 -8,0 -3,3			-0,5 +21,8 -1,3 +26,5 +28,3			20
1,5													
1,0													

*RSP- razširitev svetlega profila gozdne ceste

Polna vožnja je na gozdni cesti Mala voda mogoča v obe smeri, torej so razširitve svetlega profila gozdne ceste simetrične glede na horizontalno krivino. Izmerili smo jo v točki ZL v smeri meritev in jo poenostavili le na eno dimenzijo in sicer njeno širino v točki ZL, kar zadostuje za potrebe našega dela. Na sliki 9 smo v prečnem profilu gozdne ceste prikazali, kako smo prišli do razširitve svetlega profila gozdne ceste. Širino koritnice k in naklon odkopne brežine v % smo izmerili na terenu.



Slika 9: Prikaz razširitve svetlega profila gozdne ceste v horizontalni krivini v prečnem profilu točke ZL

Širini koritnice oziroma jarka (na sliki 9 označeno s k) prištejemo odmik odkopne brežine na višini enega metra (x):

$$x = 1 / \tan\left(\frac{\text{naklon}(\%) \times 45^\circ}{100}\right) \quad \dots(5)$$

$$RSP = k + x \quad \dots(6)$$

Razširitev svetlega profila gozdne ceste nismo računali za vse horizontalne krivine, ampak smo najprej izločili vse, ki imajo radij manjši od 50 m, nato pa smo na terenu izločili še vse, ki imajo konveksno obliko. Konveksne horizontalne krivine so izbočene iz terena, v našem primeru so to desni zavoji glede na smer meritev. V teh krivinah teren ne ovira transporta, ker je v točki, v kateri bi ga skrajna zadnja točka tovora lahko zadela, ta enak ali nižji od nivoja vozišča. Nasprotno pa so konkavne horizontalne krivine vbočene v teren, torej bi ga skrajna zadnja točka tovora lahko zadela, s tem bi bil prevoz onemogočen.

3. 4. 3 Razširitve vozišča v horizontalnih krivinah

3. 4. 3. 1 Slovenska metoda

Že prej smo omenili, da največjo razširitev vozišča gozdne ceste zahteva kamion z enoosno polprikolico, za boljše razumevanje smo v tem poglavju razložili še izračun razširitev vozišča za preostali dve kompoziciji. Poglejmo torej najprej izračun za kamion solo.

Iz slike 11 je razvidno, da lahko iz podobnih trikotnikov izpeljemo enačbo (7) za razširitev vozišča pri vožnji s kamionom:

$$\begin{aligned} p_1 &= R - R_1 \\ R_1 &= \sqrt{R^2 - b^2} \\ p_1 &= R - \sqrt{R^2 - b^2} \end{aligned} \quad \dots(7)$$

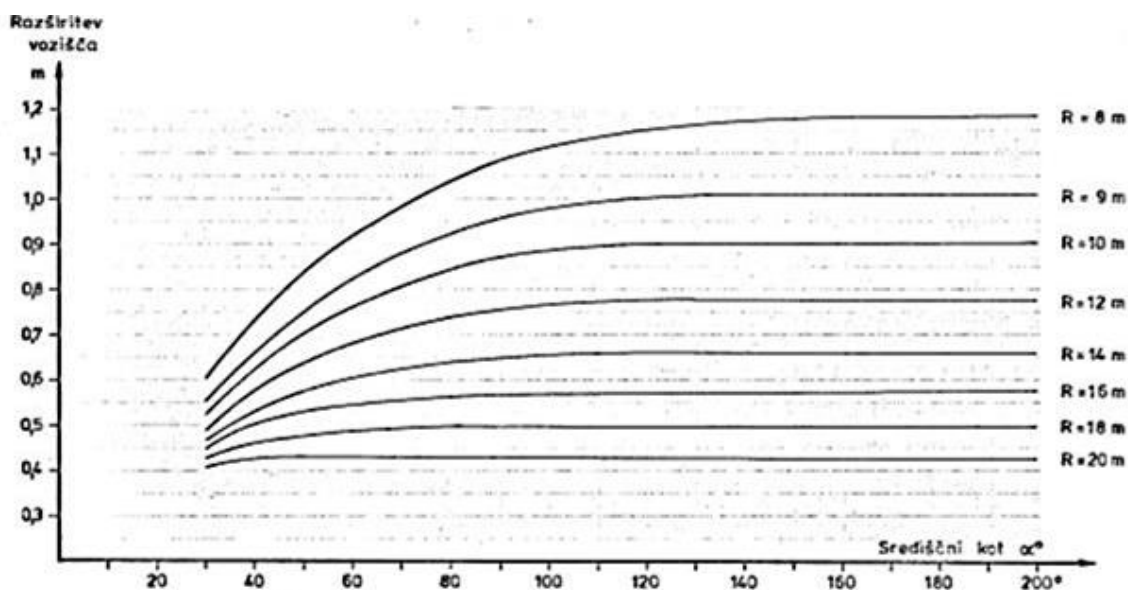
P_1 = razširitev vozišča v horizontalni krivini;

R = radij horizontalne krivine;

R_1 = radij loka, ki ga opisuje sredina zadnje preme kamiona;

b = medosna razdalja.

Razširitev vozišča je torej odvisna od dveh parametrov, in sicer radija horizontalne krivine in medosne razdalje, pri čimer velja omeniti, da se pri triosnih kamionih upošteva računski medosna razdalja. Razširitev vozišča se povečuje progresivno z daljšanjem medosne razdalje in manjšanjem horizontalnega radija. Izračun temelji na predpostavki, da vozilo pelje polni krog. Vendar na velikost razširitev vozišča vpliva tudi središčni kot horizontalne krivine (α), kateri nam pove, kolikšen del polnega kroga zavzema. Razširitev vozišča se veča s povečevanjem kota in manjšanjem horizontalnega radija, kar je razvidno iz grafa na sliki 10. Na njem lahko vidimo, da pri minimalnem radiju krivine 9 m nastopi maksimalna razširitev vozišča pri središčnem kotu 130° , medtem ko pri radiju horizontalne krivine 20 m že pri 40° (Dobre, 1977).



Slika 10: : Razširitev vozišča gozdne ceste v odvisnosti od radija krivine in središčnega kota (Dobre, 1977: 63)

Pri izračunu razširitve vozišča za kamion s polprikolico je potrebno razširiti vozišča za sam kamion prišteti še tisto, ki jo dodatno zahteva polprikolica. Obravnavamo samo enoosno, ker zahteva znatno večjo razširitev kot dvoosna. Iz slike 11 dobimo obrazec (8):

$$p = p_1 + p_2$$

$$p_2 = p_z - p_c$$

$$p_z = R_2 - R_3$$

$$p_c = R_2 - R_1$$

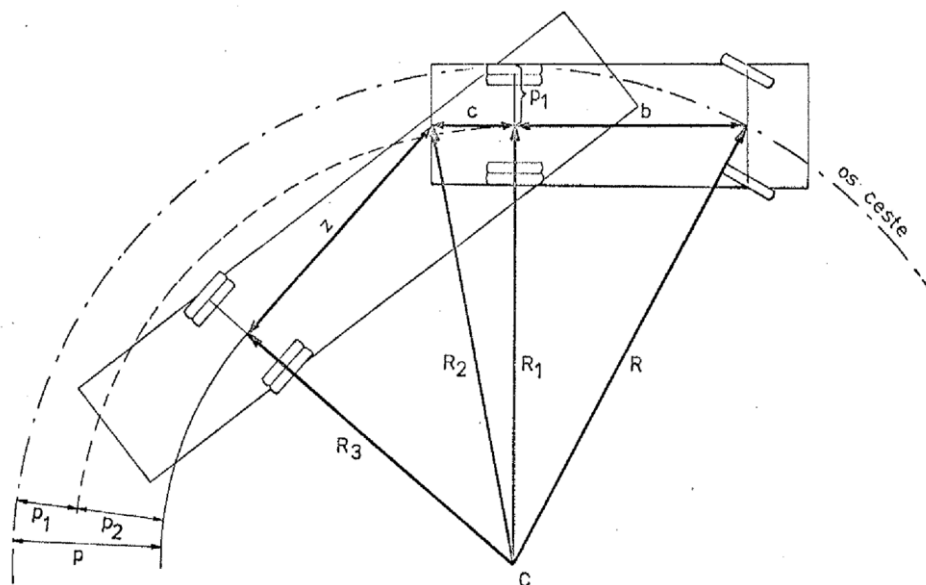
$$R_3 = \sqrt{R_2^2 - z^2}$$

$$R_2 = \sqrt{R_1^2 + c^2}$$

$$p = R - \sqrt{R^2 - b^2 + c^2 - z^2} \quad \dots(8)$$

c = razdalja od zadnje preme do konca kamiona, oziroma do mesta priključka polprikolice;

z = odmik osi polprikolice od konca kamiona (dolžina droga).



Slika 11: Shema razširitve vozišča gozdne ceste v horizontalni krivini pri vožnji s kamionsko polprikolico (Dobre, 1977: 61)

Iz te enačbe lahko ugotovimo, da na razširitev vozišča gozdne ceste pri vožnji s polprikolico vplivata poleg že znanih parametrov R in b še dva nova parametra c in z . Velikost razširitve vozišča pada sorazmerno z večanjem vrednosti c , z večanjem vrednosti z pa naglo narašča. Za razliko od vožnje s kamionom, tu vrednosti pri majhnih horizontalnih radijih ne dosežejo maksimuma. Dvoosne polprikolice so glede razširitev vozišča mnogo bolj ugodne, saj so slednje od 10 do 25 % manjše v primerjavi z enoosno polprikolico pri enakih parametrih (Dobre, 1977).

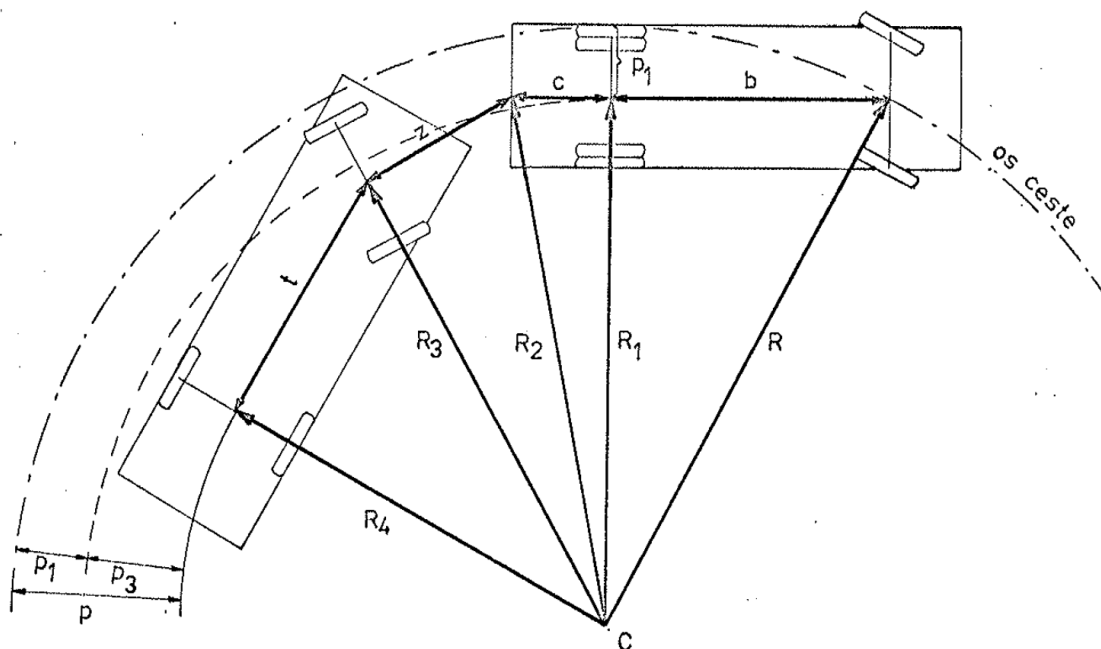
Na osnovi slike 12 in enačbe za razširitev vozišča gozdne ceste pri vožnji s polprikolico smo dopolnili enačbo (8) za razširitve vozišča pri vožnji kamiona s prikolico:

$$p = R - \sqrt{R^2 - b^2 + c^2 - z^2 - t^2} \quad \dots(9)$$

t = medosna razdalja prikolice

Pri enačbi (9) nastopa še peti parameter t , z večanjem katerega se progresivno veča tudi velikost razširitve vozišča gozdne ceste. Prikolica normalnih dimenzij zahteva okoli 20 %

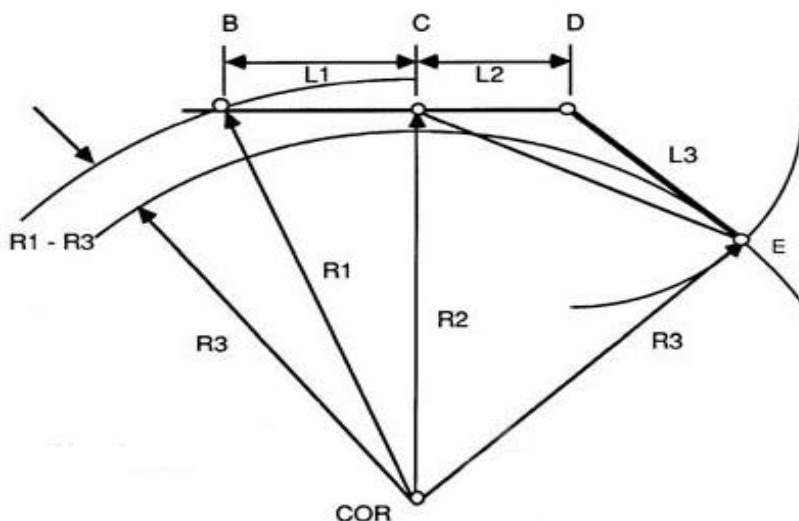
manjše razširitve vozišča v primerjavi z enoosno prikolico pri prevozu 12 m lesa (Dobre, 1977).



Slika 12: Shema razširitve vozišča gozdne ceste pri vožnji s kamionsko polprikolico (Dobre, 1977:61)

3. 4. 3. 2 Metoda FAO

Poenostavljene enačbe, ki se uporabljajo v Severni Ameriki in Evropi (švicarske), so po mnenju avtorjev priročnika FAO pogosto neustrezne v težkih terenskih pogojih. Precenjujejo razširitve vozišča gozdne ceste pri rahlih horizontalnih krivinah ($\alpha < 45^\circ$) in jih podcenjujejo pri ostrih ($\alpha > 50^\circ$). Po njihovem mnenju je bolj primerna metoda grafične simulacije (slika 13), saj upošteva dimenzije vozil in elemente horizontalnih krivin, še posebej središčni kot (Schiess in Whitaker, 1986).



Slika 13: Metoda grafične simulacije iztirjenja pri kamionu z enoosno polprikolico (Schiess in Whitaker, 1986: 77)

Razširitve temeljijo na dimenzijah vozil in na sledeči enačbi (10) (Schiess in Whitaker, 1986):

$$OF = \left(R - \frac{R_2 - L_2}{2} \right) \times (1 - e^X) \quad \dots(10)$$

OF... razširitev vozišča gozdne ceste v horizontalnih krivinah (m)

R... radij horizontalne krivine (m)

R₂... horizontalni radij zmanjšan za iztirjenje zadnje osi kamiona (m)

L₂...razdalja med zadnjo osjo kamiona in priklopom polprikolice (m)

X = (-0,015 * α * R/L + 0,216)

L... skupna medosna razdalja (m)

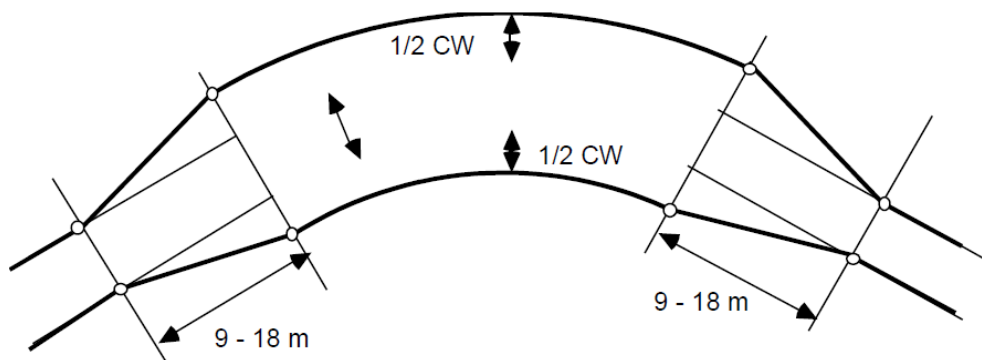
Za polprikolico z drogom L znaša (enačba (11):

$$L = L_1 + L_2 + \frac{L_3}{2} \quad \dots(11)$$

L₁ je medosna razdalja kamiona in je enaka naši vrednosti b za kamion. L₂ je dolžina droga, enaka slovenski vrednosti c za kamion. L₃ je dolžina od priklopa na drog do osi polprikolice enaka vsoti slovenskih vrednosti a in b za polprikolico, kot je razvidno iz slike

12. Pri izračunu smo uporabili dimenzije vozil podane v poglavju 3. 4. 1. R_2 smo izračunali po enačbi (1) za kamion solo po slovenski metodi.

Največje iztirjenje nastopi, ko vozilo zapušča horizontalno krivino gozdne ceste. Glede na dejstvo, da vozila vozijo v obe smeri, mora biti potrebna razširitev vozišča (CW) vred z varnostnim hodnikom (0,5- 0,6 m) dodana na celotni dolžini horizontalne krivine, in sicer polovica na notranji strani in polovica na zunanji strani vozišča gozdne ceste (slika 14) (Schiess in Whitaker, 1986).



Slika 14: Situacija razširitve vozišča v krivini (Schiess in Whitaker, 1986: 79)

Dolžina prehoda do horizontalne krivine lahko variira od 9 do 18 m, odvisno od njenega radija. Priporočene dolžine prehodov pred in za horizontalno krivino so podani v preglednici 7 (Schiess in Whitaker, 1986):

Preglednica 7: Dolžine prehodov glede na radij horizontalne krivine gozdne ceste (Schiess in Whitaker, 1986: 79)

Radij krivine (m)	Dolžina prehoda (m)
20	18
20 - 25	15
25 - 30	12

3. 4. 3. 3 Švicarska metoda

Švicarji določajo širino gozdne ceste v premi s pomočjo hitrosti vožnje in širine vozila, kar prikazuje preglednica 8. Tem osnovam nato prištejejo razširitev vozišča v krivinah, ki jo podobno kot pri nas računajo za posamezna namenska vozila (Kuonen, 1983).

Preglednica 8: Širina vozišča gozdne ceste v premi v odvisnosti od hitrosti vožnje in širine vozila (Kuonen, 1983: 157)

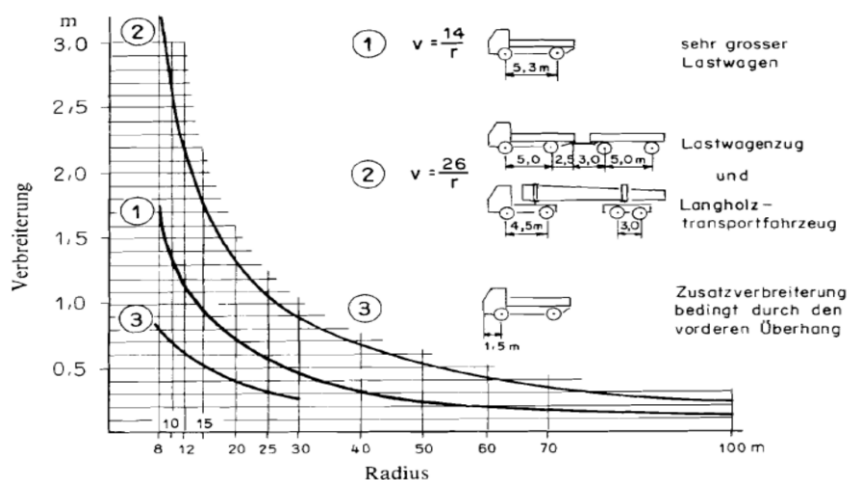
Hitrost vožnje (km/h)	20	30	40
Širina vozila 2,3 m	3,0	3,2	3,4
Širina vozila 2,5 m	3,2	3,4	3,6

Dimenzije vozila vzamemo iz poglavja 3. 4. 1, radije dobimo s pomočjo Pitagorovega izreka kot je opisano v slovenski metodi, razširitev vozišča gozdne ceste (v) pa iz enačbe (12):

$$v = \frac{26}{r} \quad \dots(12)$$

Analogno z r_1 lahko izračunamo tudi r_d in iz tega velikost dodatne razširitve vozišča v_d pri skalnatih pobočjih in podpornih zidovih na zgornji strani gozdne ceste v strmih terenih. R_d predstavlja skrajno prednjo točko vozila in ne sredine prednje osi (r_1), ki jo uporabljamo za razširitev vozišča. Velikost dodatne razširitve vozišča prištejemo že izračunani, predvidena je v horizontalnih krivinah, kjer je naklon odkopnih brežin večji od 1:1 (Kuonen, 1983).

Na sliki 15 so prikazane krivulje odvisnosti razširitev vozišča gozdne ceste od horizontalnih radijev, in sicer pod številko 1 za kamion solo, pod številko 2 za kamion s prikolico in polprikolico, in pod številko 3 dodatna razširitev zaradi previsa čez sprednjo os. Razširitve vozišča iz grafa veljajo za širine vozišča iz preglednice 8. Njihove vrednosti so zaokrožene na 20 cm natančno in vstavljene v preglednico 9 predstavljajo praktičen pripomoček za delo na terenu (Kuonen, 1983).



Slika 15: Graf razširitev vozišča gozdne ceste v odvisnosti velikosti horizontalnega radija (Kuonen, 1983: 160)

Preglednica 9: Razširitve vozišča gozdne ceste v odvisnosti od radija horizontalne krivine (Kuonen, 1983: 161)

r (m)	v ₁ (m)	v ₂ (m)
8	3,2	1,8
9	2,8	1,6
10	2,6	1,4
11	2,4	1,2
12	2,2	
13	2,0	1,0
>13 ≤15	1,8	
>15 ≤17	1,6	0,8
>17 ≤20	1,4	
>20 ≤24	1,2	0,6
>24 ≤29	1,0	
>29 ≤37	0,8	0,4
>37 ≤52	0,6	
>52 ≤87	0,4	0,2
>87 <100	0,2	
≥100	0,0	0,0

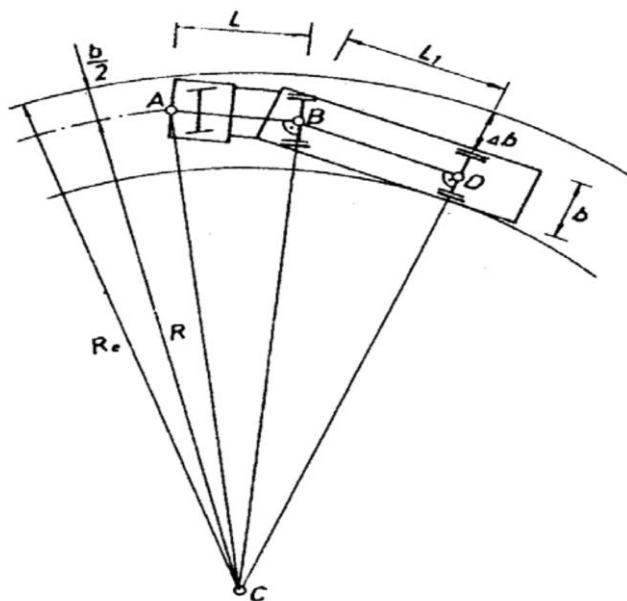
Razširitve vozišča gozdne ceste so načeloma razporejene po celotni dolžini horizontalne krivine, in sicer polovica izračunane na njeni zunanji in polovica na notranji strani. Prehod iz širine gozdne ceste v premi na širino v horizontalni krivini in obratno, torej na njenem

vhodu in izhodu, je dolg približno 10 m oziroma do naslednjega profila, konča pa se na skrajnih točkah horizontalne krivine, torej na začetku in koncu krožnega loka, podobno kot pri metodi FAO. Pri zaporednih horizontalnih krivinah je največja razširitev na točki prehoda iz ene v drugo krivino. Posebna pravila pa veljajo za prehode na razširjeno vozišče v serpentinah:

- razširitve vozišča na zunanji in notranji strani se ne začnejo v isti točki;
- skupna dolžina prehoda na zunanji strani je 20 m, pri čemer mora 10 m pred začetkom serpentine razširitev vozišča doseči 30 % izračunane vrednosti ($0,3X v$), v začetni točki serpentine pa doseže 50 % izračunane vrednosti ($0,5X v$);
- na notranji strani se razširitev vozišča začne 10 m pred začetno točko serpentine, in v njej doseže velikost 40 % izračunane vrednosti ($0,4X v$), predvideno velikost ($0,5X v$), pa doseže na $1/8$ dolžine krožnega loka od začetne točke (Kuonen, 1983).

3. 4. 3. 4 Metoda JV Evrope

Gradivo za opis te metode smo dobili iz multimedijske predstavitve gozdarske fakultete Univerze v Banja Luki (Seminar..., 2006). Metoda je podobna slovenski, z nekaj razlikami.



Slika 16: Shema vožnje kamiona s polprikolico v horizontalni krivini gozdne ceste (Seminar..., 2006: 46)

Iz situacije na sliki 16 izhajajo izračuni iz dveh trikotnikov, in sicer AC- AB- BC in BC- BD- CD. Razširitev vozišča gozdne ceste tako dobimo prek enačbe (13):

$$\Delta b = \frac{L^2 + L_1^2}{2R} \quad \dots(13)$$

L označuje razdaljo od sprednjega konca kamiona do zadnje osi kamiona (vrednost b za kamion), R pa radij horizontalne krivine. L_1 označuje razdaljo od sredine zadnje osi kamiona do sredine zadnje osi polprikolice (vsota razdalje c za kamion in razdalj a in b za polprikolico), s tem da ima slednja lahko tudi dve osi, pri čemer je razširitev vozišča manjša (Seminar..., 2006). Pri tem moramo omeniti, da gre za drugačen tip polprikolice kot pri slovenski ali FAO metodi - pri obeh gre za polprikolico s priklopom na drog na zadnjem delu kamiona, pri tej metodi pa gre za sedlasti priklop, ki se nahaja nad zadnjo osjo kamiona.

3. 4. 3. 5 Avstrijska metoda

Avstrijski avtorji predvidevajo razširitve vozišča gozdne ceste v enostavnih horizontalnih krivinah na notranji strani, v serpentinah pa, podobno kot švicarski, polovico razširitve vozišča na notranji in polovico na zunanji strani horizontalne krivine. Širina vozišča v premi je 3,5 m. Minimalni horizontalni radiji so za dvoosni kamion solo 8 -9 m, za kamion s prikolico 10 m, za kamion s polprikolico (LKW mit Langholzlaufer) pa 15 m. Velikost razširitve vozišča se računa prek enačbe (14):

$$\Delta b = \frac{20}{R} \quad \dots(14)$$

Prehod iz horizontalne krivine v premo naj bi bil dolg 20 m (Trzesniowski, 1988). V pomoč je preglednica 10.

Preglednica 10: Razširitve vozišča gozdne ceste v horizontalnih krivinah za dve vozili v odvisnosti od radija horizontalne krivine (Trzesniowski, 1988: 79)

Kamion s prikolico			Kamion za prevoz dolgega lesa (s polprikolico)				
Horizontalni radij (m)	Širina vozišča (m)	Razširitev vozišča v krivini (m)	Širina vozišča (m)	Razširitev vozišča v krivini (m)	Raz. svet. profila gozdne ceste (m)	Tangenta (m)	Naklon (%)
10	6,70	3,20	7,50	4,00	2,00	25	3,8
12	6,20	2,70	6,90	3,40	1,80	22	4,0
15	5,60	2,10	6,20	2,70	1,50	20	4,5
18	5,30	1,80	5,80	2,30	1,20	18	4,8
20	5,10	1,60	5,50	2,00	1,00	16	5
25	4,80	1,30	5,10	1,60	1,00	13	5
30	4,60	1,10	4,60	1,10	1,00	10	5
40	4,30	0,80	4,00	0,50	1,00	8	6
50	4,10	0,60	3,50	-	1,00	6	6
60	3,5	-	3,50	-	-	-	8

3. 4. 3. 6 ZDA metoda

Američani izračunavajo razširitve vozišča gozdne ceste za tri tipe vozil, in sicer za tovornjak s polprikolico (log truck stinger type), za žični žerjav (logging yarder) in tovornjak s prikolico za prevoz težke mehanizacije (lowboy truck and trailer). Najmanj iztiri zadnji konec pri polprikolici, in sicer zaradi uporabe priklopa na drog, nekaj več iztiranja ima žični žerjav z lastnim pogonom, torej montiran na tovornjak, predvsem zaradi daljše medosne razdalje, še nekoliko več pa ga ima kamion s prikolico lowboy, zaradi daljše medosne razdalje pri prikolici. Kamion z žičnim žerjavom montiranim na prikolici pa se uvrsti nekam med lowboyem in žerjavom na lastni pogon (Forest road manual, 2000).

Za kamione za prevoz dolgega lesa in žične žerjave uporabljajo enačbo (15):

$$\Delta b = \frac{400}{r} \quad \dots(15)$$

Velikost razširitve vozišča je v čevljih, zato jo pretvorimo v metrsko obliko (enačba (16)) (1 čevlj = 0,305 m):

$$\Delta b = \frac{37,5}{r} \quad \dots(16)$$

Pri ozkih cestah, kjer je širina vozišča gozdne ceste ožja od minimalne širine vozišča 16 čevljev (~4,9 m), je razširitvi vozišča treba dodati še razliko, ki manjka do minimalne širine vozišča, torej:

$$\Delta b = \frac{37,5}{r} + (4,9 - b) \quad \dots(17)$$

Enačba (17) ne upošteva širine vozišča gozdne ceste ampak širino spodnjega ustroja cestišča. Ker ne poznamo širine spodnjega ustroja cestišča na našem objektu, niti debeline zgornjega ustroja, smo vzeli za izračun kanadski primer iz drugega poglavja. Predpostavili smo, da je debelina zgornjega ustroja cestišča 30 cm, kar pomeni da je spodnji ustroj za meter širši kot zgornji, torej v našem primeru 4,5 m. Enačba (17) predvideva najmanjšo širino spodnjega ustroja 4,9 m, torej bomo izračunanim vrednostim prišteli še 0,4 m dodatka.

Za kamione z navadno prikolico in prikolico za težko mehanizacijo dolžine približno 11 m so vrednosti razširitev vozišča v metrih, pri danem središčnem kotu in radiju horizontalne krivine, podane v preglednici 11 (Forest road manual, 2000).

Preglednica 11: Razširitve vozišča gozdne ceste v krivinah pri vožnji kamiona s prikolico (Forest road manual, 2000: 27)

Tovornjak s prikolico za prevoz mehanizacije l= 11 m								
Radij (m)	Središčni kot (°)							
	10	20	30	40	60	80	120	180
15,25	0,61	1,22	1,53	2,14	2,75	3,36	3,97	4,27
18,3	0,61	1,22	1,53	2,14	2,44	3,05	3,36	3,66
21,35	0,61	1,22	1,53	1,83	2,44	2,75	3,05	3,05

3. 4. 3. 7 Metoda projekta GC Mala Voda

V projektu za gozdno cesto Mala Voda je določeno, da je minimalni radij horizontalne krivine 20 m, razširitve vozišča pa so predvidene pri horizontalnih radijih, manjših od 50 m. Predvidene so na notranji strani vozišča, s prehodno rampo pred in po horizontalni krivini. Velikost razširitev vozišča je podana v preglednici 12. Za horizontalne krivine z radiji vmesnih vrednosti so razširitve vozišča izračunane z ekstrapolacijo (Beden, 1983).

Preglednica 12: Projektirane razširitve vozišča v krivinah (Beden, 1983)

Radij (m)	50	40	30	20
Razširitev vozišča (m)	0,4	0,5	0,7	1,1

3. 4. 4 Metode obdelave podatkov

Opravili smo 82 meritev širine vozišča gozdne ceste v premi, rezultate obdelali v programu Microsoft Excel 2010 in izračunali povprečno vrednost meritev. Ta predstavlja širino gozdne ceste v premi, to vrednost odštejemo od izmerjene velikosti širin vozišča v horizontalnih krivinah in tako dobimo pripadajoče razširitve vozišča.

Na celotni trasi gozdne ceste smo opravili 71 meritev v horizontalnih krivinah, rezultati so predstavljeni v prilogi A. Podatki a, x, y, in b so podani v metrih. Podatki o naklonu odkopnih in nasipnih brežin so podani v obliki ulomka, in sicer je na levi strani naklon v odstotkih, na desni pa vzdolžna razdalja do mesta meritve v metrih. Podatek L predstavlja naklon terena na levi strani vozišča v smeri meritev, kjer je nižji od ceste. Podatka D1 in D2 predstavljata naklon terena na desni strani vozišča v smeri meritev, kjer je višji od vozišča. Vhodne podatke (a, x, y) smo vnesli v Excel in izračunali horizontalni radij prek enačbe (1) in središčni kot prek enačbe (3). Rezultati so prikazani v prilogi B.

Vhodni podatki za izračun razširitev vozišča v horizontalnih krivinah (Δb) so radij (R) in dimenzije vozila, podane v preglednici 5. Izračunali smo jih v Microsoft Excelu 2010 po obrazcih predstavljenih v poglavju 3. 4. 3. 1, in sicer za kamion solo (7), kamion s

polprikolico (8) in kamion s prikolico (9). Zraven smo dodali še velikosti razširitev vozišča izračunane po projektu (poglavje 3. 4. 3. 7). V programu SPSS smo razširitve vozišča za posamezno vozilo in projektne med seboj parno primerjali s T- testom. Testirali smo aritmetične sredine, ker so vhodni podatki za izračun razširitev vozišča za posamezno vozilo isti, gre za odvisne spremenljivke.

Za izračun razširitev vozišča po metodah obrazloženih v poglavju 3. 4. 3 so vhodni podatki isti, le pri metodi FAO dodamo še središčni kot α . Velikosti smo prav tako izračunali v Excelu, in jih nato vstavili v program SPSS. Naredili smo analizo varianc – v našem primeru odvisnih vzorcev, ker so vsi izračuni odvisni od dimenzij vozila in radija horizontalne krivine.

Za izračun razširitve svetlega profila ceste v horizontalnih krivinah smo izmerjene podatke (k in naklon) in enačbi (5) in (6) vstavili v program Excel. Avstrijska metoda predpostavlja za radije od 20 m do 50 m enotno razširitev svetlega profila gozdne ceste velikosti 1 m, tako, da računanje ni bilo potrebno.

4 REZULTATI

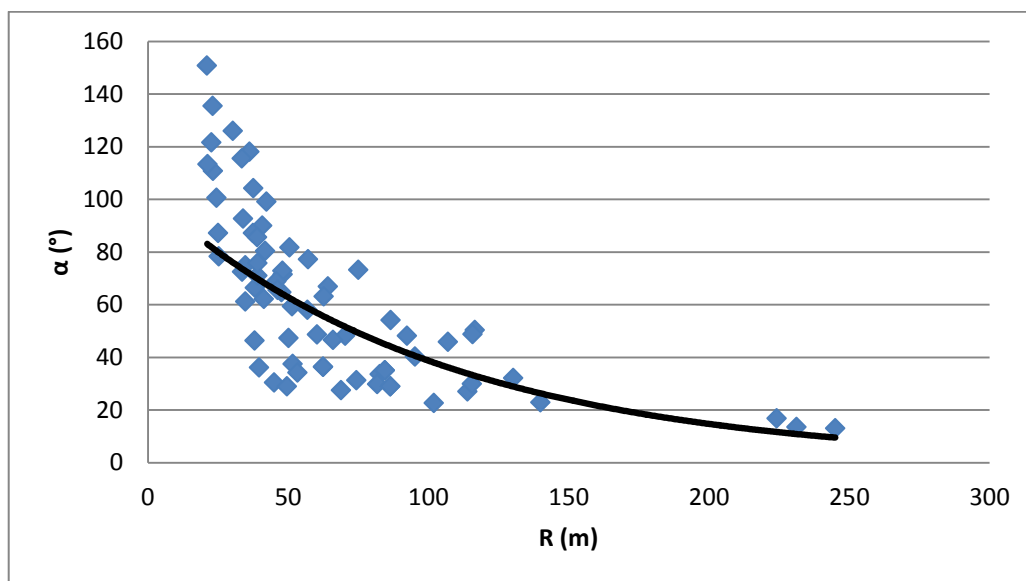
4.1 TEHNIČNI ELEMENTI GOZDNE CESTE

Parametre tehničnih elementov predstavljamo v preglednici 13. Za vsakega izmed elementov smo izračunali povprečje, standardni odklon, ter največjo in najmanjšo vrednost. Širini vozišča in radij so podani v metrih, naklona in središčni kot pa v kotnih stopinjah.

Preglednica 13: Parametri gozdne ceste Mala voda

	Povprečje	Std. odklon	Max	Min
Širina vozišča v premi (m)	3,5	0,17	3,6	3,3
Širina vozišča v horiz. krivini (m)	3,7	0,35	5,1	3,5
Radij krivine (m)	66,0	45,19	245	21
Naklon nasipne brežine (°)	27,0	5,42	36,9	13,5
Naklon odkopne brežine (°)	59,3	27,61	90	14,4
Središčni kot horiz. krivine (°)	61,9	31,59	151	13

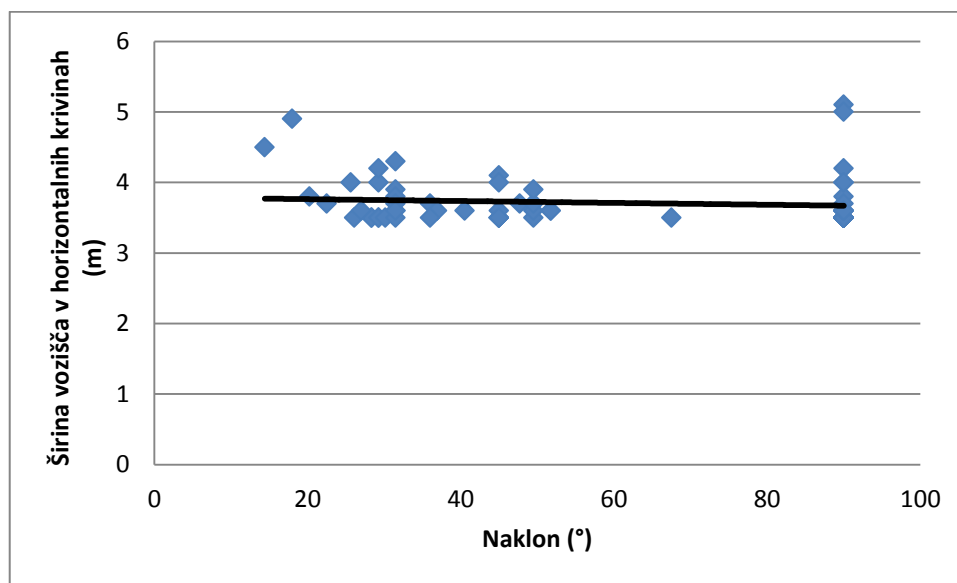
Povprečna širina vozišča gozdne ceste v premi je 3,5 m in je precej konstantna, razlika med skrajnima vrednostma je zgolj 30 cm, standardni odklon pa le 17 cm. Povprečna vrednost širine vozišča v horizontalni krivini znaša 3,7 m. Tudi te vrednosti so dokaj konstantne, standardni odklon znaša le 35 cm. Razlika med minimalno (3,5 m) in maksimalno širino vozišča (5,1 m) se ujema s parametri pri radiju. Velikosti radijev se gibljejo od 21 m do 245 m, standardni odklon pa znaša kar 45 m. Gozdna cesta se prilagaja lastnostim terena, zato radiji niso enotni, kar potrjujejo tudi velikosti kotov. Njihove velikosti se gibljejo od 13° do 151°. Standardni odklon znaša 32° pri čemer smo opazili, da so pri velikih radijih majhni središčni koti, torej gre za rahle zavoje. Nasprotno so pri majhnih radijih veliki središčni koti, kar pomeni ostre zavoje. Slika 17 ponazarja korelacijo središčnega kota in horizontalnega radija, črna trendna črta ponazarja zmanjševanje velikosti središčnega kota z naraščanjem velikosti radija horizontalne krivine. Vidno je tudi, da na cesti prevladujejo horizontalne krivine z radijem do 100 m, kar je razumljivo, saj gre za strm teren, ki je prepreden z jarki.



Slika 17: Porazdelitev kota v korelaciji s horizontalnim radijem krivine gozdne ceste

Nasipna brežina je položnejša, tako bolje prenaša prometne obremenitve - je bolj stabilna, odpornejša na erozijo in se hitreje zarašča. Njeni nakloni so v primerjavi z nakloni odkopne brežine bolj konstantni, ker jih lahko tekom gradnje enostavno prilagajamo. Odkopne brežine imajo večji naklon, ponekod celo povsem navpičen, ker je kameninska podlaga trda in stabilna in je z izdelavo strmih brežin prihranjenega veliko dela in finančnih sredstev.

Zanimalo nas je ali naklon odkopne brežine vpliva na širino vozišča gozdne ceste v horizontalnih krivinah. Zaradi varnostnega odmika pri vožnji ob vertikalnih ovirah, ki jih v našem primeru predstavlja zelo strm ali celo navpičen teren, smo pričakovali, da bodo širine vozišča večje pri večjih naklonih. Slika 18 pa prikazuje, da so širine praktično konstantne, le pri naklonu 90° je nekaj več odstopanj od trendne črte. Širina vozišča v horizontalnih krivinah torej ni v neposredni povezavi z naklonom odkopne brežine. To pojasnjujemo s strojnim načinom gradnje, kjer odkop in premeščanje večjih količin materiala ne predstavlja tehničnega problema. Verjetno bi obratno lahko dokazali na gozdnih cestah, ki so bile še ročno grajene.



Slika 18: Odvisnost širine vozišča gozdne ceste v horizontalnih krivinah v korelaciji z naklonom odkopnih brežin

4.2 RAZŠIRITEV VOZIŠČA GOZDNE CESTE V HORIZONTALNIH KRIVINAH ZA RAZLIČNA NAMENSKA VOZILA

V preglednici 14 so prikazane razširitve vozišča gozdne ceste za posamezna vozila po projektni in slovenski metodi ter izmerjene razširitve vozišča s pripadajočimi horizontalnimi radiji. Poudarjeno smo označili izračunane vrednosti razširitev vozišča, ki so večje od izmerjene. V naslednjem koraku smo ugotavljali ali izmerjene razširitve zadoščajo za varno vožnjo namenskih vozil. To smo storili s pomočjo programa SPSS, v katerem smo po parih izvedli T- test za preizkus ničelne domneve. Ta pravi, da med izmerjeno razširitvijo vozišča in izračunanimi vrednostmi ni statistično značilnih razlik. V našem primeru gre za primerjavo aritmetičnih sredin odvisnih spremenljivk, meja zaupanja je 5 %. Izmerjene razširitve vozišča smo primerjali po parih z vrednostmi izračunanimi po projektu in z vrednostmi izračunanimi po slovenski metodi za vse tri kompozicije: kamion solo, s prikolico in polprikolico.

Preglednica 14: Razširitve vozišča gozdne ceste v horizontalnih krivinah za namenska vozila po slov. metodi

Zap. št. krivine	Radij (m)	Razširitev Izmera	Razširitev Projekt	Razširitev Slo solo	Razširitev Slo prik.	Razširitev Slo polprik.
40	21	1,4	1,1	0,4	1,0	1,4
17	21	0,5	1,1	0,4	1,0	1,4
16	23	0,7	1,0	0,4	0,9	1,3
5	23	0,5	1,0	0,4	0,9	1,3
1	23	0,5	1,0	0,4	0,9	1,3
51	24	0,3	1,0	0,4	0,9	1,2
71	25	0,1	0,9	0,3	0,8	1,2
54	25	0,4	0,9	0,3	0,8	1,2
32	30	0,6	0,7	0,3	0,7	1,0
43	34	1,5	0,6	0,2	0,6	0,9
46	34	0,1	0,6	0,2	0,6	0,9
55	34	0,0	0,6	0,2	0,6	0,9
38	35	0,5	0,6	0,2	0,6	0,8
60	35	0,5	0,6	0,2	0,6	0,8
25	36	1,6	0,6	0,2	0,6	0,8
18	38	0,2	0,5	0,2	0,5	0,8
65	38	0,3	0,5	0,2	0,5	0,8
63	38	0,4	0,5	0,2	0,5	0,8
52	38	0,0	0,5	0,2	0,5	0,8
47	39	0,2	0,5	0,2	0,5	0,7
68	39	0,0	0,5	0,2	0,5	0,7
58	39	0,1	0,5	0,2	0,5	0,7
13	40	0,0	0,5	0,2	0,5	0,7
3	41	0,0	0,5	0,2	0,5	0,7
62	41	0,1	0,5	0,2	0,5	0,7
57	42	0,3	0,5	0,2	0,5	0,7
26	42	0,7	0,5	0,2	0,5	0,7
2	45	0,0	0,5	0,2	0,5	0,6
61	46	0,2	0,4	0,2	0,4	0,6
70	46	0,1	0,4	0,2	0,4	0,6
15	48	0,2	0,4	0,2	0,4	0,6
59	48	0,1	0,4	0,2	0,4	0,6
4	48	0,1	0,4	0,2	0,4	0,6
19	50	0,0	0,4	0,2	0,4	0,6
44	50	0,0	0,4	0,2	0,4	0,6
50	50	1,0	0,4	0,2	0,4	0,6
Povprečje	36,9	0,4	0,6	0,2	0,6	0,9
St. odklon	8,89	0,42	0,22	0,07	0,18	0,25
Max	50	1,6	1,1	0,4	1,0	1,4
Min	21	0,0	0,4	0,2	0,4	0,6

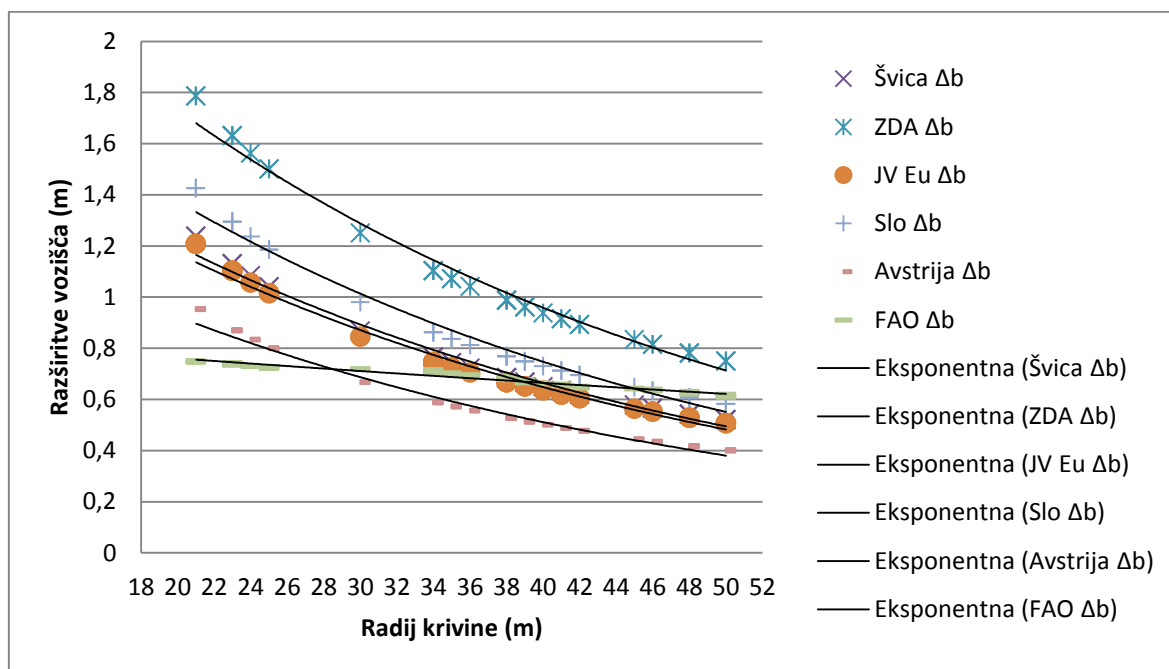
Paired Samples Test									
		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	Meritev_db - Projekt_db	-,2444	,4010	,0668	-,3801	-,1088	-3,657	35	,001
Pair 2	Meritev_db - Slo_db_solo	,1250	,4094	,0682	-,0135	,2635	1,832	35	,076
Pair 3	Meritev_db - Slo_db_prikolica	-,2222	,3914	,0652	-,3547	-,0898	-3,406	35	,002
Pair 4	Meritev_db - Slo_db_polprikolica	-,4833	,4074	,0679	-,6212	-,3455	-7,118	35	,000

Slika 19: Rezultati parne primerjave razširitev vozišča iz programa SPSS

Na sliki 19 drugi stolpec (Mean) prikazuje ali je povprečje izmerjenih vrednosti večje (pozitivno število) ali manjše (negativno število) od povprečja izračunanih vrednosti za razširitev vozišča. Zadnji stolpec (Sig 2-tailed) prikazuje končne vrednosti testa. Če so slednje večje od 0,05 (5 %), potem ničelno domnevo sprejmemo, v nasprotnem primeru jo zavrnemo. Povprečje izračunanih vrednosti za kamion solo je manjše od izmerjenih vrednosti, ostala povprečja so vsa večja od izmerjenih. Parne primerjave so pokazale, da so izmerjene vrednosti značilno manjše od potrebnih razširitev vozišča za kamion s prikolicom in polprikolicom ter od vrednosti razširitev vozišča iz projekta gozdne ceste Mala voda, ter neznačilno različne od razširitev vozišča za solo kamion. Če na gozdni cesti le ena horizontalna krivina s svojimi tehničnimi elementi ne dopušča prehoda določenega namenskega vozila za prevoz lesa, potem je gozdna cesta za slednje vozilo neprevozna. Kljub neznačilnim razlikam je iz preglednice 14 razvidno, da je tudi za solo kamion 16 krivin neprimernih, saj so v njih izmerjene razširitve manjše od izračunanih.

4.3 PRIMERJAVA VELIKOSTI RAZŠIRITEV VOZIŠČA GOZDNE CESTE V HORIZONTALNIH KRIVINAH GLEDE NA RAZLIČNE METODE

Razširitve vozišč gozdne ceste, izračunane po različnih metodah za kamion s polprikolicom so podane v preglednici 15, za boljšo predstavitev padanja velikosti razširitev vozišča smo vrednosti predstavili na sliki 20. Točke različnih barv z dodanimi trendnimi črtami na njej predstavljajo izračunane velikosti razširitev vozišča gozdne ceste za kamion s polprikolicom po posameznih metodah.



Slika 20: Razširitve vozišča gozdne ceste v horizontalnih krivinah v odvisnosti od radija krivine (izračunane po različnih metodah za kamion s polprikolico)

Pri vseh metodah velikosti razširitev vozišča izrazito padajo z naraščanjem velikosti horizontalnega radija, le pri FAO metodi je padec komaj opazen. Največje razširitve vozišča so predvidene pri ZDA metodi, najmanjše pri avstrijski. Pri horizontalnem radiju krivine 21 m je najmanjša razširitev pri FAO metodi pri radiju 50 m pa avstrijska metoda.

Preglednica 15: Izračunane vrednosti razširitev vozišča (m) za kamion s polprikolico po različnih metodah

Zap. št. krivine	Horizontalni radij (m)	Središčni kot (°)	Razširitev Švica (m)	Razširitev ZDA (m)	Razširitev JV Eu (m)	Razširitev Slo. (m)	Razširitev Avs. (m)	Razširitev FAO(m)
40	21	151	1,2	1,8	1,2	1,4	1,0	0,7
17	21	113	1,2	1,8	1,2	1,4	1,0	0,7
16	23	122	1,1	1,6	1,1	1,3	0,9	0,7
5	23	135	1,1	1,6	1,1	1,3	0,9	0,7
1	23	111	1,1	1,6	1,1	1,3	0,9	0,7
51	24	101	1,1	1,6	1,1	1,2	0,8	0,7
71	25	87	1,0	1,5	1,0	1,2	0,8	0,7
54	25	78	1,0	1,5	1,0	1,2	0,8	0,7
32	30	126	0,9	1,3	0,8	1,0	0,7	0,7
43	34	115	0,8	1,1	0,7	0,9	0,6	0,7
46	34	72	0,8	1,1	0,7	0,9	0,6	0,7
55	34	93	0,8	1,1	0,7	0,9	0,6	0,7
38	35	61	0,7	1,1	0,7	0,8	0,6	0,7
60	35	75	0,7	1,1	0,7	0,8	0,6	0,7
25	36	118	0,7	1,0	0,7	0,8	0,6	0,7
18	38	87	0,7	1,0	0,7	0,8	0,5	0,7
65	38	104	0,7	1,0	0,7	0,8	0,5	0,7
63	38	46	0,7	1,0	0,7	0,8	0,5	0,6
52	38	66	0,7	1,0	0,7	0,8	0,5	0,7
47	39	86	0,7	1,0	0,7	0,7	0,5	0,7
68	39	76	0,7	1,0	0,7	0,7	0,5	0,7
58	39	71	0,7	1,0	0,7	0,7	0,5	0,7
13	40	36	0,7	0,9	0,6	0,7	0,5	0,6
3	41	90	0,6	0,9	0,6	0,7	0,5	0,7
62	41	62	0,6	0,9	0,6	0,7	0,5	0,6
57	42	80	0,6	0,9	0,6	0,7	0,5	0,6
26	42	99	0,6	0,9	0,6	0,7	0,5	0,6
2	45	30	0,6	0,8	0,6	0,6	0,4	0,6
61	46	69	0,6	0,8	0,6	0,6	0,4	0,6
70	46	66	0,6	0,8	0,6	0,6	0,4	0,6
15	48	65	0,5	0,8	0,5	0,6	0,4	0,6
59	48	73	0,5	0,8	0,5	0,6	0,4	0,6
4	48	72	0,5	0,8	0,5	0,6	0,4	0,6
19	50	29	0,5	0,8	0,5	0,6	0,4	0,6
44	50	47	0,5	0,8	0,5	0,6	0,4	0,6
50	50	82	0,5	0,8	0,5	0,6	0,4	0,6
Povprečje	36,9	83,2	0,8	1,1	0,7	0,9	0,6	0,7
St. odklon	8,89	28,39	0,22	0,31	0,21	0,25	0,17	0,04
Max	50	151	1,2	1,8	1,2	1,4	1,0	0,7
Min	21	29	0,5	0,8	0,5	0,6	0,4	0,6

Naša ničelna domneva je, da so velikosti izračunanih razširitev za kamion s polprikolico po posameznih metodah podobne, torej, da med njimi ni statističnih razlik. Za preizkus te domneve smo izvedli analizo varianc odvisnih vzorcev, in sicer smo izvedli parno primerjavo. Rezultati analize so na sliki 21, oznake nizov, ki predstavljajo posamezno metodo pa prikazujemo na sliki 22.

Pairwise Comparisons

Measure: db

(I) st_ponovitev	(J) st_ponovitev	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. ^b	95% Confidence Interval for Difference ^b	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	-,347 [*]	,018	,000	-,404	-,290
	3	,014	,006	,347	-,005	,032
	4	-,100 [*]	,011	,000	-,133	-,067
	5	,167 [*]	,009	,000	,139	,195
	6	,089	,031	,100	-,008	,186
2	1	,347 [*]	,018	,000	,290	,404
	3	,361 [*]	,018	,000	,305	,418
	4	,247 [*]	,011	,000	,213	,282
	5	,514 [*]	,022	,000	,444	,584
	6	,436 [*]	,047	,000	,288	,585
3	1	-,014	,006	,347	-,032	,005
	2	-,361 [*]	,018	,000	-,418	-,305
	4	-,114 [*]	,011	,000	-,150	-,078
	5	,153 [*]	,009	,000	,123	,182
	6	,075	,031	,311	-,023	,173
4	1	,100 [*]	,011	,000	,067	,133
	2	-,247 [*]	,011	,000	-,282	-,213
	3	,114 [*]	,011	,000	,078	,150
	5	,267 [*]	,014	,000	,223	,310
	6	,189 [*]	,039	,000	,067	,310
5	1	-,167 [*]	,009	,000	-,195	-,139
	2	-,514 [*]	,022	,000	-,584	-,444
	3	-,153 [*]	,009	,000	-,182	-,123
	4	-,267 [*]	,014	,000	-,310	-,223
	6	-,078	,026	,080	-,160	,005
6	1	-,089	,031	,100	-,186	,008
	2	-,436 [*]	,047	,000	-,585	-,288
	3	-,075	,031	,311	-,173	,023
	4	-,189 [*]	,039	,000	-,310	-,067
	5	,078	,026	,080	-,005	,160

Based on estimated marginal means

*. The mean difference is significant at the ,05 level.

b. Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

Slika 21: Rezultati analize varianc iz programa SPSS

Within-Subjects Factors

Measure: db

st_ponovitev	Dependent Variable
1	Övica
2	ZDA
3	JVEu
4	Slo
5	AUV
6	Fao

Slika 22: Oznake metod v analizi varianc

Iz rezultatov je razvidno, da so statistično neznačilne razlike pri parih 1- 3, 1- 6, 3-6 in 5-6, pri ostalih statistično značilne razlike obstajajo. Ničelno domnevo torej zavrnemo, razen pri prej omenjenih štirih parih. To pomeni, da so podobnosti med švicarsko in JV Eu metodo, med švicarsko in FAO metodo, med FAO in JV Eu metodo, ter med avstrijsko (AUV) in FAO metodo.

4. 4 RAZŠIRITVE SVETLEGA PROFILA GOZDNE CESTE

Razširitve svetlega profila ceste so definirane samo po slovenski in avstrijski metodi. Rezultati so predstavljeni v preglednici 16, zraven smo dodali še horizontalni radij in središčni kot za boljšo predstavbo. Iz tega je razvidno, da imamo pri izbranih krivinah majhne radije (od 21 m do 46 m) in relativno velike kote (od 62° do 151°), še posebej pri krivini 40, pri kateri radij znaša 21 m, središčni kot pa 151°.

Preglednica 16: Rezultati meritev k in naklona odkopne brežine v točki ZL in izračun razširitev svetlega profila gozdne ceste v izbranih krivinah

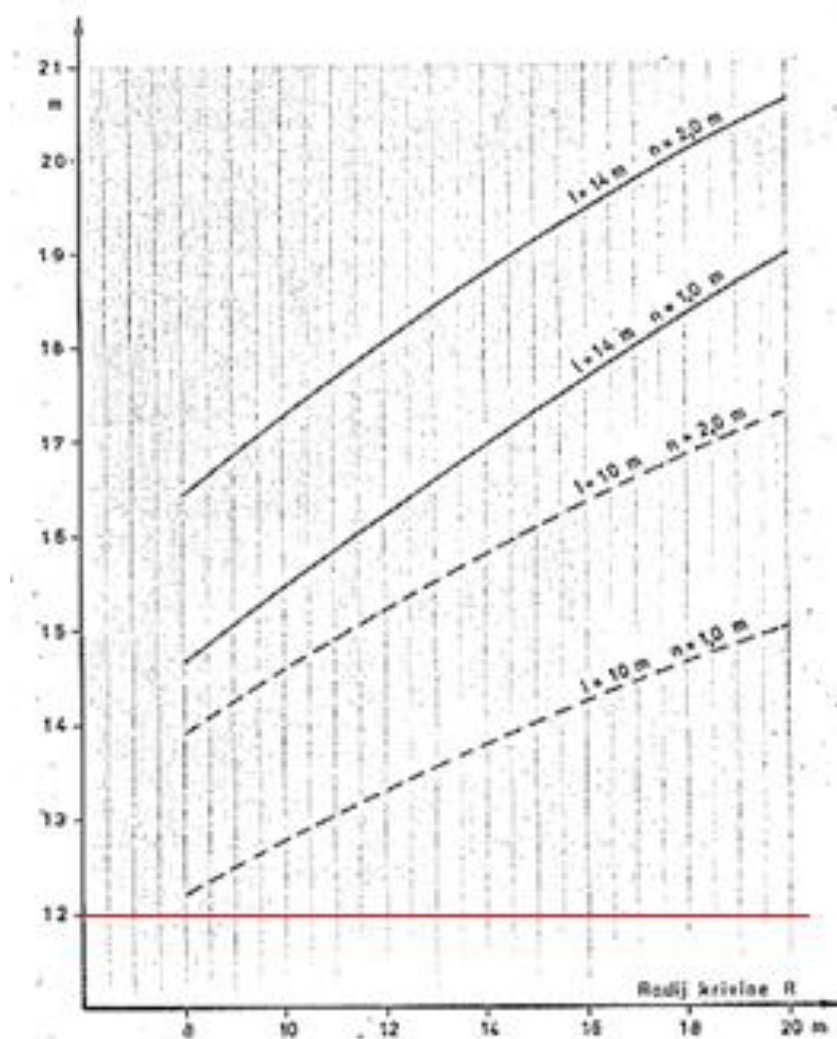
Zap. št. krivine	Radij (m)	Središčni kot (°)	Naklon odkopne brežine (%)	k (m)	x (m)	RSP* (m)	RSP* Avs. (m)
3	41	90	63	0,4	1,9	2,3	1,0
5	23	135	57	0,4	2,1	2,5	1,0
16	23	122	70	0,4	1,6	2,0	1,0
18	38	87	100	0,6	1,0	1,6	1,0
32	30	126	100	0,4	1,0	1,4	1,0
40	21	151	130	0,4	0,6	1,0	1,0
46	34	72	115	0,4	0,8	1,2	1,0
51	24	101	45	0,7	2,7	3,4	1,0
55	34	93	67	0,4	1,7	2,1	1,0
58	39	71	90°	0,4	0,0	0,4	1,0
61	46	69	150	0,4	0,4	0,8	1,0
62	41	62	90	0,4	1,2	1,6	1,0
68	39	76	80	0,4	1,4	1,8	1,0
70	46	66	60	0,7	2,0	2,7	1,0
Povprečje	34,2	94,3	94,8	0,5	1,3	1,8	1,0
Std.							
odklon	8,3	27,5	41,0	0,1	0,7	0,8	0,0
Max	46	151	90°	0,7	2,7	3,4	1,0
Min	21	62	45	0,4	0,0	0,4	1,0

*RSP- razširitev svetlega profila gozdne ceste

Iz rezultatov je razvidno, da je naklon odkopne brežine enak ali večji od predvidenega razmerja 3:1, oziroma 150 %. Najmanjši razširitvi svetlega profila gozdne ceste sta v krivinah 58 (0,4 m) in 61 (0, 8 m), kar pomeni, da edino razširitev svetlega profila predstavlja koritnica.

Izračunane vrednosti smo primerjali s kriteriji iz slike 23, ki prikazuje razmerja med dolžino sortimentov, radijem krivine in razširitvijo svetlega profila gozdne ceste za različni dolžini polprikolic ($L = 10$ m in $L = 14$ m) (Dobre, 1977). Pri primerjavi izračunanih vrednosti razširitev svetlega profila gozdne ceste za prevoz lesa za dolžino sortimentov 12 m (rdeča črta na sliki 23) smo ugotovili, da za prevoz teh dolžin lesa niso potrebne dodatne razširitve svetlega profila gozdne ceste, saj vse razširitve svetlega profila, razen dveh, presegajo vrednost 1 meter. To tudi pomeni, da bi lahko na izbrani cesti vozili les daljši od 15 metrov. Pri izračunanih razširitvah v krivinah 58 in 61, kjer so razširitve

manjše od enega metra, pa zaradi prevelikih radijev krivin ni mogoče ugotoviti potrebnih razširitev. Po avstrijski metodi sta problematični krivini z naklonom odkopne brežine večjim od 150 % (58 in 61), saj je tam razširitev svetlega profila gozdne ceste manjša od predvidene. Po tej metodi torej razširitve svetlega profila v horizontalnih krivinah na gozdni cesti Mala voda ne zadostujejo pogojem za prevoz lesa dolžine 12 m z enosno polprikolico.



Slika 23: Prikaz odvisnosti dolžine sortimentov od radija horizontalne krivine in razširitve svetlega profila gozdne ceste za dve polprikolici ($L = 10$ m, $L = 14$ m) (Dobre, 1977: 50)

5 RAZPRAVA

Cilj naše diplomske naloge je bil na konkretnem primeru gozdne ceste Mala voda proučiti razširitve vozišča in svetlega profila ceste glede na horizontalni radij krivine. Na podlagi rezultatov smo želeli ugotoviti ali je cesta primerna za vožnjo različnih namenskih vozil, ter primerjati različne metode določevanja velikosti obeh razširitev, ki so v uporabi v različnih državah.

Pri terenskih meritvah smo imeli težave pri določevanju osi ceste, pri meritvah širine ceste v premi in tudi v horizontalnih krivinah. Tehnični prevzem ceste je bil narejen 3. 12. 1985 (Beden, 1983), kar pomeni, da je cesta v uporabi že dobrih 30 let. Razmejitev med voziščem, bankino in koritnico je bila težavna zaradi obrabe voziščne konstrukcije gozdne ceste. Del trase gozdne ceste je ena od glavnih prometnic za izvoz materiala iz kamnoloma Grdadolnik, večji del prometa je torej negozdarski.

Prometna obremenitev, ki nastaja zaradi lesa, znaša na letni ravni le 4 % (Maček, 2002). V radiju 6 km od ceste se nahaja 6 zasebnih žag. Iz osebnih izkušenj vemo, da se praktično ves les iz tega področja razžaga na njih in da se zaradi bližine poslužujejo tudi drugih sredstev za prevoz lesa, predvsem prevoza z gozdarskim traktorskim priklopnikom. Za prevoz materiala iz kamnoloma se uporabljajo 2-, 3- ali 4- osni kamioni prekucniki. Prometna obremenitev je na tej gozdni cesti velika, pnevmatike vozil odrivajo nasut material na stran, s tem pa se sčasoma spremenijo tudi njeni tehnični elementi. Med terenskim delom na cesti nismo opazili večjih poškodb, torej spremembe niso drastične do te mere, da bi vplivale na varnost vožnje. Predvidevamo, da je relativno dobro stanje gozdne ceste posledica bližine nahajališča materiala in gradbene mehanizacije, potrebne za vzdrževanje omenjene gozdne ceste.

V projektu za našo gozdno cesto (Beden, 1983) in diplomskem delu kolega Mačka (Maček, 2002) je navedena širina vozišča v premi 3 m, naša izmerjena pa znaša 3,5 m. Zaradi tega pride pri analizi do razlik med izmerjenimi vrednostmi in projektiranimi. Predvidevamo,

da je to tudi razlog, da je analiza prevoznosti gozdne ceste pokazala, da razširitve vozišča v horizontalnih krivinah ne dopuščajo vožnje kateregakoli kamiona.

Pri pregledu literature smo imeli od začetka težave z iskanjem primernih publikacij. Našli smo veliko literature na temo odvodnjavanja gozdnih cest, ozelenitve in stabilizacije odkopnih brežin (Ryan in sod., 2004; Forest road... , 2002), manj o razširitvah vozišča (Schiess in Whitaker, 1986; Forest road manual, 2000; Kuonen, 1983), ter skoraj nič o razširitvah svetlega profila gozdne ceste (Dobre, 1977; Trzesniowski, 1988). V praksi uporabljajo večinoma preglednice, iz katerih razberejo velikost razširitve vozišča pri danem radiju. V praksi je bolj pragmatična rešitev že v osnovi 20 cm širše vozišče, že zaradi tehnične nezmožnosti gradnje točno po projektni dokumentaciji gozdne ceste.

V tuji literaturi se z razširitvijo svetlega profila gozdne ceste ne ukvarjajo, nadomeščajo jo z dodatno razširitvijo vozišča v horizontalnih krivinah, kljub temu, da je njena izgradnja enostavna in hitra in z njo veliko pridobimo. Večina tujih metod razdeli polovico potrebne razširitve vozišča na zunanjo in notranjo stran horizontalne krivine - s tem rešijo tudi problem zadevanja skrajne zunanje zadnje točke tovora v odkopno brežino.

Teren, kjer poteka gozdna cesta Mala voda je zaradi načina spravila lesa v preteklosti (zemeljske drče) preprečen z jarki in strm (povprečni naklon 60 %) (Maček, 2002). Kameninska podlaga je dolomitiziran apnenec, gradnja v taki podlagi pa je zahtevna, zato je veliko navpičnih ali zelo strmih odkopnih brežin, ki lahko ovirajo prevoz dolgega lesa. Po avstrijski metodi so razširitve svetlega profila ceste v dveh krivinah premajhne, po slovenski pa so povsod zadostne. Da bi ugotovili, katera metoda je bolj primerna, bi bilo potrebno analizirati dolžine lesa, ki se vozijo po gozdnih cestah in na podlagi teh dolžin analizirati sploh potrebo po velikosti razširitev svetlega profila gozdne ceste.

Enačbe za izračun velikosti razširitev vozišča gozdne ceste so enostavne, za vhod imajo le dimenzije vozil in radije horizontalnih krivin. Izjema je metoda FAO, ki uporablja za vhod še središčni kot horizontalne krivine. Ta ima v primerjavi z ostalimi metodami vrednosti bolj konstantne - gibljejo se okoli 0,7 m. Erkert (1989) je v svojem magistrskem delu

uporabil še kompleksnejše enačbe od FAO in s tem postavil temelje za računalniško simulacijo vožnje skozi horizontalno krivino. S tem pa tudi temelje za sodobne programe tipa RoadEng, ki omogočajo hitro in enostavno določevanje velikosti elementov gozdne ceste.

Pri primerjavi različnih metod za izračun razširitev vozišča smo ugotovili, da so razširitve vozišča izračunane po ZDA-metodi večje od ostalih, bolj nenavadno pa je, da so večje tudi razširitve vozišča po slovenski metodi. Tehnologije, način gospodarjenja, naravni pogoji, in v končni fazi tudi odnos do okolja se v ZDA precej razlikujejo od evropskega. Površina gozdov v ZDA je ogromna, gospodarjenje je ekstenzivno, torej količina prevlada nad kvaliteto, temu se prilagajajo tudi prevozna sredstva in infrastruktura (gozdne ceste). Namenska vozila so večja in težja, posledično so tudi ceste širše. Tako so po definiciji ozke ceste ožje od 4,9 m, pri nas pa naj ne bi bile širše od 3,5 m.

Statistična analiza je pokazala, da se metoda izračuna potrebnih razširitev vozišča gozdne ceste FAO neznatno razlikuje od evropskih metod izračuna, kljub temu pa oblika njene krivulje odstopa od ostalih.

Razlog za podobnosti je lahko v razmerah za katere so bile narejene metode. Avstrija, Švica in države JV Evrope imajo podobne naravne danosti, saj njihov relief sestavljajo gorske verige Alpe in Dinaridi. Gradnja v takih pogojih je težavna in mora biti dobro premišljena, da je življenjska doba ceste daljša, stroški vzdrževanja nižji in da je vpliv na okolje majhen. Podobno se publikacija FAO (Schiess in Whitaker, 1986), iz katere izhaja njihova metoda, ukvarja z gradnjo gozdnih cest v občutljivih povodjih, torej izhajajo iz podobnih pogojev. Po mnenju avtorjev priročnika FAO so poenostavljene enačbe, ki se uporabljajo v Severni Ameriki in Evropi (švicarske), pogosto neustrezne v težkih terenskih pogojih. Kljub temu, pa je naša primerjava pokazala, da so si izračunane razširitve vozišča podobne. Pri tem je zanimivo, da imamo v Sloveniji pogoje podobne kot v srednji in JV Evropi pa se naša metoda izračuna razširitev vozišča ne ujema z nobeno od zgoraj naštetih. Glede na to da je v osnovi metoda držav JV Evrope podobna naši, in da se tehnologije v omenjenih državah podobne naši, je razloge za to morda iskati v zastareli metodi, ki je bila objavljena že skoraj 40 let nazaj. Poznavanje zgornjih metod je za razumevanje koncepta

načrtovanja razširitev potreben. Predlagamo, da se v prihodnosti naredi še primerjava naših rezultatov z računalniškimi omenjenimi v pregledu literature (Lepoglavec in sod., 2011), saj na osnovi analiz zaključujemo, da je potrebno metode določanja razširitve vozišča in svetlega profila gozdne ceste posodobiti.

6 SKLEPI

Za prvo hipotezo smo postavili trditev, da širina vozišča v horizontalnih krivinah zadošča varni vožnji namenskih vozil, ne glede na radij, oziroma da konstruktivni elementi dovoljujejo uporabo tudi večjih kamionov za prevoz lesa (Maček, 2002). Z analizo smo hipotezo zavrnili. Prevoz ni mogoč niti s solo kamionom, saj je v šestnajstih krivinah izmerjena razširitev vozišča gozdne ceste manjša od izračunane razširitve vozišča v horizontalnih krivinah.

Pri drugi hipotezi smo postavili trditev, da razširitve svetlega profila gozdne ceste omogočajo vožnjo dolgega lesa s kamionom z enoosno polprikolico, razen v primerih konkavnih krivin z koritnico in strmo odkopno brežino (naklon več kot 3:1). Pri analizi smo po slovenski metodi hipotezo v celoti potrdili. Po avstrijski metodi je v dveh krivinah razširitev svetlega profila gozdne ceste manjša od zahtevane.

V tretji hipotezi smo predpostavljali, da pri izračunu razširitev vozišča gozdne ceste po različnih metodah dobimo podobne rezultate. Hipotezo smo zavrnili, saj smo ugotovili, da se ZDA in slovenska metoda razlikujeta od ostalih metod. Po slovenski metodi izračuna razširitve vozišča so slednje značilno manjše od metode iz ZDA ter značilno večje od metod iz ostalih držav.

7 POVZETEK

V diplomski nalogi smo poskušali preveriti razmišljanje ali razširitve vozišča in svetlega profila ceste v horizontalnih krivinah na gozdni cesti Mala voda ustrezata varni vožnji namenskih vozil za prevoz dolgega lesa. Prav tako smo želeli s primerjavo ugotoviti ali so rezultati izračunov razširitev vozišča po različnih metodah, ki jih v ta namen lahko uporabljamo, podobni.

Meritve smo izvajali na gozdni cesti Mala voda, ki se nahaja na desnem bregu istoimenskega potoka v gozdnogospodarski enoti Dobrova na gozdnogospodarskem območju Ljubljana, sicer pa spada v katastrsko občino Vrzenec v občini Horjul.

Najprej smo s tračnimi metri, trasirkami in padomerom izmerili geometrične elemente horizontalnih krivin in brežin. Iz rezultatov meritev smo izračunali radije krivin, središčne kote krivin in velikost razširitve svetlega profila in vozišča. Ob pregledu literature smo določili in definirali različne metode za izračun velikosti razširitev vozišča glede na radij krivine.

Pri prvi analizi smo računali razširitve vozišča po slovenski metodi za tri kompozicije: kamion solo, s prikolico in polprikolico. Rezultate smo primerjali z obstoječimi, torej izmerjenimi razširitvami vozišča in ugotovili, da slednje ne omogočajo varnega prevoza za nobeno od gozdarskih kompozicij. To dejstvo je predvsem posledica razlik v izmerjeni in projektirani širini vozišča v premi.

Pri drugem delu smo preverjali ali razširitve svetlega profila gozdne ceste v konkavnih krivinah s strmo odkopno brežino zadostujejo pogojem prevoza dolgega lesa (12 m). To smo ob uporabi slovenske metode potrdili, po avstrijski pa zavrnili zaradi premajhne razširitve svetlega profila gozdne ceste v dveh primerih.

Na koncu smo med seboj primerjali še 6 različnih metod za določevanje velikosti razširitev vozišča gozdne ceste: švicarsko, slovensko, JV evropsko, ZDA, FAO in avstrijsko.

Statistično značilne podobnosti obstajajo med švicarsko in FAO, švicarsko in JV evropsko, FAO in JV evropsko ter FAO in avstrijsko. Povsem izstopata metoda ZDA, kar je bilo pričakovano, in presenetljivo, slovenska predvsem zaradi večjih razširitev vozišča.

Predlagali smo, da se pri metodah določevanja velikosti razširitev vozišča gozdne ceste, te primerjajo s sodobnimi računalniškimi programi. Po potrebi naj se tudi posodobijo. Pri razširitvah svetlega profila gozdne ceste pa se s pomočjo analize dolžin lesa analizira potrebo po velikosti razširitev svetlega profila gozdne ceste. Ob tem je potrebno tudi ugotoviti, katera metoda je primernejša.

8 VIRI

Beden D. 1983. Projekt GC Mala voda. št. projekta 85/83. Ljubljana, GG Ljubljana, Služba za gradbeno načrtovanje: 18 str.

Dobre A. 1977. Oblikovanje krivin glede na prevoz dolgega lesa. Ljubljana, Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo: 82 str.

Evidenca gozdnih cest

<http://zgs.gisportal.si/javno/profile.aspx?id=EGC@ZGS> (22. 7. 2016)

Erkert T. W. 1989. Computer simulation of offtracking of truck and trailer combinations using forest roads: Magister thesis. Corvallis, Department of Civil Engineering, Oregon State University: 89 str.

Forest Road Engineering Guidebook: Forest practices code of British Columbia. . 2nd ed. Victoria, British Columbia Ministry of Forests: 208 str.

Forest road manual. 2000. The Oregon Department of Forestry State Forests Program: 188 str.

Kuonen V. 1983. Wald- und Güterstrassen: Planung - Projektierung – Bau. Pfaffhausen, : 742 str.

Lepoglavec K., Potočnik I., Pentek T., Tomašič Ž., Poje A., Mihelič M. 2011. Programski paket za projektiranje šumskih prometnic "RoadEng". Nova mehanizacija šumarstva, 32 : 39-51

Maček V. 2002. Značilnosti gozdne ceste Mala voda v GGE Dobrova: diplomsko delo. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 36 str.

Nevečerel H., Lepoglavec K., Papa I., Pičman D., Pentek T. 2011. Development of a new computer program for designing forest roads. V: Formec Austria, Graz, 9.-13. 10. 2011: 13 str.

Poročilo Zavoda za gozdove o gozdovih za leto 2014. 2015. Ljubljana. Zavod za gozdove Slovenije: 138 str.

Pravilnik o delih in opremi vozil. 2013. Ur. l. RS, št. 44/2013

Pravilnik o gozdnih prometnicah. 2009. Ur. l. RS, št. 4/2009

Potočnik I. 2007. Gozdne prometnice: skripta za univerzitetni študij gozdarstva. Ljubljana. Biotehniška fakulteta: 221 str.

Ryan T., Philips H., Ramsay J., Dempsey J., 2004. Forest Road Manual: Guidelines for the design, construction and management of forest roads. Dublin, COFORD: 156 str.

Schiess P., Whitaker C. A., 1986. Road Design and Construction In Sensitive Watersheds. Rome, FAO: 216 str.

Seminar za projektante šumskih puteva: multimedijška predstavitev. 2006. Univerzitet u Banjoj Luci: 176 str.

Trzesniowski A. 1988. Forstliches Bauingenieurwesen 1: Strassenbau. Wien, Universität für Bodenkultur: 163 str.

Zakon o cestah. 2010. Ur. l. RS, št. 109/2010

Zakon o gozdovih. 1993. Ur. l. RS, št. 30/1993

Zakon o pravilih cestnega prometa. 2010. Ur. l. RS 109/2010

Wikipedia, Traktrisa. Definicija.

<https://sl.wikipedia.org/wiki/Traktrisa> (7. 7. 2016)

ZAHVALA

Predvsem bi se rad zahvalil mentorju profesorju dr. Igorju Potočniku in somentorju asistentu dr. Antonu Pojetu za vodenje in pomoč pri izdelavi naloge, ter predvsem za potrpežljivost.

Za zelo hitro in kvalitetno recenzijo se zahvaljujem doc. dr. Juriju Marenčetu.

Zahvala gre tudi zaposlenim na ZGS OE Ljubljana za dostop do arhivov.

Zahvala iz srca gre še mojim domačim, za podporo in potrpežljivost.

Iskrena hvala!

PRILOGE

PRILOGA A

REZULTATI TERENSKIH MERITEV

Zaporedna št. krivine	a (m)	x (m)	y (m)	b (m)	Naklon L (%)	Naklon D1 (%)	Naklon D2 (%)
1	12,2	11,3	3,2	4	58/8	65/6	48/8
2	6	6	0,4	3,5	48/8	65/8	
3	16,9	16,5	3,5	3,5	48/8	63/8	
4	15,5	15,1	2,5	3,6	40/8	90°/3	54/8
5	15,5	14,3	5,2	4	64/8	57/8	
6	15	14,9	1,6	3,5	48/8	90°/4	68/8
7	16,9	16,9	1,5	3,5	65/8	90°/3	78/8
8	13,6	13,5	1,8	3,4	76/8	90°/4,2	84/8
9	16,4	16,3	0,6	3,6	67/8	90°/3,7	80/8
10	21,7	21,7	2,2	3,5	58/8	200/3	66/8
11	13,6	13,6	0,4	3,4	65/8	63/8	
12	24,8	24,3	4,1	3,5	65/8	110/4,2	45/8
13	6,3	6,3	0,5	3,5	65/8	110/4,2	45/8
14	19,3	18,7	2,9	3,7	55/8	50/8	
15	13,8	13,7	2	3,7	68/8	106/4	57/8
16	13,3	12,5	3,9	4,2	64/8	65/8	
17	11,5	10,8	3,1	4	58/8	90°/4	35/8
18	15	14,4	3	3,7	58/8	80/6	60/8
19	6,3	6,3	0,4	3,5	65/8	90°/4	60/8
20	19,7	19,5	2,1	3,6	55/8	150/3,5	
21	14	14	0,7	3,5	70/8	90°/4	65/8
22	12,2	12,2	0,9	3,5	68/8	90°/3,5	65/8
23	26	25,8	2,9	3,6	68/8	90°/5,5	76/8
24	13,5	13,5	0,8	3,5	45/8	90°/5	45/8
25	20,5	19,5	5,8	5,1	75/8	90°/7	78/8
26	19,5	18,5	4,5	4,2	45/8	90°/4,5	45/8
27	8,3	8,4	0,5	3,5	58/8	58/8	
28	10,7	10,7	0,7	3,5	68/8	100/8	
29	14	14	0,4	3,6	72/8	115/5	80/8
30	13,6	13,5	1,4	3,5	60/8	70/8	
31	14,7	14,5	1,9	3,6	62/8	110/4	72/8
32	18,6	17,2	5,7	4,1	65/8	100/4	72/8
33	25	24,5	2,7	3,6	67/8	90°/4,5	55/8

REZULTATI TERENSKIH MERITEV NAD.

Zaporedna št. krivine	a (m)	x (m)	y (m)	b (m)	Naklon L (%)	Naklon D1 (%)	Naklon D2 (%)
34	20,8	20,6	2,5	3,5	58/8	82/3,5	50/8
35	10,1	10,1	0,5	3,5	74/8	90°/3,5	98/4
36	13	13	1	3,6	68/8	90°/4	74/8
37	11	11	0,7	3,5	82/8	90°/7	78/8
38	9,5	9,4	1,3	4	70/8	90°/3	74/8
39	10,2	10,2	0,7	3,8	74/8	90°/6	72/8
40	16,3	13,9	6,3	4,9	50/8	40/8	
41	17,7	17,7	2,5	3,6	65/8	90°/4,5	65/8
42	18,4	18,3	1,3	3,7	74/8	90°/4,5	65/8
43	18,5	16,9	5,1	5	62/8	90°/3	43/8
44	10,5	10,4	1,1	3,5	58/8	100/3	62/8
45	8,5	8,5	0,7	3,5	58/8	90/3	60/8
46	11	10,9	1,8	3,6	62/8	115/4	58/8
47	15,3	15	3	3,7	58/8	110/6	60/8
48	10	10	0,8	3,5	55/5	100/3	60/8
49	20	19,3	3,5	3,7	50/8	100/3	35/8
50	18,8	17,9	3,5	4,5	50/8	32/8	
51	11,5	11,2	2,7	3,8	38/8	45/8	
52	11,4	11,3	1,7	3,5	42/8	100/1	10/3,5
53	8	8	0,6	3,5	55/8	65/5	10/4,3
54	9	8,8	1,6	3,9	76/8	110/6	52/8
55	14,5	14,2	3,1	3,5	55/8	67/8	
56	11	11	0,7	3,7	78/8	90°/5	72/8
57	15,3	14,7	2,8	3,8	78/8	90°/7	65/8
58	12,5	12,4	2	3,6	70/8	90°/4	74/8
59	15,8	15,6	2,6	3,6	62/8	90°/4	76/8
60	11,8	11,6	2	4	82/8	90°/5	76/8
61	14,2	13,9	2,2	3,7	74/8	90°/6	80/8
62	11,5	11,4	1,6	3,6	45/8	90°/4	56/8
63	7,8	7,8	0,8	3,9	70/8	120/6	70/8
64	13	12,9	1,4	3,5	60/8	70/2	45/8
65	18,4	17,6	4,5	3,8	35/8	70/2,5	35/8
66	15,2	15,2	1	3,5	35/8	70/3	45/8
67	13	13	1	3,7	35/8	70/3	45/8
68	13,4	13,2	2,3	3,5	48/8	80/8	
69	10	10	0,8	3,8	60/8	100/5	55/8
70	13,6	13,5	2	3,6	45/8	70/2	45/8
71	10	9,8	2	3,6	30/8	60/8	

PRILOGA B
TEHNIČNI ELEMENTI GOZDNE CESTE

Zap. št. krivine	a (m)	x (m)	y (m)	Radij (m)	Sred. kot (°)
1	12,2	11,3	3,2	23	111
2	6	6	0,4	45	30
3	16,9	16,5	3,5	41	90
4	15,5	15,1	2,5	48	72
5	15,5	14,3	5,2	23	135
6	15	14,9	1,6	70	48
7	16,9	16,9	1,5	95	40
8	13,6	13,5	1,8	51	59
9	16,4	16,3	0,6	224	17
10	21,7	21,7	2,2	107	46
11	13,6	13,6	0,4	231	13
12	24,8	24,3	4,1	75	73
13	6,3	6,3	0,5	40	36
14	19,3	18,7	2,9	64	67
15	13,8	13,7	2	48	65
16	13,3	12,5	3,9	23	122
17	11,5	10,8	3,1	21	113
18	15	14,4	3	38	87
19	6,3	6,3	0,4	50	29
20	19,7	19,5	2,1	92	48
21	14	14	0,7	140	23
22	12,2	12,2	0,9	83	34
23	26	25,8	2,9	117	50
24	13,5	13,5	0,8	114	27
25	20,5	19,5	5,8	36	118
26	19,5	18,5	4,5	42	99
27	8,3	8,4	0,5	69	27
28	10,7	10,7	0,7	82	30
29	14	14	0,4	245	13
30	13,6	13,5	1,4	66	47
31	14,7	14,5	1,9	57	58
32	18,6	17,2	5,7	30	126
33	25	24,5	2,7	116	49
34	20,8	20,6	2,5	87	54
35	10,1	10,1	0,5	102	23
36	13	13	1	85	35
37	11	11	0,7	86	29
38	9,5	9,4	1,3	35	61

TEHNIČNI ELEMENTI GOZDNE CESTE NAD.

Zap. št. krivine	a (m)	x (m)	y (m)	Radij (m)	Sred. kot (°)
39	10,2	10,2	0,7	74	31
40	16,3	13,9	6,3	21	151
41	17,7	17,7	2,5	63	63
42	18,4	18,3	1,3	130	32
43	18,5	16,9	5,1	34	115
44	10,5	10,4	1,1	50	47
45	8,5	8,5	0,7	52	37
46	11	10,9	1,8	34	72
47	15,3	15	3	39	86
48	10	10	0,8	63	36
49	20	19,3	3,5	57	77
50	18,8	17,9	3,5	50	82
51	11,5	11,2	2,7	24	101
52	11,4	11,3	1,7	38	66
53	8	8	0,6	53	34
54	9	8,8	1,6	25	78
55	14,5	14,2	3,1	34	93
56	11	11	0,7	86	29
57	15,3	14,7	2,8	42	80
58	12,5	12,4	2	39	71
59	15,8	15,6	2,6	48	73
60	11,8	11,6	2	35	75
61	14,2	13,9	2,2	46	69
62	11,5	11,4	1,6	41	62
63	7,8	7,8	0,8	38	46
64	13	12,9	1,4	60	49
65	18,4	17,6	4,5	38	104
66	15,2	15,2	1	116	30
67	13	13	1	85	35
68	13,4	13,2	2,3	39	76
69	10	10	0,8	63	36
70	13,6	13,5	2	46	66
71	10	9,8	2	25	87