

Zb. gozdarstva in lesarstva, L. 16 št. 1 s. 17 - 62, Ljubljana 1978

UDK: 634.0.383.1:634.0.375.4/5

**OBLIKOVANJE KRIVIN ZA PREVOZ DOLGEGA LESA**

Mag. Andrej DOBRE, dipl. ing. gozd.  
višji raziskovalni sodelavec  
Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo  
pri Biotehniški fakulteti  
61000 LJUBLJANA, Večna pot 2, YU

## S i n o p s i s

### Oblikovanje krivin za prevoz dolgega lesa

Podrobno so preučeni vsi momenti, ki nastopajo pri vožnji tovornega vozila preko krivine. Podana je medsebojna odvisnost med dolžino tovora, radijem krivine, središčnim kotom krivine ter širino svetlega profila ceste. Obdelano je tudi vprašanje razširitev vozišča v krivini v odvisnosti od vrste vozila, velikosti radija in središčnega kota krivine. Osnovna ugotovitev je v tem, da prevoz dolgega lesa ne zahteva bistveno večjih radijev krivin, če so ostali parametri krivine pravilno oblikovani.

## S y n o p s i s

### Formation of road curves for the transportation of long wood assortments

In the study all moments appearing on the occasion of moving of a truck through a road curve are analysed. Presented are: the interdependence between the length of the load, the radius of the curve, the central curve angle and the width of the light profile of the road. The problem of the widening of the road in the curve is also dealt with taking account of its dependence on the type of the vehicle, of the radius and the central curve angle. The basis statement exists in the fact that long assortments do not require essentially wider curve radii if the parameters of the curve are formed correctly.

## V S E B I N A

1.	UVOD IN PROBLEM	20
2.	DOLŽINA TOVORA	21
2.1.	Dolžina debla	22
2.2.	Spravilne razmere	22
2.3.	Zahteve porabnika	23
2.4.	Prometni predpisi za javne ceste	23
3.	PREVOZNA SREDSTVA	24
3.1.	Minimalni radij obračanja kamionov	24
3.1.1	Minimalni radij obračanja dvoosnih kamionov	25
3.1.2	Minimalni radij obračanja triosnih kamionov	27
4.	OBLIKOVANJE KRIVIN	28
4.1.	Minimalni radij krivine za vožnjo normalno naloženega vozila	28
4.2.	Oblikovanje krivin za prevoz dolgega lesa	29
4.2.1.	Odmik polprikolice od kamiona	30
4.2.2.	Prevoz z enosno polprikolico	34
4.2.3.	Prevoz z dvoosno polprikolico	42
4.2.4.	Razširitev vozišča	43
4.2.4.1.	Razširitev vozišča za vožnjo s kamionom	44
4.2.4.2.	Razširitev vozišča za vožnjo s kamionsko polprikolico	44
4.2.4.3.	Razširitev vozišča za vožnjo s kamionsko prikolico	50
4.2.4.4.	Razširitev vozišča za vožnjo različnih vozil	50
5.	DISKUSIJA	54
6.	POVZETEK GLAVNIH UGOTOVITEV	56
7.	LITERATURA IN VIRI	61

## 1. UVOD IN PROBLEM

Transport lesa od mesta poseka do porabnika ni mogoče opraviti le z enim vozilom, kot je to običajno pri transportu drugega blaga, ampak so pri premiku gozdnih lesnih sortimentov udeležena različna prometna sredstva, ki vsako za sebe zahteva ustrezno prometnico. Pri današnji tehnologiji transporta lesa sta se precej jasno oblikovali dve fazi dela in sicer spravilo in prevoz. Predmet našega proučevanja bo le prevoz in sicer vprašanje, kako prevoz dolgega lesa vpliva na oblikovanje krivin pri gradnji cest. Če pa želimo podati ustrezen odgovor na gornje vprašanje, moramo najprej podrobneje proučiti vse elemente, ki nastopajo pri vsakem prevozu in sicer: tovor, prevozno sredstvo in prometnico. Vsi trije elementi so med seboj povezani in so v medsebojni odvisnosti.

Tovor je tisti element, zaradi katerega se sploh opravlja transport in mora s svojimi dimenzijami zadovoljiti zahteve porabnika. V okviru našega proučevanja nas zanima le dolžina lesa pri prevozu iz gozda do prvega porabnika. Naslednji element je prevozno sredstvo, ki mora zadovoljiti osnovnim zahtevam tovora pri prevozu ter ne sme postavljati prevelikih zahtev pri gradnji svoje prometnice. V našem primeru kot vozilo nastopa kamion, kamion s polprikolico in kamion s prikolico. Kot tretji element v prevozu lesa nastopa prometnica, to je cesta, ki mora upoštevati tako tehnične lastnosti vozila kot tudi težavnost terenskih razmer.

Vse tri omenjene elemente je potrebno med seboj uskladiti ne samo v tehničnem pogledu, kar danes ne predstavlja posebnega problema, ampak predvsem iz vidika gospodarnosti. Optimalno rešitev bomo dosegli takrat, kadar bodo celokupni stroški, ki nastopajo pri prevozu lesa (neposredni stroški samega prevoza ter posredni stroški prevoza - gradnja in vzdrževanje prometnice), minimalni.

Pri prevozu lesa je potrebno upoštevati še eno dimenzijo in sicer čas. Omenjeni trije elementi nimajo enake časovne razsežnosti. Isti tovor pri prevozu nastopa samo enkrat, življenska doba vozila traja nekaj let, medtem ko prometnica ostane nekaj desetletij. Neenake časovne razsežnosti posameznih elementov prevoza lesa pomenija velik problem za načrtovalce in graditelje gozdnih prometnic. Da bi uspešneje načrtovali in gradili gozdne prometnice za bodoči promet, je potrebno nenehno spremljati smer razvoja tehnologije pridobivanja lesa pri nas in v svetu.

Do nedavnega smo prevažali les običajne dolžine 4 m. Tej dimenziji tovora je ustrezal kamion srednje nosilnosti in temu vozilu je bila prilagojena tudi gradnja prometnic. Zaradi številnih vzrokov se sedaj kaže potreba po prevozu lesa večjih dolžin, za kar pa so potrebna drugačna vozila (kamioni s polprikolico) in drugače grajene prometnice. Ceste starejšega datuma dostikrat ne ustrezajo več novemu transportu, zato jih je potrebno rekonstruirati. Pri rekonstrukcijah projektant običajno nima proste izbire, ampak je vezan na obstoječe stanje prometnice in njene okolice (n.pr. novi objekti ob prometnici). V takem primeru mora biti vsaka nova rešitev še posebno tehnično proučena tako v tehničnem kot v ekonomskem pogledu. Pri gradnji novih cest pa je že pri snovanju konstruktivnih elementov ceste potrebno upoštevati zahteve sodobnega in bodočega prometa. Vpliv prevoza dolgega lesa na gradnjo cest se kaže tako v zahtevi po močnejši utrditvi vozišča kot v zahtevi po večji širini, predvsem v krivinah.

Z namenom, da bi projektanti in graditelji gozdnih cest imeli dovolj široko osnovo, kakšne parametre je potrebno upoštevati pri oblikovanju krivin na cestah, po katerih želimo prevažati tudi dolgi les, je pripravljena pričujoča študija. Raziskovalna naloga je bila obdelana na pobudo in s finansiranjem GG Bled, ker pa izsledki študije pomenijo določen prispevek k teoretičnemu in praktičnemu reševanju vsakodnevnih nalog pri transportu lesa in gradnji gozdnih prometnic, na tem mestu objavljamo študijo v zelo skrčeni obliki.

## 2. DOLŽINA TOVORA

Že v prejšnjem poglavju smo omenili, da je tovor eden od treh elementov, ki nastopajo v kompleksu prevoza lesa. Ker je to namenski element, želimo najprej o njem podati tiste razsežnosti, ki neposredno ali posredno vplivajo na oblikovanje krivin. Kot tovor bomo upoštevali gozdne lesne sortimente, ki so namenjeni za prevoz s kamioni iz gozda do porabnika. Za oblikovanje krivin je pomemben le en podatek in sicer dolžina sortimentov, deloma tudi oblika sortimentov (koničnost debla). Na tem mestu nas zanima dolžina sortimentov, ki je pogojena z naslednjimi dejavniki:

- dolžina debla
- pravilne razmere
- zahteve porabnika
- prometni predpisi.

V nadaljevanju bomo v kratkem opisali osnovne značilnosti posameznega dejavnika.

### 2.1. Dolžina dela

Maksimalna dolžina sortimenta je omejena z dolžino debla določenega drevesa, iz katerega izdelamo sortiment. Dolžina debla pa je odvisna od drevesne vrste, starosti drevesa, položaja drevesa v sestoji in od bonitete rastišča.

Največje dolžine debla dosežejo iglavci, med temi pa smreka in jeika, če upoštevamo naše drevesne vrste in masovnost sortimentov. Podatki, zbrani pri redni sečnji smreke na Pokljuki nam kažejo, da dolžine debel zajemajo vrednost od 12 m pa celo do 38 m. Pretežni del debel (87%) ima dolžino do 30 m, večjo dolžino dosegajo le posamezna debla. To pomeni, da bi v primeru, če bi hoteli voziti cela debla, morali računati z dolžino tovora do 30 m, kar pa je danes še neracionalno in zaradi mnogih drugih dejavnikov tudi tehnično nemogoče.

### 2.2. Spravilne razmere

Dokler so pri spravilu lesa uporabljali le animalno vleko ali se posluževali gravitacijske sile, so morali sortimente krojiti na tako dolžino, da so s takratnimi preprostimi sredstvi in napravami obvladali vse terenske ovire na poti spravila ter les lahko nakladali, prekladali in razkladali. Za debelejša debla (les za žago) je bila ustaljena dolžina sortimenta 4 m, drugi sortimenti (stavbni les, drogovi itd) so dosegali večjo dolžino, vendar so bili po premeru tanjši. Vse sortimente so krojili na sečišču ob panju. Pri današnji tehnologiji pridobivanja lesa z uporabo traktorjev, zlasti pri uporabi zgibnih traktorjev, spravimo ne omejuje dolžino sortimentov in praviloma dokončno dolžino sortimentov krojimo po končani fazi spravila, to je ob kamionski cesti.

### 2.3. Zahteve porabnika

Največji odjemalci gozdnih lesnih sortimentov, ki zahtevajo daljši les, so žagarski obrati, oziroma v novejšem času centralna mehanizirana skladišča (CMS). Žagarski obrati s sodobno tehnološko opremo, zlasti pa CMS, zahtevajo čimdaljši les, ker je v tem primeru izkoristek lesa in strojnih naprav najboljši. Obstaja pa neka racionalna meja za dolžino pripeljanega lesa, na katero je prilagojen celotni tehnološki proces (transportne naprave). Pri CMS je tehnološki proces običajno prilagojen za dolžino oblovine 12-14 m. Tudi ostali odjemalci dolgih sortimentov (drogovi za napeljave, stavbni les idr.) ne zahtevajo večjih dolžin lesa, razen za izjemne primere.

### 2.4. Prometni predpisi za javne ceste

Gozdne prometnice načrtujejo in gradijo gozdarji za svoje potrebe. Gozdarji tudi sami določajo prometni režim na teh prometnicah. Za gozdne ceste ne veljajo predpisi o javnih cestah, pravtako tudi promet po gozdnih cestah ni podrejen predpisom, ki veljajo za javni cestni promet. Zato bi po gozdnih cestah lahko vozili najdaljše sortimente (cela debla), če bi to omogočale gozdne ceste glede na ekonomičnost gradnje in tehnične lastnosti prevoznih sredstev. Prevoz gozdnih lesnih sortimentov pa ne poteka samo po gozdnih cestah, ampak se z manjšo izjemo nadaljuje po javnih cestah. Delež prevozov lesa po javnih cestah postaja vse večji, ker čedalje več lesa vozijo na CMS, ki nadomeščajo več dislociranih manjših skladišč, katera so bila preje bliže gozdu. Prav zaradi vožnje po javnih cestah, pa čeprav včasih le zadnji kilometer v celotnem transportu lesa, morajo biti prevozna sredstva in tovor na njih prilagojeni predpisom, ki veljajo za javni cestni promet. Sedaj veljavni tozadevni predpisi so bili objavljeni v Uradnem listu SFRJ 1964/6, 1964/34, 1967/23 in 1975/20.

Po Pravilniku o napravah, opremi, dimenzijah in skupnih težah vozil v cestnem prometu (Ur.l. SFRJ 1975/20) znaša največja dovoljena širina vozila 2,5 m, višina 4,0 m ter maksimalna dolžina vozila s tovorom 12,0 m za kamion (dvo ali triosni), 16,5 m za kamion s polprikolico in 18,0 m za kamion s prikolico.

Glede na gornje predpise in z upoštevanjem dimenzij vozil, ki jih danes uporabljamo za prevoz lesa, lahko ugotovimo naslednje:

- s kamionom brez prikolice teoretično z določenimi predpostavkami lahko vozimo sortimente dolge največ 9,3 m
- s kamionom s polprikolico lahko vozimo do 13,6 m dolge sortimente
- s kamionom s prikolico lahko vozimo do 8,2 m dolge sortimente.

Gornji podatki veljajo v primeru, kadar uporabimo najbolj ugodno vozilo in kadar nakladalna naprava pri prevozu lesa ne sega čez prednji del kamiona.

### 3. PREVOZNA SREDSTVA

Za pravilno oblikovanje krivin so pomembne predvsem naslednje tehnične lastnosti vozila:

- minimalni radij obračanja vozila
- računsko medosna razdalja
- odmik polprikolice (oz. prikolice) od kamiona
- širina vozila oziroma razmak zunanjih koles

Danes pri prevozu lesa kot prevozno sredstvo uporabljamo kamion, kamion s polprikolico in kamion s prikolico, zato smo le ta vozila upoštevali pri naših proučevanjih. Traktor je udeležen le pri prevozu manjše količine lesa, v glavnem za domačo uporabo iz gozdov zasebnega sektorja.

#### 3.1. Minimalni radij obračanja kamionov

Pod pojmom minimalni radij obračanja vozila razumemo polmer kroga, ki ga opisuje sredina prednje preme vozila pri vožnji v krogu pri maksimalno zasukanem volanu. Minimalni radij obračanja vozila je za projektante cest zelo pomemben tehnični podatek, ker jim služi kot izhodišče za določanje minimalnega radija krivin, po katerih še lahko vozijo vozila pri minimalni hitrosti. Ugotavljanje velikosti minimalnega radija obračanja vozila je lahko različno. Lahko ga ugotovimo neposredno tako, da izmerimo premer kroga, ki ga na neki večji ravni ploskvi začrta podaljšek (palica,



sled barve) sredine prednje preme. Pri naših proučevanjih smo minimalni radij za vsako vozilo ugotavljali posredno in sicer z merjenjem premerov kroga, ki ga predstavlja sled zunanje roba prednjih koles.

### 3.1.1. Minimalni radij obračanja dvoosnih kamionov

Za dvoosne kamione lahko posredno izračunamo minimalni radij obračanja, če so nam znane vrednosti polmerov kolesnic zunanjih koles (notranjega ali zunanje kolesa na prednji premi) in medosna razdalja. Matematični obrazec je sestavljen na osnovi sheme št. 1.

- a) Znan je polmer kolesnice notranjega kolesa na prednji premi ( $R_{1n}$ )

$$R = \sqrt{b^2 + s^2} \quad \text{obr. 1}$$

$$s = z + h_1 \quad \text{obr. 2}$$

$$z = \sqrt{(R_{1n} + k_1)^2 - b^2} \quad \text{obr. 3}$$

- b) Znan je polmer kolesnice zunanje kolesa na prednji premi ( $R_{1z}$ )

$$R = \sqrt{b^2 + s^2}$$

$$s = z' - h_1 \quad \text{obr. 4}$$

$$z' = \sqrt{(R_{1z} - k_1)^2 - b^2} \quad \text{obr. 5}$$

Znaki pomenijo:

$R$  - minimalni radij obračanja dvoosnega kamiona

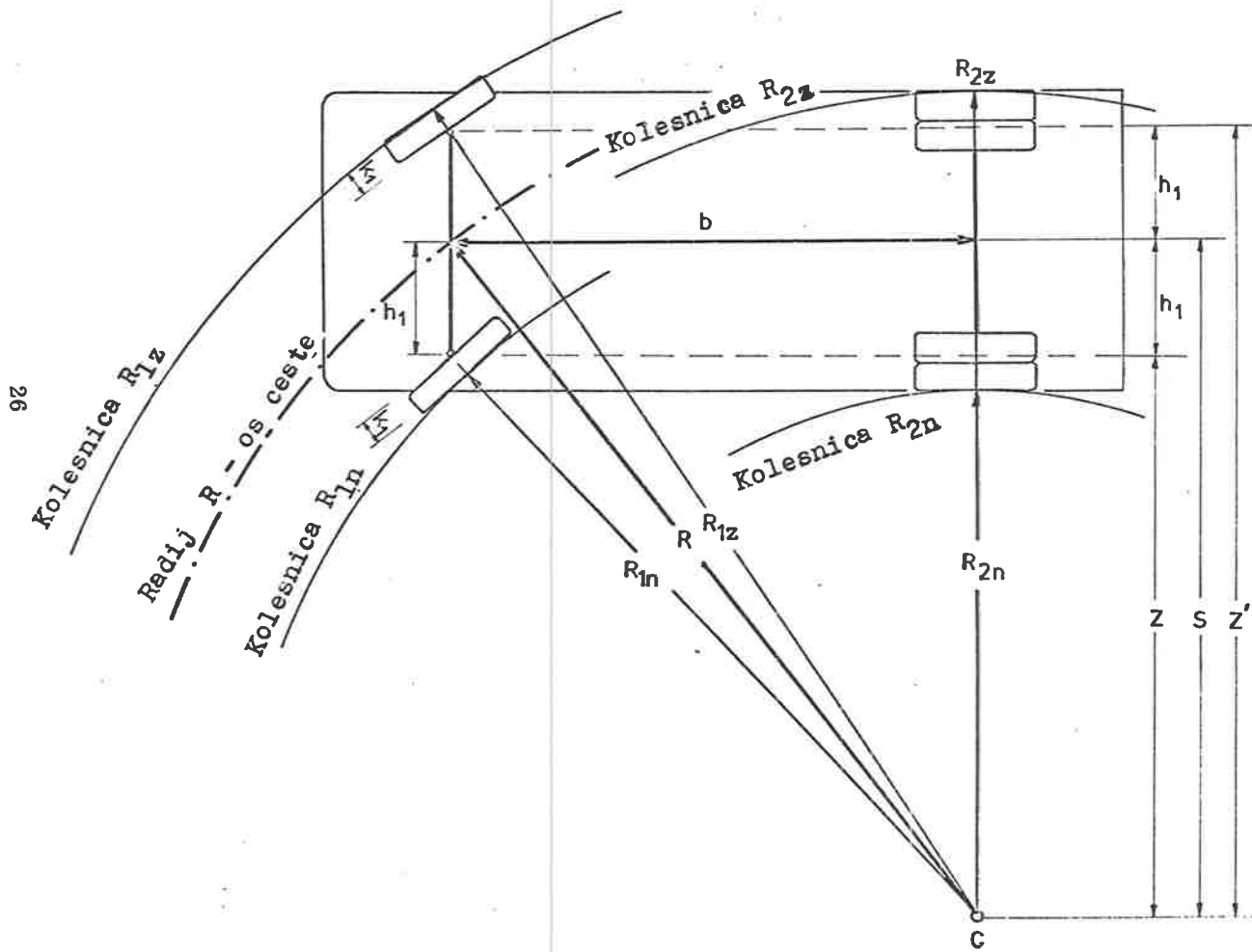
$b$  - medosna razdalja kamiona

$k_1$  - razdalja med zunanjim robom platišča in sornikom

$h_1$  - polovica razdalje med obema sornikoma prednjih koles.

# Shema vožnje vozila v krivini

Shema 1



Izračuni podatki o minimalnih radijih obračanja pri posameznih dvoosnih kamionih so navedeni v tabeli števil 1.

Tabela števil 1 Minimalni radiji obračanja dvoosnih kamionov

Zap. št.	Proizvajalec	Tip vozila	R min. m	Zap. št.	Proizvajalec	Tip vozila	R min. m
1	FAP	13/S	7,0	7	TAM	6500 K	8,0
2	FAP	13/SK	8,7	8	TAM	6500 GO	8,4
3	FAP	13 FF	7,3	9	MERC.	1210/42	7,4
4	FAP	18 BK	5,5	10	MAN	6115	7,2
5	FAP	1516/BD	7,1	11	MAN	16.200	6,8
6	TAM	4500	6,7				

### 3.1.2 Minimalni radij obračanja triosnih kamionov

Način ugotavljanja minimalnega radija obračanja pri triosnih kamionih je podoben kot pri dvoosnih. Za izračun minimalnih radijev lahko uporabimo iste obrazce (obr. 1-5) le s to razliko, da znak "b" ne predstavlja dejanske vrednosti za medosno razdaljo, ampak pomeni računsko medosno razdaljo  $b_1$ . Vrednost  $b_1$  pa je odvisna predvsem od izvedbe druge zadnje osi. Pri triosnih kamionih, ki jih danes uporabljamo za prevoz lesa, so se uveljavili predvsem naslednji načini izvedbe:

- a) obe zadnji osi sta pogonski (MERCEDES 2224, FIAT 697 NP, MAGIRUS 232 D 22);
- b) druga zadnja os je nihajoča, vendar se kolesa ne vrtijo okoli vertikalne osi (OM 150/1);
- c) druga zadnja os je nihajoča, kolesa se vrtijo okoli vertikalne osi (MAN 16.200).

Izračunani podatki o minimalnih radijih obračanja triosnih kamionov so podani v tabeli števil 2.

Tabela šte. 2 Minimalni radiji obračanja triosnih kamionov

Zap. št.	Proizvajalec	Tip vozila	R min. m	Zap. št.	Proizvajalec	Tip vozila	R min. m
1	MERC.	2224	6,0	4	MAN	16.200	6,8
2	OM	150/1	5,7	5	MAGIR.	232 D 22	7,9
3	FIAT	697 NP	7,5	6	FAP	22/B	6,2

Vse meritve za izračun minimalnih radijev so bile opravljene pri vožnji praznih kamionov z minimalno hitrostjo na horizontalni gramozni podlagi. Podatki v tabelah šte. 1 in šte. 2 nam kažejo, da imajo obravnavani kamioni minimalni radij obračanja v velikosti od 5,5 m (FAP 18 BK) do 8,6 m (FAP 13/KS). Povprečni minimalni radij obračanja pri dvoosnih kamionih znaša 7,3 m in pri triosnih kamionih 6,7 m. Pri merjenju smo opazili pri nekaterih kamionih razliko v vrednostih radijev obračanja v primerih, če je kamion vozil v levo oziroma v desno smer. Razlika v radijih je znašala od 1-2% in izhaja iz različno izvedenega mehanizma za krmiljenje vozila. Pri naših izračunih smo upoštevali vedno večji radij.

#### 4. OBLIKOVANJE KRIVIN

V tem poglavju bomo proučevali vprašanje, kako naj bodo oblikovane krivine za vožnjo normalno naloženega vozila in kako je potrebno oblikovati krivine, kadar želimo po njih voziti dolg les. Vprašanje prečnih naklonov vozišča v krivini na tem mestu ne bo posebej obravnavano, ker le-to ni bilo predmet naše študije. Glede prečnih in podolžnih naklonov v krivinah veljajo podatki v Smernicah za sestavo investicijskih programov in glavnih projektov za gozdne ceste, Ljubljana, 1962.

##### 4.1 Minimalni radij krivine za vožnjo normalno naloženega vozila

Pri oblikovanju ostrih krivin nastopi osnovno vprašanje, kolikšen naj bo tisti minimalni radij krivine, po katerem bo vozilo, normalno naloženo, še lahko varno peljajo seveda z minimalno hitrostjo.

Pri tem je potrebno upoštevati, da sredina prednje preme poteka po osi ceste in da za normalno naloženo vozilo vzamemo tisto vozilo, na katerem tovor po teži ne presega dovoljene koristne nosilnosti vozila in po dolžini ne sega več kot 1 m čez zadnjo stranico vozila.

Minimalni radij krivine mora biti v vsakem primeru večji od minimalnega radija obračanja vozila zaradi naslednjih razlogov:

- na začetku in koncu krivine ni mogoče izkoristiti polnega zasuka volana;
- zaradi centrifugalne sile se vozilo pri vožnji nekoliko pomika proti zunanji strani krivine. Pomik je tem večji, čim večja je hitrost vozila, čim manjša je obremenitev prednje preme in čim manjša je adhezija med voziščem in platiščem prednjih koles (blatna vozišča, nevezan gramoz).

Kolikšno naj bo dejansko povečanje minimalnega radija obračanja je odvisno še od gostote prometa, od predvidenega odločujočega vozila, od težavnosti terena in še od drugih dejavnikov. Švicarski strokovnjak za gozdne ceste ZEHNDER (12) predlaga povečanje za 30%. Naše mišljenje je naslednje: če upoštevamo, da ima pretežni del kamionov, ki jih danes uporabljamo za prevoz lesa, radij obračanja manjši kot 8 m in da se okretljivost vozil v bodoče ne bo zmanjšala, ampak raje povečala, potem bi za gozdno cesto veljal minimalni radij krivine 9 m. Seveda bomo krivino s tako majhnim radijem zgradili le na izjemnih mestih na trasi, ko vozilo zmanjša svojo hitrost na minimum, to je na serpentinah, obračališčih in na priključkih. Nadalje bomo tako ostro krivino zgradili le na tistih odsekih, kjer bi večji izbrani radij zahteval znatno večje gradbene stroške. Minimalni radij, ki omogoča dovolj varno vožnjo za vsa vozila, je 12 m.

#### 4.2. Oblikovanje krivin za prevoz dolgega lesa

Že v poglavju o dolžini tovara smo ugotovili, da dolge sortimente (čez 9 m) lahko vozimo le s kamionom s polprikolico (enoosno ali dvoosno), zato bomo pri prevozu dolgega lesa upoštevali le ta način prevoza. Predno pa povemo nekaj več o oblikovanju krivin za tak način prevoza, moramo proučiti še eno vprašanje in sicer optimalni odmik polprikolice od kamiona, kajti od velikosti tega odmika so odvisni vsi nadaljnji izračuni za konstruktivne elemente krivin.

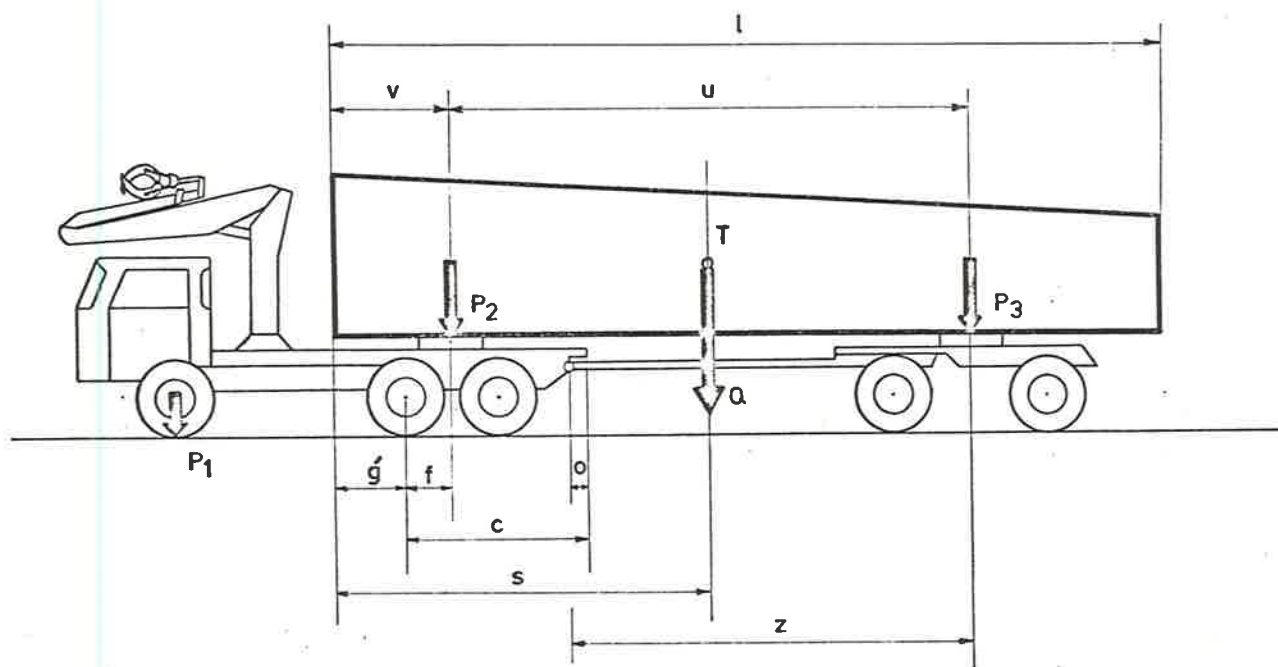
#### 4. 2. 1. Odmik polprikolice od kamiona

Proučitev in izvajanje matematičnih obrazcev za izračun optimalnega odmika polprikolice od kamiona bomo izvedli na osnovi sheme števil. 2. (lit. 10). Glede na konstrukcijo kamiona in nakladalne naprave, ki je v našem primeru nameščena za kabino, predpostavimo, da na prednjo premo odpade teža motorja s kabino in nakladalno napravo ( $P_1$ ), na zadnjo dvojno os pa del teže tovora ( $P_2$ ), drugi del teže tovora ( $P_3$ ) pa odpade na polprikolico. Maksimalna obremenitev kamiona ( $P_2$ ) je odvisna od koristne nosilnosti kamiona, prav tako je maksimalna obremenitev polprikolice ( $P_3$ ) odvisna od njene koristne nosilnosti.

Težišče tovora ( $T$ ), ki ima celokupno težo ( $Q$ ), se bo nahajalo med kamionom in polprikolico, točno mesto težišča pa je odvisno le od oblike tovora. Če ima tovor v prerezu obliko pravokotnika, potem bo težišče ( $T$ ) ravno na sredini dolžine tovora ( $s = 0,5 l$ ), čim bolj pa je oblika tovora konična, tembolj se težišče pomika proti začetku tovora. S predpostavko, da so pri prevozu lesa vsi sortimenti obrnjeni v eno smer in da so sortimenti približno enakih dimenzij, potem je oblika celotnega tovora podobna obliki enega sortimenta, kar velja tudi za lego težišča ( $T$ ). Vpliv oblike sortimentov na lego njenega težišča lahko izrazimo s količnikom " $t$ ", čigar vrednosti so podane na grafikonu števil. 1. Količnik " $t$ " zajema vrednosti od 0,35 - 0,50, za praktično uporabo lahko vzamemo srednje vrednosti od 0,40 - 0,46 odvisno od dolžine in koničnosti sortimentov. Pri uporabi hidravličnih nakladalnih naprav je mogoče sortimente pri nakladanju obračati, zato lahko sami v določenih mejah vplivamo na vrednost količnika " $t$ " in s tem na večji ali manjši potreben odmik polprikolice od kamiona.

# Shema odmika polprikolice od kamiona glede na dolžino sortimentov

Shema 2



Ko nam je za določeno dolžino sortimentov znan količnik "t", lahko pristopimo k izračunu potrebnega odmika vrtlja na polprikolici od vrtlja na kamionu. Ta odmik označimo z znakom "u". Matematični obrazec izhaja iz računa statike na osnovi uravnoveženih momentov sile  $P_2$  in  $P_3$ :

$$- P_3 \cdot u + Q (s - v) = 0$$

$$u = \frac{Q (s - v)}{P_3}$$

$$u = q (s - v) \quad \text{obr. 6}$$

$$q = \frac{Q}{P_3} = \frac{P_2 + P_3}{P_3} \quad q = \frac{P_2}{P_3} + 1 \quad \text{obr. 7}$$

kjer pomeni:

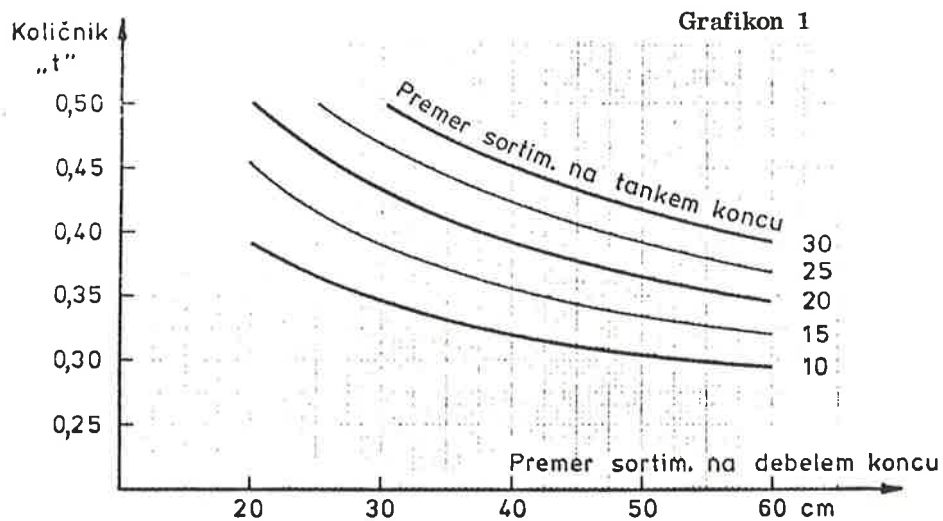
- Q - skupna teža tovora v tonah
- $P_3$  - koristna nosilnost polprikolice v tonah
- $P_2$  - koristna nosilnost kamiona v tonah
- $q$  - količnik odmika polprikolice
- s - razdalja od začetka tovora do težišča (T)

$$s = t \cdot l \quad \text{obr. 8}$$

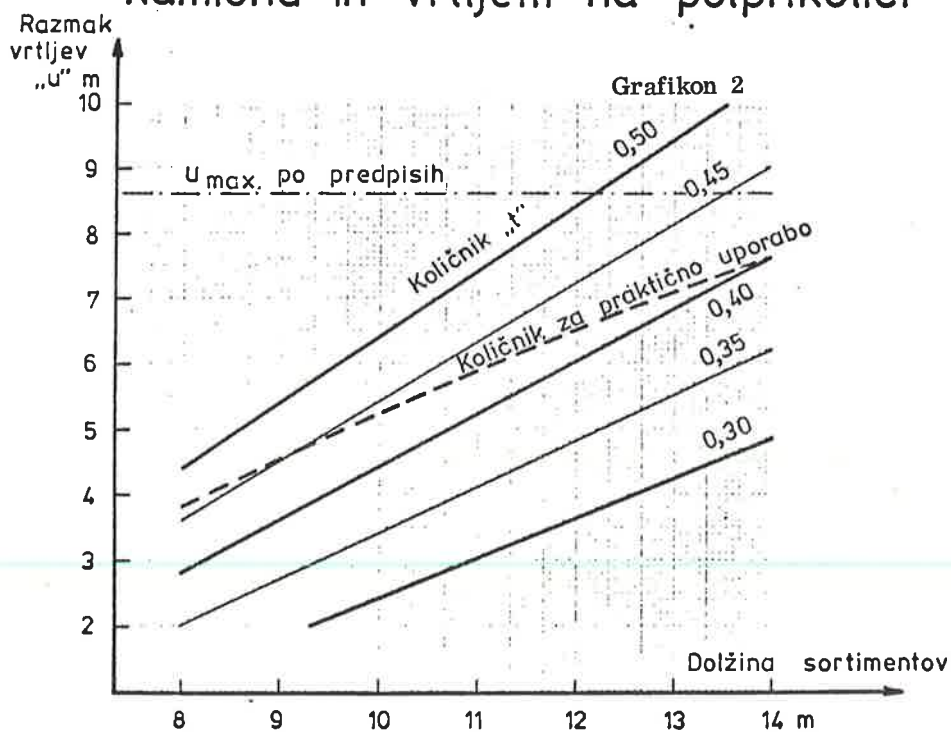
- t - količnik težišča sortimenta oziroma tovora
- l - povprečna dolžina sortimentov oziroma dolžina tovora
- v - razdalja od začetka tovora do vrtlja na kamionu



## Količnik težišča sortimentov



## Določanje razmaka med vrtljem na kamionu in vrtljem na polprikolici



Za hitro določanje odmika polprikolice od kamiona smo sestavili poseben grafikom (števil. 2), kjer za določeno povprečno dolžino sortimentov in pri izbrani vrednosti količnika "t" takoj lahko odčitamo potrebni razmak "u". Podatki na grafikonu števil. 2 veljajo le v primeru, da ima polprikolica enako koristno nosilnost kot kamion. Na osnovi obrazcev števil. 6, 7 in 8 lahko sestavimo podobni grafikom za poljubno razmerje med koristno nosilnostjo kamiona in polprikolice. V praksi lahko koristno pomagamo vozniku kamiona, ki prevaža dolg led, če ustrezen odmik, ki je potreben pri posamezni dolžini lesa, enostavno označimo na vodilnem drogu polprikolice.

Ko sedaj poznamo ustrezen odmik polprikolice od kamiona ne glede na to ali gre za enoosno ali dvoosno polprikolice, potem lahko pristopimo k proučevanju tistih parametrov, ki nas zanimajo pri oblikovanju krivine za prevoz dolgega lesa, to je radij krivine, razširitev svetlega profila ceste in razširitev vozišča.

#### 4.2.2. Prevoz z enoosno polprikolico

V vsej do sedaj proučeni literaturi (zlasti v učbenikih) smo zasledili, da avtorji izhajajo iz predpostavke, kot da je vozilo statično postavljeno v krivino oziroma da je prevozilo že celotni krog ( $\alpha = 360^\circ$ ). Nikjer nismo zasledili, da bi bil obdelan kritični prehod iz preme v krivino. Na javnih cestah ta prehod obvlada prehodnica, katero pa na gozdnih cestah posebej ne načrtujemo. Na osnovi zgornjih predpostavk so potem v literaturi izvedeni vsi matematični obrazci (za minimalni radij krivine, dolžino tovora, razširitev vozišča) in izdelane ustrezne skice, ki veljajo le v določenih in redkih primerih.

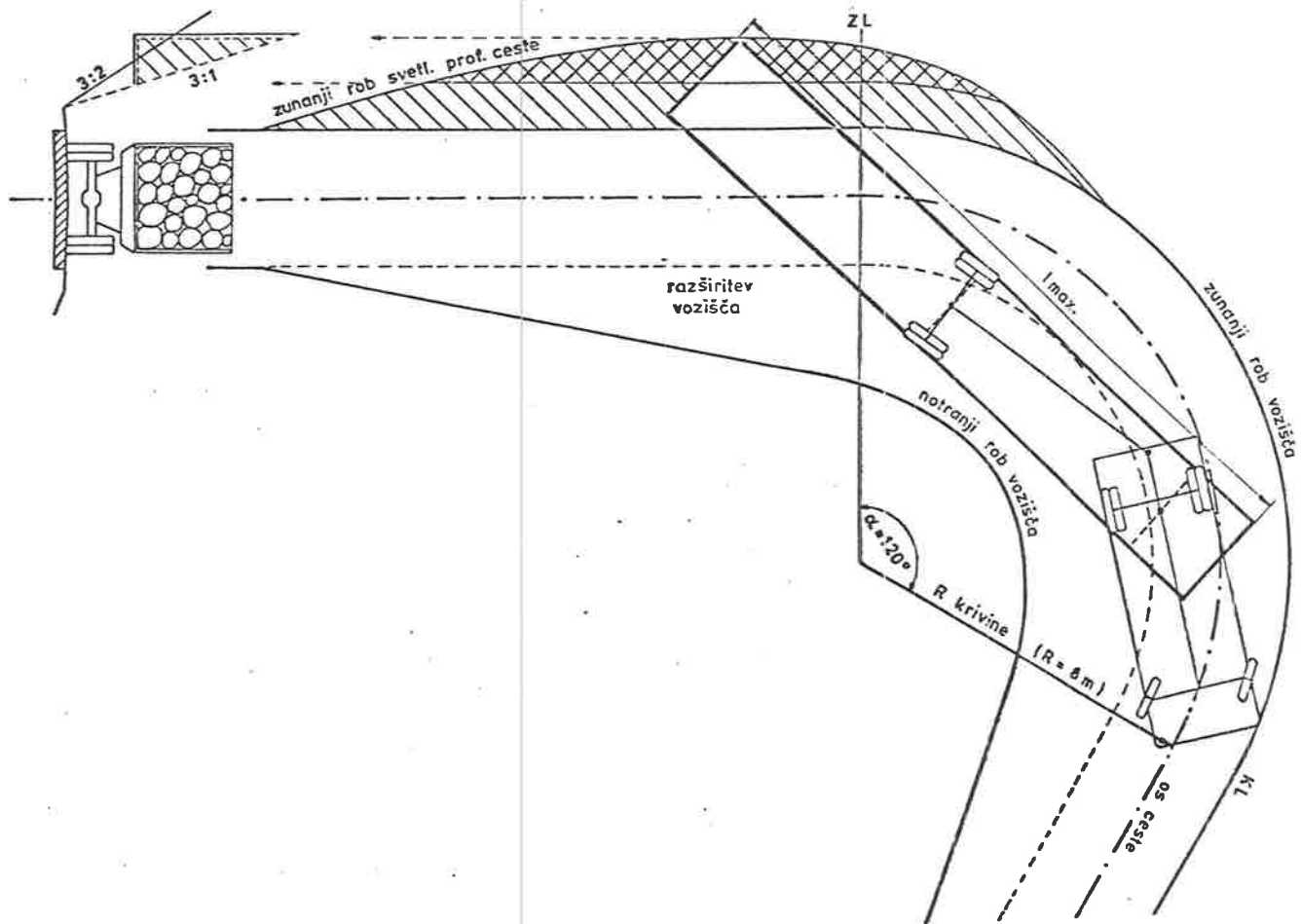
Dejanska vožnja vozila, naloženega z dolgim lesom, poteka po gozdni cesti povsem drugače kot so podane zgornje predpostavke. Gozdna cesta se prilagaja terenu, zato os ceste nenehno vijuga. Smeri krivin in velikosti njenih radijev se hitro spreminjajo, zato vozilo pri vožnji po gozdni cesti neprestano prehaja iz preme v krivino, iz krivine v premo oziroma iz ene krivine v drugo, različno pa smeri in radiju. Velikost središčnih kotov ( $\alpha$ ) se giblje v mejah od  $5^\circ$  do  $100^\circ$ , le pri serpentinah in obračališčih nastopijo ekstremne vrednosti in sicer  $\alpha = 200^\circ$  do  $220^\circ$ .

Pri naših proučevanjih smo skušali izhajati iz dejanskih razmer kakršne nastopajo pri vožnji na gozdnih cestah. Meritve smo opravili na krivinah na gozdnih cestah, množico podatkov pa smo dobili na osnovi kabinetnega proučevanja modelov raznih vrst vozil, prav v ta namen izdelanih v merilu 1 : 50.

Za podrobnejšo obravnavo problematike prevoza dolgega lesa z enoosno polprikolico bomo vzeli primer, da želimo voziti sortimente, ki so povprečno dolgi 12 m. V tem primeru je za optimalno razporeditev tovora potreben razmak med vrtljem na kamionu in vrtljem na polprikolici 6,5 m, polprikolico s kamionom povezuje tovor, za lažje krmiljenje polprikolice pa služi vodilni drog, ki pri vožnji po krivinah spreminja svojo dolžino.

Za lažjo predstavo o tem, kako v situaciji poteka vožnja enoosne polprikolice na prehodu iz preme v krivino, podajamo shemo števil. 3. Iz sheme je razvidno, da je pri vožnji vozila, naloženega z dolgim lesom, najbolj kritičen ravno prehod iz preme v krivino. Tedaj kolesa polprikolice in kolesa na zadnji osi kamiona še niso utirjena v kolesnico polnega kroga, zato zadnji del dolgega tovora odnaša proti zunanji strani krivine in nekaj metrov pred začetkom krivine bo dolgi tovor najprej dosegel zunanji rob vozišča. Da bi po krivini lahko vozili tudi dolgi les, imamo na razpolago dve rešitvi in sicer povečati radij krivine ali razširiti zunanji rob svetlega profila ceste.

Shema prevoza dolgega lesa z enosno polprikolico (l=12 m)



Shema 3

Razmerje med velikostjo radija krivine, razširitvijo svetlega profila ceste ter dolžino lesa, ki ga želimo po določeni krivini prepreljati, je podano na grafikonu števil 3. S pomočjo tega grafikona projektant izbira najugodnejšo kombinacijo med parametri krivine glede na terenske razmere in pomembnost ceste. Potrebno je, da na grafikonu podani podatki o maksimalni dolžini sortimentov ( $l_{max}$ ) veljajo za tiste kose lesa, ki so naloženi na zunanji strani vozila. Posamezni kosi v sredini tovora so lahko približno 1 m daljši.

Iz omenjenega grafikona je razvidno, da je za prevoz 12 m dolgega lesa potrebno zgraditi krivino z radijem 13 m v primeru, kadar je postavljen pogoj, da tovor pri vožnji v krivini ne sme segati čez zunanji rob vozišča. Če pa dovolimo, da sme tovor segati 1 m čez rob vozišča, tedaj bomo lahko celo po krivini z radijem 9 m prepeljali tovor, kjer so posamezni kosi lesa, naloženi na zunanji strani vozila, dolgi tudi do 13,9 m, kar po cestnoprometnih predpisih že presega največjo dovoljeno dolžino tovora. Zgornji primer nas prepriča, da je pri iskanju možnosti za prevoz dolgega lesa mnogo bolj smotrno razširjati zunanji rob svetlega profila kot pa povečevati radij krivine. Za vsak meter podaljšanega tovora moramo povečati radij kar za 6 m, medtem ko nam za 1 m razširjeni zunanji rob svetlega profila ceste omogoča prevoz 2 - 3,5 m daljši tovor.

Nadalje iz grafikona števil 3 lahko ugotovimo kakšen vpliv na prevoz dolgega lesa ima središčni kot krivine. Ta vpliv pride do veljave pri ostrejših krivinah ( $R < 12$  m) in pri večjih razširitvah svetlega profila. Če kot primer vzamemo krivino z radijem 8 m in razširitev svetlega profila 2 m, potem lahko ugotovljamo, da dolžina sortimentov ( $l_{max}$ ) progresivno narašča s padanjem središčnega kota izpod vrednosti  $\alpha = 90^\circ$ , medtem ko središčni kot iznad te vrednosti na dolžino sortimentov nima nobenega vpliva več.

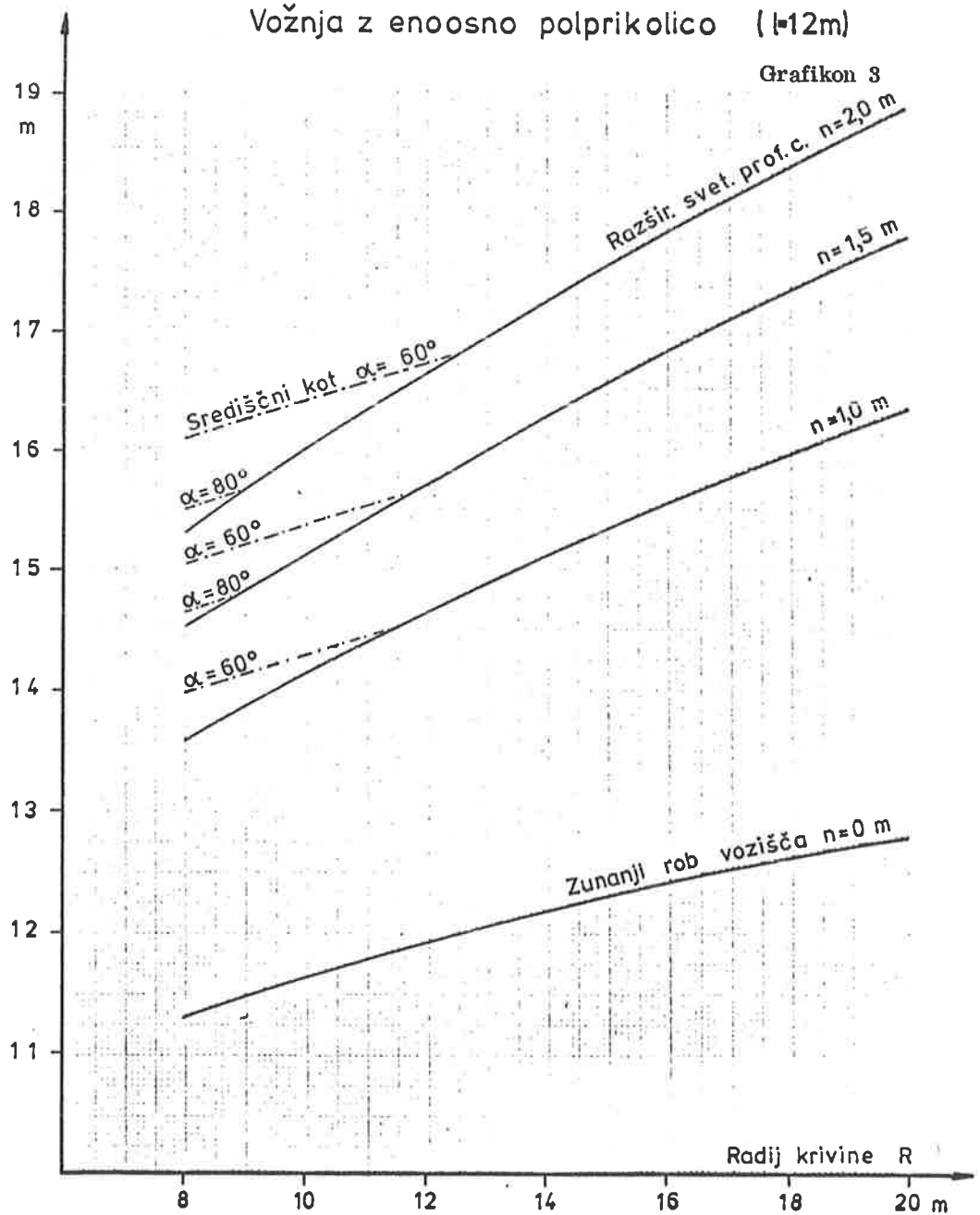
Podrobneje smo proučili vprašanje potrebne razširitve svetlega profila ceste. Ta razširitev je nazorno prikazana v tlorisni projekciji in v prečnem prerezu na situacijski shemi števil 3. Z enojnim šrafiranjem je prikazan pas pri razširitvi svetlega profila za 1 m, z dvojnim šrafiranjem pa razširitev za 2 m. Ker po gozdni cesti običajno vozimo les samo v eni smeri, tedaj zadostuje razširitev le na začetku krivine v smeri vožnje.

# Razmerje med dolžino sortimentov, radijem krivine in razširitvijo svetlega profila ceste

Maksim. dolžina  
posam. sortim.  
 $l_{max}$ .

Vožnja z enoosno polprikolico ( $l=12m$ )

Grafikon 3



Za pravilno izvedbo razširitve moramo poznati tlorisno obliko vzdolž zunanjega roba vozišča. Tlorisna oblika je odvisna od velikosti maksimalne razširitve ( $n$ ), od radija krivine ( $R$ ), od središčnega kota krivine ( $\alpha$ ) in od vrste vozila, ki prevaža dolg tovor.

Da bi za praktično uporabo lahko podali podatke o potrebni razširitvi svetlega profila za različne primere, smo pripravili tabelo števil. 3, kjer je okvirna tlorisna oblika razširitve podana z osnovnimi koordinatami. Podatki so ločeno prikazani za krivine določenih radijev ( $R = 8 - 20$  m) in različnih središčnih kotov ( $\alpha = 60^\circ, 120^\circ$  in  $180^\circ$ ). Podatki v prvi koloni ( $n$ ) predstavljajo vrednosti na ordinati (glej shemo števil. 4), kar v situaciji (shema 3) pomeni širjenje svetlega profila od zunanjega roba vozišča navzven. Vrednosti na ordinati so merjene vedno pravokotno na os ceste (v krivini v smeri središča loka). V nadaljnjih kolonah v tabeli so podane vrednosti na abscisi, kar v situaciji predstavlja oddaljenost od začetka krivine (ZL). Predznak minus pomeni, da se točka nahaja pred začetkom krivine, torej še v premi. S predznakom plus so označene točke, ki se nahajajo že v sami krivini. Oddaljenosti točk od ZL se merijo vse po osi ceste. V pomoč pri risanju tlorisne skice o potrebni razširitvi svetlega profila za določeno krivino nam lahko služi shema števil. 4.

Iz podatkov v tabeli števil. 3 lahko ugotovimo, da je pri enaki maksimalni razširitvi (pri enakem  $n$ ) začetek te razširitve zelo malo odvisen od radija krivine in od središčnega kota, pač pa imata ta dva parametra večji vpliv na konec razširitve. Z večanjem radija in središčnega kota se podaljšuje tudi razširitev. Kritično mesto pri prevozu dolgega tovora se nahaja vedno pred krivino in sicer 2,5 - 5,0 m pred začetkom loka odvisno od velikosti radija in središčnega kota.

TABELA štev. 3

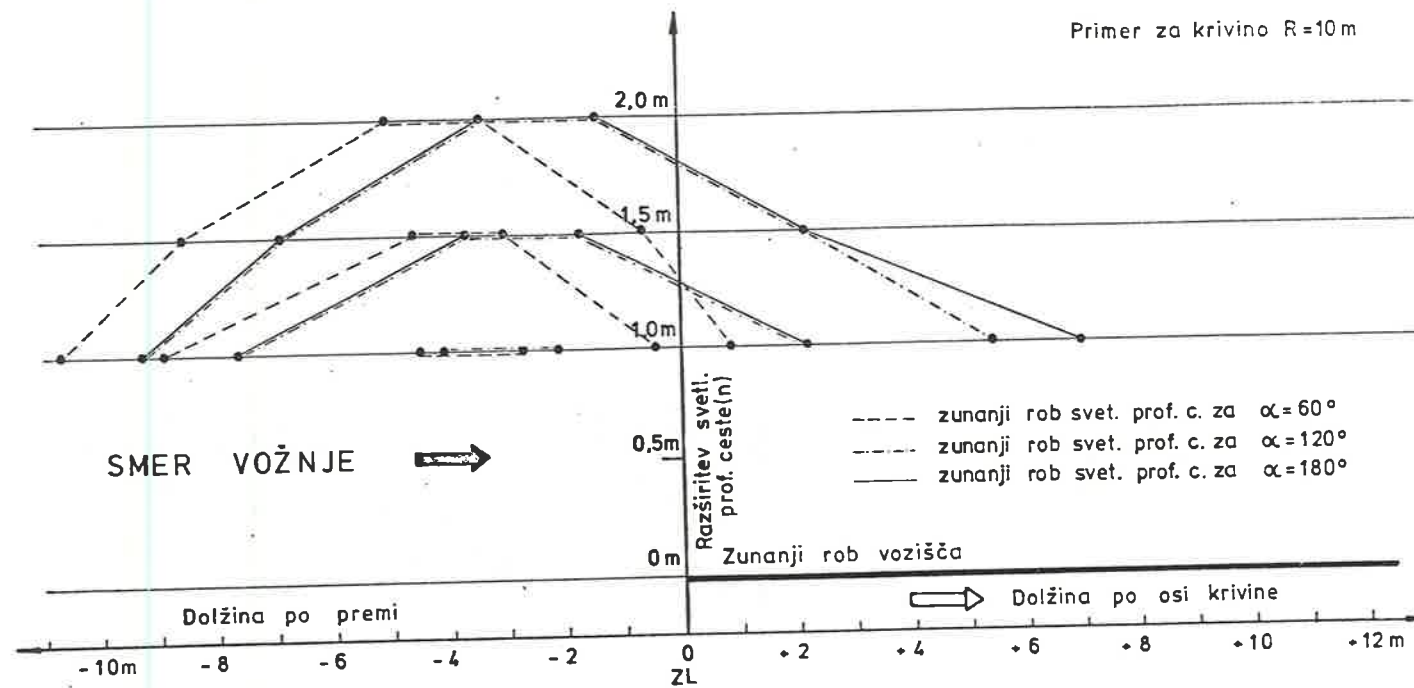
KOORDINATE ZA TLOVISNO SHEMO O RAZŠIRITVI SVETLEGA PROFILA CESTE PRI PREVOZU  
DOLGEGA LESA Z ENOOSNO KAMIONSKO POLPRIKOLICO

n	$\alpha = 60^\circ$		$\alpha = 120^\circ$		$\alpha = 180^\circ$		R
	začetek	konec	začetek	konec	začetek	konec	
2,0	-6,4	-4,6	-3,5	-1,5	-3,5	-1,5	8
1,5	-9,0 -6,0	-4,6 -2,1	-7,1 -3,8	-1,8 -1,0	-7,1 -3,8	-1,8 +1,3	
1,0	-10,8 -9,0 -5,9	-4,1 -1,5 -1,5	-9,3 -7,7 -4,3	-2,3 +1,0 +2,5	-9,3 -7,7 -4,3	-2,3 +1,1 +4,0	
2,0	-5,0	-3,4	-3,4	-1,4	-3,4	-1,4	10
1,5	-8,6 -4,6	-3,0 -0,6	-6,9 -3,7	-1,7 -2,2	-6,9 -3,7	-1,7 +2,2	
1,0	-10,7 -8,9 -4,5	-2,7 -0,4 +0,9	-9,3 -7,7 -4,1	-2,1 +2,2 +5,5	-9,3 -7,7 -4,1	-2,1 +2,2 +7,0	
2,0	-4,0	-2,4	-3,2	-1,2	-3,2	-1,2	12
1,5	-7,3 -3,9	-2,1 +0,3	-7,5 -3,5	-1,5 +3,2	-7,3 -3,5	-1,5 +3,2	
1,0	-9,7 -8,2 -3,9	-2,1 +0,6 +1,9	-9,8 -8,2 -4,0	-2,0 +3,2 +9,8	-9,8 -8,2 -4,0	-2,0 +3,5 -11,9	
2,0	-2,7	-1,3	-2,8	-0,8	-2,8	-0,3	16
1,5	-7,4 -3,5	-1,3 +2,2	-7,4 -3,4	-1,4 +6,5	-7,4 -3,4	-1,4 +6,5	
1,0	-10,0 -7,7 -3,8	-2,0 +2,8 +4,6	-10,0 -7,7 -3,9	-1,9 -6,0 +19,9	-10,0 -7,7 -3,9	-1,9 6,0 +36,0	
2,0	-2,1	-0,9	-2,5	-0,5	-2,5	-0,5	20
1,5	-7,4 -3,2	-0,6 +5,2	-7,4 -2,9	-0,9 -21,8	-7,4 -2,9	-0,9 -27,9	
1,0	-10,2 -8,0 -3,1	-1,5 +5,5 +8,3	-10,2 -8,0 -3,3	-1,3 +26,5 +28,3	-10,2 -8,0 -3,3	-1,3 +27,0 +50,0	



# Shema torisnih oblik razširitev svetlega profila ceste pri prevozu dolgega lesa z enoosno kamionsko polprikolico

Shema 4



Na gozdnih cestah širjenja svetlega profila ceste običajno ni noben poseben problem še zlasti, ker gre za kratek odsek in največkrat samo na eni strani krivine in sicer v smeri vožnje. Dostikrat bo potrebno odstraniti le nekaj dreves ali razminirati del kamnite brežine.

Pri razširjanju svetlega profila je potrebno še pojasniti, da ni nujna razširitev do nivoja cestišča, temveč samo do višine, ki je enaka višini spodnjega roba tovora, to je okoli 1 m nad cestiščem. V veliko pomoč za pravilno izvedbo razširitve nam bo skica, ki prikazuje svetli profil ceste v prečnem prerezu. Kot primer take skice je prikazan v spodnjem delu sheme števil. 3. Na zunanji strani ceste narišemo odkopno brežino v dejanskem nagibu ter v to skico vrišemo potrebno razširitev svetlega profila v prečnem prerezu, za kar dobimo podatke iz grafikona števil. 3.

#### 4.2.3. Prevoz z dvoosno polprikolico

Dvoosna polprikolica je namenjena za prevoz dolgih, predvsem pa težjih tovorov. Kadar je razmak med prednjo in zadnjo osjo polprikolice večji kot 2 m, tedaj je po cestnoprometnih predpisih dovoljena obremenitev 10 t po vsaki osi oziroma koristna nosilnost znaša glede na konstrukcijo polprikolice od 12 - 16 t. Prednja os dvoosne polprikolice je vrtljiva okoli vertikalne osi, zato dvoosna polprikolica mnogo bolje sledi kamionu kot enoosna. Krmiljenje prednje osi je izvedeno različno, odvisno od tipa polprikolice. Pri kratkem odmiku polprikolice od kamiona je polprikolica krmiljena z vodilnim drogom, ki je neposredno pripet na kamion. Pri dolgem odmiku, torej pri prevozu dolgega lesa, je polprikolica krmiljena posredno s pomočjo posebnega mehanizma preko vrtlja na polprikolici. Poleg tega mehanizma imajo nekatere dvoosne polprikolice še uravnavno (korekcijsko) napravo, ki omogoča popraviti zahajanje polprikolice med vožnjo. Zaradi lažje in varnejše vožnje ter zaradi boljšega sledenja je za vožnjo po gozdnih cestah priporočljivo polprikolicam brez korekcijske naprave namestiti ustrezno dolg vodilni drog.

Prevoz dolgega lesa z dvoosno polprikolico poteka nekoliko drugače kot z enoosno. Razlike so v naslednjem:

- po krivinah z enakim radijem ( $R = 8-20$  m) in pri enaki raz-

- širitvi svetlega profila ( $n = 0-2$  m) lahko vozimo od 6-9% krajše sortimente kot pa z enoosno polprikolico;
- za prevoz enako dolgega lesa dvoosna polprikolica zahteva za 0,3 - 0,6 m (pri  $R = 8-20$  m) večjo razširitev svetlega profila ceste;
  - nasprotno pa dvoosna polprikolica v primerjavi z enoosno zahteva pri prevozu 12 m dolgega lesa od 13% (pri  $R = 20$  m) do 23% (pri  $R = 8$  m) manjšo razširitev vozišča, kar daje prevozu z dvoosno polprikolico po vijugavih gozdnih cestah veliko prednost.

#### 4.2.4. Razširitev vozišča

V krivini se vozilo na vozišču drugače obnaša kot v premi. Pri vožnji v premi tečejo kolesa na zadnji osi po sledih koles na prednji osi, v krivini pa zadnja kolesa začrtujejo svojo kolesnico, katere radij je vedno manjši od sledi prednjih koles. Tem spremembam kolesnic se mora nujno prilagoditi tudi širina vozišča. Zato mora biti v krivinah vozišče za toliko razširjeno, kolikor se kolesnica zadnjega notranjega kolesa odmakne od kolesnice prednjega kolesa. Ker je sled zadnjih koles pomaknjena proti notranji strani krivine, zato praviloma v isti smeri razširjamo tudi vozišče.

Razširitev vozišča v krivini je odvisna od vrste vozila, središčnega kota krivine, od širine vozišča v premi, predvsem pa od velikosti radija krivine.

#### 4.2.4.1. Razširitev vozišča za vožnjo s kamionom

Vprašanje razširitve vozišča bomo najprej obravnavali iz teoretičnega vidika oziroma s predpostavko, da vozilo vozi v polnem krogu z določenim radijem.

Za izračun potrebne razširitve vozišča za vožnjo samega kamiona je mogoče na osnovi sheme števil. 5 zelo preprosto sestaviti spodnji obrazec:

$$P_1 = R - R_1$$

$$R_1 = \sqrt{R^2 - b^2}$$

$$P_1 = R - \sqrt{R^2 - b^2} \quad \text{obr. 9}$$

Oznake pomenijo:

$P_1$  - razširitev vozišča za vožnjo s kamionom

$b$  - medosna razdalja

$R$  - radij krivine

$R_1$  - radij loka, ki ga opisuje sredina zadnje preme kamiona

Velikost razširitve je torej odvisna od dveh parametrov in sicer od radija krivine in od medosne razdalje kamiona.

---

#### 4.2.4.2. Razširitev vozišča za vožnjo s kamionsko polprikolico

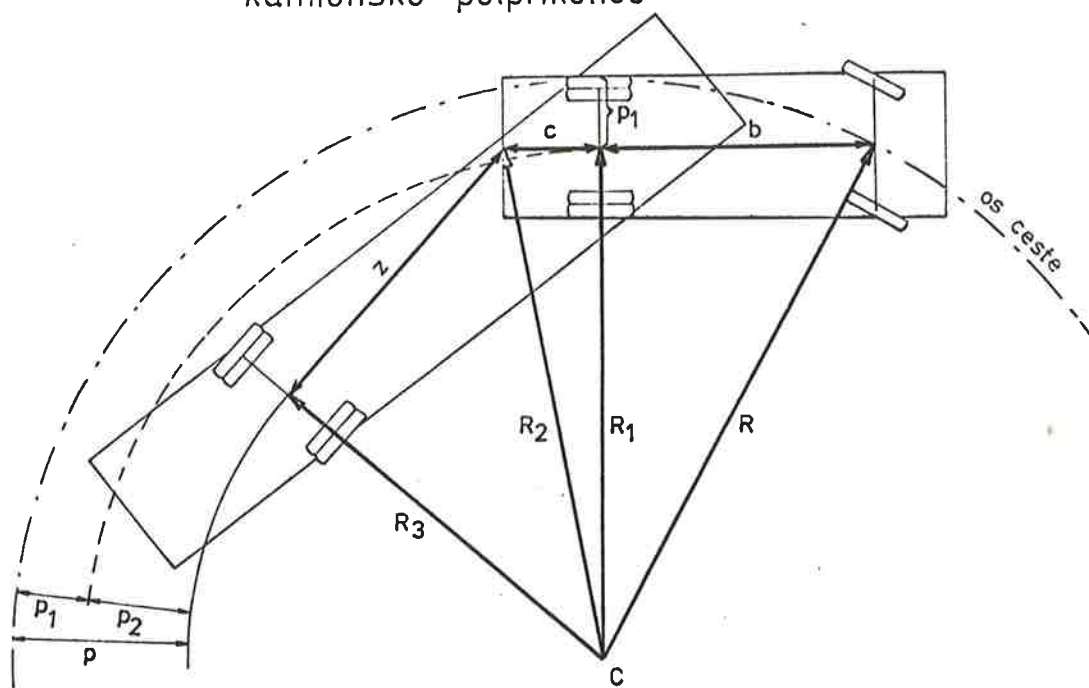
K razširitvi, ki jo zahteva sam kamion, je potrebno prišteti še razširitev, ki jo dodatno zahteva polprikolica. Na osnovi zgornje skice na shemi števil. 5 smo matematični obrazec izvedli po naslednjem postopku:

$$p = p_1 + p_2$$

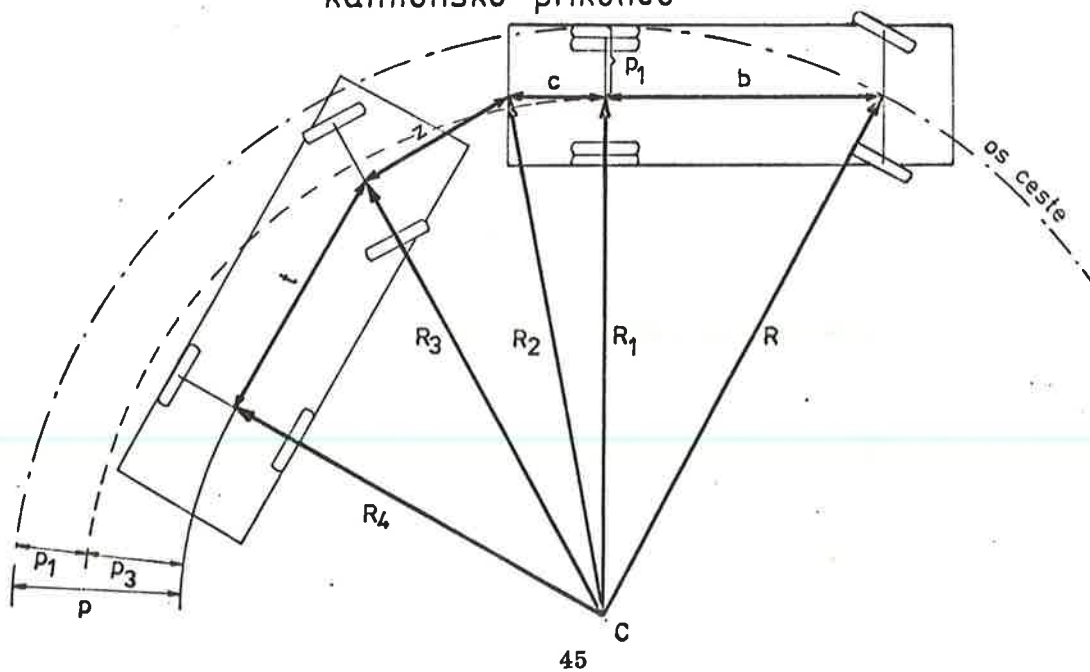
$$p = p_z - p_c$$

Shema razširitve vozišča pri vožnji s kamionsko polprikolico

Shema 5



Shema razširitve vozišča pri vožnji s kamionsko prikolico



$$p_z = R_2 - R_3$$

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

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

$$R_1 = \sqrt{R^2 - b^2}$$

$$P_z = \sqrt{R^2 - b^2 + c^2} - \sqrt{R^2 - b^2 + c^2 - z^2}$$

$$P_c = R_2 - R_1 = \sqrt{R^2 - b^2 + c^2} - \sqrt{R^2 - b^2}$$

Po ureditvi enačb dobimo:

$$P_z = \sqrt{R^2 - b^2} - \sqrt{R^2 - b^2 + c^2 - z^2}$$

$$p = R - \sqrt{R^2 - b^2 + c^2 - z^2} \quad \text{obr. 10}$$

Na razširitev krivine za vožnjo s kamionsko polprikolico vplivata poleg že znanih parametrov ( $R$  in  $b$ ) še dva nova in sicer dolžina od zadnje preme do konca kamiona (do mesta priključka polprikolice) " $c$ " in odmik osi polprikolice od konca kamiona (dolžina droga) " $z$ ". Velikost potrebne razširitve z večanjem vrednosti " $c$ " pada ter z večanjem vrednosti " $z$ " hitro narašča.

Obrazec števil. 10 velja le za primere, ko vozilo vozi v polnem krogu. Taki primeri nastopajo le na obračališčih. Graditelje gozdnih cest bo zanimalo, kolikšne so potrebne razširitve pri prevozu 12 m dolgega lesa s kamionsko polprikolico, kadar imajo krivine središčni kot manjši od  $180^\circ$ . Podatki o razširitvah, dobljeni na osnovi proučevanja voženj z modeli, so podani na grafikonu števil. 4. Vpliv središčnega kota krivine na razširitev vozišča je tem večji čim manjši je radij krivine.

Zelo zanimiva je tlorisna oblika razširitve vozišča v krivini. Na shemi števil. 6 je prikazana poenostavljena skica take tlorisne oblike, ki velja za krivino z radijem 10 m, središčnim kotom  $\alpha = 120^\circ$  in pri prevozu 12 m dolgega lesa z enosno polprikolico.

Na shemi je prikazan teoretični potek razširitve vzdolž notranjega roba vozišča in poenostavljen potek, ki naj bi ga izvedli v praksi. Teoretični potek razširitve ima zvonasto obliko, vendar ta oblika ni povsem simetrična. Na začetku krivine v smeri vožnje je naraščanje položnejše, ob izteku krivine pa črta razširitve hitreje pada. Iz sheme je jasno razvidno, da se tlorisni sliki pri vožnji iz ene in nasprotne smeri ne pokrivata, ampak sta precej razmaknjeni (v našem primeru za 4 m). Ta ugotovitev nam pove naslednje: začetni del razširitve je vedno pogojen z zahtevami vožnje vozila iz nasprotne smeri. Upoštevanje tega spoznanja je toliko bolj pomembno za gozdne ceste, ker po njih ne teče v obeh smereh enak promet. V gozd prihajajo prazna vozila, iz gozda pa polna, zato je potrebno skrbeti, da je solidno utrjen tisti del razširjenega vozišča, po katerem vozijo polna vozila.

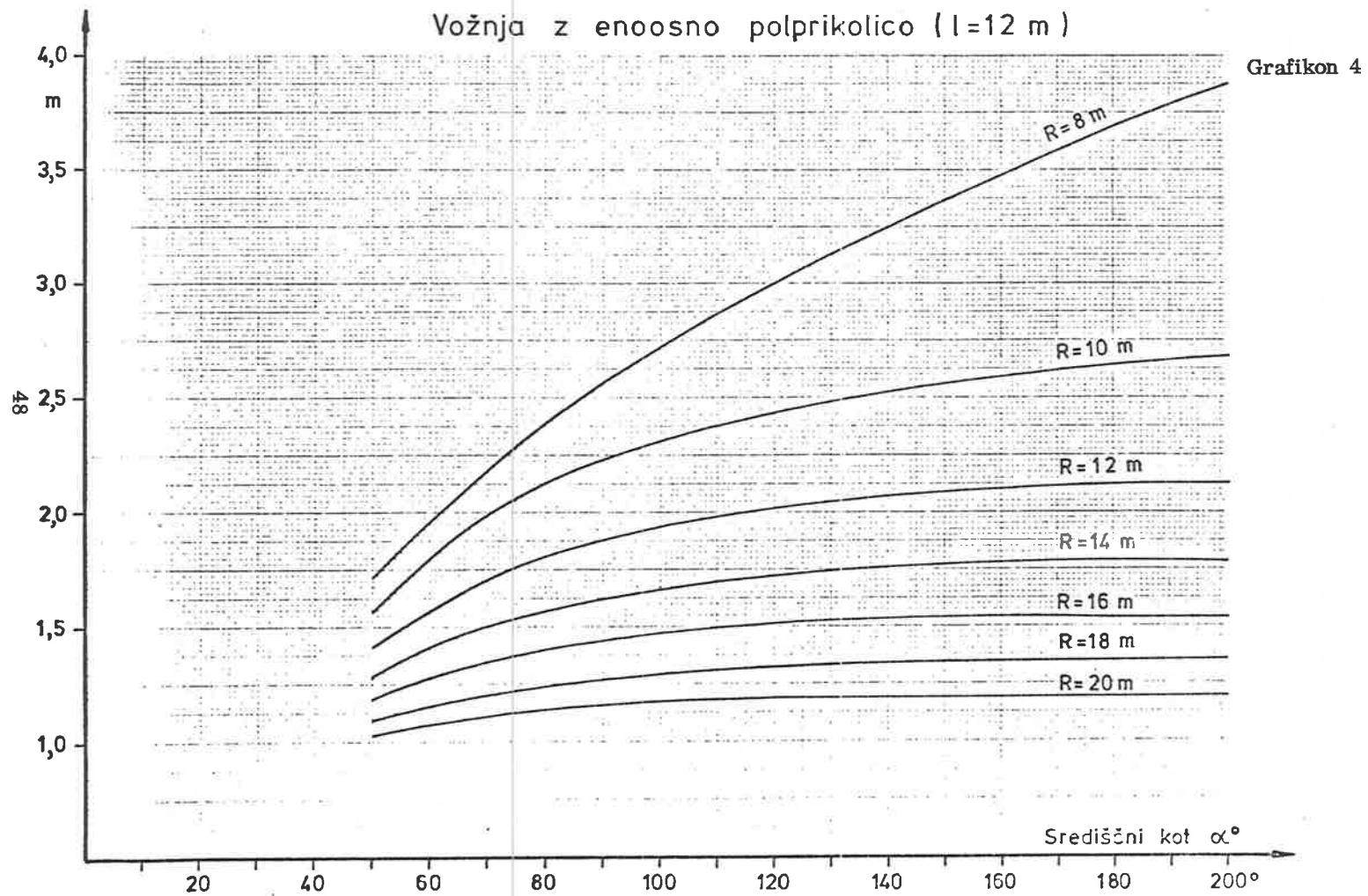
K teoretičnemu poteku razširitve smo potem prilagodili poenostavljeno obliko, ki naj bi služila pri praktičnem izvajanju gradbenih del na terenu. Ta tlorisna skica ima obliko trapeza in je simetrična. Koliko pred krivino bomo začeli z razširitvijo vozišča in na katerem mestu v krivini bo razširitev dosegla maksimalno vrednost, to je odvisno od velikosti radija in središčnega kota krivine. Odgovarjajoče podatke lahko razberemo na grafikonu štev. 5 in štev. 6. Razširitev moramo začeti tem preje, čim manjši je radij krivine in čim večji je središčni kot krivine. Točka maksimalne razširitve pa nastopi tem kasneje, čim večji je radij in čim večji je središčni kot. Z upoštevanjem do sedaj podanih ugotovitev ter z uporabo ustreznih grafikonov lahko pripravimo tlorisno shemo o potrebni razširitvi vozišča za poljubne primere.

V poglavju o prevozu z dvoosno polprikolico smo že omenili, da je dvoosna polprikolica glede razširitve vozišča mnogo bolj ugodna, saj zahteva za 10-25% manjšo razširitev kot enoosna polprikolica seveda pri enakih parametrih krivine in vozila.

Razširitev  
vozišča

# Razširitve vozišča glede na središčni kot in radij krivine

Vožnja z enoosno polprikolico ( $l=12$  m)

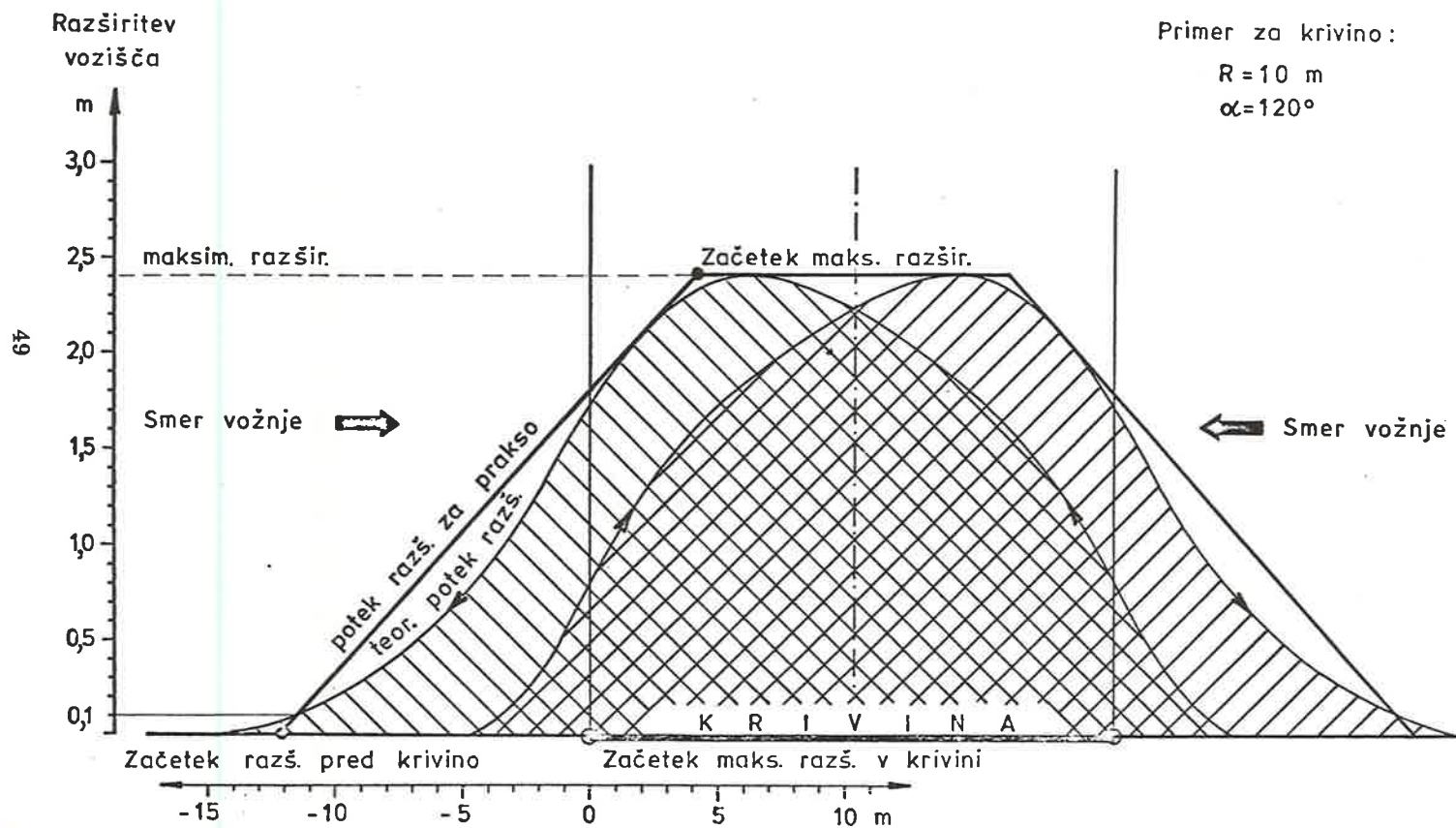




# Tlorisna shema razširitve vozišča v krivini

Vožnja z enosno polprikolico ( $l=12\text{m}$ )

Shema 6



#### 4.2.4.3. Razširitev vozišča za vožnjo s kamionsko prikolico

Na osnovi spodnje skice na shemi šte. 5 in dopoljenega obrazca šte. 10 smo sestavili spodnji obrazec za izračun razširitve vozišča za vožnjo s kamionsko prikolico:

$$p = R \sqrt{R^2 - b^2 + c^2 - z^2 - t^2} \quad \text{obr. 11}$$

Obrazec velja le za vožnjo v polnem krogu. Pri izračunu razširitve za kamionsko prikolico nastopa poleg dosedaj znanih parametrov še peti parameter in sicer medosna razdalja prikolice (oznaka "t"). Z večanjem vrednosti "t" se progresivno povečuje tudi razširitev.

Kamionska prikolica normalnih dimenzij zahteva za okoli 20% manjše razširitve kot pa enosna polprikolica pri prevozu 12 m dolgega lesa.

#### 4.2.4.4. Razširitve vozišča za vožnjo različnih vozil

Do sedaj smo obravnavali potrebne razširitve vozišča, ki jih zahtevajo posamezna vozila pri vožnji po krivinah različnih radijev. Za prakso je zelo koristen skupni prikaz razširitve, kar je podano na grafikonu šte. 7. Podatki so ločeno prikazani za vozila običajnih dimenzij in za vozila velikih dimenzij ter veljajo za vožnjo v krogu.

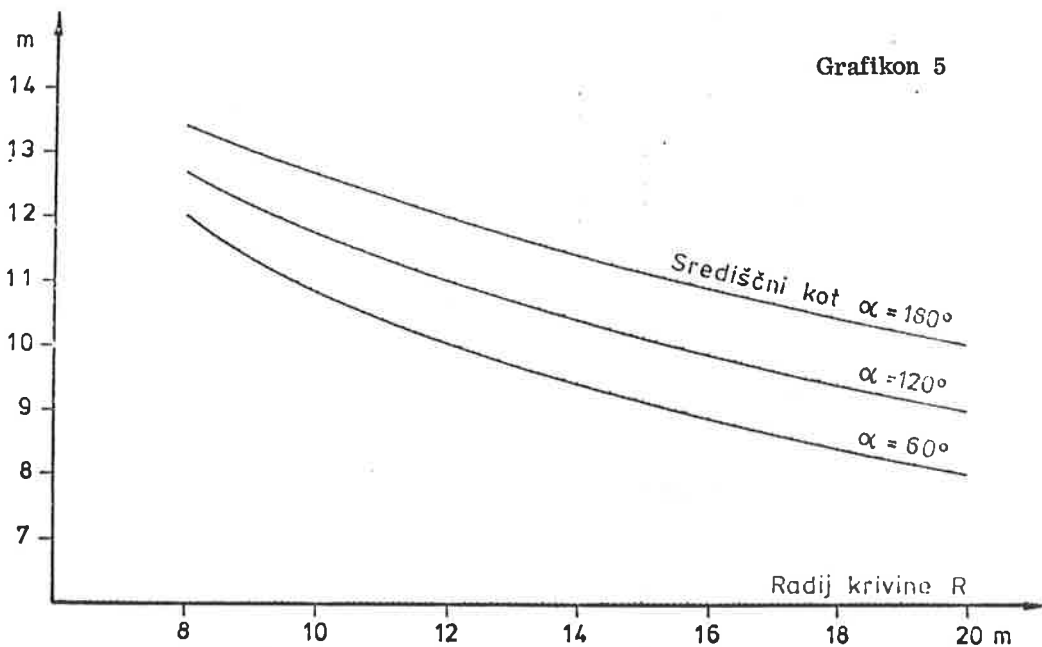
Razširitev vozišča za vozila velikih dimenzij bomo načrtovali le pri pomembnejših gozdnih cestah na katerih pričakujemo promet najtežnjih vozil in prevoz najdaljših sortimentov. Na običajnih gozdnih cestah bomo razširitve prilagodili vozilom običajnih dimenzij od katerih je odločujoče vozilo enosna kamionska polprikolica, prilagojena za prevoz 12 m dolgega lesa.

Pri obravnavanju razširitve vozišča v krivini je potrebno proučiti še vprašanje, kako na dejansko razširitev v krivini vpliva širina vozišča v premi. Čim širše je to vozišče,

Začetek razširitve vozišča glede na radij  
in središčni kot krivine

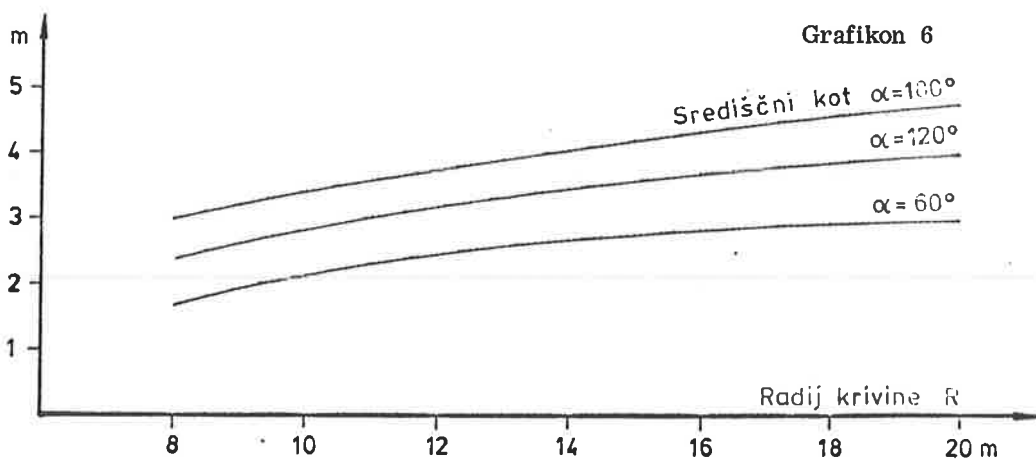
Vožnja z enoosno polprikolico ( $l=12\text{ m}$ )

Začetek razšir.  
pred krivino



Začetek maksimalne razširitve vozišča  
glede na radij in središčni kot krivine

Začetek maksim.  
razšir. v krivini



tem manj je potrebno dodatno razširjati v krivini, ker predpostavljamo, da po gozdni cesti vozila vozijo s prilagodljivo hitrostjo, kar pomeni, da voznik pri vožnji po ostrejši krivini zmanjša hitrost in zato vozilo bolje izkoristi celotno širino utrjenega vozišča. Dejansko potrebno razširitev izračunamo tako, da od širine, ki jo rabi vozilo z upoštevanjem razširitve in obojestranskih varnostnih pasov, odštejemo širino vozišča v premii. Omenjeni izračun bi se matematično glasil takole:

$$p_d = m + p + 2n_1 - B_o \quad \text{obr. 12}$$

Oznake pomenijo naslednje:

- $p_d$  - dejanska razširitev vozišča v krivini
- $m$  - razmak zunanjih robov platišča na zadnjih kolesih
- $p$  - izračunana razširitev vozišča v krivini
- $n_1$  - širina varnostnega pasu med zunanjih robom platišča in robom vozišča
- $B_o$  - širina vozišča v premii.

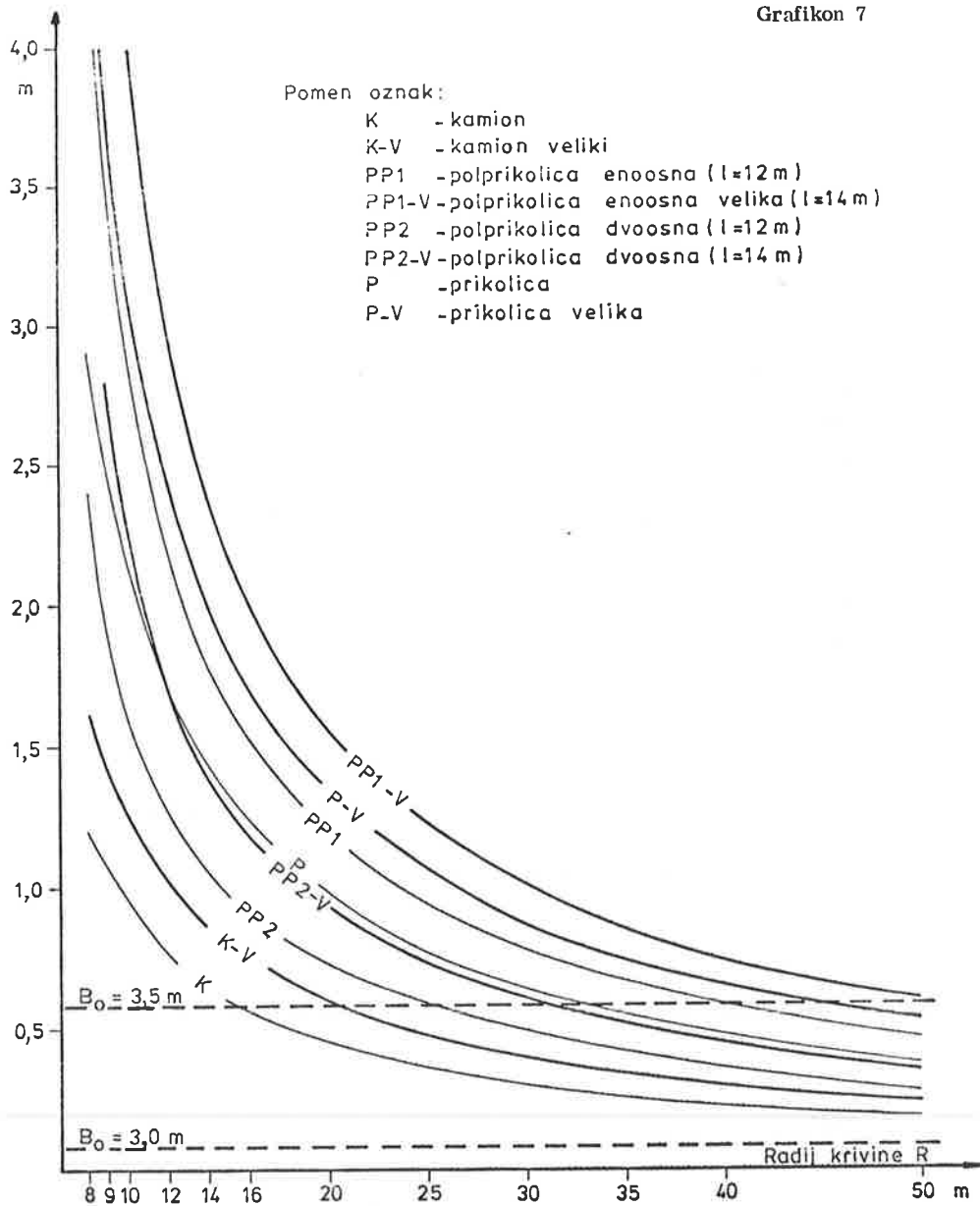
Pri naših izračunih smo upoštevali širino najširših vozil ( $m = 2,40$  m) in širino varnostnega pasu  $n_1 = 0,25$  m, kar zadoštuje za počasno vožnjo po gozdni cesti na stabilni podlagi. Navedene vrednosti smo upoštevali tudi na grafikonu števil. 7, zato smo zarisali dve vodoravni črti, ki predstavljata izhodišče ordinatni mreži za določanje dejansko potrebne razširitve krivin pri 3,0 m oziroma 3,5 m širokem vozišču v premii.

Iz poteka krivulj na istem grafikonu je mogoče ugotoviti do katere velikosti radijev je potrebno vozišče razširjati oziroma od katerega radija dalje razširitve niso več potrebne. Pri 3,5 m široki cesti (širina vozišča v premii) prilagojeni za prevoz 12 m dolgega lesa z enosno polprikolico je ta meja pri radiju 40 m. Pri 3,0 m široki cesti pa se ta meja pomakne celo do radija 100 m.

## Razširitve vozišča v krivinah za različne vrste vozil

Razširitev  
vozišča

Grafikon 7



## 5. DISKUSIJA

Predstava o težavah pri prevozu dolgega tovora nas navaja na domnevo, da prevoz dolgega lesa nujno in v vsakem primeru zahteva znatno večje radije krivin kot pa prevoz normalnega tovora. S podrobnejšo proučitvijo problema lahko ugotovimo, da težave pri prevozu dolgega lesa običajno ne nastopajo zaradi premajhnega radija krivine, ampak ker krivine sploh niso pravilno oblikovane.

Za slabo oblikovane krivine na terenu je več vzrokov. Potrebno je upoštevati, da so ostre in dolge krivine (zlasti serpentine) najbolj zahteven element ceste pri trasiranju, gradnji, za vzdrževanje in za vožnjo. Ne dovolj izkušenega traserja prav lahko na ostri krivini (ozir. na serpentine) prevara potek ničelnice glede na podolžni naklon ceste. V ostri krivini je os ceste mnogo krajša od ničelnice. Krajša pot pri isti višinski razliki pa pomeni večji podolžni naklon. Zato zelo pogosto najdemo v praksi primere, da je prav v ostri krivini ali na serpentine cesta bolj strma kot v premi, čeprav bi moralo biti ravno obratno. Če pa je traser sicer dobro zakoličil krivino, pa se neredkokdaj zgodi, da jo je nepravilno oblikoval izvajalec, to je strojnik na buldožerju. Pogosto se zgodi, da ima ostra krivina po izgradnji povsem drugačen videz in druge elemente, kot jih je načrtoval traser. Najpogostejše napake so naslednje:

- prevelik podolžni naklon,
- neenakomeren radij osi ceste,
- ~~nepravilno izvedena razširitev vozišča,~~
- nepravilno izvedena ali pa sploh ne izvedena razširitev svetlega profila ceste na zunanji strani krivine,
- nepravilni prečni naklon cestišča.

Zaradi navedenih napak, ki se prav lahko na isti krivini celo kopičijo, je vožnja zelo otežkočena že pri prevozu normalnega tovora, kaj šele pri prevozu dolgega lesa.

Naša proučevanja nam dokazujejo, da radij krivine ni edini element, ki ga moramo nujno povečati pri prevozu dolgega lesa, ampak obstajajo še druge možnosti in sicer dovolj velika in pravilno izvedena razširitev vozišča in povečan svetli profil ceste. Vse tri možnosti so si v medsebojni odvisnosti. Če povečujemo radij krivine, se zmanjšuje potreba po razširitvi vozišča in svetlega

profila ceste. Torej je oblikovanje krivine za prevoz dolgega lesa odvisno od pravilne odločitve projektanta in od usposobljenosti izvajalca. Projektant bo iskal glede na danosti, ki jih nudi teren in pomembnost ceste, optimalno razmerje med velikostjo radija krivine, širino vozišča in širino svetlega profila ceste. Razumljivo, da bo v ugodnih terenskih razmerah vedno načrtoval krivino z največjim možnim radijem, ker bo potek take ceste lepši, vožnja po njej bo hitrejša, bolj udobna in tudi varnejša. Kadar pa je zelo težak teren, kjer bi vsak meter povečanega radija krivine zahteval ogromne izkope v pobočje ali dolge nasipe, morda celo obsežne podporne in obložne zidove in v zvezi s temi gradbenimi deli še znatne stroške, tedaj bo v takem primeru mnogo bolj smotrno, če bo traser solidno zakoličil minimalni radij in pri tem predvidel maksimalne razširitve vozišča in potrebno razširitev svetlega profila ceste, izvajalec pa bo res strokovno izvedel gradbena dela po načrtu.

V konveksnih krivinah (okoli ostrih grebenov) pa razširjanje vozišča na notranjo stran zahteva dodatne izkope, zato bomo pri teh krivinah iskali rešitev v izboru tistih najugodnejših velikosti za radij in razširitev, pri katerih bo potreben najmanjši izkop.

Pri oblikovanju krivin je potrebno upoštevati še naslednje:

- a) obremenitev in pomen ceste
  - b) možnost kasnejših rekonstrukcij
  - c) ponašanje obrabne plasti vozišča.
- a) Kadar se ostra krivina nahaja na maloobremenjeni cesti in ni izgledov, da bo v bodoče močnejše obremenjena, tedaj je smotrno, da zgradimo krivino z minimalnimi parametri ( $R$ , razširitev vozišča). Pri polni vožnji bo vozilo nekoliko manj naloženo, lesni sortimenti bodo obrnjeni z debelejšim koncem naprej, zato bo polprikolica lahko krajša in bo zahtevala manjšo razširitev vozišča.
- b) Pri načrtovanju krivine je potrebno tudi upoštevati, ali je krivino kasneje mogoče brez večjih stroškov rekonstruirati ali ne. Kadar izvedba krivine zahteva določene objekte (podporne, obložne zidove ali podobne objekte), potem bi kasnejša rekonstrukcija zahtevala zelo velike stroške, zato je že v začetku potrebno zgraditi krivino z elementi, ki bodo zadovoljevali zahtevam bodočega prometa.

- c) Kadar po krivini vozijo različna vozila (osebni avtomobili in kamioni) in obrabna plast vozišča ni dovolj odporna proti tangencialnim obremenitvam, tedaj se dogaja naslednje: osebni avtomobili imajo manjši radij obračanja, zato vozijo po notranji strani krivine in ker vozijo hitreje, odmetavajo grobe delce obrabne plasti na zunanjo stran vozišča. Ta material, približno enake granulacije in med seboj popolnoma nepovezan, se kopiči v debelejši plasti na zunanjem robu vozišča. Vozniki težjih vozil se izogibajo vožnji po tem materialu, ker je vožnja po njem nevarna, saj pri zaviranju praktično ni nobene adhezije. Zato tudi težja vozila rinejo proti notranjosti krivine in ne izkoristijo krivine z večjim radijem.

Vraščanje, kako oblikovati krivine za prevoz dolgega lesa, se pogosto pojavlja pri rekonstrukcijah obstoječih ceste, ki so bile zgrajene pred desetletji za potrebe takratnega načina transporta lesa. Stare ceste so običajno, posebno v težkem terenu, zelo ozke, strme in z ostrimi krivinami. Pri rekonstrukciji take ceste mora biti pri vsaki krivini izpolnjena osnovna zahteva in sicer, radij krivine mora zadovoljiti minimalnim pogojem, ki jih zahteva vozilo, kateremu je cesta namenjena.

Prevoz dolgega lesa pa zahteva še dodatno povečanje dimenzij v krivini. Katere elemente v krivini bomo povečali in za koliko, na to vprašanje je mogoče podati pravilen odgovor šele na osnovi vsestranske proučitve specifičnosti, ki nastopajo pri rekonstrukciji posamezne krivine.

---

## 6. POVZETEK GLAVNIH UGOTOVITEV

Proučevanje krivin za prevoz dolgega lesa je pokazalo, da je oblikovanje krivin precej zahtevno opravilo, ki zahteva poglobljeno strokovno znanje in ne prenese šablonskega reševanja problemov, temveč od projektanta zahteva iskanje optimalne rešitve za vsak primer posebej z upoštevanjem dejanskih razmer na terenu.



Glavne ugotovitve obravnavane študije so naslednje:

- Pri prevozu lesa nastopajo trije osnovni elementi in sicer: les kot tovor, kamion (s polprikolico, s prikolico ali brez) kot vozilo in cesta kor prometnica. Vsi trije elementi so si v medsebojni odvisnosti.
- Dolžina lesnih sortimentov je odvisna od dimenzij debla, zahtev porabnika in od možnosti prevoza glede na stanje ceste in cestnoprometne predpise.
- Glede na cestnoprometne predpise je možno prevažati po javnih cestah naslednje največje dolžine lesa:

s kamionom (dvo ali triosnim)	8,1 - 9,3 m
s kamionsko polprikolico	12,8 - 13,6 m
s kamionsko prikolico	8,2 m

- Za oblikovanje krivin so od tehničnih podatkov vozila najpomembnejši naslednji podatki:
  - minimalni radij obračanja vozila
  - računsko medosna razdalja kamiona
  - odmik polprikolice od kamiona
  - razmak zadnjih zunanjih koles

Minimalni radij obračanja kamionov, namenjenih za prevoz lesa se giblje v mejah med 5,5 m do 8,6 m. Povprečni minimalni radij obračanja znaša pri dvoosnih kamionih 7,3 m in pri triosnih 6,7 m.

- Minimalni radij ostrih krivin (serpentin) v težkem terenu in za manj obremenjene ceste znaša 9 m, v ugodnih terenskih razmerah ter za močnejše obremenjene ceste pa 12 m. Po krivinah z radijem 9 m je možno voziti najdaljši les, ki ga dovoljujejo cestnoprometni predpisi, vendar s pogojem, da so ostali elementi krivine (razširitev vozišča in svetlega profila ceste, zmeren podolžni naklon) pravilno oblikovani.
- Povečanje radija zaradi možnosti prevoza daljših sortimentov ni smotno, kajti za vsak meter podaljšane tovora moramo povečati radij kar za 6 m. Prevoz dolgega lesa omogoča pravilno izvedena razširitev svetlega profila na zunanji strani krivine in pravilno izvedena razširitev vozišča na notranji strani krivine.

- Razširitev svetlega profila oaste je potrebna le na začetku krivine v smeri polne vožnje. Dolžina in širina razširjenega pasu je odvisna od dolžine tovora, vrste vozila, velikosti radija krivine in velikosti središčnega kota krivine.
- Razširitev vozišča je odvisna od dimenzij vozila (računska medosna razdalja, odmik polprikolice, način krmiljenja polprikolice), od središčnega kota krivine, od širine vozišča v premi, predvsem pa od velikosti radija krivine.
- Dvoosne polprikolice so glede razširitve vozišča mnogo bolj ugodne, saj zahtevajo za 10-25% manjšo razširitev kot enoosne polprikolice pri enakih parametrih krivine in vozil.
- Začetek ter sam potek razširjenega pasu vozišča je odvisen od velikosti radija in središčnega kota krivine ter od potrebne maksimalne razširitve. Začetni del razširitve je vedno pogojen z zahtevami vožnje vozila iz nasprotne smeri.
- Za oblikovanje krivin na običajni gozdni cesti glede na sedanji in predvideni prevoz lesa je potrebno upoštevati zahteve prevoza 12 m dolgih sortimentov z enoosno kamionsko polprikolico, ki predstavlja odločujoče in najbolj zahtevno vozilo.

## Ausformung der Strassenkurven zwecks Transportes von Langholz

### Z u s a m m e n f a s s u n g

Der Studium der Strassenkurven im Zusammenhang mit dem Transport von Langholz, zeigte dass die Kurvenausformung eine ziemlich anspruchsvolle Arbeit ist, die ein vertieftes Fachwissen verlangt und keine schablonenhaften Problemlösungen verträgt, sondern das Suchen der optimalen Lösung seitens des Projektanten erfordert, und zwar für jeden einzelnen Fall gesondert unter Beachtung der reellen Geländeverhältnisse.

Die vorliegende Studie bringt folgende hauptsächlichliche Feststellungen:

- Beim Holztransport treten drei Grundelemente hervor, und zwar:  
das Holz als Last, der Lastkraftwagen / mit Sattelanhänger, Anhänger oder ohne beide / als Fuhrwerk und die Strasse als Verkehrslinie.  
Alle drei Elemente stehen untereinander in Abhängigkeit.
- Die Länge der Holzsortimente hängt ab von den Stammdimensionen, den Forderungen des Verbrauchers und den Transportmöglichkeiten mit Bezug auf den Strassenzustand und die Strassenverkehrsvorschriften.
- Mit Bezug auf die Strassenverkehrsvorschriften können auf öffentlichen Strassen folgende Maximallängen des Holzes transportiert werden:

mit Lastwagen /zwei oder dreiachsig/	8,1 - 9,3 m
mit LKW - Sattelanhänger	12,8 - 13,6 m
mit LKW - Anhänger	8,2 m

Zur Kurvenausformung sind unter den technischen Daten am wichtigsten:

- der Minimalradius der Wageneinschwenkung,
- der rechnerische Achsenzwischenabstand des Lastwagens,
- der Abstand des Sattelanhängers vom Lastwagen,
- der Abstand der letzten rechtseitigen Aussenräder.

Der Minimalradius der scharfen Kurven /Serpentinen/ auf schwierigem Gelände und für weniger beanspruchte Strassen beträgt 9 m, in günstigen Geländebeziehungen und für stärker beanspruchte Strassen 12 m. Auf den Kurven mit dem Radius 9 m kann das längste den Strassenverkehrsvorschriften noch entsprechende Holz transportiert werden unter der Bedingung, dass die übrigen Kurvenelemente /erweiterte Fahrbahn und Lichtprofil der Strasse, mässige Längsneigung/ richtig geformt sind.

- Eine Radiusvergrößerung zwecks Ermöglichung des Transportes von längeren Sortimenten ist nicht zweckmässig, denn für jeden zusätzlichen Längenermeter muss der Radius um ganze 6 m vergrössert werden. Der Transport von Langholz wird durch eine richtig ausgeführte Ausweitung des Lichtprofils auf der Aussenseite der Kurve und durch eine richtig ausgeführte Ausweitung der Fahrbahn auf der inneren Seite der Kurve ermöglicht.
- Die Ausweitung des Strassenlichtprofils ist nur am Beginn der Kurve in Richtung der vollen Fahrt notwendig. Die Länge und Breite des erweiterten Bandes hängt ab von der Lastlänge, dem Wagentyp, dem Kurvenradius und der Grösse des Kurvenzentralwinkels.
- Die Ausweitung der Fahrbahn ist abhängig von den Fahrzeugdimensionen /rechnerischer Achsenzwischenabstand, Abstand des Sattelanhängers, die Lenkungsart des Sattelanhängers/, von dem Kurvenzentralwinkel, von der Breite der Strassenbahn, vor allem aber von dem Kurvenradius.
- Zweiachsige Sattelanhänger sind hinsichtlich der Fahrbahnausweitung viel günstiger, da sie eine um 10-25% geringere Ausweitung erfordern als einachsige Sattelanhänger bei gleichen Parametern der Kurve und der Fahrzeuge.
- Der Beginn und Verlauf des ausgeweiteten Bandes der Fahrbahn hängt ab vom Radius und dem Kurvenzentralwinkel sowie von der notwendigen maximalen Ausweitung. Der Anfangsteil der Ausweitung ist immer durch die Forderungen des in entgegengesetzter Richtung fahrenden Fahrzeuges bedingt.
- Bei der Kurvenausformung auf üblichen Waldstrassen mit Rücksicht auf gegenwärtigen und künftigen Holztransport sollen die Forderungen des transportes von 12 m langen Sortimenten mit einachsigem Lastwagenanhänger beachtet werden, weil dieser das entscheidende und anspruchsvollste Fahrzeug darstellt.

## LITERATURA

1. Blinov, O. : Otočnenie dorožno-stroiteljnih norm v svjazi s perevozkoj drevesini v hlistah, Referat na FAO simpoziju, Sopron, 1962
2. Dobre, A. : Nove naloge gozdnih prometnic, Sodobno kmetijstvo, 1974, št. 9
3. Gorbačevskij, V. : Automobilnij transport lesa, Moskva, 1973
4. Hafner, F. : Forstlicher Strassen-und Wegebau , Wien, 1971
5. Klemenčič, A. : Tlocrtni i visinski elementi serpentina, Ceste i mostovi, 1972, št. 5
6. Krivec, A. : Mehanizirano nakladanje pri prevozu lesa, Ljubljana, 1972
7. Kuvaldin, B. & Ionov, B. : Dorogi v leshozah, Moskva, 1967
8. Remic, C. : Stanje mehanizacije v izkoriščanju gozdov SR Slovenije koncem leta 1966 (1968, 1970, 1972, 1974) Ljubljana, 1967 (1969, 1971, 1973, 1975)
9. Skaar, R. : Sight lines, superelevation and curve radii of forest truck roads, Referat na FAO Simpoziju, Sopron, 1962
10. Schlaghamersky, A. : Bemerkungen zur Rationalisierung der Holzabfuhr, Forstarchiv, 1975, št. 5
11. Wolf, E. : Zur Optimierung der Transportlängen, Forstarchiv, 1974, št. 2
12. Zehnder, H. : Der Minimalradius und die Kurvenverbreiterung von Waldstrasse, Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 1960, št. 9-10
13. Žnidaršič, B. : Ceste, Ljubljana, 1961
14. - Smernice za sestavo investicijskih programov in glavnih projektov za gozdne ceste, Ljubljana, 1962.