

TRASEU ÎN PLAN AXA DRUMULUI

TRASEU ÎN PLAN – AXA DRUMULUI

	Pagina
TRASEU ÎN PLAN	1
Rezumat	4
Rază (sau grad) de curbura	6
Variații de viteză	10
Starea suprafeței de rulare	11
Răsturnare	15
Dever	16
Lățimea părții carosabile	17
Acostamente	18
Marginile drumului – Distanță de vizibilitate	19
Marginile drumului – Drum care iartă	20
Depășire	22
Semnalizare și alte dispozitive de avertizare	23
Combinații de caracteristici	24
BIBLIOGRAFIE	25
ANEXE	27
Anexa TP-1 Dinamica curbelor orizontale	28
Anexa TP-2 Geometria curbelor orizontale circulare	29
Anexa TP-3a Calculul variațiilor de viteză (LAMM și alții)	30
Anexa TP-3b Calculul variațiilor de viteză (Spania)	32
Anexa TP-4 Marginile drumului și vizibilitatea în curbă orizontală	33

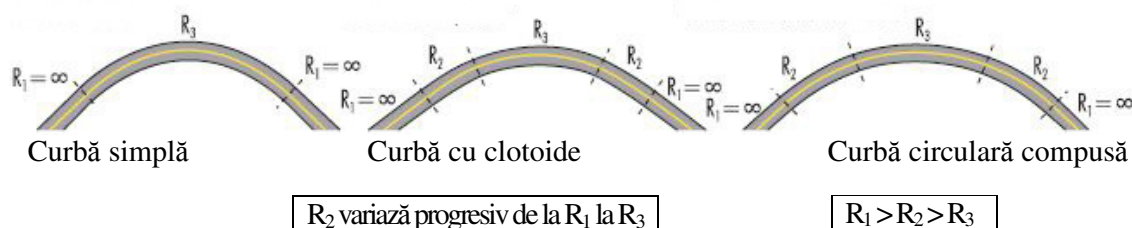
LISTA ABREVIERILOR

α	= înclinația deverului (°)
Δ	= unghiul de deviere (°)
$\Delta V_{85}, \Delta V_{99}$	= diferențele vitezelor practicate la procentul 85 și 99 (km/h)
A	= parametru de clotoidă (m)
CCR	= gradul de modificare a curburii (gon/km)
DC	= grad de curbură (°)
DL	= degajare laterală (m)
e	= dever
F_c	= forța centrifugă (N)
F_{cp}	= forța centrifugă paralelă la suprafața de rulare (N)
F_e	= forță ce poate fi atribuită deverului (N)
F_t	= forță de frecare transversală (N)
f	= coeficient de frecare
f_l	= coeficient de frecare longitudinal
f_r	= coeficient de frecare necesar
f_t	= coeficient de frecare transversal
f_{td}	= coeficient de frecare transversal de proiectare
h	= înălțimea centrului de greutate (m)
L_c	= lungimea curbei (m)
L_s	= distanță (pe clotoidă) (m)
L_t	= lungimea tangentei (m)
R	= raza de curbură (m)
R_{min}	= raza de curbură minimă (m)
S	= distanța de oprire (m)
t	= lățimea vehiculului (m)
TL_{min}	= lungimea tangentei necesară pentru a ajunge de la o viteză inițială (V_{C1}) la o viteză finală (V_{C2}) la o accelerație sau decelerație de a sau d
TL_{max}	= lungimea tangentei necesare pentru accelerarea de la o viteză inițială (V_{C1}) la o viteză dorită (V_{t85}) și pentru decelerarea la o viteză finală (V_{C2}) la accelerații și decelerații de a și d
v	= viteza (m/s)
V	= viteza (km/h)
V_{85}	= viteza practică (procentul 85) (km/h)
V_{99}	= viteza practică (procentul 99) (km/h)
V_{C1}	= viteza practică în curba 1 (km/h)
V_{C2}	= viteza practică în curba 2 (km/h)
V_r	= viteza de răsturnare (km/h)
V_{skid}	= viteza de derapare (km/h)
V_{t85}	= viteza dorită (km/h)
V_{tmax}	= viteza maximă atinsă dacă lungimea tangentei nu permite atingerea vitezei dorite
W	= greutatea vehiculului (N)

Principii de bază

Traseul în plan al unui drum se compune din linii drepte, curbe cu rază constantă și curbe de tranziție sau clotoide a căror rază se modifică în mod progresiv pentru a ușura tranziția între sectoare de drum adiacente cu raze de curbura diferite. Sunt posibile diferite combinații ale acestor trei componente de bază, iar în figura TP-1 se ilustrează trei tipuri frecvente: curbă simplă, curbă cu clotoidă și curbă compusă din mai multe raze descrescătoare.

Figura TP-1. Exemple – Tipuri de curbe orizontale



Accidente

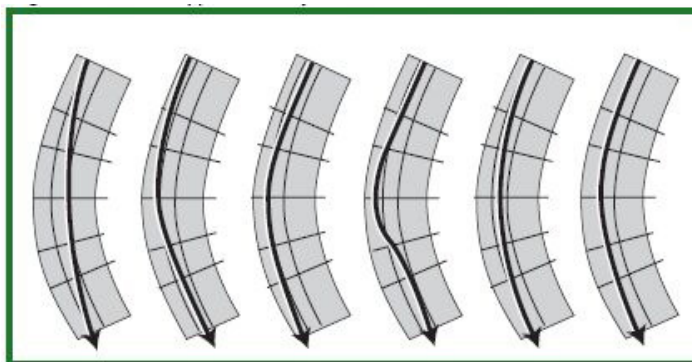
Au fost realizate numeroase studii cu scopul de a determina riscul asociat prezenței curbilor orizontale. S-au formulat următoarele constatări principale:

- proporția accidentelor este de 1,5 până la de 4 ori mai mare în curbe decât în aliniament (Zegeer și alții, 1992);
- gravitatea accidentelor în curbe este mare (Glennon și alții, 1986). În curbe se produc 25...30 % din accidentele mortale (Lamm și alții, 1999);
- pe drumurile secundare din mediul extraurban, care sunt proiectate după norme relativ puțin exigente, o proporție semnificativă din accidente se produce în curbe. În Franța, între 30 și 40 % din toate accidentele care survin pe drumurile naționale din mediul extraurban se produc în curbe, în timp ce proporția echivalentă se situează între 55 și 60 % pe drumurile secundare (SETRA, 1992);
- aproape 60 % din accidentele care se produc în curbe implică un singur vehicul care părăsește drumul (Lamm și alții, 1999);
- proporția accidentelor pe carosabil umed este ridicată în curbele orizontale;
- accidentele se produc mai ales la extremitățile curbilor. Council (1998) arată că în 62 % din accidentele mortale și 49 % din celelalte tipuri de accidente în curbă, prima manevră care stă la baza accidentului se produce fie la intrarea fie la ieșirea din curbă.

Cu cât mai mult trebuie diminuată viteza la apropierea unei curbe, cu atât este mai mare probabilitatea de eroare și de producere a unui accident (încălcarea benzilor, derapaj, ieșire de pe drum etc.). Fenomenul se amplifică și mai mult dacă reducerea vitezei este neprevăzută și bruscă (curbă strânsă izolată).

Spacek (2000) a identificat șase tipuri de traiectorii urmate de conducătorii auto în curbe (figura TP-2). Tipul „corectată”, care rezultă din subestimarea caracteristicilor curbei de către conducătorul auto, antrenează o diminuare a razei acoperite de vehicul, ceea ce duce la mărirea riscului de accident. Îmbunătățirile aduse vizibilității, lizibilității și semnalizării de avertizare sunt de natură să diminueze acest tip de probleme.

Figura TP-2. Șase tipuri de traiectorii în curbă



Sursa: Spacek, 2000

Observații

Această fișă tehnică tratează principalele caracteristici ale curbelor orizontale care trebuie verificate într-o analiză de siguranță:

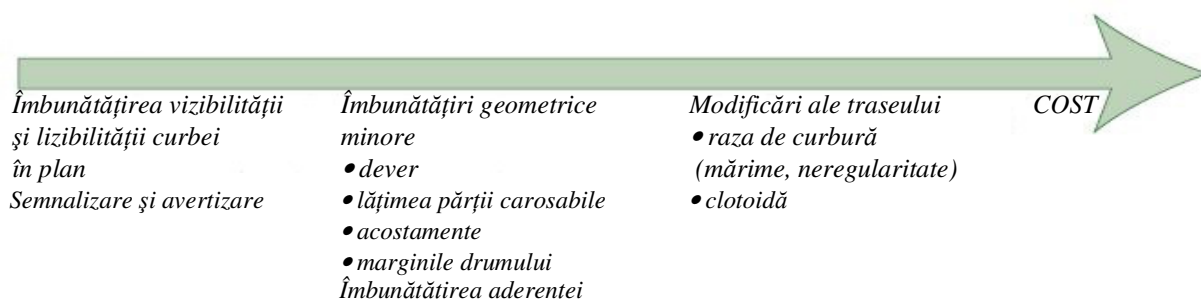
- *rază (sau grad) de curbură;*
- *variații de viteză;*
- *starea suprafeței de rulare;*
- *răsturnare;*
- *dever;*
- *lățimea drumului;*
- *marginile drumului – distanță de vizibilitate;*
- *marginile drumului – route care iartă;*
- *depășire;*
- *semnalizare și alte măsuri de avertizare;*
- *combinație de caracteristici;*
- *acostamente.*

Măsuri posibile

Mărirea razei de curbură este adesea soluția propusă pentru diminuarea numărului accidentelor în curbă orizontală. Este vorba totuși despre o intervenție al cărei cost poate fi foarte ridicat și trebuie deci verificată eficacitatea sa economică înainte de a se acționa.

Alte soluții posibile includ:

- îmbunătățiri ale măsurilor de avertizare, pentru a se preveni mai eficient conducătorii auto despre prezența curbei: o mai bună distanță de vizibilitate, mai bună lizibilitate a curbei, semnalizare, marcaje, delimitare;
- îmbunătățiri geometrice minore, incluzând modificări ale caracteristicilor acostamentelor și ale marginilor drumului, vizând o mai bună „iertare” a eventualelor erori ale conducătorilor auto.



Atenționare

Trebuie să fie foarte bine coordonate diferitele caracteristici ale infrastructurii rutiere cu impact asupra vitezei practice – traseu în plan, profil transversal, starea marginilor drumului, distanță de vizibilitate.

Îmbunătățirea unui element izolat (de ex. mărirea razei de curbură) fără modificarea altor elemente (profil transversal îngust, panta abruptă a taluzului, obstacole rigide pe marginile drumului) poate avea un impact negativ asupra siguranței. În plus, trebuie luate măsuri pentru ca îmbunătățirea unei curbe și mărirea consecutivă a vitezelor să nu provoace migrarea problemei către următoarea curbă strânsă.



Amplasarea periculoasă a unui stâlp în curbă orizontală.

Descriere

Un vehicul care circulă într-o curbă este împins către exteriorul drumului de efectul forței centrifuge. Frecarea transversală (între pneuri și suprafața de rulare) și deverul se opun acestei forțe (figura TP-3). Intensitatea forței centrifuge crește cu viteza, până când ajunge egală cu suma acestor două forțe opuse și apare deraparea:

$$F_c = F_e + F_t \quad [\text{Ec. TP-1}]$$

în care:

F_c = forța centrifugă

F_e = forța din dever

F_t = forța de frecare transversală

Totuși, unele vehicule cu un centru de greutate ridicat se pot răsturna înainte de a derapa (*răsturnare*).

Ecuția TP-1 poate fi transformată astfel încât să se obțină ecuația de bază utilizată pentru calculul razei de curbă minime (vezi *anexa TP-1*):

$$R_{\min} = \frac{V^2}{127(e + f_t)} \quad [\text{Ec. TP-2}]$$

în care:

$R_{\min}$ = rază de curbă minimă (m)

V = viteză (km/h)

e = deverul (m/m)

f_t = coeficient de frecare transversal

Figura TP-3. Sistem de forțe în curbă

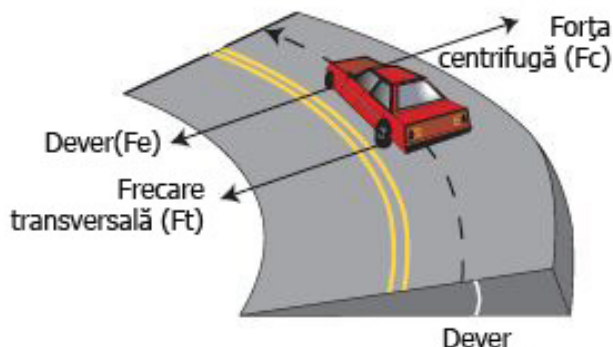
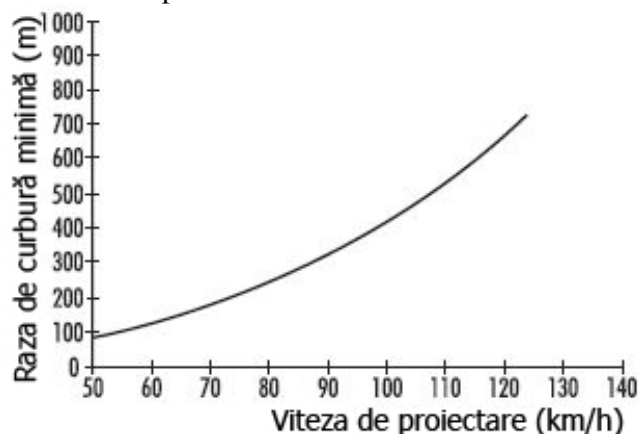


Figura TP-4. Raza de curbă minimă și viteza de proiectare



Sursa: Krammes și Garnham, 1995

Valorile minime ale razei de curbă utilizate în etapa de proiectare rutieră variază de la circa 100 m la o viteză de proiectare de 50 km/h până la aproximativ 500 m pentru 100 km/h (figura TP-4).

Astfel de raze sunt calculate plecând de la ecuația TP-2, utilizând coeficienți de frecare transversală reduși, ceea ce permite următoarele:

- luarea în considerare a condițiilor de conducere dificile dar nu excepționale (carosabil ud, pneuri uzate);
- limitarea creșterilor importante ale distanțelor de frânare în curbă;
- asigurarea confortului relativ al ocupanților.

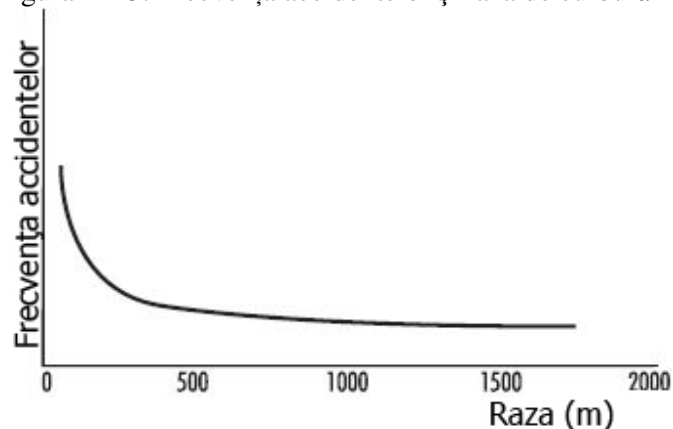
Programul de calcul „Curbă orizontală – Ecuații de bază” arată interacțiunile dintre diferiții termeni ai ecuației TP-2 (rază de curbă, viteză, frecare transversală, dever).

Siguranță

În mediul extraurban, frecvența accidentelor crește pe măsură ce raza de curbă scade. Relația între cei doi parametri are în general forma unei curbe convexe, așa cum se arată în figura TP-5. Creșterea numărului accidentelor devine semnificativă atunci când raza de curbă este sub 400 m.

Frecvența accidentelor în curbă nu este influențată doar de caracteristicile acesteia (rază, unghi de deviere, frecare, dever etc.) ci și de cele ale traseului în plan (lungimea aliniamentului înaintea curbei, sinuozitatea generală a drumului). Nu este deci neobișnuit faptul că două curbe similare pot avea bilanțuri diferite ale accidentelor, în funcție de contextul rutier.

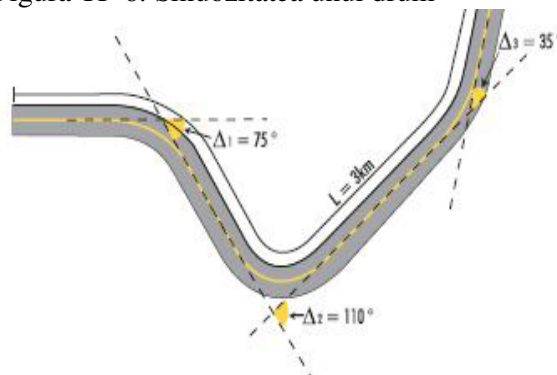
Figura TP-5. Frecvența accidentelor și raza de curbă



Sinuozitatea generală a unei curbe¹

Sinuozitatea generală a unui drum are o influență directă asupra nivelului de atenție al unui conducător auto și asupra așteptărilor acestuia în ceea ce privește traseul în plan ce urmează. O curbă strânsă este deci mai problematică pe un drum relativ drept decât pe un drum foarte sinuos. Figura TP-6 arată cum se calculează sinuozitatea.

Figura TP-6. Sinuozitatea unui drum



$$\text{Sinuozitatea} = \frac{75^\circ + 110^\circ + 35^\circ}{3\text{km}} = 73^\circ / \text{km}$$

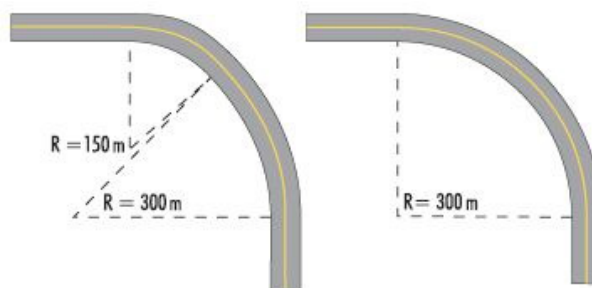
¹ Sinuozitate: suma schimbărilor de direcție (în grade) pe kilometru.
Nota 1: 1 gon = 0,9 °; vezi detalii în [anexa TP-2](#)

Rază de curbă neregulată

Modificările bruște ale razei unei curbe pot surprinde conducătorii auto și pot deci mări probabilitatea de eroare; trebuie deci ca acestea să fie evitate. Riscul este mai mare dacă o curbă cu rază mică urmează uneia cu rază mai mare. După Yerpez și Fernandez (1986), o reducere cu 50 % a razei de curbă pe o distanță de peste 30 m mărește frecvența accidentelor. O curbă cu rază neregulată poate fi în mod normal modificată pentru a se obține o rază circulară uniformă, o clotoidă sau o combinație a celor două, fără a fi necesar să se încarce prea mult traseul în plan al drumului (figura TP-7).

Figura TP-7. Rază de curbă neregulată

Necorespunzătoare Bună



Cură în spirală (clotoidă)

Curbele în spirală (numite de asemenea curbe de tranziție sau clotoide), constituie al treilea element al unui traseu în plan, pe lângă tangente și curbe circulare. După Lamm și alții (1999), principalele avantaje ale curbelor în spirală sunt următoarele:

- îmbunătățesc confortul conducerii auto permițând creșterea și diminuarea naturală a forței centrifuge care acționează asupra unui vehicul la intrarea și la ieșirea dintr-o curbă circulară;
- minimizează încălările benzilor de circulație și mărește uniformitatea vitezei;
- ușurează scurgerea apei în zona de schimbare a deverului;
- îmbunătățește confortul optic la intrarea și ieșirea din curbe prin eliminarea frânturilor vizibile ale traseului;
- facilitează introducerea supralărgirii părții carosabile în curbele circulare (atunci când este necesar).

Următoarea ecuație se folosește pentru calculul traseului unei curbe în spirală:

$$R = \frac{A^2}{L_s} \quad [\text{Ec. TP-3}]$$

unde:

- R = raza de curbură (la distanța L) (m)
A = parametrul curbei progresive (m)
L_s = distanța parcursă de la punctul de origine al curbei (m)

Figura TP-8 arată rezultatul obținut pentru valori ale lui „A” între 150 și 300 m.

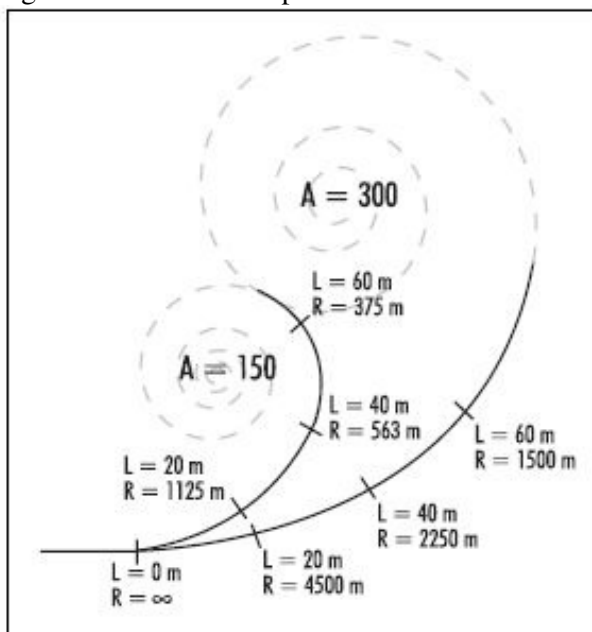
Trebuie evitate curbele în spirală foarte lungi care dăunează percepției vizuale a curbei și pot contribui la problemele ridicate de drenare.

După Council (1998), o curbă în spirală reduce proporția accidentelor cu 8...25 % pe drumurile cu caracteristici geometrice ridicate, în timp ce avantajele referitoare la siguranță sunt mai puțin evidente pe drumurile secundare.

Diferite studii prezintă totuși rezultate contradictorii în ceea ce privește efectul clotoidelor asupra siguranței, ceea ce l-a făcut pe Lamm și alții (1999) să formuleze următoarele concluzii:

„În general, în ceea ce privește efectele asupra siguranței rutiere, atunci când se studiază un proiect de drum, nu trebuie pus accentul pe curbele în spirală, așa cum s-a procedat în numeroase țări. Desigur nu este vorba nici de a ignora importanța curbelor acestora asupra altor aspecte...”

Figura TP-8. Curbe în spirală



Cum se identifică problemele (rază de curbură)

Accidente:

- ieșiri de pe drum, coliziuni frontale, accidente pe carosabil umed.

Circulație:

- încălcarea benzii, frânări tardive, viteze excesive, urme de derapare.

Cum se identifică problemele (urmare)

Caracteristici ale drumului:

- verificarea conformității cu normele (rază de curbura minimă);
- verificarea coerenței razei de curbura cu mediul rutier (la amplasament);
- verificarea coerenței razei de curbura în lungul drumului (sinuozitate generală a drumului înaintea curbei).

Măsuri posibile

Vezi: *Traseu în plan – rezumat – măsuri posibile*

Tabelul TP-1 prezintă reducerile numărului de accidente asociate cu o reducere a razei de curbura, așa cum au fost ele determinate pe baza unei analize a datelor culese în amplasamentul a 10 900 curbe în Statele Unite (Zegger și alții, 1990).

Tabelul TP-1. Reducerea accidentelor (%) legată de o reducere a gradului de curbura

UNGHII DE DEVIERE											
GRAD DE CURBURĂ		10°		20°		30°		40°		50°	
		IZOLAT ²		IZOLAT		IZOLAT		IZOLAT		IZOLAT	
Vechi	Nou	Nu	Da	Nu	Da	Nu	Da	Nu	Da	Nu	Da
30	25	16	17	16	17	16	17	15	16	15	16
30	20	33	33	32	33	31	33	31	33	30	33
30	15	49	50	48	50	47	50	46	50	46	50
30	12	59	60	57	60	56	60	55	60	55	60
30	10	65	67	64	66	63	66	62	66	61	66
30	8	72	73	70	73	69	73	68	73	68	73
30	5	82	83	80	83	79	83	78	83	78	83
25	20	19	20	19	20	18	20	18	20	17	20
25	15	39	40	38	40	36	40	36	40	35	40
25	12	50	52	49	52	48	52	46	52	46	51
25	10	58	60	56	60	55	60	54	59	53	59
25	8	66	68	64	68	62	68	61	67	60	67
25	5	77	80	75	80	74	79	72	79	72	79
20	15	24	25	23	25	22	25	21	25	20	24
20	12	38	40	36	40	35	40	34	39	33	39
20	10	48	50	45	50	44	49	42	49	41	49
20	8	57	60	54	60	52	59	51	59	50	59
20	5	71	75	68	74	66	74	64	74	64	74
15	10	30	33	23	33	26	33	25	32	24	32
15	8	43	46	40	46	37	46	35	45	34	45
15	5	61	66	56	66	53	65	51	65	50	65
15	33	73	79	68	79	64	78	63	78	63	78
10	5	41	49	36	48	32	48	29	47	28	47
10	3	58	69	50	68	45	67	43	66	42	66
5	3	22	37	15	35	13	33	11	32	11	31

Sursa: Zegeer și alții, 1990.

¹ Definiția gradului de curbura și a unghiului de deflexiune în anexa TP-2.

² Curbă izolată: aliniament drept pe cel puțin 200 m înainte și după curbă.

Descriere

Alegerea vitezelor practicate depinde de mai mulți factori legați de conducătorii auto, de drum și marginile acestuia, de condițiile de trafic, de vehicule și de condițiile atmosferice. La nivelul mediului rutier, traseul în plan este fără îndoială cel mai important factor care influențează această alegere.

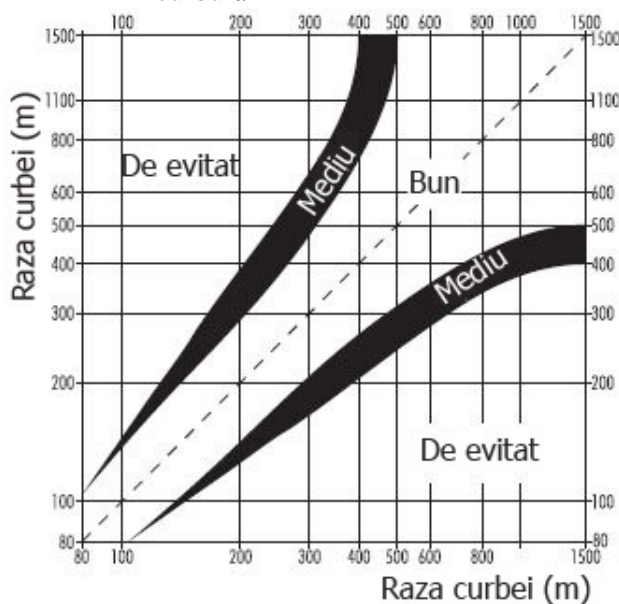
Variațiile de viteză de-a lungul unui drum au un impact direct asupra siguranței; cu cât sunt mai importante și mai neașteptate, cu atât mai mare este probabilitatea producerii unor accidente. Acest lucru este dovedit mai ales pe drumurile cu standarde geometrice înalte, unde conducătorii auto se așteaptă să poată circula cu viteze relativ mari și constante. Nerespectarea acestor așteptări poate surprinde conducătorii auto și poate duce la comiterea unor erori.

La începutul anilor șaptezeci, cercetătorii germani au început dezvoltarea unor reguli care vizează asistarea proiectanților de drumuri în alegerea trasee în plan care să poată reduce variațiile vitezelor practicate de-a lungul unui drum. Abacele care au fost realizate arată nivelul calității proiectării diferitelor valori de rază de curbura (figura TP-9). Metoda, numită proiectare prin relaționare, reprezintă o îmbunătățire majoră față de metodele tradiționale, mai statice care se bazau doar pe verificarea conformității unei raze cu valorile minime stabilite.

Regulile de proiectare prin relaționare se pot exprima de asemenea ca variații de viteză. Astfel, Lamm și alții (1999) recomandă evaluarea calității proiectării unui drum prin compararea procentelor 85 de viteză ale autoturismelor (V_{85}) între două sectoare de drum succesive. Se consideră că drumul este bine proiectat dacă această diferență este sub 10 km/h, acceptabil între 10 și 20 km/h și deficitar dacă diferența este de peste 20 km/h. Spania utilizează criterii asemănătoare dar bazate pe procentul 99 de viteză (V_{99}) (tabelul TP-2).

Aceste variații pot fi măsurate la fața locului și pot fi de asemenea estimate cu ajutorul unor ecuații de regresie a vitezei și unor ipoteze ale accelerațiilor și decelerațiilor a vehiculelor. Programul de calcul „variați de viteză” efectuează acest calcul plecând de la metodologia descrisă în Lamm și alții (1999), permițând o mai mare flexibilitate în ceea ce privește valorile parametrilor de calcul. Procedura este descrisă în detaliu în *anexa TP-3*.

Figura TP-9. Calitatea unei combinații a razelor de curbura

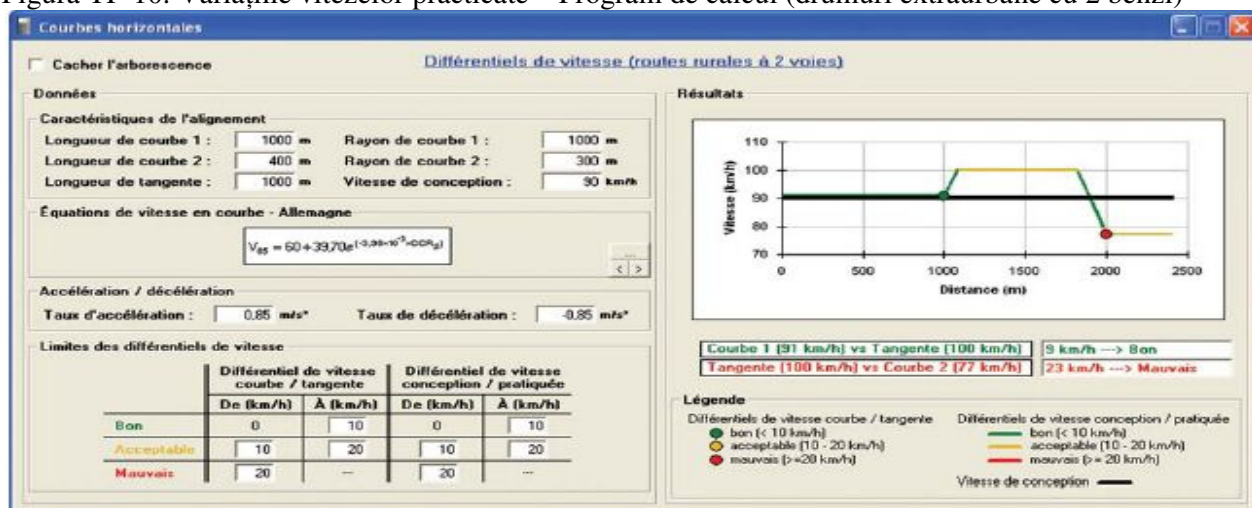


Tabelul TP-2. Calitatea proiectării – Variații de viteză

LAMM ȘI ALȚII, 1999		SPANIA	
DIFERENȚIAL DE VITEZĂ ΔV_{85} (km/h)	CALITATE PROIECT	VARIAȚIE DE VITEZĂ ΔV_{99} (km/h)	CALITATE PROIECT
< 10	Bună	< 15	Bună
10 – 20	Acceptabilă	15 – 30	Destul de bună
> 20	Proastă	30 – 45	Proastă
		> 45	Periculoasă

Sursa: Lamm și alții în Highway design and traffic safety engineering handbook. Copyright 1999, McGraw-Hill Companies, Inc.

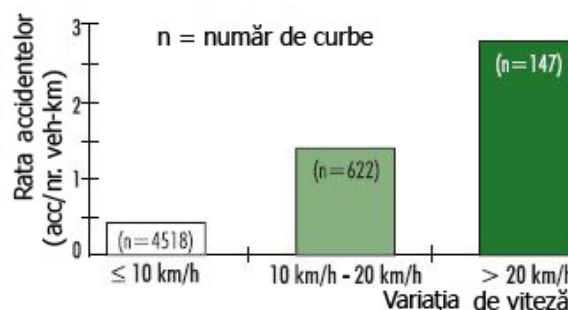
Figura TP-10. Variațiile vitezelor practicate – Program de calcul (drumuri extraurbane cu 2 benzi)



Siguranța

Efectul variațiilor vitezelor practicate (V_{85}) asupra accidentelor a fost studiat de Anderson și alții (1999), pe baza datelor culese în 5 287 curbe. Autorii au concluzionat că proporția accidentelor în curbe cu o variație de viteză de peste 20 km/h este de două ori mai mare decât în cele în care această variație este cuprinsă între 10 km/h și 20 km/h și de șase ori mai mare decât în cele în care este sub 10 km/h (figura TP-11).

Figura TP-11. Proporția accidentelor și variațiile vitezelor



Sursa: Anderson și alții, 1999

Cum se identifică problemele

Accidente:

- ieșiri de pe drum, coliziuni frontale, accidente pe carosabil ud.

Circulație:

- reduceri importante ale vitezei în apropierea curbei, viteze excesive, frânări tardive, urme de frânare, încălcări ale benzii de circulație;
- variații de viteze practicate (*Anexa TP-3*).

Măsurile posibile

Vezi: *Traseu în plan – rezumat – măsuri posibile*

STAREA SUPRAFEȚEI DE RULARE

Descriere

Coeficientul de frecare transversal are o influență predominantă asupra vitezei maxime în curbă. De exemplu, pentru o curbă cu raza de 300 m, cu un dever de 0,06 și un coeficient de frecare transversal (f_t) de 0,30, viteza maximă (teoretică) este de 108 km/h; ea atinge 148 km/h dacă f_t crește la 0,80. Valorile coeficientului de frecare transversal utilizate în proiectarea rutieră (f_{td}) sunt în mod normal mult inferioare valorilor de frecare disponibile pe drum (f_f) (f_{td} are o variație tipică între 0,08 și 0,016, în funcție de viteza de proiectare).

Așa cum s-a menționat mai sus, alegerea acestor valori se bazează pe următoarele obiective:

- oferirea unei marje de siguranță pentru conducerea pe timp nefavorabil;
- evitarea unei creșteri excesive a distanțelor de frânare în curbe (figura TP-12);
- oferirea unui confort corespunzător ocupanților vehiculului.

Astfel, în condiții favorabile, curbele pot fi negociate la viteze mai ridicate decât viteza de proiectare a drumului. Înțelegând acest lucru, unii conducători auto își fac obiceiul de a circula cu viteze relativ mari, diminuându-și astfel marja de siguranță. Este vorba despre un obicei de a conduce ce se poate dovedi problematic dacă aderența la suprafața de rulare este deficitară într-o anumită curbă sau dacă conducătorul auto nu reduce suficient viteza (este adesea dificil pentru un conducător auto să detecteze lacunele de aderență). Atunci când frecarea disponibilă în curbă devine inferioară frecării necesare în funcție de viteza adoptată de conducătorul auto, apare pierderea controlului mașinii. Frecarea necesară (f_r) se calculează cu ajutorul ecuației următoare:

$$f_r = \frac{V_{85}^2}{127R} - e \quad [\text{Ec. TP-5}]$$

unde:

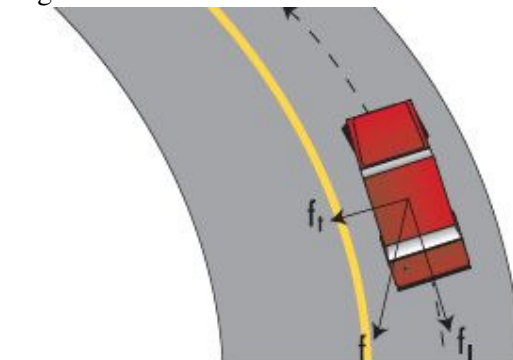
- R = raza de curbura (m)
 V_{85} = viteză (km/h)
 E = deverul (m/m)
 f_r = frecarea necesară la viteza V_{85}

Lamm și alții (1999) recomandă evaluarea calității traseului în plan prin compararea valorilor coeficientului de frecare transversală de proiectare (f_{td}) și a coeficientului de frecare necesară (f_r) (tabelul TP-3).

Unele țări recomandă utilizarea unor praguri de frecare minimă mai ridicate în curbele orizontale. În Marea Britanie de exemplu, pe sectoarele „ușoare” de drum cu benzi alăturate, pragul de aderență minim este de 0,40, dar crește la 0,60 în curbele orizontale periculoase¹.

O combinație cu alte degradări ale suprafeței de rulare (*făgașe* sau defecte grave de planeitate) poate agrava situația.

Figura TP-12. Frecarea în curbă orizontală



$$f^2 = f_l^2 + f_t^2 \quad [\text{Ec. TP-4}]$$

cu:

- f = coeficient de frecare totală
 f_l = coeficient de frecare longitudinală
 f_t = coeficient de frecare transversală

¹ În timpul unei manevre de frânare în curbă, frecarea totală disponibilă este repartizată între componenta longitudinală (f_l), necesară frânării și componenta transversală (f_t) necesară schimbării de direcție. Pentru a nu spori în mod excesiv distanțele de frânare, valorile lui f_{td} nu trebuie să depășească 40...50 % din coeficientul de frecare total ce poate fi considerat în condiții defavorabile. Se conservă astfel 90 % din frecarea totală pentru manevrele de frânare. (*Condiții de suprafață – Frecare*).

Tabelul TP-3. Calitatea proiectării. Variații ale frecării	
VARIAȚII ALE FRECĂRII	CALITATEA PROIECTĂRII
$f_{td} - f_r \geq 0,01$	Bună
$-0,04 \leq f_{td} - f_r \leq \pm 0,01$	Acceptabilă
$f_{td} - f_r < -0,04$	Proastă

f_{td} : valoarea coeficientului de frecare utilizată în proiectare
 f_r : frecarea necesară (în funcție de viteza practică)

Sursa: Lamm și alții în Highway design and traffic safety engineering handbook. Copyright 1999, McGraw-Hill Companies, Inc.

¹ curbă cu rază sub 100 m și cu viteză peste 64 km/h (40 mph).

Siguranță

Prezența apei între pneu și suprafața de rulare diminuează aderența suprafeței, ceea ce explică faptul că locațiile care au coeficienți de frecare reduși pot prezenta concentrații ale accidentelor ridicate pe carosabil umed. Deoarece aderența necesară este mai ridicată în curbă decât pe aliniament, problema este mai acută în aceste locații. Astfel, Page și Butas (1986) arată că proporția accidentelor pe carosabil umed este mai ridicată în curbe decât în aliniament, mai ales când coeficientul de frecare este scăzut (starea suprafeței de rulare).

Cum se identifică problemele (suprafață de rulare)

Accidente:

- accidente pe carosabil ud.

Circulație:

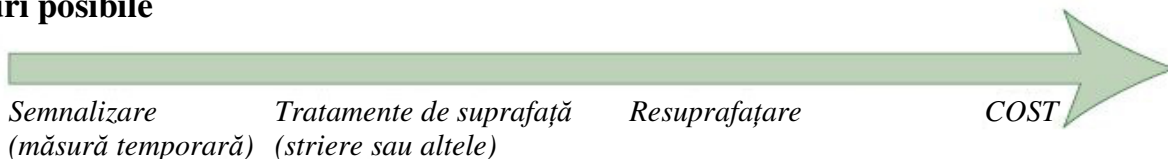
- derapaje, urme de frânare, încălcări ale benzilor de circulație, manevre de evitare ce pot fi atribuite defectelor de planeitate.

Caracteristici ale drumului

Se verifică:

- aderența suprafeței (șlefuire, exsudare, contaminare);
 - la nevoie se realizează *teste de frecare* instrumentate;
 - se calculează f_r și se compară cu f_{ld} ;
- planeitatea suprafeței (văluriri, gropi, făgașe etc.);
- prezența acumulărilor de apă și deșeurilor pe îmbrăcămintă.

Măsuri posibile



Derapaj

Derapajul survine când forța centrifugă devine superioară rezistenței oferite de frecarea transversală (f_t) și dever (e). Conducătorul auto pierde atunci controlul vehiculului, care alunecă spre exteriorul curbei (chiar dacă, până la urmă, se oprește în partea interioară a curbei).

Viteza de derapaj depinde de mai mulți factori, dintre care: caracteristicile vehiculelor, manevrele efectuate de către conducătorii auto și starea suprafeței de rulare. Pentru a calcula această viteză cu precizie, trebuie efectuate imediat teste de frecare instrumentate și trebuie ajustate rezultatele astfel încât să se ia în considerare diferențele dintre condițiile de testare și cele care predomină în timpul evenimentului studiat. Acest tip de analiză se efectuează mai ales la reconstituirea accidentelor (*starea îmbrăcămintei – Factori de ajustare*).

Viteza la care poate surveni o derapare trebuie să fie întotdeauna mult superioară limitei de viteză afișate. În caz contrar, trebuie prevăzute măsuri de avertizare adaptate situației care să fie implantate suficient de în amonte de curbă pentru ca șoferii să aibă timp să se pregătească în mod corespunzător.

$$V_{\text{skid}} = \sqrt{127R(e + f_t)} \quad [\text{Ec. TP-6}]$$

unde:

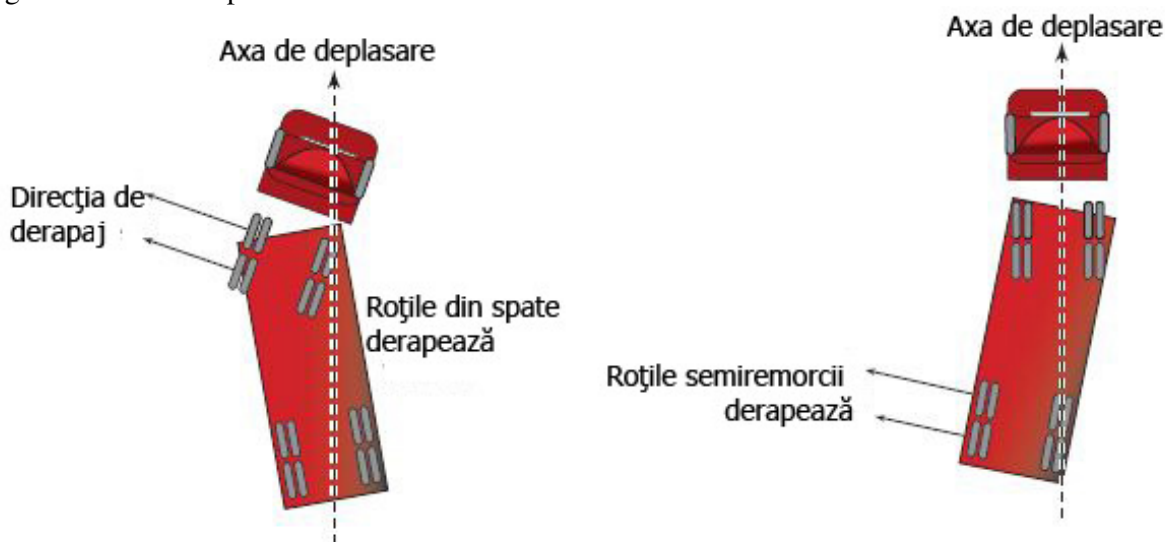
V_{skid} = viteza de derapaj (km/h)
 R = raza de curbura (m)
 e = deverul (m/m)
 f_t = coeficientul de frecare transversală disponibil

Plierea autotrenului

Din diferite motive, limita de derapaj nu este în mod obligatoriu atinsă în același timp pe toate roțile unui vehicul. Poate fi vorba despre diferențe între: sarcinile pe fiecare roată, forțele de frânare aplicate pe roți, caracteristicile pneurilor unui vehicul, caracteristicile suprafeței de rulare etc.

Dacă vehiculul are o configurație rigidă (de ex. camion), frecarea se poate atunci dezvolta la roți care nu au atins încă limita de derapaj. În cazul unui vehicul articulat (semiremorcă, remorcă, autotren), deraparea unor roți poate antrena rotația elementelor rigide și modifica complet configurația vehiculelor. Un exemplu frecvent este cel al unui tractor semiremorcă ale cărui roți spate la tractor sau la semiremorcă derapează, provocând astfel rotația celor două părți rigide ale vehiculului în jurul pivotului de legătură (figura TP-13). Aceasta se numește plierea autotrenului, situație mai susceptibilă de a surveni pe carosabil umed și la manevrele de frânare. Atunci când vehiculele semiremorcă reprezintă o proporție importantă din trafic, problemele de pliere a autotrenului pot surveni înaintea celor de derapaj.

Figura TP-13. Exemple – Plierea autotrenului



RĂSTURNARE

Descriere

Când coeficientul de frecare este ridicat, anumite vehicule grele înguste și înalte se pot răsturna înainte de a începe să derapeze. Pragul de răsturnare al unui vehicul (SR)² sau factorul de stabilitate statică depinde într-adevăr de lățimea vehiculului (ecartamentul roților) și de înălțimea centrului de greutate.

$$SR = t/2h \quad [\text{Ec. TP-7}]$$

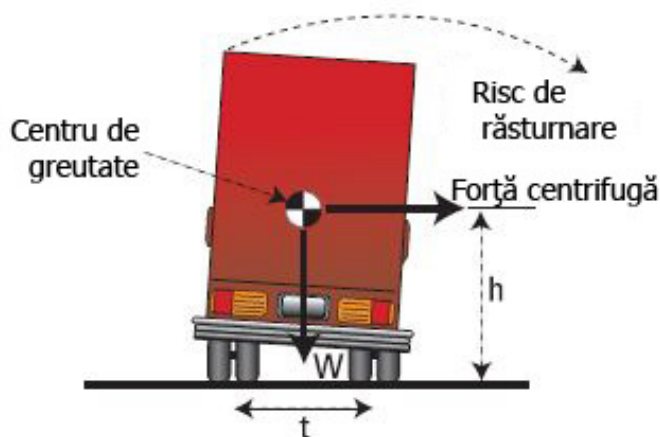
unde:

SR = prag de răsturnare

t = ecartamentul vehiculului (m)

h = înălțimea centrului de greutate (m)

Figura TP-14. Răsturnare



Dacă valoarea lui SR este mai ridicată decât coeficientul de frecare transversal ce poate fi mobilizat într-o curbă (f_t), răsturnarea va surveni înaintea derapării (și invers). Riscul de răsturnare este în general scăzut pentru autoturisme căci valorile lor SR sunt relativ ridicate (variind în mod tipic de la 1 la 1,5 g). Totuși, pentru unele vehicule grele, acest prag poate fi de asemenea scăzut la 0,3 g sau 0,4 g și deci riscul lor de răsturnare este mult mai ridicat.

Ecuția de calcul al vitezei de răsturnare în curbă este similară cu cea de calcul al vitezei de derapaj, în afară de cazul în care se înlocuiește coeficientul de frecare transversal disponibil (f_t) cu pragul de răsturnare ($t/2h$):

$$V_r = \sqrt{127R(e + \frac{t}{2h})} \quad [\text{Ec. TP-8}]$$

unde:

V_r = viteza de răsturnare (km/h)

R = raza de curbă (m)

e = deverul (m/m)

Cum de identifică problemele

Accidente:

- răsturnări de camioane.

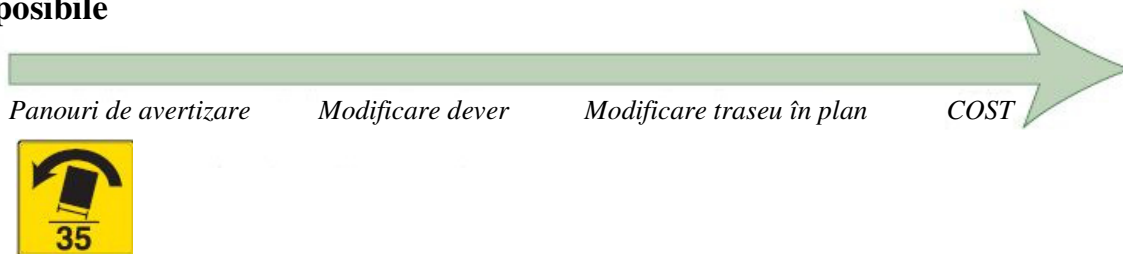
Circulație:

- viteze practicate;
- se calculează viteza de răsturnare și se compară cu viteza practică.



Răsturnarea unui vehicul greu într-o curbă strânsă pe un drum extraurban

Măsuri posibile



² Acest prag corespunde limitei inferioare a accelerației centrifuge (exprimată în „g”), suficientă pentru a cauza răsturnarea unui vehicul.

Descriere

Deverul corespunde înclinăției profilului transversal al drumului către partea interioară a unei curbe (figura TP-15). Acesta diminuează ușor aderența necesară pentru a contracara forța centrifugă și contribuie la confortul ocupanților. Viteza maximă la care un vehicul poate circula într-o curbă crește cu deverul (tabelul TP-4).

Dacă deverul este excesiv și aderența este foarte redusă (de ex. suprafață cu polei), anumite vehicule lente sau imobilizate pot aluneca către interiorul curbei. Valorile recomandate pentru dever sunt de 5 % la 8 %.

Trebuie să se prevadă o zonă de tranziție între aliniament și curbă pentru amorsarea gradată a deverului. Într-o parte a acestei zone, secțiunea transversală a drumului se aplatizează pe partea exterioară, ceea ce poate duce la acumularea apei și poate cauza probleme de derapaj (figura TP-16). În consecință, trebuie să se asigure completarea acestei zone înainte de inițierea curbei, având grijă în același timp de calitatea drenării în locul respectiv.

Raza de curbură maximă la care un dever este considerat necesar variază considerabil de la o țară la alta; de exemplu, este de 900 m în Franța pe drumurile cu standarde geometrice înalte, și 5 000 m în Spania pentru același tip de drum.

Siguranța

După Dunlap și alții (1978), numărul de accidente pe carosabil umed este anormal de ridicat în curbele cu un dever sub 2 %.

După Zegeer și alții (1992), îmbunătățirile aduse deverului permit reducerea numărului de accidente cu 5...10 %.

Cum se identifică problemele

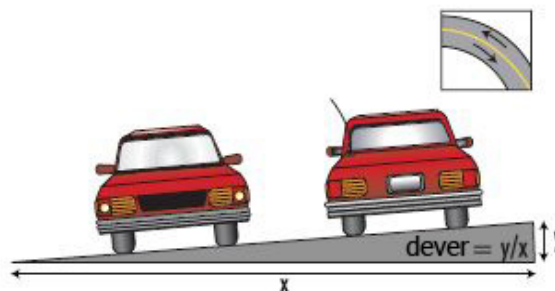
Caracteristici ale drumului:

- dever redus, nul sau inversat;
- schimbare bruscă sau neregulată a deverului;
- drenare necorespunzătoare, mai ales în zona de tranziție.

Măsuri posibile

Corectarea deverului.

Figura TP-15. Dever în curbă

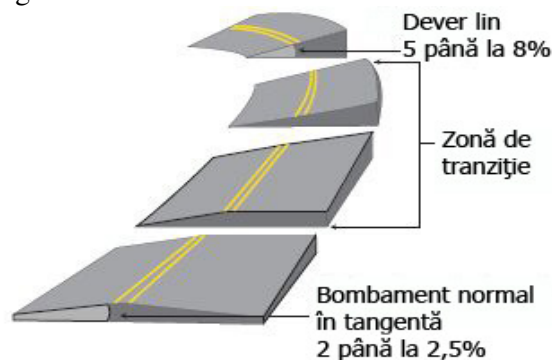


Tabelul TP-4. Exemplu – Relația între dever și viteză

DEVER (m/m)	VITEZĂ (km/h)
0,00	62
0,02	67
0,04	71
0,06	76
0,08	80

Raza = 250 m, coeficient de frecare = 0,12

Figura TP-16. Realizarea deverului



Descriere

Într-o curbă orizontală, raza pe care rulează roțile din față ale unui vehicul este superioară celei urmate de roțile din spate și, în consecință, lățimea acoperită de vehicul este mai mare decât pe un aliniament (figura TP-17). Această lățime suplimentară este neglijabilă pentru un autoturism, dar ea poate fi destul de importantă pentru un vehicul lung articulat. În plus, dificultatea de conducere, asociată cu schimbările de direcție în curbă măresc de asemenea riscul de încălcare a benzii pe exteriorul benzii pe care circulă vehiculul.

Este deci necesar să se mărească lățimea drumului în unele curbe orizontale. Lățimea necesară depinde de raza de curbura, de viteza practică și de caracteristicile vehiculelor grele care circulă pe drumul respectiv.

Trebuie să se țină seama și de debitele de trafic. Ghidul de proiectare canadian, de exemplu, arată că nu este necesar să se lărgască drumurile cu două benzi dacă numărul de camioane care circulă în cele două sensuri este sub 15/h (Transportation Association of Canada, 1999).

La nivel internațional există puțină uniformitate în ceea ce privește supralărgirea necesară în curbă. Tabelul TP-5 arată criteriile britanice care sunt relativ simple, în timp ce calcularea „lățimii drumului” se bazează pe metodologia canadiană care este mai complexă (Transportation Association of Canada, 1999).

Tabelul TP-5. Supralărgire în curbă (Marea Britanie)

RAZA (m)	DRUM DE LĂȚIME NORMALĂ	DRUM ÎNGUST
90...150	0,3 m/bandă	0,6 m/bandă
150...300		0,5 m/bandă
300...400		0,3 m/bandă

Sursa: The Stationery Office, 1993

Siguranța

Krebs și Kloeckner (1977) au verificat efectul lățimii părții carosabile asupra accidentelor și figura TP-18 arată rezultatele studiului lor: se constată că pentru cele trei categorii de raze de curbura considerate, proporția accidentelor descrește pe măsură ce crește lățimea părții carosabile.

Tabelul TP-6, extras dintr-un studiu american realizat de Zegeer și alții (1990), arată procente de reducere a accidentelor ce se pot aștepta după supralărgirea benzilor sau a acostamentelor în curbă.

Figura TP-17. Lățimea benzii necesară în curbă

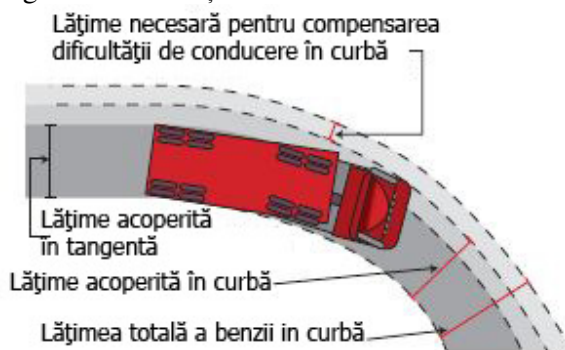
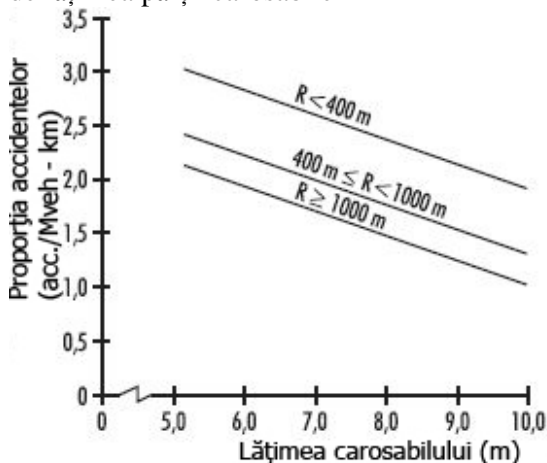


Figura TP-18. Rata accidentelor în curbă în funcție de lățimea părții carosabile



Sursa: Krebs și Kloeckner (1977)

Tabelul TP-6. Reducerea accidentelor (%) după supralărgirea benzii sau a acostamentului

SUPRALĂRGIRE (m)		REDUCEREA ACCIDENTELOR (%)		
		SUPRALĂRGIRE		
TOTAL	PE CALE	BENZI	ACOSTAMENT PAVAT	NEPAVAT
0,6	0,3	5	4	3
1,2	0,6	12	8	7
1,8	0,9	17	12	10
2,4	1,2	21	15	13
3,0	1,5		19	16
3,6	1,8		21	18
4,2	2,1		25	21
4,8	2,4		28	24
5,4	2,7		31	26
6,0	3,0		33	29

Sursa: Zegeer și alții (1990)

Cum se identifică problemele (lățimea drumului)

Accidente:

- ieșiri de pe drum, coliziuni frontale, coliziuni laterale.

Circulație:

- încălcarea benzii alăturate sau acostamentului.

Caracteristici ale drumului:

- determinarea lățimii necesare în curbă și compararea acesteia cu lățimea măsurată pe teren.

Măsuri posibile

- Supralărgirea părții carosabile.

ACOSTAMENTE

Descriere

În mediul extraurban, acostamentele trebuie stabilizate și eliberate de obstacole, pentru a permite vehiculelor care își depășesc banda să și-o recupereze. În acest sens, trebuie acordată o atenție deosebită calității acostamentelor în curbe, deoarece riscurile de ieșire de pe bandă sunt mai ridicate decât în aliniament.

Eroziunea poate provoca degradarea rapidă a acostamentelor neconsolidate, mai ales în zonele în care precipitațiile sunt abundente și apele de ploaie spală abundent (de ex. curbe verticale concave).

Denivelările acostamentului față de calea de rulare mărește riscurile de pierdere a controlului și deci sunt de evitat (figura TP-19).

Siguranță

Zegeer și alții (1992) menționează că pavarea acostamentelor permite diminuare frecvenței accidentelor cu 5 %.

Cum de identifică problemele

Accidente:

- ieșiri de pe drum.

Caracteristici ale drumului:

- se verifică dacă starea acostamentelor permite conducătorilor auto să-și recupereze banda de circulație (lățime, material, stabilitate, denivelare);
- se verifică prezența obstacolelor pe acostament (stâlpi, cutii poștale, vegetație etc.).

Măsuri posibile

Figura TP-19. Exemple – Probleme de întreținere a acostamentelor



Denivelare între îmbrăcăminte și acostament

Gazon pe acostament

Stabilizare, completare Îndepărtarea obstacolelor Drenare Pavar COST

Descriere

Ca peste tot pe drum, distanța de vizibilitate în toate punctele unei curbe trebuie să fie suficientă pentru a permite manevre de oprire sigure. Diferitele obstacole situate pe partea interioară a unei curbe pot dăuna vizibilității: taluz, vegetație, clădiri etc. Trebuie deci asigurată o degajare laterală (DL) suficientă, a cărei lățime depinde de distanța de frânare în curbă (figura TP-20).

Figura TP-20. Degajare laterală în curbă



În teorie, la calculul distanței de degajare laterală necesară (DL), trebuie să se distingă două cazuri, în funcție de distanța de oprire care este superioară lungimii curbei ($S > L_c$) sau nu ($S < L_c$). Ecuațiile de calcul în primul caz sunt mai complexe și puțin utilizate în practică, deoarece distanța DL este întotdeauna mai mare când $S < L_c$ (**anexa PL-4**). Programul de calcul „distanță de degajare laterală” permite obținerea valorilor DL pentru acest din urmă caz.

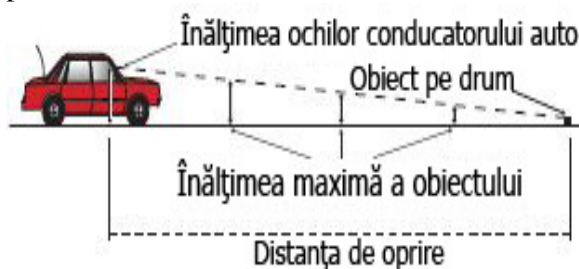
Figura TP-21. Determinarea grafică a zonei de degajare laterală în curbă



Pe teren plat, este posibilă determinarea grafică a zonei de degajare laterală, prin desenarea mai multor linii, de-a lungul curbei, a căror lungime este echivalentă cu distanța de oprire a vehiculelor. O extremitate a acestor linii reprezintă conducătorul auto în timp ce cealaltă extremitate reprezintă obiectul care trebuie observat pe drum (figura TP-21).

Trebuie observat că vizibilitatea poate fi influențată de obstacole relativ joase situate pe marginile drumului (figura TP-22).

Figura TP-22. Înălțimea maximă a obiectelor pe partea interioară a unei curbe



Distanțele de oprire a vehiculelor grele dotate cu un sistem de frânare convențional sunt considerabil mai mari decât cele ale autoturismelor (tabel TP-7). În unele cazuri, înălțimea ochilor unui conducător de vehicul greu poate compensa această distanță suplimentară, dar acest lucru nu mai este valabil dacă pe partea interioară a curbelor există obiecte înalte (de ex. copaci, stânci etc.). În astfel de cazuri, distanța de degajare laterală trebuie calculată pentru de vehiculele grele.

Tabelul TP-7. Distanțe de oprire – Autoturisme și camioane

	VITEZĂ DE PROIECTARE (km/h)							
	40	50	60	70	80	90	100	110
Distanță de oprire (m)								
Autoturisme	45	65	85	110	140	170	210	250
Camioane	70	110	130	180	210	265	330	360

Sursa: Transportation Association of Canada, 1999

Cum se identifică problemele (distanță de vizibilitate)

Accidente:

- coliziuni din spate, coliziuni în unghi drept (acces sau intersecții), coliziuni frontale.

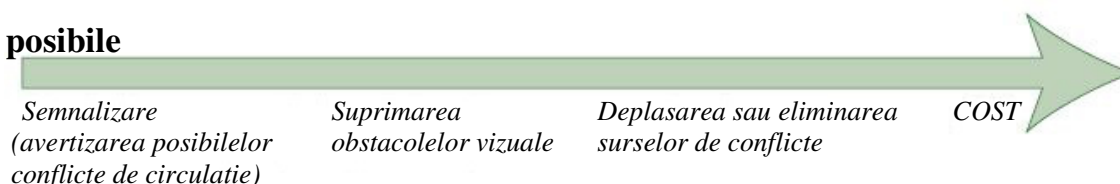
Circulație:

- conflicte de circulație, urme de derapaj.

Caracteristici ale drumului:

- se măsoară distanțele de vizibilitate disponibile și se compară cu distanțele de oprire;
- se verifică prezența obstacolelor vizuale ce pot fi permanente, temporare sau sezoniere (de ex. vegetație);
- se verifică prezența surselor de conflicte de circulație potențiale în locurile unde vizibilitatea este limitată (intersecții, traversări, intrări private etc.).

Măsurile posibile



MARGINILE DRUMULUI – DRUM CARE IARTĂ

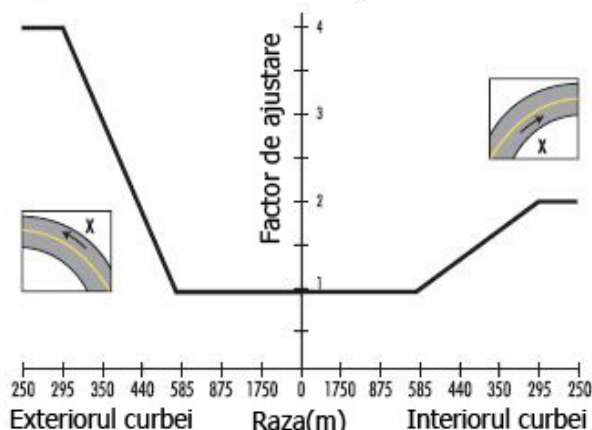
Descriere

Proportia de depășire a benzilor și ieșire pe marginile drumului este mult mai ridicată în curbe decât în aliniamente. Roadside design guide (AASHTO, 2002) arată că această proporție este până la de patru ori mai mare pe partea exterioară a curbelor decât în tangentă și până la de două ori mai ridicată pe partea interioară (figura TP-23).

Este deci esențial, pentru reducerea gravității ieșirilor de pe drum în aceste locuri, să se degajeze marginile de orice obstacol rigid. Deoarece distanța parcursă de un vehicul aflat într-o situație critică pe marginea drumului crește o dată cu viteza (figura TP-24), lățimea de degajare necesară trebuie să crească în funcție de acest parametru. Din rațiuni economice, se ține seama de asemenea de categoria drumului și de volumele de trafic în determinarea acestor zone de degajare.

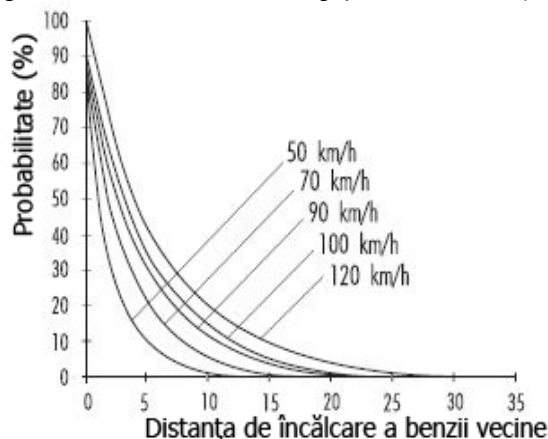
În America de Nord, se recomandă în general o distanță de degajare de circa 10 m de-a lungul autostrăzilor și distanțele echivalente sunt și mai importante în unele țări din Europa. Atunci când este imposibilă satisfacerea acestor exigențe, trebuie instalate bariere de siguranță pentru protejarea utilizatorilor drumului. Totuși trebuie recunoscut faptul că astfel de bariere pot ele însele constitui un pericol pentru vehiculele scăpate de sub control și deci nu trebuie abuzat de această soluție de compromis.

Figura TP-23. Factori de încălcare a benzii de circulație



Sursa: Roadside Design Guide, Copyright 2002, prin American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C. Reprodus cu permisiune.

Figura TP-24. Extinderea laterală a depășirii benzii de circulație



Sursa: Roadside Design Guide, Copyright 2002, prin American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C. Reprodus cu permisiune.

Pantele abrupte ale taluzurilor reprezintă de asemenea obstacole rigide și trebuie deci evitate. Panta maximă pe care un vehicul o poate urca (sau coborî) este de ordinul 1 : 3 până la 1 : 4. De asemenea trebuie rotunjite unghiurile de tranziție între acostament și taluz și între taluz și terenul adiacent.

Siguranța

Reducerea numărului de accidente ce poate fi așteptată ca urmare a ameliorării marginilor drumurilor este indicată în tabelele TP-8 și TP-9 (după studiile americane realizate de Zegeer, 1990, 1992).

Cum se identifică problemele

Accidente:

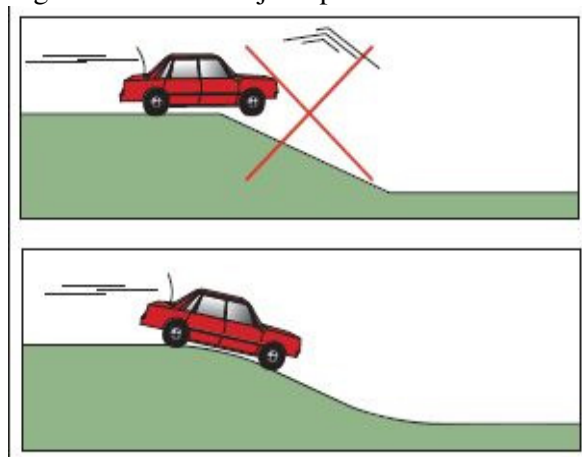
- accidente cu obiecte fixe, răsturnări.

Caracteristici ale drumului

Se verifică:

- prezența unor obstacole rigide neprotejate în zona de degajare;
- pante de taluz abrupte;
- prezența apei (și adâncimea acesteia) în șanțuri;
- echipamente de siguranță deteriorate (glisieră, atenuator de impact etc.).

Figura TP-25. Rotunjirea pantelor de taluz



Tabelul TP-8. Reducerea numărului de accidente (%) rezultată din mărirea distanței de degajare pe marginile drumului

MĂRIREA ZONEI DE DEGAJARE LATERALĂ (m)	REDUCEREA ACCIDENTELOR (%)
1,5	9
2,4	14
3,0	17
3,7	19
4,6	23
6,1	29

Sursa: Zegeer și alții, 1992

Tabelul TP-9. Reducerea numărului de accidente (%) rezultată din reducerea pantelor de taluz în curbă

TALUZ ÎNAINTE	TALUZ DUPĂ			
	4 : 1	5 : 1	6 : 1	7 : 1 sau peste
2 : 1	6	9	12	15
3 : 1	5	8	11	15
4 : 1	-	3	7	11
5 : 1	-	-	3	8
6 : 1	-	-	-	5

Sursa: Zegeer și alții, 1990

Măsuri posibile

În cazul obstacolelor neprotejate pot fi aplicate patru tipuri de măsuri:

- eliminarea obstacolului;
- deplasarea;
- fragilizarea;
- protejarea.

Pentru taluzurile în pantă abruptă:

- aplatizarea taluzului;
- rotunjirea unghiurilor între acostament/taluz și taluz/teren adiacent;
- instalarea unor bariere de siguranță.

DEPĂȘIRE

Descriere

Posibilitățile de depășire trebuie evaluate atât în curbă cât și pe ansamblul unui sector de drum care include curba și câțiva kilometri de fiecare parte a ei.

În curbă

Este nevoie de un sector drept sau de o curbă cu rază foarte mare pentru ca distanțele de vizibilitate disponibile să permită manevre de depășire sigure. În plus, depășirea nu ar trebui permisă în curbe spre dreapta căci vehiculul de depășit poate obstrucționa vizibilitatea celui care inițiază manevra (conducere pe dreapta). În toate cazurile în care distanța de vizibilitate este insuficientă, marcajul drumului trebuie să interzică în mod clar (și în permanență) manevra de depășire.

Trebuie evitate curbele cu rază intermediară, prea scurte pentru a permite depășirea în siguranță dar susceptibile de a încuraja anumiți conducători auto să încerce această manevră (tabelul TP-10).

Pe un sector de câțiva kilometri

Pe drumurile extraurbane cu două benzi de circulație, posibilitățile de depășire trebuie să fie suficiente pentru a se evita formarea de grupuri de vehicule ce pot mări frustrarea unor conducători auto și duce la manevre periculoase³. Normele existente în unele țări recomandă procente minime de lungimi de drum care oferă distanța de vizibilitate suficientă pentru a permite depășirea (tabelul TP-11).

Tabelul TP-10. Raze de curbă de evitat

ȚARA	RAZE (m)
MAREA BRITANIE	700 – 2000
FRANȚA	900 - 2000

Tabelul TP-11. Procent minim din drum care oferă distanța de vizibilitate de depășire

ȚARA	PROCENT MINIM
ELVEȚIA, GERMANIA	20 %
FRANȚA	25 %
MAREA BRITANIE	15 – 40 % (în funcție de categoria drumului)

Pe drumurile cu două benzi alăturate, posibilitățile de depășire depind nu doar de distanța de vizibilitate disponibilă ci și de prezența intervalelor de depășire în sens invers. Pe măsură ce traficul crește, aceste intervale se diminuează și poate deveni necesară implantarea unei benzi de depășire.

Cum se identifică problemele

Accidente:

- coliziuni frontale și alte accidente legate de o manevră de depășire.

Circulație:

- circulație în grupuri, manevre de depășire periculoase.

Caracteristici ale drumului:

- se compară distanțele de vizibilitate disponibile cu distanța de vizibilitate de depășire;
- se verifică starea marcajului pe drum (care interzice depășirile periculoase);
- se verifică dacă oportunitățile de depășire sunt suficiente pe itinerar.

Măsuri posibile

Marcaj(interzicerea depășirii)/Semnalizare Zonă mediană Bandă de depășire

COST

³ Distanțele de vizibilitate pot fi limitate nu doar prin caracteristicile traseului în plan, ci și prin cele ale profilului longitudinal ca și prin anumite combinații ale acestor două profiluri.

Descriere

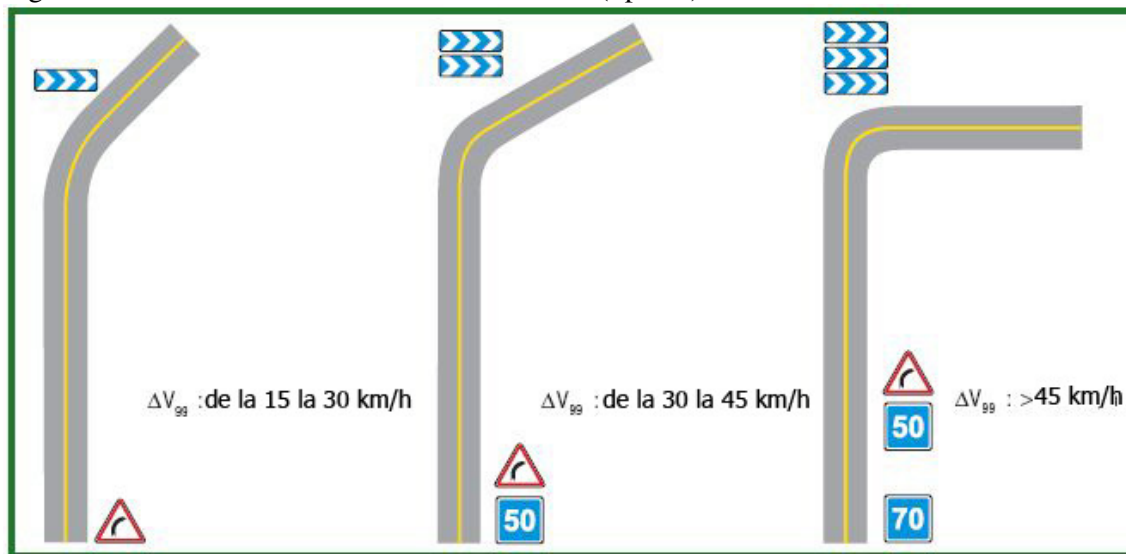
Atunci când se cere reducerea vitezei la apropierea unei curbe, conducătorii auto trebuie avertizați din timp printr-o semnalizare corespunzătoare, pentru ca ei să-și poată adapta modul de conducere la condițiile drumului. În afară de semnalizarea care marchează prezența curbei (și care, în unele cazuri, indică viteza recomandată), pot fi utilizate și alte măsuri de avertizare: marcajul carosabilului, delimitarea (pe îmbrăcămintă sau pe stâlpi de semnalizare), marcaje transversale, încetinitoare sonore.

Natura și intensitatea mesajului trebuie adaptate contextului rutier și categoriei drumului: importanța diminuării vitezei, importanța debitelor de trafic, așteptările conducătorilor auto în ceea ce privește prezența curbei, vizibilitatea curbei, posibilitățile de conflicte de circulație în curbă etc. Aceleași mesaje de avertizare trebuie utilizate pentru aceleași tipuri de situații pentru a se reduce posibilitățile de erori de conducere (*așteptările conducătorilor auto și încărcarea de conducere*).

Figura TP- 26. Exemple – Semnalizări de avertizare adaptate la mediul rutier



Figura TP-27. Semnalizări de avertizare în curbă (Spania)



Siguranța

Tignor și alții (ITE, 1999) arată că prezența panourilor de avertizare de curbă poate conduce la reducerea accidentelor cu 20 %.

Cum se identifică problemele (semnalizare)

Accidente:

- ieșiri de pe drum.

Circulație:

- frânări tardive, depășiri ale benzilor, viteze excesive.

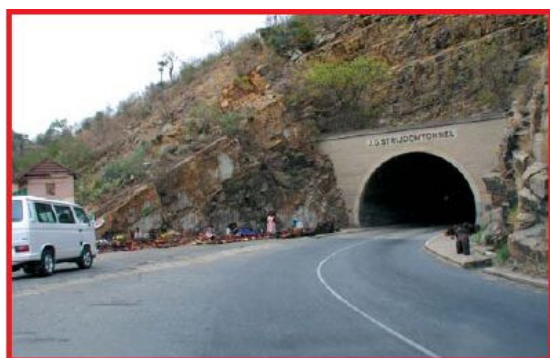
Caracteristici ale drumului:

- se compară semnalizarea la fața locului cu normele în vigoare (echipamente lipsă sau superflue, dimensiune, amplasament, înălțime);
- se verifică vizibilitatea și lizibilitatea semnalizării;
- se verifică starea semnalizării /panouri uzate, sparte, murdare, cu retroreflectivitate redusă);
- se verifică corespondența între caracteristicile curbei și mesajele de avertizare (așteptările utilizatorilor).

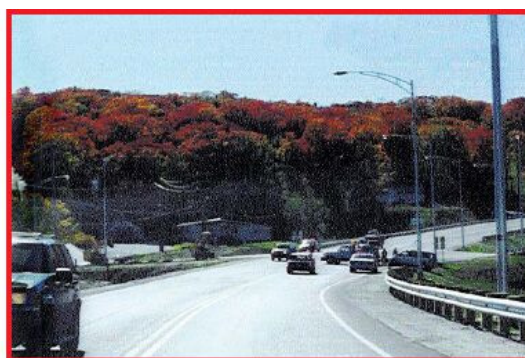
COMBINAȚII DE CARACTERISTICI

Descriere

Dificultățile asociate cu conducerea în curbă sunt de natură să facă dificilă pentru un conducător auto tratarea simultană a unor stimuli adiționali ce se pot regăsi în mediul rutier. În consecință trebuie să se asigure în curbă și în apropierea ei, controlul prezenței unor surse potențiale de conflict (intersecții, traversări, accese private), de distracție (publicitate, activități comerciale etc.) sau a altor elemente ce se pot adăuga la complexitatea sarcinii (pantă, pod îngust, pierderea benzii etc.).

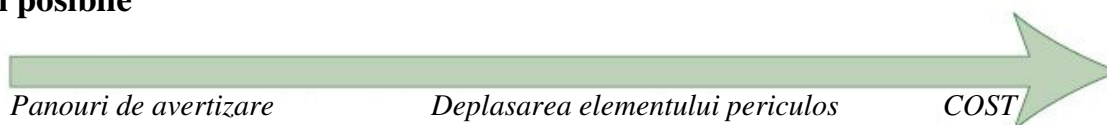


Îngustarea lățimii carosabilului și activități comerciale pe marginile drumului într-o curbă la apropierea unui tunel.



Accident la o intersecție în curbă

Măsuri posibile



BIBLIOGRAFIE

Al-Masaeid, H.R. (1997) *"Impact of pavement condition on rural road accidents"*, Canadian Journal of Civil Engineering, N24, pp. 523-531, Canada.

American Association of State Highway and Transportation Officials. (1996) *Roadside design guide*, Washington, DC., Documents may be purchased from the bookstore at 1-800-231-3475 or online at <http://bookstore.transportation.org>.

American Association of State Highway and Transportation Officials. (2002) *Roadside design guide*, Washington, DC., Documents may be purchased from the bookstore at 1-800-231-3475 or online at <http://bookstore.transportation.org>.

Anderson, I.B., Bauer, K.M., Harwood, D.W. et Fitzpatrick, K. (1999) *"Relationship to safety of geometric design consistency measures for rural two-lane highways"*, Transportation Research Record 1658, pp. 43-51 Transportation Research Board, Washington, DC., pp. 43-51.

Brenac, T. (1996) *"Safety at curves and road geometry standards in some European countries, a discussion"*, Transportation Research Record 1523, Transportation Research Board, Washington, DC.

Council, F.M. (1998) *"Safety Benefits of Spiral Transitions on horizontal curves on two-lane rural roads."*, Transportation Research Record 1635, pp. 10-17, Transportation Research Board, Washington, DC.: TRB.

Dunlap, D.F., Fancher, P.S., Scott, R.E., MacAdam, C.C. et Segel, L. (1978) *Influence of combined highway grade and horizontal alignment on skidding*, NCHRP Report 194, Transportation Research Board, Washington, DC.

Fricke, (1990) *"Traffic accident reconstruction"*, Volume 2 of the traffic accident investigation manual, Northwestern University Traffic Institute, Evanston, Illinois.

Glennon, J.C., Neuman, T.R. et Leisch, J.E. (1985) *Safety and operational considerations for design of rural highway curves*, FHWA-RD-86-035, Federal Highway Administration, Washington, DC.

Tignor, S.C. (1999) *Traffic control devices : Overview, Chapter 2 in The Traffic safety toolbox A Primer on traffic safety*, Institute of Transportation Engineers, Washington, DC., pp. 39-46.

Kihlberg, J.K. et Tharp, K.J. (1968) *"Accident rates as related to design elements of rural highways"*, NCHRP Report No.47, Highway Research Board, Washington, DC.

Krammes, B.A. et Garnham, M.A. (1995) *Worldwide review of alignment design policies*, Proceedings, International symposium on highway geometric design practices, Boston, MA.

Krebs, H.G. et Kloeckner, J.H. (1977) dans Lamm et al. (1999) *"Investigations of the effect of highway and traffic conditions outside built-up areas on accident rates"*, Research Road Construction and Road Traffic Technique (Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik), Minister of Transportation, Germany.

Lamm, R., Mailaender T. et Psarianos B. (1999) *Highway design and traffic safety engineering handbook*, McGraw-Hill.

Leutzbach, W. et Zoellmer, J. (1989) dans Lamm et al. (1999) *"Relationship between traffic safety and design elements"*, Research Road Construction and Road Traffic Technique (Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik), V545, Minister of Transportation, Germany.

MUTCD (2000) *Manual on uniform traffic control devices, Millennium Edition*, US Department of Transportation, Federal Highway Administration.

Ogden, K.W. (1996) *Safer Roads: A Guide to road safety engineering*, Avebury Technical.

Page, B.G. et Butas, L.F. (1986) *Evaluation of friction requirements for California State highways in terms of highways geometrics. Final report*, FHWA/CA-TL-86/01, California Departement of Transportation, Federal Highway Administration.

Page, B.G. et Butas, L.F. (1986) *Evaluation of friction requirements for California State highways in terms of highways geometrics. Final report*, FHWA/CA-TL-86/01, California Departement of Transportation, Federal Highway Administration.

Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes et Centre d'Études des Transports Urbains (1992) *Sécurité des routes et des rues*. Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes, France.

Spacek, P. (2000) "Track behavior and accident occurrence in curves on two lane highways in rural areas", Conference Proceedings, 2nd International Symposium on Highway Geometric Design, Mainz, Germany.

TAC (1999) *Geometric Design Guide for Canadian Roads*, Transportation Association of Canada, Ottawa, Canada.

The Stationery Office (1993) *Design manual for roads and bridges, Volume 6 - Road geometry, Section 1 - Links* (<http://www.official-documents.co.uk/document/deps/ha/dmrb/index.htm>)

Yerpez, J. et Ferrandez, F. (1986) *Caractéristiques routières et sécurité*, Synthèse INRETS No.2.

Zegeer, C.V., Twomey, J.M., Heckman, M.L., et Hayward, J.C. (1992) *Safety effectiveness of highway design features: Volume II, Alignment*, FHWA-RD-91-045, Federal Highway Administration, Washington, DC.

Zegeer, C.V., Stewart, R., Reinfurt, D., Council, F., Neuman, T., Hamilton, E., Miller, T., et Hunter, W. (1990) *Cost-effective geometric improvements for safety upgrading of horizontal curves*, FHWA-RD-90-021, Federal Highway Administration, Washington, DC.

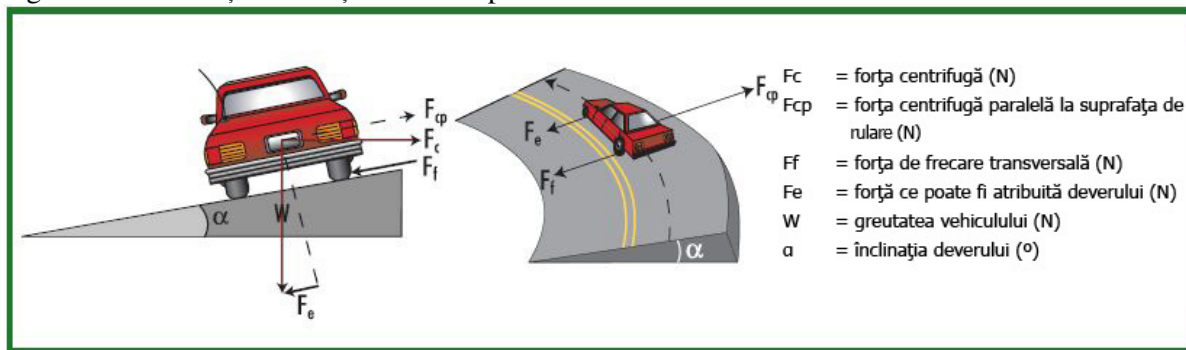
ANEXE TRASEU ÎN PLAN

CURBE ORIZONTALE

ANEXA TP-1: DINAMICA CURBELOR ORIZONTALE

Un vehicul care circulă într-o curbă este împins către exteriorul drumului de efectul forței centrifuge. Această forță este contrabalansată de frecarea dintre pneuri și îmbrăcămintă și de dever.

Figura TP-A1. Forțe care acționează asupra unui vehicul în curbă orizontală



Într-o situație de echilibru, avem următorul sistem de forțe:

$$F_{cp} = F_f + F_e$$

Prin dezvoltarea fiecărui termen și deoarece accelerația centrifugă este egală cu v^2/R , se obține:

$$\frac{Wv^2}{gR} \cos \alpha = W \cos \alpha \times f_t + W \sin \alpha$$

unde:

$$\begin{aligned} v &= \text{viteza (m/s)} \\ R &= \text{raza de curbura (m)} \\ f_t &= \text{coeficientul de frecare transversal} \\ g &= 9,8 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

Împărțind fiecare termen la $W \cos \alpha$ și după $\tan \alpha = e$, se obține:

$$\frac{v^2}{gR} = f_t + e$$

Viteza în curbă orizontală poate fi deci calculată ca o funcție a lui R , e și f_t :

$$V = \sqrt{127R(e + f_t)}$$

unde:

$$\begin{aligned} V &= \text{viteza (km/h)} \\ e &= \text{deverul (m/m)} \end{aligned}$$

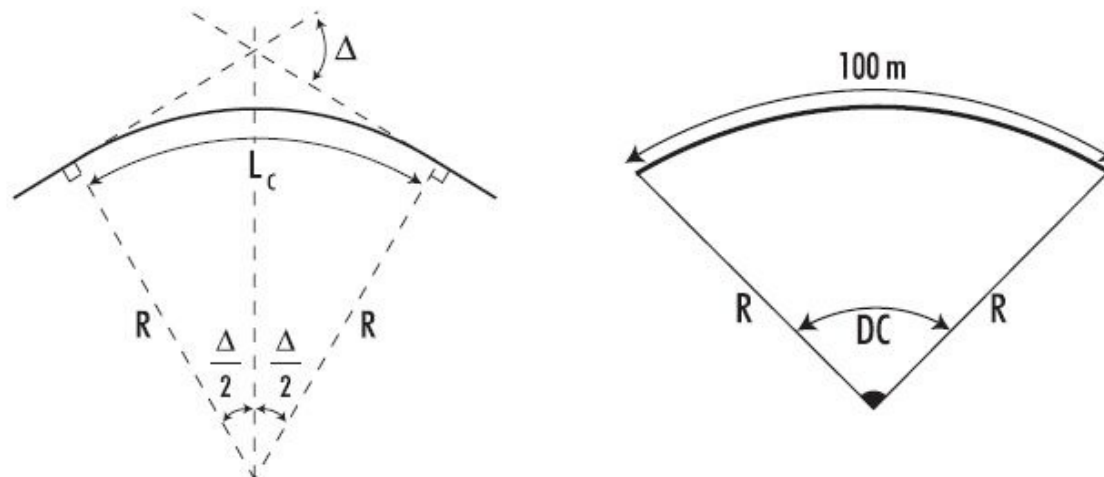
și raza de curbura minimă, ca o funcție a lui V , e și f_t :

$$R = \frac{V^2}{127(e + f_t)}$$

Au fost dezvoltate programe de calcul pentru a se obține valorile lui V și R .

ANEXA TP-2: GEOMETRIA CURBELOR ORIZONTALE CIRCULARE

Figura TP-A2. Geometria curbelor circulare



Un grad sexagesimal este egal cu 1/360 dintr-un cerc (sistem sexagesimal) în timp ce un grad centezimal sau gon este egal cu 1/400 dintr-un cerc (sistem centezimal).

	Sistem sexagesimal	Sistem centezimal
Unghi de deviere (Δ)	$\Delta = \frac{L_c \times 180}{\pi R}$ (grade)	$\Delta = \frac{L_c \times 200}{\pi R}$ (gon)
Lungimea arcului de cerc (L_c)	$L_c = \frac{\Delta \pi R}{180}$ (m)	$L_c = \frac{\Delta \pi R}{200}$ (m)
Raza (R) Raza arcului de cerc	$R = \frac{L_c \times 180}{\Delta \pi}$ (m)	$R = \frac{L_c \times 200}{\Delta \pi}$ (m)
Gradul de curbura (DC) DC = Unghiul de deviație al unui arc de 100 m	$DC = \frac{5730}{R}$ ($\frac{\text{grade}}{100\text{m}}$)	$DC = \frac{6370}{R}$ ($\frac{\text{gon}}{100\text{m}}$)
Gradul de modificare a curburii (CCR) CCR = Unghiul de deviație al unui arc de 1 km	$CCR = \frac{57300}{R}$ ($\frac{\text{grade}}{\text{km}}$)	$CCR = \frac{63700}{R}$ ($\frac{\text{gon}}{\text{km}}$)

Relațiile între grade, radiani și gon

$$\alpha_{\text{rad}} = \alpha^0 \times \frac{\pi}{180^0} \quad 1^0 = 0,0175 \text{ radian}$$

$$1 \text{ radian} = 57,3^0$$

$$\alpha_{\text{rad}} = \alpha^g \times \frac{\pi}{200^g} \quad 1^g = 0,0157 \text{ radian}$$

$$1 \text{ radian} = 63,7^g$$

$$\alpha^0 = \alpha^g \times \frac{180}{200^g} \quad 1^g = 0,9^0$$

$$1^0 = 1,11^g$$

Drumuri extraurbane cu 2 benzi**Ipoteze de bază:**

- se presupune că viteza practică în curbă este constantă și aceasta se estimează cu ajutorul unei ecuații de regresie. Tabelul TP-A1 prezintă ecuațiile dezvoltate în mai multe țări;
- aceeași ecuație servește la calcularea vitezei vehiculului pe un aliniament; este suficient să se utilizeze $CCR = 0$ (gradul de modificare a curbării);
- rata de accelerație și decelerație la apropierea și la ieșirea dintr-o curbă sunt de $0,85 \text{ m/s}^2$.

Tabelul TP-A1 Modele de regresie a vitezelor practicate. Drumuri extraurbane cu două benzi

ȚARA	MODEL (km/h)	LIMITA DE VITEZĂ (km/h)
Germania	$V_{85} = \frac{10^6}{8270 + 8,01CCR}$	100
Australia	$V_{85} = 101,2 - 0,043 CCR$	90
Canada	$V_{85} = e^{(4,561 - 5,27 \times 10^{-4} CCR)}$	90
Statele Unite	$V_{85} = 103,04 - 0,053 CCR$	90
Franța	$V_{85} = \frac{102}{1 + 346(CCR / 63700)^{1,5}}$	90
Grecia	$V_{85} = \frac{10^6}{10150,1 + 8,529CCR}$	90
Liban	$V_{85} = 91,03 - 0,056 CCR$	80

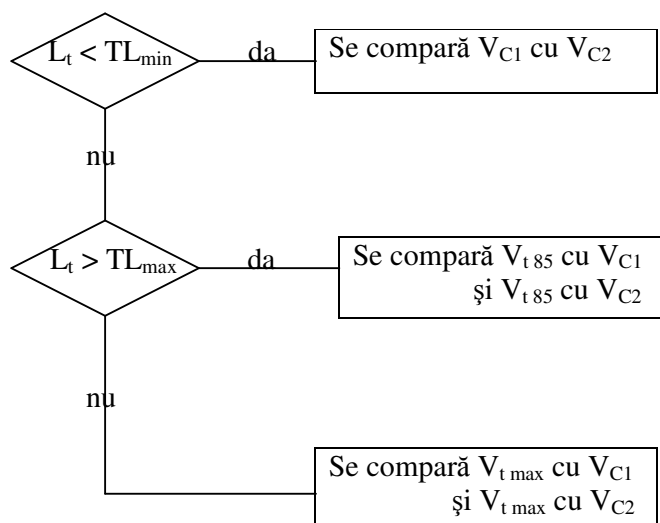
Sursa: Lamm și alții în Highway design and traffic engineering handbook. Copyright 1999, McGraw-Hill Companies, Inc.

Procedură**Etapa 1** – Se calculează următorii parametri:

Tabelul TP-A2. Descrierea parametrilor

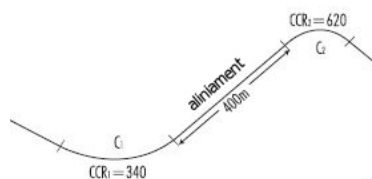
PARAMETRI	DESCRIERE	SURSA
V_{C1}	Viteza practică în curba 1	Ecuațiile din tabelul TP-A1
V_{C2}	Viteza practică în curba 2	Ecuațiile din tabelul TP-A1
L_t	Lungimea tangentei între două curbe	Măsurători la fața locului/măsurători pe planuri/date
V_{t85}	Viteza dorită	Ecuațiile din tabelul TP-A1, $CCR = 0$
TL_{min}	Lungimea tangentei necesare pentru a ajunge de la o viteză inițială (V_{C1}) la o viteză finală (V_{C2}) la o accelerație sau decelerație de a .	$TL_{min} = \left \frac{V_{C1}^2 - V_{C2}^2}{25,92 \times a} \right $ sau $TL_{min} = \left \frac{V_{C1}^2 - V_{C2}^2}{25,92 \times d} \right $
TL_{max}	Lungimea de tangentă pentru a accelera de la o viteză inițială (V_{C1}) la o viteză dorită (V_{t85}) și pentru a decelera la o viteză finală (V_{C2}) la o accelerație și decelerație de a și d .	$TL_{max} = \left \frac{V_{C1}^2 - V_{t85}^2}{25,92 \times a} \right + \left \frac{V_{t85}^2 - V_{C2}^2}{25,92 \times d} \right $
V_{tmax}	Viteza maximă atinsă dacă lungimea tangentei nu permite atingerea vitezei dorite.	$V_{tmax} = \sqrt{\frac{V_{C1}^2 + V_{C2}^2 + 25,92 \times a \times L_t}{2}}$

Etapa 2 – Se urmărește următorul algoritm:



Exemple

CAZ 1



2 curbe
 $CCR_1 = 340$
 $CCR_2 = 620$

Separate printr-o tangentă de 400 m

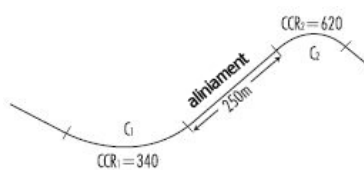
Ecuția de viteză franceză:

$V_{C1} = 90 \text{ km/h}$
 $V_{C2} = 77 \text{ km/h}$
 $L_t = 400 \text{ m}$

$V_{t85} = 102 \text{ km/h}$
 $TL_{min} = 99 \text{ m}$
 $TL_{max} = 308 \text{ m}$
 $V_{tmax} = 106 \text{ km/h}$
 $L_t < TL_{min} ? \text{ nu}$
 $L_t > TL_{max} ? \text{ da}$

Deci, se compară:
 V_{t85} cu V_{C1} ; V_{t85} cu V_{C2}
 102 km/h vs 90 km/h
 (acceptabil)
 102 km/h vs 77 km/h
 (rău)

CAZ 2



2 curbe
 $CCR_1 = 340$
 $CCR_2 = 620$

Separate printr-o tangentă de 250 m

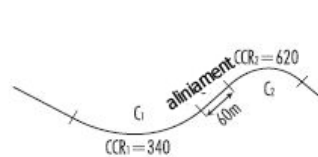
Ecuția de viteză franceză:

$V_{C1} = 90 \text{ km/h}$
 $V_{C2} = 77 \text{ km/h}$
 $L_t = 250 \text{ m}$

$V_{t85} = 102 \text{ km/h}$
 $TL_{min} = 99 \text{ m}$
 $TL_{max} = 308 \text{ m}$
 $V_{tmax} = 99 \text{ km/h}$
 $L_t < TL_{min} ? \text{ nu}$
 $L_t > TL_{max} ? \text{ nu}$

Deci, se compară:
 V_{tmax} cu V_{C1} ; V_{tmax} cu V_{C2}
 99 km/h vs 90 km/h
 (bun)
 99 km/h vs 77 km/h
 (rău)

CAZ 3



2 curbe
 $CCR_1 = 340$
 $CCR_2 = 620$

Separate printr-o tangentă de 60 m

Ecuția de viteză franceză:

$V_{C1} = 90 \text{ km/h}$
 $V_{C2} = 77 \text{ km/h}$
 $L_t = 60 \text{ m}$

$V_{t85} = 102 \text{ km/h}$
 $TL_{min} = 99 \text{ m}$
 $TL_{max} = 308 \text{ m}$
 $V_{tmax} = 88 \text{ km/h}$
 $L_t < TL_{min} ? \text{ da}$

Deci, se compară:
 V_{C1} cu V_{C2}
 90 km/h vs 77 km/h
 (acceptabil)

ANEXA TP-3B: CALCULUL VARIAȚIILOR DE VITEZĂ (SPANIA):

1. Se determină V_{99} în curbă, în funcție de ecuația:

$$V_{99} = \sqrt{127R(0,25 + e)}$$

2. Pe tangenta care precede curba, se determină V_{99} , care este o funcție a lui D_t , în care:

$$D_t = D + D_a + D_s$$

unde:

D = lungimea tangentei (distanța între două curbe)

D_a = distanța de accelerare de la V_{99} în curba precedentă (V_{99} calculată cu ajutorul ecuației de la punctul 1 de mai sus; această distanță este indicată în figura TP-A4);

D_s = distanța necesară pentru accelerare de la V_{99} în curba studiată (V_{99} calculată cu ajutorul ecuației de la punctul 1 de mai sus; această distanță este indicată în figura TP-A5).

Viteza V_{99} în tangenta precedentă curbei este indicată în figura TP-A3.

3. Se compară V_{99} în tangenta care precede curba și V_{99} în curbă (după **tabelul TP-2**).

Figura TP-A3 Viteza practică în tangenta precedentă (V_{99})

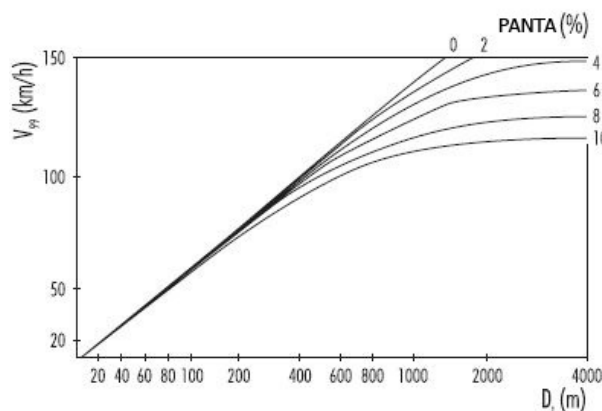


Figura TP-A4 Distanța pentru accelerare de la V_{99} în curba precedentă tangentei

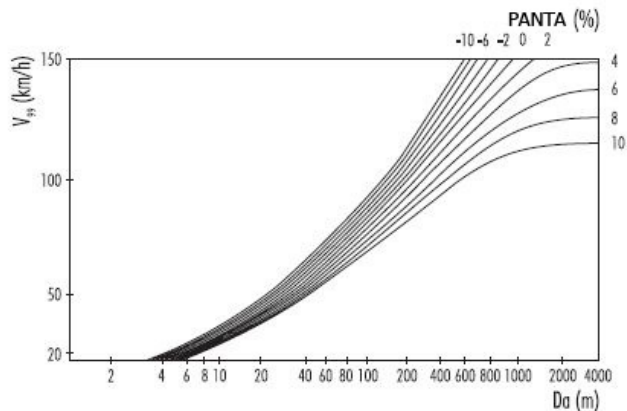
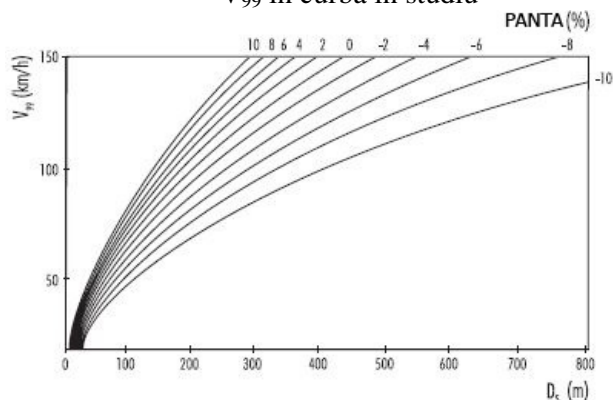


Figura TP-A5 Distanța de decelerare până la V_{99} în curba în studiu



ANEXA TP-4: MARGINILE DRUMULUI ȘI VIZIBILITATEA ÎN CURBĂ ORIZONTALĂ

Există o relație matematică între degajarea laterală (DL) pe partea interioară a marginilor curbelor orizontale și distanța de vizibilitate disponibilă. Ecuațiile diferă dacă distanța de vizibilitate de oprire (S) este inferioară sau superioară lungimii curbei (L_c).

Pentru $S < L_c$

$$DL = R \times \left(1 - \cos \frac{90 \times S}{\pi \times R}\right)$$

Pentru $S > L_c$

$$DL = R \times \left(1 - \cos \frac{90 \times L_c}{\pi \times R}\right) + \left(\frac{S - L_c}{2}\right) \times \sin \frac{90 \times L_c}{\pi \times R}$$

unde:

S = distanța de oprire

L_c = lungimea curbei

DL = degajarea laterală

R = raza de curbura

Figura TP-A6 Distanța de vizibilitate în curbă orizontală

