

PROFIL LONGITUDINAL

LINIA ROȘIE

PROFIL LONGITUDINAL – LINIE ROȘIE

	Pagina
REZUMAT	37
PANTE	39
Generalități	39
Semnalizare	40
Drenaj	40
Zone de verificare a frânelor	41
Zonă de oprire	42
RAMPE	43
Generalități	43
Benzi pentru traficul lent	44
Drenaj	45
CURBE VERTICALE	46
Generalități	46
Depășire	47
Drenaj	48
BIBLIOGRAFIE	49
ANEXE	50
Anexa PL-1: Parametri de proiectare a profilului longitudinal	51
Anexa PL-2: Temperatura frânelor în pante	52
Anexa PL-3: Viteza vehiculelor grele în rampe	56
Anexa PL-4: Vizibilitatea în curbe verticale	59

LISTA ABREVIERILOR

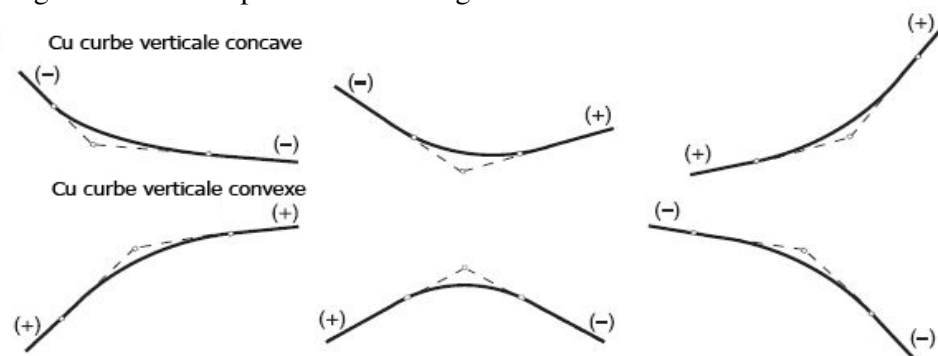
a_c	= accelerația roții libere (pi/s^2)
a_p	= accelerația limitată de putere (pi/s^2)
A	= diferența algebrică a pantelor consecutive $ G1 - G2 $
A_f	= suprafața frontală a vehiculului (pi^2)
C	= degajarea verticală între drum și structura de deasupra lui (m)
C_{de}	= factorul de corecție pentru altitudine (rezistența la aer)
C_{pe}	= factor de corecție pentru altitudine (puterea netă a motorului)
d	= interval de distanță (m)
E	= energia (J)
E_{cin}	= energia cinetică (J)
E_{pot}	= energia potențială (J)
f_l	= coeficient de frecare longitudinală
F_a	= rezistența aerului (N)
F_d	= forța de tracțiune (N)
F_g	= rezistența pantei (N)
F_r	= rezistența la rulare (N)
F_{tot}	= rezistența totală (N)
G	= accelerația gravitațională ($9,8 \text{ m/s}^2$)
G	= declivitatea (%)
H_1	= înălțimea ochilor conducătorilor auto (m)
H_2	= înălțimea obiectului considerat (m)
3_3	= înălțimea farurilor (m)
K	= distanța orizontală necesară pentru producerea unei modificări de pantă de 1 %
$K1, k2$	= constante
L	= lungimea orizontală a curbei verticale (m)
M	= masa vehiculului (kg)
NHP	= puterea nominală netă la nivelul mării (hp)
P_B	= puterea de frânare (hp)
P_E	= puterea de frânare a motorului (hp)
P_F	= puterea de frecare (hp)
P_g	= putere datorată pantei (hp)
R	= rază de curbură verticală (m)
S	= distanță de vizibilitate (m)
S_p	= + 1 sau - 1, în funcție de semnul lui a_p
T	= timp (s)
t_r	= timp de reacție (s)
T_a	= temperatura ambiantă ($^{\circ}\text{F}$)
T_i	= temperatura inițială a frânelor ($^{\circ}\text{F}$)
$T(t)$	= temperatura frânelor în momentul t ($^{\circ}\text{F}$)
v	= viteza vehiculului (m/s sau pi/s)
V	= viteza (mi/h)
V_f	= viteza finală (km/h)
V_i	= viteza inițială (km/h)
W	= greutatea vehiculului (lb)
x	= distanța orizontală (m)
y	= diferența de cotă (m)

REZUMAT

Principii generale

Profilul longitudinal al unui drum cuprinde segmente rectilinii (plane sau înclinate), legate între ele prin curbe verticale concave sau convexe. Combinațiile acestor elemente iau diferite forme (figura PL-1).

Figura PL-1. Exemple – Profiluri longitudinale



Acest profil se caracterizează prin declivitatea (G), diferența de cotă (y) și valoarea K (figura PL-2). În anexa PL-1 se găsesc valorile maxime ale lui G și K recomandate în anumite țări.

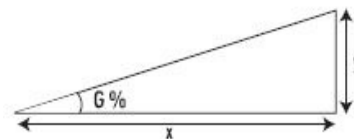
Figura PL-2. Definiții

SEGMENTE DREPTE

$$G = 100 \times \frac{y}{x} \quad [\text{Ec. PL-1}]$$

unde:

G = declivitatea (%)
 y = diferența de cotă (m)
 x = distanța orizontală (m)

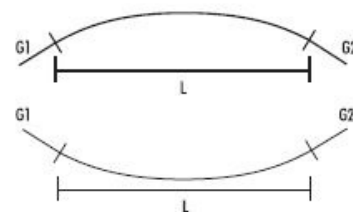


CURBE VERTICALE

$$K = L/A \quad [\text{Ec. PL-2}]$$

unde:

K = distanța orizontală necesară pentru a produce o modificare de pantă de 1 %
 L = lungimea orizontală a curbei verticale (m)
 A = diferența algebrică a declivităților sectoarelor consecutive
 $= |G1 - G2|$



Accidente

- Frecvențele accidentelor sunt mai ridicate în pante decât pe sectoarele plane. Ele cresc de asemenea în funcție de declivitatea, cu 1,6 % la procentul de pantă, după un studiu realizat de Harwood și alții (2002).
- Frecvența și gravitatea accidentelor sunt mai ridicate în rampă decât în pantă și implică un număr semnificativ de vehicule grele.
- Diferența de cotă între partea de sus și cea de jos a unei pante (denivelare) este un indicator de risc de accidente mai bun decât procentul de pantă (Serviciul de studii tehnice pentru drumuri și autostrăzi, 1997).

Observații

Principalele elemente care trebuie luate în considerare la analiza unei declivități sunt:

- pante: creșterea distanței de frânare și, pentru vehiculele grele, posibilitatea de supraîncălzire a frânelor;
- rampe: diferența de viteză între autoturisme și vehicule grele;
- curbe convexe: reducerea distanțelor de vizibilitate;
- curbe concave: acumularea de apă și eroziunea accelerată a acostamentului datorită scurgerii apelor de ploaie.

Prezenta fișă tehnică tratează aceste probleme.

Combinăția de caracteristici

Din cauza accelerării datorită acțiunii forței gravitaționale, este mai dificil de încetinit sau de oprit un vehicul în pantă. Ca principiu de bază, se va evita deci amenajarea elementelor ce pot necesita astfel de manevre în pantă:

- intersecție sau alt tip de traversare (cale ferată, trecere pietoni, pistă cicliști etc.);
- curbă strânsă;
- structură îngustă (pod, tunel viaduct etc.).

Situația este și mai defavorabilă dacă elementul respectiv se află în partea inferioară a pantei, unde vitezele sunt maxime și posibilitățile de supraîncălzire a frânelor mai semnificative.



Modificare a unui traseu vizând suprimarea unei curbe cu rază mică la baza unei pante abrupte.

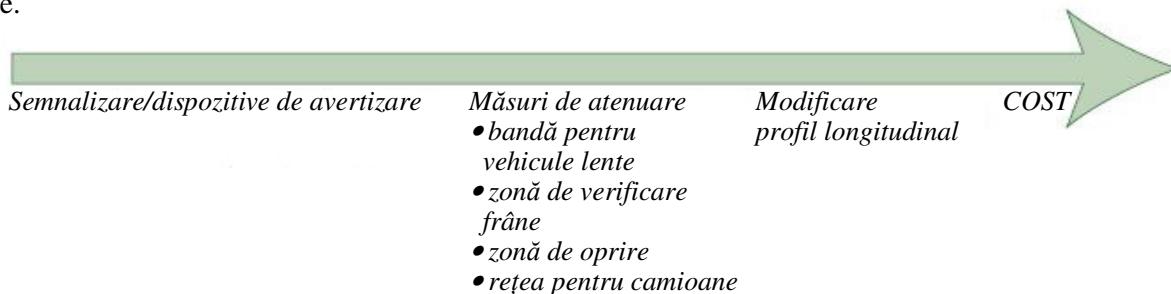
Soluții posibile

Modificarea unui profil longitudinal costă adesea prea mult pentru a putea fi realizată. Un raport de sinteză american (Transportation Research Board, 1987) arată că o astfel de intervenție poate fi prevăzută atunci când:

- a) vârful rampei disimulează un obstacol major cum ar fi o intersecție, o curbă abruptă sau un pod îngust;*
- b) debitul mediu este peste 1 500 vehicule pe zi;*
- c) viteza de proiectare, în vârful pantei, (bazată pe distanța minimă de vizibilitate de oprire disponibilă), este cu peste 20 mph (32 km/h) mai mică decât viteza vehiculelor în acest punct.*

În majoritatea cazurilor, vor fi realizate măsurile de corecție mai puțin costisitoare (semnalizare, zona de verificare a frânelor, bandă pentru traficul lent în pantă sau rampă, zonă de oprire etc.).

Deoarece problemele de siguranță pe declivități se referă mai ales la vehiculele grele, este posibil să se prevadă soluții care vizează limitarea circulației lor prin zonele periculoase, dacă configurația rețelei o permite (drumuri rezervate traficului greu). Utilizarea obligatorie a unei frâne de motor este o altă opțiune.



PANTE – GENERALITĂȚI

În ceea ce privește siguranța, principalele elemente de luat în considerare în pante sunt creșterea distanțelor de oprire și posibilitatea de supraîncălzire a frânelor vehiculelor grele (*Anexa PL-2*).

Distanță de oprire

Creșterea distanței de oprire poate fi importantă. Astfel, de exemplu, tabelul PL-1 arată că pentru o viteză inițială de 100 km/h și un coeficient de frecare de 0,28, distanța de oprire crește cu 37 % (78 m) între o pantă de 10 % și un drum în teren plat.

Încălzirea frânelor (vehicule grele)

Temperatura critică a frânelor este de aproximativ 260 °C. Peste această temperatură, eficiența lor este redusă din cauza combinării mai multor fenomene, dintre care dilatarea și deformarea materialelor. Au fost puse la punct diferite modele matematice pentru estimarea regimului de temperatură a frânelor în rampe. Programul de calcul „analiza pantelor”, inclus în versiunea CD-Rom a manualului, se bazează pe modelul dezvoltat de Myers și alții (1980), în care temperatura frânelor depinde de următorii factori:

- valoarea și lungimea pantei;
- compresia motorului (și frâna de motor);
- viteza de coborâre;
- temperatura inițială a frânelor;
- masa vehiculului;
- oprirea de urgență în pantă.

Anexa PL-2 arată influența fiecărui factor asupra temperaturii frânelor.

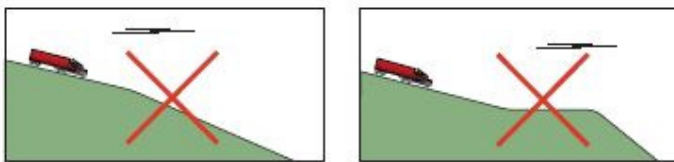
Tabelul PL-1. Exemple – Distanțe de oprire

VALOAREA PANTEI (%)	DISTANȚA DE OPRIRE (m)
0	210
5	241
10	288

(Viteza inițială: 100 km/h, timp de reacție: 2,5 sec., coeficient de frecare: 0,28).

Pante compuse

Unele combinații de pante compuse pot surprinde conducătorii auto dacă aceștia nu văd caracteristicile profilului înainte de a iniția manevra de coborâre. Conducătorii vehiculelor grele, nefamiliarizați cu locurile, își vor iniția coborârea cu o viteză prea mare pentru caracteristicile pantei. Cazurile tipice includ o pantă abruptă precedată de o pantă lină sau de un scurt sector plan.



Cum se detectează problemele

Accidente:

- accidente care implică un vehicul greu; pierderea controlului.

Circulație:

- diferențe de viteză importante între vehiculele grele și autoturisme;
- viteze excesive, grupuri de mașini, manevre de depășire periculoase.

Caracteristici ale drumului:

- înclinații ale pantelor mai mari decât valorile recomandate în standarde;
- caracteristici neașteptate (prima pantă abruptă, pante compuse).

Măsuri posibile

Vezi *Rezumat – Soluții posibile*

SEMNALIZARE

Descriere

Conducătorii vehiculelor grele trebuie să fie informați dinainte despre caracteristicile profilului longitudinal, pentru ca să-și poată reduce viteza înainte de a iniția coborârea, evitând astfel manevrele de decelerare dificile în pantă. Tabelul PL-2 prezintă recomandările generale în privința acestui subiect.

Panourile nu trebuie amplasate prea departe de începutul pantei, altfel există riscul de a fi ignorate. Distanțele de instalare trebuie adaptate la vitezele practicate. Baas (1993) arată că panourile ar trebui să se găsească între 25 m (30 km/h) și 200 m (100 km/h) de la începutul pantei.

Cum se identifică problemele

Accidente:

- accidente care implică un vehicul greu; pierderea controlului.

Circulație:

- viteze excesive, frânare tardivă.

Caracteristici ale drumului:

Se verifică:

- conformitatea cu normele (panou lipsă sau în plus, dimensiune, amplasare);
- vizibilitate și perceptibilitate a panourilor și celorlalte echipamente;
- starea panourilor (uzate, sparte, murdare, fără reflectivitate);
- nivel de avertizare adaptat la caracteristicile drumului.

Tabelul PL-2. Semnalizarea pantelor – Recomandări generale

PANTĂ LUNGĂ

Se indică înclinația și lungimea pantei



(Europa)

PANTĂ COMPUSĂ

Se indică valoarea fiecărei pante



(America de Nord)

PERICOL LA BAZĂ

Se indică dinainte prezența pericolului (intersecție, trecere la nivel, curbă strânsă etc.)

Panou de semnalizare într-o zonă de verificare a frânelor (Quebec). Vehiculul este imobilizat în exteriorul benzii de circulație și conducătorul auto are timp să decodifice această informație.



DRENAJ

Descriere

Instalațiile de drenaj în pante trebuie să permită eliminarea rapidă a apei de pe suprafață și să împiedice eroziunea accelerată a acesteia.

Capacitatea de drenaj trebuie adaptată celor mai puternice precipitații ce pot fi așteptate în mod normal în zonă.

Structurile de drenare deschise sau profunde, situate în proximitatea căilor de circulație, trebuie evitate căci constituie obstacole rigide ce pot agrava accidentele.



Instalație de drenare periculoasă pe un drum îngust în pantă.

Structurile de drenaj trebuie întreținute în mod regulat pentru a se evita colmatarea lor.

A se vedea de asemenea *Curbe verticale – drenaj*

Cum se identifică problemele (drenaj)

Accidente:

- accidente pe carosabil umed.

Caracteristicile drumului:

- capacitatea instalațiilor de drenaj în funcție de condițiile de ploaie (acumularea apei sau a resturilor, eroziune);
- structuri de drenaj periculoase (structuri deschise și profunde aproape de căile de circulație).

Măsuri posibile

- corectarea defecțiunilor suprafeței;
- striere transversală;
- îmbunătățirea instalațiilor de drenaj (îmbunătățirea capacității, reducerea gradului de pericolozitate).



Prezența a numeroase accese și caracteristicile instalațiilor de drenaj măresc riscul și potențialul de gravitate al accidentelor.

ZONE DE VERIFICARE A FRÂNELOR

Descriere

Aceste zone, construite în vârful unor declivități abrupte, permit conducătorilor vehiculelor grele să oprească la adăpost de trafic pentru a verifica starea sistemului lor de frânare.

În afară de faptul că permit detectarea problemelor mecanice evidente (miros de ars, fum), zonele de verificare a frânelor oferă și următoarele avantaje:

- ele îi forțează pe conducătorii auto să-și inițieze coborârea pornind din poziția oprit, eliminând astfel riscurile implicate de viteze inițiale excesive;
- deoarece sunt amenajate la adăpost de trafic, se pot obține informații detaliate asupra configurației pantei ce urmează și asupra dificultăților acesteia (figura PL-2).

Pentru a atinge obiectivele vizate, oprirea în aceste zone de verificare trebuie să fie obligatorie.

Figura PL-3. Zonă de verificare a frânelor

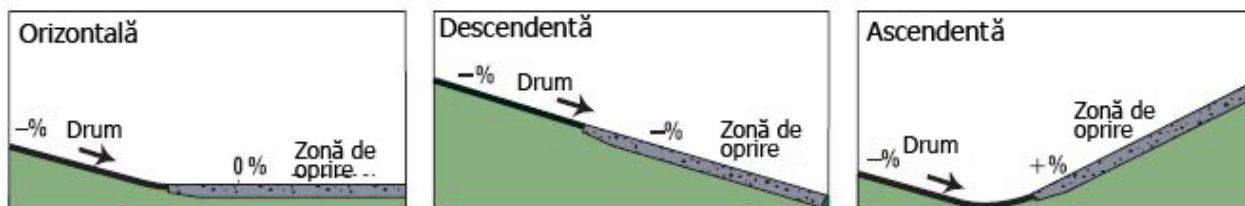


ZONE DE OPRIRE

Descriere

O zonă de oprire este o amenajare amplasată la marginea părții carosabile pentru imobilizarea vehiculelor grele în pericol prin împotmolire. Suprafața acestor amenajări rutiere este în general acoperită cu materiale granulare rotunde, cu diametrul de 5 până la 10 mm, care oferă mai multă rezistență la rulare decât nisipul, reducând astfel lungimea zonei de oprire. Depinzând de configurația locului, zona de oprire poate fi orizontală, în rampă sau în pantă (figura PL-4). Zona de oprire în pantă reduce distanțele de oprire, dar este imperativă utilizarea unui material de suprafață care să împiedice răsturnarea vehiculului.

Figura PL-4. Tipuri de zone de oprire



Realizarea unei zone de oprire trebuie prevăzută în cazul când:

- posibilitățile de pierdere a controlului vehiculelor grele sunt semnificative (după *analizele accidentelor* și ale *regimului de temperatură al frânelor*);

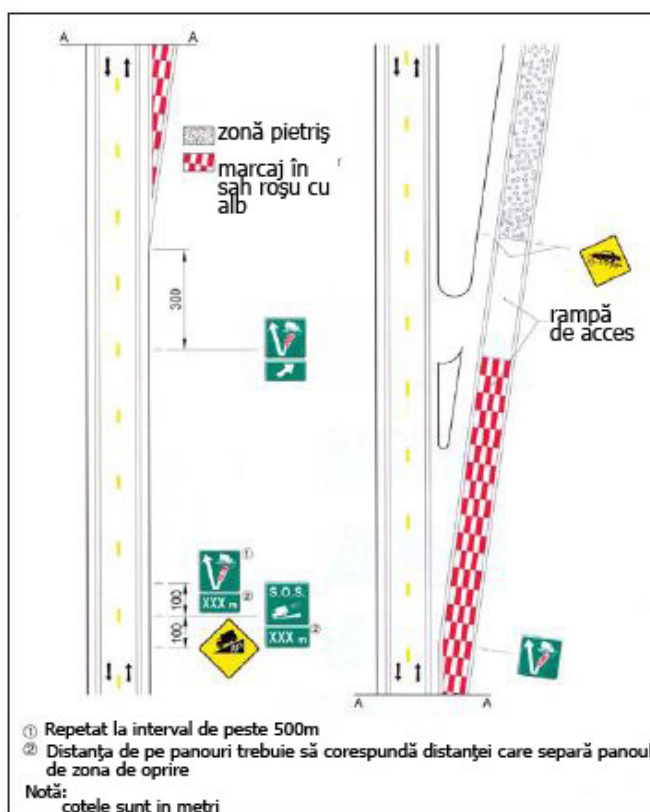
- consecințele eventualelor pierderi de control pot fi grave (de ex. la intrarea într-un sat).

De preferință acestea ar trebui amenajate pe sectoare drepte, căci amplasarea lor în curbă nu ar face decât să amplifice dificultățile de manevră ale conducătorului unui vehicul în pericol.

Trebuie prevăzută semnalizarea și marcajul corespunzătoare la apropierea de o zonă de oprire pentru ca prezența acesteia să fie ușor identificată și conducătorii auto aflați în dificultate să fie ghidați cu ușurință. În afară de aceasta, trebuie implantată o semnalizare pentru a informa pe ceilalți utilizatori ai drumului să nu se aventureze în aceste locuri (zonele de oprire sunt adesea construite în locații care oferă o vedere panoramică susceptibilă de a atrage turiștii care nu sunt în mod necesar familiarizați cu acest gen de amenajări).

Dat fiind costul ridicat, zonele de oprire nu sunt în general realizate decât în pantele unde s-au produs deja numeroase accidente de camion și după alte măsuri mai puțin costisitoare s-au dovedit ineficiente.

Figura PL-5. Exemplu – Semnalizarea și marcarea unei zone de oprire



Sursa: Ministerul transporturilor din Quebec, 1999

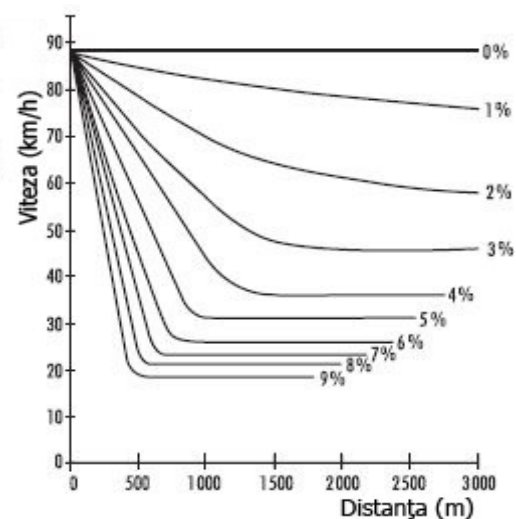
RAMPE – GENERALITĂȚI

Viteza maximă cu care un vehicul poate urca o rampă este în funcție de raportul masă/putere. Pentru majoritatea automobilelor, acest raport este suficient de redus pentru a le permite să mențină o viteză constantă în majoritatea rampelor. Totuși, în cazul vehiculelor grele acesta este mult mai ridicat, ceea ce duce la încetinirea lor.

În general, în etapa de proiectare, se utilizează rapoarte de 180 kg/kW sau 8,0 hp/tonă pentru a determina accelerația și decelerația vehiculelor grele în declivitate. Figura PL-6 ilustrează un exemplu de curbe de decelerare. Gradul de decelerare și reducerea vitezei cresc rapid în funcție de valoarea rampei.

Au fost realizate modele matematice pentru estimarea profilului de viteză al unui vehicul în funcție de raportul său masă/putere. Programul de calcul „*analiza pantelor*” calculează profilurile de viteză cu ajutorul metodei dezvoltate de Allen și alții (2000) (vezi *anexa PL-3* pentru mai multe detalii).

Figura PL-6. Curbe de decelerare



Sursa: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, Copyright 1994, de la American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C. Reprodus cu acord.

Cum se identifică problemele

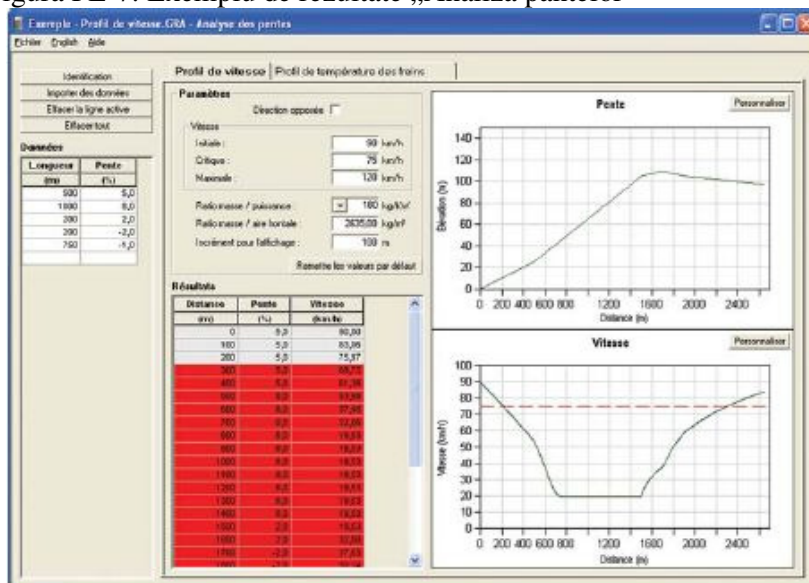
Accidente:

- coliziuni din spate;
- coliziuni frontale.

Circulație:

- diferențe semnificative de viteză;
- grupuri, depășiri periculoase;
- se calculează profilul vitezei unui vehicul greu tip.

Figura PL-7. Exemplu de rezultate „Analiza pantelor”



Măsurile posibile

Semnalizare
(distanță bandă de depășire)

Bandă pentru vehicule grele

Modificarea
profilului longitudinal

COST

BENZI PENTRU VEHICULE GRELE

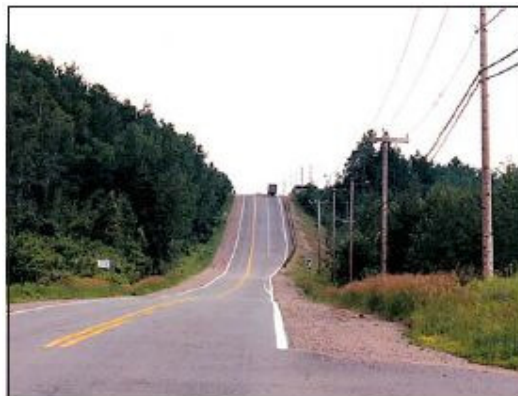
Descriere

Pot fi amenajate benzi suplimentare în pante pentru a permite depășirea sigură a vehiculelor grele.

Criteriile care justifică construirea unei asemenea benzi variază în funcție de țară; ele sunt stabilite prin compararea vitezei de urcare a unui vehicul greu cu unul sau altul din următorii parametri:

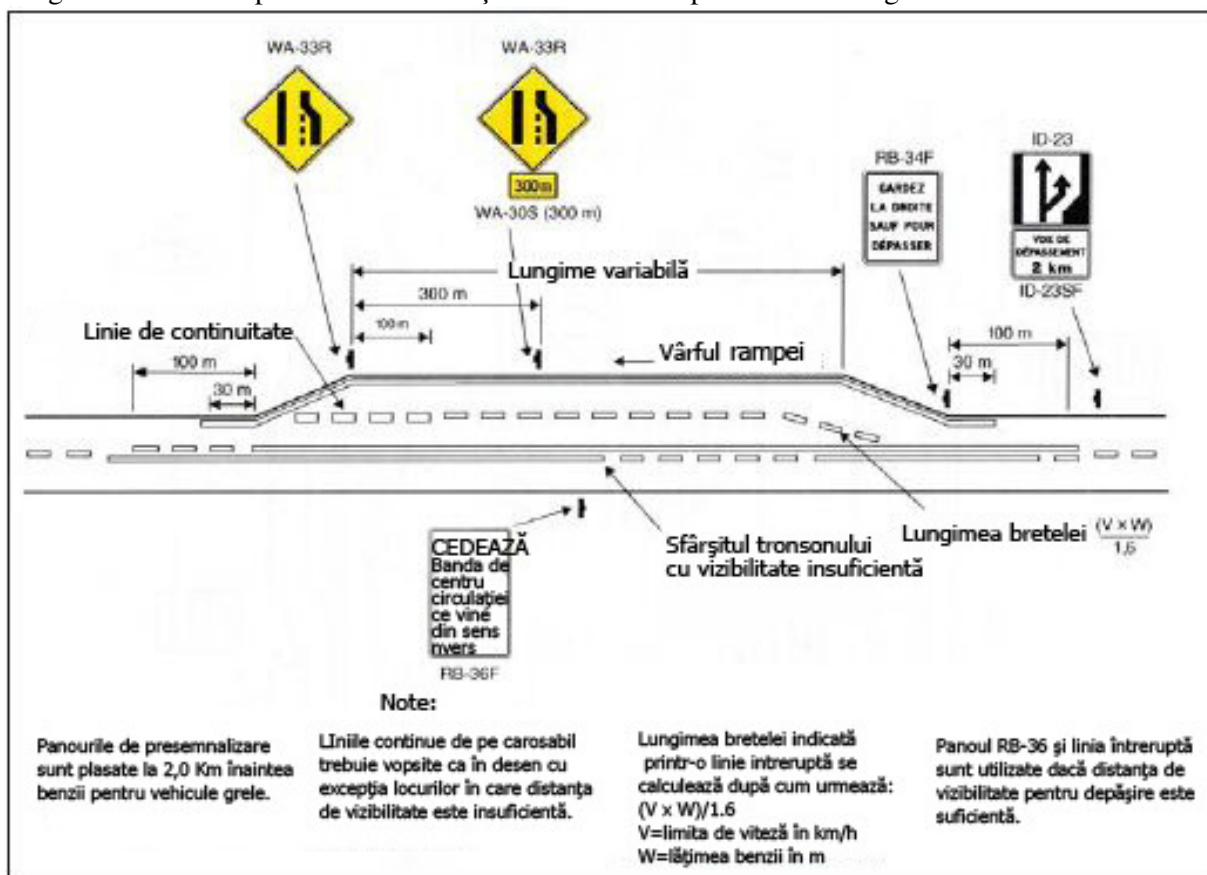
- viteza minimă absolută;
- viteza vehiculului greu înainte de pantă;
- viteza de urcare a unui autoturism.

În afară de diferențele de viteză, adesea sunt luate în calcul și debitele (total și al vehiculelor grele).



Exemplu de bandă pentru vehicule grele

Figura PL-8. Exemplu – Semnalizare și marcare bandă pentru vehicule grele



Sursa: Asociația Transportatorilor din Canada, 1998

Combinății de caracteristici

Prezența unei benzi pentru vehicule grele este susceptibilă de a încuraja depășirile cu viteze mari, ceea ce nu este compatibil cu vitezele mai scăzute ale vehiculelor ce părăsesc sau intră pe drum. Trebuie deci evitată juxtapunerea unor intersecții, sau a altor puncte de acces.



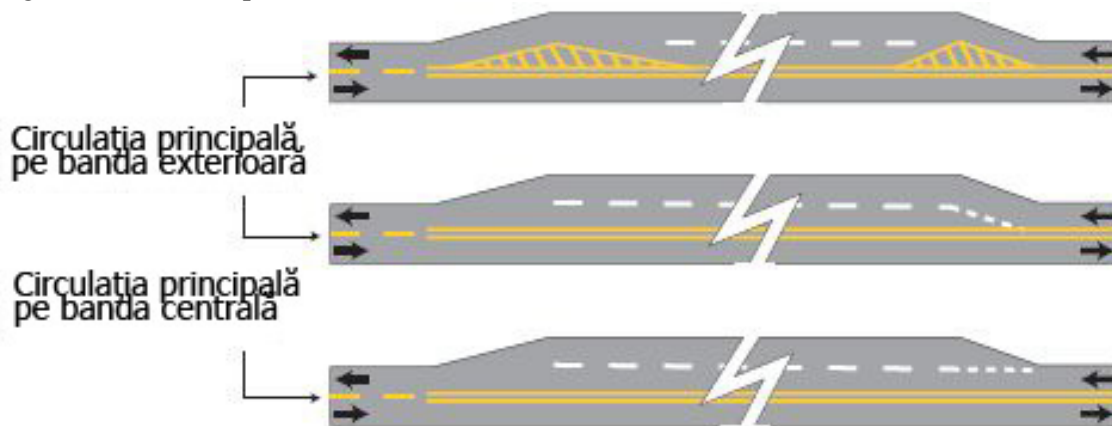
Se evită combinarea unei intersecții cu banda pentru vehicule lente

Gestiunea traficului (benzi pentru vehicule lente)

Gestiunea traficului în benzile pentru vehicule lente se poate realiza în două modalități:

- traficul principal pe banda exterioară (banda centrală este rezervată depășirilor);
- traficul principal pe banda centrală (banda exterioară este rezervată traficului lent).

Figura PL-9. Bandă pentru vehicule lente – Gestiunea traficului



Este mai bine să se rezerve banda exterioară pentru traficul principal deoarece este modul obișnuit de gestionare a traficului utilizat și în alte părți ale rețelei (vehiculele rămân pe banda exterioară în afară de cazul depășirilor).

Pentru a îmbunătăți eficacitatea și siguranța benzilor pentru traficul lent, este necesar:

- să fie informați conducătorii auto dinainte despre prezența unei astfel de benzi (de ex. figura PL-8);
- să fie informați dinainte despre terminarea acestei benzi (de ex. figura PL-8);
- să se evite încheierea benzii pentru vehicule lente într-un punct unde nu mai este posibilă completarea sau evitarea unei manevre sigure de depășire (datorită unei distanțe de vizibilitate insuficiente).

Siguranța

Studiile disponibile arată că benzile pentru vehicule lente pot reduce frecvența accidentelor cu 5 până la 15 % (Hauer și alții, 1996; Lamm și alții, 1999).

RAMPE – DRENAJ

Vezi *Pante – drenare*

CURBE VERTICALE - GENERALITĂȚI

Descriere

Sectoarele drepte ale profilului longitudinal (plane sau înclinate), care au înclinații distincte, sunt legate prin curbe verticale convexe și concave (**figura PL-1**).

Aceste curbe sunt caracterizate prin valoarea lui K^1 . Cu cât această valoare scade, cu atât curba este mai pronunțată și distanța de vizibilitate este mai limitată. Relația între geometria curbelor verticale și distanța de vizibilitate este descrisă în **anexa PL-4**.

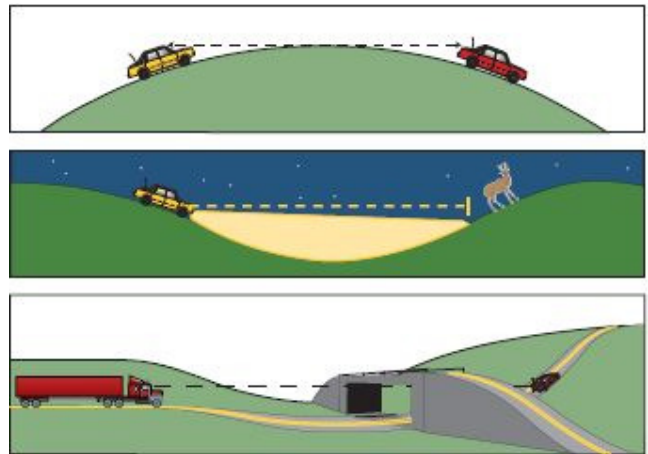
Restricțiile de vizibilitate sunt mai frecvente în curbele convexe decât în curbele concave, unde pot totuși apărea probleme fie din cauza unghiului fasciculului luminos al farurilor unui vehicul (noaptea) sau din cauza prezenței unor structuri deasupra drumului (viaduct, panou de semnalizare etc.). Acest din urmă punct este mai problematic pentru vehiculele grele, deoarece poziția conducătorului auto este mai ridicată decât într-un autoturism.

Ca peste tot în rețea, distanța de vizibilitate trebuie, în orice punct al curbei verticale, să fie cel puțin egală cu distanța de oprire, ceea ce face ca valorile minime ale lui K să fie adaptate la viteza de proiectare. În **anexa PL-1** se pot găsi valorile lui K recomandate în diferite țări.

Figura PL-10. Exemple - Valori ale lui K



Figura PL-11. Vizibilități reduse în curbe convexe și concave



Siguranță

După Orson și alții (1984), frecvența accidentelor în curbe convexe, unde distanța de vizibilitate este redusă, este cu 52 % mai ridicată decât în cele unde vizibilitatea nu este redusă.

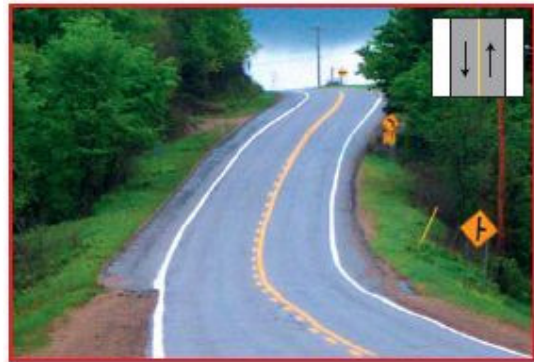
Combinății de caracteristici

În ceea ce privește vizibilitatea în pantă, următoarele probleme apar mai frecvent și trebuie identificate:

- o combinație de traseu în plan și profil longitudinal care provoacă o restrângere gravă a vizibilității;
- o sursă de conflicte de circulație într-o zonă cu vizibilitate redusă (de ex. curbă verticală convexă).



Combinăție de rampă și curbă orizontală strânsă cu vizibilitate redusă.



Datorită prezenței curbei verticale, conducătorii auto pot fi surprinși de prezența intersecției și a curbei orizontale

¹ $K = 100 \times R$ (raza de curbă verticală)

Cum se identifică problema

Accidente:

- coliziuni din spate, accidente care implică un singur vehicul.

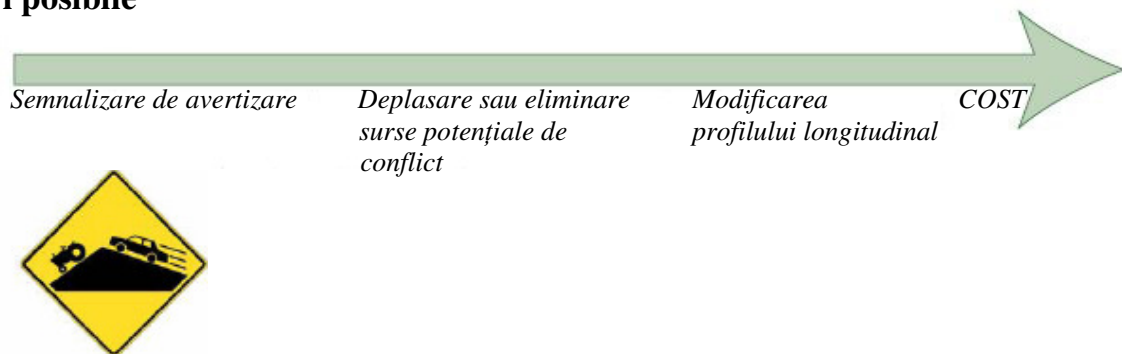
Circulația:

- conflicte de circulație.

Caracteristicile drumului:

- se compară distanța de vizibilitate disponibilă și distanța de vizibilitate de oprire;
- se verifică posibilitățile de conflict de circulație în curbele convexe în care vizibilitatea este redusă (intersecție, pasaj la nivel, intrare privată, sfârșit de bandă pentru vehicule lente), urme de frânare.

Măsurile posibile



DEPĂȘIRE

Descriere

Marcajul care interzice depășirea trebuie să fie vizibil pe suprafața de rulare atunci când distanța de vizibilitate disponibilă face aceste manevre periculoase. Trebuie evitate situațiile în care distanța de vizibilitate disponibilă este mai mică decât cea necesară pentru depășire, dar suficientă pentru ca unii conducători auto să își asume riscul unei depășiri.

Situațiile de depășire trebuie să fie evaluate nu doar în curbele convexe, ci și de o parte și de alta a acestor curbe (vezi: *Traseu în plan – depășiri*).



Marcaj care interzice depășirea într-o curbă verticală convexă.

Siguranța

După un studiu german, 23 % din accidentele care survin în curbele verticale în mediul extraurban sunt legate de manevre de depășire (Levin, 1995; citat de Lamm și alții 1999).

Cum se identifică problemele (depășire)

Accidente:

- coliziuni frontale sau laterale, ieșiri de pe drum.

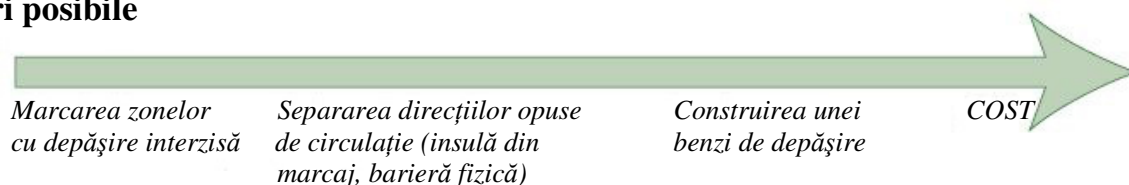
Circulație:

- circulație în grup, manevre de depășire periculoase.

Caracteristici ale drumului:

- se compară distanța de vizibilitate disponibilă cu distanța de vizibilitate de depășire;
- marcarea suprafeței (interdicere de depășire în punctele periculoase);
- ocazii de depășire suficiente de-a lungul drumului.

Măsuri posibile



DRENAJ

Descriere

Condițiile de drenaj trebuie să permită scurgerea rapidă a apei în curbele concave, care constituie locuri propice de acumulare a apei. O atenție deosebită trebuie acordată calității drenării atunci când curba concavă se situează în zona de tranziție care precedă o curbă orizontală (*Traseu în plan – dever*).

Vezi de asemenea *Pante – drenaj*



Acostament consolidat cu structură de drenaj în pantă

Cum se identifică problemele

Accidente:

- accidente pe carosabil umed.

Caracteristicile drumului:

- acumulare de apă sau resturi, eroziune;
- structuri de drenaj periculoase (structuri deschise și profunde aproape de benzile de circulație).

Măsuri posibile

- mărirea bombamentului părții carosabile;
- îmbunătățirea structurilor de drenaj (creșterea capacității acestora, reducerea riscurilor).

BIBLIOGRAFIE

American Association of State Highway and Transportation Officials (1994) *A Policy on geometric design of highways and streets*, Washington, DC. Documents may be purchased from the bookstore at 1-800-231-3475 or online at <http://bookstore.transportation.org>.

Allen, R.W., Harwood, D., Chrstos, J.P. et Glauz, W.D. (2000) *The capability and enhancement of VDANL and TWOPAS for analysing vehicle performance on upgrade and downgrade within IHSDM*, FHWA-RD-00-078, Federal Highway Administration, 137 p. (<http://www.tfhrc.gov/safety/00-078.pdf>).

Association des transports du Canada (1998) *Manuel canadien de la signalisation routière*. 4^e édition. Comité national de la signalisation routière, Ottawa, Canada.

Baass (1993) *Précis sur la signalisation routière au Québec*, Québec, Canada: Association québécoise du transport et des routes

Harwood, D.W., Council, F.M., Hauer, E., Hughes, W.E. et Vogt, A. (2000) *Prediction of the expected safety performance of rural two-lane highways*, FHWA-RD-99-207, Federal Highway Administration (<http://www.tfhrc.gov/safety/pubs/99207/>).

Hauer, E. and Persaud, B. (1996) *Safety analysis of roadway geometric and ancillary features*, Transportation Association of Canada, Ottawa, Canada.

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

Levin, C. (1995) *New ways for crest vertical curve design*, Commemorative volume to the 60th birthday of Univ.-Prof. Dr.-Ing. Walter Durtg, Technical University of Darmstadt, Germany.

Krammes, R.A. et Garnham, M.A. (1995) *Worldwide review of alignment design policies, Proceedings – International symposium on highway geometric design practices*, Boston, Massachuettis (<http://gulliver.trb.org/publications/circulars/ec003/toc.pdf>).

Ministère des Transports du Québec (1999) *Traffic control devices. Normes ouvrages routiers, Volume V*, Les publications du Québec, Québec, Canada.

Myers, T.T., AshKenas, I.L. et Johnson, W.A. (1980) *Feasibility of a grade severity rating system*, FHWA-RD-79-116, Federal Highway Administration.

Olson, P.L., Cleveland, D.E., Fancher, P.S., Koystyniuk, L.P. et Schneider, L.W. (1984) *Parameters affecting stopping sight distance*. NCHRP Report 270, Transportation Research Board, Washington, DC.

Rouchon, G. (1997) *Descentes de forte pente et de grande longueur sur les routes de type autoroute*, Note d'information 52, Centre de la sécurité et des techniques routières, France.

Transportation Association of Canada (1998) *Manual of uniform traffic control devices for Canada*, Ottawa, Canada.

Transportation Association of Canada (1999) *Geometric design guide for Canadian roads*, Ottawa, Canada.

Transportation Research Board (1987) *Designing safer roads, Practices for resurfacing, restoration, and rehabilitation*, Special Report 214, Washington, DC., 319 p. (http://trb.org/publications/sr/sr214/sr214_001_fm.pdf).

ANEXE PROFIL LONGITUDINAL

ANEXA PL-1. PARAMETRI DE PROIECTARE A PROFILULUI LONGITUDINAL

Tabelul PL-A1. Declivități maxime – Drumuri în mediul extraurban

ȚĂRI	Viteza de proiectare (km/h)								
	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Africa de Sud									
Câmpie	-	-	-	5	4	3,5	3	3	3
Deal	-	7	6	5,5	5	4,5	4	-	-
Munte	10	9	8	7	6	-	-	-	-
Germania	-	-	8	7	6	5	4,5	-	4
Australia									
Câmpie	-	-	6-8	-	4-6	-	3-5	-	3-5
Deal	-	-	7-9	-	5-7	-	4-6	-	4-6
Munte	-	-	9-10	-	7-9	-	6-8	-	-
Canada	7	7	6-7	6	4-6	4-5	3-5	3	3
drumuri secundare	11	11	10-11	9	7-8	6-7	5-7	5-6	5
Statele Unite									
câmpie	-	-	5	5	4	4	3	3	3
deal	-	-	6	6	5	5	4	4	4
munte	-	-	8	7	7	6	6	5	5
Fransa	-	-	7	-	6	-	5	-	-
Grecia	-	11	10	9	8	7	5	4,5	4
Italia	10	10	7	7	6	5	5	5	5
drumuri secundare	12	-	10	-	7	6	6	-	-
Japonia	7	6	5	-	4	-	3	-	2
Elveția	12	-	10	-	8	-	6	-	4

Tabelul PL-A2. Valori minime ale lui K – Curbe convexe

Țări	Viteza de proiectare (km/h)								
	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Africa de Sud	6	11	16	23	50	46	60	81	100
Germania	-	-	27	35	44	70	100	-	200
Australia	-	5	9	16	24	42	63	95	135
Canada	4	7	15	22	35	55	70	85	105
Statele Unite	5	10	18	31	49	71	105	151	202
Fransa	-	-	15	-	30	-	60	-	100
Grecia	-	15	20	27	43	54	75	110	150
Italia	5	-	10	-	30	-	70	-	140
Japonia	-	8	14	-	30	-	65	-	110
Elveția	15	21	30	42	60	85	125	200	-

Sursa: extras de Krammes and Gamham, 1995

Tabelul PL-A3. Valori minime ale lui K- Curbe concave

Țara	Viteza de proiectare (km/h)								
	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Africa de Sud	8	12	16	20	25	31	36	43	52
Germania	-	-	15	10	25	35	50	-	100
Canada	7	11	20	25	30	40	50	55	60
Statele Unite	8	12	18	25	32	40	51	62	73
Fransa	-	-	15	-	22	-	30	-	42
Grecia	-	14	19	25	33	42	52	63	75
Italia	6	-	12	-	22	-	39	-	58
Japonia	-	7	10	-	20	-	30	-	40
Elveția	8	12	16	25	35	45	60	80	-

Sursa: extras de Krammes and Gamham, 1995

ANEXA PL-2. TEMPERATURA FRÂNELOR ÎN PANTE

Energia totală a unui vehicul care ajunge în vârful unei pante este egală cu suma energiei sale cinetice și potențiale.

Energia cinetică este în funcție de masa vehiculului (m) și de viteza sa (v) în timp ce energia potențială este în funcție de denivelarea pantei (y) și de masa vehiculului (ec. PL-4 și PL-5).

$$E_{\text{cin}} = \frac{m \times v^2}{2} \quad [\text{Ec. PL-4}]$$

unde:

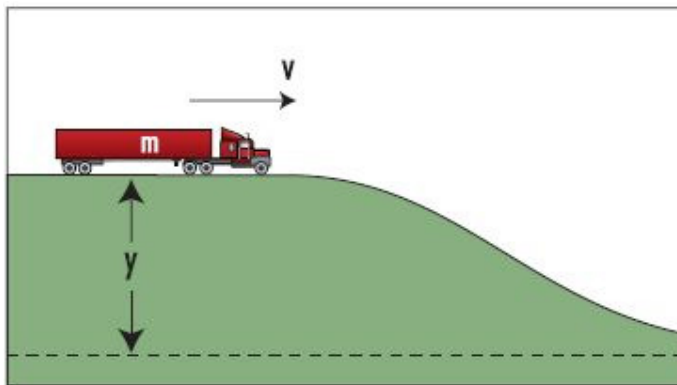
E_{cin} = energia cinetică (J)
 m = masa vehiculului (kg)
 v = viteza vehiculului (m/s)

$$E_{\text{pot}} = m \times g \times y \quad [\text{Ec. PL-5}]$$

unde:

E_{pot} = energia potențială (J)
 m = masa vehiculului (kg)
 g = $9,8 \text{ m/s}^2$
 y = denivelarea pantei (m)

Figura PL-A1. Vehicul în rampă



După legea conservării energiei, această energie potențială trebuie să fie disipată în cursul coborârii printr-o combinație de rezistențe (rulare, mecanică, aer, motor și frânare)².

Sistemele de frânare permit deci transformarea unei părți din această energie în căldură, prin aplicarea unei forțe de frecare între două corpuri metalice. O aplicare intensă sau apăsarea frânelor poate totuși duce la încălzirea acestora. Acest risc este deosebit de ridicat în cazul vehiculelor grele, a căror masă mai importantă mărește considerabil cantitatea de energie ce trebuie transformată în căldură (comparativ cu autoturismele).

Au fost dezvoltate mai multe modele matematice pentru evaluarea profilurilor de temperatură ale frânelor vehiculelor grele în pantă. Programul de calcul „analiza rampelor”, inclus în acest manual, utilizează modelul dezvoltat de Myers și alții (1980).

² Dacă vehiculul accelerează în pantă, o parte din energia potențială este transferată în energie cinetică.

Acest model utilizează următoarea ecuație (sistem englez):

$$T(t) = (T_i \times e^{-k_1 t}) + T_a \times (1 - e^{-k_1 t}) + k_2 \times P_B \times (1 - e^{-k_1 t}) \quad [\text{Ec. PL-6}]$$

unde:

- T_i = temperatura inițială a frânelor (valoare sugerată în lipsă: 150 °F)
- T_a = temperatura ambiantă (valoare sugerată în lipsă: 90 °F)
- k_1 = $1,23 + 0,0256 \times V$
- k_2 = $0,1 + 0,00208 \times V$
- P_B = putere de frânare (hp)

și:

- $P_B = P_G - P_E - P_F$
- P_G = puterea datorată pantei (hp)
- P_E = puterea de compresie a motorului (hp), (valoare în lipsă, fără încetinitor: 73 hp)
- P_F = putere de frecare (hp)

$$P_G = \frac{W \times G \times V}{375} \qquad P_F = \frac{(450 + 17,25 \times V) \times V}{375}$$

unde:

- W = greutatea vehiculului (lbs)
- G = valoarea pantei (%)
- V = viteza (mph)

După acest model, supraîncălzirea frânelor este deci funcție de:

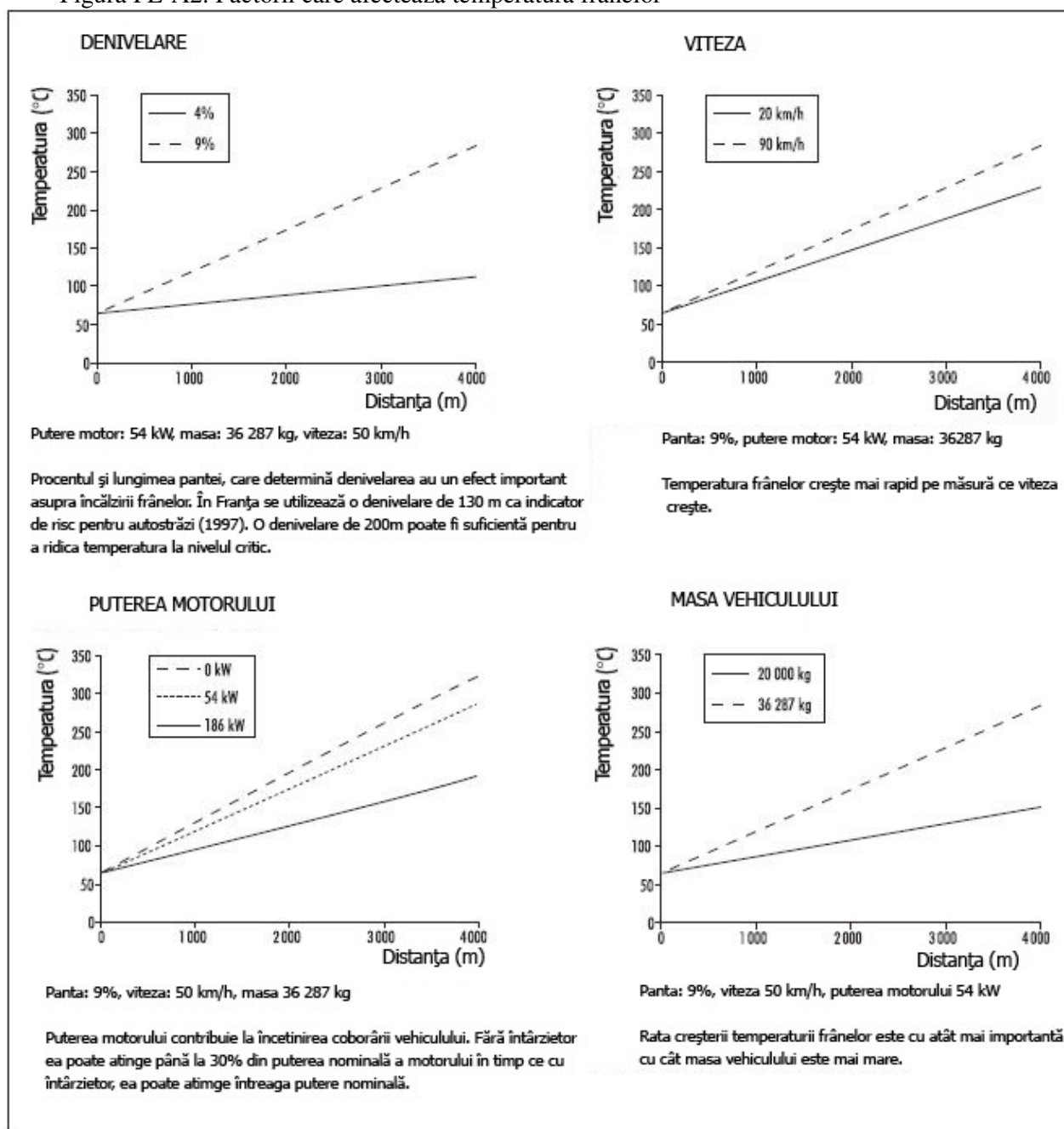
- pantă (valoare și lungime);
- viteza de coborâre;
- compresia motorului (și frâna de motor);
- masa vehiculului.

De asemenea trebuie luate în considerare:

- temperatura inițială a frânelor (care este în funcție de caracteristicile drumului în amonte de pantă);
- starea sistemului de frânare al vehiculului;
- caracteristicile vehiculelor grele care circulă pe sectorul respectiv;
- probabilitățile opririlor de urgență;
- strategia de conducere auto;
- etc.

Contribuția acestor factori este descrisă în cele ce urmează.

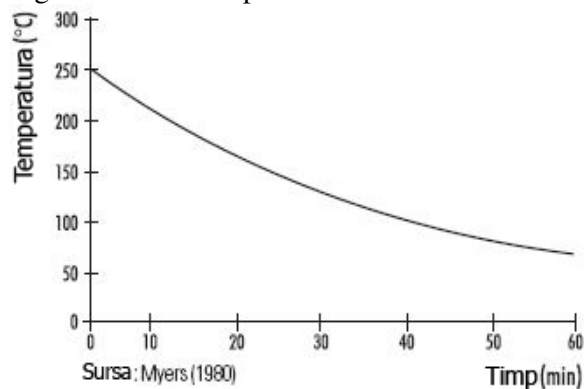
Figura PL-A2. Factorii care afectează temperatura frânelor



Alți factori care influențează gradul de creștere a temperaturii frânelor:

TEMPERATURA ÎNȚIALĂ A FRÂNELOR

Figura PL-A3. Timpi de răcire a frânelor



Deoarece frânele se răcesc încet, este necesară evaluarea temperaturii inițiale la începutul coborârii, ținând seama de caracteristicile unui sector de drum relativ lung situat în amonte (se verifică prezența pantelor, curbilor, opririlor obligatorii etc.).

STAREA MECANICĂ A VEHICULULUI

- defecțiunile la sistemul de frânare pot crește semnificativ gradul de încălzire a frânelor;

CARACTERISTICILE TRAFICULUI GREU

- numărul de vehicule grele
- tipul de mărfuri transportate (minereu, lemn etc.)

STRATEGIA DE CONDUCERE AUTO

- viteza inițială la începutul pantei
- viteza de coborâre
- strategia de frânare

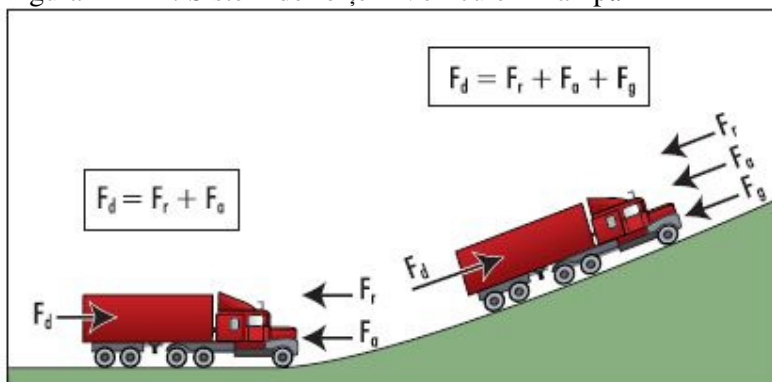
PROBABILITATEA REDUCERII VITEZEI SAU A OPRIRII

- oprire obligatorie
- intersecție sau altă traversare (la nivel, pietoni etc.)
- curbă strânsă

ANEXA PL-3 VITEZA VEHICULELOR GRELE ÎN RAMPE

Pentru a menține o viteză constantă, motorul unui vehicul greu trebuie să poată furniza o forță de tracțiune egală cu rezistența la rulare și rezistența aerului. La acești factori se adaugă, în rampă, o rezistență ce poate fi atribuită forței de gravitație.

Figura PL-A4. Sistem de forțe – Vehicule în rampă



unde:

- F_d = forța de tracțiune a motorului (N)
- F_r = rezistența la rulare (N)
- F_a = rezistența aerului (N)
- F_g = rezistența rampei (N)

Dacă forța de tracțiune a motorului este inferioară sumei acestor rezistențe, vehiculul încetinește.

Au fost dezvoltate mai multe modele de estimare a vitezei vehiculelor în rampă. Programul de calcul „*Analiza declivităților*” utilizează modelul semi-empiric propus de Allen și alții (2000). Gradul de accelerare sau de decelerare al vehiculului este estimat în funcție de viteza sa, de putere, de aria frontală și de valoarea declivității.

Profilul de viteză al unui vehicul este calculat pe intervale scurte de distanță, după următorul algoritm:

1. se alege intervalul de distanță (d) (valoarea sugerată în lipsă în programul de calcul este de 3,28 pi sau 1 m);
2. se alege viteza inițială a vehiculului la începutul urcării (v_i);
3. se calculează a_c (acceleerația la roata liberă), a_p (acceleerația limitată de putere) și a_e (acceleerația efectivă) cu ajutorul ecuațiilor de mai jos:

$$a_c = -0,2445 - 0,0004v_i - \frac{0,021C_{de}v_i^2}{(W/A)} - \frac{222,6C_{pe}}{(W/NHP)v_i} - g \times \frac{G}{100} \quad [\text{Ec. PL-7}]$$

unde:

- a_c = acceleerație la roata liberă (pi/s^2)
- v_i = viteza inițială a vehiculului (pi/s)
- C_{de} = factor de corecție de altitudine pentru convertirea rezistenței aerului de la nivelul mării la cea a înălțimii locale E (pi)
- $C_{de} = (1 - 0,00000688 E)^{4,255}$
- W = greutatea vehiculului (lb)
- A_f = aria frontală a vehiculului (pi^2)
- C_{pe} = factor de corecție de altitudine pentru convertirea puterii nete a motorului cu benzină la nivelul mării la cea a înălțimii locale E (m)
- $C_{pe} = 1 - 0,00004 E$
- NHP = puterea nominală netă la nivelul mării (hp)
- g = acceleerația gravitațională ($32,2 \text{ pi/s}^2$)
- G = declivitatea (%)

$$a_p = \left[a_c + \frac{15368 C_{pe}}{(W / NHP) v_i} \right] / \left[1 + \frac{14080}{(W / NHP) v_i^2} \right] \quad [\text{Ec. PL-8}]$$

unde:

a_p = accelerația limitată de putere (m/s^2)

$$a_e = \left[\frac{0,4 v_i}{0,4 v_i + 1,5 S_p (a_p - a_c)} \right] \times a_p \quad [\text{Ec. PL-9}]$$

unde:

S_p = + 1 sau - 1, în funcție de semnul lui a_p

4. se calculează viteza vehiculului la sfârșitul sectorului (v_f) cu ajutorul ecuației următoare:

$$v_f = \sqrt{v_i^2 + 2 a_e d}$$

unde:

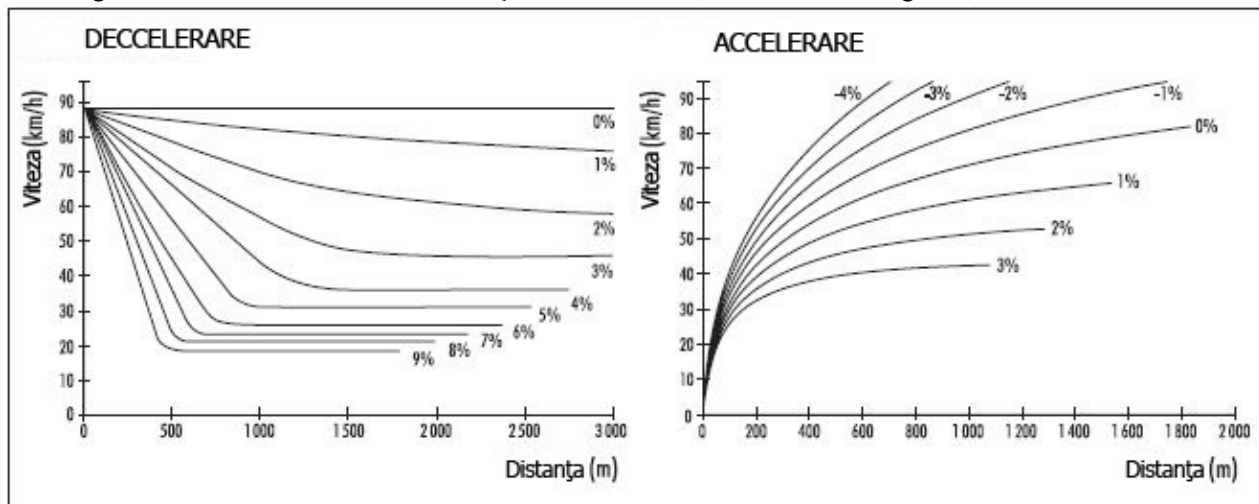
d = interval de distanță (m)

5. viteza finală devine viteza inițială a intervalului următor și etapele 2...5 se repetă până la sfârșitul declivității.

(dacă $v_i < 10 \text{ m/s}$, termenul $0,4 v_i = 10$)

Acest algoritm permite obținerea unor curbe de decelerare și accelerare ale vehiculelor lente pe sectoare cu declivități similare cu cele din figura PL-A5.

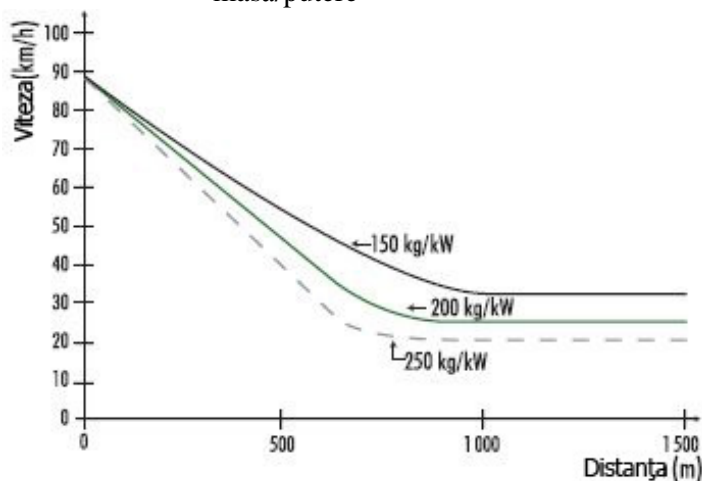
Figura PL-A5. Curbe de decelerare și de accelerare (camion de 180 kg/kW)



Raportul masă/putere (M/P)

Raportul masă/putere (M/P) este deseori utilizat pentru a caracteriza capacitățile de accelerare și de decelerare ale vehiculelor grele în declivități deoarece există o bună corelare între masa unui vehicul și forțele de rezistență care acționează asupra acestuia. Viteza maximă ce poate fi obținută în rampă diminuează pe măsură de raportul M/P crește.

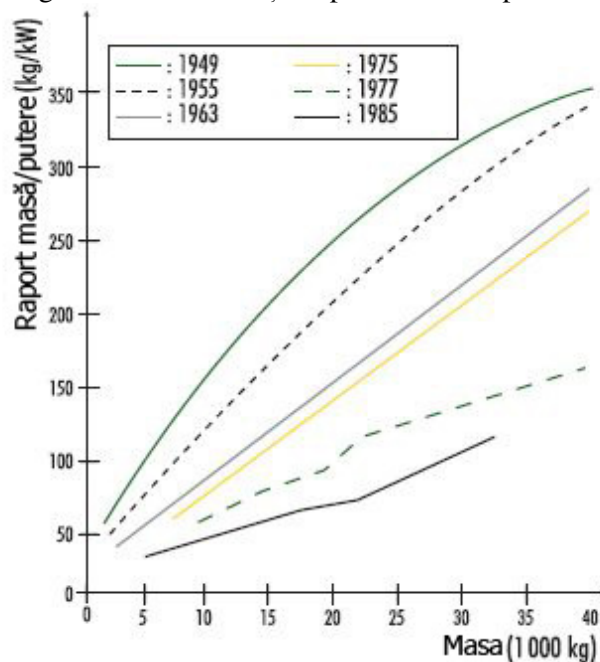
Figura PL-A6. Curbe de decelerare după raportul masă/putere



În America de Nord se utilizează un raport masă/putere de 180 kg/kW în timp ce în Europa, se utilizează mai degrabă raportul putere/masă (în multe țări se utilizează o valoare de 7,5 până la 8,0 hp/tonă, ceea ce echivalează cu 180 kg/kW).

Trebuie notat că performanțele vehiculelor grele s-au îmbunătățit din anii 1950. În consecință, trebuie luată în calcul și vârsta medie a parcului de vehicule grele al țării la estimarea gradelor de decelerare în rampă.

Figura PL-A7. Evoluția raportului masă/putere



Sursa: American Association of State Highway and Transportation Officials, 1994

ANEXA PL-4. VIZIBILITATE ÎN CURBELE VERTICALE

Lungimile minime necesare pentru curbele verticale (L) pot fi determinate cu ajutorul ecuațiilor matematice. Se disting 3 cazuri:

- curbă verticală convexă;
- curbă verticală concavă (iluminare faruri);
- curbă verticală concavă (structură deasupra carosabilului).

Ecuțiile diferă dacă distanța de vizibilitate este inferioară sau superioară lungimii curbei.

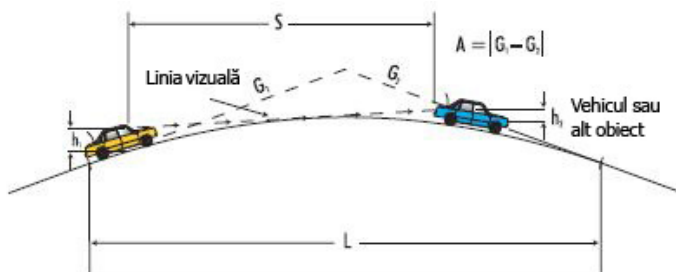
Curbă verticală convexă

Pentru $S < L$

$$L = \frac{A \times S^2}{200(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}$$

Pentru $S > L$

$$L = 2S - \frac{200(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}{A}$$



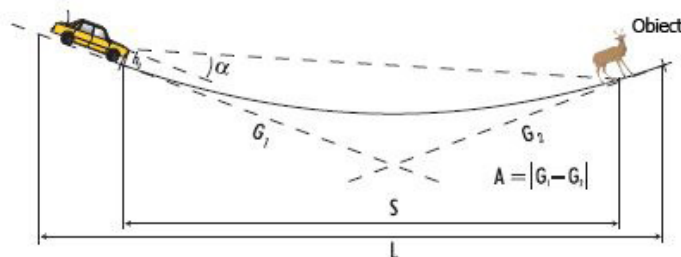
Curbă verticală concavă (iluminare faruri)

Pentru $S < L$

$$L = \frac{A \times S^2}{200(h_3 + S \tan \alpha)}$$

Pentru $S > L$

$$L = 2S - \frac{200(h_3 + S \tan \alpha)}{A}$$



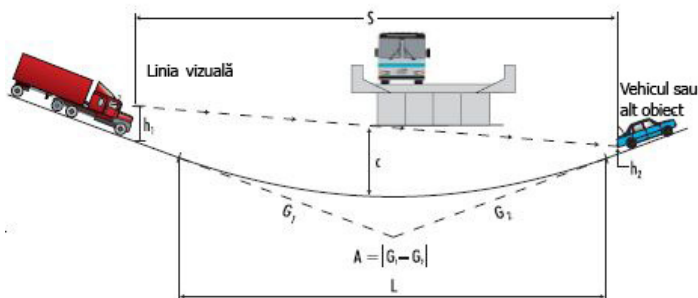
Curbă verticală concavă (structură deasupra carosabilului)

Pentru $S < L$

$$L = \frac{A \times S^2}{800(c - \frac{h_1 + h_2}{2})}$$

Pentru $S > L$

$$L = 2S - \frac{800(c - \frac{h_1 + h_2}{2})}{A}$$



L = lungimea curbei verticale (m)

S = distanța de vizibilitate (m)

h3 = înălțimea farurilor (m)

h2 = înălțimea obiectului considerat (m)

h1 = înălțimea ochilor conducătorului auto (m)

α = unghiul fasciculului farurilor în raport cu planul vehiculului

A = diferența algebrică a declivităților

C = înălțimea liberă a structurii deasupra carosabilului (m)

G1, G2 = declivitățile (%)