

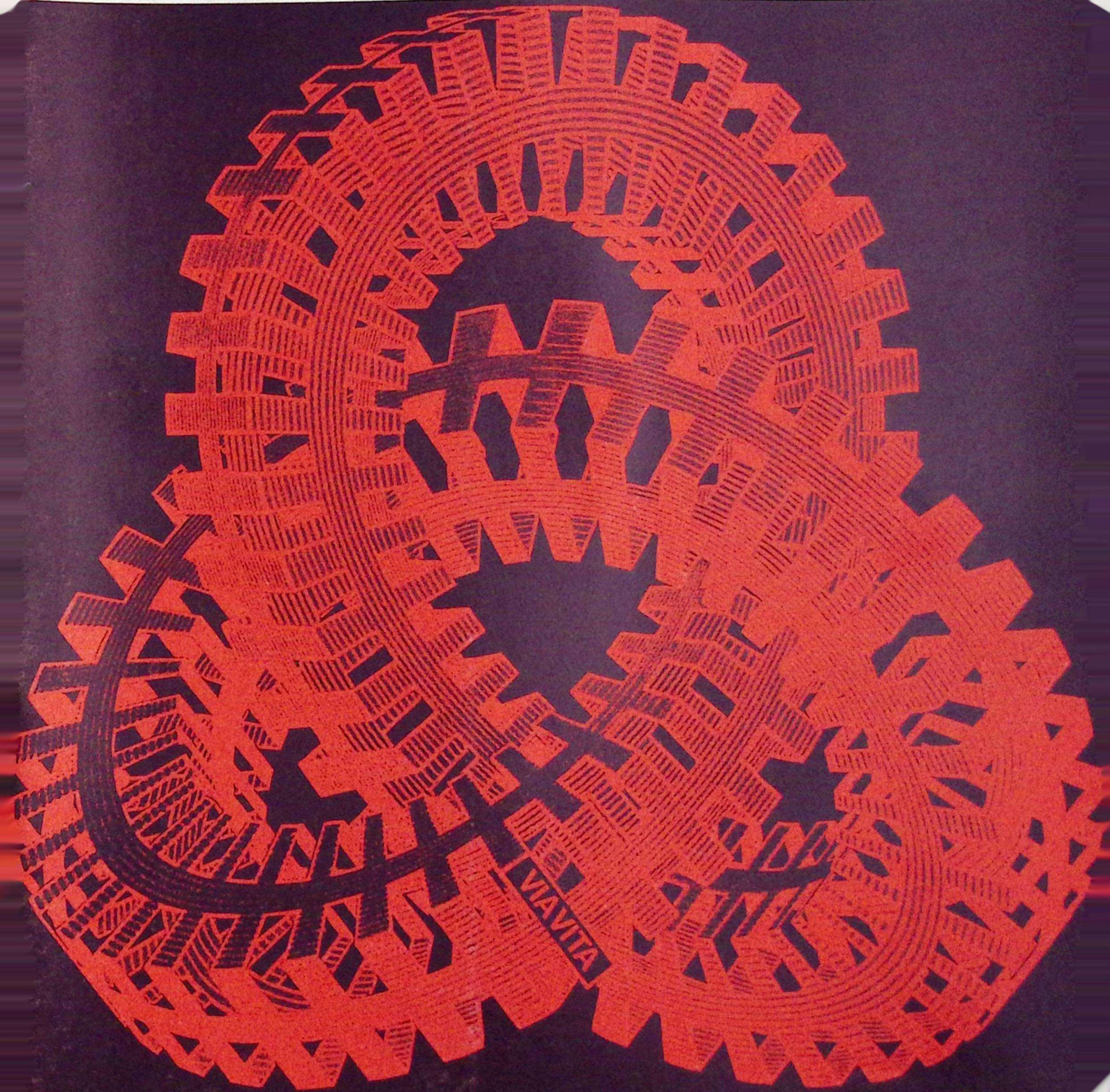
CESTE I MOSTOVI

ČASOPIS ZA PROJEKTIRANJE, GRADENJE, ODRŽAVANJE
I TEHNIČKO-EKONOMSKA PITANJA CESTA, MOSTOVA I AERODROMA

Vol. 27

Zagreb, 1981.

Broj 10



1. Uvodno razmatranje

Prilikom vožnje u krivini, na motornom vozilu, pored ostalih sila koje su poznate pri vožnji u pravcu, djeluje i bočna, tzv. centrifugalna sila.

Intenzitet djelovanja tih sila je proporcionalan kvadratu brzine, a obrnuto proporcionalan polumljeru krivine. To znači, ako je brzina kretanja veća, bit će i sila znatno veća, ili, ako je krivina oštrija, sila će također biti veća.

Stabilnost vozila u krivini promatra se kao:

- mogućnost prevrtanja, i
- mogućnost klizanja vozila, tj. da se vozilo zanositi na kolniku.

Većina osobnih automobila je konstruirana tako da je odnos momenta nestabilnosti i momenta stabilnosti takav da će vozilo prije doći u zanošenje — klizanje nego će se prevrnuti. Kod teških vozila, a posebno kod onih natovarenih u visinu, moment nestabilnosti može nadvladati moment stabilnosti i može doći do prevrtanja vozila.

Da bi se poboljšali uvjeti stabilnosti, u krivinama se često naginje k centru krivine, i taj poprečni nagib kolnika povećava stabilnost prolaza vozila.

Ako su bočne sile velike, a sila prijanjanja na kolniku nedovoljna, što je slučaj npr. na klizavom kolniku, one mogu da nadvladaju silu vodenja i dolazi do bočnog klizanja vozila. Po pravilu, do klizanja ne dolazi na obje osovine istovremeno, a to je u velikoj mjeri zavisno od rasporeda težine u vozilu, vrste pogona, stanja pneumatika, konstrukcije vješanja, ogribljenja i drugih faktora.

U osnovi razlikujemo tri grupe vozila prema ponašanju u krivini.

Prva grupa vozila je ona kod koje dolazi prvo do klizanja prednje osovine, i to u momentu ulazanja u krivinu. Ovo je slučaj kod svih vozila koja imaju težnije pomjereno naprijed, dakle, koja imaju motor naprijed, a posebno je izraženo kod vozila koja imaju i pogon na prednje kotače. Takva vozila nestabilna su pri ulasku u krivinu, dok se kroz središte krivine i na izlasku ponašaju stabilno. U slučaju da dođe do klizanja prednje osovine potrebno je tzv. »dodavanje volana«, tj. još više skretanji upravljač k centru krivine.

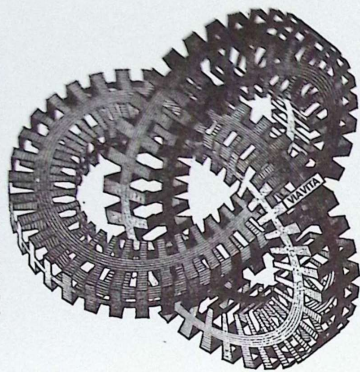
Dodavanjem gasa, vozilo s prednjim pogonom u krivini klizi prednjim krajem k ivici krivine. Oduzimanjem gasa može se zaustaviti klizanje prednje osovine vozila i dovesti do zanošenja zadnje osovine u krivini. Po pravilu, vozila s prednjim pogonom ponašaju se relativno stabilno i ako vozač ne vrši nikakve korekcije upravljačem, akceleracijom ili deceleracijom (kočenjem).

Drugi je slučaj kad vozilo ima motor naprijed, a pogon straga. Pri brzom ulasku u krivinu, kod ovih vozila najčešće dolazi na ulasku u krivinu do klizanja prednje osovine, a pri izlasku iz krivine do klizanja stražnje osovine. Ovo klizanje se osobito pojačava ako se dodaje gas i grubo mijenja stupanj prijenosa. U tom slučaju pogonske i kočne sile na stražnjoj osovini dovode do gubitka sile vodenja i stražnje osovine, s tendencijom da proklize u pravcu vanjskog ruba krivine. To izbacuje vozilo iz pravca, pa ovakvu vrstu klizanja vrlo često ne može smiriti prosječan vozač.

Prema tome, vozilo neće izaci iz krivine ukoliko je sila inercije pri određenoj brzini u krivini manja od sile trenja koja se javlja između pneumatika i cestovne plohe (sl. 1).

CESEMOSIOM

GLASILO SAVEZA DRUŠTAVA
ZA CESTE HRVATSKE I
SAVEZA DRUŠTAVA ZA
PUTOVE JUGOSLAVIJE



ČASOPIS ZA PROJEKTIRANJE,
GRAĐENJE, ODRŽAVANJE I
TEHNIČKO-EKONOMSKA
PITANJA CESTA, MOSTOVA
I AERODROMA

SADRŽAJ

Prof. dr. Franko Rotim, Zagreb	287
Elementi za određivanje granične brzine pri kretanju motornog vozila u krivini	287
Mr Mladen Gledec, Zagreb	295
Metode vrednovanja preventivnih mjera i akcija s aspekta sigurnosti prometa na cestama	295
Dr Branimir Ujduć, Beograd	303
Željeznička stanica »Beograd« u Prokupu i njeno povezivanje s gradskim prometnicama — problem beogradskoga željezničkog čvora	303
Deveti svjetski kongres za ceste IRF-a, Stockholm, 1—5. VI 1981.	307
Iz rada Saveza i društava za ceste	314

POZIV NA KOLEKTIVNO UČLANJENJE

Časopis »Ceste i mostovi« izdaje Savez društava za ceste Hrvatske, član Saveza društava za putove Jugoslavije.

Pozivamo sve kolektive čija je djelatnost vezana za područje cestogradnje, mostogradnje i cestovnog prometa općenito da se učlane u Savez društava za ceste Hrvatske.

Osnovna je svrha časopisa »Ceste i mostovi« da upoznaje članstvo s najnovijim dostignućima i iskustvima u projektiranju, građenju, održavanju i svim pitanjima na unapređenju cestovne mreže.

Kolektivna članarina određuje se suzdržano veličini i značenju poduzeća — kolektivnog člana, a najniža može iznositi 1.600 dinara.

Kolektivni članovi, uplatom članarine, besplatno primaju časopis. Godišnja pretplata: za poduzeća — 600.— dinara; za ostale pretplatnike — 120.— dinara; za inozemstvo — 60 US dolara.

Pojedini primjerci: za poduzeće — 50.— dinara; primjerkak u prodaji 12.— dinara.

Članovi Saveza društava za ceste Hrvatske, uplatom članarine, stiču pravo na besplatno primanje časopisa. Godišnja članarina je od 120.— dinara.

Člana oglas: omojna stranica — 6.000.— dinara; unutarnja 1/4 — 5.000.— dinara, 1/2 — 3.600.— dinara, 1/4 — 2.500.— dinara; inozemni oglas: 1/1 — 660 US dolara, 1/2 — 500 US dolara, 1/4 — 350 US dolara.

Urednički odbor:

mr Mladen Lamer, dipl. inž., Zagreb, glavni i odgovorni urednik, Darjko Milinarić, dipl. inž., Zagreb, zamjenik glavnog i odgovornog urednika, mr Branimir Babić, dipl. inž., Zagreb, mr Jovo Beslač, dipl. inž., Zagreb, Dušan Deković, inž., Rijeka, Kresimir Dugi, dipl. inž., Osijek, Endy Jakić, dipl. inž., Split, Stjepan Kovač, dipl. inž., Zagreb, mr Ivan Liović, dipl. oec., Zagreb, Tomislav Megić, dipl. inž., Zagreb, Josip Novak, dipl. oec., Zagreb, Branka Petrović, dipl. inž., Zagreb, Zvonko Pilko, dipl. inž., Zagreb, Franjo Pregac, dipl. oec., Zagreb, dr Zdravko Ramljak, dipl. inž., Zagreb, Josip Sekopeć, dipl. inž., Zagreb, Karlo Telen, inž., Zagreb, Vladimir Weber, dipl. inž., Zagreb.

Tehnički urednik: Mirjana Zec, prof.

Klasifikacija i indeksiranje po UDK i IKRD: Marko Peručić

Grafička obrada: Branko Zlamalik

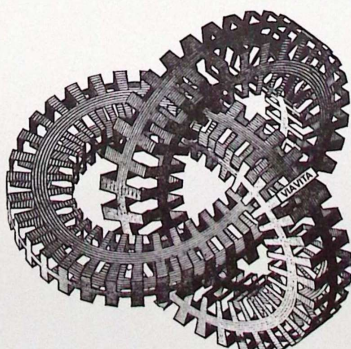
Časopis izlazi mjesečno.

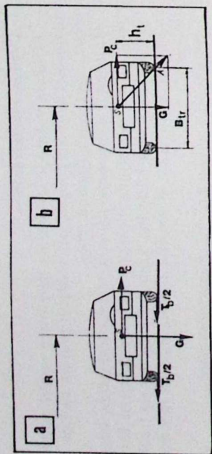
Tisak: NISRO »Vjesnik« — OOUR TMG — Pogon VS

Ortjez na naslovnoj strani: M. C. Escher — Čvorovi (detalji)

Časopis izdaje Savez društava za ceste Hrvatske, Zagreb, Vontčinina ulica 3, tel. 445-422/63, pošl. pret. 673, žiro-račun 30102-678-271

CESEMOSIOM





Slika 1 — Sile koje djeluju na vozilo u krivini
a — opći slučaj u razmatranju
b — granična brzina kretanja vozila kroz horizontalnu krivinu

Graničnu brzinu, gdje još nemamo zanošenje, dobivamo iz vrijednosti radijalne (centrifugalne) sile inercije i sile trenja. Ukoliko je sila inercije za danu krivinu veća od sile bočnog trenja, vozilo se ne može kretati po određenoj putanji nego ono kontinuirano klizi prema vanjskoj strani krivine.

1.1. Određivanje granične brzine kretanja vozila u krivini s obzirom na mogućnost prevrtanja
Vozilo s visokim težištem lako se može prevrnuti u krivini, jer će radijalna, tj. centrifugalna sila inercije prevrnuti vozilo oko dodirne točke. To će nastupiti u slučaju kada rezultantna sila teže i centrifugalne sile padne izvan dodirne točke kotača i podloge (sl. 1b).
Nisko težište osobnih vozila ukazuje nam na to da će vozilo prije doći u zanošenje nego što će se prevrnuti. Graničnu brzinu zanošenja određujemo po sljedećem izrazu:

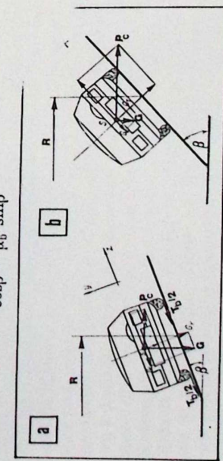
$$V_{zan} = \sqrt{g h_1 R} \quad [m/s] \quad (1)$$

Graničnu brzinu s obzirom na prevrtanje određujemo po sljedećem izrazu:

$$V_{prev} = \sqrt{g R \frac{B_{tr}}{2 h_1}} \quad [m/s] \quad (2)$$

1.2. Kretanje vozila u krivini s poprečnim nagibom kolnika a s obzirom na zanošenje i prevrtanje
Graničnu brzinu kretanja vozila u horizontalnoj krivini s poznatim polumerom R i poprečnim nagibom β određujemo po sljedećem izrazu:

$$V_{zan} = \sqrt{g R \frac{\sin\beta + \mu_0 \cos\beta}{\cos\beta - \mu_0 \sin\beta}} \quad [m/s] \quad (3)$$



Slika 2 — Sile koje djeluju na vozilo u horizontalnoj krivini s poprečnim nagibom
a — općenito razmatranje
b — granični slučaj kretanja vozila bez izljetanja iz krivine

Izraz 3 možemo prikazati i u drugoj formi:

$$V_{zan} = 3,13 \sqrt{\frac{R(tg\beta + \mu_0)}{1 - \mu_0 tg\beta}} \quad [m/s]$$

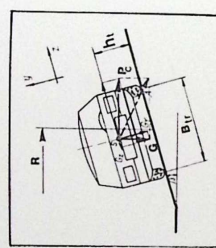
$$V_{zan} = 11,27 \sqrt{\frac{R(tg\beta + \mu_0)}{1 - \mu_0 tg\beta}}$$

Vozilo pri kretanju u krivini neće doći u zanošenje ukoliko je $ctg\beta$ jednak ili veći od μ_0 .
Graničnu brzinu kretanja vozila u krivini, a s obzirom na prevrtanje, određujemo prema jednom od sljedećih izraza:

$$V_{prev} = \sqrt{\frac{gR(B_{tr} + 2 h_1 tg\beta)}{2 h_1 - B_{tr} tg\beta}} \quad (6)$$

ili

$$V_{prev} = \sqrt{\frac{gR(tg\beta)}{1 - \frac{B_{tr}}{2 h_1} tg\beta}} \quad [m/s] \quad (7)$$



Slika 3 — Granična brzina kretanja vozila s obzirom na prevrtanje

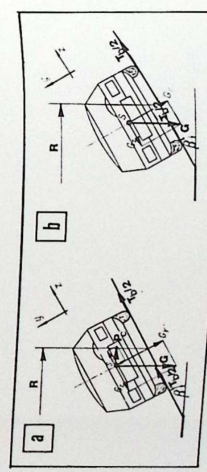
Postoji β_{min} , tj. kut poprečnog nagiba pri čemu vozilo dolazi do granice poprečnog nagiba pri određenoj brzini. Daljnjim povećanjem kuta poprečnog nagiba dolazimo do takvog poprečnog nagiba kolnika gdje se vozilo neće prevrnuti ni s beskonačno velikom brzinom.

Graničnu vrijednost kuta određujemo po sljedećem izrazu:

$$tg\beta = \frac{2 h_1}{B_{tr}}$$

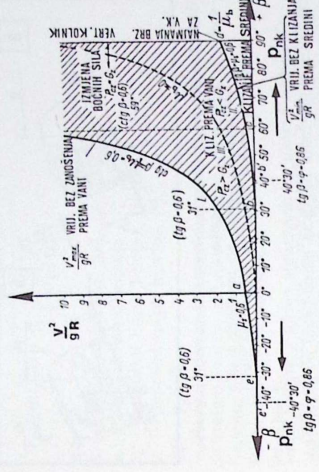
Kako vidimo, granična vrijednost kuta zavisi od razmaka kotača i od visine težišta. Kod točnijeg proračuna treba se uzeti i obzir da položaj težišta (visina i bočni razmak) nije konstantan.

1.3. Granična brzina kretanja vozila u horizontalnoj krivini s obzirom na zanošenje prema sredini krivine
Vozilo neće doći u zanošenje prema sredini krivine ukoliko je sila bočnog trenja dovoljna da održi vozilo na putanji kretanja i unatoč djelovanju centrifugalne (radijalne) sile inercije.



Slika 4 — Zanošenje vozila prema unutrašnjosti krivine s obzirom na zanošenje prema unutrašnjosti krivine i prevrtanje vozila na kolniku s poprečnim nagibom bez izljetanja prema unutrašnjosti krivine

Najmanja brzina zanošenja — klizanja prema unutrašnjosti krivine može se vidjeti na krivulji II pri vrijednosti $\mu_0 = 0,6$, a na osnovi vrijednosti $tg\beta = \mu_0$.



Slika 6 — Granične krivulje s obzirom na kretanje vozila u krivini s poprečnim nagibom

U točki b za vrijeme mirovanja vozilo neće klizati prema unutrašnjosti krivine. Lagani uspon krivulje počinje kod vrijednosti $\beta = 31^\circ$ i završava se kod vertikalnog kolnika, tj. kod $\beta = 90^\circ$. Na početku laganog uspona $tg 31^\circ = 0,6$. Između dviju krivulja imamo interval brzina gdje nema klizanja i vozilo u granici $V_{max} - V_{min}$ može da promijeni brzinu bez klizanja.

Središnja krivulja III dijeli moguće vrijednosti V^2/gR na dva dijela. Ova krivulja određuje vrijednost kuta poprečnog nagiba kolnika i odnosa brzine, gdje bi vozilo ostalo na kolniku i pri vrijednosti $\mu_0 = 0$.

U polju iznad krivulje pri odnosu sila $P_{cz} > G_x$ i u slučaju $\mu_0 = 0$ dolazi do klizanja prema vanjskoj strani krivine. Zbog toga, tu je već potrebno prijanjanje između kotača i kolnika. Ovdje ravnotežu s centrifugalnom silom P_{cz} drži bočna sila trenja T_b . U polju ispod krivulje imamo obrnuti slučaj, jer je $P_{cz} < G_x$, pa ovdje bočna sila treba da sprijечи klizanje vozila u pravcu poprečnog nagiba.

Točka a daje nam brzinu vozila u slučaju vožnje kroz horizontalnu krivinu s polumerom R kod koje ne dolazi do klizanja uslijed centrifugalne sile.

Točka b daje nam najmanju brzinu kretanja vozila, pri čemu vozilo u slučaju $V_{min} = 0$ neće klizati u pravcu nagiba.

Točka c daje nam najmanju vrijednost poprečnog nagiba, pri čemu vozilo ni s beskonačno velikom silom neće doći u klizanje i tako izaći iz krivine.

Točka d daje nam najmanju brzinu, pri čemu vozilo neće klizati s vertikalnog zida s polumerom R.

Točka e daje nam najmanju brzinu $V_{min} = 0$, pri čemu vozilo u slučaju negativnog poprečnog nagiba neće klizati u trenutku zaustavljanja a u pravcu poprečnog nagiba. Središnja linija na dijagramu označava položaj kada dolazi do izmjene poprečnih sila koje djeluju na vozilo. Izmjena sila opasna je u vožnji u slučaju da vozač ne korigira bočne sile s upravljačem.

1.5. Granična brzina kretanja vozila u krivini s negativnim poprečnim nagibom
Graničnu brzinu kretanja vozila u krivini s negativnim poprečnim nagibom, a s obzirom na zanošenje, određujemo po sljedećem izrazu:

Graničnu minimalnu brzinu kretanja vozila s obzirom na zanošenje-klizanje prema unutrašnjosti krivine određujemo prema izrazu:

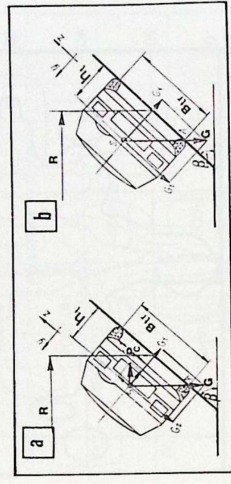
$$V_{zan, min} = \sqrt{\frac{gR(tg\beta - \mu_0)}{1 + \mu_0 tg\beta}} \quad (8)$$

Ukoliko je vozilo u krivini, ono neće bočno kliznuti prema unutrašnjosti krivine ukoliko je zadovoljen uvjet: $\mu_0 \geq tg\beta$

1.4. Granično-minimalna brzina kretanja vozila s obzirom na prevrtanje prema unutrašnjosti krivine
U krivinama s poprečnim nagibom moguće je prevrtanje vozila prema unutrašnjosti krivine pri malim brzinama (sl. 5a i b).

Graničnu vrijednost minimalne brzine vozila s obzirom na prevrtanje prema unutrašnjosti krivine određujemo po sljedećem izrazu:

$$V_{prev} = \sqrt{\frac{gR(tg\beta - \frac{B_{tr}}{2 h_1})}{\frac{B_{tr}}{2 h_1} tg\beta + 1}} \quad [m/s] \quad (10)$$



Slika 5 — Prevrtanje vozila prema sredini krivine s obzirom na zanošenje prema unutrašnjosti krivine
a — minimalna brzina kretanja s obzirom na prevrtanje vozila prema unutrašnjosti krivine
b — granična vrijednost poprečnog nagiba kolnika za slučaj mirovanja vozila, a s obzirom na prevrtanje

U slučaju mirovanja vozila, granični kut kod kojeg dolazi do prevrtanja vozila na kolniku s poprečnim nagibom određujemo prema izrazu:

$$tg\beta = \frac{B_{tr}}{2 h_1} \quad (11)$$

Za slučaj da imamo $tg\beta$ veći od izraza $B_{tr}/2 h_1$, vozilo se za vrijeme mirovanja još neće prevrnuti.

Kako vidimo, pri kretanju vozila u krivinama imamo dvije granične brzine koje određuju zanošenje vozila prema vani i unutrašnjosti krivine. To su brzine V_{min} i V_{max} za odgovarajući poprečni nagib kolnika.

Unosenjem ovih podataka na dijagram (sl. 6) dobivamo polje gdje vozilo ne dolazi u zanošenje. Ako se vozilo kreće brže od granične brzine, dolazimo do zanošenja — klizanja vozila prema vanjskoj strani krivine, a u slučaju sporijeg kretanja može doći do zanošenja vozila prema unutrašnjosti krivine.

Granična krivulja I još osigurava kretanje vozila bez zanošenja prema vanjskoj strani krivine s brzinom V_{max} i pri vrijednosti

$$ctg\beta = \mu_0$$