

Hodni sistemi vozila

Ponašanje vozla pri kretanju određeno je njegovim karakteristikama i silama koje deluju na vozilo.

Sile potiču od gravitacije, strujanja vazduha, (aerodinamičkih dejstava), različitih poremećaja i komandi vozača i na podlogu (tlo) se prenose preko kretača – točkova.

Dinamika analizira sile koje proizvode različiti izvori pri karakterističnim manevrima i način na koji vozilo odgovara na ove sile.

Dinamika vozila

U načelu, dinamika vozila izučava kretanje vozila po veštačkim i prirodnim podlogama, u vertikalnom, podužnom i bočnom pravcu. Ona razmatra oscilacije, ubrzavanje, kočenje i skretanje. U tom kontekstu može se govoriti o vertikalnoj, podužnoj i bočnoj dinamici.

Vertikalna dinamika razmatra oscilacije vozila u različitim formama i u principu se bavi problemima komfora.

Podužna dinamika razmatra probleme vuče i kočenja.

Bočna dinamika bavi upravljanjem, stabilnošću i upravljivošću (osnovna tema našeg razmatranja).

Kontakt sa spoljnim svetom vozila

Kretači / točkovi / pneumatici su jedini delovi automobila u stalnom kontaktu sa podlogom.

U tom kontaktu javljaju se i distribuiraju sile koje opredeljuju sva stanja i ponašanja vozila.

Točkovi istovremeno pripadaju različitim sistemima na vozilu. Oni su deo sistema za upravljanje, sistema za kočenje, elementi sistema za prenos snage, a mogu se smatrati i delom sistema za elastično oslanjanje vozila.

Karakteristike točka, odnosno pneumatika imaju značajan uticaj na bezbednost i stabilnost kretanja vozila, kao i dobro funkcionisanje različitih sistema i podsistema automobila (u pogledu pogona, kočenja, upravljanja itd.).

Pneumatik

Za ove namene-zadatke (u pogledu pogona, kočenja, upravljanja itd.) su upravo važne elastične karakteristike pneumatika i to u:

- obimnom pravcu,
- podužnom pravcu,
- bočnom pravcu i (dominantne za bočnu dinamiku)
- torziona karakteristika pneumatika

Kontakt pneumatika i kolovoza

Ponašanje pneumatika pri skretanju

Bočna i torziona krutost pneumatika su od velike važnosti pri upravljanju vozilom. Točak se pod dejstvom bočne sile, izazvane zakretanjem, povodi i kotrlja pod određenim uglom (ugao povodjenja - klizanja) u odnosu na podužnu osu točka.

Sa povećanjem ugla zakretanja povećava se deformacija kontakta i rezultujuća bočna sila.

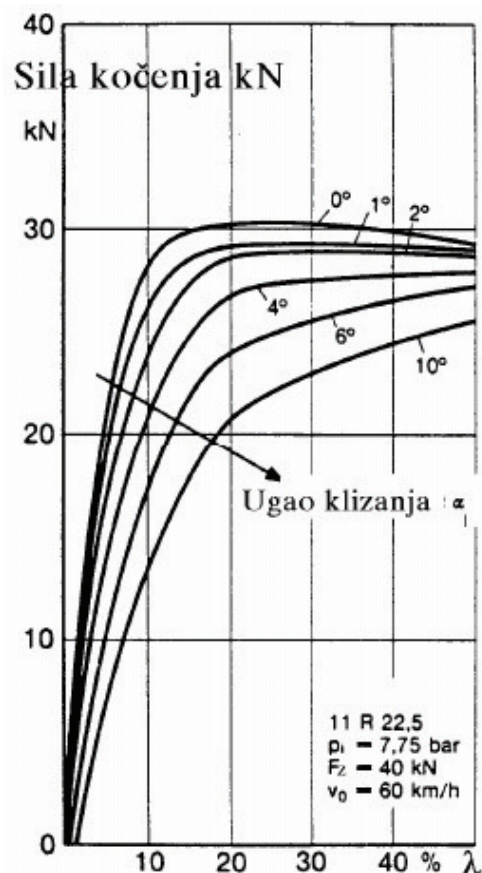
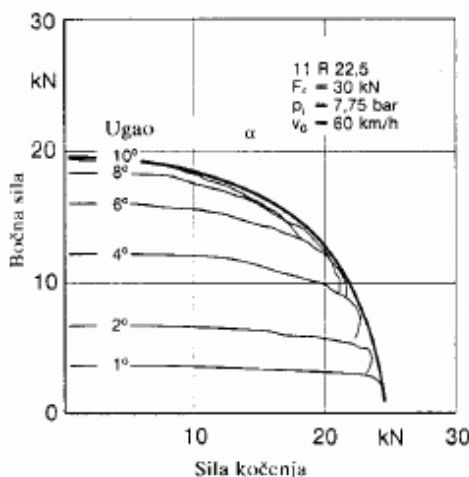
Povodjenje se javlja i kod točkova koji se ne nalaze na upravljačkoj osovini.

Kontakt pneumatika i kolovoza

Radijalni pneumatiki imaju veću bočnu krutost od dijagonalnih za razliku od krutosti u ostalim pravcima. Ovo znači da radijalni pneumatiki za isti ugao povodjenja genirišu veću bočnu silu, odnosno otpor skretanju, nego klasični dijagonalni pneumatiki istih dimenzija.

Bočne sile u kontaktu utiču i na performanse vozila pri pogonu ili kočenju.

Ostvarene vrednosti su niže što je ugao α veći.



Sile u kontaktu kretača – pneumatika i tla

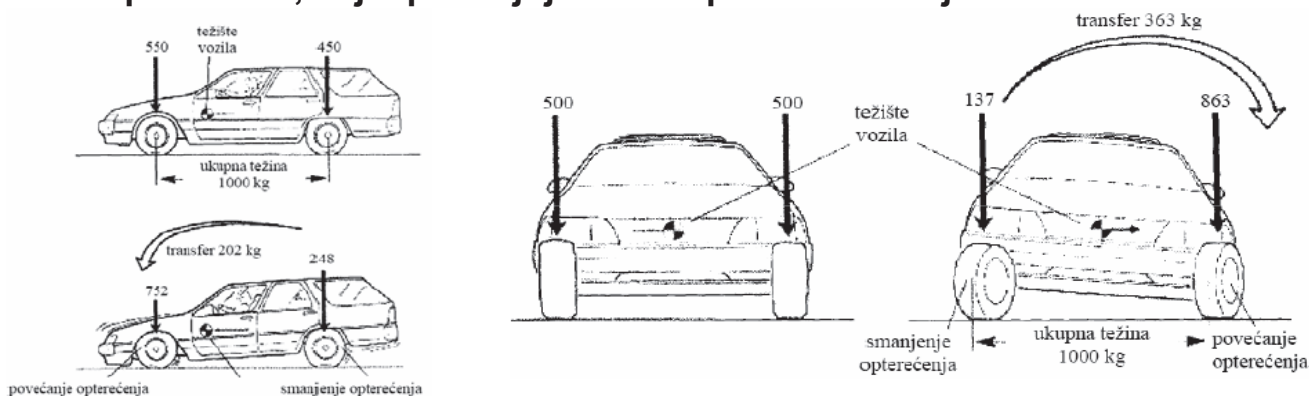
Sve što se u smislu dinamike kretanja i ponašanja vozila dešava, posledica je sile koje se javljaju u kontaktu kretača i podloge, s obzirom da se radi o jedinom kontaktu vozila sa okruženjem (spoljnim svetom).

Međutim, odvojeno treba razmatrati sile koje se ostvaruju u spoju pneumatika i tla od deformacija pri kojima se one realizuju. Pri tome je osnovna polazna činjenica da nema sile u kontaktu pneumatika i tla bez deformacije (klizanje, ugao povodjenja-klizanja).

Posebno važan je značaj i uticaj deformacije u smislu povodjenja (klizanja) pneumatika na ponašanje vozila (bočnu dinamiku vozila).

Sile u kontaktu kretača – pneumatika i tla

Klizanje pneumatika (kontrolisano, dakle ne stopostotno translatorno ili ugaono klizanje) pri kočenju ili pogonu je sekundarnog značaja, jer se uključuje - utapa u pređeni put vozila. Za pogon to je apsolutno bez značaja na efekat, a i za kočenje nema značaja, jer su to okolnosti i pretpostavke za granične performanse. Tako se pri kočenju cilj formuliše kao potreba održavanja klizanja pneumatika u zoni maksimalnih vrednosti priranja (imamao maksimalnu silu blisku granici fizičkih mogućnosti u kontaktu pneumatika i tla), a zadržali smo i prihvat bočne sile, s obzirom da je eliminisana mogućnost blokiranja točkova (npr. pretpostavka prisustva ABS-a na vozilu). Na ovaj način samo klizanje pneumatika praktično ne utiče na ponašanje vozila pri kočenju da bismo ga posebno tretirali, iako je klizanje suštinski parametar, koji opredeljuje sveukupnu distribuciju kočne sile.

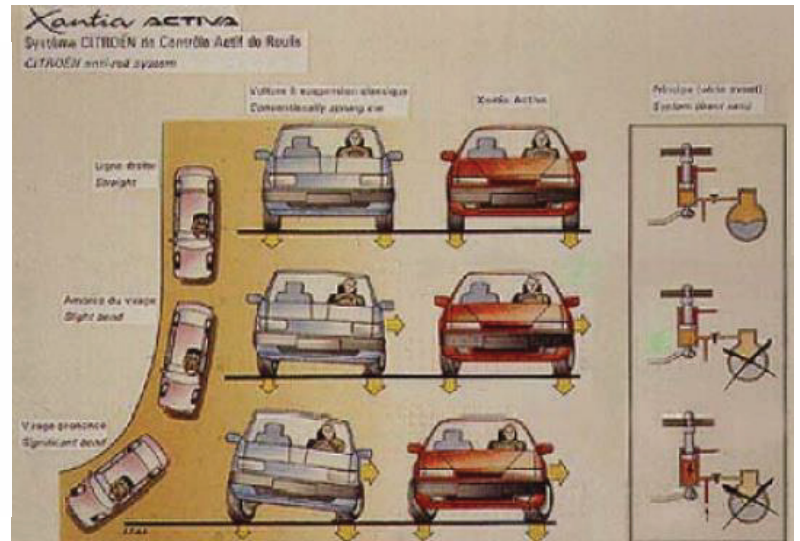
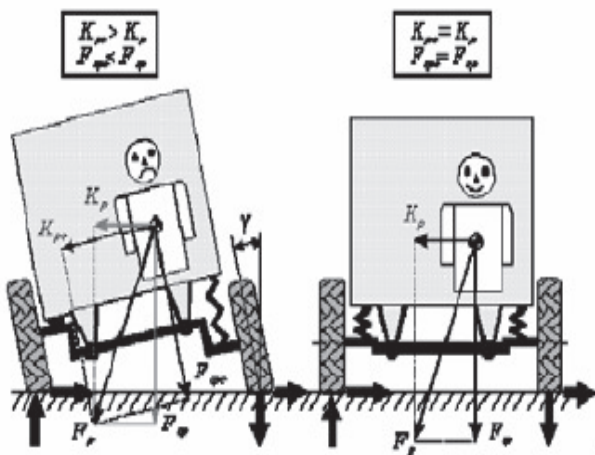


Sile u kontaktu kretača – pneumatika i tla

S druge strane, karakteristike ponašanja vozila pri skretanju dominantno zavise od odnosa povodjenja-klizanja na prednjoj i zadnjoj osovini, kao uzroka, ali i posledice upravo pojave i distribucije bočnih sila.

Brojni uticajni činioci (pozicija, nagib, dinamičke reakcije tla, ...)

Osnovni predmet našeg interesovanja vezuje se za detaljnije razmatranje problematike distribucije bočnih sila u kontekstu stabilnosti i upravljivosti vozila.



Problematika distribucije bočnih sila u kontekstu stabilnosti i upravljivosti vozila

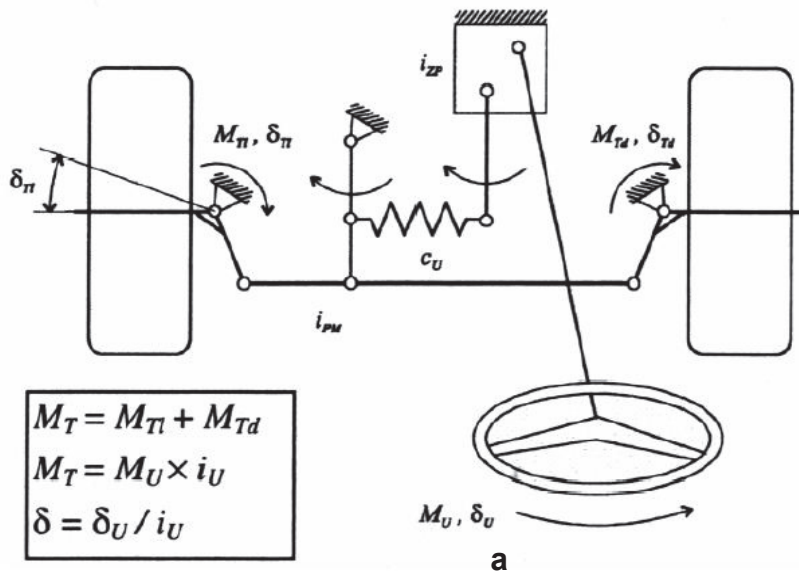
Vozač upravlja vozilom tako što menja veličinu i karakter sila koje deluju na njega. Na vozilo deluju sile koje on može da reguliše (kontrolne ili upravljačke sile) i sile čije dejstvo može da opazi, ali na koje ne može direktno da utiče (poremećajne sile).

Sistem za upravljanje vozilom je osnovni sistem na vozilu kojim vozač kontroliše bočnu dinamiku kretanja. Međutim, pošto se sve odvija u kontaktu točka i tla, jasno je da se integralno mora posmatrati i uticaj sistema za oslanjanje.

Karakteristike mehanizma za upravljanje

Vozač zakreće upravljač za neki ugao δ_U momentom M_U , koji se do točkova prenosi preko nekog zupčastog prenosnika sa prenosnim odnosom i_{ZP} i polužnog mehanizma sa prenosnim odnosom i_{PM} , odnosno sa ukupnim prenosnim odnosom $i_U = i_{ZP} \times i_{PM}$.

Moment na točkovima / Ugao zakretanja upravljačkih točkova

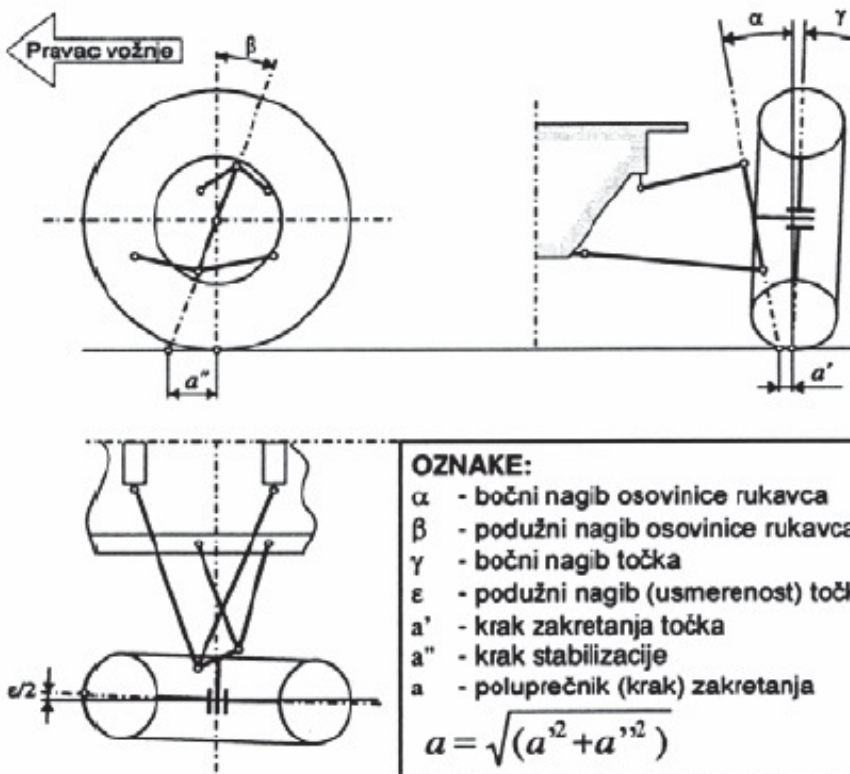


Osnovni elementi sistema za upravljanje su: točak upravljača, vratilo, upravljački prenosnik, polužni prenosni mehanizam, osovinice rukavaca i točkovi sa pneumaticima.

Ukupan prenosni odnos $i_U = i_{ZP} \times i_{PM}$.

Geometrija točkova

Uticaj sistema za oslanjanje



Karakteristike odziva upravljačkog mehanizma zavise od:

karakteristika pneumatika,

položaja centra kontaktne površine

geometrije postavljanja točkova (karakterističnih uglova i krakova)

Upravljanje i upravljivost

Upravljanje (Steering) je skup akcija vozača koje uslovljavaju promenu parametara kretanja vozila. Između željenih i stvarnih parametara kretanja postoji nesaglasnost zbog različitih ograničenja.

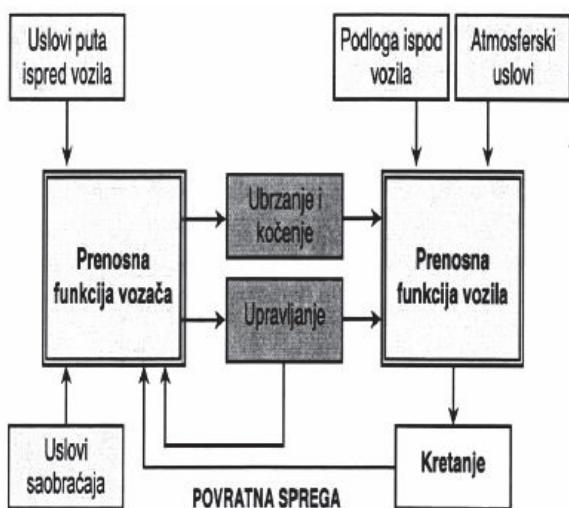
Skup osobina sistema vozač - vozilo - podloga koje određuju stepen približenja stvarnih i željenih parametara kretanja naziva se upravljivost vozila.

Upravljivost vozila (Handling) je široko korišćen termin za objašnjenje reakcije vozila na komande vozača, odn. za jednostavnost upravljanja vozilom u širem smislu. Termin upravljivost se odnosi na ukupnu meru odziva sistema vozilo -vozač. Vozač i vozilo predstavljaju **"sistem sa povratnom spregom"** - što znači da vozač uzima u obzir pravac, položaj, reakcije i način ponašanja vozila i koriguje svoje komandne akcije kako bi postigao željene parametre kretanja.

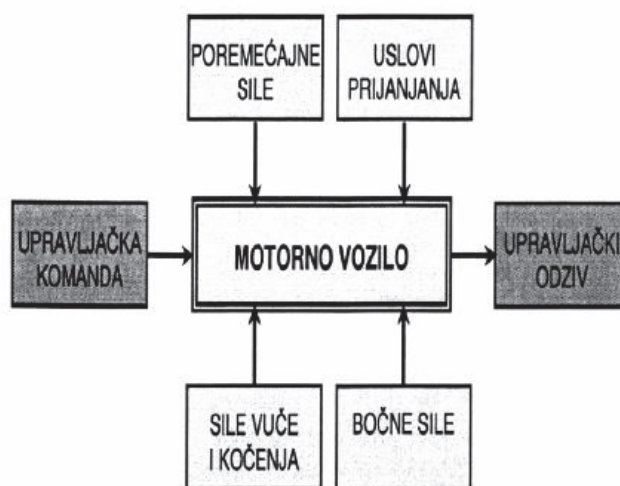
Upravljanje i upravljivost

Da bi se dobila objektivna karakteristika samog vozila razmatra se **"sistem bez povratne sprege"**.

Izostavljanjem povratne sprege dobija se mogućnost da se oceni ponašanje vozila kao reakcija na specifične upravljačke komande bez korekcije. Ova karakteristika se preciznije definiše kao "upravljački odziv".



Sistem vozač - vozilo sa povratnom spregom



Sistem vozač - vozilo bez povratne sprege

Upravljanje i upravljivost

U daljem izlaganju razmatraće se sistem bez povratne sprege, tj. upravljački odziv bez korekcije.

Prvo će biti analizirano skretanje vozila pri maloj brzini, a potom će se posmatrati razlike u odnosu na uslove kretanja pri velikoj brzini.

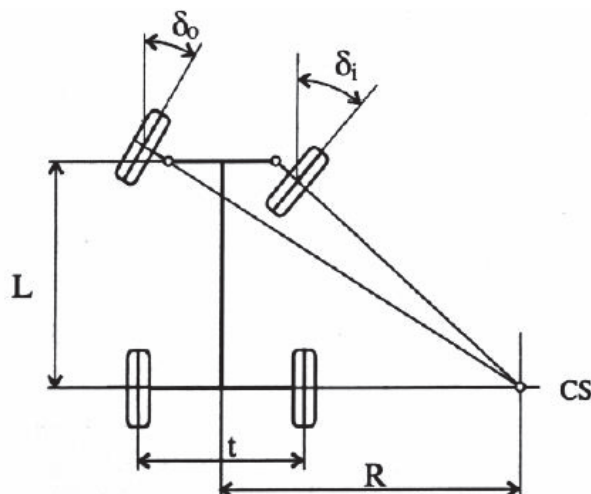
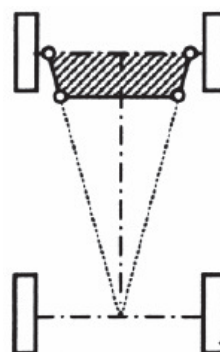
Za razliku od skretanja vozila pri maloj brzini, prilikom skretanja pri velikoj brzini uticaj svojstava pneumatika je veoma značajan.

Skretanje pri maloj brzini (MALE BRZINE; MANEVRIVOST; NEMA BOČNIH SILA)

Ponašanje vozila pri skretanju se najbolje razume kroz analizu ponašanja vozila koje skreće pri maloj brzini.

Tada nema bočnog ubrzanja i nije potrebno da pneumatici ostvaruju bočne sile. Zbog toga se točkovi kotrljaju kao kruti, a vozilo se kreće kao na slici.

Centar skretanja se nalazi na osi zadnje osovine. Da bi se ostvarilo kotrljanje upravljačkih točkova bez klizanja, geometrija mehanizma mora biti takva da normale na svaki prednji točak prolaze kroz istu tačku (centar skretanja). Ako to ne bi bio slučaj, pojavila bi se geometrijska nesaglasnost koja uslovljava klizanje prednjih točkova.

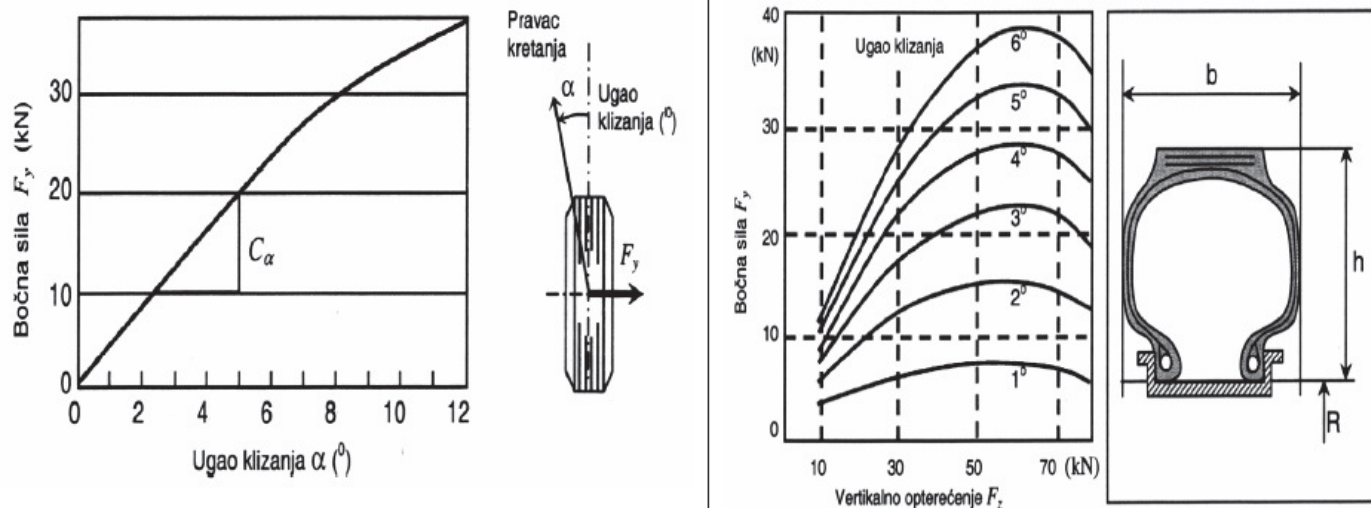


Skretanje pri velikoj brzini (IMAMO BOČNU SILU)

Prisutno bočno ubrzanje. Pneumatici moraju da ostvare bočne sile da bi se suprotstavili dejstvu bočnog ubrzanja, što za posledicu ima i bočno klizanje (tzv. povodjenje pneumatika), odnosno pojavu *ugla klizanja - ugla povodjenja*.

Ugao bočnog klizanja (Slip Angle - α) je ugao između ose usmerenosti pneumatika i trenutnog pravca kretanja.

Dijagram promene bočne sile u funkciji ugla klizanja prikazan je na slici.



Svojstva pneumatika pri skretanju

Veza vertikalne i bočne sile i ugla klizanja i osnovne dimenzije pneumatika

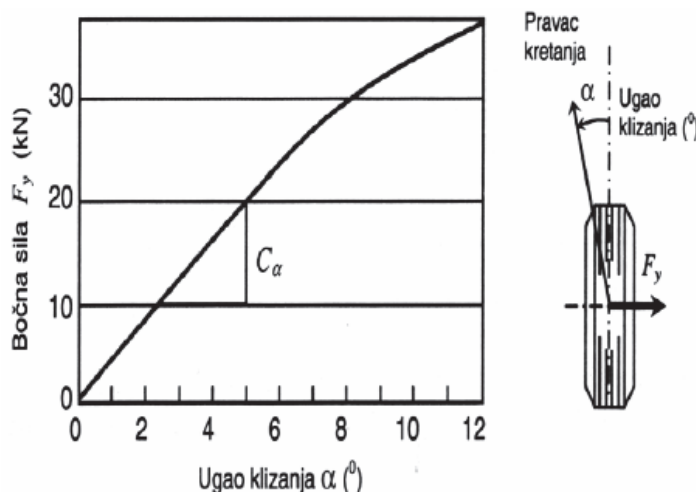
Skretanje pri velikoj brzini (IMAMO BOČNU SILU)

Bočna sila, kada je ugao bočnog nagiba točka jednak nuli, označena sa F_y , naziva se *sila upravljanja* ili *bočna reakcija {Cornering Force}*. Pri malim uglovima klizanja (do 5°) relacija je linearna, pa je bočna reakcija (sila upravljanja) određena izrazom:

$$F_y = C_\alpha \alpha$$

Konstanta proporcionalnosti C_α naziva se *krutost pri skretanju (povodjenju)* i definisana je nagibom krive u sistemu $F_y - \alpha$, kada je točak upravan na podlogu.

Sa porastom bočne sile linearni karakter promene vrednosti ugla klizanja se gubi i on posle 5° raste brže. Do toga dolazi zbog povećanja proklizavanja elemenata pneumatika u kontaktnoj zoni. Kad bočna sila dostigne vrednost sile priranja, počinje potpuno klizanje i kvalitetan kontakt pneumatika i podloge prestaje, te dolazi do gubitka stabilnosti.

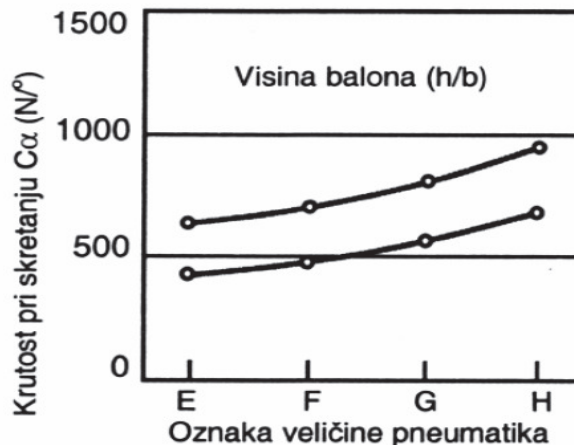
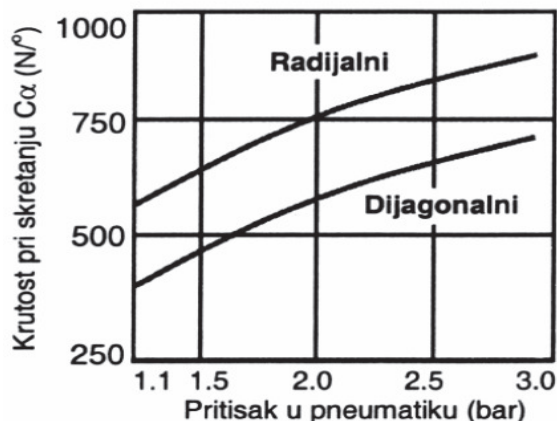


Krutost pneumatika (uticajni činioci)

Krutost pneumatika pri skretanju zavisi od mnogo varijabli. Najznačajnije su veličina i tip pneumatika (radijalni/dijagonalni), odnos visine i širine balona profila pneumatika – (h/b), broj platna, ugao korda, širina točka i vrsta protektora.

Za neki konkretni pneumatik glavne varijable su vertikalno opterećenje i pritisak.

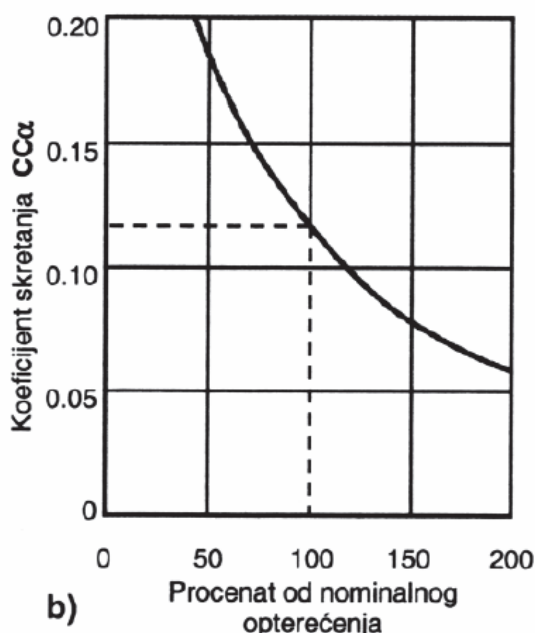
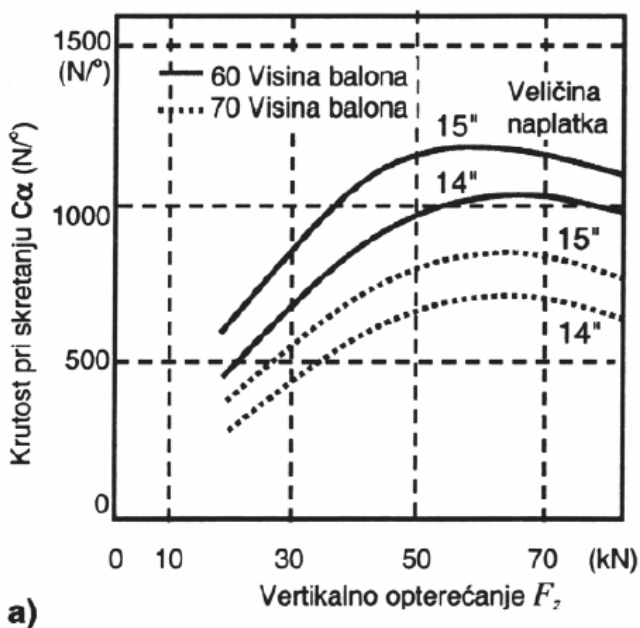
Brzina ne utiče značajno na bočne reakcije koje se razvijaju u pneumatiku.



Krutost pri skretanju u funkciji pritiska i dimenzije pneumatika

Krutost pneumatika (uticajni činioci)

Pored pritiska posebno je značajno vertikalno opterećenje za neki konkretni pneumatik.



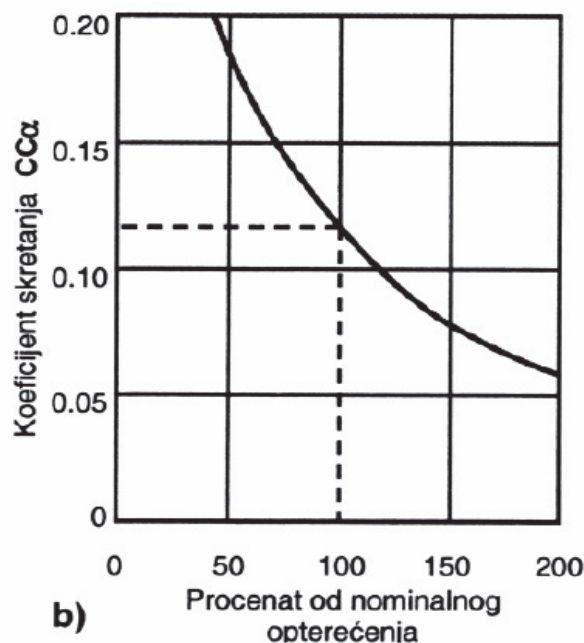
Krutost pri skretanju i koefficient skretanja u funkciji opterećenja

Koeficijent skretanja

Zbog velike zavisnosti bočne reakcije od opterećenja, svojstva pneumatika pri skretanju se opisuju pomoću koeficijenta skretanja (CC_{α}) koji se dobija delenjem krutosti pri skretanju sa vertikalnim opterećenjem. Koeficijent skretanja dat je izrazom:

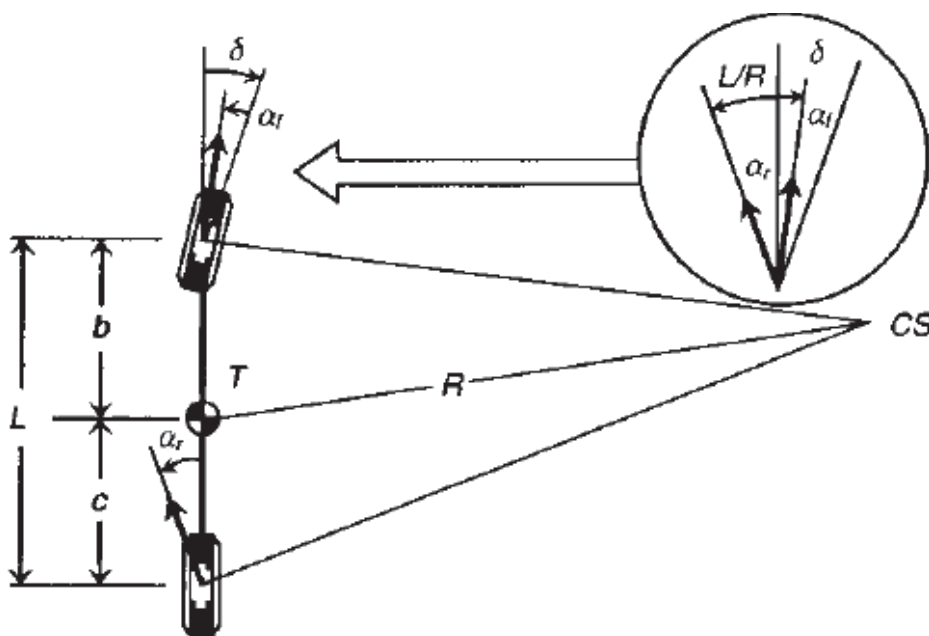
$$CC_{\alpha} = C/F_z \text{ (N/N}^{\circ}\text{)}$$

Koeficijent skretanja obično je najveći pri malim opterećenjima i kontinualno se smanjuje do nominalne vrednosti opterećenja. Pri nominalnom opterećenju koeficijent skretanja ima tipičnu vrednost oko 0.12 (N sile skretanja po N vertikalnog opterećenja po stepenu ugla klizanja).



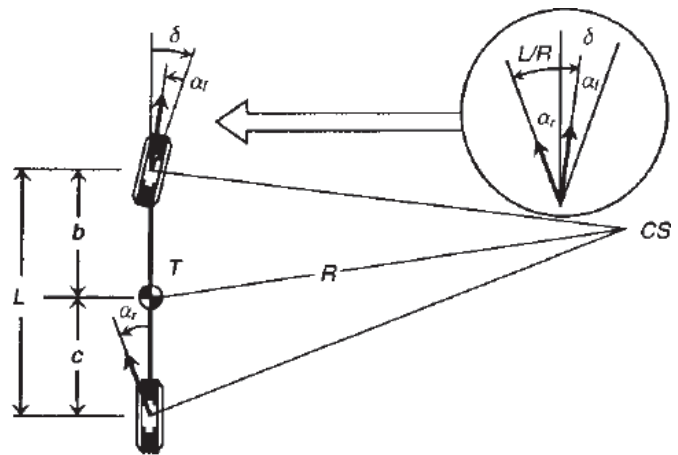
Jednačine skretanja - Model bicikla

Jednačine skretanja vozila u statičkim uslovima izvode se primenom II Njutnovog zakona i izraza koji opisuju geometriju pri skretanju, uključujući ugao klizanja pneumatika. Za ovu analizu koriste se uprošćeni, tzv. *jednotražni modeli (model bicikla)*.



Model bicikla

Model bicikla uvodi sledeće pretpostavke koje pojednostavljaju sistem, a nemaju bitan uticaj na tačnost razmatranja:



Linearni model ima masu celog vozila, a prednji i zadnji točak nose opterećenje cele osovine. Bočno nagninjanje se ne uzima u obzir.

- Težište vozila se nalazi u ravni kolovoza (poluprečnik točkova je jednak nuli). Na taj način, nema preraspodele masa u pogledu spoljni i unutrašnji točak.
- Sistem se posmatra u zoni linearnosti (mali uglovi, $\sin \alpha = \alpha$, kada je ugao izražen u radijanima). Tada je **bočna sila proporcionalna uglu povodjenja** α .
- Vozilo se posmatra samo u statičkim ili kvazistatičkim uslovima. Prelazni režimi se ne razmatraju.

Jednačine skretanja

Pri velikim brzinama poluprečnik krivine R mnogo je veći od razmaka osovine vozila L . Zbog toga su uglovi zakretanja točkova mali, pa je i njihova razlika zanemarljiva. Oba prednja točka predstavljaju se jednim točkom koji je zakrenut za ugao δ_f , sa ukupnom F_y koja se ostvaruje na oba točka prednje osovine. Ista pretpostavka važi i za točkove zadnje osovine.

Za vozilo koje se kreće unapred brzinom V , suma sila na pneumaticima u bočnom pravcu mora biti jednaka proizvodu mase i centripetalnog ubrzanja:

$$F_{yf}b - F_{yr}c = 0$$

$$\Sigma F_y = F_{yf} + F_{yr} = \frac{MV^2}{R}$$

Da bi vozilo bilo u momentnoj ravnoteži oko težišta, neophodno je da suma momenata prednjih i zadnjih bočnih sila mora biti jednaka nuli:

$$F_{yf}b - F_{yr}c = 0 \quad F_{yf} = \frac{F_{yr}c}{b}$$

Proističu bočne reakcije na zadnjoj osovini:

$$\frac{MV^2}{R} = F_{yr} \left(\frac{c}{b} + 1 \right) = F_{yr} \frac{(b+c)}{b} = F_{yr} \frac{L}{b}, \quad F_{yr} = \frac{Mb}{L} \frac{V^2}{R}$$

Na isti način dobija se da bočna reakcija na prednjoj osovini, kao proizvod opterećenja osovine i bočnog ubrzanja.

Jednačine skretanja

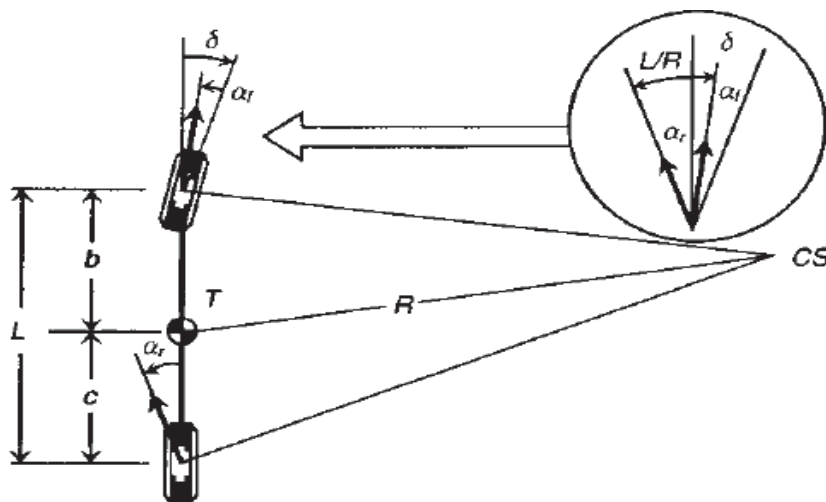
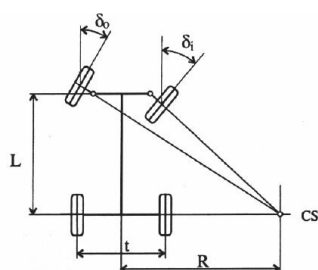
Ako je poznata bočna reakcija potrebna za skretanje vozila $F_{yf} = M_f V^2 / R$ uglovi klizanja-povodjenja na prednjim i zadnjim točkovima mogu se odrediti iz jednačine:

$$F_y = C_{\alpha} \alpha \quad \alpha_f = \frac{W_f V^2}{(C_{\alpha f} g R)} \quad \alpha_r = \frac{W_r V^2}{(C_{\alpha r} g R)}$$

(C_{α} - krutost pri povodjenju)

Analizom geometrije vozila u krivini uz pretpostavku malih uglova slijedi relacija za ugao zakretanja prednjih točkova:

$$\delta = 57.3 \frac{L}{R} + \alpha_f - \alpha_r$$



Jednačine skretanja

Zamenom uglova povodjenja dobija se izraz: $\delta = 57.3 \frac{L}{R} + \alpha_f - \alpha_r$

$$\delta = 57.3 \frac{L}{R} + \frac{W_f V^2}{C_{\alpha f} g R} - \frac{W_r V^2}{C_{\alpha r} g R}, \text{ odn.}$$

$$\delta = 57.3 \frac{L}{R} + \left(\frac{W_f}{C_{\alpha f}} - \frac{W_r}{C_{\alpha r}} \right) \frac{V^2}{g R}$$

U ovoj jednačini pojedine veličine imaju sledeće značenje:

- | | |
|--|---|
| δ – ugao zakretanja prednjih točkova ($^{\circ}$) | W_r – opterećenje zadnje osovine (N) |
| L – razmak osovina (m) | $C_{\alpha f}$ – krutost pri skretanju prednjih pneumatika (N/ $^{\circ}$) |
| R – radijus skretanja (m) | $C_{\alpha r}$ – krutost pri skretanju zadnjih pneumatika (N/ $^{\circ}$) |
| V – brzina vozila (unapred) (m/s) | ($180/\pi = 57.296 \approx 57.3 \text{ }^{\circ}/\text{rad}$) |
| G – ubrzanje zemljine teže (m/s 2) | |
| W_f – opterećenje prednje osovine (N) | |

Jednačina skretanja je važna za opisivanje svojstava upravljačkog odziva motornog vozila. Ona povezuje ugao zakretanja upravljačkih točkova vozila, radijus skretanja i brzinu ili bočno ubrzanje.

Jednačine skretanja

Jednačina skretanja u skraćenoj formi često se izražava u obliku:

$$\delta = 57.3 \frac{L}{R} + K a_y$$

K- gradijent podupravljivosti ili stepen podupravljivosti

Gradijent podupravljivosti (understeer gradient) je najčešće korišćena mera odziva sistema bez povratne sprege. On predstavlja meru odziva vozila u statičkim uslovima, iako se, pod određenim uslovima, može koristiti i za ocenu performansi vozila u situacijama koje nisu potpuno statičke (kvazistatički uslovi).

Gradijent podupravljivosti određen je izrazom koji sadrži dva dela, od kojih svaki opisuje odnos opterećenja osovine i krutosti pri skretanju pneumatika na posmatranoj osovini (prednjoj i zadnjoj).

$$K = \left(\frac{W_f}{C_{\alpha f}} - \frac{W_r}{C_{\alpha r}} \right); \text{ i ima dimenziju } (^{\circ}/g)$$

Gradijent podupravljivosti

Gradijent podupravljivosti određuje intenzitet i pravac potrebnog upravljačkog ulaza.

Postoje tri moguća slučaja:

Neutralna upravljivost

$$W_f / C_{\alpha f} = W_r / C_{\alpha r} \rightarrow K = 0 \rightarrow \alpha_f = \alpha_r$$

U krivini sa konstantnim radijusom, kada se brzina (odn. bočno ubrzanje) vozila povećava, nije potrebno da se menja ugao upravljačkih točkova. U ovom specifičnom slučaju ugao upravljačkih točkova odgovara Akermanovom uglu, $57.3 L/R$.

Fizički, slučaj neutralnog upravljanja odgovara ravnoteži vozila kada dejstvo bočnog ubrzanja (centrifugalna sila) u težištu prouzrokuje identičar porast uglova klizanja i na prednjim i na zadnjim točkovima.

$$\frac{W_f}{C_{\alpha f}} = \frac{W_r}{C_{\alpha r}} \rightarrow K = 0 \rightarrow \alpha_f = \alpha_r \qquad \delta = 57.3 \frac{L}{R} + \alpha_f - \alpha_r$$

Gradijent podupravljalivosti

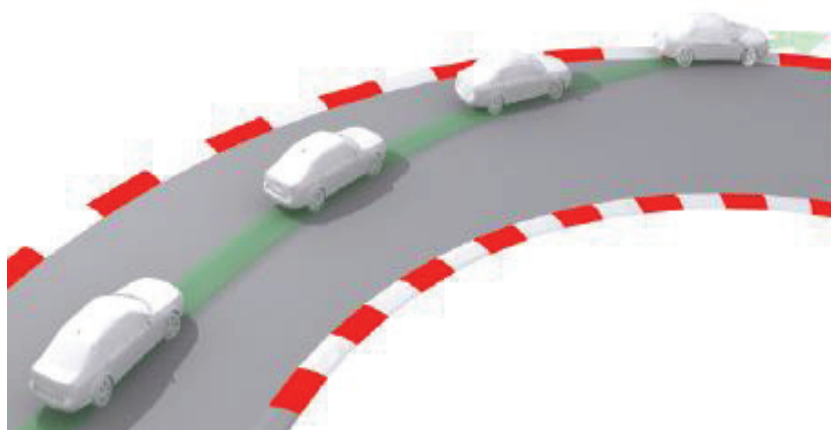
Podupravljalivost

$$W_f/C_{\alpha f} > W_r/C_{\alpha r} \rightarrow K > 0 \rightarrow \alpha_f > \alpha_r$$

U krivini sa konstantnim radijusom, kada se brzina (odn. bočno ubrzanje) vozila povećava, ugao upravljačkih točkova mora da se povećava, sa proporcijom $K\alpha_y$. Prema tome, ugao zakretanja upravljačkih točkova linearno raste sa bočnim ubrzanjem (odnosno kvadratom brzine, zbog $a_y = V^2/(gR)$). Kod podupravljalivih vozila bočno ubrzanje u težištu prouzrokuje da prednji točkovi imaju veći ugao klizanja od zadnjih. Da bi se razvila bočna reakcija na prednjim točkovima potrebna i dovoljna da se održi radijus skretanja, neophodno je da se ugao prednjih upravljačkih točkova poveća.

$$\frac{W_f}{C_{\alpha f}} > \frac{W_r}{C_{\alpha r}} \rightarrow K > 0 \rightarrow \alpha_f > \alpha_r$$

$$\delta = 57.3 \frac{L}{R} + \alpha_f - \alpha_r$$



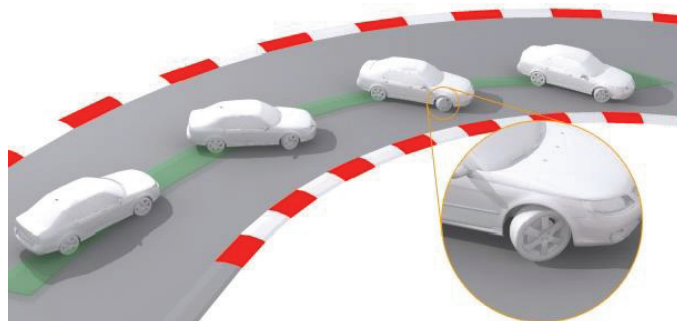
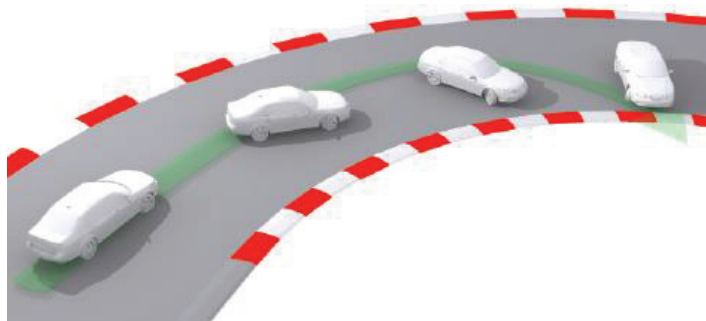
Gradijent podupravljalivosti

Nadupravljalivost

$$W_f/C_{\alpha f} < W_r/C_{\alpha r} \rightarrow K < 0 \rightarrow \alpha_f < \alpha_r$$

U krivini sa konstantnim radijusom, kada se brzina (odn. bočno ubrzanje) vozila povećava, u ovom slučaju ugao upravljačkih točkova mora da se smanjuje. Bočno ubrzanje u težištu prouzrokuje da ugao klizanja zadnjih točkova raste više nego kod prednjih. Klizanje zadnjeg dela vozila prema spolja dopunski zakreće prednje točkove prema krivini, dodatno smanjujući poluprečnik skretanja. Usled toga se bočno ubrzanje povećava, prouzrokujući da zadnji deo vozila kliza prema spolja još više. Proces se nastavlja dok se ugao upravljačkih točkova ne smanji dovoljno da bi se održao radijus skretanja, ili se završava gubitkom stabilnosti i okretanjem vozila oko vertikalne ose.

$$\frac{W_f}{C_{\alpha f}} < \frac{W_r}{C_{\alpha r}} \rightarrow K < 0 \rightarrow \alpha_f < \alpha_r \quad \delta = 57.3 \frac{L}{R} + \alpha_f - \alpha_r$$



Upravljivost vozila

Za vozilo se preporučuje blaga podupravljivost zbog „prirodne reakcije“ vozača u smislu delovanja na sistem za upravljanje, a u cilju održavanja vozila na željenoj putanji.

Najneprirodniji i neprihvatljiviji je slučaj „kontre“ na volanu, koja je kod nadupravljivih vozila često neopodna.

Za ovakve okolnosti „obični vozači“ nisu edukovani niti uvežbani. Zato su najčešće iznenađeni i zatečeni, što za posledicu ima paniku, a tada je najčešća reakcija dejstvo *na kočnicu, što je po pravilu dodatni destabilizirajući uticaj.*

Upravljivost vozila

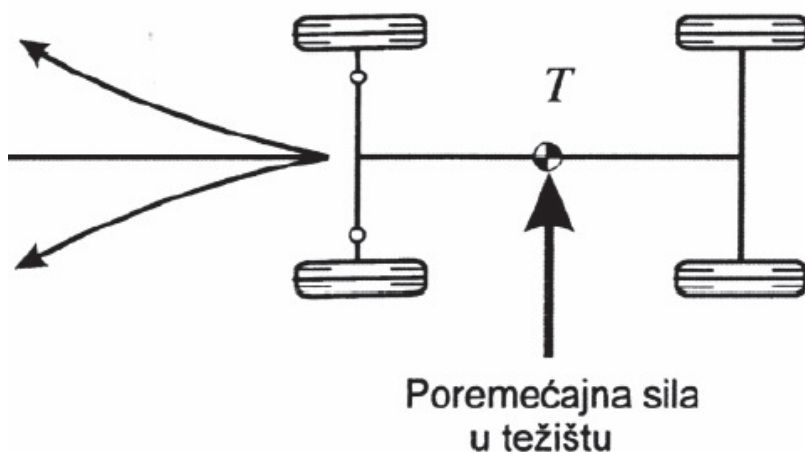
Može se pokazati da postoji potpuna korelacija između ponašanja vozila u smislu bočne stabilnosti pri kretanju u krivini i prilikom dejstva uobičajenih poremećaja na pravcu.

Kod podupravljivih vozila bočni poremećaj prouzrokuje veće klizanje prednje osovine, stoga vozilo skreće od poremećaja. Ukoliko je vozilo preupravljivo, zadnja osovina kliza prema spolja, a vozilo skreće ka poremećaju. Kod vozila neutralne upravlivosti putanja ostaje paralelna željenoj.

Podupravljivo vozilo

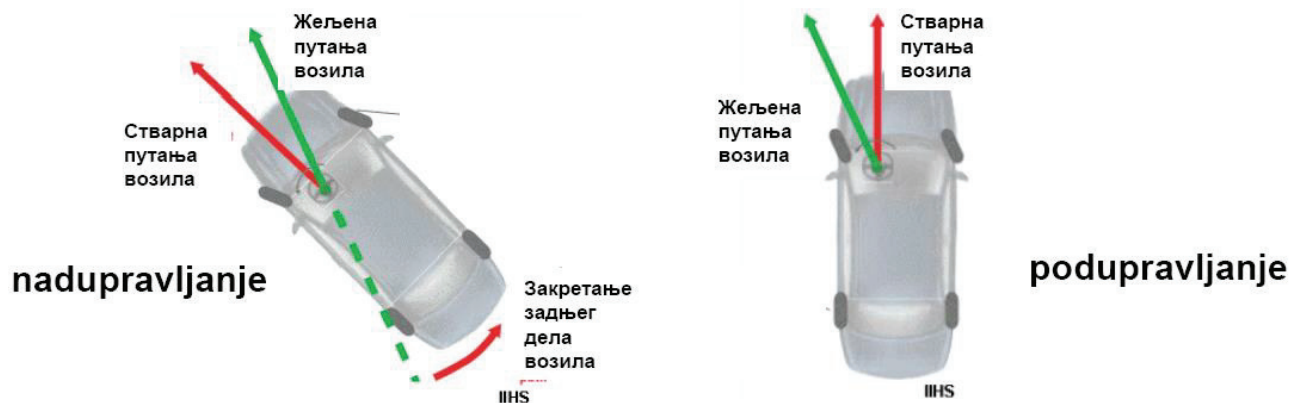
Neutralno

Nadupravljivo vozilo



Upravljivost vozila

Za nadupravljivo-preupravljivo vozilo uticaj bočnog ubrzanja koje deluje u težištu za posledicu ima povećanje poremećajne sile bez uticaja vozača, jer se vozilo pozicionira na način koji karakterišu veći uglovi povodjenja, odnosno bočnog klizanja pneumatika. Takva situacija kod nadupravljivih vozila dovodi do daljeg povećavanja upravljačkog odziva, a time i intenziviranja nestabilnost kretanja (odstupanja stvarne od željene putanje, do potpunog okretanja vozila oko svoje vertikalne ose).



Uticajni faktori

Krutost pneumatika pri skretanju navedena je kao osnova za postavljanje jednačina za podupravljivost i preupravljivost. Pri tome se podrazumeva vertikalni položaj točka-pneumatika u odnosu na tlo.

S druge strane, već je naznačena potreba optimizacije geometrije postavljanja točkova u cilju ostvarivanja najboljih performansi upravljivosti i stabilnosti vozila.

Takodje imamo brojne faktore koji mogu uticati na pojavu i realizaciju bočnih sila pri dejstvu bočnog ubrzanja na način koji ne odgovara nominalnoj geometriji i poziciji točkova.

Glavni izvori poremećaja, koji narušavaju usvojenu optimiziranu geometriju (poziciju) točkova konkretnog vozila, a koji utiču na upravljivost i stabilnost vozila, su projektno-konstrukcijski parametri vozila, pre svega sistema za oslanjanje i sistema za upravljanje.

Uticajni faktori

Kada govorimo o uticaju sistema za oslanjanje na skretanje vozila, uslovno možemo izdvojiti nekoliko aspekata:

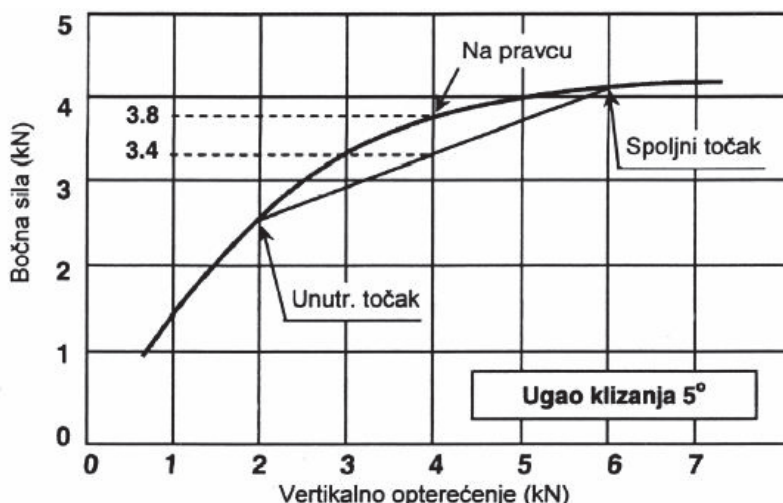
- uticaj dinamičkih reakcija tla,
- uticaj momenata bočnog naginjanja karoserije vozila u funkciji centra bočnog naginjanja (kao karakteristike sistema za oslanjanje),
- uticaj promene bočnog nagiba točka,
- uticaj kinematike mehanizma za vodjenje sistema za oslanjanje pri bočnom naginjanju vozila,
- uticaj deformacije elastičnih zglobova, čaura i poluga mehanizma za vodjenje sistema za oslanjanje,
- uticaj momenta stabilizacije,
- ...

Očigledna je široka lepeza uticajnih činilaca (karakteristični će se posebno prokomentarisati).

Uticajni faktori

Dinamičke reakcije tla

Kod skoro svih pneumatika bočne sile zavise, i to ne linearno, od vertikalnog opterećenja. Ovo je važno zbog preraspodele mase pri skretanju, pa su spoljni točkovi više opterećeni od unutrašnjih. Na slici je pokazan tipičan primer kako se bočna sila na točku menja sa promenom vertikalnog opterećenja.



Moguća bočna sila po točku sa uglom klizanja od 5°

$$F_{yt} = 3.8 \text{ kN (ukupno 7.6 kN)}$$

$$Z_t = 4 \text{ kN}$$

Pri oštrom skretanju dinamičke reakcije tla 2/6 kN.

$$F_{ytsr} = 3.4 \text{ kN (ukupno 6.8 kN)}$$

Za održanje F_y neophodno je **povećanje** ugla klizanja-povodjenja pneumatika.

Napred - ka podupravlivosti

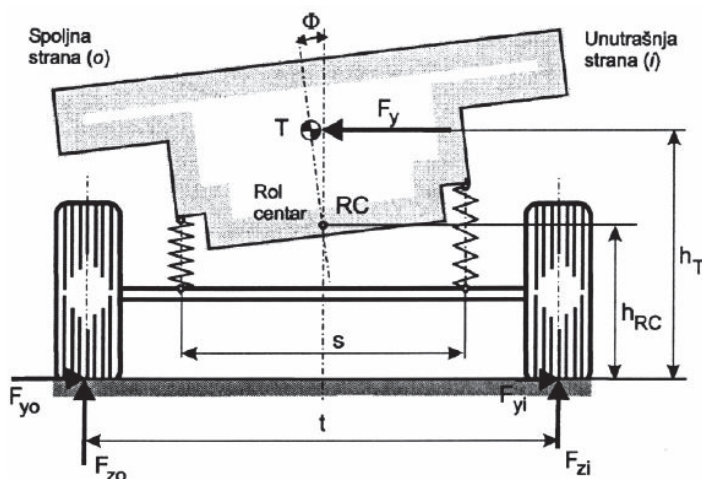
Nazad - ka preupravlivosti.

Uticajni faktori

Raspodela momenata bočnog naginjanja karoserije vozila (M_{BNK})

Uticaj M_{BNK} na upravljivost vozila zavisi od njegove raspodele po osovina. Ugaono kruća osovina prihvata veći deo M_{BNK} , pa je i preraspodela masa veća, a time i povećanje klizanja-povodjenja konkretne osovine.

Mehanika dejstva momenta bočnog naginjanja pri razmatranju jedne osovine principijelno je prikazana modelom na slici.



Centar bočnog naginjanja je tačka u kojoj se bočne sile prenose iz kontakta točkova sa podlogom na elastično oslonjenu masu.

Centar bočnog naginjanja jeste tačka na telu vozila u kojoj primena bočne sile neće rezultirati uglom nagiba karoserije.

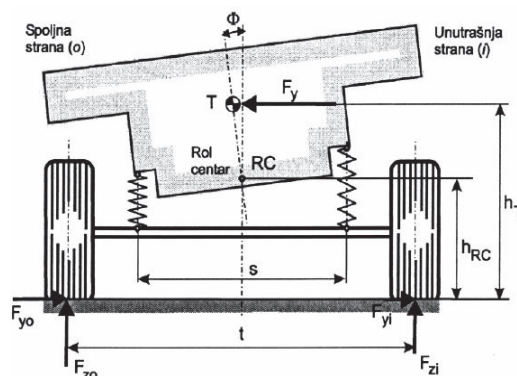
Uticajni faktori

Odnos između opterećenja točkova (dinamičkih reakcija tla), bočne sile i ugla naginjanja karoserije.

Pri distribuciji bočne sile (npr. kretanje u krivini), za definisanje dinamičkih reakcija tla neophodno je uključiti dva aspekta-uticaja:

Prvi uticaj preraspodele reakcija tla na konkretnoj osovini odgovara uticaju ukupne bočne sile koja deluje u centru bočnog naginjanja primenjenog sistema oslanjanja. Nezavistan je od ugla nagiba tela i raspodele M_{BNK} .

Drugi uticaj je posledica bočnog naginjanja karoserije, odnosno momenta bočnog naginjanja karoserije, koji preuzima sistem za oslanjanje posmatrane osovine. Raspodela momenta bočnog naginjanja karoserije zavisi od ugaone krutosti prednje, odnosno zadnje osovine, tako da je neophodno razmatrati celo vozilo, uz uključenje karakteristika sistema za oslanjanje obe osovine.



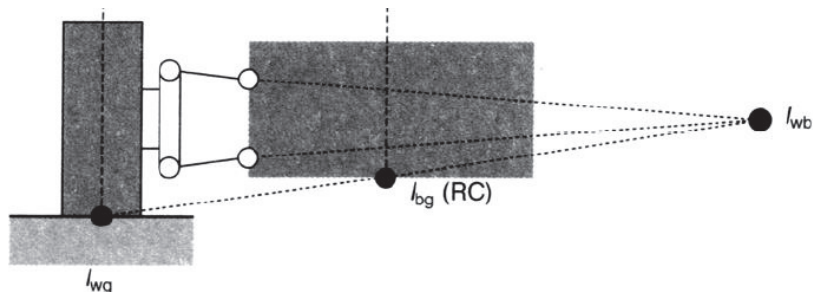
Uticajni faktori

U načelu, raspodela M_{BNK} teži da bude orijentisana prema prednjim točkovima. Stabilizatori se često koriste na prednjoj osovini da omoguće veću ugaonu krutost, odnosno veći otpor naginjanju napred. Ugaono kruća osovina prihvata veći deo M_{BNK} , pa je i preraspodela masa veća, a time i povećanje klizanja-povodjenja konkretne osovine.

Uobičajna ugradnja stabilizatora na prednji deo, ili na prednji i zadnji deo. Oprez pri uključenju stabilizatora samo na zadnjoj osovini (vozilo teži nadupravljivosti).

Ilustrativno, problematiku utvrđivanja centra bočnog naginjanja.

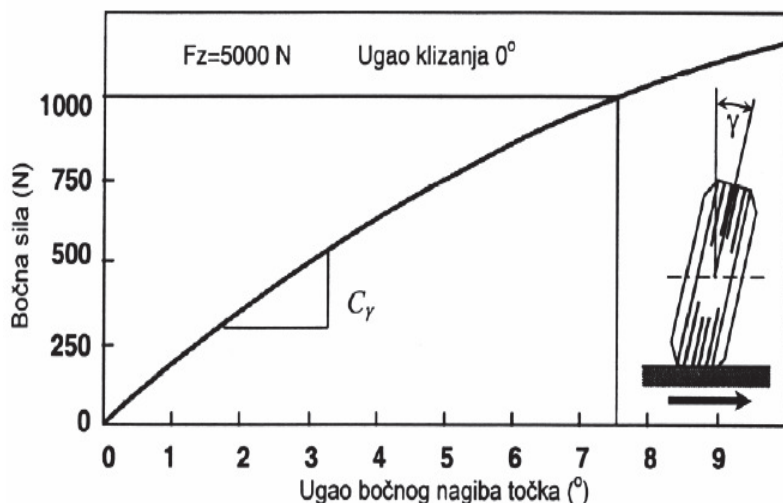
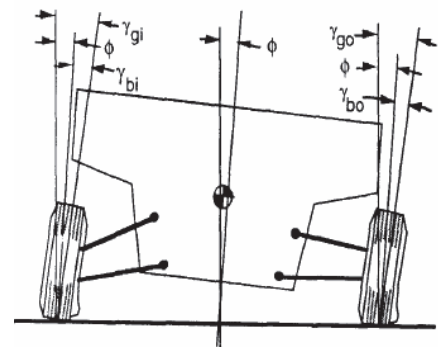
Trenutni centar oslonjene mase u odnosu na tlo (centar naginjanja) l_{bg} mora da leži u ravni simetrije vozila i na liniji koja povezuje trenutni centar točka u odnosu na oslonjenu masu l_{wb} i trenutni centar točka u odnosu na tlo l_{wg} , kao što je pokazano na slici.



Uticajni faktori

Uticaj promene bočnog nagiba točka

Ukupni bočni ugao nagiba točka (γ_g) tokom zakretanja odgovara zbiru bočnog ugla nagiba točka u odnosu na telo vozila (γ_b) i ugla nagiba vozila (Φ).



Bočni nagib (BN) prouzrokuje mnogo manju silu nego ugao povodjenja.

Diagonalni pneumatik

$\alpha=1^\circ$ odgovara 4 - 6° BN

Radijalni pneumatik (manje osetljiv)

$\alpha=1^\circ$ odgovara 10 - 15° BN

Moguć značajniji uticaj kod vozila sa nezavisnim oslanjanjem

Mali uticaj kod krutih osovinu (menjaju F_y za 10% ili manje)

Uticajni faktori

Zakretanje točkova usled bočnog naginjanja

Kinematika mehanizma za vodjenje točkova sistema oslanjanja može da pri bočnom naginjanju tela vozila prouzrokuje izvesno zakretanje točkova.

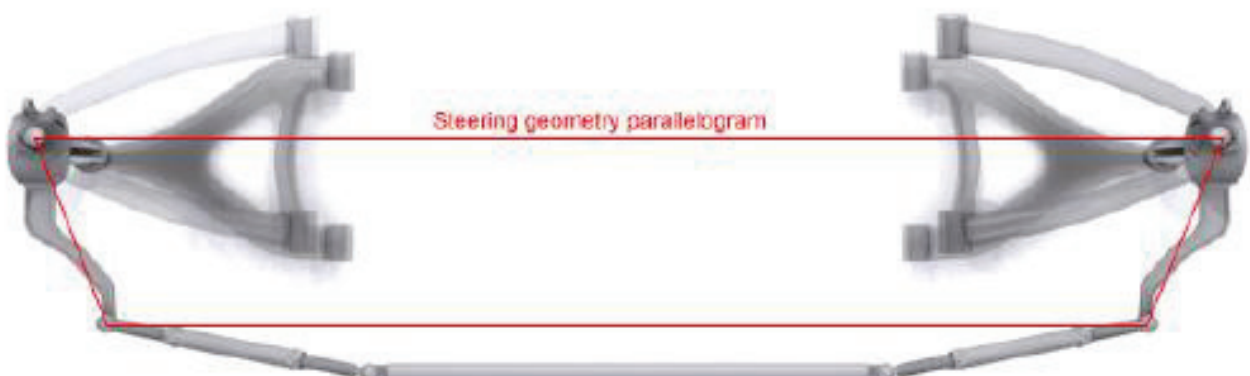
Zakretanje prednjih ili zadnjih točkova (upravjački efekat) usled bočnog naginjanja definiše se u odnosu na elastično oslonjenu masu pri njenom ugaonom pomeranju oko uzdužne ose vozila. Ilustrativni primer je dat na slici.



Uticajni faktori

Usaglašenost sistema za oslanjanje sa sistemom za upravljanje

Pre svega se odnosi na kompatibilnost prenosnog mehanizma sistema upravljanja sa mehanizmom za vodjenje točka u smislu eliminacije zakretanja upravjačkih točkova nekontrolisano od vozača kao posledica vertikalnog pomeranja upravjačkih točkova usled promene vertikalne dinamičke reakcije tla, odnosno održanje upravjačke komande vozača (ugla zakretanja točkova) nezavisno od vertikalnog ugiba upravjačkih točkova.



Uticajni faktori

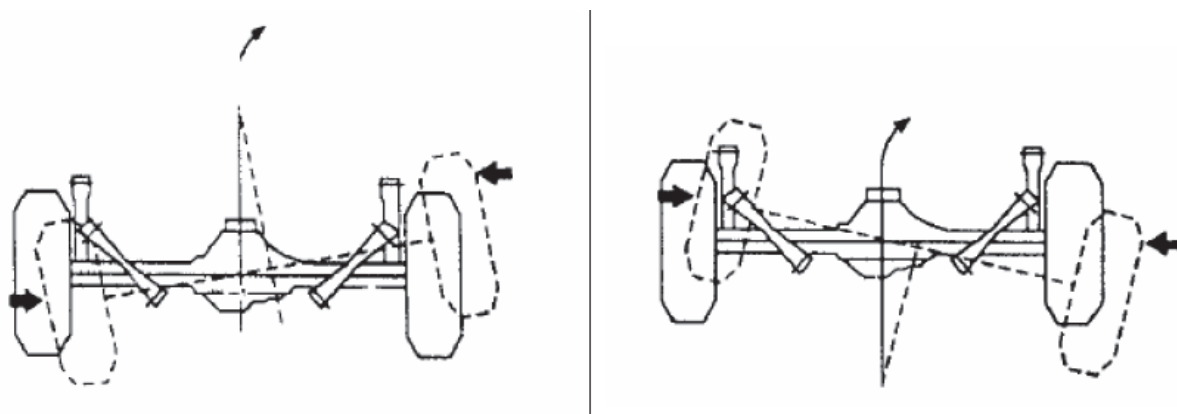
Zakretanje točkova usled deformacija pri dejstvu bočne sile

Pojava zakretanja točkova može nastati zbog uticaja bočne sile na deformaciju elastičnih zglobova, čaura i poluga sistema za oslanjanje.

Na primeru proste grede-osovine, uticaj deformacija elastičnih čaura pri dejstvu bočnih sila može se predstaviti kao rotacija osovine oko centra zakretanja (CZ).

CZ pomeren unapred na zadnjoj osovini - nadupravljivost

CZ pomeren unazad na zadnjoj osovini - podupravljivost



Uticajni faktori

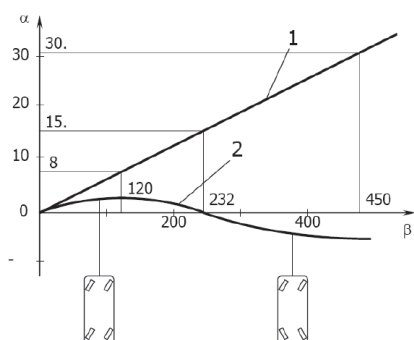
Upravljanje na svim točkovima

Osnovna karakteristika sistema 4WS kod putničkih automobila jeste da je znatno manje zakretanje zadnjih točkova u odnosu na prednje, kao i da se smer zakretanja zadnjih točkova menja.

Dva aspekta:

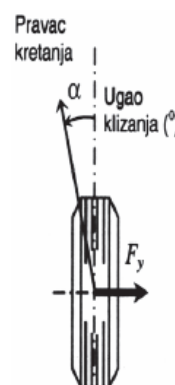
Manevrivosť (veliki uglovi zakretanja prednjih točkova, dok se zadnji točkovi zakreću za mali ugao u suprotnom smeru od prednjih); V-mala; F_y -mala;

Veća efikasnost prijema bočne sile u cilju stabilnijeg „držanja“ puta (prednji točkovi imaju mali ugao zakretanja, a zadnji točkovi se zakreću u istom smeru kao i prednji u cilju „kompenzovanja“ uglova povodjenja); V-velika; F_y -velika;



1- Zakretanje prednjih točkova

2- Zakretanje zadnjih točkova



Uticajni faktori

Načelni komentar

Problematika sagledavanja pojedinih uticaja na karakteristike ponašanja vozila prevashodno u pogledu bočne dinamike vozila, predstavlja pretpostavku za optimizaciju performansi vozila u pogledu njegove stabilnosti i upravljivosti i biće tematika-predmet kojim ćemo se nadalje baviti.

Jasno je da se samo uključenjem i objedinjavanjem svih uticajnih faktora i činilaca, mogu ostvariti visoke performanse vozila u pogledu njegove stabilnosti i upravljivosti.

Celovitost i sveobuhvatnost u istraživanjima se podrazumeva, pri čemu je eksperimentalna potvrda najčešće neophodna za konačnu verifikaciju projektovanih karakteristika vozila.

*ХВАЛА НА
ПАЖЊИ*