



16-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos
TRANSPORTO INŽINERIJA IR VADYBA,
vykusios 2013 m. gegužės 8 d. Vilniuje, straipsnių rinkinys

Proceedings of the 16th Conference for Junior Researchers 'Science – Future of Lithuania'
TRANSPORT ENGINEERING AND MANAGEMENT, 8 May 2013, Vilnius, Lithuania

Сборник статей 16-й конференции молодых ученых «Наука – будущее Литвы»
ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК, 8 мая 2013 г., Вильнюс, Литва

LENGVOJO AUTOMOBILIO NISSAN 200SX S14 DINAMINIO STOVUMO TYRIMAS

Aleksandras Ščiokinas¹, Loreta Levulytė²

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: ¹aleksandras.sciokinas@gmail.com, ²loreta.levulyte@vgtu.lt

Santrauka. Automobilio stovumas – viena svarbiausių aktyvųjų saugumą sudarančių eksploatacinių savybių. Skiriami statinis ir dinaminis automobilio stovumas. Dinaminis stovumas nagrinėjamas per automobilio slydimą skersine kryptimi, kuris dažniausiai pasireiškia važiuojant dideliu greičiu, todėl šis parametras yra svarbus projektuojant automobilius bei parinkinėjant jų konstrukcinius elementus automobilių varžyboms. Straipsnyje nagrinėjamas lengvojo automobilio NISSAN 200SX S14 dinaminis stovumas, aprašoma masės centro aukščio nustatymo metodika ir pagal ją patikrintos minėto automobilio ribinio slydimo ir vortimo sąlygos. Analizuojama kokią įtaką skersinio vortimo bei slydimo leistinam didžiausiam greičiui posūkyje turi pakitusi tarpvėžės ilgio reikšmė.

Reikšminiai žodžiai: lengvasis automobilis, automobilio stovumas, tarpvėžės ilgis, masės centras, greitis, pakaba.

Įvadas

Automobilio stovumu vadinama jo savybė išlaikyti statinę ir dinaminę pusiausvyrą t. y. savybė priešintis vortimui. Stovintį automobilį veikia tik jo svorio jėga, o važiuojantį – kintanti apkrova, priklausanti nuo jo svorio ir judėjimo varžos. Skiriami statinis ir dinaminis automobilio stovumas.

Statinis automobilio stovumas – tai jo savybė neprarasti statinės pusiausvyros, kai kelias pasviręs skersine ar išilgine kryptimi. Šio stovumo tipas labiausiai priklauso nuo automobilio konstrukcinių parametrų ir padangų sukibimo koeficiento, priklausančio nuo kelio dangos.

Dinaminis automobilio stovumas – tai jo savybė neprarasti dinaminės pusiausvyros kelio posūkyje ar manevruojant. Dinaminį stovumą galima nagrinėti kaip automobilio slydimą skersine kryptimi, kas dažniausiai pasireiškia, važiuojant dideliu greičiu, todėl šis parametras svarbus projektuojant automobilį.

Daugybė automobilio stovumo metodikų paverčia eksperimentinių bandymų procesą ilgalaikiu ir brangiu. Dabartinės metodikos, sprendžiant automobilio dinaminio stovumo uždavinį reikalauja specialių ir brangių prietaisų. Siekiant užtikrinti eismo saugumą, iškyla būtinybė

numatyti mažai sąnaudų reikalaujančią automobilio stovumo tyrimų metodiką.

Literatūros šaltinių apžvalga

Automobilio stovumas – viena svarbiausių aktyvųjų saugumą sudarančių eksploatacinių savybių, kurios įvertinimui skiriama daug dėmesio. Galima išskirti dviejų tipų technologijas, užtikrinančias automobilio dinaminį stovumą: sistema tiesiogiai kontroliuojanti automobilio stovumą per sistemas, kurios gauna informaciją iš pakabos (Chen, Hsu 2008) ir sistema, netiesiogiai įtakojanti stovumą, kuri pasireiškia automobilio stabilumo išlaikymu ekstremalaus stabdymo ar manevravimo metu. Ungoren ir Peng (2004) apskaičiavo transporto priemonės dinaminės stabilumo kontrolės parametrus, kurie turėtų užtikrinti transporto priemonės stabilumą įvairių manevrų metu.

Westhuizen, Els (2012) automobilio stabilumą nagrinėja analizuodami pakabos sukimąsi apie skersinę ašį ir traktuodami, kad nuo skersinio kampo priklauso automobilio masės paskirstymas manevruojant. Taip pat teigiama, kad skersinio posvyrio kampas kompleksiskai veikiant šoninėms jėgoms sumažina automobilio sukibi-

mą su kelio danga dėl to sumažėja automobilio dinaminis stovumas ir iškyla grėsmė eismo saugumui. „Adams“ programa modeliuojami įvairūs sportinio automobilio manevrai esant 60 km/h greičiui ir nagrinėjami ribiniai dinaminio stovumo atvejai.

Straipsnyje (Green, Woodrooff 2006) analizuojama elektroninės stabilumo sistemos ESC įtaką sportinių automobilių eismo įvykių kontekste. Akcentuojama, kad pagrindinės tokių eismo įvykių priežastys yra transporto priemonės stabilumo praradimas. Straipsnyje lyginama sportinio automobilio dinaminio stovumo parametrai su ESC ir be ESC sistemos.

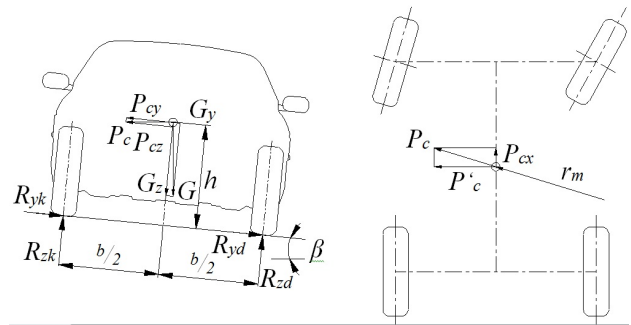
Papelis *et al.* atlieka empirinę elektroninės stabilumo sistemos veiksmingumo analizę, kai transporto priemonė praranda stabilumą. Analizė parodė, kad tik 5 % transporto priemonių prarado stabilumą su ESC sistema ir apie 30% be šios sistemos.

Automobilio judėjimo posūkyje dinamika, esant slidžiai ir snieguotai su asfalto provėžomis kelio dangai nagrinėjama straipsnyje Kemzūraitė *et al.* (2011). Siekiant nustatyti skirtingų lengvųjų automobilių stabilumą kelio posūkyje, esant skirtingai kelio dangai bei judant skirtingais greičiais buvo atlikti eksperimentai su dviem skirtingais automobiliais ir buvo bandoma nustatyti automobilius veikiančias skersines jėgas. Matavimai atlikti elektroniniu prietaisu „XL Meter Pro Gamma“, matuojančiu automobilio skersinius ir išilginius pagreičius. Tyrimo rezultatai parodė, kad važiuojant tuo pačiu greičiu snieguota kelio danga, kai ratų sukibimo su keliu koeficientas mažas, yra gerokai pavojingesnis, nei esant snieguotai kelio dangai su sausomis asfalto provėžomis.

Tam, kad būtų įmanoma tiksliai nustatyti automobilio dinaminį stovumą, reikia atlikti daugybę automobilio dinamikos bandymų. Beveik visi galimi būdai aprašomi Mitunevičiaus straipsnyje (2000). Straipsnyje akcentuojama, kad yra žinoma apie 30 kelių transporto priemonių skersinės dinamikos bandymo metodų. Šie metodai automobilio judėjimo režimo bei trajektorijos atžvilgiu gali būti suskirstyti į: 1) važiavimas tiesiai; 2) važiavimas apskritimu; 3) manevravimas; 4) skersinis svyravimas. Nagrinėdamas stovumo tyrimų metodus, straipsnio autorius apžvelgia bandymų algoritmus, konstrukcinius parametrus, įtakančius stovumą kiekvienu konkreto bandymo metu, ir vertinamus dinaminis kriterijus. Viena iš skersinės automobilio dinamikos charakteristikų, anot autoriaus, galėtų būti laikoma automobilio potencinė diagrama, vaizduojanti vertimo momento priklausomybę nuo santykinio pagreičio.

Teorinė automobilio dinaminio stovumo analizė

Tarkime, kad automobilis važiuoja kreive, kurios spindulys r_m , automobilio greitis v ir skersinio kelio posvyrio kampas β yra pastovūs, atsiranda inercijos jėgos, kurios stengiasi išbalansuoti automobilį. Veikiančių jėgų dydis labiausiai priklauso nuo posūkio trajektorijos spindulio r_m ir automobilio važiavimo greičio v , visos šios jėgos pavaizduotos 1 pav.



1 pav. Schema skersiniam dinaminiam stovumui nagrinėti

Kritinis važiavimo greitis, kuriam esant automobilis nepraranda stabilumo ir neišslysta iš važiavimo trajektorijos, apskaičiuojamas pagal formulę:

$$v_{slyd} = \sqrt{g \cdot r_m \cdot \varphi}, \quad (1)$$

čia: r_m – posūkio trajektorijos spindulys, m; g – laisvojo kritimo pagreitis, m/s^2 ; φ – padangų sukibimo su kelio danga koeficientas.

Važiuojant posūkyje dėl veikiančių jėgų automobilis gali prarasti stabilumą ir virsti išilginės ašies atžvilgiu, tokiu atveju virtimo sąlyga kritiniam važiavimo greičiui apskaičiuoti gali būti naudojama tokia formulė:

$$v_{virt} \leq \sqrt{g \cdot r_m \cdot \frac{\frac{b}{2} + h \cdot \operatorname{tg} \beta}{h - \frac{b}{2} \cdot \operatorname{tg} \beta}}, \quad (2)$$

čia: r_m – posūkio trajektorijos spindulys, m; g – laisvojo kritimo pagreitis, m/s^2 ; β – skersinio kelio posvyrio kampas; h – automobilio masės centro aukštis, m; b – automobilio tarpuvežio plotis, m.

Automobilio masės centro aukštį h galima apskaičiuoti pagal formulę:

$$h = \frac{b}{G_p} \cdot (R'_{zd} - R_{zd}) \cdot \operatorname{ctg} \beta, \quad (3)$$

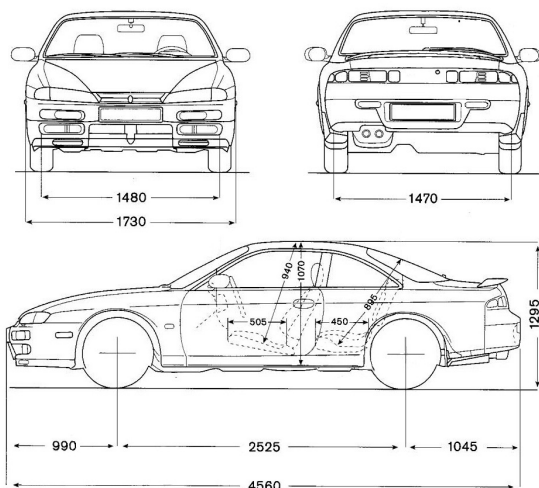
čia: G_p – priekinės automobilio ašies apkrova, kN; R_{zd} – atraminės reakcijos jėga į priekinės ašies ratą, kN; R'_{zd} – atraminės reakcijos jėga į priekinės ašies ratą, sveriant pasvirusį automobilį, kN; β – skersinio kelio posvyrio kampas.

Iš formulėse pateiktų priklausomybių matyti, kad norint padidinti automobilio stovumą, reikia sumažinti automobilio svorio centro aukštį ir/arba padidinti tarpvėžės ilgį. Sumažinus masės centro aukštį tuo pačiu galima sumažinti neigiamą masės centro poveikį modifikuojant pakabą t. y. keičiant kai kuriuos bazinius elementus ir pritaikant naujus. Nuo pakabos mazgų suderinamumo tarpusavyje priklauso automobilio stovumo savybės. Pagrindiniai pakabos elementai, kuriuos galima modifikuoti norint paveikti automobilio stovumą yra:

- spyruoklė (tamprusis elementas);
- amortizatorius (slopinantis elementas);
- svirtys (rato kinematiką nusakantys elementai).

Tyrimo metodika

Dinaminio stovumo tyrimams atlikti parinktas autosportui skirtas lengvasis automobilis NISSAN 200SX S14, kurio gabaritiniai matmenys pateikti 2 pav. Dažniausiai šio modelio automobiliai naudojami skersinio slydimo varžybose, nes automobilio konstrukcija atitinka neseniai išpopuliarėjusio autosporto reikalavimus. Pagrindinė gamyklinio automobilio problema yra jo dinaminio stovumo trasoje praradimas, nes standartinė automobilio pakaba nėra pritaikyta lenktynėms, todėl norint užtikrinti eismo saugumą tokio tipo varžybose būtina modifikuoti pakabą.

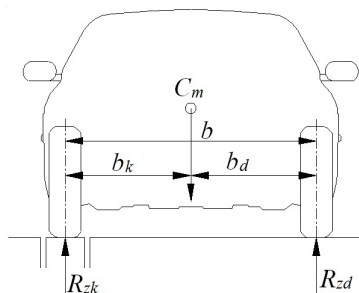


2 pav. Automobilio NISSAN 200SX S14 gabaritiniai matmenys

Siekiant nustatyti bazinio NISSAN 200SX S14 automobilio masės centro aukštį reikia atlikti tokius matavimus:

1. Automobilis pastatomas ant svarstyklių kairiuoju ir dešiniuoju priekinės ašies ratu, kaip parodyta 3 pav.

Išmatavus kairiosios ir dešiosios automobilio pusės mases galima nustatyti atramines reakcijas R_{zk} ir R_{zd} . (3 pav.).



3 pav. Automobilio priekinės ašies svėrimas

Atraminės reakcijos į kairįjį ir dešinįjį priekinės ašies ratus apskaičiuojamos pagal formules:

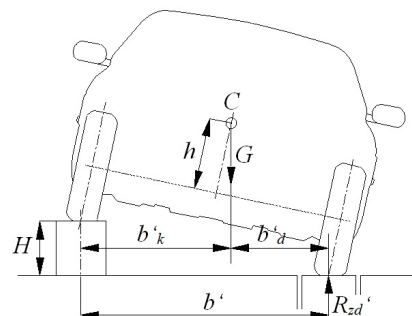
$$R_{zk} = m_k \cdot g, \quad (4)$$

$$R_{zd} = m_d \cdot g, \quad (5)$$

Priekinės ašies svoris apskaičiuojamas pagal formulę:

$$G_p = R_{zk} + R_{zd}, \quad (6)$$

2. Automobilio masės centro aukštis h surandamas automobilį sveriant pasvirusį, vieną automobilio pusę pakeliant pasirinktu aukščiu H , kaip parodyta 4 pav.



4 pav. Automobilio svėrimas vieną jo pusę pakeliant aukščiu H

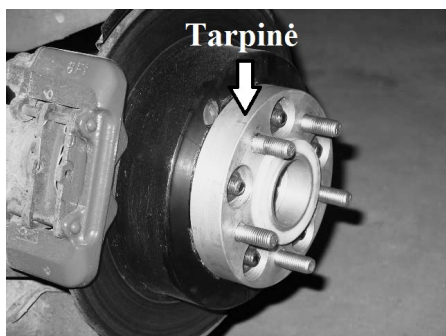
Pasvėrus automobilį sužinoma R_{zd}' ir pagal (3) formulę skaičiuojama automobilio masės centro aukščio koordinatė, įvertinant susidariusį kampą, jo kotangento reikšmė gaunama iš formulės:

$$\operatorname{ctg} \beta = \frac{b'}{H}, \quad (7)$$

Pagal (3) formulę teoriškai apskaičiuotas automobilio NISSAN 200SX S14 svorio centras lygus $h = 0,389$ m.

Toliau nagrinėjamas automobilio dinaminis skersinis stovumas, kai kelias yra horizontalus ir nėra viražo (kampo), tai $\beta = 0^\circ$, pasirenkamas posūkio trajektorijos spindulys r_m ir nustatomos ribinės virtimo ir slydimo greičių vertės esant standartiniam ir modifikuotam tarpvėžės ilgiui.

Automobilio dinaminį stovumą galima padidinti didinant tarpvėžės ilgį. Didinimui naudojamos specialiai pagamintos metalinės tarpinės, kurios (angl. *spacers*) montuojamos tarp stabdžio disko ir ratlankio, kaip parodyta 5 pav.

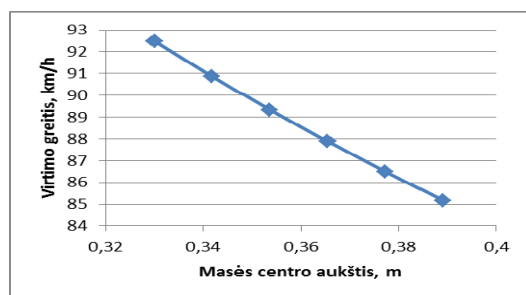


5 pav. Tarpvėžės didinimas tarpine

Tokiu būdu automobilio NISSAN 200SX S14 tarpvėžės ilgis pagal teorinius skaičiavimus pailgėja 80 mm. Pagal pateiktą metodiką perskaičiuotas automobilio su modifikuota pakaba masės centro aukštis buvo gautas $h = 0,330$ m.

Remiantis aprašyta metodika, apskaičiuotos tokios kritinės virtimo ir slydimo greičių reikšmės:

- 1) Kai automobilio pakaba standartinė ($b = 1,480$ m; $h = 0,389$ m), virtimo greitis kelio kreivėje lygus 82,5 km/h, o greitis prie kurio automobilis pradės slysti – 55,1 km/h.
- 2) Kai automobilio pakaba modifikuota ($b = 1,560$ m; $h = 0,330$ m), virtimo greitis lygus 94,9 km/h, o slydimo greitis – 55,2 km/h. Reikšmės grafine išraiška pateiktos 6 pav.



6 pav. Važiavimo greičio ir masės centro aukščio priklausomybė

Reikia atkreipti dėmesį į tai, kad žeminant automobilio pakabą virtimo svirtis pailgėja ir pablogėja amortizatorių veikimo charakteristika, todėl modifikuoti automobilio pakabą reikia įvertinant saugumą ir jam keliamus reikalavimus, taip pat dėl masės centro aukščio pokyčio atsiranda ratų išvirtimo kampo pokytis ir automobilio manevringumo sumažėjimas dėl ko gali iškilti eismo saugumo užtikrinimo problemų.

Išvados

1) Siekiant įvertinti automobilio pakabos konstrukcinių parametrų įtaką lengvojo automobilio NISSAN 200SX S14 skersiniam dinaminiam stovumui, buvo atlikti teoriniai slydimo ir virtimo greičių posūkyje skaičiavimai automobilio su standartine bei modifikuota pakabomis. Palyginus gautas reikšmes pastebėta, kad prailginus automobilio tarpvėžę 80 mm leistinas važiavimo greitis padidėja apie 10 %.

2) Nustatyta tiesinė virtimo greičio ir masės centro aukščio priklausomybė, esant mažesniai masės centro aukščiui galimas didesnis saugus važiavimo greitis, kuriam esant automobilis nepraras stovumo ir nevirs. Slydimo greičiui masės centro aukštis reikšmės neturi, nes šio greičio reikšmė priklauso nuo automobilio padangos sukibimo su kelio danga koeficiento

3) Taigi, norint užtikrinti automobilio stabilumą važiuojant trasoje ar dalyvaujant skersinio slydimo varžybose rekomenduojama modifikuoti pakabą, o pats paprasčiausias ir pigiausias būdas – padidinti automobilio tarpvėžę tarpine.

Literatūra

- Bartulis, V.; Petrovas, D. 2007. Savivarčių automobilių statinio stovumo palyginimas. *Transportas*: 275-281.
- Chen, B. C.; Hsu, W. F., 2008. Sliding-mode control design of electric stability control for rollover prevention. *Proceedings of the AVEC, International symposium on advanced vehicle control*: 714-720.
- Green, P. E.; Woodrooffe, J. 2006. The estimated reduction in the odds of loss-of-control type crashes for sport utility vehicles equipped with electronic stability control. *Journal of Safety Research*: 493-499.
- Kececi E. F.; Tao, G. 2005. Adaptive vehicle skid control, *Mechatronics* 16: 291-301.
- Kemzūraitė, K.; Mikaliūnas, Š.; Sokolovskij, E.; Garbinčius, G. 2011. Automobilio judėjimo posūkyje tyrimas žiemos sąlygomis. *Transportas*: 25-28.
- Mitunevičius, V. 2000 Skersinės automobilių dinamikos kriterijų tyrimo kryptys. *Transportas*: 237-243, ISSN 1392-1533.
- Papelis, Y. E.; Watson, G. S.; Brown T. L. 2010. An empirical study of the effectiveness of electronic stability control system in reducing loss of vehicle control. *Accident Analysis and Prevention* 42: 929-934.

- Schofield, B.; Hagglund, T. 2008. Optimal control allocation in vehicle dynamics control for rollover mitigation. *Proceedings of the American control conference*: 3231–3236.
- Seluga, K. J.; Ojalvo, I. U. 2006. Braking hazards of golf cars and low speed vehicles. *Accident Analysis and Prevention* 38: 1151–1156.
- Šerkšnas, A. 1999. Autovežio stovumo kelio posūkyje skaičiavimo metodika. *Transportas*. (2): 99-102.
- Ungoren, A.Y.; Peng, H. 2004. Evaluation of vehicle dynamic control for rollover prevention. *International Journal of Automotive Technology*, 5(2): 115–122.
- Westhuizen, S. F.; Els, P. S. 2012. Slow active suspension control for rollover prevention. *Journal of Terramechanics*.
- Wielenga, T. J.; Chace, M. A. 2000. A study of rollover prevention using anti rollover braking. *SAE Technical paper*, 2000-01-1642.
- Zheng, S.; Tang, H.; Han, Z.; Zhang, Y. 2006. Controller design for vehicle stability enhancement. *Control Engineering Practice* 14: 1413–1421.