

ĮVAIRIŲ AUTOMOBILIO MANEVRAVIMO KELIŲ ILGIŲ PALYGINIMAS

Artūras Žukas¹, Edgar Sokolovskij²

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: ¹arturas.zukas@vgtu.lt; ²edgar.sokolovskij@vgtu.lt

Santrauka. Straipsnyje nagrinėjamos įvairios automobilių manevrų rūšys, jų panaudojimo įvairiose situacijose galimybės. Automobilio manevravimas avarinėje situacijoje gretinamas su stabdymu, siekiant išvengti kelyje netikėtai atsiradusios kliūtys. Schemomis paaiškinami manevro ruožai, vairuotojo veiksmai juose. Pateikiamos formulės įvairiems automobilio judėjimo parametrams manevro metu apskaičiuoti. Įvertinamas įvairių manevro rūšių efektyvumas įvairiais atvejais. Straipsnio pabaigoje pateikiamos išvados apie tinkamiausią ir saugiausią manevrą, esant ribotam važiuojamosios dalies pločiui.

Reikšminiai žodžiai: manevrų rūšys, automobilis, eismo saugumas, judėjimo trajektorija, avarinė situacija.

Įvadas

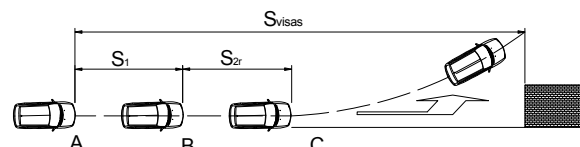
Susiklosčius pavojingai situacijai automobilių kelyje, visi automobilių transporto eismo dalyviai turi imtis visų priemonių, kad būtų išvengta eismo įvykio, kurio metu gali nukentėti transporto priemonės ar netgi atsirasti pavojus žmonių sveikatai ir gyvybei. Vienas iš būdų, leidžiančių išvengti eismo įvykio, – vairo rato pasukimas ir pavojingos zonos apvažiavimas, įvažiuojant į kitą arba priešpriešinio eismo juostą. Tačiau ekspertinėje praktikoje šis manevras pradėtas nagrinėti palyginti neseniai. Tai paaiškintina tuo, kad tokiam automobilio judėjimui aprašyti reikalinga pakankamai sudėtinga lygtis. Be to, remiantis *Lietuvos kelių eismo taisyklėmis*, 133 punktu, kuriame rašoma, kad vairuotojas turi pasirinkti važiavimo greitį atsižvelgdamas į važiavimo sąlygas, ypač vietovės reljefą, kelio ir transporto priemonės būklę ir krovinį, meteorologines sąlygas, taip pat eismo intensyvumą, kad galėtų sustabdyti transporto priemonę iki bet kurios kliūtis, kelių transporto priemonės vairuotojui siūlomas tik stabdymas, siekiant išvengti eismo įvykio. Iki šiol nėra aiškios ir patikimos metodikos, taikomos ruošiant vairuotojus, kuri leistų jiems atitinkamose situacijose priimti tinkamiausią būdą, siekiant išvengti eismo įvykio. Taip pat įrodyta, kad devyniose iš dešimties pavojingų situacijų vairuotojai susidūrimo su kliūtimi stengiasi išvengti ne tik stabdžiais, bet ir vairo ratu. Kai kuriais atvejais, pavyzdžiui, sugedus stabdžių sistemai, manevras yra vienintelis būdas, galintis padėti išvengti avarijos. Taigi analizuosime, kokios yra manevrų rūšys ir kada kokius manevrus yra tikslinga naudoti (Sokolovskij 2004; Bogdevičius *et al.* 2004; Lukoševičienė 2001; Donges 1999; Ahlgrimm and Grandel 1997; Danner and Halm 1994; Fricke 1990; Limpert 1989; Collins 1979).

Manevrų rūšys

Išnagrinėsime nejudančios kliūtis apvažiavimo procesą, pavaizduotą 1 pav. A taške vairuotojas, judėdamas keliu tiesiai, pastebi kelyje esančią kliūtį. Per kelią S_1 (reakcijos laiko kelias) transporto priemonės vairuotojas įvertina kliūtį ir priima sprendimą dėl manevro. Šito periodo gale – B taške vairuotojas pradeda sukti vairo ratą. Nepaisant vairuotojo veiksmy automobilis kurį laiką t_r vis tiek važiuoja tiesiai (ruožas $BC = S_{2r}$). Laikas t_r įvertina vairo mechanizme, transporto priemonės pakaboje esančių laisvumų, priekinių padangų deformacijos įtaką ir pan. Be to, nereikia pamiršti, kad automobiliuose su vairo stiprintuvais taip pat reikia įvertinti vairo mechanizmo stiprintuvo nejudrumo zoną. Laikas t_r vadinamas vairo mechanizmo vėlavimo laiku. Taigi tik C taške automobilis pradeda keisti savo judėjimo trajektoriją.

Vairuotojo, pasiruošusio atlikti manevrą, reakcijos laikas yra 10–20 proc. ilgesnis, nei vien tik stabdant. Tai susiję su tuo, kad vairuotojas turi pasirinkti tinkamiausią manevro rūšį ir netgi kai kuriais atvejais laikas priklauso nuo vairuotojo patirties ir įgūdžių. Tačiau ekspertinėje praktikoje reakcijos laikas manevruojant ir stabdant yra lygus.

Laikas t_r taip pat nėra tyrinėtas labai išsamiai. Tačiau pagal eksperimentinius duomenis, priklausomai nuo transporto priemonės konstrukcijos tipo ir jos bendrosios



1 pav. Nejudančios kliūtis apvažiavimas

Fig. 1. Bypassing a stationary obstacle

būklės, šis laikas svyruoja 0,2–0,4 sekundžių ribose, lengviesiems automobiliams ir 0,8–1,2 sekundės kroviniams, turintiems pneumatinių vairo stiprintuvą ir pavara.

Norėdamas išvengti avarijos, vairuotojas gali pasirinkti vieną iš manevrų rūšių. Pačiu paprasčiausiu atveju jis labai staigiai pasuka vairo ratą į kurią nors pusę θ kampu. Tokiu atveju automobilis juda į tą pusę vis mažesniu spinduliu (žr. 2 pav. a). Toks manevras reikalauja itin didelio važiuojamosios dalies pločio ir praktiškai negali būti pritaikomas keliuose.

Vairuotojas taip pat gali pasukti vairą maksimaliu kampu θ į vieną iš pusių, o po to grąžinti jį į neutralią padėtį (žr. 2 pav. b). Pirmame trajektorijos ruože AB posūkio spindulys staigiai mažėja, o baigiamojėje dalyje – didėja. Tarpinėje padėtyje BC vairuotojas keičia važiavimo kryptį, staigiai atsukdamas vairo ratą. Tam, be abejo, reikalingas laikas, apytiksliai lygus t_{2r} , dėl anksčiau jau minėtų priežasčių. C taške priekiniai ratai pradeda sukėti atgaline kryptimi, kampas θ sumažėja ir ruože CD automobilis juda vis didėjančio spindulio posūkiu. D taške priekinių ratų padėtis neutrali, kampas $\theta = 0^\circ$. Automobilis, išvengęs kliūties, juda tiesiai ir gali būti stabdomas.

Abu šie nagrinėti manevrai nereikalauja iš vairuotojų itin gerų įgūdžių (užtenka vieno – dviejų staigių vairo rato pasukimų), tačiau jiems atlikti reikia gan plataus kelio. Tačiau galutinėje manevro fazėje automobilis gali išvažiuoti į priešingą eismo kryptį ar net nuvažiuoti nuo kelio. Tai, be abejo, padidina susidūrimo su priešpriešiais važiuojančiu automobiliu, augančiu medžiu ar einančiu pėsčiuoju ir pan. tikimybę. O tai neišvengiamai nulemia dar vieną avarinę situaciją. Vargu ar galima tikėtis iš vairuotojo, prieš akimirką patyrusio stresinę situaciją, kad jis bus pasirėngęs staigiai sureaguoti į naująją. Todėl nusukimo ar nusukimo ir išlyginimo manevrus galima naudoti tik tais atvejais, jei priekyje ir šonuose yra pakankamai vietos jiems atlikti. Tam galėtų tikti didelė miesto aikštė, plati sankryža. Dar šį manevrą galima naudoti tada, kai automobilio nusukimas nuo kelio į kelkraštį neturės didelės žalos.

Dažnu atveju, atliekant automobilio manevrą, automobilis turi išlikti kelyje, kurio plotis pakankamai ribotas. Atlikdamas trečią manevro rūšį – judėjimo juostos pakeitimą – vairuotojas iš pradžių staigiai pasuka vairo ratą į priešingą kryptį pusę kampu θ_m (žr. 2 pav. c), tada staigiai vairo ratą atsuką į neutralią padėtį, ir vėl jį pasuka į priešingą pusę kampu θ_m . Tokio manevro metu automobilio judėjimo trajektorija susideda iš šešių ruožų.

Po šio manevro automobilis toliau juda ta pačia lygiagrečia kryptimi ir išlieka kelyje.

Kampo θ priklausomybės nuo laiko grafikas, atliekant judėjimo juostos pakeitimo manevrą, pavaizduotas 3 pav. Kelio plotis, kurio reikia judėjimo juostos pakeitimo manevrui atlikti, yra daug mažesnis nei nusukimo ir nusukimo su išlyginimu manevrams.

Tam, kad vairuotojas išvengtų eismo įvykio, jis turi vairo ratą pasukti ir atsukti kaip įmanoma greičiau. Tačiau šis greitis yra apribotas vairuotojo psichofiziologinių galimybių. Turimi eksperimentiniai duomenys rodo, kad įgudęs vairuotojas gali pasukti vairą 0,3–0,5 rad/s greičiu lengviesiems automobiliams ir 0,15–0,3 rad/s sunkvežimiams ir autobusams. Tačiau kampinis greitis θ° negali būti itin didelis, nes tokiu atveju bus prarastas automobilio valdomumas ir automobilis pradės slysti.

Atlikdamas bet kurią iš manevrų rūšių, vairuotojas turi užtikrinti kitų eismo dalyvių saugumą ir visomis išgalėmis išvengti automobilio slydimo. Maksimalus priekinių ratų pasukimo kampas yra ne kas kita, kaip kampinio greičio θ° ir laiko τ_1 funkcija:

$$\theta_m = \theta^\circ \cdot \tau_1. \quad (1)$$

Tai rodo,

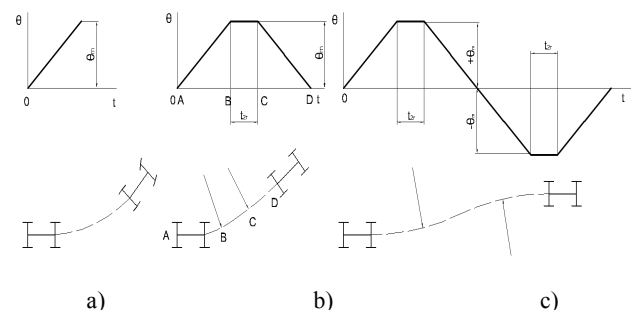
$$v_a^2 \cdot \theta^\circ \cdot \tau_1 = g \cdot L \cdot \varphi_y. \quad (2)$$

Iš čia priekinių ratų pasukimo greitis pagal užmetimo slydimo sąlygą yra:

$$\theta^\circ = \frac{g \cdot L \cdot \varphi_y}{v_a^2 \cdot \tau_1}. \quad (3)$$

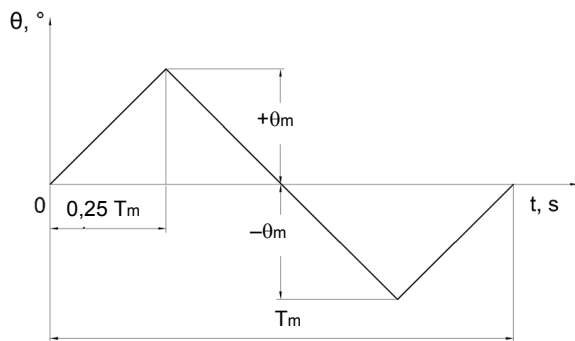
Ekspertai dažniausiai žino ne manevrui atlikti skirtą laiką τ_1 , o atstumą x_m , reikalingą manevrui atlikti. Tada visas laikas, skirtas manevrui atlikti:

$$\tau_m = x_m / v_a. \quad (4)$$



2 pav. Manevrų tipai: a – nusukimas; b – nusukimas su ištiesinimu, c – judėjimo juostos pakeitimas

Fig. 2. Types of maneuvers: a – turn; b – turn with straightening; c – change of lane



3 pav. Priekinių automobilio ratų pasukimo dėsnis, atliekant juostos pakeitimo manevrą

Fig. 3. Front wheel turn angle law applied when making change of lane maneuver

Laikas τ_1 , būtinas priekiniams ratams pasukti kampą θ_m , priklauso nuo manevro rūšies. Pavyzdžiui, nusukimui šis laikas yra lygus viso manevro laikui τ_m , o nusukimui su išlyginimu – pusė manevro trukmės – $0,5\tau_m$. O judėjimo juostos pakeitimo manevrui sudaro $0,25\tau_m$ viso manevro laiko. Iš to matyti, kad gauname tris atskiras formules, skirtas maksimaliam leidžiamajam ratų pasukimo greičiui skaičiuoti. Šie greičiai pateikti 1 lentelėje.

Vairuotojui pasirinkus judėjimo juostos pakeitimo manevrą, per tą patį laiko tarpą reikia padaryti daug daugiau judesių nei kitas dviem analizuotais manevrų atvejais. Tai, be abejo, reiškia, kad vairuotojas turi būti labiau patyręs, nes reikia tiksliau įvertinti manevrui reikalingą vietą, greitį ir t. t. Tačiau nepaisant to, po tokio manevro automobilis išlieka gretimoje eismo juostoje, lygiagrečioje tai, kuria prieš tai buvo važiuojama.

1 lentelė. Manevro kelio ilgio skaičiavimo formulės

Table 1. Formulas for calculating various car parameters of maneuvers

Parametras	Manevro tipas		
	Nusukimas	Nusukimas su išlyginimu	Judėjimo juostos pakeitimas
τ_1, s	$\frac{x_m}{v_a}$	$\frac{x_m}{2v_a}$	$\frac{x_m}{4v_a}$
$\theta^\circ, \text{rad/s}$	$\frac{g \cdot L \cdot \phi_y}{(v_a \cdot x_m)}$	$\frac{2g \cdot L \cdot \phi_y}{(v_a \cdot x_m)}$	$\frac{4g \cdot L \cdot \phi_y}{(v_a \cdot x_m)}$
Kelio ilgis manevrui atlikti, m	$S_m = (t_1 + t_v) \cdot \frac{v_a}{3,6} \cdot \sqrt{\frac{4}{g \cdot \phi'}}$	$S_m = (t_1 + t_v) \cdot \frac{v_a}{3,6} \cdot \sqrt{\frac{6y}{g \cdot \phi'}}$	$S_m = (t_1 + t_v) \cdot \frac{v_a}{3,6} \cdot \sqrt{\frac{8y}{g \cdot \phi'}}$

čia: t_1 – vairuotojo reakcijos laikas (dieną ~ 0,8 s, naktį ~ 1,2 s);
 t_v – vairo mechanizmo vėlavimo laikas (lengviesiems automobiliams 0,2÷0,4 s, krovininiams 0,8÷1,2 s);
 v_a – automobilio greitis, km/h; y – manevrui skirtas kelio plotis, m;
 g – laisvojo kritimo pagreitis ($g=9,81 \text{ m/s}^2$); ϕ' – skersinis slydimo koeficientas

Teorinis manevrų kelio ilgių tyrimas

Toliau atliksime teorinius manevrų kelio ilgio skaičiavimus, t. y. teoriškai apskaičiuosime manevrui atlikti reikalingo kelio ilgį, kiekvienu iš atvejų. Formulės kiekvienai manevro rūšiai apskaičiuoti pateiktos 1 lentelėje.

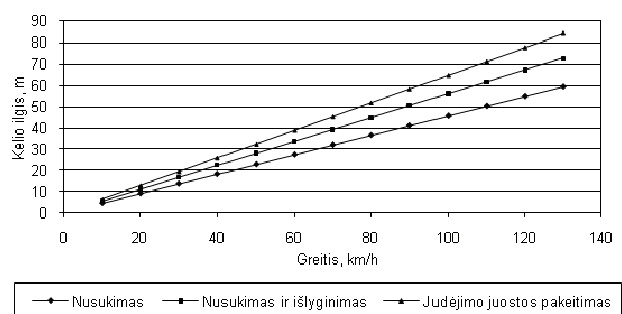
Kadangi nagrinėsime tik techninį kelio ilgį esant įvairiam automobilių greičiui, nevertinsime vairuotojo reakcijos bei vairo mechanizmo suveikimo laiko. Priimsime, kad kelio plotis lygus 6 m ir laikysime, kad manevras atliekamas ant sauso asfalto. Skersinis slydimo sauso asfalto koeficientas yra $\phi' = 0,8-1$. Tarsime, kad šis koeficientas yra lygus 0,8. Taigi apskaičiuojame kelio ilgį (žr. 2 lentelę).

Grafiškai manevro kelių ilgių pavaizduoti 4 pav.

2 lentelė. Įvairių manevrų kelio ilgio priklausomybė nuo automobilio greičio

Table 2. Road length dependency of various maneuvers

Greitis, km/h	Manevro tipas		
	Nusukimas	Nusukimas ir išlyginimas	Judėjimo juostos pakeitimas
10	4,58	5,61	6,48
20	9,16	11,22	12,95
30	13,74	16,83	19,43
40	18,32	22,44	25,91
50	22,90	28,05	32,38
60	27,48	33,65	38,86
70	32,06	39,26	45,34
80	36,64	44,87	51,81
90	41,22	50,48	58,29
100	45,80	56,09	64,77
110	50,38	61,70	71,25
120	54,96	67,31	77,72
130	59,54	72,92	84,20



4 pav. Grafinis įvairių manevrų kelio ilgių palyginimas

Fig. 4. Graphical comparison of various maneuvers

Akivaizdu, kad trumpiausią manevro kelią turi nusukimo manevras. Tuo tarpu ilgiausią – judėjimo juostos pakeitimo manevras. Esant 50 km/h greičiui judėjimo juostos pakeitimo manevrui atlikti reikia 9,48 metrais ilgesnio atstumo, o manevrą atliekant esant 130 km/h – skirtumas sudaro net 24,66 metrus. Tačiau esant tokiam

dideliam greičiui, visi trys manevrai yra labai pavojingi, todėl tinkamiausias jų – judėjimo juostos pakeitimas, nes automobilis išlieka kelyje.

Išvados

1. Nors ir Lietuvos kelių eismo taisyklėse rašoma, kad reikia pasirinkti saugų važiavimo greitį atsižvelgiant į daug aplinkybių, tam, kad visada būtų galima iškilus avarinei situacijai sustabdyti transporto priemonę, akivaizdu, kad didžioji dalis tokių situacijų būna pernelyg netikėtos. Transporto priemonės manevras gali padėti išvengti eismo įvykio.

2. Manevrų rūšys „nusukimas“ ir „nusukimas su išlyginimu“ ribotai panaudojamos intensyvaus eismo keliuose su ribotu kelio pločiu. Jos tinkamos naudoti didelėse miesto aikštėse, plačiose sankryžose ir pan.

3. Saugiausia manevro rūšis – „judėjimo juostos pakeitimas“. Šis manevras tinkamiausias esant ribotam kelio pločiui. Be to, šio manevro pabaigoje automobilis išlieka gretimose eismo juostoje, dėl to ir yra saugiausias.

Literatūra

- Ahlgrimm, J.; Grandel, J. 1997. Verkehrsunfallaufnahme bei Fahrzeugen mit Anti-Blockier-System (ABS), *Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik* 3: 67–74.
- Bogdevičius, M.; Prentkovskis, O.; Vladimirov, O. 2004. Engineering solutions of traffic safety problems of road transport, *Transport* 19(1): 43–50.
- Collins, J. C. 1979. *Accident reconstruction*, Charles Thomas, Springfield.
- Danner, M.; Halm, J. 1994. *Technische Analyse von Verkehrsunfällen*. Eurota (International) AG CH-8808 Pfäffikon. 570 p.
- Donges, E. 1999. A Conceptual framework for active safety in road traffic, *Vehicle System Dynamics* 32(2/3): 113–128.
[doi:10.1076/vesd.32.2.113.2089](https://doi.org/10.1076/vesd.32.2.113.2089)
- Fricke, L. 1990. *Traffic accident reconstruction*, Northwestern University Traffic Institute.
- Limpert, R. 1989. *Motor vehicle accident reconstruction and cause analysis*, The Michie Company.
- Lukoševičienė, O. 2001. *Autoįvykių analizė ir modeliavimas*. Monografija. Vilnius: Technika. 244 p.
- Sokolovskij, E. 2004. *Rato saveikos su keliu ir jo elementais tyrimai eismo įvykių ekspertizės kontekste*. Daktaro disertacija. Vilnius: VGTU. 147 p.
- Иларионов, Б. 1989. *Экспертиза дорожно-транспортных происшествий*. Москва: Транспорт. 254 с.

THE ANALYSIS OF ROAD LENGTH OF VEHICLE MANEUVER

A. Žukas, E. Sokolovskij

Abstract

The article examines various types of vehicle maneuvers and the possibility of making them under various conditions.

Vehicle maneuvering in the case of emergency is compared with braking used to avoid a traffic accident. It is also used to avoid a collision with a moving or a stationary obstacle suddenly appearing on the road.

Schemes describe the segments of maneuvering and show the driver's actions at this moment.

The article also offers the formulas for calculating various vehicle movement parameters during this process.

All types of maneuvers are evaluated.

The conclusions based on the analysis performed allow us to determine which type of maneuver is suitable for a particular situation.

Keywords: types of maneuvers, vehicle, traffic safety, trajectory of movement, emergency