

Dynamika vozidla v dopravním proudu

Klára Menglerová, Ivan Nagy

Tento článek pojednává o dynamice vozidla, které se pohybuje bezprostředně za vozidlem (prvním z dvojice vozidel) jedoucím konstantní rychlostí po přímočaré vodorovné trajektorii. Řízení vozidla je modelováno podmínkou dodržování bezpečné vzdálenosti řízeného vozidla za vozidlem jedoucím před ním. Tato podmínka modeluje chování řidiče a jeho subjektivní hodnocení dynamiky řízeného vozidla s ohledem na polohu vozidla jedoucího bezprostředně před ním.

This paper solves the dynamics of the vehicle that moves directly immediately behind the another car (the first of the two vehicles) moving a constant rate over straight horizontal trajectory. Driving the vehicle is modeled by the condition of respecting the safe distance behind the vehicle moving immediately in front of him. This condition models the behavior of the driver and his subjective evaluation of the dynamics of the driven vehicle with regard to the position of a vehicle moving immediately before it.

1. Úvod

V článku je vyšetřován model pohybu vozidla v dopravním proudu dvou vozidel, který je ovlivněn pohybem vozidla jedoucího před ním. Model zahrnuje i vliv řidiče vozidla, neboť on rozhodujícím způsobem ovlivňuje situaci na komunikaci. Jsou stručně popsány základní přístupy k řešení problematiky dopravních modelů a vymezeny podstatné vlastnosti řidiče. Pro námi navržený model dopravního proudu jsou zavedeny jeho základní charakteristiky.

2. Cíl zadání a současný stav řešení problematiky

Cílem této práce je:

- kvantitativně popsat dynamiku vozidla v dopravním proudu a zvolit vhodná pravidla (kritéria) pro chování vozidel a jejich řidičů tak, aby nedocházelo ke kolizi vozidel a byla dodržována bezpečná vzdálenost mezi vozidly, vedoucí k bezpečnému provozu na komunikaci,
- vypracovat obecné řešení pohybové rovnice druhého vozidla v případě, že dopravní proud tvoří dvě vozidla a řidič druhého vozidla je vázán podmínkou dodržovat bezpečnou vzdálenost za vozidlem prvním, které před ním jede konstantní rychlostí po přímočaré vodorovné trajektorii.

Přehled různých makroskopických a mikroskopických modelů dopravního proudu, jejich předností, nedostatků a definic je uveden v práci [1]. Modely jsou zde rozděleny do čtyř skupin: mikroskopické modely, makroskopické modely, modely buněčných automatů a obecná skupina netradičních modelů, založených na teorii chaosu a katastrof.

Makroskopické modely, nazývané též hydrodynamické modely, vycházejí z předpokladu, že na vozidla v dopravním proudu lze pohled jako na kontinuum. Dopravní tok kvan-

titativně popisují podobně jako tok stlačitelné tekutiny (plynu) nebo metodami statistické fyziky používanými v kinetické teorii látek. V článku jsou objasněny slabé stránky analogie dopravního proudu s proudem ideálního plynu, dané např. velkým, několikařádkovým rozdílem v počtu částic a jejich rozměru v plynu a v dopravním proudu. Modely vyšších řádů popisují dopravní proud rovnicemi, které jsou obdobou bilančních rovnic hybnosti a momentu hybnosti kontinua. Obtíže však způsobuje velký počet různých „tekutin“ s velmi rozdílnými fyzikálními vlastnostmi a jim příslušný velký počet stavových rovnic. Většina těchto modelů považuje dopravní proud za nestlačitelnou newtonovskou tekutinu a popisují její proud pomocí Navierovy-Stokesovy rovnice, k čemuž ale není důvod, ani když je dopravní proud považován za kontinuum.

Mikroskopické modely dopravního proudu se zabývají problematikou popisu dynamiky každého vozidla pohybujícího se v dopravním proudu a chování každého vozidla vysvětlují ze změn chování ostatních vozidel dopravního proudu. První pokusy o vysvětlení mechanismů působících v dopravním proudu lze nalézt v práci [2], avšak vážné pokusy modelovat dopravní proud mikroskopickými modely spadají do posledních přibližně padesáti let.

Model dopravního proudu navrhli v 50. letech minulého století A. Reuschel a L. A. Pipes [3], [4]. Jejich model popisuje pohyb dvojice vzájemně se ovlivňujících vozidel, z nichž první vozidlo ovlivňuje svou jízdou vozidlo druhé. Řidič druhého vozidla ve snaze dodržet bezpečnou vzdálenost přizpůsobuje jízdou svého vozidla jízdě vozidla před sebou. Tuto situaci znázorňuje obr. 1, na němž osa souřadnic x je položena do přímočaré trajektorie vozidel a míří ve směru jejich pohybu.

Rovnice (1) popisuje pohyb dvojice vozidel, z nichž vpředu jedoucí vozidlo n ovlivňuje pohyb vozidla s pořadovým číslem $(n - 1)$, jedoucího bezprostředně za ním.

$$x_n - x_{n-1} = L + S_s \dot{x}_{n-1} \quad (1)$$

kde

x_n je souřadnice (poloha) prvního z dvojice vozidel $(n - 1)$ jedoucích bezprostředně za sebou,

x_{n-1} souřadnice druhého vozidla,

L délka vozidla n ,

S_s převrácená hodnota faktoru citlivosti λ .

Model (1) předpokládá, že každý řidič udržuje jistou bezpečnou vzdálenost od vozidla, které jede bezprostředně před ním. Derivací (1) podle času se dostane:

$$\ddot{x}_{n-1} = \frac{1}{S_s} (\dot{x}_n - \dot{x}_{n-1}) \quad (2)$$

Je zřejmé, že s výjimkou vedoucího vozidla vyšetřovaného dopravního proudu je zrychlení či zpomalení vozidla přímo úměrné relativní rychlosti vyšetřovaného vozidla vzhledem k vozidlu jedoucímu bezprostředně před ním.

Z mnoha různých mikroskopických modelů se v literatuře nejčastěji uvádějí dvě třídy modelů. Modely první třídy vycházejí ze skutečnosti, že každý řidič udržuje bezpečnou vzdálenost svého vozidla od vozidla jedoucího bezprostředně před ním prostřednictvím regulace rychlosti svého vozidla, tedy že každý řidič má sklon jet stejnou rychlostí jako vozidlo před ním. Rychlost svého vozidla tedy změní jen tehdy, když je relativní rychlost jeho vozidla vzhledem k vozidlu jedoucímu před ním nenulová. Obecně pro tyto modely platí [5]:

$$a_F(t) = \frac{1}{\mu_1} [v_L(t) - v_F(t)] \quad (3)$$

kde

$a_F(t)$ je akcelerace druhého z dvojice vozidel,

$v_F(t)$ rychlost druhého vozidla,

$v_L(t)$ rychlost prvního vozidla,

μ koeficient,

t čas.

Modely druhé třídy jsou založeny na předpokladu, že požadovaná rychlost druhého vozidla závisí na jeho vzdálenosti od vozidla jedoucího před ním, a je popsána vztahem:

$$a_F(t) = \frac{1}{\mu_2} [V(\Delta x(t)) - v_F(t)] \quad (4)$$

kde

$V(\Delta x(t))$ je parametr, který je funkcí odstupu mezi vozidly $\Delta x(t)$,

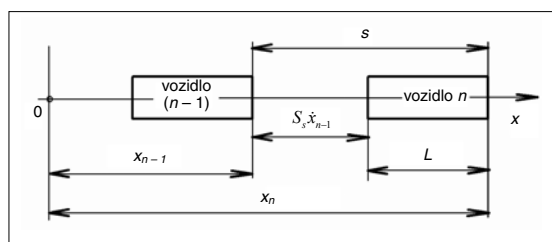
μ_2 koeficient,

ostatní jako v rovnici (3).

Podle této strategie řízení řidič dodržuje bezpečnou rychlost, která závisí pouze

na vzdálenosti mezi oběma vozidly. Chování řidiče každého vozidla je tak ovlivněno chováním všech vozidel, popř. jejich řidičů jedoucích před vyšetřovaným vozidlem.

Dodržování bezpečné vzdálenosti závisí též na reakční době řidiče, tj. na době, která uplyne od počátku určitého vnějšího podnětu, který na řidiče po určitou dobu působil, do okamžiku, kdy řidič jako odpověď na tento podnět vykonal určitý úkon s řízeným vozidlem. Rozhodující vliv na splnění podmínky dodržení bezpečné vzdálenosti má možnost zpomalovat nebo naopak zrychlovat jízdu vozidla.



Obr. 1. Ovlivňování vozidel

Některé přístupy však ukazují ([6], [7]), že pohyb vozidel jedoucích za sebou nezávisí jen na rychlosti vedoucího vozidla nebo jen na odstupu mezi vozidly, ale závisí na obou těchto parametrech současně. V literatuře [5] je uvedeno, že vnímání řidiče lze popsat rovnicí:

$$\Theta = \arctan \frac{D}{\Delta x(t)} \quad (5)$$

$$\frac{d\Theta}{dt} = \frac{D[v_L(t) - v_F(t)]}{(\Delta x(t))^2 + D^2} \quad (6)$$

kde

Θ je zorné pole řidiče,

D šířka prvního vozidla.

Z této rovnice je patrné, že řidičovo vnímání závisí jak na odstupu mezi vozidly Δx , tak na relativní rychlosti mezi vozidly $v_L(t) - v_F(t)$ a jeho chování ovlivňuje dynamiku dopravního proudu. Model, který navrhuje, zohledňuje právě vlastnosti řidiče, jehož vnímání je závislé na odstupu mezi vozidly i jejich vzájemné relativní rychlosti a ovlivňuje dynamiku dopravního proudu.

Kritika některých nedostatků modelu dopravního proudu jako posloupnosti vozidel jedoucích za sebou a předpokladu o jejich řazení v dopravním proudu, spolu s uvedením vhodnějších modelů, je v práci [8]. Nejčastěji používané modely dopravního proudu za sebou jedoucích vozidel po homogenní trajektorii neuvažujících časové zpoždění řidiče jsou opraveny v práci [9]. Opravený model popisuje chování vozidel v případě vzniku nehomogenity (překážky) na trajektorii.

3. Model pohybu vozidla v dopravním proudu

Snahou navrženého modelu je modelovat virtuální silové působení okolí včetně řidiče na vozidlo jedoucí v dopravním proudu. V tomto modelu každý řidič plní předem stanovený úkol, např. má dodržovat bezpečnou vzdálenost l řízeného vozidla od vozidla, které jede bezprostředně před ním (obr. 2). Diskuse o navrženém přístupu je uvedena v literatuře [10]. Tento model je vhodný, jen když vzdálenost mezi sousedními vozidly ovlivňuje pohyb těchto vozidel. Pro samostatně jedoucí vozidlo je model nepoužitelný.

Postupným řazením vozidel za sebou lze model upravit pro libovolný počet n vzájemně interagujících vozidel jedoucích za sebou v dopravním proudu. Naším cílem je popsat dynamiku sousedních, vzájemně interagujících vozidel stanovením vzájemných vazeb mezi těmito vozidly, neboť dynamika vozidla je dána interakcí vozidla s ostatními vozidly (a silovým působením okolí vozidla) a je zprostředkována právě virtuálními vazebními silami mezi vozidly. Model zahrnuje i chování řidiče, jeho individuální schopnost rozhodování s podmínkou dodržování bezpečné vzdálenosti od vozidla jedoucího bezprostředně před ním i jeho schopnost reagovat na vnější podněty. Za rozhodující se považuje schopnost řidiče zařadit se v dopravním proudu, tj. přizpůsobit rychlost řízeného vozidla chování vozidla jedoucího bezprostředně před ním. To tedy znamená, že řidič odvozuje své chování od chování vozidla jedoucího bezprostředně před ním a jeho „normálním chováním“ musí být dodržování bezpečné vzdálenosti od vozidla před ním. Dále je patrné, že každý řidič v dopravním proudu vždy ovlivňuje chování řidiče jedoucího za ním. Podnět se tedy po-

stupně předává vzadu jedoucímu řidiči a tak se šíří dopravním proudem.

Dále bude vyšetřeno chování vozidel v dopravním proudu tvořeném dvěma vozidly, z nichž první vozidlo se pohybuje po přímočaré vodorovné trajektorii konstantní rychlostí v_L a řidič druhého vozidla, které jede

za prvním vozidlem po téže trajektorii, je vázán podmínkou dodržovat bezpečnou vzdálenost $\Delta x = l$ za vozidlem prvním. Do společné trajektorie obou vozidel bude položena osa souřadnic x' pevně spojená s prvním vozidlem a její počátek 0 bude zvolen v rovnovážné poloze druhého vozidla, v níž platí $\Delta x = l$ (viz obr. 2).

V dalších odstavcích budou popsány síly uvedené na obr. 2, které působí na vyšetřované druhé vozidlo, hmotný bod o hmotnosti m , ve směru jeho pohybu.

3.1 Vazební síla

Mezi sebou jsou vozidla vázána virtuální vazební silou G . Ta vyjadřuje schopnost řidiče reagovat na situaci na komunikaci a přizpůsobovat jí jízdu svého vozidla, neboli úsilí řidiče neustále se měnící vzdálenost mezi vozidly udržovat konstantní, rovnou bezpečné vzdálenosti l . Síla G je zde chápána jako pružná vazba mezi sousedními vozidly. Je přímo úměrná relativní souřadnici x'

$$G = cx' \quad (7)$$

Konstanta c charakterizuje jak individuální vlastnosti řidiče, zejména jeho schopnost vyhodnocovat situaci v dopravním proudu, tak i dynamiku vozidla, hmotnost vozidla, výkon motoru, schopnost akcelerace apod.

3.2 Tlumicí síla

Tlumicí síla O je přímo úměrná okamžité relativní rychlosti sousedních vozidel a určuje rychlost dosažení bezpečné vzdálenosti mezi vozidly

$$O = k \frac{dx'}{dt} \quad (8)$$

kde k je součinitel tlumení.

Působením vazební a tlumicí síly se modeluje standardní, běžné chování řidiče. Pro naše úvahy byly tyto síly zavedeny vztahy (7) a (8), obecně však lze uvažovat i vztahy složitější.

3.3 Motorická síla

Motorická síla M je vyvozována motorem vozidla. Vypočítá se ze vztahu pro výkon motoru P

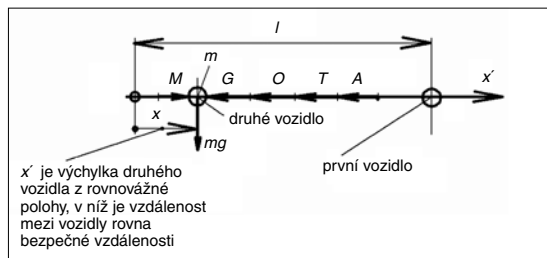
$$P = M\dot{x}$$

takže

$$M = \frac{P}{\dot{x}} \quad (9)$$

Obecně vzato, motorická síla je funkcí času $M = M(t)$. Dále budou uvažovány tři režimy jízdy (obr. 3):

- rozjezd (akcelerace) vozidla v časovém intervalu $(0; t_1)$,
- jízda konstantní rychlostí v časovém intervalu $\langle t_1; t_2 \rangle$,



Obr. 2. Silové působení na vozidlo

– brzdění, decelerace vozidla (zastavování dopravního proudu) v časovém intervalu $\langle t_2; t_3 \rangle$.

V případě lineární závislosti síly M na čase t je její časový průběh znázorněn na obr. 3.

Model reakční schopnosti řidiče n -tého vozidla při akceleraci $(t_{0, n-1} - t_{0, n})$ a při deceleraci $(t_{2, n-1} - t_{2, n})$ je patrný na obr. 4. Různé poměry v dopravním proudu, tj. interakci jednotlivých vozidel, lze modelovat podobně.

3.4 Třecí síla

Třecí síla T je výslednice sil, které charakterizují všechny pasivní odpory vozidla (tření smykové a valivé).

$$T = fN \quad (10)$$

kde

f je součinitel tření,

N složka sil působících na vozidlo kolmá k třecí ploše.

3.5 Aerodynamická síla

Aerodynamická síla A vyjadřuje odpor prostředí proti pohybu vozidla. Podle [11] pro ni platí Newtonův vztah:

$$A = \frac{1}{2} c_x S \rho v^2 \quad (11)$$

kde

c_x je součinitel aerodynamického odporu,

S plošný obsah kolmého průmětu vozidla do roviny kolmé k rychlosti vozidla,

ρ hustota prostředí, které obklopuje vozidlo,

v okamžitá absolutní rychlost vozidla (dx/dt).

Při malých rychlostech pohybu tělesa v klidném prostředí je aerodynamická síla přibližně přímo úměrná okamžité rychlosti v tělesa a lze ji v dobrém přiblížení vyjádřit Stokesovým zákonem:

$$A = 6\pi\eta r v \quad (12)$$

kde

η je dynamická viskozita prostředí,

r charakteristický rozměr tělesa.

4. Odvození pohybové rovnice

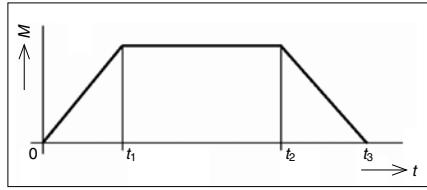
Napišme pohybovou rovnici pro (posuvný) pohyb vozidla ve směru osy souřadnice x' , viz obr. 1 a obr. 2.

$$m\ddot{x} = M - G - O - T - A \quad (13)$$

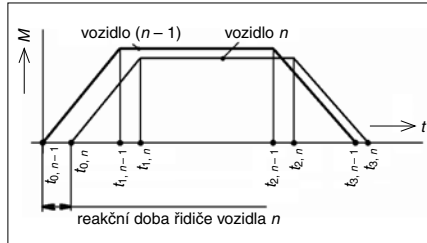
Aerodynamická síla se výrazněji uplatňuje při vyšších rychlostech vozidla; v dalších úvahách již bude zanedbána. Ve vztahu (13) se dosadí z výrazu (7), (8), (10), položí se

$$A = \frac{k}{2m}$$

$$B = \sqrt{\frac{c}{m}}$$



Obr. 3. Režimy jízdy



Obr. 4. Model reakční schopnosti řidiče

a po úpravě se dostane:

$$\ddot{x} + 2A\dot{x} + B^2x = \frac{1}{m}M(t) - gf \quad (14)$$

kde bude pravá strana položena

$$Q(t) = \frac{1}{m}M(t) - gf$$

Řešení nehomogenní, lineární diferenciální rovnice druhého řádu (14) se hledá ve tvaru:

$$x(t) = C_1 e^{\alpha_1 t} + C_2 e^{\alpha_2 t} \quad (15)$$

Dalším výpočtem se obdrží:

$$\alpha_1 = -A + \sqrt{A^2 - B^2} \quad (16)$$

$$\alpha_2 = -A - \sqrt{A^2 - B^2}$$

$$C_1(t) = K_1 + \int_0^t \frac{Q(\tau)}{\alpha_1 - \alpha_2} e^{\alpha_1 \tau} d\tau \quad (17)$$

$$C_2(t) = K_2 + \int_0^t \frac{Q(\tau)}{\alpha_1 - \alpha_2} e^{\alpha_2 \tau} d\tau \quad (18)$$

Konstanty K_1 a K_2 určují hodnotu funkcí C_1 , C_2 v čase $t = 0$. Dosazením z těchto výrazů do rovnice (15) nabude řešení (15) diferenciální rovnice (14) tvar

$$x'(t) = K_1 e^{\alpha_1 t} + K_2 e^{\alpha_2 t} + \int_0^t \frac{Q(\tau)}{\alpha_1 - \alpha_2} [e^{\alpha_1(t-\tau)} + e^{\alpha_2(t-\tau)}] d\tau \quad (19)$$

Zde veličina $x'(t)$ je podle obr. 2 rovna odchylce od bezpečné vzdálenosti l mezi sousedními vozidly, takže např. její derivace podle času není rovna absolutní rychlosti vozidla, ale relativní rychlosti vozidla vzhledem k sousednímu vozidlu.

5. Řešení pohybové rovnice

Bude vyšetřeno chování vozidla v dopravním proudu tvořeném dvěma vozidly, z nichž první se pohybuje konstantní rych-

lostí v , tj. rovnoměrně přímočaře ve směru osy x , a za ním jedoucí druhé vozidlo dodržuje od prvního vozidla bezpečnou vzdálenost l . Předpokládáme, že motorická síla $M(t)$ se rovná třecí síle T , takže pravá strana pohybové rovnice (14) $Q(t) = 0$, a zanedbáme reakční dobu řidiče.

Potom rovnice (14) nabývá tvaru

$$\ddot{x} + 2A\dot{x} + B^2x = 0$$

To je homogenní diferenciální rovnice druhého řádu s konstantními koeficienty, jejíž řešení má tvar (15), ale koeficienty C_1 , C_2 podle (17), (18) nezávisí na čase. Kořeny charakteristické rovnice se počítají podle (16).

O způsobu pohybu druhého vozidla rozhoduje diskriminant této rovnice

$$A^2 - B^2 = \frac{k^2}{4m^2} - \frac{c}{m} = \frac{k^2 - 4mc}{4m^2} \quad (20)$$

Za předpokladu, že motorická síla je stejně velká jako třecí síla, se druhé vozidlo vychýlené z rovnovážné polohy v závislosti na velikosti tlumení může vrátit do rovnovážné polohy $x' = 0$ třemi způsoby.

Za prvé, při relativně malém tlumení, tj. $A^2 < B^2$ ($k^2 < 4mc$), jsou kořeny α_1 , α_2 podle (16) komplexně sdružená čísla a řešení rovnice (15) má tvar

$$x(t) = Ce^{-At} \sin(\sqrt{B^2 - A^2}t + \varphi_0) \quad (21)$$

a po dosazení

$$x(t) = Ce^{-\frac{k}{2m}t} \sin\left(\sqrt{\frac{c}{m} - \frac{k^2}{4m^2}}t + \varphi_0\right)$$

Je patrné, že druhé vozidlo koná tlumené kmity okolo své rovnovážné polohy $x' = 0$ vzhledem k prvnímu vozidlu s „periodou“ T_1

$$T_1 = \frac{2\pi}{\sqrt{B^2 - A^2}} = \frac{T}{\sqrt{1 - \frac{A^2}{B^2}}} = \frac{T}{\sqrt{1 - \frac{k^2}{4mc}}} \quad (22)$$

Konstantní „perioda“ T_1 je delší než perioda $T = 2\pi/B$. Přirozený logaritmus δ útlumu Δx , zvaný logaritmický dekrement, se rovná

$$\delta = BT_1 = \frac{2\pi}{\sqrt{1 - \frac{k^2}{4mc}}} \quad (23)$$

Časový průběh tlumených kmitů druhého vozidla je znázorněn na obr. 5 vlevo pro případ, že v okamžiku $t = 0$ bylo druhé vozidlo vzdáleno z rovnovážné polohy C a pohybovalo se stejnou rychlostí jako vozidlo před ním. Potom pro výchylku $x'(t)$ druhého vozidla nabývá rovnice (21) tvar:

$$x'(t) = Ce^{-\frac{k}{2m}t} \cos\sqrt{\frac{c}{m} - \frac{k^2}{4m^2}}t \quad (24)$$

tj. druhé vozidlo tlumeně kmitá okolo své bezpečné vzdálenosti l od prvního vozidla.

Za druhé, při velkém tlumení $A^2 > B^2$, tj. $k^2 > 4mc$, jsou kořeny rovnice (16) reálné a různé. Řešení pohybové rovnice má za stej-

ných počátečních podmínek jako v předchozím případě tvar

$$x'(t) = C \frac{e^{-At}}{2\sqrt{A^2 - B^2}} \left[\left(A + \sqrt{A^2 - B^2} \right) \left(e^{\sqrt{A^2 - B^2}t} - e^{-\sqrt{A^2 - B^2}t} \right) + 2\sqrt{A^2 - B^2} e^{-\sqrt{A^2 - B^2}t} \right] \quad (25)$$

a po dosazení

$$x'(t) = C \frac{e^{-\frac{k}{2m}t}}{2\sqrt{\frac{k^2}{4m^2} - \frac{c}{m}}} \left(\frac{k}{m} \sinh \sqrt{\frac{k^2}{4m^2} - \frac{c}{m}} t + 2\sqrt{\frac{k^2}{4m^2} - \frac{c}{m}} \cosh \sqrt{\frac{k^2}{4m^2} - \frac{c}{m}} t \right) \quad (26)$$

Druhé vozidlo koná aperiodický pohyb a při daných počátečních podmínkách nepřekmitne přes rovnovážnou polohu $x' = 0$. S rostoucím časem t se vzdálenost druhého vozidla od prvního vozidla asymptoticky blíží k jeho bezpečné vzdálenosti l za prvním vozidlem. Při jiné volbě počátečních podmínek může druhé vozidlo překmitnout na opačnou stranu od $x' = 0$, ale nejvýše jednou. Závislost (26) výchylky $x'(t)$ druhého vozidla na čase t je znázorněna na obr. 5 vpravo.

Za třetí, mezní aperiodický pohyb nastane, když $A = B$, tj. když kořeny charakteristické rovnice jsou

$$\alpha_1 = \alpha_2 = A = B = \frac{k}{2m} = \sqrt{\frac{c}{m}}$$

Při počátečních podmínkách stejných jako v předchozích případech má řešení tvar

$$x'(t) = C \left(1 + \frac{k}{2m} t \right) e^{-\frac{k}{2m}t} \quad (27)$$

Při daných počátečních podmínkách platí pro pohyb druhého vozidla stejné závěry jako v předcházejícím případě. Podstatné však je, že druhé vozidlo se do jeho bezpečné vzdálenosti l od prvního vozidla vrací nejrychlejším možným způsobem, aniž by vozidlo překmitlo polohu $x' = 0$. Závislost výchylky $x'(t)$ na čase t je na obr. 5 vpravo.

6. Závěr

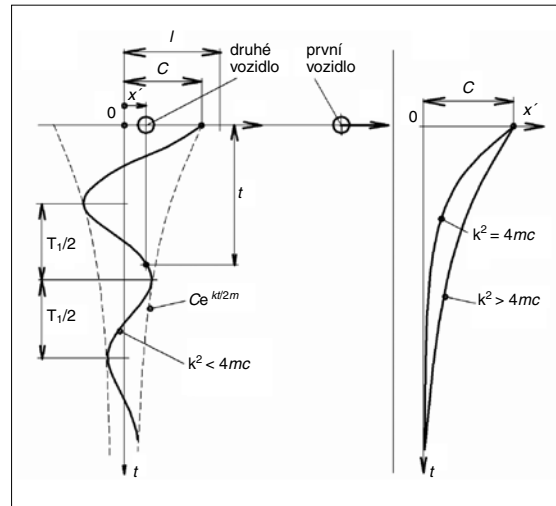
V této práci byl navržen model chování vozidla, které je součástí dopravního proudu, popsáný nehomogenní diferencíální rovnicí. Model byl koncipován tak, aby zahrnoval podstatné účinky okolí i řidiče ovlivňující pohyb vozidla. Cíle této práce tak byly splněny analýzou jednotlivých vlivů a interakcí v dopravním proudu a jejich kvantitativním popisem, vedoucím k sestavení pohybo-

vé rovnice vozidla. Obecné řešení této rovnice pro speciální případ dopravního proudu dvou vozidel, z nichž první vozidlo jede konstantní rychlostí po přímé vodorovné trajektorii, ukázalo, že způsob pohybu za ním jedoucího druhého vozidla v dopravním proudu podstatně závisí na hodnotě poměru virtuální vazební a tlumící síly, působících na druhé vozidlo. Zjistilo se též, že pohyb každého vozidla v dopravním proudu (kromě prvního) závisí na způsobu pohybu před ním jedoucího vozidla, tj. že obecně závisí na charakteristikách pohybu všech vozidel jedoucích před ním. Toto zjištění a naznačené možnosti ovlivňování pohybu vozidel v dopravním proudu považujeme za hlavní přínos příspěvku.

V další práci budou získané poznatky využity při analytickém vyšetřování chování libovolného počtu vzájemně interagujících vozidel v dopravním proudu a při zjišťování vhodných kombinací hodnot parametrů vozidel a jejich řidičů, jimiž lze dosáhnout plynulého, bezpečného a bezkolizního provozu v dopravním proudu na komunikaci. Poznatky budou též použity při vyšetřování podmínek bezkolizního postupného dojíždění a hromadění stojících vozidel před neprůjezdnou překážkou, která náhodně vznikla na komunikaci, což vyžaduje zvláštní režim dojíždění každého vozidla.

Literatura:

- [1] DARBHA, S. – RAJAGOPAL, K. R. – TYAGI, V.: *A review of mathematical models for flow of traffic and some recent results*. Nonlinear Analysis, 2008, 69, 950–970.
- [2] GREENSCHILD, B. D.: *A study in highway capacity*. Highway Res. Rec. 14, 1934, s. 468.
- [3] REUSCHEL, A.: *Fahrzeugbewegungen in der Kolone*. Zeitschrift d. Oesterr. Ing. u. Arch. Vereins 95, 1950.
- [4] PIPES, L. A.: *An operation analysis of traffic dynamics*. J. Appl. Phys., 1953, 24, s. 274–281.
- [5] WANG, L. J. – ZHANG, H. – MENG, H. D. – WANG, X. Q.: *A model based on TTC to describe how drivers control their vehicles*. Eur. Phys. J. B., 2008, 66, s. 149–153.
- [6] WANG, L. J. – ZHANG, H. – MENG, H. D. – WANG, X. Q.: *A model based on TTC to describe how drivers control their vehicles*. Springer-Verlag, 2008.
- [7] TANG, T. – HUANG, H. – WONG, S. C. – JIANG, R.: *A car-following model with the*



Obr. 5. Ilustrace pohybu vozidel

anticipation effect of potential lane changing. Springer-Verlag, 2008.

- [8] NELSON, P.: *On deterministic developments of traffic stream models*. Transportation Research, 29. 4. 1995, part B, s. 297–302.
- [9] NEWELL, G. F.: *A simplified car-following theory: a lower order model*. Transportation Research, 2002, part B 36, 192–205.
- [10] MENGLEROVÁ, K.: *Simulace pohybu automobilu podle Newtonových zákonů*. Diplomová práce. ČVUT Praha, 2007.
- [11] MECHLOVÁ, E. – KOSTÁL, K.: *Výkladový slovník fyziky*. Základní vysokoškolský kurz. Prometheus Praha, 1999.

Ing. Klára Menglerová,
FD ČVUT v Praze
(klara.menglerova@gmail.com),
doc. Ing. Ivan Nagy, CSc.,
FD ČVUT v Praze a ÚTIA AV ČR
(nagy@utia.cas.cz)

Lektoroval: Ing. Oto Sládek, Ph.D., Kybertec, s. r. o.

Ing. Klára Menglerová ukončila v roce 2008 inženýrské vzdělání na Fakultě dopravní ČVUT v Praze. V diplomové práci řešila problematiku spojitého modelování dopravního proudu. Tentýž rok nastoupila doktorské studium na téže fakultě a nyní dále rozvíjí spojitý model dopravy navržený v diplomové práci.

Doc. Ing. Ivan Nagy, CSc., pracuje v Ústavu teorie informace a automatizace AV ČR v Praze a současně v ústavu aplikované matematiky Fakulty dopravní ČVUT v Praze. Zabývá se modelováním, statistickými odhady a řízením v dopravě.