

# нумеричка анализа и симулација на преминување на возило преку вертикална препрека на пат

Елениор Николов,  
Митко Богданоски  
Катедра за воена логистика  
Воена академија  
Скопје, Р. Македонија  
[elenior.nikolov@ugd.edu.mk](mailto:elenior.nikolov@ugd.edu.mk)  
[mitko.bogdanoski@ugd.edu.mk](mailto:mitko.bogdanoski@ugd.edu.mk)

Даме Димитровски  
Машински факултет  
Скопје, Р. Македонија  
[ddimitrovski@mf.edu.mk](mailto:ddimitrovski@mf.edu.mk)

Сашко Гелев  
Електротехнички факултет  
УГД - Штип  
Штип, Р. Македонија  
[saso.gelev@ugd.edu.mk](mailto:saso.gelev@ugd.edu.mk)

*Анстракт* - Во овој труд е извршена нумеричка анализа и симулација на преминување на различни класи на возила преку вертикални препреки на патот, а резултатите се добиени и реализирани во програма на SIMULINK. За вертикални препреки се земено во предвид за моделирање, вештачки вертикални препреки, т.н. „легнати полицајци“, како извор на вибрации кои делува на системот на потпирање на возилата. При моделирање на пасивниот систем на потпирање користени се четвртински и целосен модел на возилото. Во случај на полуактивниот модел на системот на потпирање користен е Skyhook управувач.

**Клучни зборови:** динамика на возило, вертикална препрека, нумеричка симулација

## I. ВОВЕД

На поставеното прашање „Која е најважна карактеристика на возилото?“ поголем број од возачите би одговориле дека на прво место тоа е сигурноста или безбедноста на возилото, а на следно е удобноста при движење на возилото. Ако се занемари помалиот дел од удобноста кој се однесува на внатрешниот дизајн на возилото, на конструкторите на автомобили и останува за решавање на потешкиот дел од проблемот кој се однесува на системот за потпирање. Бидејќи постои широк спектар на побуди невозможно е со еден карактеристичен систем за потпирање да се задоволат вкусовите на сите возачи [1]. Различната намена на автомобилите, од мали градски автомобили, преку лесни комерцијални возила па до спортските автомобили причина е за голем број на различни пристапи за проектирање на системот за потпирање.

Со цел да се овозможи на возачот да самиот во текот на возењето ја избира конфигурацијата на својот систем на потпирање, автомобилската индустрија работи на развојот на различни типови на полуактивен и активен систем на потпирање [2], [3]. Најдобриот систем за потпирање е резервиран за скапите, ексклузивни автомобили. Причина за тоа е што класичниот пасивен систем за потпирање има дел од цената на изработка на автомобилот во износ помал од 1%, додека делот на полуактивните и активните системи за потпирање расте и до 20%.

Поголем број од возачите високо ќе ги рангираат различните вештачки направени препреки со кои службите задолжени за сигурност на патиштата се обидуваат да ги решат проблемите со пребрзо возење. При тоа се донесуваат разни прописи кои се темелат на практичните искуства а кои често пати се далеку од резултатите кои се добиваат со пресметки. Резултат на тоа е да несоодветно димензионираните и поставените препреки на сообраќајниците можат да предизвикаат и негативни последици за системот за потпирање на автомобилите а за подолго време евентуално и по здравјето на возачот. Во овој труд ќе бидат изведени резултатите од нумеричката симулација [5] на преминување на возило преку патни препреки за пасивен и полуактивен модел на системот за потпирање.

## II. ДЕФИНИРАЊЕ НА ПРЕПРЕКИТЕ НА ПАТОТ

Димензиите на стандардни пречки на патот за намалување на брзината на возење се дефинирани во законот за сообраќај во Република Македонија. Според оваа регулатива овие препреки се поделени во вибрациски ленти и вештачки испакнатини.

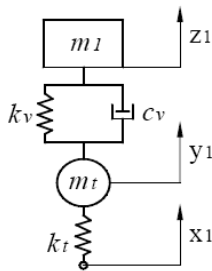
Вибрациските ленти се пречки кои при преминување на возилата произведуваат поголеми вибрации и звучни ефекти и на тој начин ги предупредуваат возачите да ја намалат брзината. Поставени по должината на патот на растојание од 8 до 22 метри во зависност од ограничувањата на брзината (од 30 до 80 km/h). Нивната ширина е обично 20-40 cm и висина од 18 до 25 mm. Испакнатините се дефинирани како градежни елементи чии димензии се исто така дефинирани во зависност од брзината (на пример, да се ограничи брзината на возење до 50 km/h, ширината на испакнатините не смее да биде помала од 60 cm, а висината не треба да надминува 3 cm). За моделирање на вибрациски ленти се користи во Simulink [4] блок сигнал генератор кој произведува пулсовно побудување со амплитуда што одговара на висината на лентата како и времетраење на импулсот еднаков на времето што е потребно на автомобилот да помине преку лента. Вештачката препрека во истата математичка програма, моделирана е во блокот *from workspace*.

### III. МОДЕЛИРАЊЕ НА ПАСИВНА СУСПЕНЗИЈА НА ВОЗИЛО

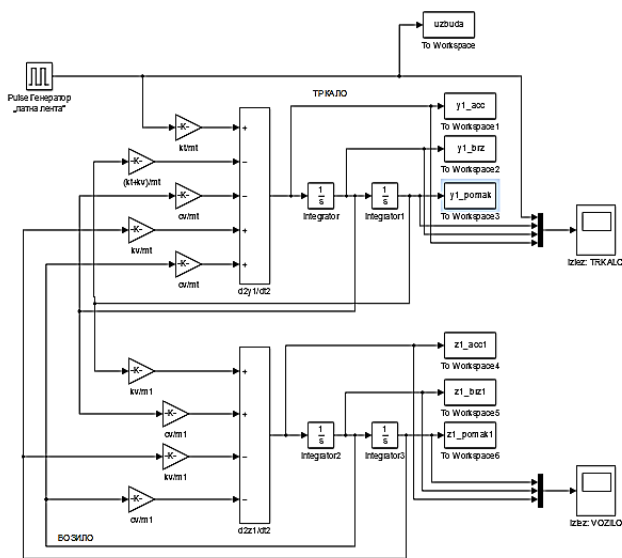
Нумеричка симулација на поминување на возила преку препреки на патот е направена на два модели во четвртински и целосен модел.

#### A. Модел со два степени на слобода, „четвртински модел“

Наједноставниот модел на систем со пасивна суспензија се нарекува четвртински модел. Се состои од две маси, маса на тркалото и  $\frac{1}{4}$  од масата на возилото, крутоста на гумите на тркалата, крутоста на пружината, придружувањето на амортизерот и побудување предизвикано од конфигурацијата на патот по која се движи возилото. Системот е прикажан шематски на слика 1, додека на слика 2 прикажана е шема на моделот во Simulink. Ознаките во дадениот модел се објаснети во табелата 2.



Сл. 1. Модел со два степени на слобода на движење, четвртински модел



Сл. 2. Шема на моделот во Simulink

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{z}_1 + c_v(\dot{z}_1 - \dot{y}_1) + k_v(z_1 - y_1) &= 0 \\ m_t \ddot{y}_1 + c_v(\dot{y}_1 - \dot{z}_1) + k_v(y_1 - z_1) + k_t(y_1 - x_1) &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

Моделот ги опишува равенките на движење.

За потребите за директна интеграција, равенките се сведени во следната форма:

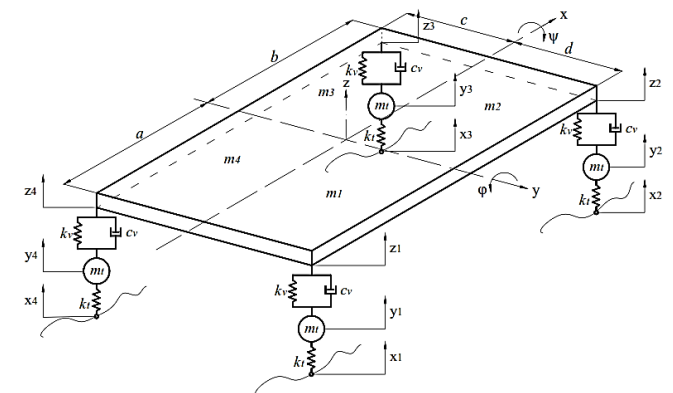
$$\begin{aligned} \dot{z}_1 &= y_1 \frac{k_v}{m_1} + \dot{y}_1 \frac{c_v}{m_1} - z_1 \frac{k_v}{m_1} - \dot{z}_1 \frac{c_v}{m_1} \\ \dot{y}_1 &= x_1 \frac{k_t}{m_t} - y_1 \frac{k_t + k_v}{m_t} - \dot{y}_1 \frac{c_v}{m_t} + z_1 \frac{k_v}{m_t} + \dot{z}_1 \frac{c_v}{m_t} \end{aligned} \quad (2)$$

#### B. Модел со 7 степени на слобода „целосен модел“

За разлика од опишаниот модел со два степени на слобода, најчесто се користат два модели со 4 степени на слобода (т.е. S модели) и подлогата (склоност во попречна оска) и се тркалаат (склоност во надолжната оска) модел. Во овој труд модел на суспензија на возило со 7 степени на слобода, т.н. целосен модел, претставува комбинација од споменатите модели. Целосниот модел е прикажан шематски на слика 3 и придружните равенки на движење дадени се во (1) и (2).

### IV. РЕЗУЛТАТИ НА НУМЕРИЧКИТЕ СИМУЛАЦИИ

Во овој труд направена е анализа поврзана со споредба на системите на потпирање за различни типови на автомобили (прикажани со основните динамички карактеристики во табела 1) и со симулација на полуактивен систем на потпирање.



Сл. 3. Модел со седум степени на слобода на движење, полн модел

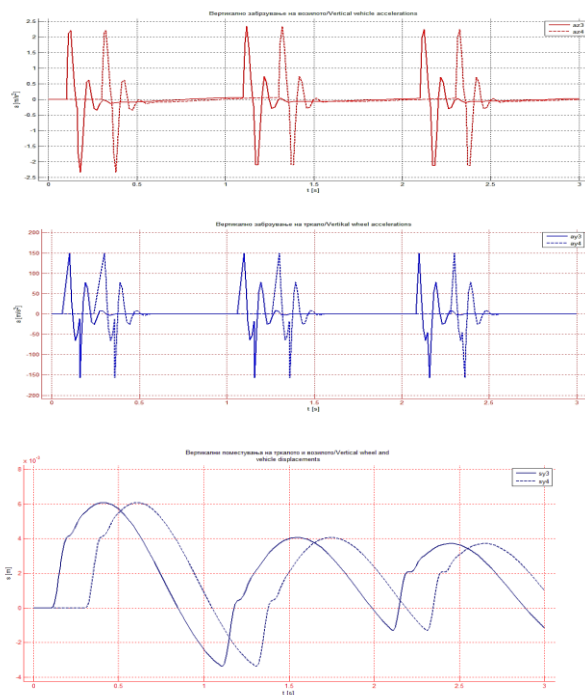
#### A. Споредба на различни типови на автомобили

На целосниот модел на автомобилот (слика 3) испитано е влијанието на големината на автомобили претставени со автомобили од различна класа и тоа мал градски автомобил, компактна класа и повисока средна класа. Како извор за побудување е земена вибрациска лента наменета за ограничување на брзини од 50 km/h, која возилото ја преминува со брзини од 30, 50, 70 и 90 km/h.

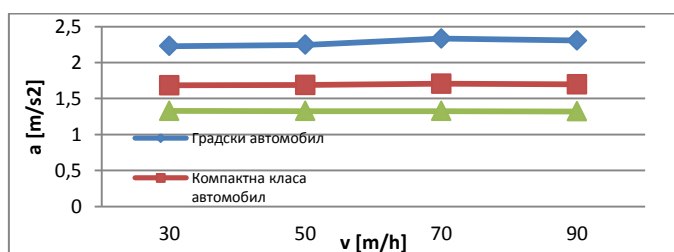
Табела 1. Карактеристики на различни типови автомобили

Својства/ Characteristics	$k_v$	$c_v$	$m_t$	$k_t$	$a, b$	$c, d$	$m$	$J_x$	$J_y$
Градски автомобил/ City car	16000	1400	30	150000	1.2	0.75	920	400	700
Компактна класа/ Compact class	16000	1400	36	150000	1.3	0.8	1200	560	1050
Повисока средна класа/ Higher midsize class	16000	1400	40	150000	1.4	0.9	1500	780	1260

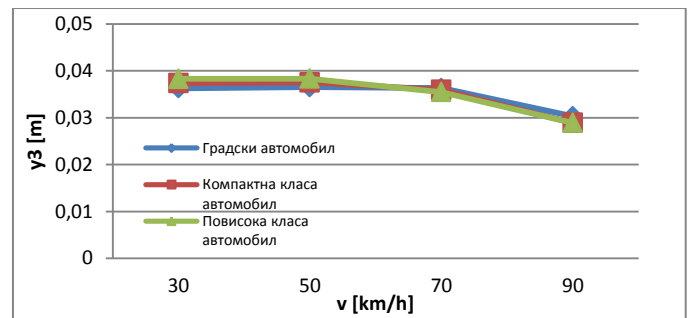
Резултатите од симулациите се прикажани на сликите 4 до 8. Од дијаграмот е видно дека поголемиот автомобил со ист систем на потпирање е поудобен од помалиот. Помало е вертикалното забрзување на тркалото и тежиштето, помали се поместувањата, а и нагибот на автомобилот. Такви резултати се очекувани бидејќи е логично да поголемиот, односно потешкиот автомобил да има поголема инерција така да за исто побудување дава помал одзив на системот.



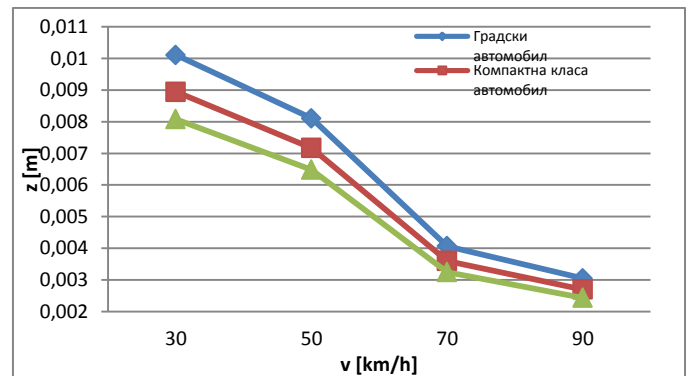
Сл. 4. Дијаграми на кинематските параметри на градски автомобил од компактна класа при преминување преку вибрациска лента со брзина од 50 km/h



Сл. 5. Вертикално забрзување на каросерија на различни класи на автомобил при преминување преку вибрациска лента



Сл. 6. Вертикално поместување на тркалото на различни класи на автомобил при преминување преку вибрациска лента



Сл. 7. Вертикално поместување на каросеријата на различни класи на автомобил при преминување преку вибрациска лента

Поголемата оддалеченост на тркалото од тежиштето го намалува наклонот бидејќи се зголемува моментот на инерција на наклон на автомобилот околу оската. Бидејќи постои симетрично побудување (левото и десното тркало истовремено наидуваат на препреката) на слика 4, прикажани се само резултатите на одзивот (реакцијата) на десните тркала. Бидејќи е претпоставена симетрија на автомобилот сликата 4 прикажува дека одзивот на автомобилот при преминување на предните односно задните тркала е скоро еднаков. Резултатите дадени на слика 6 до 8 го даваат трендот на опаѓање на одзивот на моделот со зголемување на брзината на преминување преку препреката.

#### Б. Резултати од симулација на полуактивен систем на потпирање

Со цел изведување на симулации на систем на полуактивна суспензија, вградена е пресметка во Simulink, т.н. Skyhook управувач, која го корегира интензитетот на придушување на придушувачите, во зависност од вредноста и насоката на брзината на закачената и незакачената маса, која е еднаква на производот на коефициентот на придушување и брзината на оддалечување или приближување на масите. Придушувањето на актуаторот варира помеѓу минималното придушување  $b_{soft}$ , максималното придушување  $b_{firm}$ , зависно од карактеристиките на актуаторот и еквивалентното придушување  $b_{sh}$  на пасивниот модел кој го заменува, чии вредности се

избираат помеѓу минималното и максималното придушување. Во пракса, улогата на побудувачот (актуатор) може да ја има хидрауличен клип, каде што придушувањето варира со помош на вентил или полу-активни амортизер со бајпас вентил кој може да биде отворен или затворен. Секако, најдобар избор е т.н. магнетнореолошки амортизер чие придушување може да се менува со менување на магнетно поле кое ја менува вискозноста на течност во амортизерот.

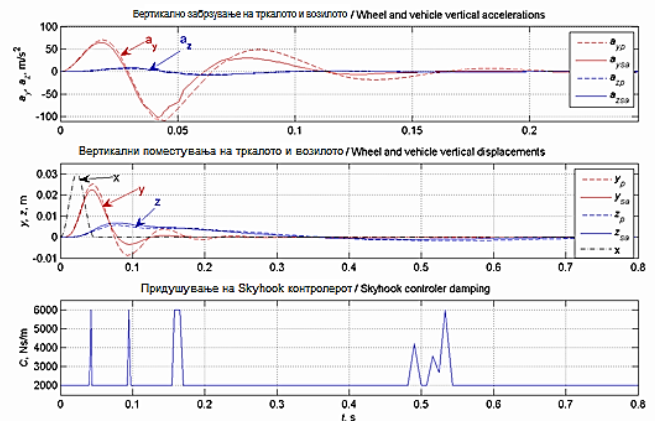
Резултатите од примена на Skyhook управувач како дел од полуактивен систем на суспензија, во симулацијата на возење во преку вештачки испакнатини, се презентирани за случајот со четвртинскиот модел на возилото на слика 8. Прикажаните дијаграми укажуваат на подобрување на забрзувањата и преместувањата на тркалото на возилото што е секако помалку штетно за возилото. Од друга страна, забрзувањата и преместувањата на каросеријата на автомобилот, се скоро еднакви за двата типа на на систем за суспензија кај автомобилите.

## V. ЗАКЛУЧОК

Програмскиот пакет Matlab/Simulink се покажал како успешен алат за нумеричко моделирање на преминување на возило преку препреки на патот. Добиените резултати на полниот модел при преминување преку вибрациски ленти покажаа трендови на намалување на кинематските вредности на вертикалниот одзив на возилото со зголемување на брзината на возилото. Полуактивната регулација на амортизерот со помош на Skyhook

Табела 2. Попис на ознаките

управувач ги покажа исто така своите предности во намалување на вибрациското оптеретување на тркалото и системот за потпирање. Понатамошните анализи во врска со ефектите на несиметричност на карактеристиките на возилото, несиметричните побудни сили како и подобри математички дефиниции на системот за потпирање ќе бидат изведени во понатамошната работа во оваа област.



Сл. 8. Споредба на резултати на пасивна (индекс  $p$ ) и полуактивна (индекс  $sa$ ) регулација (Skyhook управувач) суспензија при брзина на возење  $v=46,8 \text{ km/h}$  на испакнатина на патот проектирана за огран. на  $v=50 \text{ km/h}$

6. ПОПИС НА ОЗНАКИ		6. LIST OF SIMBOLS
Маса на автомобилот	$m$ - kg	vehicle mass
Маса на четвртина автомобил	$m_1$ - kg	quarter of the vehicle mass
Маса на тркало	$m_t$ - kg	mass of the wheel
Побудување на подлогата на $i$ -от елемент на системот на потпирање од преминување на препрека	$x_i$ - m	road excitation of the $i$ -th suspension due obstacles
Вертикално поместување на тркало и каросерија на $i$ -от елемент на системот за потпирање	$y_p, z_i$ - m	wheel and car body vertical displac. of the $i$ -thsuspension
Вертикална брзина на тркалото и каросеријата на $i$ -от елемент на системот за потпирање	$\dot{y}_i, \dot{z}_i$ - m/s	wheel and car body vertical speed of the $i$ -th suspension
Вертикално забрзување на тркалото и каросеријата на $i$ -от елемент на системот за потпирање	$\ddot{y}_i, \ddot{z}_i$ - m/s <sup>2</sup>	wheel and car body vertical acceler. of the $i$ -th suspension
Крутост на суспензијата и тркалата	$k_v, k_t$ - N/m	Stiffness of suspension and wheel
Придушување на суспензијата	$c_v$ - Ns/m	stiffness suspension damping
Брзина на возење	$v$ - m/s	driving speed
Димензии на возилото	$a, b, c, d$ - m	vehicle dimensions
Момент на инерција на возилото	$J_x, J_v$ - kgm <sup>2</sup>	vehicle mass moments of inertia
Аголно забрзување	$\varepsilon$ - rad/s <sup>2</sup>	angular acceleration
Поместување на тркалото кај пасивен тип на потпирање	$y_p$ - m	displacement of wheel of passive type of suspension
Поместување на тркалото кај полуактивен тип на потпирање	$y_{sa}$ - m	displacement of wheel of semi-active type of suspension

## VI. ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Gillespie, T.: *Fundamentals of Vehicle Dynamics*, Society of Automotive Engineers, Inc., 1992.
- [2]. D'Amato F.J., Viassolo, D.E.: *Fuzzy control for active suspensions*, *Mechatronics*, 10 (2000.), pp. 897. – 920
- [3]. Yoshimura T. et al.: *Active suspension of passenger cars using linear and fuzzy-logic control*, *Control engineering practice*, 7 (1999.), pp. 41. - 47
- [4]. *Simulink Reference v6. pdf*, Manual, The MathWorks, Inc., 2002-2004., [www.mathworks.com](http://www.mathworks.com)

# numerical simulation of vehicle passage over obstacles on the road

Elenior Nikolov  
Mitko Bogdanoski  
Department of military logistics  
Military Academy  
Skopje, R. Macedonia  
[elenior.nikolov@ugd.edu.mk](mailto:elenior.nikolov@ugd.edu.mk)  
[mitko.bogdanoski@ugd.edu.mk](mailto:mitko.bogdanoski@ugd.edu.mk)

Dame Dimitrovski  
Mechanical engineering  
Skopje, R. Macedonia  
[ddimitrovski@mfs.edu.mk](mailto:ddimitrovski@mfs.edu.mk)

Sasho Gelev  
Electrotechnical Faculty  
UGD - Shtip  
R. Macedonia  
[saso.gelev@ugd.edu.mk](mailto:saso.gelev@ugd.edu.mk)

*Abstract* - In the paper the results of the numerical simulation of the passage of different classes of vehicle over obstacles on the road, carried out in SIMULINK, are shown. Road obstacles in the form of vibrating strips and bumps are chosen. For passive suspension modeling, a quarter-sized as well as full-sized vehicle

model is used. In the case of semi-active suspension modeling, where the Skyhook controller is used.

Key words: vehicle dynamics, road obstacles, numerical simulation