

## Динамичко испитивање вагона за превоз аутомобила ДДам

### Dynamic Testing of Car Wagons Ddam

Драган Петровић<sup>1</sup>, Милан Бижић<sup>2</sup>

University of Kragujevac, Faculty of Mechanical and Civil Engineering, Kraljevo, Serbia<sup>1,2</sup>

petrovic.d@mfkv.kg.ac.rs<sup>1</sup>, bizic.m@mfkv.kg.ac.rs<sup>2</sup>

**Апстракт:** Динамишка испитивања мирноће хода и сигурности кретања железничких возила дефинисана су међународним прописима UIC 518 и EN\_14363. За разлику од периода пре усвајања ових прописа, где се није темељно обраћала пазња на квалитет колосека, сада је у пуној мери посвећена пажња овом питању. Уз велику подршку Железница Србије ова испитивања, празних и натоварених ДДам кола, су обављена на релацијама: Шид-Стара Пазова, Мала Иванча-Мала Крсна и Велика Плана-Ћуприја. Мерна опрема, којом се изводи обимно испитивање, мора имати потребне карактеристике за прикупљање и обраду података. То се, пре свега, односи на фреквенцију узорковања, филтрирања, бележење, чување и статистичку обраду података након испитивања. У раду је скренута пазња на могућности и ограничења примене међународних прописа на домаћим пругама.

**Кључне речи:** Железничка возила, колосек, мирноћа хода, сигурност кретања.

**Abstract:** Dynamic tests of running quality and running safety of railway vehicles are defined by the international regulations UIC 518 and EN 14363. Unlike the period before the adoption of these regulations, where the quality of the track was not thoroughly taken into account, attention has now been given to this issue. With the great support of Serbian Railways, these tests of empty and loaded Ddam wagon were performed on the following routes: Šid-Stara Pazova, Mala Ivanča-Mala Krsna and Velika Plana-Ćuprija. The measuring equipment used to perform these extensive tests must have the necessary characteristics for data acquisition and processing. This primarily refers to the sampling frequency, filtering, recording, storing and statistical data processing after testing. The main aim of this paper is to draw attention to the possibilities and limitations of the application of international regulations for dynamic testing of railway vehicles on the domestic railway.

**Key words:** Railway vehicles, track, running quality, running safety.

#### I. УВОД

Ради повећања безбедности и удобности превоза путника и робе временом су се развила два основна критеријума за оцену динамичког понашања железничких возила: сигурност од исклизнућа и мирноћа хода возила. У почетку се сматрало да су ова два критеријума у апсолутној корелацији, односно да висок степен комфора (удобности) вожње доводи и до велике сигурности од исклизнућа железничких возила. То је условило да се развија методологија испитивања возила којим су обједињена оба критеријума. Поменимо само одређивање количине просуте течности из

еталонске посуде при кретању возила, којом се одређивала и удобност и сигурност кретања.

Најчешће и најдуже у употреби је Сперлинг-ов критеријум [1], који је дефинисан УИЦ-ом 432. Мирноћа хода железничког возила по овом критеријуму одређује се на основу убрзања у хоризонталном и вертикалном правцу ( $\ddot{y}, \ddot{z}$ ), удара тј. промене убрзања у јединици времена ( $\dot{y}, \dot{z}$ ) и рада осциловања ( $y \cdot \ddot{y}, z \cdot \ddot{z}$ ).

Добијени образац параметра  $W_z$  којим се одређује мирноћа хода железничких возила по Сперлингу коригован је са фактором субјективног осећаја путника [1].

Критеријум Сперлинга користио се и за одређивање максималне брзине кретања железничких возила. Међутим, у граничним случајевима, овим поступком не гарантује се потпуна сигурност од исклизнућа и превртања возила (слика 1).

Као допунски критеријум оцене сигурности кретања железничких возила, уводи се одређивање величине бочних сила у висини осовинских легајава  $H$  (критеријум Martina tј. Prud 'Homme) [2]. Овај критеријум је и данас важећи за брзине возила до 120 km/h. За веће брзине кретања железничких возила обавезна је примена критеријума односа сила у контакту точак-шина у бочном и вертикалном правцу (Y/Q) [3].



Слика 1. Искакање и превртање возила

## II. КАРАКТЕРИСТИКЕ КОЛОСЕКА ЗА ИСПИТИВАЊЕ МИРНОЋЕ ХОДА И СИГУРНОСТИ КРЕТАЊА ЖЕЛЕЗНИЧКИХ ВОЗИЛА

Одређивање квалитета колосека, према прописима УИЦ 518 и ЕН\_14363, обавља се одговарајућим мерним колима. За оцену квалитета колосека користе се измерене вертикалне и бочне неравнине. Земље чланице УИЦ-а имају сопствена мерна кола којима се одређује квалитет колосека. Свака мерна кола имају сопствену преносну функцију између стварног и измереног стања колосека. Преносна функција зависи, пре свега, од примењеног принципа мерења и растојања осовина мерних кола. Зато се за исту деоницу пруге, измерену различитим колима, добијају различити резултати. Због тога су железничке управе земаља које су учествовале у припреми прописа извршиле поређење својих кола и као еталон изабрале мерна кола Холандских (NS) железница. Мерења свих осталих мерних кола се путем поправних коефицијената  $k$  (табела 1) коригују према изразу:

$$\sigma_{z,y} = k \cdot \sigma_{NSz,y}, \text{ где су:} \quad (1)$$

$\sigma_{z,y}$  - Стандардно одступање вертикалних ( $\sigma_z$ ) и бочних ( $\sigma_y$ ) неравнина колосека мерено другим колима.

$\sigma_{NSz,y}$  - Стандардно одступање вертикалних и бочних неравнина колосека мерено Холандским колима.

$k$  – поправни коефицијент

Овим путем се обезбеђује упоредивост резултата динамичких испитивања истих возила на различитим пругама.

Табела 1. Поправни коефицијенти

Железница	Коефицијент $k$	
	Хоризонтално	Вертикално
BR	1,14	1,20
CFE	0,91	1,47
CFE Long	1,25	-
CFR	1,40	1,95
CD	1,00	1,00
DB	1,24	1,47
FS	1,33	1,72
NS	1,00	1,00
ÖBB	1,00	1,00
PKP	0,73	0,71
RENFE	0,91	1,47
SNCF	0,91	1,47

УИЦ 518 дефинише квалитет колосека на основу стандардног одступања вертикалних ( $\sigma_z$ ) и бочних ( $\sigma_y$ ) неравнина колосека. Квалитет колосека је сврстан у три категорије QN1, QN2 и QN3, при чему је  $QN3=1,3 \cdot QN2$ . Препорука је да испитивање мирноће хода и сигурности кретања железничких возила треба извршити на комерцијалном колосеку где је 50% деоница са квалитетом бољим или једнаким од QN1, 40% деоница је са квалитетом између QN1 и QN2 и 10% деоница је са квалитетом између QN2 и QN3. Уколико се при испитивању деси да квалитет колосека прелази граничне вредности QN3, резултати динамичког понашања возила се, на тим деловима колосека, не узимају у обзир.

Да би могли да извршимо анализу резултата испитивања потребно је изабрану трасу колосека поделити на секције одређене дужине  $\ell_s$  и броја  $N$  (дефинисане прописима), а затим их сврстати у зоне које зависе од полупречника кривине  $R$ , где разликујемо:

Z1 - зона праве пруге ( $\infty \geq R \geq 2500$  m).

Z2 - зона кривина великог полупречника – ( $2500 > R \geq 600$ ) m.

Z3 - зона кривина малог полупречника – ( $600 > R \geq 450$ ) m.

Ова зона се дели на зону  $Z3_k$  – пуне кривине и зону  $Z3_p$  – прелазне кривине.

Z4 - зона кривина врло малог полупречника – ( $450 > R \geq 250$ ) m.

Ова зона се дели на зону  $Z4_k$  – пуне кривине и зону  $Z4_p$  – прелазне кривине.

Z5 - зона скретнице.

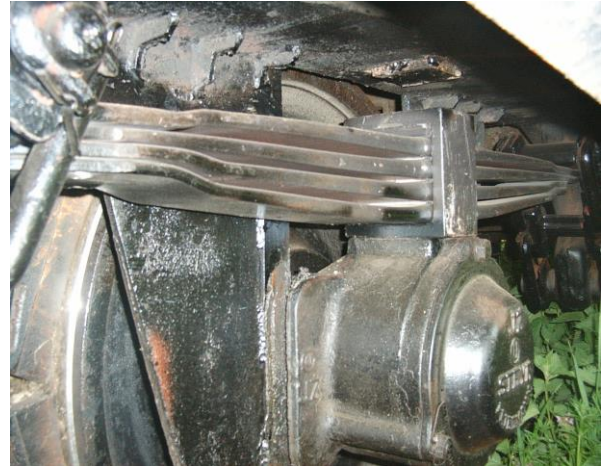
Прикључне (прелазне) кривине при статистичкој обради одвојене су од пуних кривина.

Појединачна дужина  $\ell_s$  и минимални број секција  $N$  зависе од зоне и дате су у прописима.

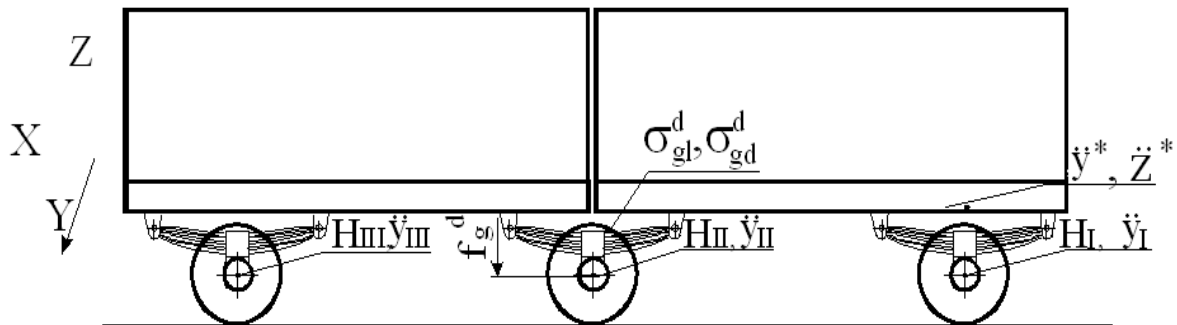
### III. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИСПИТИВАЊЕ ВАГОНА ДДам ЗА ПРЕВОЗ ПУТНИЧКИХ АУТОМОБИЛА

Третна, реконструисана, троосовинска, двоспратна, двочланкаста кола, намењена за превоз путничких аутомобила, типа ДДам произведена су у ДД „Братство“ Суботица. Реконструкција кола се састојала у замени постојећих трапезних гибњева параболичним гибњевима (слика 2).

Програм испитивања, који се односи на испитивање мирноће (квалитета) хода и сигурности (безбедности) кретања празних и натоварених ДДам кола базиран је на прописима УИЦ 518. На слици 3 приказане су величине које су мерене у испитивању [4].



Слика 2. Параболични гибањ



Слика 3. Распоред мерних места

Ознаке мерних величина везане за одређивање мирноће хода и сигурности кретања ДДам кола су:

- $H_I, H_{II}, H_{III}$  - бочне силе у нивоу осовинског склопа на првој, другој и трећој осовини, (слика 4),
- $\ddot{y}_I, \ddot{y}_{II}, \ddot{y}_{III}$  - хоризонтално-попечна убрзања на осовинским склоповима прве, друге и треће осовине, (слика 4),
- $\ddot{y}^*$  - хоризонтално-попечно убрзање сандука кола изнад задњег осовинског склопа (слика 5),
- $\ddot{z}^*$  - вертикално убрзање сандука кола изнад задњег осовинског склопа (слика 5),
- $f_g^d$  - динамички угиб гибња средње осовине (слика 3),
- $\sigma_{gl}^d, \sigma_{gd}^d$  - динамички напони на левом и десном гибњу средње осовине (слика 3),



Слика 4. Претварачи бочних сила и убрзања



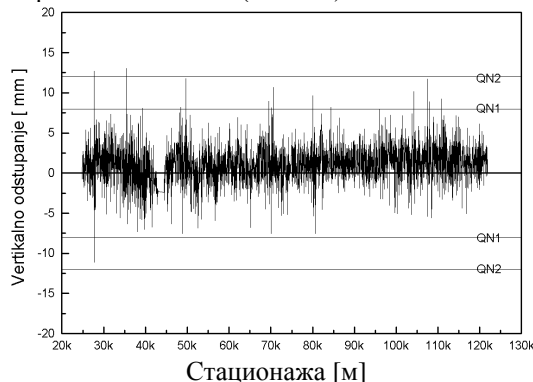
Слика 5. Претварачи вертикалних и хоризонталних убрзања

ДДам кола била су лабаво заквачена и постављена на крај композиције коју још сачињавају: локомотива и мерна лабораторија (слика 6).



Слика 6. Положај ДДам кола у испитној композицији

На комерцијалном-испитном колосеку, нагиба шина 1:20, мерним колима СЖ извршено је неопходно мерење геометријских карактеристика колосека. Обрада снимљених података извршена је програмом АП00, и софтвером развијеном у Центру за железничка возила Краљево. Поменути софтвери базирани су на Упутству 339 о јединственим критеријумима за контролу стања пруга на мрежи српских пруга. Дозвољене вредности квалитета колосека QN1 и QN2 у хоризонталном и вертикалном правцу дефинисане су УИЦ -ом 518 и унете су у дијаграмске записе измерених геометријских карактеристика колосека (слика 7).



Слика 7. Геометријске карактеристике колосека у вертикалном правцу на релацији Шид-Нова Пазова

Снимање динамичких величина извршено је из више проба, при чему су пробе подељене на секције (деонице), затим је извршена статистичка обрада по секцијама и од њих су формиране зоне на којима је извршена завршна статистичка обрада.

Да би добијене резултате упоредили са дозвољеним критеријумима, потребно је прво резултате мерења обрадити за сваку секцију посебно. Статистичке величине  $x_i$  добијене у обради по секцијама, представљају улазне податке за обраду по зонама.

У статистичкој обради по зонама, је за сваку величину  $x_i$ , одређена средња вредност  $\bar{x}$ , р.м.с.

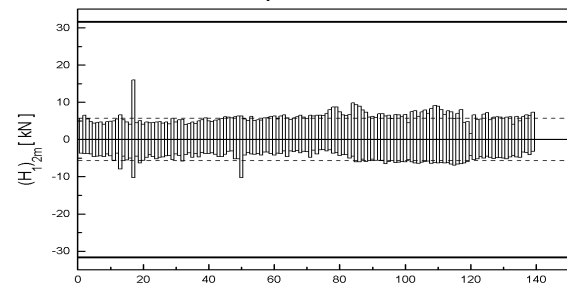
вредност и средње квадратно одступање  $s$ . На крају је, за сваку величину по зонама, одређена максимална процењена вредност  $\hat{x}_{max}$ :

$$\hat{x}_{max} = \bar{x} + k \cdot s \quad (2)$$

где  $k$  фактор има следеће вредности:

$k=3$ - за процењене величине које се односе на сигурност,  
 $k=2,2$ - за процењене величине које се односе на мирноћу вожње и

$k=0$  - за квази-статичке процењене величине.



Слика 8. Дијаграми бочних сила  $H_1$

Овако одређена максимална процењена вредност  $\hat{x}_{max}$  упоређује се са дозвољеном вредношћу за сваку испитивану величину и доноси се оцена испитиваних кола.

#### IV. ЗАКЉУЧАК

Да би се задовољили постављени критеријуми у поменутих прописима, испитивање празних и натоварених ДДам кола обављено је на изузетно дугој траси. Ово се пре свега односи на број и дужину секција по свим зонама. Најтеже је било испунити критеријум недовољности надвишења. О овом проблему би, у организацији Железница Србије, требало да разговарају стручњаци машинске и грађевинске струке.

Према свему изложеном теретна ДДам кола задовољавају прописане критеријуме за кретање максималном брзином до 120 km/h.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] E. Sperling, DB, Zentrolamt Minden, "Mirnoća hoda železničkih vozila", Doktorska disertacija, preveo prof. dipl. ing. Stevan Markovic, ZTP Beograd, 1970.
- [2] UIC 518-Testing and approval of railway vehicles from the point of view of their dynamic behaviour - Safety - Track fatigue - Running behavior,
- [3] D. Atmadzhova, "Experimental determination of the "wheel-rail" contact forces of railway vehicles", Annual University Scientific Conference 27-28 May 2019, "Vasil Levski" National Military University, Veliko Trnovo, ISSN 1314-1937, Electronic Edition ISSN 2367-7481, 2019.
- [4] Elaborat 11/04 Ispitivanje rekonstruisanih troosovinskih dvospratnih kola za prevoz putnickih automobile DDam, Masinski fakultet, Kraljevo, 2004.