

МЕТОДЕ МЈЕРЕЊА КРУТОСТИ КОЛОСЈЕКА

Мирјана Томичић-Торлаковић¹
Жарко Грујић²

УДК: 625.14

DOI: 10.14415/konferencijaGFS2014.119

Резиме: Правилном процјеном крутости колосјека могуће је утицати на продужење његовог животног вијека, као и временског пресјека и обима захвата које је потребно спровести у ту сврху. Квантификовање овог параметра обавља се успостављањем релације између аплицираног оптерећења и оствареног помјерања, као мјерљивих чинилаца. Описане методе мјерења крутости колосјека су подијељене према опсегу дионице коју могу да опслуже у једном свом радном циклусу. С тим у вези, издвојене су методе и комплексност апаратуре којом се мјерење обавља само у једном попречном пресјеку пруге, чиме су подаци везани само за уску зону око мјерног мјеста. Принцип рада се заснива на директном мјерењу помјерања геодетским инструментима. Потпунију слику могуће је постићи описаним методама континуалног мјерења крутости које свој рад заснивају на вертикалном хармонијском осциловању покретне масе, мјерењу њеног убрзања и прерачунавању оствареног пређеног пута, што чини помјерање. У зависности од конструктивних рјешења уређаја, дефинисане су и специфичности њихове примјене у оквиру релевантних утицаја оптерећења и помјерања.

Кључне речи: Методе мјерења, колосјек, крутост, фреквенција, угиб

1. УВОД

Функционалност колосјека најједноставније је контролисати праћењем геометрије, као јединог директно мјерљивог параметра. Промјена геометрије, било да је повремени или трајана, може да укаже на проблеме у конструкцији носивих елемената пруге [1]. Под повременим промјеном се подразумијева одговор конструкције помјерањем усљед тренутног дејства оптерећења (пролазак воза кроз изабрани пресјек). У зависности од нивоа индукованих сила, током животног циклуса може доћи до прогресије деформација чиме оне излазе из оквира повратних и колосјек заузима трајно нарушен облик. Варијацијом материјала, облика елемената и начина међусобне уградње могуће је утицати на промјену крутости конструкције а тиме и на интензитет сила које ти елементи морају

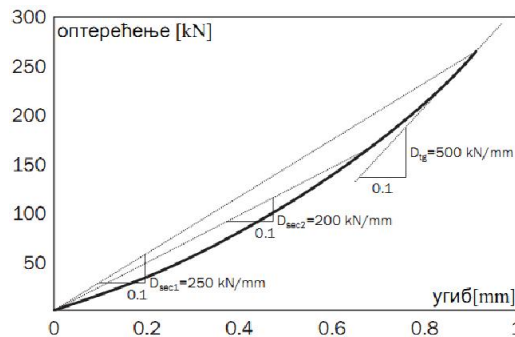
¹ Мирјана Томичић-Торлаковић, дипл. инж. грађ., Универзитет у Београду, Грађевински факултет, Булевар краља Александра 73, Београд, Србија

² Жарко Грујић, дипл. инж. грађ., Универзитет у Бањој Луци, Грађевински факултет, Степе Степановића 77/3, Бања Лука, Република Српска, тел: 0038751462616, e-mail: zgrujic@agfbl.org

прихватити. Како је крутост дефинисана као однос силе и помјерања које она изазове (1), проблем се своди на одређивање ове двије величине са знаком да је у питању вертикално помјерање тј. угиб, чиме је одређена само вертикална крутост.

$$k(t) = \frac{F(t)}{z(t)} \quad (1)$$

У интерпретацији резултата оптерећење-угиб (сл. 1) [2], могуће је у зависности од врсте проблема дефинисати секантну (2) и тангентну (3) крутост.



Слика 1 Дијаграм оптерећење-угиб

$$k_{x-y} = \frac{F_y - F_x}{z_y - z_x} \quad (2)$$

$$k_{tg,z} = \left. \frac{dF}{dz} \right|_{z_0} \quad (3)$$

Оптерећење које прихвата колосјек је динамичког карактера те га осим интензитета карактерише и фреквенција, дефинишући на тај начин динамичку крутост зависну од фреквенције.

2. МЕТОДЕ МЈЕРЕЊА

Приступ мјерењу величина потребних за прорачун крутости колосјека дефинисан је кроз два различита концепта са низом варијантних рјешења у оквиру сваког од њих. То су концепти континуираног мјерења дуж колосјека и појединачног мјерења у изабраним попречним пресецима.

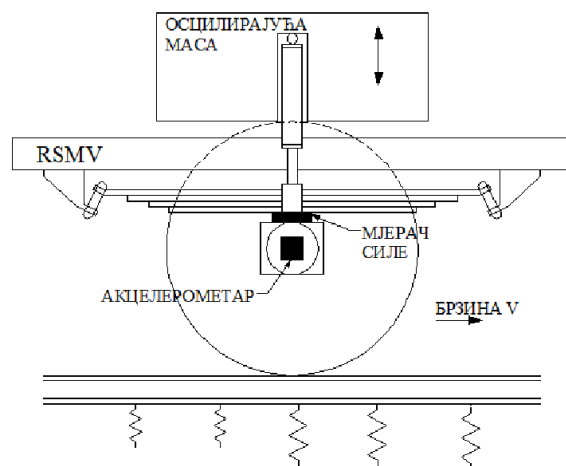
Из широког спектра метода мјерења: RSMV, Portancemetre, ENSCO, CARS, TTCl, Патент Универзитета Небраска, директно мјерење угиба ласерима, индиректно мјерење угиба геофонима, мјерење угиба падајућим теретом FWD, мјерење локалне крутости динамичким пенетром PANDA [1], у раду је приказан основни концепт рада само неких од наведених.

Возило за мјерење крутости котрљањем (RSMV):

Возило познато као Rolling Stiffness Measurement Vehicle (RSMV) је теретни вагон посебно прилагођен за примјену динамичког оптерећења преко осовина (сл. 2) [3]. Њиме се крутост мјери континуирано дуж трасе.

Статичко осовинско оптерећење износи 180 kN, док осцилирајуће масе могу да произведу додатно динамичко оптерећење од 60 kN.

Мјерач региструје примјењену силу а акцелерометар вертикално убрзање осовине. Из ове претпоставке се добија помјерање двоструком интеграцијом убрзања.



Слика 2 Шематски приказ RSMV апаратуре

Максимална вриједност фреквенције која је дозвољена за ову конструкцију апаратуре износи 50 Hz, док брзина може бити и до 50 km/h. Поремећајне фреквенције су синусоидног облика. Како је у питању динамичка крутост, то се у њеном дефинисању користи и фаза као карактеристика кашњења одговора шине угибом усљед спољашње силе.

Portancemetre

Овај уређај има исти принцип рада као и RSMV али посебну конструкцију састављену од рама са овјешаним оптерећењем и ослоњеним на само једну осовину са точковима[3]. Осовина и точкови су неовјешани и преко електричних побуђивача монтираних на рам добијају поремећајну силу. Укупно статичко оптерећење могуће је примјенити у распону од 70 – 120 kN, док је максимално додатно динамичко оптерећење до 70 kN. Горња граница радне фреквенције је 35 Hz.

Укупна сила примјењена на колосјек (FTA) потиче од маса које је могуће мјерити, али како је у питању динамички систем, то оне учествују у укупном оптерећењу преко законитости својих помјерања. Овјешане масе и вибрирајући точак имају

своја убрзања, док је услед рада уређаја за побуђивње присутан ексцентрични момент. Тако дефинисану силу могуће је векторски изразити као:

$$FTA = M_1 * g + M_0 * \Gamma_b + (M_1 - M_0) * \Gamma_c + m * e * \omega^2 * \cos \varphi \quad (4)$$

Гдје је:

M_1 - укупна маса која постоји на конструкцији

M_0 - вибрирајућа маса (точак, осовина, вибрирајући уређаји за побуђивање)

$m * e$ - ексцентрични момент од уређаја за побуђивање

Γ_b - вертикално убрзање вибрирајућег точка

Γ_c - вертикално убрзање овјешаних маса

ω - угаона брзина ($\omega = 2 * \pi * f$)

φ - угао између правца центрифугалне силе и правца FTA

Остварено вертикално помјерање је као и код RSMV-а једнако двострукој интеграцији вертикалног убрзања:

$$z(t) = \iint \Gamma_b(t) dt dt \quad (5)$$

Патент Универзитета Небраска

Метода мјерења крутости, развијена на Универзитету Линколн у Небраски [4], свој рад заснива на релативном угибу између постоља точкава и горње површине шине.

Апаратуру за мјерење, у оквиру једне шине, чини пар ласера под угловима θ_1 и θ_2 у односу на хоризонталу и једна камера, све заједно монтирано на носач причвршћен за постоље воза. Растојање између мјерних уређаја и контакта точак-шина, у подужном профилу, износи 1,25 m.

Камера биљежи позицију оба ласерска зрака на глави шине и са сваком промјеном висине h , остварено растојање између њих се мијења.

Подразумијевајући да је висина од мјерне апаратауре до контакта точак-шина (H) константна током цијелог мјерења, са промјеном крутости мијењаће се висина h . Укупно вертикално помјерање могуће је добити према (6).



Слика 3 Шематски приказ мјерења угиба

$$y_r = H - h \quad (5)$$

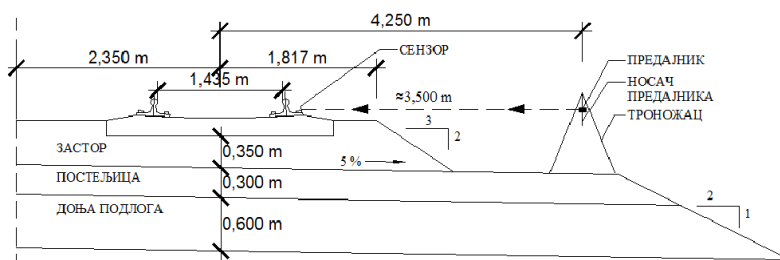
Као и у претходна два примјера, мјерење се обавља континуирано са том разликом да се не примјењује механичко побуђивање маса на осциловање, већ је у употреби обични вагон са унапријед одређеним теретом.

Директно мјерење угиба ласерима

Најједноставнији склоп апаратуре за мјерење крутости обједињен је у овој методи (сл. 4) [3]. Предајник емитује ласерски зрак и монтиран је на треножац. Како би се избјегла зона вибрација тла усљед проласка воза, минимална удаљеност од спољашње шине мора бити 3,5 m и тиме зрак представља референтну раван непомјерљиву у простору. Свој други крај ласерски зрак има на фото-осјетљивој површини екрана пријемника монтираног на спољашњу страну шине. Напонски сигнал који се индукује усљед преласка ласерског зрака преко екрана, при проласку воза, трансформише се аутоматски у величину помјерања.

Силе која дјелује на мјерно мјесто се одређује из разлике смичућих сила у два попречна пресека на удаљености од по 0,15 m са обје стране мјерног мјеста. Њихов интензитет се добија мјерењем преко екстензометарских трака.

Уређаји овог типа имају резолуцију од 0,001 mm и тачност $\pm 0,01$ mm па се због тачности мјерења удаљеност треношца ограничава на максималних 6 m.



Слика 4 Распоред апаратуре за директно мјерење угиба ласерима

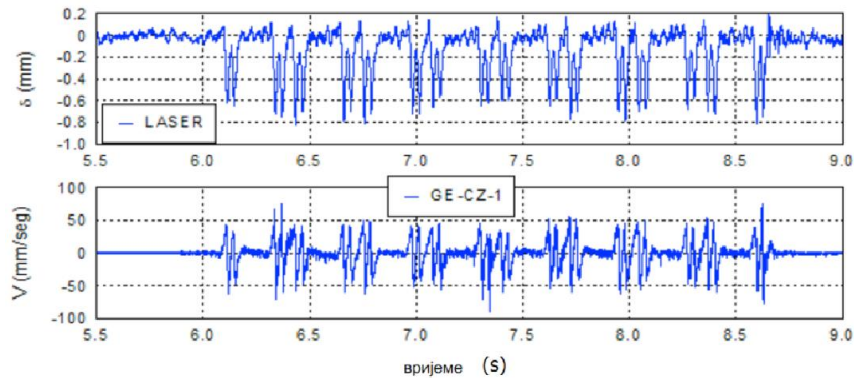
Индиректно мјерење угиба геофонима

За разлику од ласерске методе, предајник је 2 Hz-ни геофон смјештен на шину и генерише звучни сигнал. Пријемник на треношцу прихвата звучни сигнал билежаћи брзину помјерања његовог извора [3]. Како брзина нема јединицу помјерања, а и прихваћени сигнал је фазно помјерен у односу на емитовани, неопходно је извршити интеграцију брзине и корекцију фазе.

Мјерења геофонима и ласерима су везана за уско подручје око мјерног мјеста и скопчана са проблемом снабдијевања уређаја електричном енергијом.

Такође, проблем представља и монтирање апаратуре што доводи до ометања саобраћаја.

На слици 5 приказани су излазни резултати мјерења последње двије описане методе [2]. Њихова карактеристика је континуиран опис мјерног мјеста у времену дефинисаном излазном величином.



Слика 5 Излазни резултати директног мјерења ласером (горе) и индиректног мјерења геофоном (доље)

3. ЗАКЉУЧАК

Стратегија одржавање жељезничких пруга неизоставно би требало да садржи и процјену и корекцију крутости колосјека. Избор методе којом је могуће добити тражене резултате представља конкретну проблематику жељезничке управе у зависности од расположивог стања мреже, финансијских средстава и обима радова које је потребно извести. Најобухватније су методе континуираног мјерења којима се за релативно кратко вријеме могу покривати веће дионице. Осим самог мјерења потребно је извршити процјену погодности методе са становишта ометања редовног саобраћаја. Методе мјерења у појединачним пресецима имају предност уколико је потребно покривати мање секторе са већом тачношћу. Приказ резултата ових метода се сматра детаљнијим од континуираних, па се могу користити као допуна претходно поменутих на оним мјестима гдје је уочен проблем.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Грујић, Ж.: Методе мјерења крутости колосјека, **2013.**, семинарски рад из предмета „Одабрана поглавља горњег строја железница“ на докторским студијам на Грађевинском факултету Универзитета у Београду, ментор Проф. др Мирјана Томичић-Торлаковић
- [2] Пузавац, Л., Поповић, З., Лазаревић, Л.: Influence of track stiffness on track behaviour under vertical load. *Promet-traffic&Transportation*, **2012.**, Vol 24, No. 5, 405-412.
- [3] Berggren, E.: Methods of track stiffness measurements. *INNOTRACK*, **2006.**, No. 5
- [4] http://digitalcommons.unl.edu/mechengfacpub/?utm_source=digitalcommons.unl.edu%2Fmechengfacpub%2F33&utm_medium=PDF&utm_campaign=PDFCoverPages, преузето 21.5.2013.