



STOCHASTICKÁ ANALÝZA PŘESTAVNÉHO ODPORU VÝHYBEK

Zpracovali: doc. Ing. Otto Plášek, Ph.D., doc. Ing. Vlastislav Salajka, CSc., Ing. Zdeněk Čada, Ph.D. (Fakulta stavební VUT v Brně)

Souhrn

V rámci statických a dynamických analýz výhybek a výhybkových konstrukcí byla provedena stochastická analýza přestavného odporu výhybek. Cílem analýz bylo ověřit chování výměny výhybky s ohledem na spolehlivost přestavování, a to v souvislosti s údržbou kluzných ploch – kluzných stoliček a výškové polohy koleje.

Základní vstupní parametr – koeficient tření na kluzných stoličkách – byl zjištěn měřením přímo na vybraných výhybkových konstrukcích, a to za různých povětrnostních podmínek v průběhu roku 2018. Naměřené hodnoty součinitele tření byly podrobeny statistické analýze a bylo sestaveno vhodné statistické rozdělení.

Pro ověření vlivu různých hodnot součinitele tření na kluzných stoličkách byl sestaven konečně prvkový model výhybky. Pro analýzu přestavného odporu byly generovány hodnoty koeficientu tření na jednotlivých kluzných stoličkách a jejich náhodná výšková poloha. Ve výpočtu byl simulován třířázkový chod výměny a stanoven byl výsledný přestavný odpor. Na základě opakovaných výpočtů a vyhodnocení jejich výsledků bylo zkonstruováno vhodné statistické rozdělení přestavného odporu výhybky J60-1:12-500, který byl porovnán s přestavnou silou běžně používaného přestavníku.

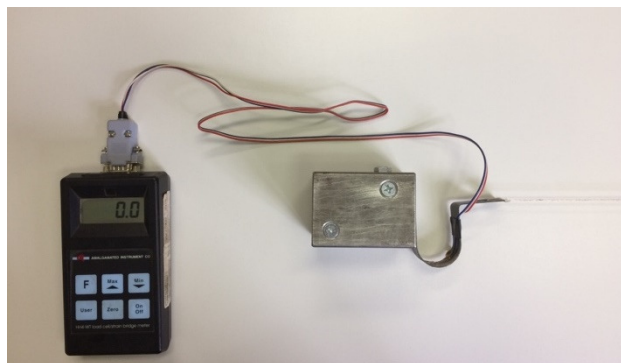
Oblast použití

Spolehlivost stavění výměn výhybek zásadním způsobem ovlivňuje bezpečnost a spolehlivost železniční dopravy. Moderní výhybky a výhybkové konstrukce vyžadují pokročilá stavěcí zařízení, které musí mít takové parametry, aby za všech podmínek bezpečně a spolehlivě výměny přestavily. Stavěcí zařízení se pro konkrétní typ výhybek dimenzují s ohledem na velikost přestavného odporu, který výhybky vykazují. Přestavný odpor silně souvisí s údržbou výškové polohy koleje a s údržbou kluzných ploch ve výměnách. Stochastická analýza přestavného odporu přispívá k ověření hodnot přestavného odporu s ohledem na běžně použité přestavníky ve výměnách výhybek.

Metodika a postup řešení

Přestavný odpor výhybky obvykle zahrnuje pasivní odpory stavěcího zařízení, ohýbání jazyků a třecí síly na kluzných stoličkách. Většina skutečných provozních parametrů má nahodilý charakter, některé lze jen obtížně předvídat, přitom v extrémním případě mohou způsobit poruchu. Zásadní vliv má geometrické uspořádání výhybky, rozdělení pražců, systém upevnění kolejnic na pražci, typ stavěcího zařízení a typ závěru, použití válečkových stoliček, příčný řez a geometrie jazyka, uspořádání kořene jazyka.

V analýze byly vzaty do úvahy jako náhodné veličiny koeficient tření na kluzných stoličkách (v závislosti na mazání stoliček) a jejich výšková poloha. K měření koeficientu tření bylo použito jednoduché zařízení, sestávající z ocelové kostky o hmotnosti 2 kg vyvolující podobný tlak na kluznou stoličku jako reálný jazyk. Síla potřebná pro uvedení kostky do pohybu byla měřena pomocí foliových tenzometrů nainstalovaných na tenkém plechu. Měřenou poměrnou deformací vyhodnotila a zaznamenala měřicí jednotka.



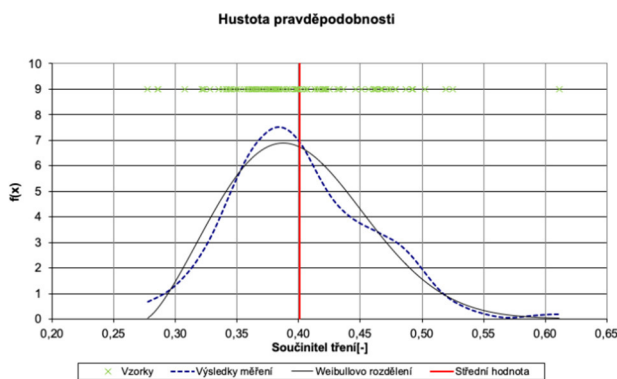
Obr. 1 Zařízení pro měření koeficientu tření

Na každé kluzné stoličce byly při měření odstraněny hrubé nečistoty (směs prachu a mazadla). Byla provedena tři měření ve dvou navzájem kolmých směrech, mezi opornicí a jazykem pouze ve směru podélném. Pro každé měření byla zaznamenána maximální síla.

Změřené koeficienty tření byly podrobeny statistické analýze. Pomocí analýzy rozptylu bylo zjištěno, že

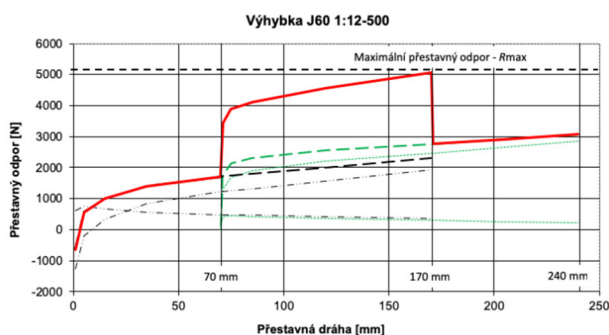
směr měření nemá na hodnotu koeficientu tření vliv a do vyhodnocení byla vzata měření na celkem 94 stoličkách. V rámci průzkumové statistické analýzy byla zamítnuta hypotéza o normalitě rozdělení, testováním v kvantil-quantilových grafech bylo jako nejvhodnější rozdělení určeno Weibullovo rozdělení a metodou nejmenších čtverců byly určeny jeho parametry ($\alpha = 2,366$; $\beta = 0,140$; $\gamma = 0,277$).

$$f(x, \alpha, \beta, \gamma) = \frac{\alpha}{\beta^\alpha} \cdot (x - \gamma)^{\alpha-1} \cdot e^{-(x-\gamma/\beta)^\alpha}$$



Obr. 2 Stanovené statistické rozdělení pro koeficient tření

Byl vytvořen komplexní model výměnové části výhybky J60-1:12-500, t.j. opornice a jazyk, výhybkové pražce v kolejovém loži, kluzné stoličky a upevnění kolejnic na pražci. Pro účely stochastické analýzy byl jazyk modelován zjednodušeně jako 3D prut – obecně nesymetrický průřez měnící se po délce kolejnice. Hodnota součinitele tření byla generována náhodně ze stanoveného Weibullova rozdělení. Do úvahy byl vzat třířázový postup přestavení výměny.



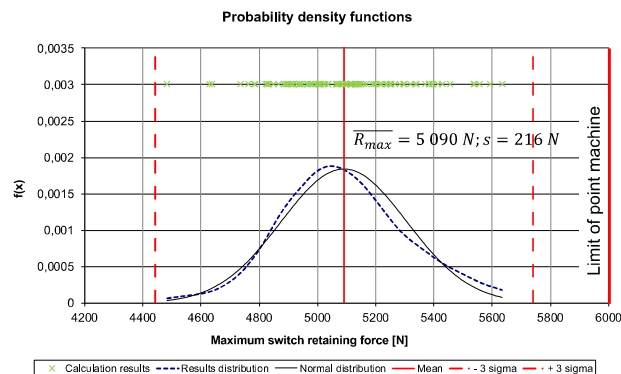
Obr. 3 Průběh přestavného odporu při stavění výměny

Výsledky

Bylo simulováno celkem 100 náhodných výhybek a proveden stejný počet výpočtů přestavného odporu. Do úvahy byla také vzata skutečnost, že po přestavení jazyka do odlehle polohy musí být mezi tímto jazykem a opornicí žlábek nejméně 60 mm.

Výsledky byly opět podrobeny statistické analýze. Nebyla zamítnuta hypotéza o normalitě rozdělení, byly určeny parametry normálního rozdělení (střední

hodnota, směrodatná odchylka) standardním postupem. Byla také vyhodnocena míra korelace mezi přestavným odporem a součinitelem tření. S ohledem na to, že tato závislost byla významná, byla sestavena lineární regresní funkce.



Obr. 4 Statistické rozdělení přestavného odporu

Závěr

S ohledem na poměrně vysoké zjištěné koeficienty tření na kluzných stoličkách lze doporučit úplně ukončit mazání kluzných stoliček. Kluzná stolička opatřená nadměrným množstvím lubrikantu, znečištěná prachem, ocelovými pilinami apod. vykazuje vyšší součinitel tření než čistá kluzná stolička bez maziva. Ošetření kluzných stoliček navíc vyžaduje aplikaci maziva školeným personálem.

Nezanedbatelné jsou také náklady na mazivo a zátěž pro životní prostředí. Vhodným opatřením pro snížení přestavných odporů je úprava povrchu kluzných stoliček materiály s nízkým součinitelem tření, nebo použití bezúdržbových válečkových stoliček, které jsou již běžně výrobcí výhybek nabízeny. Řešením může být „Vehicle Based Switching“, které zcela mění základní paradigma o konstrukci výhybek a zcela odstraňuje pohyblivé díly.

Literatura

- [1] ESVELD, Coenraad. *Modern railway track*. 2nd ed. Zaltbommel: MRT-Productions, c2001. ISBN 90-800-3243-3.
- [2] LICHTBERGER, Bernhard. *Track compendium: track system, substructure, maintenance, economics*. 2. Hamburg: DVV Media Group, 2011. ISBN 978-3-7771-0421-8.