



## STATICKÁ A DYNAMICKÁ ANALÝZA PRŮHYBU KOLEJE

Zpracovali: doc. Ing. Otto Plášek, Ph.D., Ing. Pavel Kulich (Fakulta stavební VUT v Brně)

### Souhrn

Statická a dynamická analýza byla zaměřena na rozvoj analytických modelů pro výpočet průhybu koleje pod jedoucimi nápravami. Byly prozkoumány dříve publikované matematické modely koleje pro statickou analýzu a dynamickou analýzu pro pohybující se nápravovou sílu. Tyto modely byly dále rozvíjeny s cílem zahrnout do analytických modelů pro výpočet průhybu koleje Pasternakov model podloží.

Práce obsahuje kvalitativní porovnání všech zkoumaných modelů pro statickou a dynamickou analýzu z hlediska tvaru průhybové křivky. Cílem práce je vyvinout a ověřit relativně jednoduchý analytický model, umožňující hodnocení průhybu koleje bez nutnosti použít pokročilý software pro analýzu metodou konečných prvků.

Výpočtené průhybové křivky byly porovnány s průhybovými křivkami měřenými v žst. Planá nad Lužnicí. V dalším kroku je vyvíjen jednoduchý konečný prvkový model a optimalizační algoritmus pro hodnocení základních parametrů koleje – tuhost, poměr ke kritickému tlumení a kritická rychlost.

### Oblast použití

Využití výpočetních modelů se předpokládá v rámci diagnostiky chování konstrukce koleje jako celku. Měně základní fyzikální parametry při jezdě kolejevého vozidla (průhyb, rychlosti nebo zrychlení kmitání součástí železničního svršku, napjatosti v kolejnicích) umožní u konstrukce koleje jako dynamické soustavy stanovit základní parametry, tj. celkovou tuhost kolejové jízdní dráhy ( $k$ ), poměr ke kritickému útlumu ( $S$ ) a poměr ke kritickému tlumení ( $r$ ).

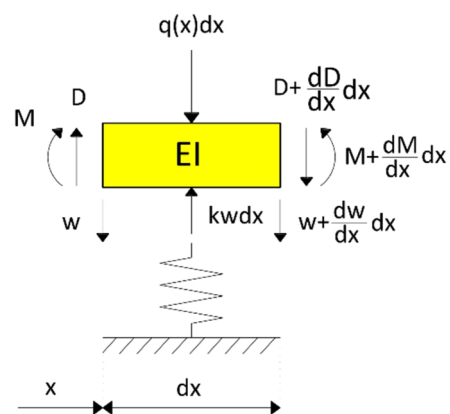
Hodnocení dynamických jevů koleje nabývá na významu zejména v souvislosti se zaváděním provozu vysokými rychlostmi a bude zásadní pro vysokorychlostní trati. V současné době se stanovují výše uvedené základní parametry koleje výpočtem z materiálových vlastností jednotlivých součástí železničního spodku a svršku a jejich konstrukčního uspořádání. Nebyly však dosud vyvinuty hodnotící

postupy, umožňující měření průhybu koleje přímo výsledky těchto analýz a výpočtů.

### Metodika a postup řešení

Detailně popsány byly dosud používané analytické modely pro výpočet průhybu koleje:

- současně standardně používaný model zatížený nepohyblivou nápravovou silou s Winklerovým modelem podloží (řešení dle Timošenkova, aplikace pro železniční stavby dle Zimmermanna, model 2.1 [1]);

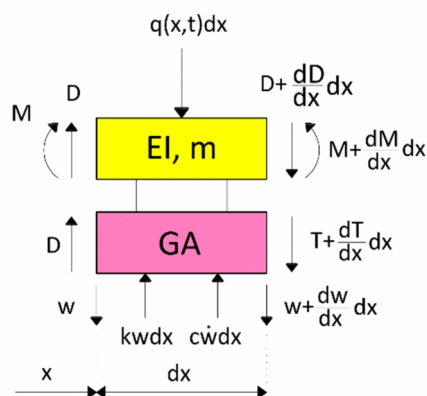


Obr. 1 Standardní model koleje

- model zatížený nepohyblivou nápravovou silou s Pasternakovým modelem podloží (model 2.2 [2]);
- model zatížený pohyblivou nápravovou silou s Winklerovým modelem podloží (řešení dle Frýby, model 2.3 [3]);
- model zatížený nepohyblivou nápravou silou, dvojitý nosník (dvouvrstvý systém), Winklerův model podloží (model 2.4).

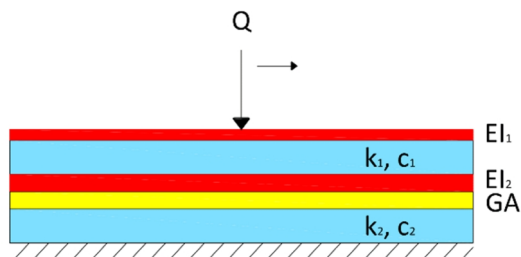
Tyto analytické matematické modely byly rozšířeny o řešení:

- model zatížený pohyblivou nápravovou silou s Pasternakovým modelem podloží (model 4.1);



Obr. 2 Model s pohyblivou silou a Pasternakovým modelem podloží

- model zatížený pohyblivou nápravou silou, dvojitý nosník (dvouvrstvý systém), Winkler v model podloží (model 4.2);
- model zatížený pohyblivou nápravou silou, dvouvrstvý systém, Pasternak v model podloží (model 4.3).



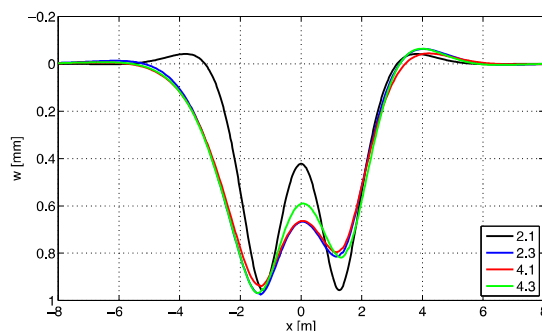
Obr. 3 Schéma modelu 4.3

Tyto modely a jejich řešení byly podrobeny kvalitativnímu hodnocení, byly porovnány pr hybové k ivky navzájem a s pr hyby nam enými v rámci diagnostiky kolejového roštu bez a s podpražcovými podložkami v žst. Planá nad Lužnicí.

## Výsledky

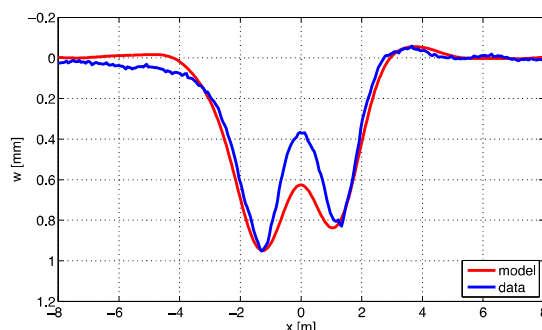
Kvalitativní hodnocení pr hybových k ivek (ekvivalentní asovému záznamu) vycházelo z vizuálního porovnání s o ekávanými výsledky. Pr b h svislého pr hybu souvisí s rozvorem podvozku  $d$  a charakteristickou délkou kolejového roštu  $L$ , která je dána se spojitou svislou tuhostí jízdní dráhy  $k$  a ohybovou tuhostí  $EI$ .

Vstupní parametry pro výpo et pr hybu byly uvažovány: kolejnice 60 E1 (60 E2), upevn ní kolejnic na pražci W 14 a betonové pražce dl. 2,6 m. Porovnávány byly pr hybové k ivky pro podvozek, a s ohledem na to, že všechny úlohy jsou zadány lineárními diferenciálními rovnicemi, byl využit princip lineární superpozice.



Obr. 4 Porovnání model 2.1, 2.3, 4.1 a 4.3

Pro porovnání byla použita data nam ená v žst. Planá nad Lužnicí. Nam ená data zaznamenávají pr hyb kolejového roštu pi pr jezdru prvního podvozku hnacího vozidla rychlostí  $77 \text{ km.h}^{-1}$ . Jako uspokojivý se jeví model 4.3, pr b h pr hybových k ivek.



Obr. 5 Porovnání dvouvrstvého modelu 4.3

## Záv r

Analytické matematické modely dokáží postihnout reálné m ení jen áste n . Dobrá shoda je patrná u zdvihové vlny p ed p íjezdem první nápravy a hodnotách pr hybu koleje pod jednotlivými nápravami. Rozdíly jsou patrné pro pr b h mezi jednotlivými nápravami a po odjezdu podvozku.

Nevýhody analytických model lze áste n odstranit sestavením model metodou kone ných prv k , které jsou schopny zahrnout více parametr .

## Literatura

- [1] Zimmermann, H. *Die Berechnung des Eisenbahnoberbaues*. 3. Auf. Berlin: Wilhelm Ernst, 1941, 308 s.
- [2] Esveld, C. *Modern railway track*. 2nd ed. Zaltbommel: MRT-Productions, c 2001. ISBN 90-800-3243-3.
- [3] Frýba, L. *Vibration of solids and structures under moving loads*. Vyd. 3., angl. 4. Prague: Academia, 1999. ISBN 80-200-0715-6.