

OPONENTNÍ POSUDEK

doktorandské disertační práce

Autor práce: Ing. Ivan Vukušič
Název práce: Analýza dynamických účinků ve výhybce
Škola: Vysoké učení technické v Brně
Fakulta: Stavební
Ústav: Ústav železničních konstrukcí a staveb
Studijní obor: 3607V009 Konstrukce a dopravní stavby
Studijní program: P3607 Stavební inženýrství
Vedoucí práce: prof. Ing. Jaroslav Smutný, Ph.D.
Oponent práce: doc. Ing. Pavel Zvěřina, CSc.
Moravské náměstí 753/12, 602 00 Brno
Kontakt: tel.: 604 789 124, e-mail: zverina.p@avidis.cz

Úvod.

Doktorská disertační práce byla oponentovi doručena dne 16.10.2015 na základě jmenování děkanem fakulty stavební (dále jen FAST), Vysokého učení technického v Brně (dále jen VUT v Brně) pod č.j. 410/2015, ve smyslu Článku 45 odst. 3 Studijního a zkušebního řádu doktorského studijního programu (dále jen DSP) FAST VUT v Brně. Předložená doktorská disertační práce je v souladu se studijním programem Stavební inženýrství studijního oboru: 3607V009 Konstrukce a dopravní stavby.

Doktorská disertační práce (dále jen DDP) má 14 základních kapitol v rozsahu 142 stran a další 3 kapitoly zahrnujících formální náležitosti od seznamu literatury až po seznam příloh, takže celkový rozsah písemné části DDP činí 157 stran.

Mimo základní písemnou část byla předložena jako součást DDP část přílohová, zahrnující tabulky, metodiku, grafy a vyhodnocení včetně fotodokumentace, vždy pro každou lokalitu samostatně. Těmito lokalitami byla výhybka č. 10 v železniční stanici (dále jen žst.) Poříčany, výhybky č. 63 a č. 59 v žst. Choceň a výhybky č. 3 a č. 4 v žst. Ústí nad Orlicí. Rozsah přílohové části je 280 stran.

Dále byli oponentovi předloženy Teze disertační práce v rozsahu 30 stran textu a anotace práce v jazyku českém a anglickém a i ostatní formální předepsané náležitosti.

Oponentní posudek byl vypracován v souladu s ustanovením článku 45 odst.4, Studijního a zkušebního řádu DSP, s ohledem zejména na:

A)

Aktuálnost tématu disertační práce.

Řešená problematika popsaná jak v Tézích DDP, tak ve vlastní práci poukazuje na problematiku kmitání železničního svršku, které je ovlivňováno zejména jeho kvalitou, provozně technickými podmínkami, klimatickými jevy, rychlostí kolejových vozidel, uspořádání a odpružení náprav trakčních vozidel a vozového parku, konstrukční uspořádání kolejového roštu a konstrukcí do něj vložených apod. až po kvalitu tělesa železničního spodku.

Tento soubor rozličných vlivů má dopad na degradaci geometrických parametrů koleje (dále jen GPK) s důsledkem na optimální provozuschopnost dráhy, její spolehlivost a především pak na bezpečnost železničního provozu a cestující veřejnosti.

Vedle stabilního železničního spodku patří výhybkové konstrukce ke klíčovým komponentům železniční dráhy. Prostorové silové působení vyvolané průjezdem vlakových souprav osobní přepravy, průjezdem lokomotiv a nákladních vlaků to vše různými rychlostmi a hmotnostmi na nápravu sebou přináší velké nároky na zachování předepsaných parametrů.

Je tedy nanejvýš potřebné získání co nejširšího spektra vlivu dynamických účinků na výhybkové konstrukce, neboť tyto vlivy se přenášejí prostřednictvím konstrukce pražcového podloží do železničního spodku. Spolu se změnou tuhosti jízdní dráhy a případných dynamických rázů (u konstrukcí bez bezstykové koleje a bez pohyblivé srdcovky) pak nepříznivým důsledkem může být až ztráta stability a rozpad GPK a její prostorové polohy.

Protože v ČR až do současnosti (přínos DDP) neexistovala komplexní metodika měření a vyhodnocení dynamických účinků v železničních výhybkách, je předložená DDP, jejíž těžištěm je právě měření a vyhodnocování dynamických účinků, vysoce aktuální nejen po stránce teoretické, ale i po stránce praktické (tj. ekonomičnost údržby, bezpečnost a spolehlivost provozu).

Řešení této problematiky vychází z teoretických východisek. Práce rozpracovává jak teoretické úvahy, ale současně i porovnává výsledky z praktických experimentálních měření na zkušebních úsecích, které byly, pro tyto účely, u Správy železniční dopravní cesty s.o. (dále jen SŽDC) zřízeny.

Právě proto, že se uvedená problematika řeší na tuzemské i evropské úrovni (dokladováno v seznamu použité literatury) svědčí jednoznačně o její aktuálnosti, zajímavosti a potřebnosti pro praxi, protože jak zhotovitelé drážních staveb, tak projektanti a správci se potýkají s řadou nejasností v této oblasti. Současně pod ekonomickým tlakem na snižování nákladovosti realizovaných staveb a převážně následných nákladů na údržbu a obnovu koleje (úspory v nákladech životního cyklu) se mnohdy dopouštějí omylů. Předloženou práci z tohoto pohledu považují rovněž za vysoce aktuální.

B)

Splnění stanovených cílů disertační práce.

Cíle DDP byly predikovány do šesti kapitol.

ad 1) Studium dynamických dějů ve výhybce.

DDP zahrnuje v optimální míře současné poznatky z oblasti zaměřené na jedno z nejproblematictějších míst železničních konstrukcí vůbec a to na srdcovkovou část železničních výhybek. Doktorand se správně oprostil od analýzy tramvajových srdcovek, což

je zcela odlišná problematika. Tuto část DDP považuji za logicky i věcně správnou bez zbytečného klišé.

ad 2) Metodika měření.

Měření a analýzu dynamických účinků na konstrukce lze principiálně rozdělit do tří základních oblastí. Do první oblasti (bez hierarchické posloupnosti) lze zařadit vysledování pohybového (prostorového) chování konstrukce pod reálným zatížením *in situ* (např. chování výhybkových pražců ve šterkovém loži, tj. jak ve vertikální tak v horizontální rovině). Do druhé oblasti lze zařadit vysledování šíření vibrací v jednotlivých částech konstrukce, při různém provozním zatížení (široké spektrum kolových sil) a při různých rychlostech (počínaje statickým zatížením při stání vlaku na konstrukci, až po pojezd u SŽDC povolenou maximální rychlostí 160 km.h⁻¹). Do třetí oblasti patří vysledování silového působení a jeho roznášení nejen v konstrukční části výhybky, ale i na kolejový rošt a přeneseně do pražcového podloží a do zemního tělesa nebo staveb jej nahrazujících (zejména pak rozhraní mezi železničním svrškem a železničním spodkem – významné pro dimenzování konstrukcí).

Doktorand se nejen podílel či aktivně účastnil, ale především dokázal zorganizovat celou řadu měření v provozních podmínkách, ať již v rámci diplomových prací, doktorských či vědeckých prací Ústavu železničních konstrukcí a staveb. Z těchto zkušeností vyplynula správně zvolená metodika měření zahrnující všechny tři výše uvedené oblasti.

Tuto část považuji jednoznačně za splnění cílů s přínosem – viz dále.

ad 3) Matematický aparát.

Na základě dříve provedených experimentálních měření a vyhodnocení byl vybrán a použit vhodný matematický aparát k získání potřebných a v cílech definovaných informací. I tuto část DDP považuji jednoznačně za splnění cílů.

ad 4) Hodnocení efektivity údržbových prací.

Autor DDP navrhuje a doporučuje metodiku měření dynamických účinků majících vliv na degradaci konstrukce a pro dlouhodobý monitoring. I tuto část považuji za splnění cílů, ale pod hodnocením efektivity údržbových prací si představuji a postrádám alespoň elementární rozklad údržbových prací, jejich četnost a jejich vliv na životní cyklus konstrukce, případně konfrontaci s předpisovými ustanoveními.

ad 5) Návrh zařízení na měření dynamických účinků.

Tuto kapitulu shledávám za stěžejní a v uvedeném rozsahu ji akceptuji a jednoznačně považuji za splnění cílů.

ad 6) Data pro optimalizaci výpočetních modelů.

Získaná data z každého provedeného měření (řádově 10³ až 10⁶) je nutno pečlivě setřídit do nějaké optimální datové struktury pro další, ať již okamžité nebo následné analýzy, ale i pro archivaci pro dlouhodobý monitoring. Zde považuji rozsáhlou přílohovou část za dostatečně vypovídající i pro osoby do vlastních měření nezasvěcené. Setřídění a uložení považuji za zdařilé a splňující stanovené cíle

Výsledky této práce mají být postupně aplikovány při zřizování dalších zkušebních úseků, jak na úrovni správce dráhy, tedy v současnosti u SŽDC, tak na úrovni legislativy. Po prostudování DDP mohu konstatovat, že všechny stanovené cíle, i přes uvedenou náročnost, byly splněny.

C)

Postup řešení problému a výsledky disertace, konkrétní přínos doktoranda.

Na základě rozsáhlé rešeršní činnosti (přes 90 odkazů na publikace), kdy se doktorand věnoval základním teoretickým problémům, přešel k analýze současného stavu. U SŽDC je aktuálně zřízeno několik zkušebních úseků majících za cíl objasnit příčiny degradace srdcovkových částí výhybek. Hledají se řešení pro odstranění dlouhodobých problémů konstrukce, ať již to jsou např. nerovnoměrné vertikální zatlačení pod jedoucimi kolejovými vozidly, ojíždění srdcovky, nerovnoměrné sedání dlouhých výhybkových pražců atd., ale v neposlední řadě to jsou problémy spojené s geometrickými parametry koleje za provozu a vhodnou účinnou údržbou.

Zpracovatel využil možnosti přístupu na dráhu, jako pracovník Výzkumného ústavu železničního a možnosti provést ve velkém rozsahu konkrétní měření. Mnohá měření a jejich efektivita byla však mnohdy ovlivněna nekoordinovanými zásahy údržby do konstrukcí, na což doktorand důrazně upozornil a navrhnul zřízení funkce koordinátora, což považuji za přínosné a potřebné.

Jedním z nejdůležitějších kroků, vedle vlastního sběru dat, bylo zpracování měřených hodnot. Za tímto účelem bylo vhodné v některých případech použití nepřímých metod, tj. použití elektrických signálů, neboť u nich lze dosáhnout velké citlivosti, přesnosti, rychlosti, dálkového přenosu apod. a vhodným matematickým aparátem je transformovat do digitální podoby požadovaných veličin a tyto následně uložit. Tímto aparátem a pomocí měřícího řetězce je analyzovat a archivovat. Následné použití vzorkování signálu, kvantování signálu, použití filtrů atd. považuji za správné a vedoucí k objasnění problémů.

Za konkrétní přínos doktoranda považuji již zorganizování a provedení experimentálních měření v provozních podmínkách ve vybraných lokalitách a za podmínek SŽDC (získání zdravotní způsobilosti, proškolení ohledně BOZP, získání povolení ke vstupu na dráhu, povolení instalace měřidel atd.), až po zajištění vlastní bezpečnosti spolupracovníků, bez kterých by se takováto měření nedala realizovat.

U vlastních prováděných měření považuji za konkrétní přínos doktoranda návrh a zavedení systému. U každé lokality je uvedeno, za jakým účelem bylo měření naplánováno a realizováno. Následuje podrobný popis lokality se schématy zhlaví žst. a měřených výhybek. Dále je uvedena metodika a parametry měření, vyhodnocení dílčích částí a celkové vyhodnocení měření. Takto zpracované údaje si může kdokoliv a kdykoliv s přehledem analyzovat, což u mnohých zahraničních autorů, zabývajících se uvedenou problematikou, nebylo schůdné.

Vlastní analyzované výsledky měření jsou bezesporu konkrétními přínosy doktoranda

Tento postup měření a vyhodnocení považuji za správný a bez připomínek, stejně tak jako konkrétní přínos doktoranda.

D)

Význam pro praxi nebo rozvoj vědního oboru.

Provedená experimentální měření takového rozsahu a v podmínkách plného provozu jsou v ČR naprosto unikátní, protože se jedná o zcela reálné prostředí jak uložení, tak i zatížení konstrukcí.

Velký význam pro praxi je zavedení a vyzkoušení tzv. „spouštěcího mechanismu“ pomocí instalace světelných bran a fotoelektrické sondy v měřeném řezu. Instalací těchto zařízení

umožňuje u každého vlaku vybrat přesně časový úsek pro hodnocení signálů a přesné stanovení rychlosti v měřeném úseku. Navíc rychlosti všech drážních vozidel v místě přejezdu přes experimentální stanoviště byly měřeny radarovým zařízením. Uvedené považuji za významné pro jednotnost dalších měření s velkým významem pro praxi.

Dalším přínosem pro praxi je potvrzení obecných a teoretických úvah, kdy zjednodušeně lze říci, že se zhoršující se geometrií přechodu v srdcovce výhybky se zvětšují i dynamické účinky působící na ni od zatížení provozem. V práci byly stanoveny a analýzami dokladovány dva hlavní mechanismy rozpadu geometrie srdcovky na principu zákona akce a reakce.

V neposlední řadě, jako významné pro praxi, tak i pro rozvoj vědního oboru je, že navržená a použitá metodika měření se stala základem certifikované metodiky měření dynamických účinků. Prokázalo se, že metodika měření je spolu s použitým matematickým aparátem schopna velmi dobře popsat chování konstrukce z hlediska dynamických účinků a je možno ji obecně používat. Metodika získala certifikaci od Ministerstva dopravy.

Z komplexní analýzy získaných poznatků z literatury a z poznatků vlastních, získaných experimentálními měřeními, bylo možné provést syntézu a formulovat závěry pro řešení problémů inženýrské praxe a pro další výzkum a rozvoj vědního oboru, což považuji za jednoznačný přínos.

Závěrem této kapitoly bych chtěl vyzdvihnout i přínos školitele prof. Smutného, který nejen svým přístupem k doktorandovi, ale i svoji aktivní účastí na experimentálních měřeních přispěl k této originální práci a výsledkům z ní plynoucích.

E)

Formální úprava disertační práce a její jazyková úprava

Po formální stránce je DDP na vysoké úrovni. Rozvrhnuté členění DDP na jednotlivé kapitoly a podkapitoly je přehledné a logicky správné. Stěžejní částí DDP je kapitola 6 – Metodika měření a následně kapitoly 10, 11 a 12 věnující se třem vytypovaným lokalitám (žst. Poříčany, žst. Choceň a žst. Ústí nad Orlicí). Za zmínku stojí přehlednost a čitelnost grafů a jejich vhodný výběr do textové části práce.

Za připomínkování stojí rozměrová správnost matematických vztahů., tj. za vzorci v textu nejsou uváděny rozměry (stejně tak v seznamu symbolů a zkratk). Na str. 12, v textu uvedené odkazy na obrázky (správně platí Obr. 2.7 a další). Str. 26, převzatý obr. 5.8 – v textu upozornit na rozdílnost levé a pravé části upevnění. Str. 30, kap. 5.5 – Tuto kapitolu považuji za příliš stručnou vzhledem k závažnosti. Bylo by asi vhodné doplnění např. o průběhy normálového a smykového napětí, o deformační odolnosti konstrukce pražcového podloží apod. U některých publikovaných fotografií a grafů, na rozdíl od jiných, chybí odkazy na autorství (např. str. 39, obr. 6.4. až obr. 6.9), aby se vyloučilo podezření, že tyto byly převzaty a citace nebyla záměrně uvedena (bylo by vhodné uvést např. – „autor DDP“, nebo „archiv autora DDP“). Na str. 62 v textu postrádám u výhybek č. 1 a č. 10 celý popis výhybek (nestačí pouze 1 : 12 – 500), obdobně na str. 114.

K předložené písemné práci mám níže uvedené připomínky:

- název DDP mohl být upřesněn na „železniční“ výhybky, nebo alespoň hned v úvodu a v Tézích mělo být zdůrazněno, že se jedná o „železniční výhybkové konstrukce s pevnou srdcovkou“ a práce se nezabývá tramvajovými srdcovkami,

- str. 8, obr. 2.1 – půdorysný pohled na srdcovkovou část železniční výhybky (i když se jedná o schéma) není zcela správný, neboť křídlové kolejnice a přídržnice musí končit (u výhybek s nepohyblivými částmi) za srdcovkovým klínem,
- u vzorců je obvyklé uvádět výsledný rozměr, tj. např. na str. 19, vztahy 4.1 a 4.2 i když jsou následně v textu jednotlivé veličiny a rozměry uvedeny – čemu se rozměrově rovná P_1 (kg ?) a P_2 (N.m⁻¹ ?), je rozměrová správnost dosazovaných veličin, když P_0 je v kN a výsledek $P_1 = \text{kg ?}$. Nebo se jedná o empirické vztahy?
- str. 29, text. Tuhost uzlu upevnění např. u ERL 30 (30 kN.mm⁻¹) a tuhost dle firemních materiálů (85 kN.mm⁻¹)?
- str. 45, text. Jsou uvedena doporučení, která sem nepatří (uvést až v kap.10), vhodnější by bylo, „...jsem se rozhodl pro ...“.
- str.65, obr.10.4, kromě uvedení autorství schématu nevyplývá z popisky a ani z textu, zda jde o umístění snímačů na výhybce č. 1 či č. 10 (dělené pražce?), nebo zda jde o obecné schéma a na čem byl umístěn snímač A0Z (měřící kámen?) nebo na tyči zatlučené do kolejového lože?
- u každého měření postrádám měření a vyhodnocení aktuálních provozních odchylek v oblasti srdcovky, před zahájením měření, mající nesporný vliv na snímané parametry.
- v práci postrádám stanovení nejistot měření (citlivost ~ spolehlivost měření). Při měření jsou jak přímo, tak nepřímo měřené veličiny a výsledná hodnota je stanovena výpočtem. Z tohoto důvodu je třeba přistupovat při stanovení standardní nejistoty, jako k funkční závislosti mezi přímo měřenou hodnotou a nepřímo stanovenou veličinou. Standardní nejistoty druhého typu zahrnují imperfekce měření (např. nejistota posuvného snímače, nejistota z nepřesného upevnění, vyosení apod., nejistota ze stavu degradace konstrukce aj.). Sloučením výsledných standardních nejistot obou typů vede ke stanovení pravděpodobnostní odchylky – což postrádám.

V rámci diskuze k DDP mám několik dotazů, na které jsem v předložené práci nenašel odpověď, i když nikterak nesnižují úroveň práce, ale považuji je za vhodné zmínit:

- 1) Uvést současné trendy zlepšující parametry geometrie přejezdu kola přes srdcovku (návaznost na 4 odrážky na str.13) + současné trendy ve zvyšování kvality údržby výhybek.
- 2) K získání relevantních výsledků vedou v podstatě vždy tři cesty, a to reálná měření v in-situ, nebo matematické modelování s teoretickými vstupy, či kombinace obojího, tj. do matematického modelu jsou vkládány reálně zjištěné vstupní parametry. Zajímalo by mne tedy, zda se doktorand zajímal o matematické modelování, třeba jen dílčích částí (např. modelování namáhání dlouhých výhybkových pražců v souvislosti s podpražcovými podložkami), zda existují nějaké komplexní matematické modely a v tom případě, které změřené údaje by bylo možné do takového modelu použít.
- 3) Zda lze, z provedených měření, vysledovat závislost průhybových křivek na rychlostech pohybujícího se zatížení, tj. např. srovnání průhybových křivek pražců podél srdcovky výhybky a průhybu pražců přímo pod srdcovkou výhybky. Konkrétně u měření v žst. Ústí nad Orlicí (str. 117 a 118, obr. 12.4 a 12.5 a str. 206 až 224 přílohové části DDP). Zda výsledky lze zobecnit a s jakým dopadem na případnou údržbu.
- 4) Chtěl bych znát stanovisko doktoranda na údržbové práce a jejich vliv (efektivita) na životní cyklus při různých konstrukcích srdcovek.
- 5) Chtěl bych znát názor doktoranda (vzhledem k jeho zkušenostem z měření) zda by účinně pomohlo zvětšení roznášecí plochy pražců a snížení účinků vibračního zařízení

plochých pryžových pražcových kotev (např. z pneumatikového recyklátu), proti posunům ve vertikální rovině (obdoba pražcových kotev proti příčnému posunu pražců v horizontální rovině) a kam by je bylo možno situovat vzhledem k jejich možné efektivitě a ke strojnímu podbíjení, aby nedošlo k jejich poškození?

Závěr

Na základě provedených měření a jejich vhodným vyhodnocením byly exaktně potvrzeny hlavní mechanismy chování drážních srdcovek, s nepohyblivými částmi, pod provozním zatížením. Především to je degradace geometrie srdcovky a snížení deformační odolnosti konstrukce pražcového podloží.

Navržená a aplikovaná metodika měření dynamických účinků získala certifikaci od ministerstva dopravy (doktorand je spoluautorem) a s použitým matematickým aparátem je schopna opakovaně predikovat závislost mezi provozním zatížením konstrukce (tj. srdcovkové oblasti drážní výhybky) a degradací jejich geometrických parametrů za provozu.

Použitý matematický aparát, až po návrh setřídění dat pro optimalizaci výpočetních modelů, považuji za zdařilý a přínosný.

Z hlediska splnění cílů DDP, lze konstatovat splnění těchto cílů. Obhajované závěry, vědecké přínosy a zjištění pro další rozvoj poznání a vědy jsou akceptovatelné. Rovněž akceptovatelné jsou přínosy DDP pro inženýrskou praxi.

Závěr a závěrečná doporučení považuji za logický a správný výstup celé DDP.

DDP Ing. Ivana Vukušiče vypracovaná na téma „Analýza dynamických účinků ve výhybce“ splňuje dle mého názoru podmínky stanovené Studijním a zkušebním řádem DSP a po kladném obhájení připomínek a dotazů od oponenta, doktorskou disertační práci

doporučuji

přijmout k obhajobě a po její úspěšné obhajobě udělit panu Ing. Ivanu Vukušičovi titul „Ph.D.“

V Brně dne 20.11.2015



Doc. Ing. Pavel Zvěřina, CSc.
Moravské náměstí 753/12, 602 00 Brno