

Štefan Mayerberger, Bohumil Vančura

DIAGNOSTICKÉ PROSTŘEDKY MĚŘENÍ KVALITY GEOMETRIE KOLEJE U ČESKÝCH DRAH

Klíčová slova: měřicí drezína, měřicí vůz, povrchové vady kolejnic, příčné profily kolejnic, odezva kolejového vozidla

ÚVOD

Koncem července roku 1996 se v Londýně konala ustavující schůzka SURVEY GRUP 8 (dále jen SG8) pod pracovním názvem „Kvalita geometrie koleje“. Byl zde formulován cíl SG8 (která je součástí komise evropské normalizace CEN/TC256/SC1), a to prověřit stav současného vědění a aktivit v oblasti geometrie koleje a identifikovat oblasti dalších potřebných prací [1]. Zúčastnění experti konstatovali, že základem pro jakoukoliv modernizaci v oblasti kvality geometrie je jednotné měření a hodnocení. Při tom je nutné vzít v úvahu tu realitu, že každá železnice má svůj vlastní systém měření, vyhodnocování a posuzování kvality koleje, do kterého investovala nemalé prostředky, a že spíše než diktování nákladných změn bude vhodné hledat „způsob transformace dat na společného jmenovatele“.

Skupina na svém jednání specifikovala oblasti, na které je nutné zaměřit úsilí v postupném řešení této závažné a náročné problematiky.

Ing. Štefan Mayerberger, nar. 1943. Vedoucí oblasti traťového hospodářství ČD - VÚŽ Praha.

Ing. Bohumil Vančura, nar. 1940. Vývojový pracovník oblasti traťového hospodářství ČD - VÚŽ Praha.

Jsou to:

- Standardy geometrie koleje
směrodatné odchytky (SDO), lokální vady
- Běžný provoz
rychlost, hmotnost na nápravu, provozní zatížení,
vozidla s naklápěcí technikou a bez ní,
bezpečnostní standardy, homologace a nákup vozidel

- Metody měření
měřicí vůz, měřicí vozíky, ruční měření, vztahy
mezi různými měřeními (zatížený, nezatížený stav,
vlnové délky apod.)
- Standardy návrhových parametrů
- Metody analýzy
- Metody presentace výsledků
- Metody korelace
vlnové délky, korelační koeficienty, přenosové
funkce, HW a SW
- Profily hlavy kolejnice

V současné době VÚŽ dokončuje vývoj dvou nových diagnostických prostředků, měřicí drezíny a měřicího vozu. V příspěvku chceme rámcově seznámit odbornou veřejnost s těmito technicky i metodicky novými prostředky měření kvality koleje.

MĚŘICÍ DREZÍNA (MD)

Měřicí drezína je řešena jako dvounápravový traťový stroj lehké stavby, s jednou hnací nápravou, opatřený narážecím a táhlovým ústrojím (obr.1).

Technické parametry MD:

délka přes nárazníky	13 100 mm
rozvor náprav	6 400 mm
rozchod	1 435 mm

max. přepravní rychlost	80 km.h ⁻¹
rychlost při měření.... optimální	40 až 60 km.h ⁻¹
směr měření	v postavení měřicí jízdy
max. hmotnost	32t (16t na nápravu)
max. stoupání	40 ‰
počet stanovišť řidiče	2
min. průjezdný poloměr	100 m
obsluha	3(řidič + 2)

Měřicí zařízení pro snímání jednotlivých geometrických parametrů koleje (GPK) je sestaveno ze tří měřicích vozíků s teleskopickou osou, připojených pomocí táhel k ložiskovým domkům náprav. Dva vozíky jsou připojeny k přední nápravě, jeden k nápravě zadní.

Pro převod mechanického pohybu na elektrický signál jsou na pákách táhel vozíků umístěny délkové indukční snímače, jejichž výstup je přiveden na vstupní porty palubního počítače k následnému zpracování.

Palubní počítač zpracuje jednotlivé signály podle specifikovaných algoritmů pro dvě výstupní sestavy. Jednou sestavou je grafický záznam parametrů GPK, druhá sestava je přehledem okamžitých závad a úsekového hodnocení. Obě sestavy jsou prezentovány na dvou samostatných tiskárnách. S ohledem na metodu snímání je v algoritmu zpracování signálů čidel měřených veličin realizována kompenzace přenosových funkcí, aby v požadovaném pásmu přenášených vlnových délek byla přenosová funkce jednotková.

Palubní počítač zajišťuje i funkci ovládání měřicích vozíků do pracovní a přepravní polohy a bezpečnostní kontrolu vozíků v pracovní poloze.

Měřeny jsou parametry GPK:	rozsah	měř.záznamu
rozchod koleje	-15 až +50 mm	1 : 1
směr koleje	min. R = 100 m	1 : 4
převýšení max.:	180 mm	1 : 5
zborcení proměnná základna (3,5 m , 5 m)		1 : 1
podélná výška 60 mm (obou kol. pasů)		1 : 1

Princip měření parametrů GPK.

Snímací systém měřicí dreziny pracuje na principu mechanického, kontaktního (dotykového) snímání uvedených měřených parametrů, přičemž pro měření podélné výšky a směru koleje je využit princip měření vzepětí na těživě příslušné délky. Přenosová funkce symetrické těživy osciluje mezi 0 a 2. To způsobuje, že některé odchylky GPK, jejichž vlnová délka spadá do oblasti nulového přenosu, těživa nezaznamená a ty odchylky GPK, které mají vlnovou délku v oblasti dvojnásobku přenosu, zaznamená s amplitudou dvojnásobnou. Snahou projektantů bylo navrhnout a zkonstruovat takový systém snímání a zpracování měřených veličin, který by v požadovaném pásmu vlnových délek odchylek GPK vykazoval jednotkovou přenosovou funkci. Pro splnění požadavku matematické kompenzace přenosové funkce byla konstrukce snímacího systému řešena tak, aby přenosová funkce neobsahovala ve své charakteristice nežádoucí nulové body.

Rozchod - je snímán kontaktním dvojkolím středního měřicího podvozku, přitlačovaného do pracovní polohy horizontálně a vertikálně pneumatickými válci. Tvar okolku je volen tak, aby byl rozchod měřen 14 mm pod temenem kolejnic i při dovoleném ojetí. Snímána je absolutní hodnota rozchodu s odchylkami dynamické složky. Přenosová funkce je v rozsahu snímání rovná jedné.

Směr koleje (křivost) - principem snímání je třibodový tětívový systém. Měřicí základna je vytvořena trojicí kol zadního, středního a předního měřicího podvozku s následujícími rozměry: délka měřicí tětivy 10 000 mm, asymetrie měření vzepětí 4 200 mm. Poměr asymetrie je volen tak, aby měřicí systém nevykazoval v průběhu přenosové funkce nulové body, které by nebylo možné použitou matematickou metodou kompenzovat. Mechanický pohyb snímacího ústrojí je pomocí lineárních indukčních převodníků převeden na elektrický signál, který je dále zpracován v palubním počítači.

Podélná výška - pro snímání podélné výšky obou kolejnicových pasů je použita tětiva s asymetrickým měřením vzepětí. Měřicí základna o délce 4 200 mm je vytvořena samostatně pro pravý a levý kolejový pás koly předního a středního měřicího vozíku a koly přední nápravy vozidla, která měří (ve vzdálenosti 1 764 mm) požadované vzepětí. Na pákovém systému, spojujícím jednotlivá kola, je umístěn lineární indukční snímač, jehož výstup zpracovává palubní počítač. Přenosová funkce je opět matematickou metodou kompenzována a je pro přenášené pásmo vlnových délek rovná jedné.

Převýšení - pracovní podmínky měřicí drezíny se liší od režimu měřicího vozu zejména proto, že drezína musí být schopna měřit malými rychlostmi, v malých poloměrech na vedlejších tratích, přičemž se však požaduje, aby produkované výstupní veličiny byly srovnatelné s veličinami měřenými měřicím vozem. Výsledek systému měření převýšení musí v obou složkách (statické i dynamické) zapadat do komplexu ostatních měřicích systémů drezíny tak, aby nevytvářel cizorodý celek.

Vzhledem k tomu, že podélná výška a směr koleje jsou měřeny kontaktním systémem, který je založen na tětívovém principu s kompenzací vlivu přenosových funkcí digitální cestou, je nutné, aby i převýšení bylo zpracováno stejnou digitální technikou, nazvanou quasi-on line FFT.

Měřicí zařízení pro měření převýšení je nejsložitější a dá se říci i nejnákladnější prvek měřicí drezíny. Pro svoji

specifikovanou funkčnost je zařízení sestaveno ze dvou základních prvků: rychlostního gyra pro měření svislé a vodorovné úhlové rychlosti a akcelerometru pro určení statického náklonu skříně vozidla. Nezanedbatelnou složkou v komplexu výpočtu převýšení je rychlost pohybu vozidla.

Zborcení - nemá na MD samostatný měřicí systém. Hodnota zborcení je stanovena nepřímo, výpočtem z parametru převýšení, s respektováním vzestupnice při nájezdu do nebo z převýšení.

Výstupní sestavy.

Jak již bylo řečeno, produkuje měřicí drezína z naměřených hodnot jednotlivých parametrů GPK dvě výstupní sestavy. První - grafická - zaznamenává v asynchronním režimu průběh jednotlivých parametrů v délkovém měřítku 1:2000 na formát A3 nebo A4, volený podle směrových poměrů měřené trati.

Na grafu jsou zaznamenány:

první a druhá stopa	.....podélná výška (L a P)	1 : 1
třetí stopa	.....zborcení	1 : 1
čtvrtá stopa	.....převýšení	1 : 5
pátá stopa	.....směr kolej	1 : 4
šestá stopa	.....rozchod	1 : 1

Na horním okraji jsou značeny hektometry a kilometry. Spodní okraj nese informaci o objektech a rychlosti měření.

Druhá výstupní sestava kromě základního popisu měřených traťových úseků nese informaci o stupni překročení okamžitých závad s lokalizací v kilometrické poloze, dále úsekové hodnocení vyjádřené směrodatnými odchylkami měřených parametrů v kilometrových intervalech a semigrafické znázornění směrodatných odchylek v intervalu 25 m.

Metodika hodnocení.

Hodnocení naměřených parametrů GPK měřicí drezínou bude v současné době a po dobu souběžného měření se stávajícím měřicím

vozem realizováno podle metodiky hodnocení použité pro tento vůz.

Způsob hodnocení lokálních závad a statistického vyjádření jednotlivých měřených veličin je stanoven ve služební rukojeti SR 103/4 (S).

Metodika hodnocení vychází z posouzení okamžitých odchylek v identifikovaném místě koleje stanovením překročení mezní hladiny pro příslušné rychlostní pásmo. Pro komplexní posouzení měřeného úseku v jednotlivých parametrech je hodnocení jejich dynamické složky realizováno pomocí statistického zpracování směrodatnými odchylkami pro délky úseků 200 m a 1000 m, v intervalech vzorkování 0,25 m.

Komplexní stav GPK ve všech základních parametrech je v úsekovém hodnocení vyjádřen tzv. číslem kvality, které je počítáno z jednotlivých směrodatných odchylek, přičemž je přihlédnuto k závažnosti jednotlivých parametrů.

Na přenosné magnetické médium jsou zaznamenány hrubé závady, směrodatné odchylky v délce úseku 200 m a 1000 m a všechny potřebné údaje identifikující měřenou trať. Tato data jsou ve středisku měřících vlaků dále zpracovávána do kvalifikačních tabulek a příslušných ročních přehledů o stavu GPK sítě ČD.

MĚŘICÍ VŮZ MV

V současné době probíhá ověřovací provoz nového měřícího vozu MV s bezkontaktním snímáním, pracujícím na principu inerční metody měření veličin GPK. Vytypovaný železniční vagón řady Bymee byl rekonstruován podle požadavků pro měřicí vůz tak, aby vyhověl v podmínkách ČD (obr.2). Měřicí systémy byly převzaty jako ucelené dodávky od zahraničních dodavatelů. Pro měření GPK to je systém TMS (Track Measuring System), což je modernizovaná digitální verze systému BMS1 Holandských drah od firmy ER Industriële Systemen, systém CMS (Corrugation Measurement System) pro měření povrchových vad kolejnic

(vlnkovitosti) od Holandské firmy High Tech Automation a systém ORIAN (Optical Rail Inspection and Analysis System) pro měření příčného profilu kolejnic dodaný firmou Plasser - Theurer. Metodické zpracování pro potřeby Českých drah je řešeno HOST systémem.

Základní technické parametry měřicího vozu jsou:

- měřicí rychlost 36 - 160 km.h⁻¹
- minimální poloměr měření 190 m
- vzorkovací interval 0,25 m
- hodnocený úsek délky 200 m, 1 000 m

Koncepčně jsou měřicí systémy nového vozu členěny do čtyř, relativně samostatných částí a to:

TMS - měření a zpracování veličin GPK

CMS - měření a vyhodnocení vlnkovitosti

ORIAN - měření a vyhodnocení příčného profilu kolejnic nadstavbový systém

HOST (Hodnocení stavu koleje) - metodické zpracování a komunikace

System TMS

V podstatě snímání a zpracování inerciálního měřicího systému jsou měřené veličiny reprezentovány jako dynamické a statické složky polohy koleje.

Dynamické veličiny jsou:

- podélná výška koleje
- převýšení
- směr koleje
- rozchod
- zborcení s nastavitelnou délkou základny

Statické veličiny:

- křivost
- převýšení
- rozchod

Všechny veličiny jsou po základním zpracování v elektronickém systému TMS zaznamenány HOST systémem ve výstupních sestavách v grafické formě, tištěném statistickém přehledu o okamžitých závadách, v úsekovém hodnocení a dále zaznamenány na magnetické médium pro další zpracování ve vyhodnocovacím středisku.

Princip snímání.

Podrobně je princip snímání jednotlivých veličin GPK popsán v literatuře [1]. Podstata inerční metody spočívá ve využití Newtonových zákonů síly a setrvačnosti. Pro realizaci systému jsou použity snímače zrychlení, úhlové rychlosti a indukční snímače posunutí, rozchod a směr snímá laserový nekontaktní systém CCD kamerami. Projetá dráha vozu je snímána inkrementálním snímačem z jedné os dvojkolí měřícího podvozku.

Získání všech statických a dynamických veličin probíhá on-line, přičemž všechny nutné operace se signály jednotlivých snímačů jako integrace zrychlení, filtrace, korekce a opravy fází se provádějí digitálně, v palubním počítači měřícího vozu.

Přesnost polohové identifikace závad GPK je dána jednak přesností snímání dráhy vozu a jednak přesností určení polohy měřícího vozu v síti ČD. Pro dosažení požadované přesnosti a reprodukovatelnosti při opakovaném měření se v síti ČD osazují začátky a konce definičních úseků magnetickými značkami, které umožní automatickou korekci dráhy během měřicí jízdy vozu.

Metodika hodnocení.

Metodiku hodnocení ČD jednotlivých veličin GPK, zpracovaných systémem TMS, zajišťuje nadstavbový systém HOST, komunikující přes IEEE rozhraní. Hodnocení probíhá ve dvou

fázích. V první fázi jsou posuzovány lokální závady měřených veličin geometrické polohy koleje, okamžité hodnocení, ve druhé je statistické zpracování v délce předvoleného úseku, úsekové hodnocení po 200 nebo 1 000 m, vyjádřeno známkou kvality ZK a známkou podbíjení ZP. Mezní hladiny respektují rozdělení sítě ČD na stanovená rychlostní pásma.

Okamžité hodnocení lokálních závad je rozděleno pro dvě úrovně:

ÚROVEŇ 1 - "údržba", kde stanovené mezní hladiny vycházejí ze stavebních odchylek příslušné veličiny koleje za provozu, které NEMAJÍ být překročeny.

ÚROVEŇ 2 - "bezpečnost provozu" vycházející ze stavebních odchylek příslušné veličiny koleje za provozu, které NESMÍ být překročeny.

Každá lokální závada je na tištěném přehledu vyznačena kilometrickou polohou, délkou závady a max. hodnotou.

Úsekové hodnocení vychází ze znalostí statistického rozdělení souborů směrodatných odchylek SDO jednotlivých veličin GPK v síti ČD. Podrobná analýza transformace SDO veličin GPK na známky kvality a známku podbíjení je popsána v [2].

Změřené hodnoty všech veličin GPK jsou průběžně zaznamenávány na magnetické médium a jsou ve vyhodnocovacím středisku dále zpracovány a využity pro potřeby diagnostiky.

System CMS.

Na měřicím voze je systém CMS určen pro orientační měření vertikální mikrogeometrie hlavy kolejnice a k lokalizaci vad svarů. Pojmem mikrogeometrie se rozumí geometrické odchylky v podélném profilu hlavy kolejnice v pásmu vlnových délek 0,03 až 1 m, což představuje povrchové vady kolejnice.

Systém CMS je založen na principu měření zrychlení ložiskových domků dvojkolí měřicího podvozku. Získaný signál je v počítači přepočítán na vlastní geometrii. Uvedený princip

měření dosahuje přesnosti desítky procent, je však v současné době jediný použitelný pro aplikaci na měřicím voze.

Součástí hardware systému je standardní počítač PC 486 s přírůbčovacím modulem, deskou převodníků A/D a D/A.

Systém CMS produkuje výstupní signál ve vlnovém pásmu: 0,03 - 0,3 m.

Pro uvedené pásmo jsou systémem CMS vypočítány směrodatné odchylky signálu přepočteného na srovnávací úroveň rychlosti, při které se měří. Směrodatné odchylky se počítají na volitelnou délku základního úseku 5 - 200 m. Protože podle hodnot SDO je obtížné se orientovat při stanovování podkladů pro rozhodování o broušení hodnocených úseků, budou SDO přepočteny, obdobně jako u geometrických veličin, na známky kvality.

Psaná podoba výstupů CMS bude uspořádána podobně jako v případě veličin GPK na úsekové a lokální hodnocení mikrogeometrie hlavy kolejnice, tj. známka kvality každého vlnového pásma, známka broušení a počet překročení úrovní místních vad.

Systém HOST

Nadstavbový systém HOST má prostřednictvím síťového propojení přístup k datům systémů TMS a CMS.

Jeho činnost je zaměřena na zpracování měřených veličin podle formulace nové metodiky hodnocení u ČD. Tiskne grafickou výstupní sestavu všech požadovaných parametrů GPK a grafický průběh směrodatných odchylek mikrogeometrie obou kolejnicových pasů.

Na textové tiskárně produkuje průběžně protokol o výskytu okamžitých závad a úsekové hodnocení pro jednotlivé parametry. Dále ukládá data parametrů GPK ve vzorkovacích intervalech 0,25 m na hard disk pro možnost dalšího použití a zpracování ve vyhodnocovacím středisku. Součástí software vybavení HOST systému je i tzv. VRA.

Analýza reakcí vozidla VRA (Vehicle Reaction Analysis) je systém, který ze změřené geometrie systémem TMS počítá odezvu vybraného vozidla. Jako vstupní veličiny využívá signály geometrie koleje, tj. směru, rozchodu, výšky a převýšení. Výstupem jsou pak opět čtyři veličiny: síly Q a Y a svislé a vodorovné zrychlení skříně vozu.

Při úvahách o realizaci tohoto systému na měřicím voze vycházel řešitel z poznatků Holandských drah a z reálných možností, které se naskýtají při použití moderní výpočetní techniky.

Pro účely ČD se jako optimální jeví řešení:

- pro dvě vybraná vozidla realizovat systém na měřicím voze, pracující v reálném čase.

Na měřicí vůz je navržen pro řešení odezvy lineárního dynamického systému speciální algoritmus, nazvaný kvasi on-line technika FFT. Princip je popsán v literatuře [2].

- ve vyhodnocovacím středisku vytvořit dokonalý systém pracující se zaznamenanými daty měřicího vozu, schopný zpracovat řadu vozidel typických pro posuzovanou trať.

Tento systém bude pracovat off-line a pro odlišení od systému VRA pracujícího na měřicím voze, ponese název HGO (hodnocení GPK odezvou).

Dalším zařízením měřicího vozu, sloužícím pro zkvalitnění práce s daty a výstupy měřicího vozu na úrovni SDC, je instalovaný video systém, který průběžně zaznamenává měřenou trať.

Pomocí průmyslové kamery je v průběhu jízdy snímán barevný obraz tratě, zobrazován na televizní obrazovku a zároveň ukládán na videokazetu. Videozáznam příslušného měřeného úseku je po ukončení měření předán společně s grafickým a tištěným výstupem zástupci SDC.

ZÁVĚR

Měřicí drezína byla v roce 1995 a prvé polovině roku 1996 podrobena ověřovacímu provozu na vybraných traťových úsecích s náročnými geometrickými poměry. Po vyhodnocení dosažených výsledků měření a následných úpravách bylo konstatováno, že měřicí drezína je způsobilá k měření tratí kategorie B a C při měřicí rychlosti 40 až 60 km.h⁻¹ přizpůsobené stavu GPK měřeného úseku.

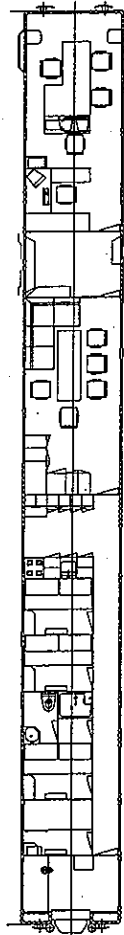
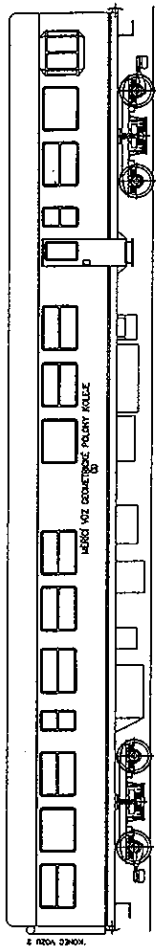
Měřicí vůz je v současné době ve fázi provozního ověřování jednotlivých systémů. Jsou vyhodnocovány dosažené výsledky měřicích jízd, na jejichž základě je připravována provozní příručka. Souběžně je ověřován potřebný software pro vyhodnocovací středisko. Provozní nasazení nového měřicího vozu předpokládáme v roce 1997.

LITERATURA

- [1] Kopsa L.: Zpráva z jednání skupiny SG8.1996.
- [2] Esveld, C.: Modern Railway Track, Duisburg 1989.
- [3] Turek, J.a kol.: Měřicí vůz pro měření GPK.Výzkumná zpráva. Praha, KŽV 1995.

Pardubice, prosinec 1996

Lektorovala: Ing.Danuše Marusičová
ved.odd.stavební sekce
ČD - DDC



Obr. 2

