

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2008

Jakub Holič

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Problematika vztahu dvojkolí-kolej v podmínkách Dopravního
podniku Hl. m. Prahy, Metro
Jakub Holič

Bakalářská práce
2008

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jakub HOLIČ**

Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**

Studijní obor: **Dopravní prostředky-Kolejová vozidla**

Název tématu: **Problematika vztahu dvojkolí-kolej v podmínkách
Dopravního podniku hl. m. Prahy, Metro.**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem práce je pokračování ve vyhodnocování zkušebního provozu souprav vozidel metra s jízdním obrysem UIC-ORE (S1002) a KUŽEL-2A. Seznámit se s údržbovým systémem pro opravy dvojkolí v Dopravním podniku hl. m. Prahy, Metro. Provést rešerši dostupných systémů pro měření jízdních obrysů kol dvojkolí a systémů pro měření drsnosti činné plochy brzdových kotoučů. Vypracujte:

1. Současný a očekávaný stav problematiky jízdních obrysů vozidel Metra včetně jejich reprofilace.
2. Vyhodnocení zkušebního provozu souprav metra s jízdním obrysem UIC-ORE (S1002) a KUŽEL-2A.
3. Ověření opakovatelnosti měření jízdních obrysů kol měřícím přístrojem MiniProf.
4. Rešerši dostupných systémů pro měření jízdních obrysů kol dvojkolí a systémů pro měření drsnosti činné plochy brzdových kotoučů.


Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucího BP
Rozsah pracovní zprávy: 40 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

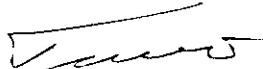
- [1] ZELENKA J., IZER J.: Kontaktní poměry dvojkolí-kolej v podmínkách provozu Metra Praha. [Výzkumná zpráva], Česká Třebová, 2000.
- [2] ZELENKA J., IZER J.: Vyhodnocení zkušebního provozu soupravy Metra 2371-2376 s jízdním obrysem kol UIC-ORE. [Výzkumná zpráva], Česká Třebová, 2004.
- [3] ZELENKA J., VITOUŠOVÁ S.: Zkušební provoz souprav Metra s jízdním obrysem kol dvojkolí KUŽEL-2A a UIC-ORE. [Výzkumná zpráva], Česká Třebová, 2004.
- [4] MARUNA Z.: Základy pohybu po koleji. In: Scientific papers of the University Pardubice Series B – The Jan Perner Transport Faculty 2, Pardubice, 28.11.1996, s. 23-38, ISSN 1211-6610.
- [5] ŠTÁSEK R.: Problematika vztahu dvojkolí-kolej v podmínkách DP hl. m. Prahy, Metro. [Diplomová práce], Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, 2005.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Martin Březina
Dopravní podnik hl. m. Prahy, Metro

Datum zadání bakalářské práce: 18. února 2008
Termín odevzdání bakalářské práce: 26. května 2008


prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.
děkan

L.S.


doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.
vedoucí katedry

dne

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych velmi rád poděkoval vedoucímu své bakalářské práce, panu Ing. Martinu Březinovi, za trpělivost a spolupráci při její tvorbě a panu Petru Kramosilovi za pomoc při řešení technických aspektů práce v reálném provozu.

SOUHRN

V bakalářské práci jsem se zabýval problematikou jízdních obrysů dvojkolí a jejich opotřebení v podmínkách pražského metra. Práce se věnuje také vyhodnocení pokračujícího zkušebního provozu obrysu kužel-2A a jeho porovnání s výsledky provozu obrysu UIC-ORE. Nedílnou součástí je i zhodnocení provozu, v současné době používaného měřicího systému Miniprof a porovnání obou jeho modifikací.

KLÍČOVÁ SLOVA

Metro, dvojkolí, jízdní obrys, profiloměry

TITLE

The wheel-rail contact issues in conditions of the company Dopravní podnik hl. m. Prahy a.s., Metro

ABSTRACT

I have considered issues of wheel profiles and their wear, in conditions of the Prague metro system. This thesis also includes evaluation of continuing Kužel-2A profile test operation and its comparison with results of UIC-ORE profile operation. An integral part of the thesis is also the estimation of currently used measuring system Miniprof and both of its modifications.

KEYWORDS

Metro, wheelset, wheel profile, profilometers

UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera Katedra dopravních prostředků	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana 6
--	------------------	----------

OBSAH

1	Úvod	8
1.1	Cíl bakalářské práce.....	8
2	Současný a očekávaný stav problematiky jízdnic obrysů vozidel metra včetně jejich reprofilace	9
2.1	Jízdnic obrys kol, dvojkolí.....	9
2.1.1	Hlavní rozměry kol a dvojkolí.....	9
2.2	Vývoj používaných jízdnic obrysů.....	10
2.2.1	Kuželový jízdnic obrys.....	11
2.2.2	Jízdnic obrys UIC-ORE (S 1002).....	11
2.2.3	Jízdnic obrys Kužel-2A	12
2.3	Podmínky provozu jízdnic obrysů dvojkolí v pražském metru	13
2.3.1	Systém mazání kol.....	14
2.4	Stav obrábění jízdnic obrysů.....	15
2.4.1	Současný podúrovňový soustruh Hegenscheidt H-104	15
2.4.2	Nový podúrovňový soustruh Hegenscheidt U-2000-400	16
3	Vyhodnocení zkušebního provozu souprav metra s jízdnic obrysem UIC-ORE a Kužel-2A	17
3.1	Výsledky měření	17
3.2	Dílčí zhodnocení výsledků měření.....	17
3.2.1	Souprava 4103-4104 (UIC-ORE).....	19
3.2.2	Souprava 4109-4110 (Kužel-2A)	21
3.3	Závěry	23
3.3.1	Chyby měření	23
4	Ověření opakovatelnosti měření jízdnic obrysů kol prováděných měřicím přístrojem Miniprof	25
4.1	Měřicí přístroj miniprof.....	25
4.2	Měření na kontrolním stojanu	26
4.2.1	Kontrolní stojan pro ověřování přesnosti měření přístrojem Miniprof	26
4.2.2	Vlastní měření	26
4.2.3	Výstupy měření	27
4.3	Měření na voze typu M1	28
4.3.1	Vlastní měření	28
4.3.2	Výstupy měření	28
4.4	Závěry a porovnání	29
4.4.1	Příčiny chyb měření.....	29
4.5	Porovnání Miniprofu s původní a se současnou základnou	30

UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera Katedra dopravních prostředků	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana 7
--	------------------	----------

4.5.1	Výpočet úhlu vychýlení přístroje Miniprof	31
5	Rešerše dostupných systémů pro měření jízdních obrysů kol dvojkolí a systémů pro měření drsnosti činné plochy brzdových kotoučů	34
5.1	Systémy pro měření jízdních obrysů dvojkolí	34
5.1.1	Orientační posuvná měřidla.....	35
5.1.2	Jehlové profiloměry	35
5.1.3	Optické profiloměry	36
5.1.4	Profiloměry Miniprof	37
5.2	Systémy pro měření drsnosti činné plochy brzdových kotoučů	37
6	Závěr	39
7	Literatura	40
8	Seznam příloh	42

UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera Katedra dopravních prostředků	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana 8
--	------------------	----------

1 Úvod

Tato práce navazuje na diplomovou práci Ing. Radomíra Šťáska (z roku 2005) Problematika vztahu dvojkolí-kolej v podmínkách DP hl. m. Prahy, Metro. Pokračuje ve sledování hodnot opotřebení jízdních obrysů UIC-ORE a Kužel-2A v letech 2006 a 2007.

1.1 Cíl bakalářské práce

V DP hl. m. Prahy a. s., Metro pokračuje sledování zkušebního provozu souprav s novým jízdním obrysem Kužel-2A a probíhají přípravy na nahrazení zastaralého soustruhu Hegenscheidt H-104 novým typem U-2000-400, zvoleným ve výběřovém řízení v roce 2007. V souvislosti s tím si tato bakalářská práce klade následující cíle:

- Zhodnotit současný stav obrábění dvojkolí na soustruhu H-104
- Provést porovnání opotřebení jízdních obrysů v pokračujícím zkušebním provozu obrysů UIC-ORE a Kužel-2A
- Provéřit opakovatelnost měření měřicího systému Miniprof a nalézt možné zdroje chyb při měřeních prováděných tímto přístrojem
- Provéřit, do jaké míry se projeví ve vyhodnocovaných měřeních poznatky Ing. Radomíra Šťáska

UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera Katedra dopravních prostředků	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana 9
--	------------------	----------

2 Současný a očekávaný stav problematiky jízdních obrysů vozidel metra včetně jejich reprofilace

2.1 Jízdní obrys kol, dvojkolí

Dvojkolí je základní součástí pojezdu a jeho parametry tudíž výrazně ovlivňují jízdní vlastnosti celého vozidla. Jeho charakter a stavba se během let vývoje kolejových vozidel významněji nezměnily, jeho dílčí části a materiál, ze kterého se vyrábí, však ano.

Kola se vyrábějí buď celistvá, nebo složená. V povrchové železniční dopravě jsou nejvíce rozšířená celistvá, v dopravě městské se často používají skládaná kola s tlumíci prvky. Vozy pražského metra měly původně kola složená (bez tlumících prvků), později se začala používat celistvá se šroubovanými a nakonec lepenými tlumiči hluku.

2.1.1 Hlavní rozměry kol a dvojkolí

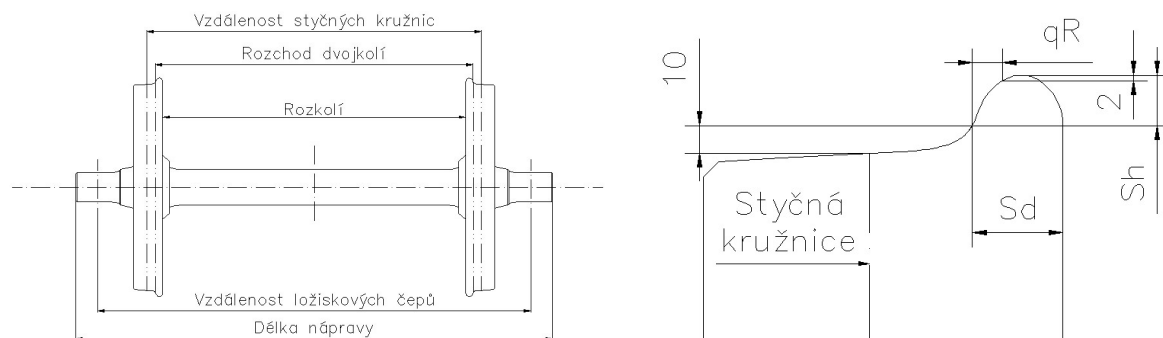
U každého železničního dvojkolí se rozlišují základní parametry, kterými jsou:

- Průměr kol (tzn. průměr styčných kružnic)
- Vzdálenost styčných kružnic
- Rozchod dvojkolí
- Rozkolí
- Typ jízdního obrysu
- Vzdálenost ložiskových čepů
- Délka nápravy

Na samotném jízdním obrysu, nezávisle na jeho typu, se sledují základní rozměry jízdního obrysu, což napomáhá k včasnému stanovení nutnosti provedení reprofilace.

Těmito rozměry jsou:

- Tloušťka okolku S_d
- Výška okolku S_h
- Strmost okolku q_R



Obr. 1 – Základní rozměry dvojkolí a jízdního obrysu kola

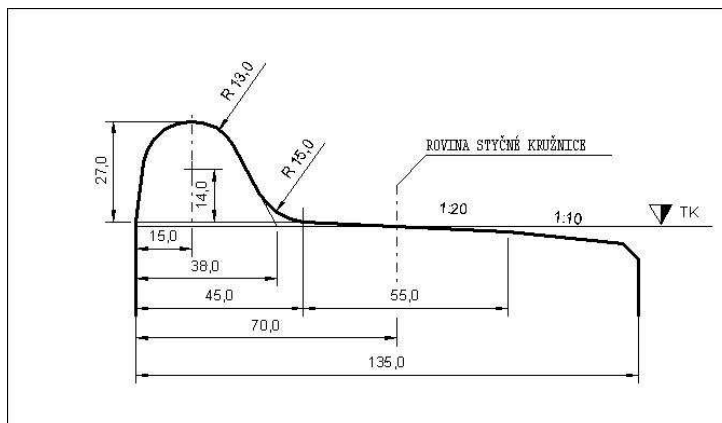
Dvojkolí používaná na vozech typu M1 vycházejí z klasických železničních dvojkolí, a proto je většina jejich základních rozměrů je stejná. Menší je ale průměr kol (soupravy 81-71 a 81-71M mají průměr kol 850 mm a soupravy typu M1 780 mm), rozdílné je i umístění brzdového kotouče (u železničního dvojkolí je umístěn souměrně podle osy vozu v závislosti na počtu kotoučů – dvojkolí s jediným kotoučem nejsou běžná). Kola jsou pak opatřena tlumiči hluku. Dvojkolí pro pražský dopravní podnik vyrábí firma Bonatrans a. s.

2.2 Vývoj používaných jízdních obrysů

Jízdní obrys určuje zásadním způsobem opotřebovávání jízdní plochy dvojkolí, životnost dvojkolí i jeho středění. Jízdní obrysy kol prošly postupným vývojem, na jehož konci stojí kvalitní obrysy pro světové železniční sítě i speciální jízdní obrysy kol, zohledňující specifikace jiných druhů drážních provozů. Tato práce se zabývá právě jízdními obrysy, které se postupně vystřídal na soupravách pražského metra. Tam se postupně objevily následující tři jízdní obrysy, přičemž zkušební provoz druhého a třetího z nich právě probíhá:

- Kuželový – na vozech 81-71 a 81-71M
- UIC-ORE (S1002) – na vozech M1
- Kužel-2A – na vozech 81-71 a 81-71M

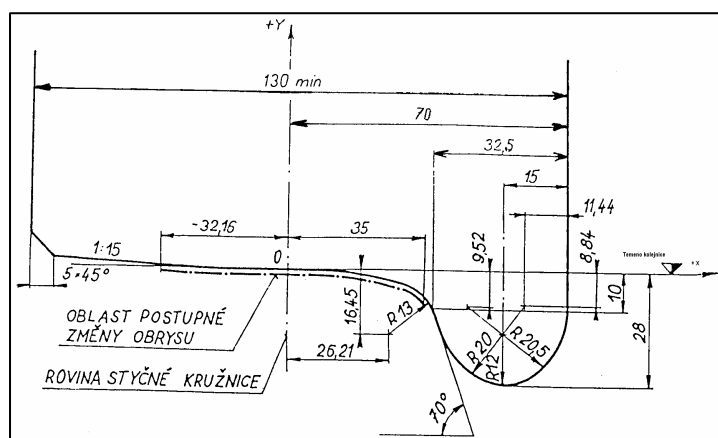
2.2.1 Kuželový jízdní obrys



Obr. 2 – Základní rozměry kuželového jízdního obrysu

Kuželový jízdní obrys byl navržen tak, aby eliminoval neduhy válcových, tedy prvních železničních obrysů vůbec. Kola s válcovými jízdními obrysy se totiž na přímých tratích odvalovala většinou jen po velice úzké části obrysu, obrys neměl středící schopnost (vedení v dráze obstarávaly pouze okolky), a jejich životnost byla velmi malá. Kuželový jízdní obrys je navržen tak, že sklon v části obrysu pro jízdu v přímé koleji je shodný se sklonem osy kolejnic 1:20. Jeho kuželovitost zajišťuje poměrně pravidelný sinusový pohyb dvojkolí a tudíž je jízdní plocha kol rovnoměrně zatěžována. Zároveň, v obloucích s velkým poloměrem, zamezuje prokluzu kol tím, že se vnější kolo v oblouku odvaluje po větším obvodu kola, než vnitřní kolo. Všechny tyto vlastnosti znatelně prodloužily životnost dvojkolí i kolejnic. Tento jízdní obrys se dodnes v pražském metru používá na všech vozech 81-71 a zhruba na polovině vozů 81-71M.

2.2.2 Jízdní obrys UIC-ORE (S 1002)

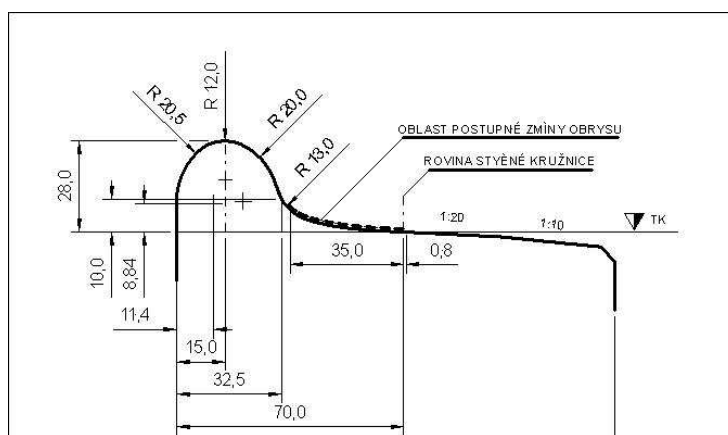


Obr. 3 – Základní rozměry jízdního obrysu UIC-ORE

Obrys UIC-ORE byl navržen v šedesátých letech dvacátého století a u jeho zrodu stála zajímavá vlastnost kuželového jízdního obrysu. Průběh jeho opotřebení není lineární

a po „ojetí“ kola na určitý tvar se tempo úbytku materiálu snížilo. Pomocí množství měření byla nalezena tato křivka, při jejímž dosažení ke změně dochází a ta se posléze stala základem obrysu UIC-ORE, kterému se, kvůli způsobu jeho vzniku, říká také „opotřebený“ jízdní obrys. Tato křivka tvoří oblast postupné změny, která je stanovena jako množina bodů, ostatní části obrysu jsou pak definované geometricky. Tento jízdní obrys kol rychle rozšířil do celého světa. Na koleje metra v Praze se dostal až s nástupem nových vozů typu M1.

2.2.3 Jízdní obrys Kužel-2A



Obr. 4 – Základní rozměry jízdního obrysu Kužel-2A

Vývoj nového jízdního obrysu byl výsledkem sledování vlastností jízdního obrysu UIC-ORE v podmínkách pražského metra. Důvodem hledání nového obrysu byly odlišné vlastnosti tratí, pro které byl obrys UIC-ORE vyvinut. Obrys UIC-ORE byl navržen na základě měření z provozu dvojkolí na kolejích s úklonem osy kolejnic 1:40. Zároveň nemá pro podmínky metra zcela vhodné středící vlastnosti.

Proto byl na dislokovaném pracovišti Univerzity Pardubice v České Třebové, pod vedením Doc. Ing. Jaromíra Zelenky CSc., navržen nový jízdní obrys, zohledňující odlišné potřeby specifického prostředí metra. Kužel-2A kombinuje pozitiva obou předchozích jízdní obrysů. Proto je oblast od okolku až ke styčné kružnici téměř totožná s jízdním obrysem UIC-ORE, přičemž oblast postupné změny obrysu je upravena tak, aby končila rovinou styčné kružnice a zároveň navazovala na kuželovou část obrysu. Ta je dělena na dvě úrovně sklonu, 1:20 a 1:10. Tento jízdní obrys má ve výsledku odlišný vliv jak na jízdu v přímé trati, tak i na jízdu v oblouku.

2.3 Podmínky provozu jízdnic obrysů dvojkolí v pražském metru

Pražské metro představuje velmi specifické prostředí, ve srovnání s běžnou železniční dopravou velice rozdílné. Především jde o rozdíly v míře vlivu vnějšího prostředí, v kvalitě dráhy i způsobu provozu vozidel. Tyto rozdíly se pak projevují delší životností vozidel a jejich částí, nižšími nároky na údržbu, nižší energetickou spotřebou a z toho plynoucí finanční úsporou. Konkrétně se jedná o následující rozdíly:

- V pražském metru je jednotný typ kolejiva, včetně jednotného úklonu kolejnic 1:20. Naopak v běžném železničním provozu se parametry styku kolo-kolejnice neustále mění a jedno dvojkolí přijde během jediného dne provozu do kontaktu s různými úklony kolejí a různými typy kolejí, které jsou navíc ve velmi rozdílném stavu opotřebení.
- Provoz metra neovlivňují povětrnostní podmínky (kromě úseků v depech, na zkušebních tratích atp.) a teplotní výkyvy v tunelech metra jsou oproti vnějšímu prostředí velice pozvolné. Svršek není zanášen nečistotami a v tunelech se zachovávají takřka laboratorní podmínky.
- V provozu metra se, na rozdíl od běžných železničních vozidel, používá mazání jízdnic plochy a vnitřní strany okolku grafitem. To zřetelně snižuje opotřebení jak kol, tak i kolejiva. Zvláště v obloucích se, díky tomu, vybrušují vnitřní strany hlav kolejnic jen velice pomalu.
- Na povrchových železničních tratích dochází často při brzdění (někdy i při rozjezdu) vlaku ke skluzu kol a vzniku plošky na povrchu kol. Naopak v metru se s „obutím“ kol často nesetkáme. Důvodem jsou stabilní adhezní podmínky a vysoká míra automatizace provozu.

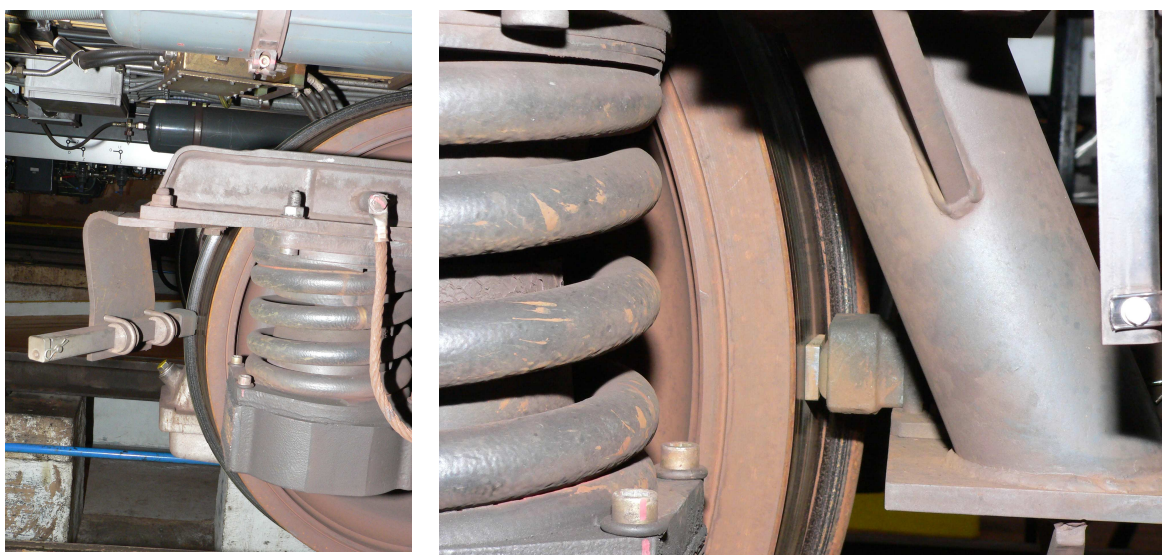
Značnou změnu v této oblasti způsobilo zahájení provozu do stanice depo Hostivař v květnu roku 2006. Vozy metra typu 81-71M se od tohoto data začaly pravidelně provozovat na otevřeném povrchovém úseku a komplikace plynoucí z náhlé změny adhezních podmínek i povětrnostních vlivů na sebe nenechaly dlouho čekat. Začalo docházet ke skluzům kol a k vytváření ploch, které ale byly primárně vyvolány prokluzem kol v záběru. Při prokluzu kol řídicí systém čelního vozu čidly umístěnými na nápravách vyhodnotil vyšší rychlost než je v daném úseku povolena a okamžitě došlo k zásahu nouzové brzdy. Jelikož vozy 81-71M nejsou oproti vozům M1 vybaveny systémem protiskluzové ochrany, zásahem nouzové brzy na kolejích s odlišnými adhezními podmínkami téměř vždy došlo ke vzniku ploch na kolech. Dnes je tento problém vyřešen softwarovou úpravou.

Připočteme-li úspory energie díky rekuperaci, kterou soupravy vrací až 40 % energie, je zřejmé, že metro je zcela unikátní drážní systém, který vyžaduje velmi specifické nároky na údržbu i samotný provoz vozidel.

2.3.1 Systém mazání kol

Původně byl pro snížení opotřebení kol a kolejnic v pražském metru využíván systém mazání knotem s olejovou náplní, přičemž se mazal bok hlavy kolejnic. Vliv tohoto mazacího systému byl bohužel minimální. S rostoucím počtem souprav i stanic metra přišla nutnost hledat jiné, efektivnější řešení. Proto začaly probíhat zkoušky s tlakovým mazacím zařízením (ČSD Letohrad) a stacionárním mazacím zařízením s plastickým mazivem (Portec, Anglie). Závěry testování bohužel nebyly příliš pozitivní, proto přišlo na řadu testování tužkovým grafitovým mazadlem Centrac.

Zkoušky dopadly mnohem slibněji, proto se v roce 1996 začal tento systém montovat na soupravy metra, přednostně na trase B. Skvělé výsledky zavedení tohoto systému se dostavily velice rychle, takže hned po vybavení všech souprav na trase B bylo mazání Centrac zavedeno i na ostatních trasách. Vlakové soupravy jsou osazeny tímto zařízením na obou čelních vozech a na jednom voze vloženém, zpravidla prostředním. Mazána jsou vždy obě kola prvních dvojkolí těchto vozů, tedy je mazáno 1., 9. nebo 12. (podle směru jízdy) a 20. dvojkolí. Maže se vnitřní strana okolku a jízdní plocha v oblasti styčné kružnice. Životnost jízdních obrysů (kilometrický proběh mezi plánovanými reprofilacemi) se tím zvýšila z původních 70 000 km na 400 000 km. V době nákupu nových souprav pro trasu C byl již systém aplikován u všech dodávaných souprav M1 (*Obr. 5*). Maziva LCF CENTRAC a modifikátory tření HPF výrobce Kelsan jsou konstrukčně velice jednoduché a jejich údržba a doplňování jsou velmi snadné.



Obr. 5 – Systém mazání okolku (vlevo) a jízdní plochy (vpravo) grafitem. Vpravo je zřetelná návaznost jednotlivých grafitových segmentů.

V poslední době vedení dopravního podniku uvažuje o změně mazání jízdní plochy kol. Důvodem je vysoká cena současného mazacího systému. Mazání grafitem se však velmi osvědčilo a značně zpomalilo opotřebovávání jízdních obrysů kol i hlav kolejnic. Díky zavedení mazacího systému od výrobce Kelsan se mnohonásobně (téměř šestkrát) prodloužila životnost jízdních obrysů kol. Navíc se jedná o mnohem čistší způsob mazání, než bylo mazání olejem. Lze tedy jen doufat, že si vedení dopravního podniku náležitě uvědomí přínos tohoto mazacího systému a že nedojde k návratu k neosvědčeným, zato však levnějším způsobům mazání kol.

2.4 Stav obrábění jízdních obrysů

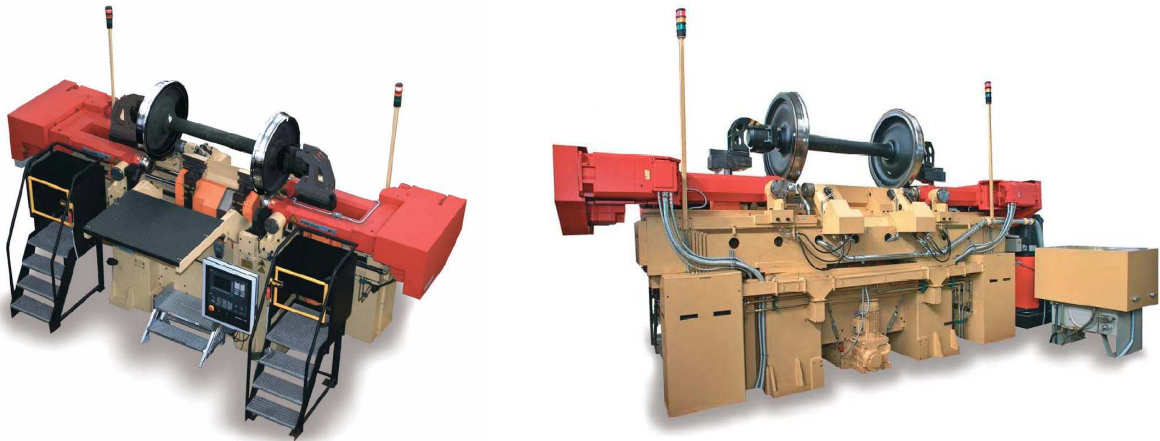
Obrábění jízdních obrysů kol se už od počátku provozu pražského metra provádí na podúrovňovém soustruhu Hegenscheidt H-104. Problematika se zásadně změnila po nástupu grafitových mazacích prostředků (viz kapitola 2.3.1), které zásadně snížily četnost pravidelných reprofilací. Přesto již spolehlivost soustruhu H-104 klesla pod únosnou hranici, a proto již v současné době probíhá výměna tohoto soustruhu za nový typ U-2000-400 od stejného výrobce.

2.4.1 Současný podúrovňový soustruh Hegenscheidt H-104

Soustruh H-104 pražský dopravní podnik využívá od roku 1974, tedy od začátku provozu pražského metra. Dnes již je za hranicí životnosti a jeho spolehlivost prudce klesá. První komplikace se začaly objevovat přibližně od roku 2003. Během soustružení tehdy docházelo k horizontálnímu posouvání dvojkolí, což mělo za následek mnohahodinové opravy zkažených jízdních obrysů. Tento problém byl nakonec vyřešen přizvednutím neobráběného kola tak, aby tíhová síla zamezila posouvání dvojkolí. Nevyhnutelným efektem takového rozhodnutí byl samozřejmě větší sklon soustruženého obrysu, tedy větší kónicita kol. Změna však nebyla natolik výrazná, aby byl důvod hledat trvalejší řešení. Při obrábění různých míst obrysu je také různá velikost třísky a tudíž i různý nezbytný tlak nože soustruhu. Tyto rozdíly postupně soustruh přestal být schopen kompenzovat a počet chyb při úpravě jízdních obrysů začal narůstat. Nejvíce se problém projevil po otevření stanice depo Hostivař, kde vzniklo několik poškození jízdních obrysů („obutí“) a právě plošky na jízdní ploše byly zdrojem komplikací při následné reprofilaci. V té době se již přestala používat data z měření jízdních obrysů kol prováděných na soustruhu. Současný podúrovňový soustruh je používán jen pro nezbytné reprofilace, jeho používání je dnes velice riskantní a mívá za následek i značná poškození dvojkolí. Obrábění dvojkolí souprav, jejichž plánovaná reprofilace má být provedena na jaře 2008 ještě před výměnou soustruhu za nový a jejichž stav to umožňuje, se odkládá na dobu po instalaci soustruhu U-2000-400.

2.4.2 Nový podúrovňový soustruh Hegenscheidt U-2000-400

Na přelomu let 2006 a 2007 proběhlo výběrové řízení, jehož cílem bylo nalézt vhodnou náhradu za přesluhující soustruh H-104. Jak je patrné výše, výměna soustruhu byla nutností. Na jaře roku 2007 pak byl vybrán produkt firmy Hegenscheidt MFD, soustruh U-200-400, a to jeho základní verze (tento typ soustruhu výrobce nabízí i v párovém provedení, pro soustružení obou dvojkolí podvozku naráz, pod označením U-2000-400 D). Soustruh byl objednan i s doplňujícím zařízením pro kontrolu geometrie kotoučových brzd a jejich obrábění.



Obr. 6 – podúrovňový soustruh Hegenscheidt U-2000-400

Přestože tento typ soustruhu splňuje všechny základní požadavky zadavatele výběrového řízení, bylo třeba ještě stanovit dílčí požadavky, zejména na softwarové vybavení soustruhu:

- Automatické odesílání protokolů z měření a soustružení na centrální server depa
- Datový výstup ve formátu whl
- Měření axiální i radiální házivosti okolku
- Měření povrchových trhlin na jízdní ploše kol

Řešení softwarových problémů není omezeno lhůtou dodání soustruhu, a tudíž jednání v této věci stále pokračují. Už teď se však ukazuje, že výrobce není příliš ochoten přistoupit na doplňkové úpravy nad rámec základního balíku produktu (právě i z tohoto důvodu se jednání omezují především na softwarové požadavky). Přesto stále zůstává otázka těchto úprav otevřena.

3 Vyhodnocení zkušebního provozu souprav metra s jízdním obrysem UIC-ORE a Kužel-2A

V rámci této práce byla vyhodnocována měření na dvou soupravách typu M1, tedy na soupravě 4103-4104 s obrysem UIC-ORE a soupravě 4109-4110 s jízdním obrysem Kužel-2A. Zdrojem dat byla měření z let 2006 a 2007, prováděná v depu Kačerov.

Tab. 1 – Data vyhodnocovaných měření a příslušné kilometrické proběhy

souprava	Datum měření								
	Kilometrický proběh								
4103-4104	28.3.06	3.5.06	12.7.06	9.11.06	5.1.07	16.3.07	18.5.07	13.8.07	15.10.07
	244 772	254 245	272 350	281 344	295 294	313 716	331 677	348 610	368 035
4109-4110	24.4.06	28.6.06	12.9.06	2.11.06	8.1.07	8.3.07	24.5.07	3.8.07	24.9.07
	228 064	246 231	265 142	277 999	298 147	316 096	334 145	351 532	361 161

Měření se provádělo používaným měřicím systémem Miniprof, následná příprava (tj. sjednocení souřadných systémů jednotlivých měření) pro grafické vyhodnocení byla provedena pomocí tabulkového editoru Excel. Kromě sledování úbytku materiálu na měřených jízdních obrysech byly vyhodnoceny i změny jejich základních rozměrů.

3.1 Výsledky měření

Souhrn výsledků měření je obsažen v příloze práce.

3.2 Dílčí zhodnocení výsledků měření

Z grafů v příloze této práce je patrné, jak velkou roli hrají při porovnávání jednotlivých stavů jízdních obrysů chyby v měření. Chyby však většinou nejsou natolik zásadní, aby bylo možno křivku jednoduše nebrat v potaz. Vzájemné vychýlení změřených křivek jízdních obrysů je velmi malé, projevuje se na okraji obrysu na vnější straně kola, kde by se v ideálním případě měly hodnoty všech měření shodovat. Pro sledování jevů popsanych ve zhodnocení měření obou souprav byly proto brány v potaz pouze křivky, které byly vůči sobě na okraji obrysu jen zanedbatelně vychýlené, nebo pokud byly pozorované změny v oblastech, kde vychýlení křivky nemá vliv srovnatelný s mírou pozorovaného opotřebení. Pro jednodušší sledování některých jevů jsou vytvořeny *Tab. 2* a *Tab. 3*. V těchto tabulkách je jízdní obrys rozdělen na jednotlivé části (okolek, oblast postupné změny obrysu, u soupravy 4109-4110 i kužel 1:20), u kterých je označena přibližná míra opotřebení v průběhu všech měření. Dále obsahují i označení chybných měření.

Pro ohodnocení všech prvků tabulky jsou stanoveny následující rozlišovací znaky:

- Bez označení = daný jev nelze pozorovat
(buď proto, že k opotřebení nebo chybnému měření nedošlo,
nebo proto, že to odchytky a chyby měření neumožňují)
- O** = nepatrné
- X** = patrné
- !** = výrazné až extrémní
(do této kategorie spadají i měření, při kterých Miniprof
ztratil na krátkém úseku kontakt s jízdním obrysem)

Mezi jednotlivými znaky jsou, ve vztahu k míře opotřebení v průběhu měření, ve skutečnosti velmi malé rozdíly. Ve většině případů označených znakem **O** je posuzovaný jev rozpoznatelný pouze při detailním pohledu. Mnohdy není opotřebení v konkrétní oblasti ohodnoceno, neboť ho není možné kvůli nepřesnostem stanovit. S rostoucím počtem vychýlených měření se přirozeně snižuje relevance odhadů opotřebení v jednotlivých úsecích jízdního obrysu. Obě tabulky a hodnocení v nich obsažená jsou samozřejmě jen přibližné a slouží pouze jako orientační shrnutí informací obsažených v grafickém vyhodnocení. Pro přehlednost bylo zvoleno jiné číslování náprav, než se běžně při měřeních používá. Pro každý vůz jsou označené nápravy 1-4, vždy ve stejném směru, a dále jednotlivá kola rozlišená na levá a pravá.

UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera Katedra dopravních prostředků	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana 20
--	------------------	-----------

U kola 1/P vozu 4204 je svazek naměřených křivek rovnoměrně rozprostřen, proto není možné určit chybná měření, a tudíž ani nelze stanovit reálnou míru opotřebení. Obdobná situace nastala v menší míře i u kol 4/L, vozu 4204, 1/L vozu 4205 a 4/L vozu 4104. Tam však odklon jednotlivých křivek není tak zásadní a proto lze alespoň přibližně míru opotřebení stanovit. V případě většího úbytku materiálu v oblasti styčné kružnice je zjevné opotřebení už při prvních měřeních (v rámci této práce). U kol s výraznějším opotřebením okolku je z grafu patrná jeho nerovnoměrnost, opět vzniklá při provozu ještě před měřením z 28. 3. 2006. Tento jev však není tak četný, aby se dal jeho výskyt zobecnit.

U této soupravy lze také vysledovat určitou periodicitu výskytu opotřebení v určitých oblastech jízdního obrysu. Tento jev není u této soupravy tak viditelný, jako u soupravy s obrysem Kužel-2A, ale projevuje se také. Pravá kola se opotřebovávají jiným způsobem, než levá. Protože je toto rozdělení mnohem lépe pozorovatelné na soupravě 4109-4110, je přesněji rozebráno v kapitole 3.2.2.

Z vyhodnocení soupravy 4109-4110 je především zřejmé, že se v měřeních na této soupravě vyskytuje mnohem menší procento těch chybných. U kola 2/P vozu 4214 jsou měření v oblasti sklonu 1:10 mírně rozprostřená, správná měření lze nalézt pouze při zkoumání grafů na počítači. U měření kola 3/P vozu 4215 jsou vzájemně nevychýlené pouze křivky z 24. 4. 2006, 2. 11. 2006 a z 3. 8. 2007. Vychýlení většiny ostatních křivek není natolik razantní, aby znemožňovalo sledování popsaného opotřebení. Tři zmíněná měření pak pozorovaný trend potvrzují. Ve většině případů by se vychýlení měřidla dalo připisovat deformacím teleskopické tyče Miniprofu, která se, například po opření ruky, velice snadno prohýbá a přesnost měření tak snižuje.

Pokud dochází ztrátami materiálu k úplné ztrátě kuželovitosti, nebo až k vytvoření konkávního zakřivení obrysu, děje se tak v oblasti sklonu 1:20, s největším prohnutím v těsné blízkosti styčné kružnice.

Mnohem výrazněji, než u soupravy 4103-4104 se projevilo asymetrické opotřebení kol, tedy rozdílné opotřebení na pravých a levých kolech. V *Tab. 1* je zcela zřetelné, že levá kola ztrácejí nejvíce materiálu v oblasti okolku, ta pravá především v oblasti postupné změny obrysu, často od části na straně okolku až po styčnou kružnici. Na rozdíl od soupravy 4103-4104 jsou měření na soupravě 4109-4110 natolik přesná, že lze vyloučit, že se jedná o zcela náhodný jev. Pro stanovení příčin tohoto jevu se nabízí několik možností:

- Nesymetrické uložení kotoučů brzd
- Odlišný pracovní prostor při měření a z toho plynoucí chyby na jedné straně soupravy
- Charakter trati, tedy trasy C

První možnost nepřichází v úvahu z toho důvodu, že na soupravách typu M1 jsou sice kotouče brzd i převodovka na nápravách uloženy asymetricky, ale jejich uložení se pravidelně na soupravě střídá, tudíž je vždy jedna náprava podvozku osazena kotoučem vlevo a druhá vpravo. Druhou možnost lze vyloučit proto, že měření byla prováděna na různých kolejích depa Kačerov a měřicí systém Miniprof je navíc prostorově velice nenáročný. Zbývá tedy poslední možnost, tedy charakter trati. Větší opotřebení okolku téměř všech levých kol napovídá, že podstatou problému jsou oblouky na trase C. Jedná se o kombinaci dvou faktorů. Prvním jsou poloměry oblouků, přičemž výraznější opotřebení okolku mají na svědomí především oblouky s nízkým poloměrem. Druhým je pak samotný tvar trasy metra, který je pravděpodobně hlavní příčinou. Na něm je zcela zřetelné, že na trase převažují ve směru Háje - Letňany pravotočivé oblouky. Vzhledem k tomu, že ani jedna z konečných stanic metra nemá obratiště ve tvaru smyčky a souprava se tudíž při provozu neotáčí, je rozdílné opotřebení kol vysvětleno.

3.3 Závěry

Opotřebením jízdních obrysů se u obou jízdních obrysů projevilo jen minimálně. Dá se říci, že v rozsahu měření prováděných v rámci této práce lze rozdíly mezi oběma typy jízdních obrysů pozorovat jen velice omezeně. Tento fakt je jistě výsledkem skvělých provozních podmínek i mazání systémem Centrac (viz kapitola 2.3.1). Opotřebením jízdních obrysů kol je tak pozvolné, že při vyhodnocování dat je význam veškerých odchylek mnohonásobně větší, a tudíž jsou i mnohem vyšší nároky na přesnost měření. Velkou roli tedy bohužel hrají chyby a odchylky v měřeních. U jednotlivých měření nelze přesně pozorovat postupné úbytky materiálu, posloupnost křivek totiž ne vždy odpovídá posloupnosti prováděných měření. Počet chyb (vychýlených křivek) je zvláště u soupravy 4103-4104 poměrně vysoký a snižuje tak možnost hodnocení opotřebením jízdních obrysů.

Z porovnání tabulek *Tab. 2* a *Tab. 3* jsou i přesto mnohé rozdíly obou jízdních obrysů patrné. V případě jízdního obrysu UIC-ORE se opotřebením vyskytuje na více místech obrysu. Přestože nejsou měření obrysů zcela přesná, dá se konstatovat, že se maximální míra opotřebením v průběhu sledovaného období u obou obrysů příliš neliší. Největší úbytek materiálu však u obrysu Kužel-2A nastal až během těchto měření, zatímco obrys UIC-ORE byl u mnohých kol viditelně opotřebený už z předešlých let. Proto se dá předpokládat, že změny v celém období zkušebního provozu budou u obrysu UIC-ORE výraznější. Zároveň se změny obrysu Kužel-2A neobjevují na celém jeho rozsahu, ale v konkrétních oblastech. Tento fakt lze ale připsat na vrub méně přesných měření na soupravě 4103-4104.

3.3.1 Chyby měření

(Celkový popis chyb je uveden v kapitole 4.4.1). První příčinou je přirozeně lidský faktor, protože měření provádí různí lidé a manuální ovládání Miniprofu také vnáší do měření nemálo chyb. Při porovnání s výsledky z diplomové práce Ing. Radomíra Št'áaska lze ale pozorovat v naměřených hodnotách poměrně výraznou změnu, a to změnu v počtu chybných měření a přesnosti měření vůbec. Hlavní příčinou je zajisté aplikace poznatků ze zmiňované práce. Na výsledcích je znát, že se při práci se systémem Miniprof klade větší důraz na jeho správné použití a ustavení vůči kolu i kolejnici. Díky tomu se do vyhodnocovaných dat nedostalo větší množství zjevně nesprávně provedených měření (křivka jízdního obrysu v takovém případě je na první pohled zcela vychýlená).

Kromě znatelných zlepšení v manipulaci s měřícím přístrojem se projevilo i užívání modifikované verze Miniprofu, tedy verze stavěné pomocí teleskopické tyče. Většina měření, vyhodnocovaných v uváděné práci, byla prováděna s původní základnou Miniprofu, která se ukázala být nevhodná kvůli nerovnostem na vnitřních čelech kol (viz kapitola 4.5). Pozdější měření měla větší míru přesnosti právě díky této modifikaci měřícího systému. I teleskopická základna však má své nedostatky. Přestože je přístroj

správně přiložen ke kolu, občas se stane, že pracovník provádějící měření se, ve snaze držet Miniprof ve správné poloze, při měření opírá rukou o teleskopickou tyč Miniprofu. Ta se tímto tlakem prohýbá a přístroj vychyluje. Pružnost teleskopické části Miniprofu je přitom nemalá a k jejímu prohnutí stačí jen minimální tlak. To nejspíš bylo hlavní příčinou viditelných chyb, například v měření z 3. 8. 2007, 13. 8. 2007, 24. 9. 2007 nebo 15. 10. 2007.

Svůj podíl na negativních vlivech má i relativní nepřesnost samotného měřicího systému. Ta je v porovnání s ostatními dostupnými systémy poměrně výrazná (viz kapitola 4.2.3). Přesto jsou tyto chyby ve vztahu k ostatními odchylkám zanedbatelné. Ukazuje se tedy, že jednoduchá obsluha přístroje Miniprof s sebou přináší i zvýšené nároky na správný postup při měření. Ve výsledku je tedy výhodnost tohoto systému diskutabilní. Pro orientační měření je systém dostačující, v případě sledování zkušebního provozu nového jízdního obrysu kol by přesnější měření velice usnadnila vyhodnocování. Přesnost vlastního měřicího systému není zdaleka takovou překážkou, jako všechny zmiňované příčiny vychylování přístroje.

4 Ověření opakovatelnosti měření jízdních obrysů kol prováděných měřícím přístrojem Miniprof

4.1 Měřicí přístroj miniprof

Profiloměr Miniprof je tvořen dvěma rameny spojenými kloubem. Na konci ramene je magnetické ložisko, které se při měření odvaluje po měřeném obrysu a přístroj zaznamenává otočení ramen vůči sobě a vůči tělu přístroje. Z něj pak určí souřadnice obrysu a odešle je do počítače. Přístroj je po obrysu veden ručně, magnetické ložisko zajistí stálý kontakt s měřeným obrysem.

Systém Miniprof není primárně určen pro měření jízdních obrysů. Jeho konstrukce umožňuje použití i na jiná měření (například měření hlav kolejnic). Proto výrobce, firma Greenwood Engineering A/S vyrábí několik variant, přizpůsobených druhu měřeného objektu Miniprof Wheel, Miniprof Rail, Miniprof Switch a Miniprof Brake. Princip měření je u všech typů shodný a liší se pouze základnou přístroje. Podrobněji se, vzhledem k tématu, tato práce zabývá typy Miniprof Wheel a Miniprof Brake (Miniprof Brake až v kapitole 5.2).



Obr. 7 – Miniprof Wheel (vlevo), Miniprof Rail (uprostřed) a Miniprof Brake (vpravo)

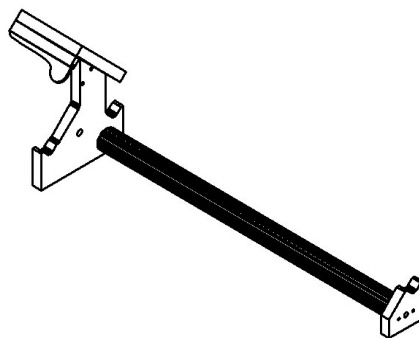
Princip samotného měření je relativně technicky komplikovaný, přináší ale mnohé zásadní výhody. Především ho neohrožují povrchové vady kol. Valením Miniprof překoná všechny nerovnosti a nehrozí tak jeho poškození. Na druhou stranu to znamená, že menší poškození povrchu nebudou v naměřených hodnotách zaznamenána. Původní verze systému byla ke kolu připevněna stejnou základnou, jako profiloměry ostatních typů. V provozu pražského metra se však vyskytly potíže s povrchem vnitřních stran kol, zmiňované v kapitole 4.5. Proto výrobce pro Miniprof dodal novou základnu s teleskopickou tyčí, která se pokládá na obě kolejnice a zapírá se o okolky. Stavěcím hrotem se sice stále opírá o čelo kola, ale chyby tím způsobené jsou oproti původní verzi

minimální a projeví se pouze posunutím hodnot ve směru kolmém k rovině čela kola. I přes tuto úpravu patří profiloměr Miniprof k těm méně přesným. Výrobce udává přesnost $\pm 36 \mu\text{m}$ (0,032 mm) a opakovatelnost $\pm 20 \mu\text{m}$ (0,02 mm), což zhruba odpovídá výsledkům z kontrolního měření (kapitola 4.2.3), při kterém byla změřena směrodatná odchylka na qR 0,0187, na Sh 0,0178 a na Sd 0,0201. To je v porovnání s ostatními měřidly relativně nízká přesnost. Manuální vedení po jízdním obrysu navíc dále přesnost přístroje snižuje.

4.2 Měření na kontrolním stojanu

4.2.1 Kontrolní stojan pro ověřování přesnosti měření přístrojem Miniprof

V běžném provozu vstupuje do měření velké množství vlivů, které nepříznivě ovlivňují výsledky měření. Pro ověření parametrů měřicího přístroje tak není měření na soupravách metra zcela vhodné. To dokazují i závěry Ing. Radomíra Št'áaska v diplomové práci z roku 2005. Proto byl pro tyto účely vyroben stojan *Obr. 8*, který většinu nepříznivých vlivů z běžného provozu eliminuje.

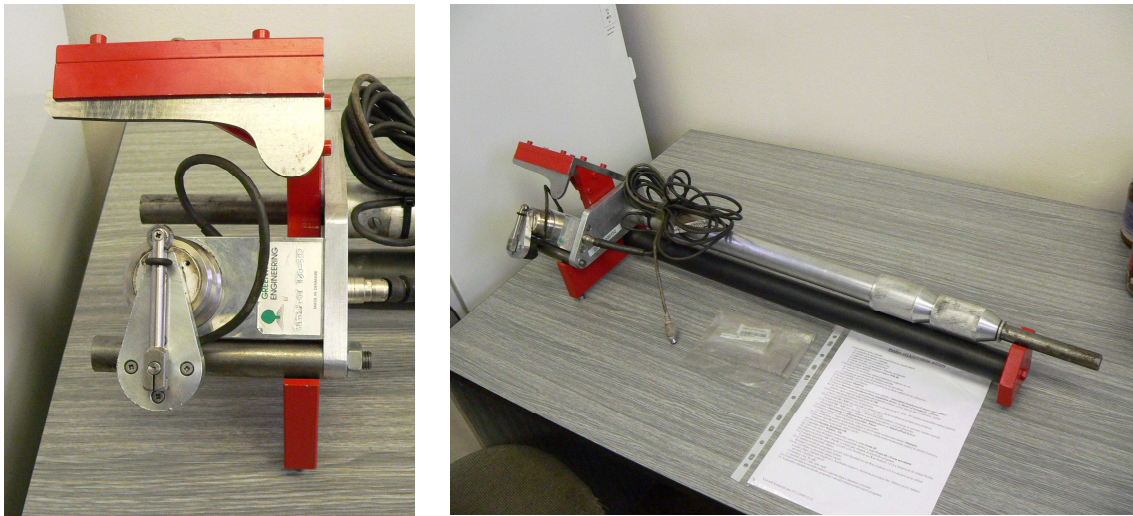


Obr. 8 – Kontrolní stojan

Je tvořen dvěma opěrnými deskami, spojovací tyčí o délce 640 mm a deskou, na které je lože pro šablonu měřeného obrysu. Spojovací tyč není teleskopická, proto systém Miniprof musí být při měření v základním, tedy složeném stavu.

4.2.2 Vlastní měření

Kontrolní měření bylo prováděno na šabloně S1002ASII1004 pro obrys UIC-ORE. Bylo provedeno celkem devět měření, přičemž po každém byl přístroj sejmут a znovu usazen. Ke zpracování dat byl použit program Data Miniprof, který se používá i při měřeních na soupravách metra. Program graficky zobrazuje naměřená data, spočítá hodnoty základních rozměrů obrysu, případně porovná naměřený obrys se vztažným, nebo jiným měřeným obrysem. Rychlé zpracování přijatých dat poskytuje vizuální kontrolu pro případ větší chyby při měření. Nejčastěji se jedná o chyby způsobené špatným vedením Miniprofu po šabloně obrysu, které jsou při jeho zobrazení v programu dobře patrné.



Obr. 9 – Mini-prof v kontrolním stojanu (vpravo) a detail měřidla se šablonou (vlevo)

4.2.3 Výstupy měření

Tab. 4 – Výsledky zkušebního měření na kontrolním stojanu

Základní rozměry			
Číslo měření	Sd [mm]	Sh [mm]	qR [mm]
1	32,450	28,085	10,849
2	32,510	28,056	10,820
3	32,476	28,105	10,869
4	32,488	28,074	10,842
5	32,469	28,058	10,837
6	32,453	28,062	10,816
7	32,454	28,053	10,817
8	32,457	28,058	10,813
9	32,456	28,053	10,827

Sd = tloušťka okolku
Sh = výška okolku
qR = strmost okolku
EX = stř. hodnota
 σ = směr. odchylka

	Sd	Sn [mm]	qR [mm]
EX [mm]	32,457	28,058	10,827
σ [mm]	0,0201	0,0178	0,0187

4.3 Měření na voze typu M1

4.3.1 Vlastní měření

Porovnávací měření bylo prováděno na voze č. 4274 s obrysem UIC-ORE v opravárenské základně metra v Hostivaři. Bylo provedeno celkem devět měření, po každém byl přístroj odebrán a opět vrácen do měřicí polohy. Po každých třech měřeních byl vůz posunut tak, aby se dvojkolí otočilo o cca 120 °. Výsledkem jsou tři měření na každém ze tří míst na obvodu kola. Protože byla měření prováděna v různých bodech na obvodu kol, jsou, kromě celkové střední hodnoty a směrodatné odchylky, uvedeny tyto hodnoty i pro dílčí sady měření, tedy pro každá tři měření. Celková střední hodnota a směrodatná odchylka nemají při posuzování přesnosti měřicího systému příliš velkou vypovídací hodnotu.

4.3.2 Výstupy měření

Tab. 5 – Výsledky zkušební měření na voze 4274

Základní rozměry			
Číslo měření	Sd [mm]	Sh [mm]	qR [mm]
1	31,948	28,243	10,344
2	31,895	28,210	10,261
3	31,766	28,262	10,367
4	31,702	28,253	10,261
5	31,616	28,261	10,319
6	31,696	28,215	10,265
7	31,685	28,257	10,143
8	31,703	28,226	10,128
9	31,638	28,243	10,139

EX a σ pro dílčí měření			
	Sd	Sn [mm]	qR [mm]
EX ₁ [mm]	31,895	28,243	10,344
σ_1 [mm]	0,0936	0,0264	0,0558
EX ₂ [mm]	31,696	28,253	10,265
σ_2 [mm]	0,0478	0,0246	0,0321
EX ₃ [mm]	31,685	28,243	10,139
σ_3 [mm]	0,0340	0,0152	0,0076

	Sd	Sn [mm]	qR [mm]
EX [mm]	31,702	28,243	10,261
σ [mm]	0,112	0,020	0,091

4.4 Závěry a porovnání

Systém Miniprof vykazuje, ve srovnání s jinými typy profiloměrů, relativně nízkou přesnost měření. To dokazují především měření na kontrolním stojanu, kde se podmínky nemění a tvar měřeného obrysu je také neměnný. Při takovém měření by se dala očekávat přesnost vyšší. Při porovnání výsledků z měření na kontrolním stojanu a na voze č. 4274 je zřetelná nutnost výpočtu směrodatných odchylek a středních hodnot pro dílčí sady měření. Nejen, že se hodnoty základních rozměrů v jednotlivých místech na obvodu kola liší, ale zároveň chybná měření z jedné sady neovlivní negativně výsledky z ostatních. V tomto případě jde především o první sadu, ve které dosahuje směrodatná odchylka, v porovnání se zbývajících dvěma sadami, zhruba dvojnásobné hodnoty. První tři měření tedy můžeme označit za nesprávně provedená. Naopak nejpřesněji byla provedena třetí sada měření. Pokud nebereme v úvahu první trojici měření, výsledky z měření na kontrolním stojanu se přibližně potvrdily. Především u rozměrů Sh a qR , v hodnotě Sd je pak měření na stojanu znatelně přesnější.

Tyto výsledky potvrzují, že systém Miniprof s teleskopickou základnou splňuje potřeby depa Kačerov a je vhodný pro měření jízdních obrysů kol metra v běžném provozu. Sledování zkušebního provozu nových jízdních obrysů kol, ale nepřesnosti výrazně ovlivňují a komplikují tak jeho vyhodnocování. Zvláště pružnost teleskopické základny Miniprofu je velký problém. Dokud se však nepodaří vyřešit potíže s povrchem vnitřních čel kol, bude tato modifikace měřicího systému přesnější, než ta původní.

4.4.1 Příčiny chyb měření

Jak při kontrolním měření, tak při měřeních na soupravách metra, dochází k chybám, které se v mnohem větší míře projevují v reálném provozu systému Miniprof, než při kontrolních měřeních. Chyby nejčastěji způsobuje:

- Nepřesná geometrie kola – provozní měření jsou prováděna pokaždé na jiném místě obvodu kola a v těchto místech se základní rozměry jízdních obrysů liší (*Tab. 5*). Byla zvažována možnost měření vždy na třech místech obvodu kol, přičemž by se zaznamenávala výsledná střední hodnota takto získaných dat. Tento postup se však, vzhledem k provozním podmínkám, nutně změně v organizaci práce a míře výsledného podílu na chybách výsledků, nepoužívá. Tento problém se samozřejmě při použití kontrolního stojanu nevyskytuje.
- Měření neprovádí jedna osoba.
- Nesprávné ustavení měřidla ke kolu, kolejnici, nebo vnitřnímu čelu kola – často dochází ke špatnému usazení zařízení, nebo deformaci teleskopické části, což je zdrojem největších odchylek při použití měřidla. Naopak kontrolní stojan je tvarově

řešen tak, že je při jeho použití pravděpodobnost podobných vychýlení Miniprofu minimální.

- Poškození, nebo povrchové úpravy vnitřní strany kola – Miniprof je o vnitřní čelo kola zapřen stavěcím hrotem a veškeré povrchové nerovnosti v místě jejich kontaktu zásadně ovlivňují výsledky. Na vlastní zjištěný tvar obrysu nemusí mít větší vliv, ale u

hodnot S_d , S_n a q_R je tomu naopak. Opotřebení mají na svědomí především přídržnice výhybek s malým poloměrem (R až 70 m). Tyto poloměry se vyskytují právě na zhlaví depa Kačerov. Poměrně novým problémem je pak nátěr vnitřních čel kol (pouze u vozů 81-71M). V provozu se barva nerovnoměrně odírá a nahrnuje a opět negativně působí při měřeních jízdních obrysů.



Obr. 10 – barva nanášená na podvozky souprav 81-71M se často objevuje i na jízdní ploše kol. Vpravo je vidět i opotřebení okolku od přídržnic

- Nedostatečné utažení zajišťovacího prstence na teleskopické části zařízení Miniprof. – Mnohem menší roli samozřejmě hraje při kontrole na zkušebním stojanu, na který se Miniprof ukládá ve složeném stavu, tudíž zde ani v případě povolání prstence není způsobené vychýlení nijak podstatné.
- Prohnutí teleskopické tyče Miniprofu – tato část měřicího systému sice zmírňuje vliv nerovnosti na vnitřních čelech kol, ale vnáší svojí pružností do měření nové chyby (viz kapitola 3.3.1).

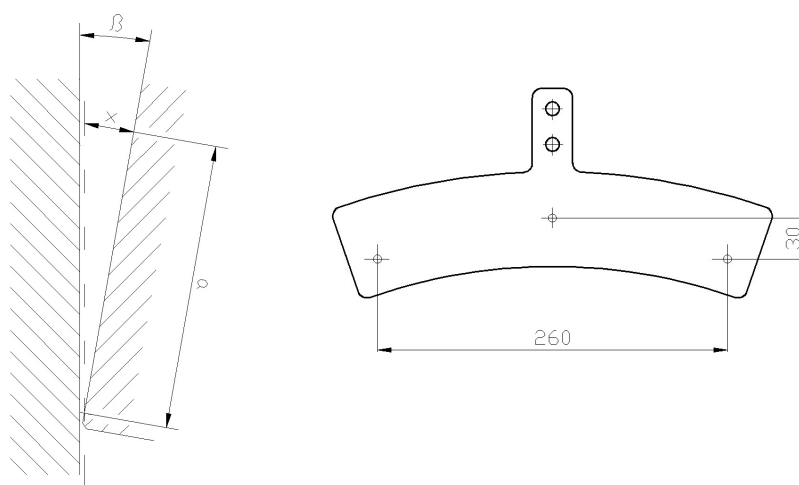
4.5 Porovnání Miniprofu s původní a se současnou základnou

Na výsledky měření mělo velký vliv zavedení modifikované verze systému Miniprof, tedy výměna původní základny měřidla za teleskopickou. Pro přesnost měření s původní základnou byla nezbytným předpokladem hladká a nepoškozená vnitřní čela kol. Na

zhlavích s malým poloměrem výhybek ale tuto stranu kol poškozují přídržnice, které nejsou tvarově uzpůsobené tak nízkým poloměrům oblouku. Tím trpí především dvojkolí souprav M1, jejichž podvozky jsou kvůli vzduchovému sekundárnímu vypružení méně poddajné při průjezdu obloukem. Soupravy typu 81-71 a 81-71M a mají podvozek se skříní vozu spojen kulovou tornou, podvozky jsou tudíž poddajnější. Podvozky souprav 81-71 jsou však při rekonstrukci na typ 81-71M opatřeny barvou, která se nanáší na celý podvozek včetně dvojkolí, kromě jízdni plochy kol. Barva na vnitřních čelech kol se pak odírá nejen při provozu, ale především při soustružení a posléze znehodnocuje výsledky měření jízdni obrysů kol.

4.5.1 Výpočet úhlu vychýlení přístroje Miniprof

V současné době provozovaná verze Miniprofu výrazně snižuje vliv těchto problémů na výsledky měření. Pro hledání příčin chyb měření je nezbytné znát u rizikových faktorů možný podíl na chybách. Proto je k výpočtům pro odchylky měřidla s různou základnou přidán i třetí, zabývající se podobným dopadem v případě prohnutí teleskopické tyče Miniprofu. Při zjišťování vychýlení měřidla vinou nerovnosti (kazu) je nutné znát vzdálenosti opěrných bodů u obou verzí Miniprofu a výšku kazu.



Obr. 11 – rozměry původní základny potřebné pro výpočet vychýlení měřidla

Pro výpočet vychýlení použijeme jednoduchý vzorec:

$$\beta = \arctg \frac{x}{a} \quad (1)$$

β = úhel vychýlení měřidla [°]

x = výška kazu [mm]

a = kolmá vzdálenost opěrných bodů [mm]

Tab. 6 – Hodnoty vypočtených úhlů vychýlení přístroje Miniprof - kaz

	Výška kazu [mm]	úhel vychýlení [°]		Výška kazu [mm]	úhel vychýlení [°]
	Původní základna	0,05		0,095	Teleskopická základna
0,1		0,191	0,1	0,004	
0,15		0,286	0,15	0,006	
0,2		0,382	0,2	0,008	
0,25		0,477	0,25	0,010	
0,3		0,573	0,3	0,011	
0,35		0,668	0,35	0,013	
0,4		0,764	0,4	0,015	
0,45		0,859	0,45	0,017	
0,5		0,955	0,5	0,019	
0,55		1,050	0,55	0,021	
0,6		1,146	0,6	0,023	
0,65		1,241	0,65	0,025	
0,7		1,337	0,7	0,027	
0,75		1,432	0,75	0,029	
0,8		1,528	0,8	0,031	
0,85		1,623	0,85	0,032	
0,9		1,718	0,9	0,034	
0,95	1,814	0,95	0,036		
1	1,909	1	0,038		

Podstatou menší výchylky je samozřejmě vzdálenost opěrných bodů, která v případě druhé verze odpovídá zhruba vzdálenosti styčných kružnic. Tabulka uvádí hodnoty do výšky kazu 1 mm. Aby u nově používaného typu základny došlo ke srovnatelnému náklonu měřidla, musel by být druhý konec teleskopické části vychýlen o 50 mm.

Pro praxi může mít také význam stanovení možné chyby, způsobené deformací teleskopické tyče, tedy v případě, kdy se o ni obsluha Miniprofu opře. V takovém případě dochází k prohnutí tyče až o 1 cm, což má na postavení Miniprofu vůči kolu také vliv. Pro jednoduché porovnání lze opět využít vzorec (1) pouze pro proměnnou a je použita hodnota poloviční, tedy 750 mm (pro zjednodušení se maximální průhyb předpokládá v polovině délky tyče). Výsledné hodnoty jsou v tabulce *Tab. 7*.

Tab. 7 – Hodnoty vypočtených úhlů vychýlení přístroje Miniprof – průhyb

Průhyb [mm]	Úhel vychýlení [o]	Průhyb [mm]	Úhel vychýlení [o]
0,5	0,038	5,5	0,420
1	0,076	6,0	0,458
1,5	0,115	6,5	0,497
2	0,153	7,0	0,535
2,5	0,191	7,5	0,573
3	0,229	8,0	0,611
3,5	0,267	8,5	0,649
4	0,306	9,0	0,688
4,5	0,344	9,5	0,726
5	0,382	10,0	0,764

Výsledky z *Tab. 7* jasně ukazují, že míra vychýlení vinou prohnutí teleskopické tyče Miniprofu je značná. Její pružnost je vysoká a průhyb o 10 mm nastane velice snadno, většinou stačí, pokud má na ni obsluha Miniprofu položenou ruku. Při porovnání s *Tab. 6*, je zřejmé, že se i v případě špatného použití Miniprofu vyplatí používat současnou modifikaci systému, ale zásadní zpřesnění nepřinese. Dá se předpokládat, že valná většina chyb, které znesnadňují vyhodnocení měřených obrysů, je způsobena právě průhybem teleskopické základny. Míra vychýlení křivek totiž často dosahovala řádově podobných hodnot, jaké jsou spočteny v *Tab. 7*. Pokud dojde i v blízké budoucnosti na podobná měření, u kterých je kladen větší důraz na přesnost měření, bude vhodnější využívat nejen systém Miniprof, ale i jiný, přesnější a méně citlivý na drobné chyby při jeho obsluze. Tímto zdrojem přesných měření by se měl brzy stát nový podúrovňový soustruh Hegenscheidt U-2000-400.

5 Rešerše dostupných systémů pro měření jízdních obrysů kol dvojkolí a systémů pro měření drsnosti činné plochy brzdových kotoučů

5.1 Systémy pro měření jízdních obrysů dvojkolí

Pro měření základních rozměrů dvojkolí a jízdních obrysů existuje velké množství měřících systémů, z nichž valná většina pracuje na velice podobném principu. Jde buď o samostatná měřící zařízení, nebo o nedílnou součást podúrovňových soustruhů. Druhou kategorií se tato práce podrobněji nezabývá, protože jde zpravidla o totožný princip měření, jako u samostatných měřících stanic. Co se týká jízdní plochy kol, můžeme zařízení rozdělit do dvou základních skupin.

- Zařízení pro měření průměru kol
- Zařízení pro měření jízdního obrysu kol

Zařízení na snadné měření průměru kol pracují na principu měření vzepětí na těživě. Tento systém nese obecné označení „pavouk“. Ačkoliv se vizáž jednotlivých přístrojů liší, princip je vždy shodný. Přístroj je přichycen k vnitřnímu čelu kola, a ve dvou bodech na obrysu. Uprostřed je pak umístěn hrot, jehož vertikálním posunutím se získávají potřebná data, vypočtený průměr kola se zobrazuje na displeji přístroje. Kalibrace přístroje se provádí s pomocí kalibračního hranolu.



Obr. 12 – Pavouk firem KŽV a. s. (vlevo) a Riftek (vpravo)

Systémy na měření jízdních obrysů kol se nazývají profiloměry. Ačkoliv se jednotlivé přístroje liší v technologii měření jízdního obrysu, všechny mají stejné základní metody ustavení ke kolu. To je přirozeně dáno faktem, že na kole je jen omezené množství možných opěrných bodů, tedy míst na kole, kde téměř nedochází k opotřebení. Těmi jsou vrchol okolku a vnitřní čelo kola. Jak je však zmíněno v kapitole 4.4.1, opotřebení vnitřních čel kol nemusí být zanedbatelné.

Dostupné profiloměry můžeme rozdělit do čtyř skupin podle technologie měření:

- Orientační pro měření pouze základních rozměrů jízdního obrysu (strmost okolku qR , výška okolku S_n a tloušťka okolku S_d)
- Jehlové profiloměry
- Optické profiloměry
- Profiloměry Miniprof

5.1.1 Orientační posuvná měřidla

Orientační profiloměry jsou pouze mechanická posuvná měřidla, u kterých se, po správném přiložení měřidla k jízdní ploše kola, odečtou naměřené hodnoty ze stupnice na měřidle. Pro účely přesného evidovatelného měření jsou zcela nevhodné.

5.1.2 Jehlové profiloměry

Jehlové profiloměry jsou nejrozšířenější. Základem tohoto typu profiloměru je posuvný hrot (jehla), který je, po upevnění přístroje na vnitřní stranu kola, přitlačen kolmo k měřenému obrysu. Při měření je hrot posouván po jízdním obrysu kola směrem od okolku ke styčné kružnici. Systém měří vertikální posunutí měřícího hrotu v závislosti na jeho okamžité poloze na jízdním obrysu. Přístroj odesílá data do počítače s programem na zpracování naměřených dat. Pro přenos do počítače se používá sériový kabel, USB, nebo bezdrátová technologie Bluetooth.



Obr. 13 – Jehlový profiloměr firmy KŽV s.r.o. verze se systémem Bluetooth (vlevo) a verze se sériovým rozhraním (vpravo)

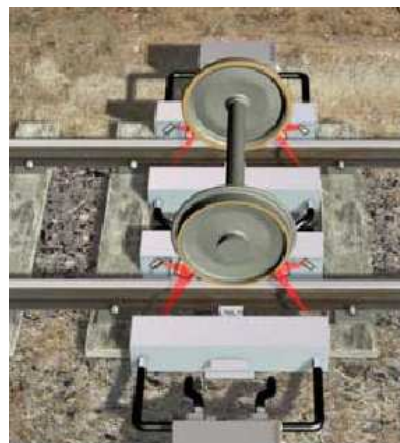
Tento systém je poměrně rychlý a přesný, má ale i své negativní stránky. První problém, který již zde byl zmíněn, je dán způsobem uchycení k měřenému kolu. Pokud je povrch vnitřní strany kola výrazněji poškozen, nebo z jiných důvodů není hladký, může to přístroj vychýlit a tím se vychýlí i všechny naměřené hodnoty (viz kapitola 4.5). Druhá komplikace se projevuje při měření jízdního obrysu, na kterém se vyskytují větší povrchové vady materiálu, především vydroleniny. Měřící hrot se v tomto místě zasekne a posléze zlomí. Pokud se hrot nezlomí, je i tak nutno měření opakovat na jiném místě na obvodu

kola. Měření je nutno začít na vrcholu okolku, protože měřící hrot není schopen „vystoupat“ po okolku k jeho vrcholu a zlomil by se. Kalibrace se provádí na kalibračních šablonách, které představují výřez věncové části kola s daným obrysem.

5.1.3 Optické profiloměry

Bezkontaktní způsob měření přináší optickým profiloměrům několik výhod. Kromě minimálního rizika poškození při používání i lepší možnost použití jako statického zařízení. Proto je vhodné rozdělit optické profiloměry na přenosné a statické.

Přenosné optické profiloměry jsou buď principiálně velice podobné jehlovým (usazují se na kolo stejným způsobem, motorek posouvá měřící mechaniku nad obrysem), nebo měřící část s laserem neposouvá, ale otáčí (profiloměr Beena Vision and Rail Sciences Inc.). Princip pro vlastní měření funkčních hodnot obrysu se ale v takovém případě nevyužívá posuvného hrotu, ale odrazu světelného (infračerveného) paprsku. Mnozí výrobci jehlových měřidel postupně své produkty upravili na optickou verzi, protože je mnohem přesnější, rychlejší a při povrchových vadách nehrozí poškození přístroje. Některé typy optických měřících systémů mohou být náchylné k chybám, pokud jsou použity na nových, ještě nepoužitých dvojkolích. Jejich jízdní obrys totiž není zcela hladký a nerovnosti mohou nechtěně vychylovat měřící paprsek. I tyto přístroje trpí na nadměrné opotřebení vnitřních čel kol. To je také jedním z důvodů, proč se v depech pražského metra dosud nezačaly používat. Pokud by došlo k vyřešení potíží s přídržnicemi výhybek s nízkým poloměrem a barvou na vnitřních stranách kol, mohl by být tento typ přístroje v provozu metra zdrojem velmi přesných měření. Kalibrace optických měřidel se provádí stejným způsobem, jako u předešlého typu.



Obr. 14 – Optický profiloměr běloruské firmy Riftek (vlevo) a průjezdový optický profiloměr WheelCheck od Tecnogamma engineering (vpravo)

Někteří výrobci (Tecnogamma engineering, KLD Labs Inc nebo Beena Vision Inc.) nabízejí také statické optické profiloměry. Tyto profiloměry slouží jako kontrolní měřící systémy, instalované buď přímo na trati, nebo v depu, kde jsou schopny při průjezdu

vlaků zaznamenat jízdní obrysy kol. Rychlost měření je úměrná přesnosti. Například společnost TECNOGAMMA engineering nabízí průjezdné profiloměry ve dvou modifikacích pro rychlost průjezdu do 20 km/h a do 120 km/h. Pro vysokorychlostní verzi udává přesnost měření $\pm 0,2$ až $0,4$ mm (pro každý ze základních rozměrů obrysu je přesnost uvedena zvlášť), což potvrzuje, že přesnost měření s rostoucí rychlostí prudce klesá.

5.1.4 Profiloměry Miniprof

Systém Miniprof je dle dostupných informací jediným produktem ve své kategorii. To znamená, že princip měření je značně odlišný od předešlých typů a je použit právě jen u produktu firmy Greenwood Engineering A/S. Přesný popis systému Miniprof je uveden v kapitole 4.1

5.2 Systémy pro měření drsnosti činné plochy brzdových kotoučů

Měření parametrů kotoučů brzd u souprav metra typu M1 není ani dnes problémem, jehož řešení by bylo v nejbližší době nezbytné. V provozu jsou kotoučové brzdy využívány pouze na dobrzdění z rychlostí cca 3 km/h nebo v případě výpadku elektro-dynamické brzdy (EDB). EDB, která je standardní provozní brzdou, zajišťuje provozní brzdění soupravy až do nástupu brzdy pneumatické. Kotouče jsou tak zatěžovány jen minimálně a jejich deformace a povrchové opotřebení probíhá velice pomalu. Proto doposud nebyly u žádné z provozovaných souprav M1 zaznamenány žádné komplikace s drsností činné plochy brzdových kotoučů, plynoucí z jejich dlouhodobého zatěžování.

Systémy pro měření drsnosti povrchu (nejen kotoučů brzd), neboli drsnoměry, lze rozdělit na dva základní druhy:

- Statické – pro měření menších součástí, měření se provádí mechanicky (diamantovým hrotem), nebo opticky
- Mobilní – přenosné přístroje pro měření větších součástí. Měření je prováděno diamantovým hrotem

Statické přístroje nemají pro měření povrchu činné plochy kotoučových brzd význam, proto v následujícím textu zmíněny nejsou. Přenosné drsnoměry jsou založené na pohybu měřicího hrotu po měřeném povrchu, z jehož vychylování přístroj získává údaje o drsnosti. Téměř vždy se jedná o malé ruční zařízení s displejem, zobrazujícím naměřené hodnoty. Drsnoměry se zpravidla nevyrábějí selektivně pro konkrétní způsob použití. To je dáno především jejich malými rozměry, díky nimž lze drsnoměry použít téměř nezávisle na druhu a velikosti měřených dílů. Pro potřeby depa Kačero v je zásadním parametrem pro případnou volbu přístroje možnost dalšího zpracování dat, tedy možnost propojení přístroje

UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera Katedra dopravních prostředků	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana 38
--	------------------	-----------

s počítačem. Nestací tedy poměrně rozšířený druh drsnoměrů, které se vyrábí v kompletu s měřicí stanicí, která obsahuje i tiskárnu pro tisk naměřených hodnot – vhodnější je zpracovávání dat (včetně tisku) s pomocí PC. U mnohých produktů je možnost propojení s PC velice pravděpodobná, bouhužel výrobce takovou možnost neuvádí.

Příkladem takového drsnoměru je Handysurf E35-A od známého výrobce Karl Zeiss Inc. je typickým zástupcem drsnoměrů, vhodných pro potřeby jednotky Správy vozidel Metra. Jedná se o ruční přístroj napájený baterií, který měří drsnost povrchu pomocí diamantového hrotu. Přístroj má několik výměnných snímačů, pro měření drsnosti povrchu různých součástí. Naměřená data přístroj ukládá do vestavěné paměti a posléze je možné je přes sériový port odeslat do počítače. Do této skupiny patří i TR-200 od ProInex Instruments s.r.o., Elcometer 7060 Surfptest SJ-201 od firmy GaminSK s.r.o. nebo MerSurf PS-1 od Mahr GmbH. Všechny tyto přístroje jsou si typově velice podobné a nabízejí rychlé a jednoduché kontroly drsnosti povrchu s možností ukládání a zpracovávání dat na PC. Velkým kladem posledního jmenovaného typu je připojení pomocí USB, zatímco ostatní přístrojepoužívají starší sériové rozhraní – sériový port SR-232 se paradoxně používá na valné většině průmyslových měřicích systémů, ačkoliv je rozhraní USB rychlejší a lze ho využít i k napájení přístrojů.

Přestože jsou drsnoměry rozměrově velice úsporné, náklady na pořízení takového zařízení se pohybují zhruba od 40 000,- do 60 000,-. Za tuto cenu nabízí měření drsnosti povrchu s rozlišením od 2 do 32 nm, podle druhu měřicího hrotu.

6 Závěr

Během tvorby této práce se proběhly dvojkolí, se zkušebními jízdami obrysů kol UIC-ORE a Kužel-2A, přiblížily hranici 400 000 ujetých kilometrů, a tudíž bylo možné sledovat tyto jízdny obrysů i ve stavu maximálního opotřebení. Přestože tedy mohou být změny obrysů při měření během druhé poloviny provozu výraznější, vyhodnocování měření bylo významně zkomplikováno nepřesnostmi měření. Proto kromě vlastního zpracování měřených dat byla řešena i otázka chyb měření, jejich příčin a jejich možné minimalizace.

V této práci byla nastíněna současná situace ve věci obrábění jízdny obrysů kol a problémy způsobené přesluhujícím soustruhem H-104, tak i okolnosti náhrady tohoto zastaralého obráběcího zařízení. Problematika reprofilace jízdny obrysů kol vozů pražského metra má úzkou souvislost i s výše uvedenými chybami měření. Nový soustruh Hegenscheidt U-2000-400 se pravděpodobně stane zdrojem nejpřesnějších měření jízdny obrysů kol v depu Kačerov.

Dále bylo provedeno grafické zpracování naměřených dat ze zkušebního provozu jízdny obrysů a díky současným možnostem detailní práce s křivkami jednotlivých měření bylo možné omezit vliv nepřesných měření a porovnat opotřebení obou jízdny obrysů. Kromě vlastních rozdílů v opotřebení mezi oběma jízdny obrysů se projevil i vliv charakteru trati, na které jsou vozy typu M1 provozované.

Téma negativních vstupů, ovlivňujících měření, je v souvislosti s vyhodnocováním zkušebního provozu obrysů Kužel-2A velmi významné, a proto je mu v této práci věnována velká pozornost. Byly nalezeny jak vnější příčiny chyb, tak i problémy související s obsluhou měřicího systému Miniprof. Jeho přesnost, byť relativně nízká, se ukázala nepodstatnou v porovnání s citlivostí Miniprofu na nesprávnou, či jen neopatrnou manipulaci.

UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera Katedra dopravních prostředků	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana 40
--	------------------	-----------

7 Literatura

- [1] ZELENKA J., IZER J.: Kontaktní poměry dvojkolí-kolej v podmínkách provozu Metra Praha. [Výzkumná zpráva], Česká Třebová, 2000.
- [2] ZELENKA J., IZER J.: Vyhodnocení zkušebního provozu soupravy Metra 2371-2376 s jízdním obrysem kol dvojkolí Kužel-2A a UIC-ORE. [Výzkumná zpráva], Česká Třebová, 2004.
- [3] ZELENKA J., VITOUŠOVÁ S.: Zkušební provoz souprav Metra s jízdním obrysem kol dvojkolí Kužel-2A a UIC-ORE. [Výzkumná zpráva], Česká Třebová, 2004
- [4] MARUNA Z.: Základy pohybu po koleji. In: Scientific papers of the University Pardubice Series B – The Jan Perner Transport Faculty 2, Pardubice, 28.11.1996, ISSN 1211-6610.
- [5] ŠTĚÁSEK R.: Problematika vztahu dvojkolí-kolej v podmínkách DP hl. m. Prahy, Metro. [Diplomová práce], Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, 2005.
- [6] Předpis ČD V25, příloha č.9, Dvojkolí ŽKV, platnost od 1.10.2000.
- [7] Interní dokumenty Dopravního podniku hl. m. Prahy a. s. jednotky Správy vozidel Metra
- [8] MiniProf - the profile of measuring [on-line]
Dostupné z <<http://www.miniprof.dk/miniprof.php>>
- [9] Devices for measuring geometrical parameters of rolling stock wheel sets [on-line].
Dostupné z <<http://www.riftek.com/pages/kolpareng.htm>>
- [10] Kolový profiloměr [on-line prezentace]
Dostupné z <<http://kzv.webseller.cz/cz/produkty/wheel/profilomer/>>
- [11] WheelCheck: Wheel profile and wear measurement system [on-line prezentace].
Dostupné z <http://www.tecnoeurope.it/products.asp?id=26&id_art=24>
- [12] Underfloor Wheel Lathe Type U-2000-400 [on-line prezentace].
Dostupné z <<http://hegenscheidtmfd.com/gb/maschinen/pdf/u2000-400.pdf>>

UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera Katedra dopravních prostředků	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana 41
--	------------------	-----------

- [13] Handysurf E-35A, malý přenosný drsnoměr [on-line prezentace]
Dostupné z <http://prima-bilavcik.cz/userfiles/20.11.2006_12-45-36/Handysurf%20E%2035A%20cz.pdf>
- [14] Digitální drsnoměr TR-200 [on-line prezentace] Dostupné
z <http://www.proinexinstruments.com/technicky_list/Drsnomer_TR-200.pdf>

UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera Katedra dopravních prostředků	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	Strana 42
--	------------------	-----------

8 Seznam příloh

Příloha – samostatný svazek